

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

L. inv.

4419

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000294560

LE
DÉTROIT DE PANAMA



29 48.
47

LE
DÉTROIT DE PANAMA

DOCUMENTS RELATIFS

A LA

SOLUTION PARFAITE DU PROBLÈME DE PANAMA

(Détroit libre, large et profond)

Ces documents renferment des détails sur la solution très imparfaite adoptée par les États-Unis (Canal à Écluses) et sur les mauvais résultats des trois premières années de travaux du Gouvernement américain.

PAR

PHILIPPE BUNAU-VARILLA

ANCIEN INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES,
ANCIEN INGÉNIEUR EN CHEF DU CANAL DE PANAMA (1885-1886),
ANCIEN MINISTRE PLÉNIPOTENTIAIRE DE LA RÉPUBLIQUE DE PANAMA
A WASHINGTON (1903-1904).

F. No. 27540



PARIS

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS

49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 49

—
1907

DICTIONNAIRE DE PANAMA

DOCUMENTS RELATIFS

SOLUTIONS TENDANT AU PROGRES DE PANAMA

(Dictionnaire des usages et coutumes)

Das Documente sind...
Die...
Das...



4449

W. DAWIDOWICZ

LE DÉTROIT DE PANAMA

L'OBJET DE CE LIVRE

La jonction des deux grands océans de la planète a soulevé et soulèvera les problèmes politiques, internationaux et économiques les plus graves et les plus complexes.

Si graves qu'ils aient été dans le passé, si troublants qu'ils soient dans l'avenir, ils sont dominés par un problème plus grave encore et plus haut : le problème technique.

Il est posé devant l'humanité depuis 1523, depuis que Charles-Quint envoya l'ordre à Fernand Cortez de quitter le Mexique pour aller à la recherche du « Secret du Déroit ».

Lorsque les explorateurs épuisés eurent abandonné l'espoir de trouver la clé du mystère dans la géographie de l'Isthme, une période d'attente s'ouvrit.

C'est le génie français qui la ferma. C'est le génie français qui attaqua le problème à nouveau et par une méthode différente.

Le gouvernement français envoya, en 1843, Napoléon Garella à Panama, établir le premier projet d'une connexion entre les océans.

Ainsi fut planté par une main française le premier jalon de la grande artère du monde, ainsi fut choisi d'emblée par le génie français le siège de cette immortelle création.

Ce fut également une main française, celle de de Lesseps, qui attaqua l'obstacle, c'est le génie français qui, parlant pour la seconde fois, décréta par la bouche du glorieux créateur de Suez que la communication serait établie non seulement à travers l'Isthme de Panama, mais encore au niveau de l'océan.

Mais les difficultés prévues de l'exécution, difficultés que la

réalité devait montrer bien plus grandes encore, obligèrent à projeter un canal étroit et de la profondeur strictement suffisante, où les marées du Pacifique ne pouvaient, sous le régime pluvieux de l'Isthme, avoir accès sous peine d'empêcher périodiquement la navigation.

Le projet mis à exécution par M. de Lesseps dut, bien malgré son désir, comporter des écluses de marée.

Il restait donc une troisième étape à franchir pour arriver au but, pour ouvrir une libre communication entre les océans, pour répondre enfin à la question posée par Charles-Quint et trouver la clé du « Secret du Détroit ».

Il fallait pour cela obtenir le moyen pratique et certain d'ouvrir un canal suffisamment large et suffisamment profond pour que les marées du Pacifique librement admises ne pussent y produire aucune gêne à la navigation.

L'objet de ce livre est de placer sous les yeux du monde scientifique français les documents établissant que cette solution est entièrement trouvée et qu'elle doit légitimement être placée au crédit du nom français, comme sa troisième et finale contribution à la grande œuvre de l'union du Pacifique à l'Atlantique.

L'idée mère qui préside à cette solution est, comme on le verra, la substitution de l'excavation, du transport et de la décharge sur l'eau aux opérations correspondantes effectuées à sec sur rails.

Par un ensemble de solutions nouvelles, cette idée se lie étroitement à d'admirables et précieuses dispositions naturelles qui avaient jusqu'à présent échappé à la perspicacité des ingénieurs; elle se lie aussi à la transformation radicale que les héroïques travaux des Français ont apportée à la configuration du terrain naturel.

Cette idée appartient au patrimoine moral de l'ancienne Compagnie de Panama. J'en avais dégagé le principe au cours de la lutte contre les difficultés naturelles dont j'avais alors la direction. J'avais en outre soumis à l'illustre Président de la Compagnie de Panama cette notion que si l'exécution sur l'eau de l'excavation intégrale résolvait ces difficultés, elle permettrait aussi d'ouvrir un passage à la navigation pendant l'exécution des travaux. Cela donna naissance au projet de canal à écluses provisoires qui eut assuré l'ouverture du transit en 1891

si la crise financière de 1888 n'avait pas stérilisé ce grand effort national.

Par la simple extension de ces mêmes principes et grâce aux progrès de l'industrie depuis lors, j'ai pu atteindre la solution finale du problème quatre fois séculaire de Panama et briser enfin la ligne de l'horizon jusqu'alors restreint à l'exécution d'un simple canal à niveau fermé par des écluses de marée sur le Pacifique.

J'ai exposé en 1905, au Consulting Board international, réuni à Washington par le Président Roosevelt, comment désormais la création d'un véritable et libre détroit, jusqu'à présent chimérique, pouvait être réalisée.

Ce ne sera point une mince surprise pour beaucoup d'ingénieurs que de voir le souple et progressif génie américain fermer volontairement les yeux et passer négligemment à côté de solutions aussi précieuses, permettant d'atteindre un but indispensable, que l'on avait cru jusqu'alors au-dessus des possibilités humaines. Le projet dangereux et mauvais qui a été adopté par l'Amérique, le canal à lac intérieur avec barrage à Gatun, présenté par Godin de Lépinay en 1879, serait certainement désavoué aujourd'hui par cet éminent ingénieur s'il était mis en présence de la solution nouvelle.

Ce n'est pas d'ailleurs la première faute commise par le génie technique américain dans la question de l'union des océans et il semble qu'une fatalité particulière le mène toujours vers l'erreur.

Après le projet de Garella démontrant la praticabilité d'un canal à Panama, projet déposé en 1845, les études et les préférences américaines se sont exclusivement portées sur le passage de Nicaragua pendant toute la seconde moitié du XIX^e siècle.

Le célèbre financier américain, Cornelius Vanderbilt, entama en 1850 la construction du canal de Nicaragua et fit procéder aux études techniques par le colonel Childs, dont le projet resta depuis la base de tous les projets successifs.

La preuve la plus éclatante de l'adoption déterminée de l'Isthme de Nicaragua par l'opinion américaine dès le début de la seconde moitié du XIX^e siècle, se trouve dans le traité Clayton Bulwer, passé le 19 avril 1850 entre les États-Unis et l'Angleterre pour la construction d'un canal interocéanique.

Il n'y est question dans le préambule comme dans le texte que du Canal de Nicaragua. L'avant-dernier article seul étend éventuellement les stipulations aux isthmes de Tehuantepec et de Panama. A ce premier document officiel devait plus tard s'en ajouter un autre, non plus diplomatique mais scientifique.

En 1869, le président Grant recommanda au Congrès de procéder à une étude minutieuse de tous les passages interocéaniques : Tehuantepec, Nicaragua, Panama, Darien, Atrato.

Après 7 années consacrées à établir de minutieux projets basés sur le nivellement précis du terrain, par les plus brillants ingénieurs et officiers de l'Union, la conclusion formulée en février 1876, par la Commission supérieure qui centralisa les documents, fut que : « *la route connue sous le nom de « route de « Nicaragua », possède à la fois pour la construction et l'entretien d'un canal de plus grands avantages et offre moins de « difficultés qu'aucune autre route au point de vue technique, commercial et économique. »*

Cette sentence, condamnant en apparence sans appel le passage de Panama, fut prononcée avant qu'aucune négociation, même embryonnaire, eût été ouverte avec la Colombie pour la création d'un canal à Panama par une Société française.

Ce fut à la suite de ma campagne de conférences en Amérique, en 1901, et grâce à l'énergie et au patriotisme du sénateur Hanna, dont j'avais eu le bonheur d'obtenir la conversion au Canal de Panama, que le Sénat américain, en juin 1902, abandonna l'idée de Nicaragua qui, depuis plus de cinquante ans, avait dominé exclusivement le génie américain.

Ainsi fut renversée à une infime majorité de 8 voix, par la haute assemblée américaine, la loi de Nicaragua adoptée à l'unanimité moins 2 voix par la Chambre des représentants, au mois de janvier précédent, ainsi fut rejetée la recommandation solennelle faite 26 ans auparavant par les plus hautes autorités techniques des États-Unis en faveur de Nicaragua après sept années d'études faites par le gouvernement de l'Union sur toutes les parties de l'Isthme américain

La longue erreur défaite en 1902 prend actuellement sa revanche et a entraîné de nouveau la nation américaine dans une voie fausse.

J'ai fait tout ce qui dépendait de moi pour éviter ce malheur. Je n'ai point été écouté.

Mais la nature réserve ses plus cruelles leçons à ceux qui ne veulent pas respecter ses lois. Tôt ou tard, l'Amérique sera obligée, par des forces supérieures, à reconnaître toute l'étendue de la faute qu'elle commet aujourd'hui.

Le « Déroit de Panama » est indispensable à l'humanité et à partir du jour où il a été démontré possible, et cela a eu lieu en septembre 1905, il n'y a plus qu'à attendre patiemment le jour de sa réalisation.

C'est pour ce jour, que l'on peut croire lointain, mais qui est plus près qu'on ne pense, que je publie ces documents. Ils établiront que la découverte du « Secret du Déroit » est le point d'aboutissement de lumineux, successifs et persistants efforts du génie français qui, commencés en 1843 avec Garella, ont atteint leur intensité et leur utilité maximum avec de Lesseps, que la France enfin a, une fois de plus, servi glorieusement l'humanité à travers des douleurs sans nom, en découvrant et en ouvrant la voie précieuse qui, sans elle, serait restée longtemps la chimère caressée par le vain espoir des peuples et par le stérile vœu des siècles.

PHILIPPE BUNAU-VARILLA.

Paris, 31 mars 1907.

LES
DOCUMENTS QUE RENFERME CE LIVRE

L'ordre chronologique n'a pas présidé à l'ordonnance de cette publication.

Elle débute par une étude sur les dépenses et les résultats caractérisant le régime français et le régime américain.

Ensuite j'ai préféré disposer les documents de façon à ce que le lecteur perçût tout d'abord une vue d'ensemble de la question et comprît la raison des mauvais résultats actuels. Instruit par cette conception générale, il pourra entrer ensuite dans les détails et pénétrer dans le domaine des raisonnements élémentaires.

C'est pour ce motif qu'aussitôt après un regard rapidement jeté sur les résultats actuellement obtenus par le gouvernement américain j'ai placé sous les yeux du lecteur la note que j'ai lue le 23 janvier dernier devant la Society of Arts, à Londres, ainsi que les réflexions que cette note a inspirées à l'éminent Vice-Président de cette ancienne et illustre Société. L'approbation sans réserve que le grand ingénieur anglais sir John Wolfe Barry, le créateur du Tower Bridge de Londres, a ainsi donnée au projet du « Détroit de Panama », ainsi qu'aux principes nouveaux de construction et aux solutions diverses que j'ai apportées dans la question, constitue une étape des plus importantes dans la marche graduelle du progrès des idées, de l'erreur vers la vérité, de l'obscurité vers la lumière.

On pourra avantageusement rapprocher les idées formulées par sir John Wolfe Barry de celles que j'exposais au Président Roosevelt dans deux lettres en date du 5 mars 1905 et du 29 octobre 1906.

La reproduction de ces deux lettres suit celle des idées exposées devant la Society of Arts, le 23 janvier 1907.

Les documents dont je viens de parler suffiront pour donner aux lecteurs une idée générale de l'état actuel de la question de Panama, ils constituent la première partie de cet ouvrage.

Ceux d'entre eux qui voudront pénétrer dans la théorie complète du problème de Panama devront aller plus loin et lire la seconde partie.

Ils y trouveront la justification rationnelle de la solution finale que je propose et l'énumération méthodique des faits qui contrôlent cette solution, dans l'exposé que j'ai développé en septembre 1905 devant le Consulting Board réuni à Washington.

Cet exposé se termine par deux mémorandums complémentaires, le premier en date du 30 octobre et le second en date du 6 novembre 1905, adressés au même Consulting Board.

J'ai cru bon de placer avant cet exposé la lettre par laquelle j'ai informé le Président des États-Unis que désormais le problème de Panama était complètement résolu et qu'un véritable détroit, chimère jusqu'à ce jour, était devenu désormais une réalité tangible, d'une exécution facile.

La reproduction de l'exposé devant le Consulting Board est suivie de la partie du rapport de cette haute Commission qui est consacrée à mon projet. Les raisons successives invoquées par ce corps international d'ingénieurs pour négliger la solution du « Secret du Déroit » sont accompagnées des réfutations qu'elles entraînent.

Je termine cet ouvrage par un examen des raisons qui ont empêché l'Amérique d'adopter la solution complète que je lui présentais du « Secret du Déroit » et qui ont jeté ce grand et noble pays dans la regrettable impasse du canal à écluses avec barrage à Gatun. Cette solution débile et traîtresse, née il y a vingt-huit ans dans le cerveau de Godin de Lépinay, a toujours été rejetée par le génie français comme trop inférieure aux nécessités essentielles du grand problème. Ce sont des raisons de politique subalterne qui ont infligé au génie américain ce lamentable échec dont il souffre déjà profondément dans sa dignité et dans son prestige jusqu'ici intacts.

PHILIPPE BUNAU-VARILLA.

31 mars 1907.

PREMIÈRE PARTIE

Résultats des travaux du Gouvernement américain.

Conférence devant la Society of Arts.

Lettre du 5 mars 1906 à M. Roosevelt, Président des États-Unis.

Lettre du 29 octobre 1906 à M. Roosevelt, Président des États-Unis.

RÉSULTATS

DES TRAVAUX DU GOUVERNEMENT AMÉRICAIN

du 4 mai 1904 au 31 mars 1907

et leur comparaison avec ceux des travaux de l'ancienne Compagnie de Panama,

du 3 mars 1881 au 14 décembre 1888.

Cube exécuté et Dépenses. — Les deux seuls faits précis qui peuvent être saisis à travers la masse d'appréciations intéressées sont les cubes et les dépenses.

Cubes du gouvernement américain. — Le rapport de la Commission du Canal isthmique, déposé le 7 janvier 1907 devant le Congrès américain, établit qu'au 30 juin 1906 on avait excavé du corps du Canal 2 240 000 yards cubes depuis la reprise par les États-Unis.

Le même rapport donne les chiffres pour les mois d'août 1906, 244 000 y. c.; septembre 1906, 291 000 y. c. et octobre 1906, 326 000 y. c. Mais il reste muet pour les mois de juillet, novembre et décembre qui ont été très pluvieux et qu'il eût été particulièrement intéressant de connaître, car le mois de novembre fut précisément celui de la fameuse visite du Président Roosevelt à Panama.

Le message du Président, relatif à cette visite, bien que daté du 17 décembre, est également muet sur le cube réalisé pendant le mois de novembre, mais il cite le cube d'octobre : 326 000 yards cubes (1).

(1) Des renseignements particuliers suppléent au silence éloquent des documents officiels et donnent pour juillet 1906: 178 000 yards cubes, pour novembre 1906: 231 000 yards cubes et pour décembre 1906: 278 000 yards cubes.

La presse, d'autre part, a annoncé qu'on avait pour janvier et février exécuté des cubes dépassant 500 000 yards cubes en janvier et 600 000 yards cubes en février 1907.

On peut donc admettre qu'il a été excavé environ 5 millions 750 000 yards cubes du corps du Canal pendant la période de trois années environ qui s'est écoulée depuis la prise de possession du Canal par les États-Unis, depuis le 4 mai 1904, jusqu'à fin mars 1907. Rappelons que la tranchée centrale exige une excavation de près de 54 000 000 yards cubes.

A cette excavation, on doit ajouter des travaux de dragage des ports de Colon et de Panama. Comme ceux-ci ont le caractère de travaux de curage, nous les négligerons. D'ailleurs, ils ne sont pas mentionnés au rapport dont je viens de parler dans le chapitre « Travaux techniques de l'année », vu leur caractère et leur peu d'importance.

Dépenses du gouvernement américain. — En dehors des 200 millions payés à la Compagnie française et des 50 millions de francs payés à la République de Panama.

Le 25 mai 1906, Mr. Taft, ministre de la guerre, déclarait devant une Commission de la Chambre des représentants :

1^o Que les dépenses prévues du 1^{er} juillet 1906 au 30 juin 1907 étaient de \$ 26 348 281,40 et que les dépenses totales depuis la reprise par les États-Unis, en dehors des paiements à la Compagnie française et à la République de Panama, devaient au 30 juin 1906 s'élever au delà des crédits votés et dépasser ceux-ci de \$ 595 696. Comme les crédits votés étaient de \$ 26 990 786, les dépenses faites ou engagées au 30 juin 1906 étaient, d'après la déposition de Mr. Taft, de \$ 27 386 482.

Au 31 mars 1907, les trois quarts des crédits de 1906-1907 ont dû être consommés. On peut donc dire que la dépense totale isthmique a été après un peu moins de trois ans \$ 27 386 482 + 3/4 de \$ 26 348 281 ou \$ 47 147 692, soit en francs 235 738 460.

On doit songer que cette dépense est absolument liquide et n'est pas grossie, comme elle le serait dans le cas d'une Société privée, de lourds frais d'émission, d'intérêts, de courtages financiers, de frais de publicité, etc.

Voici donc la balance bien nette. C'est une somme de 235 738 460 francs que, du côté des dépenses, on doit mettre en

regard du résultat obtenu du côté des travaux et qui est : une excavation de 4 400 000 mètres cubes ou 5 750 000 yards cubes.

Il faut se souvenir aussi que le gouvernement américain ne s'est pas trouvé, comme l'ancienne Compagnie de Panama, en face de la forêt vierge, mais bien en face d'un vaste chantier s'étendant d'une mer à l'autre, couvert de constructions, de matériel, pourvu de toutes ses voies d'accès et de service, minutieusement étudié comme surface et comme sous-sol, accompagné d'une quantité énorme de documents techniques dont pas un n'a pu jusqu'à présent être accusé d'erreur.

Enfin, les progrès récents dans la prophylaxie de la fièvre jaune et de la fièvre paludéenne ont dégagé les Américains du fléau sous lequel ont dû constamment lutter les Français. On voit donc combien meilleure était la situation de l'entreprise américaine comparée à celle de M. de Lesseps au point de vue des difficultés à surmonter.

Les frais de première installation ne justifient pas les dépenses énormes du gouvernement américain.

Si l'on place le très petit cube fait en regard de l'énorme dépense, on s'attire cette réponse en partie justifiée :

« Mais les Américains ont amené du matériel, fait des essais, des préparatifs de tous ordres et cette comparaison entre le cube extrait et la dépense est profondément injuste. Ces dépenses, qui ne sont pas imputables à l'extraction, sont des dépenses d'organisation qui forment un chapitre spécial du devis ! »

Pour savoir dans quelle mesure cette réponse est vraie, il faut rechercher si les dépenses en dehors des frais d'excavation proprement dits étaient ou n'étaient pas prévues pour le montant qu'elles atteignent.

Si elles étaient prévues, tout est normal, si elles n'étaient pas prévues, les ingénieurs américains ont fait erreur et le gouvernement des États-Unis subit un grave échec de ce fait même.

Le devis du projet du canal à écluses avec bief à 85 pieds au-dessus du niveau de la mer a été fixé à \$ 144 233 358 par l'Isthmian Canal Commission dans son rapport du 16 novembre 1901.

Dans ce devis figure une somme de \$ 24 038 893 pour études, police, assainissement et éventualités générales. Cette somme représente ce que nous appelons « la somme à valoir pour imprévus, et frais généraux », et elle a été fixée à 20 p. 100 des prévisions faites par mètre cube d'excavation ou de maçonnerie, par tonne d'acier de chaque ouvrage du Canal. C'est la somme prévue pour l'ensemble des dépenses à réaliser en dehors des travaux spécifiés au devis. Cette somme comprend donc bien les dépenses d'organisation.

Le total des évaluations, détaillées des ouvrages prévus se monte à \$ 120 194 465. Sur ces travaux prévus, il a été exécuté 5 750 000 yards cubes à un dollar le yard cube. Il n'a donc été réalisé en travaux que pour une valeur de \$ 5 750 000 sur les \$ 120 194 465 explicitement prévus. Si nous déduisons cette somme de la dépense faite, nous sommes amenés à conclure qu'il a déjà été dépensé \$ 41 397 692 pour les imprévus et frais généraux en trois ans, alors que l'on avait estimé à \$ 24 038 893 tous les imprévus et tous les frais généraux afférents à *la totalité de l'exécution du Canal* et portant, par suite, sur un délai total de dix années d'exécution.

On peut donc conclure sans hésitation de ces chiffres qu'il y a une énorme différence entre les dépenses estimées et les dépenses réelles.

Ces dépenses rapprochées des prévisions démontrent que les ingénieurs américains se sont profondément trompés et que le canal à écluses qu'ils exécutent est appelé à leur coûter des sommes beaucoup supérieures à celles qu'ils ont calculées.

L'erreur désormais établie des ingénieurs américains a eu malheureusement des conséquences fatales aux intérêts français.

En évaluant à 40 000 000 dollars la valeur des travaux exécutés pouvant être utilisés pour le plan qu'ils adoptaient, les ingénieurs américains ont fait souffrir les intéressés français de leur propre erreur. Ils peuvent se rendre compte aujourd'hui qu'ils eussent dû payer deux fois ou trois fois plus les travaux français.

Comparaison entre les cubes exécutés sous le régime français et sous le régime américain.

En dehors des dépenses, peut-on dire tout au moins que les ingénieurs américains aient eu des vues exactes sur les cubes

qu'ils étaient en mesure d'extraire et aient dépassé ce que les ingénieurs français avaient réalisé.

Étant ingénieur en chef de l'ancienne Compagnie de Panama, je fis, en janvier 1886, dépasser au rendement des chantiers un million de mètres cubes et les excavations réalisées dans la série des trois années qui suivirent maintinrent cette moyenne.

La Compagnie de Panama avait excavé 15 000 000 de mètres cubes au 1^{er} janvier 1886 et la Commission américaine a reconnu après vérification qu'il avait été excavé en tout 55 000 000 à la cessation des travaux, c'est-à-dire trois ans après. La moyenne mensuelle en 1886, 1887 et 1888 resta donc à peu près égale au cube de 1 067 000 que j'avais atteint dans le mois de janvier 1886.

Cela correspond à 1 400 000 yards cubes par mois environ.

Tant que les ingénieurs américains n'auront pas atteint d'une façon permanente ce chiffre mensuel d'excavation, ils ne se seront point élevés au degré d'activité qu'avait atteint la Compagnie française.

Mr. Stevens, l'ingénieur en chef du Canal de Panama, avait promis qu'il dépasserait 1 000 000 de yards cubes en juillet 1906 et la Commission du Canal isthmique le croyait.

Voici le document qui établit ce fait : le 23 avril 1906, Mr. Shonts, président de la Commission isthmique, fit au retour de Panama un rapport au ministre de la guerre, Mr. Taft ; on y lit :

« Mr. l'ingénieur en chef Stevens croit qu'en juillet ou août il aura 40 excavateurs installés et sera en position d'enlever approximativement 1 000 000 de yards cubes par mois. »

En juillet, au lieu d'un million on fit 178 000 yards cubes, on parvint en octobre avec une peine infinie à 326 000 yards cubes pour retomber le mois suivant à 231 000. Et pourtant ce mois était celui de la célèbre visite du Président Roosevelt et l'on a dû faire l'impossible pour atteindre un cube aussi élevé que possible. Le mois de décembre était à peine meilleur (278 000 yards cubes). Ainsi toute la fin de 1906 se passa sans qu'on ait pu atteindre comme maximum le tiers de ce sur quoi l'on comptait comme moyenne. Pendant la saison sèche suivante, janvier à mars 1907, c'est-à-dire pendant le mois où l'excavation est exceptionnellement favorisée, on n'a pas même réussi à atteindre ce million que Mr. Stevens attendait pour le

milieu de la saison des pluies précédente. On n'aura atteint dans cette courte période favorisée que les $\frac{2}{3}$ de ce que l'on espérait pour la saison mauvaise (1).

On voit donc que pour les cubes à réaliser aussi bien que pour les dépenses, les ingénieurs américains se sont profondément, radicalement trompés et qu'il leur reste encore une large marge à franchir avant d'obtenir le rendement de l'ancienne Compagnie.

On a récemment publié que les Américains avaient obtenu un résultat d'excavation double de celui autrefois réalisé par les Français à Culebra.

Cette comparaison n'est pas équitable. Culebra avait, on le sait, présenté les plus grandes difficultés d'exécution à l'ancienne Compagnie. C'est dans les deux dernières années en 1887 et en 1888 que j'ai pu, par des méthodes nouvelles, surmonter la grande difficulté résultant des terrains fluants qui formaient la couche supérieure de la grande tranchée. Depuis lors, la Compagnie nouvelle a fait un véritable travail de préparation en ouvrant une tranchée étroite et profonde à travers le massif central. Les Américains ont donc trouvé la partie difficile de l'œuvre faite et ils n'ont eu qu'à battre au large sur des niveaux successifs créés avant eux. Aucune comparaison n'est donc légitime entre le cube exécuté à Culebra autrefois qui correspondait à la première attaque et celui qu'on peut exécuter maintenant avec une magnifique série de terrasses étagées. Ce qui donne une idée juste de l'activité utile de l'organisation française et de l'organisation américaine, c'est le cube total réalisé par l'une et par l'autre et non pas les cubes faits sur un point donné où les circonstances ne sont plus les mêmes dans les deux périodes.

Les Américains n'ont pas encore atteint comme moyenne dans la saison sèche de janvier à mars la moitié de ce que nous avons régulièrement réalisé mensuellement en moyenne pendant nos trois dernières années d'activité, et quand ils voudront ne plus simplement élargir la tranchée ouverte par les

(1) Les chiffres donnés par la Presse sont : 566.000 c. y., janvier 1907; 638.000 c. y., février 1907; 815.000 c. y., mars 1907, soit en moyenne 673.000 yards cubes comme extraction moyenne. Ces chiffres et ceux de la saison humide précédente établissent que l'on peut compter désormais au moins sur une excavation de 5.000.000 yards cubes par an. C'est là le chiffre sur lequel j'avais basé l'exécution en quatre années des 20.000.000 yards cubes nécessaires pour le canal à écluses avec bief à 39^m,65 ou 130 pieds, que j'avais proposé comme première étape vers le détroit.

Français mais approfondir celle-ci de nouveaux déboires les attendent avec l'excavation à sec qu'ils ont adoptée.

Les chiffres de dépenses rapprochés des chiffres d'estimation, de même que le montant des cubes réalisés rapproché du montant des cubes annoncés, établissent donc d'une façon indéniable les erreurs commises par les ingénieurs américains dans l'appréciation des difficultés isthmiques, dans le choix de la méthode de travail, et dans le plan général adopté pour la réalisation du Canal.

Faits successifs établissant un trouble des plus graves.

D'autres faits bien significatifs indiquent au surplus un profond malaise qui révèle ces erreurs qu'on ne veut pas avouer.

Le premier ingénieur en chef que nomma le gouvernement américain fut Mr. Wallace, éminent ingénieur alors à la tête des services techniques d'une des plus grandes Compagnies de chemins de fer de l'Union, l'Illinois Central. Nommé le 1^{er} juin 1904, Mr. Wallace donna sa démission le 28 juin 1905, dans des conditions dont les causes sont encore mal définies. Le gouvernement fut évidemment désolé de cette décision, car le ministre de la guerre, Mr. Taft, la reprocha à Mr. Wallace comme une désertion devant l'ennemi. Mr. Stevens, son remplaçant, parti le 20 juillet 1905 pour l'Isthme, vint de donner sa démission tout dernièrement. Elle fut annoncée publiquement le 27 février 1907. Cette démission, comme celle de Mr. Wallace, fut une douloureuse surprise pour le gouvernement qui vient de décider de confier la construction aux ingénieurs militaires. En conséquence, Mr. Goethals, lieutenant-colonel du génie, vient d'être nommé ingénieur en chef.

C'est le troisième ingénieur en chef qui est placé à la tête des travaux, et cela avant que la troisième année du régime américain soit terminée.

Mais la composition de la Commission du Canal isthmique, l'entité administrative responsable de l'exécution du Canal, n'a pas moins varié que les ingénieurs en chef.

En février 1904, au moment où fut ratifié et promulgué le traité Hay-Bunau-Varilla assurant l'achèvement du Canal de Panama, la Commission du Canal isthmique présidée par

l'amiral Walker fut refondue pour satisfaire à la loi qui en faisait le corps exécutif de la construction.

Des ingénieurs éminents des divers États de l'Union furent nommés membres de cette Commission.

Le 3 avril 1905, après un an à peine, cette nouvelle Commission était dissoute et des hommes entièrement nouveaux furent nommés. A leur tête on plaça un président d'une des Compagnies de chemins de fer de l'Ouest américain, Mr. Shonts. C'était afin de donner à l'administration du Canal cette activité et cet esprit pratique pour lesquels les hommes de l'Ouest américain sont renommés.

Au milieu de l'année 1906, Mr. Shonts, après avoir constaté qu'on ne réalisait que le cinquième de ce qu'il avait déterminé comme une quasi-certitude, annonça que deux remèdes essentiels devaient être apportés à la situation : l'importation d'ouvriers chinois et la remise des travaux à des entrepreneurs.

Des concurrents furent invités à fournir des offres pour l'une et l'autre des deux opérations et finalement après mille tergiversations on abandonna et chinois et entrepreneurs.

Mr. Shonts donna sa démission en janvier 1907; elle fut rendue publique le 24 du même mois.

Mr. Stevens, l'ingénieur en chef, fut promu président de la Commission à sa place.

Mais sa démission survenue un mois après, malgré cet extrême honneur, amena une nouvelle et complète réorganisation de la Commission, l'élément militaire y domine désormais.

Avant que trois années du régime américain se soient écoulées, il y a donc eu trois Commissions isthmiques différentes et trois ingénieurs en chef différents pour diriger les travaux.

Ces soudaines et brusques variations, ces démissions réitérées dans un haut personnel largement payé (Mr. Stevens et Mr. Shonts avaient 150 000 francs d'appointements), sont la preuve de la terreur qu'inspirent les responsabilités qui montent à l'horizon et qu'évoquent la faible quantité de travail utile et l'énormité des dépenses sans contre-partie en résultats.

A ce muet reproche s'ajoute le doute aigu sur la solidité du Canal adopté qui ne peut manquer de hanter les hommes mis à la tête des travaux.

La plus détestable forme de communication a été choisie par le Président Roosevelt, le canal à écluses, et parmi les divers types de canal à écluses c'est le type le plus dangereux qu'il a préféré en le décorant bien mal à propos du titre de « Solution américaine ».

Il est certain qu'un tremblement de terre relativement faible suffira pour détruire le barrage en terre de Gatun.

Les hommes qui, sous la pression toute-puissante du président Roosevelt, ont souscrit à ce plan lamentable ne peuvent manquer d'entrevoir quels reproches terribles leur seront faits plus tard quand surviendra le cataclysme inévitable. Il est tout naturel qu'ils se dérobent à temps.

C'est pour prévenir ces évasions successives que le Président Roosevelt a eu recours au génie militaire.

Ses officiers, eux, ne peuvent se soustraire au service commandé.

Tels sont les chiffres et les faits qui démontrent dans quel abîme de circonstances inattendues est tombé le gouvernement américain.

Comparaison entre les dépenses et les cubes de la période française et de la période américaine.

Cela veut-il dire que les ingénieurs chargés de l'exécution aient été au-dessous de leur tâche matérielle. Aucunement.

Cela veut dire simplement que l'exécution du Canal par l'excavation à sec est la plus redoutable des tâches et que ses difficultés sont de beaucoup supérieures à tout ce que l'on avait prévu.

La faute est non à ceux qui livrent la bataille mais à ceux qui ont adopté une mauvaise stratégie technique.

Je savais parfaitement ce qui devait nécessairement arriver et j'ai voulu faire gratuitement bénéficier les États-Unis des lois que j'avais pu dégager de l'expérience de l'ancienne Compagnie.

Ayant accompli loyalement et sincèrement, mais sans succès, mon devoir d'ami des États-Unis, je dois avouer que la décision du Président Roosevelt d'exécuter à sec le Canal a comblé un de mes vœux.

Après les innombrables et injustes critiques adressées à l'ancienne Compagnie de Panama, j'avais toujours désiré voir

sa justification suprême lui venir des faits et d'une expérience similaire à la sienne propre.

Certes, mon désir de voir cette justification se produire ne m'aurait pas amené à voiler hypocritement aux États-Unis la voie à suivre et qui mène au succès en évitant les obstacles. Je ne me cachais pas cependant qu'en dehors d'un petit nombre d'initiés on n'aurait pas en général su distinguer la véritable cause de la victoire. On n'aurait pas cherché dans la perfection de la méthode française la cause de la victoire, mais bien dans l'énergie et le sens pratique des Américains.

Je n'ai pourtant pas hésité à sacrifier sur l'autel de l'amitié loyale mes désirs intimes. Mais qui saurait me blâmer, après avoir rempli ce devoir de loyauté, d'avoir été heureux que les ingénieurs américains aient persisté à vouloir attaquer l'obstacle comme l'avaient fait les ingénieurs de M. de Lesseps avant moi, c'est-à-dire par la méthode d'excavation à sec, et que l'infériorité des résultats actuels vienne justifier les ingénieurs français et les laver des reproches empoisonnés dirigés contre eux.

Certes, les premiers ingénieurs français peuvent dire qu'au début il fallait employer l'excavation à sec pour les parties hautes des tranchées. La méthode par dragage que j'ai préconisée dès 1887 n'eut pas été réalisable avant le percement des sommets des collines à traverser.

Les ingénieurs américains n'ont pas cette justification. Ils ont repoussé la méthode rationnelle alors que je la leur ai présentée tout armée des solutions les plus parfaites, alors que les conditions du sol résultant des travaux français s'y prêtent admirablement.

Quoi qu'il en soit, ils ont attaqué les travaux par la même méthode qui a été en cours pendant la presque totalité de la période française, par la méthode d'excavation à sec. Ils ont réservé le dragage aux terrains naturellement noyés.

Les conditions de travail sont donc comparables. Comme je l'ai dit, il y a des avantages énormes en faveur de l'entreprise américaine; la création des habitations, des hôpitaux, des chantiers n'a plus été à faire pour eux; la fièvre jaune, ainsi que la fièvre paludéenne, sont vaincues par les progrès récents de la science. Il semblerait donc que les résultats français dussent être de beaucoup dépassés actuellement.

Enfin, on n'a pas à présent à supporter de frais d'émission d'intérêts, de capitaux, etc.

Malgré tout ce favorable ensemble, les résultats obtenus par les Américains sont jusqu'à présent beaucoup au-dessous de ceux de la période française.

Si nous recherchons ce qui a été dépensé par la Société de M. de Lesseps pendant près de huit années de travail (3 mars 1881 à 14 décembre 1888), pour la catégorie de dépenses que supporte actuellement le gouvernement américain, nous trouvons une somme égale à 782 000 000 francs (1).

En face de cette dépense il faut placer une excavation utile de 55 000 000 de mètres cubes. (Rapports de l'Isthmian Canal Commission des 16 novembre 1901 et 5 février 1906.)

Après environ trois ans de travail, du 4 mai 1904 au 31 mars 1907, le gouvernement américain, nous l'avons vu, a dépensé 235 000 000 francs en face desquels il ne place qu'une excavation de 4 400 000 mètres cubes, malgré les conditions où il se trouve et qui sont bien plus favorables que pendant la période française.

En résumé, les chiffres comparatifs relatifs aux travaux des Américains et des Français sont les suivants :

Durée du travail.....	Américains : 2,91 ans.	Français : 7,78 ans.
Dépenses.....	Fr. 235 000 000	Fr. 782 000 000
Excavation utile..	4 400 000 m. c.	55 000 000 m. c.

Donc en moyenne *par an* les Américains ont dépensé 80 500 000 francs et produit 1 510 000 mètres cubes, alors qu'en moyenne *par an* les Français ont dépensé 100 000 000 francs et produit 7 100 000 mètres cubes.

(1) Pour avoir la dépense totale qui fut de 1 259 millions, il faut ajouter aux dépenses de construction égales à 782 000 000, les dépenses financières qui se décomposaient comme suit (Rapport du liquidateur Monchicourt au tribunal civil 1890) :

Achat du Panama Railroad.....	93 000 000
Frais d'émission.....	82 000 000
Publicité.....	22 000 000
Achat de la concession.....	10 000 000
Retourné aux souscripteurs en intérêts aux actions et obligations.....	238 000 000
Retourné à la Société civile pour le service des lots des obligations à lots, service non atteint par la faillite de la Compagnie.....	32 000 000

COMPARAISON GRAPHIQUE

*entre les dépenses en argent et les résultats en cubes extraits
sous le régime français et le régime américain.*

Compagnie du Canal de Panama
(3 mars 1881 au 14 décembre 1888)
Soit 7,78 ans.

Gouvernement des États-Unis
(4 mai 1904 au 31 mars 1907.
Soit 2,91 ans.

Dépenses moyennes par an.



Compagnie française.
Fr. 782 000 000 en 7,78 ans.
Soit fr. 100 000 000 par an.



Gouvernement américain.
Fr. 235 000 000 en 2,91 ans.
Soit fr. 80 500 000 par an.

Cube utile moyen extrait par an.



Compagnie française.
55 000 000 m. c. en 7,73 ans.
Soit 7 200 000 m. c. par an.



Gouvernement américain.
4 400 000 m. c. en 2,91 ans.
Soit 1 510 000 m. c. par an.

Cube utile moyen par million dépensé.



Compagnie française.
55 000 000 m. c. pour 782 000 000 fr.
Soit 70 500 m. c. par 1 000 000 fr.



Gouvernement américain.
4 400 000 m. c. pour 235 000 000 fr.
Soit 18 700 m. c. par 1 000 000 fr.

Les dépenses annuelles du gouvernement américain s'élèveront certainement au-dessus de la moyenne de la Compagnie française, car elles sont évaluées à plus de 125 000 000 francs pour la présente année et pour l'année prochaine à une somme égale. Par contre, le cube utile produit par million dépensé par le gouvernement américain

s'élèvera aussi bien certainement, mais il est douteux qu'il atteigne jamais la moyenne française, malgré les conditions plus favorables où on est maintenant grâce au progrès réalisé depuis 10 ans dans la prophylaxie des maladies tropicales.

Il est à remarquer que, jusqu'à présent, le gouvernement américain n'a fait aucune dépense pour l'érection des barrages et des écluses, puisque le site de ces ouvrages n'est pas encore définitivement fixé (message présidentiel du 17 décembre 1906) et que par suite il n'y a pas de travail utile réalisé en dehors de l'excavation. — La même chose ne peut se dire de la Compagnie française qui a dépensé des sommes considérables pour l'excavation des écluses et le métal de ces ouvrages. Le travail utile de la Compagnie française ne s'est donc pas borné à l'excavation.

On ne saurait non plus objecter que quelques travaux de dragages dans les ports de Colon et de Panama ont été exécutés par le gouvernement américain et qu'il n'en ait pas été tenu compte. Ces dragages sont en dehors du projet adopté, ce sont des travaux d'ordre préparatoire et non pas du cube utile pour la réalisation.

On peut aussi remarquer que les travaux des deux régimes sont comparables, en ce sens qu'ils ont été tous deux exécutés par la méthode d'excavation à sec, laquelle ne réserve à la drague que les terrains meubles naturellement noyés ou à peine émergents. Les travaux de dragage de cette catégorie figurent pour un tiers environ dans la masse des travaux exécutés par les Français. (Rapport de la Commission du Canal isthmique du 5 février 1906).

Si la méthode générale est la même, les conceptions sur la nature du matériel employé différent et les chiffres précédents jugent la valeur relative des méthodes.

La Commission du Canal isthmique ne prévoyait pas les résultats de sa propre gestion quand elle écrivait le 5 février 1906 : « Il y a eu (depuis la Compagnie française) de grands progrès dans les machines d'excavation et des moyens ont été trouvés pour éliminer la terreur de la fièvre jaune. Ce sont deux conditions qui favorisent un accroissement du rendement des excavations. D'autre part, on doit y ajuster plus soigneusement les moyens en vue du but à atteindre. L'extravagante multiplication des machines et autres folles dépenses ne peuvent être tolérées maintenant. La Commission espère et croit qu'un accroissement considérable sur ce qu'obtenaient en moyenne les Français dans leurs chantiers peut être réalisé actuellement. »

Le graphique ci-dessus montre qu'il eût été plus prudent, sinon plus généreux pour la Commission du Canal isthmique de ne pas condamner l'œuvre des Français de cette façon. Il serait bien difficile pour elle de trouver aujourd'hui les termes suffisamment forts pour qualifier ses propres dépenses et ses propres résultats.

Pour une dépense annuelle presque égale (à 20 o/o près) la production américaine est environ cinq fois plus faible que la production française.

Jusqu'à présent donc, la comparaison entre les dépenses et les résultats reste tout à l'avantage de la période française.

Sans aucun doute, la dépense annuelle des Américains ne fera que s'accroître et dépassera bientôt la moyenne française. Elle paraît déjà devoir s'établir vers 25 000 000 de dollars par an, soit 125 000 000 de francs, c'est environ ce qui a été prévu pour 1906-1907 et pour 1907-1908.

Quant à la production, il faudra des efforts énormes pour atteindre la moyenne française. Il est bien certain que la disproportion entre les résultats américains et français deviendra moins considérable qu'elle n'est maintenant. Mais il paraît peu probable qu'elle soit jamais renversée et que, par suite, les détracteurs nés de l'œuvre française puissent jamais justifier leurs critiques par les résultats américains.

Causes de la difficulté des travaux isthmiques démontrées par l'expérience malheureuse des Américains.

On peut donc de la comparaison de ces chiffres déduire cette vérité que ce n'est pas le défaut d'études qui a été la cause des dépenses considérables supportées par la Société de Lesseps.

Cette légende tombe devant les chiffres que je viens de produire.

S'il y a une entreprise précédée d'études sans nombre c'est l'entreprise américaine actuelle. Depuis 1899 jusqu'à 1904 la Commission du Canal isthmique a été attelée au problème.

Elle avait devant elle l'histoire de l'ancienne Compagnie et de ses sept années et trois quarts d'études et de travaux, plus l'histoire de la nouvelle Compagnie de Panama qui a travaillé depuis 1894 à 1904.

Ces études répétées n'ont jusqu'à présent, malgré les conditions bien supérieures où le progrès scientifique place les Américains, produit que des résultats profondément inférieurs à ceux obtenus par les Français. Ceux-ci ont toujours été accusés, même dans les documents officiels américains, chose assez amusante, d'avoir fait des dépenses follement extravagantes à Panama. Les faits répondent à ces assertions d'esprits légers.

Il faut donc abandonner la légende des études insuffisantes pour expliquer le prix de revient des travaux.

La cause des dépenses réside dans le mode de travail et dans les difficultés spéciales du pays, et pas ailleurs.

J'avais extrait, je crois, des travaux de l'ancienne Compagnie leur enseignement véritable et dégagé la racine du mal en remplaçant l'excavateur par la drague, le train par le chaland, la voie ferrée par le canal, la décharge sur rails par la décharge en eau profonde.

Les Américains ont commis une historique erreur en repoussant le système précieux que je leur ai offert comme un don amical (1). Ils ont doublé cette erreur néfaste qui leur coûtera des milliards par une autre qui les place dans l'état d'infériorité que révèlent les chiffres que je viens de citer. En repoussant la méthode de travail sur l'eau que j'avais formulée, ils ont cru pouvoir considérablement améliorer le travail d'excavation

(1) Voir la lettre au Président des États-Unis, p. 129.

à sec en augmentant les dimensions et les poids des machines que nous avons employées autrefois.

C'est là ce qui les a mis avec la même méthode de travail dans un redoutable état d'infériorité. En adoptant, alors que ce n'était plus indispensable, la méthode à sec et en la modifiant suivant leurs conceptions personnelles, les ingénieurs américains se sont donc placés spontanément sur le même terrain que l'ancienne Compagnie de Panama avait dû accepter par suite des conditions initiales de la topographie isthmique.

Ils ont de ce fait rendu à la France, à leurs dépens, le plus grand des services en permettant de montrer par comparaison quelle avait été l'œuvre admirable de l'ancienne Compagnie, combien il est difficile non seulement de l'égaliser, mais encore de l'imiter de très loin.

Le salut de l'œuvre de Panama entre les mains du génie militaire américain.

Il faut espérer que l'observation sincère des conditions des travaux inspirera au génie militaire américain une conception nette de ses devoirs. Le salut de la plus grande conception humaine et l'honneur du nom américain est désormais entre les mains des officiers des États-Unis.

S'ils ne peuvent se soustraire, comme leurs prédécesseurs, par la démission à des procédés de construction qu'ils condamnent et à un plan contraire à toutes les règles de l'art de l'Ingénieur, ils doivent employer une autre méthode pour dégager leur responsabilité.

Elle consiste à dire simplement, ingénument la vérité scientifique, à faire le bilan loyal des fautes commises et l'énumération sincère des principes nouveaux à substituer aux anciens. Ces principes peuvent se résumer ainsi :

1° Le canal à écluses *perpétuelles* est une conception inadmissible à raison de la fragilité de la précieuse communication ainsi réalisée, soit en cas de guerre, soit en cas de tremblements de terre. Un canal à écluses ne peut être conçu que comme une œuvre toute temporaire ;

2° La seule solution définitive admissible est le détroit librement ouvert au niveau des océans ;

3° On peut maintenant facilement et économiquement réaliser le Déroit jusqu'à présent impossible et cela par l'usage de la drague pour l'excavation, par l'usage du chaland pour le transport, par l'usage de la dérocheuse Lobnitz pour rendre dragables les roches, par l'usage du lac de Gamboa comme décharge générale des déblais, par l'usage des chutes du même lac pour électrifier gratuitement tous les instruments des travaux ;

4° On peut pendant l'exécution du « Déroit de Panama » exploiter un canal à écluses provisoires, réalisable en trois ans ou en quatre à cinq ans, suivant la hauteur du premier bief supérieur adopté, et payer les dépenses du creusement du Déroit avec les produits du canal à écluses provisoires.

5° Le canal provisoire à écluses doit être établi de manière à être facilement transformable à niveau en suivant les méthodes décrites devant le Consulting Board (1), et de manière à éviter toute construction instable en cas de tremblement de terre et de bombardement telle que le barrage de Gatun et le barrage près du Pacifique, dit barrage Sosa.

6° Le canal provisoire doit être conçu de telle manière qu'il puisse rapidement être mis en service afin d'éviter que l'Amérique ne soit surprise par une guerre pendant la période de construction qui est une période de danger et de faiblesse.

(1) Voir page 183.

CONFÉRENCE

DEVANT LA SOCIETY OF ARTS

Londres, 23 janvier 1907.

I

LE SYSTÈME DE CONSTRUCTION DU DÉTROIT

Lorsque Charles-Quint, en 1523, envoya de Valladolid à Fernand Cortez l'ordre de rechercher avec soin sur les rives orientales et occidentales de la nouvelle Espagne la solution du « Secret du Déroit » (« El secreto del Estrecho »), il ouvrit la grande question qui est restée pendante devant l'humanité jusqu'à nos jours.

J'espère avoir l'honneur de faire pénétrer dans vos esprits : 1° que ce grand secret est aujourd'hui découvert; 2° que le principe de sa découverte a été trouvé vers 1887, au cours des travaux de l'ancienne Compagnie du Canal de Panama; 3° que la science possédant désormais toutes les solutions, tous les éléments pratiques nécessaires, la réalisation d'un véritable « déroit » entre l'Atlantique et le Pacifique est en train de s'opérer et que les travaux exécutés par les Américains, en ce moment, ne sont que la phase préliminaire de cette grande création.

Ce secret que Fernand Cortez et ses successeurs croyaient trouver dans une ligne de fracture cachée entre les deux masses continentales, résidait en réalité non dans la géométrie naturelle mais dans la topographie et l'hydraulique naturelles de l'Isthme américain, non dans la disposition de ses terres seules, mais dans la disposition de ses eaux et de ses terres.

La nature a bien soudé les deux continents, mais elle a

pourvu cette soudure d'un régime hydraulique tel qu'il suffit de le harnacher convenablement pour lui permettre de déplacer elle-même la masse dont elle a obstrué la communication entre les Océans et pour qu'elle transporte cette masse dans les espaces qui semblent réservés et disposés pour la recevoir.

Définition du « Déroit de Panama ».

Tout d'abord, donnons quelques définitions pour fixer les idées.

Que faut-il entendre par « Déroit de Panama » et en quoi cette nouvelle conception de la voie interocéanique diffère-t-elle du Canal à niveau dont la construction a été entreprise en 1881 par M. de Lesseps ou du Canal à niveau tel qu'il a été conçu par le gouvernement américain et l'Isthmian Canal Commission et soumis par elle à l'International Board of Consulting Engineers, réuni en septembre 1905, par le Président Roosevelt, à Washington.

Le Canal à niveau de M. de Lesseps et celui de l'Isthmian Canal Commission étaient tous deux des canaux à niveau constant communiquant librement avec l'Atlantique (dont les marées à Colon sont insignifiantes, 30 centimètres) mais fermés du côté du Pacifique par des écluses.

Ces écluses empêchent les marées du Pacifique, qui atteignent 3 mètres au-dessus et au-dessous du niveau moyen, de pénétrer dans le Canal et d'y produire des courants gênants pour la navigation.

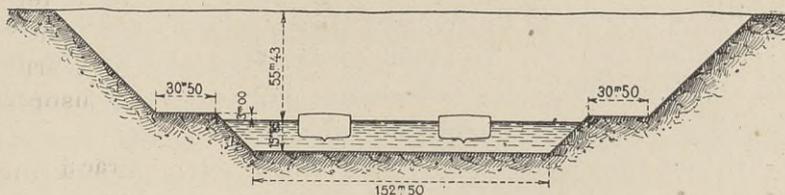
Ces deux projets de Canal à niveau ont même disposition en plan, mais leurs sections en travers diffèrent.

Le Canal à niveau de M. de Lesseps avait 9 mètres de tirant d'eau, 22 mètres au plafond et 40 mètres à la ligne d'eau.

Le Canal à niveau de l'Isthmian Canal Commission avait 10^m,67 de tirant d'eau, 45^m,75 de largeur au plafond, 67^m,10 de largeur à la ligne d'eau en moyenne.

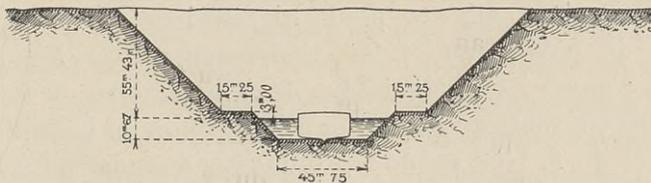
La voie d'eau que j'ai appelée « Déroit de Panama », lorsque je l'ai soumise au Consulting Board en septembre 1905, est libre de toute écluse : elle communique librement avec l'Atlantique et le Pacifique. Elle a 13^m,72 de profondeur aux plus basses marées, 152^m,50 de largeur au plafond et 183 mètres de largeur à la ligne d'eau en moyenne (Culebra).

Profils comparatifs.



Détroit de Panama.

Projet Bunau-Varilla, 1903.



Canal à niveau.

Projet de la Commission isthmique, 1903.

Les coques représentées dans ces dessins sont celles de deux nouveaux Cunard, le *Mauritania* et le *Lusitania*. Leur largeur au maître couple est de 26^m,84 (88 pieds), leur tirant d'eau 10^m,98 (36 pieds). Elles passeraient le Détroit de Panama avec 2^m,75 d'eau (9 pieds) minimum sous la quille. Elles ne pourraient passer le canal à niveau de la Commission de 1903 : il n'a que 10^m,67 d'eau. Comme il y aura dans le canal à écluses adopté actuellement par le gouvernement américain 40 pieds ou 12^m,20 d'eau dans les écluses, ils pourront passer. Mais alors ils demanderont 37 pieds d'eau, car ils flotteront en eau douce. Il n'y aura donc que 90 centimètres environ de marge dans les écluses, ce qui est trop faible. Le présent canal à écluses perpétuelles est donc déjà à l'extrême limite pour les navires en cours de construction et sans aucune marge pour l'avenir. Quant à la tranchée de Culebra, sa largeur est de 200 pieds, les navires Cunard ne s'y croiseront pas.

Les deux profils correspondent comme terrain naturel à l'altitude moyenne du terrain sur l'axe dans la tranchée de Culebra 55^m,43 (181,7 pieds). La profondeur d'eau dans le profil du Détroit de Panama est la profondeur moyenne à mi-marée dans la Culebra.

La valeur relative des deux procédés de construction sur rails ou sur l'eau se manifeste bien si l'on pense que le Détroit de Panama (projet Bunau-Varilla) exigera 15 ans et une dépense de 750 000 000 de francs pour une excavation de 450 000 000 de mètres cubes, alors que le canal à niveau (projet de la Commission du Canal isthmique 1903) exigera 22 ans et une dépense de 1 500 000 000 fr. pour une excavation de 150 000 000 de mètres cubes.

On peut dire, en chiffres ronds, que cette nouvelle voie, lorsque je l'ai présentée, était trois fois plus large et un tiers plus profonde que le plus large et le plus profond canal qu'on ait jusqu'alors conçu à travers l'Isthme de Panama.

En même temps sa largeur, qui est à peu près égale à celle de la Tamise au London-Bridge à marée basse, est trois fois plus faible que celle du Bosphore à Hussein-Pachà et à Kawak.

C'est donc une voie de même ordre de grandeur que les grands fleuves navigables débouchant dans des mers à marée de 6 mètres ou plus (1) (comme la Seine et la Tamise).

C'est une voie ayant des dimensions exactement intermédiaires entre celles d'un détroit naturel comme le Bosphore et celles des plus larges voies artificielles conçues.

On a donc le droit d'appeler une telle voie aussi bien « Déroit » que Canal.

J'ai choisi la première dénomination pour caractériser la suppression de tout ouvrage artificiel, tel que les écluses de marée, que les projets de canal à niveau à Panama ont toujours traînées derrière eux et pour caractériser aussi la liberté absolue de navigation et de croisement dont les navires jouiront comme ils en jouissent dans la Tamise ou la Seine, malgré les courants de marée, et cela à raison de la très grande largeur et de la très grande profondeur données au « Déroit de Panama ».

Courants de marée et d'eau fluviale dans le « Déroit de Panama ».

Au simple énoncé d'une libre communication entre les Océans, une question préalable se pose dans tous les esprits.

Est-ce possible et n'y a-t-il pas une différence de niveau entre les Océans ?

Je réponds immédiatement :

Non, il n'y a pas de différence appréciable entre les niveaux moyens des deux Océans ; mais, comme je l'ai déjà dit, le Pacifique à Panama a des marées qui l'élèvent de 3 mètres au-dessus et l'abaissent de 3 mètres au-dessous du niveau

(1) Ampl. max. de la marée embouchure de la Seine.... 8^m,19
— — — de la Tamise... 5^m,61

moyen. L'Atlantique à Colon, par contre, n'a pas de marées pour ainsi dire. Des variations de niveau de 30 centimètres en dessus ou en dessous du niveau moyen, voilà tout ce que l'on constate.

Ceci exposé, une autre question s'élève à laquelle on a bien souvent répondu négativement à la légère.

Les dénivellations périodiques du Pacifique ne détermineront-elles pas dans le Canal des courants incompatibles avec la navigation ?

C'est la question qui se posa pour Suez il y a bien longtemps.

La Mer Rouge a des marées comme le Pacifique, mais d'une amplitude d'un tiers environ. A une distance de la Mer Rouge à peu près égale au tiers de la distance entre le Pacifique et l'Atlantique se trouve une vaste surface d'eau à niveau constant comme l'Atlantique : les lacs Amers.

On voit donc reproduit à Suez, à l'échelle d'un tiers, l'ensemble des conditions qui se trouvent à Panama. Comme une réduction d'échelle ne modifie pas les pentes, on peut dire que la pente de l'eau à haute et à basse mer est à peu près la même à Suez et à Panama.

En 1856, Lieussou, membre du corps des Ingénieurs hydrographes de la Marine, calcula que le maximum du courant de flot, entre la Mer Rouge et les lacs Amers, serait de $1^m,16$ par seconde et le maximum du courant de jusant serait de $0^m,97$ par seconde.

Ce calcul, formulé treize ans avant l'inauguration du Canal de Suez, a été entièrement confirmé par l'expérience.

Après de longues années de mesurages précis, il a été établi que le maximum du courant de flot était de $1^m,20$ à la seconde et le maximum du courant de jusant de $1^m,1$ à la seconde.

Entre la théorie et l'expérience, il n'y a donc eu qu'un écart de $8/100$ de nœud pour le flot et de $25/100$ de nœud pour le jusant.

Cela prouve quel degré de confiance on peut avoir dans de tels calculs.

La pente entre l'Atlantique et le Pacifique, à haute ou à basse mer, étant à peu près la même qu'entre les lacs Amers et la Mer Rouge à haute ou à basse mer, les courants de marée doivent être à peu près les mêmes dans les deux cas.

Une Commission de l'Académie des Sciences a calculé ces courants pour Panama. (*Comptes rendus de l'Académie*, mai 1887.)

Le maximum calculé pour le courant a été 1^m,17 par seconde, soit 2,27 nœuds à l'heure et cela avec une marée exceptionnelle de 6^m,76 d'amplitude, qui ne peut se produire qu'une fois par an.

Ce courant a été calculé pour un canal de dimensions restreintes ayant 9 mètres de profondeur à Colon et 11^m,50 à Panama, et 21 mètres de largeur au plafond.

Si le climat de Panama était aussi parfaitement sec que celui de Suez, il n'y aurait pas l'ombre d'une justification dans le refus d'admettre pour Panama une solution qui a si admirablement réussi à Suez. Le régime des eaux fluviales est la seule raison que l'on puisse invoquer pour expliquer le rejet de la libre ouverture avec un canal étroit.

La solution complète du régime des eaux de l'Isthme pluvieux de Panama conduit à admettre un écoulement direct dans le Canal, d'un volume d'environ 800 mètres cubes à la seconde, en grandes crues, vers le milieu de sa longueur. Même si l'on suppose que la moitié s'écoulera dans l'Atlantique et l'autre dans le Pacifique, cela engendrerait un courant supplémentaire de 2 nœuds environ (1) qui viendrait s'ajouter au courant de marée.

Dans un canal aussi étroit et aussi peu profond, des courants supérieurs à 2 nœuds et demi seraient inadmissibles.

On se trouve donc naturellement conduit à augmenter la section pour libérer les navires de l'action gênante des courants de marée et d'eau douce cumulés.

Les courants de marée s'augmenteront un peu avec la largeur et la profondeur du Canal, mais les courants dus aux eaux douces diminueront beaucoup plus vite en raison exactement inverse de la section de la voie navigable.

En refaisant les calculs de l'Académie des sciences et en les appliquant aux dimensions que j'ai citées plus haut pour le « Déroit de Panama », on trouve que pour la marée maximale usuelle de 6 mètres d'amplitude, le courant maximum sera de

(1) Cette solution du problème du Chagres est celle que j'ai présentée en 1905 à l'International Consulting Board et qu'il s'est appropriée pour son projet de canal à niveau. Jusqu'alors on s'était toujours limité à écouler les eaux des rivières dans des dérivations, ouvrages dangereux.

2,93 nœuds. Comme la section sera environ 6 fois plus grande, le débit de 400 mètres cubes à la seconde ne produira plus qu'un courant d'un tiers de nœud.

On peut donc dire que le courant maximum auquel les navires seront exposés sera de 3,3 nœuds, vitesse absolument insignifiante étant donnée la largeur de 500 pieds au plafond (152^m,50) et la profondeur variant entre 45 pieds (13^m,73) et 65 pieds (19^m,82).

La marée exceptionnelle du calcul de l'Académie des sciences, qui ne peut se produire qu'une fois par an, en septembre, conduirait à la vitesse maximum de 3 nœuds 14.

Si par une extraordinaire coïncidence elle se rencontrait avec une de ces crues exceptionnelles qui exigent l'écoulement pendant quelques heures de 400 mètres cubes, on n'arriverait pas à trois nœuds et demi.

Cela ne se produirait pas probablement une fois par siècle et durerait quelques heures seulement. On peut donc dire que le courant maximum réel sera de 3,3 nœuds.

On voit donc que le précédent de Suez garantit le succès d'une telle œuvre.

Mais même sans ce précédent, on serait en droit d'y compter avec sécurité, car, je le répète, le « Détroit de Panama » aura les dimensions d'une très grande rivière navigable, comme la Tamise ou la Seine, débouchant comme elle dans une mer ayant des marées de 6 mètres d'amplitude ou plus.

Il ne peut donc se produire dans le « Détroit de Panama » des courants plus gênants que ceux qui se trouvent dans la Seine ou la Tamise.

Comme les courants maxima se produiront environ cinq heures après basse marée (heure lunaire) et dans le voisinage du Pacifique, on pourrait aussi se demander si le sol de cette région sera compatible avec ces courants.

A ce sujet il n'y a aucune crainte à avoir, le sous-sol dans lequel sera ouvert le fond du lit du Détroit est partout compact et résistant. Il faudra sur les 8 derniers kilomètres, avant de déboucher dans le Pacifique, protéger les talus par des empierrements, ce qui sera facile et peu coûteux.

Ainsi donc, non seulement aucune objection ne peut être élevée au point de vue de la navigation contre la création du « Détroit de Panama », cette artère indispensable du com-

merce du monde, mais on peut dire que c'est la seule voie permettant un passage rapide et libre en 4 ou 5 heures, la seule forme libérée de tout ouvrage artificiel, écluses ou barrages, la seule à l'abri des accidents, des explosions, de la destruction en cas de guerre ou de tremblements de terre.

L'outil indispensable à la réalisation du « Déroit de Panama ». La drague.

Il ne suffit pas de définir le type idéal de la communication entre les Océans, il faut encore qu'elle soit pratiquement réalisable.

Avec les moyens ordinairement usités, avec ceux qu'à employés la Compagnie que présidait M. de Lesseps, pendant la presque totalité de son existence, avec ceux qu'à employés la deuxième Compagnie de Panama, la Compagnie Nouvelle, avec ceux qu'emploie aujourd'hui le Gouvernement américain, une telle conception est radicalement chimérique.

Dans les trois cas cités, l'organe de l'excavation est l'excavateur roulant sur rails, l'organe de transport et de décharge le wagon roulant sur rails.

Avec cette méthode, la méthode à sec, les difficultés que causent les pluies diluviennes au maintien des voies sont énormes. Il est nécessaire pour une production relativement faible d'avoir un nombre considérable d'ouvriers. Les accidents, les déraillements sont incessants parce que dans un vaste chantier de terrassement les voies doivent être fréquemment déplacées. Elles ne peuvent par suite être ni bien assises, ni bien ballastées, ni bien assainies. Ces nécessités combinées avec les brusques et violentes pluies des tropiques, la mauvaise qualité de la main-d'œuvre dans ce pays déprimant et fiévreux et la nature argileuse du terrain du massif central, aboutissent à des déraillements, à des accidents sans cesse renouvelés, qui sont la seule, la grande, l'essentielle difficulté de l'exécution à sec du Canal de Panama.

Les estimations faites par la Commission du Canal Isthmique, l'entité officielle américaine chargée de l'exécution du Canal de Panama, fixaient, en septembre 1905, le coût des travaux à sec pour un Canal à niveau à 321 779 731 dollars.

Cette évaluation comprenait 7 millions de dollars pour les

écluses de marée et 10394794 dollars pour des murs de soutènement à Culebra, conception erronée et entièrement abandonnée maintenant.

Cette conception erronée, qui a été une des graves erreurs de la Compagnie Nouvelle de Panama, avait été admise par la première Commission isthmique américaine. On trouvera dans la suite de cet ouvrage comment j'ai, devant le Consulting Board, établi son absurdité (1). Depuis cette démonstration il n'a plus été question de mettre des murs latéraux dans la cuvette du canal.

On peut donc dire qu'en faisant abstraction de ces deux ouvrages, le creusement d'un canal à niveau de 10^m,67 de profondeur et de 45^m,75 de largeur au plafond était évalué en 1905 à 300 000 000 de dollars en chiffres ronds, soit 1 500 000 000 de francs, par la Commission officielle américaine, après six ans d'études et deux ans de travaux effectifs dirigés par elle dans l'Isthme.

La durée d'exécution de ce Canal a été évaluée à plus de vingt années par la Commission en 1901. Et en 1905, on pouvait déduire des documents produits alors par la même Commission qu'elle admettait 22 ans.

Le volume des excavations à réaliser pour le Canal à niveau ainsi conçu, ayant 10^m,67 de tirant d'eau depuis l'Atlantique (k. 0) jusqu'à Miraflores (k. 62) et 13^m,72 de Miraflores (k. 62) au Pacifique (k. 75), un plafond de 45^m,75 de large, des parois à 45° et des bérmes de 15^m,25 de large des deux côtés du Canal à 3^m,05 au-dessus de l'eau, est d'environ 156 000 000 de mètres cubes (205 000 000 de yards cubes).

Le volume de la voie navigable que j'ai nommé le « Détroit de Panama », ayant une profondeur moyenne de 15^m,25, soit 13^m,72 à Colon et 16^m,77 à Panama, une largeur au plafond de 152^m,50, des parois à 45° et des bérmes de 30^m,50 de chaque côté à 3^m,05 au-dessus de l'eau est d'environ 458 000 000 de mètres cubes (600 000 000 de yards cubes).

L'exécution du « détroit » entraînerait donc *grosso modo* une dépense triple et une durée d'exécution triple de celle du Canal à niveau.

D'après les chiffres mêmes de la Commission Isthmique, il faudrait donc dépenser 900 000 000 de dollars, soit 4 500 000 000

(1) Voir page 158.

de francs et attendre entre 60 et 70 ans pour voir passer le premier navire.

De pareils chiffres expliquent suffisamment pourquoi la solution rationnelle et complète du problème de Panama, l'ouverture d'une voie affranchie de toute écluse, librement ouverte aux deux Océans, et suffisamment large pour que les navires puissent naviguer et se croiser sans être gênés par les courants de marée, n'a jamais été envisagée ni discutée avant le mois de septembre 1905, époque à laquelle je l'ai soumise à l'International Consulting Board réuni à Washington.

Si je l'ai fait, ce n'est pas pour la vaine satisfaction de fixer un terme théorique et chimérique aux efforts des ingénieurs.

En leur montrant le but enviable et désirable, je leur ai en même temps montré le chemin pratique pour l'atteindre.

Depuis 1879, quand se réunit le premier Congrès international convoqué par M. de Lesseps, jusqu'en 1905, quand se réunit le dernier convoqué par M. Roosevelt, toutes les nombreuses Commissions qui ont discuté le Canal de Panama ont toutes sans exception oublié une chose. C'était la plus importante, c'était la question essentielle : le procédé d'exécution.

Toutes ces Commissions ont admis comme vérité implicite, comme axiome, que le Canal de Panama serait exécuté à sec.

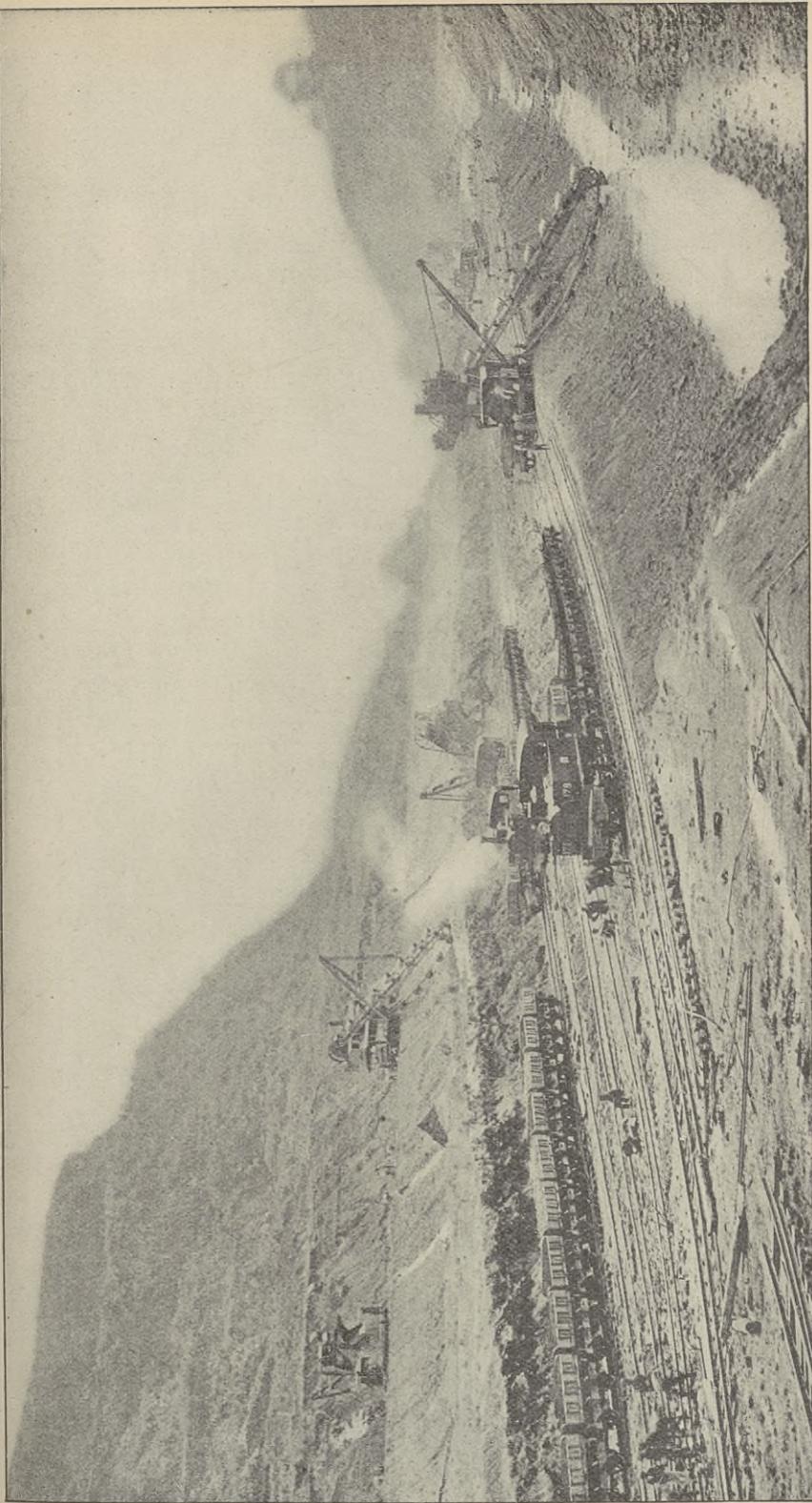
Elles se sont alors débattues entre la forme maximum et la forme minimum compatibles avec ce mode d'exécution, entre le Canal à niveau étroit, fermé par des écluses de marée du côté du Pacifique, et le Canal à écluses à bief de partage plus ou moins élevé au centre de l'Isthme.

Or ce mode d'exécution n'est pas le seul.

A côté de l'excavation à sec sur rails il y a l'excavation sur l'eau. Non seulement ce n'est pas le seul mode d'exécution mais c'est le plus mauvais, le plus coûteux et le moins puissant. Ces défauts qui existent dans les régions tempérées s'accroissent en proportions incroyables dans les conditions climatologiques de l'Isthme.

Avec l'excavation par drague flottante, le transport par chaland et la décharge en eau profonde, toutes les difficultés isthmiques s'évanouissent comme au contact de la baguette d'un magicien.

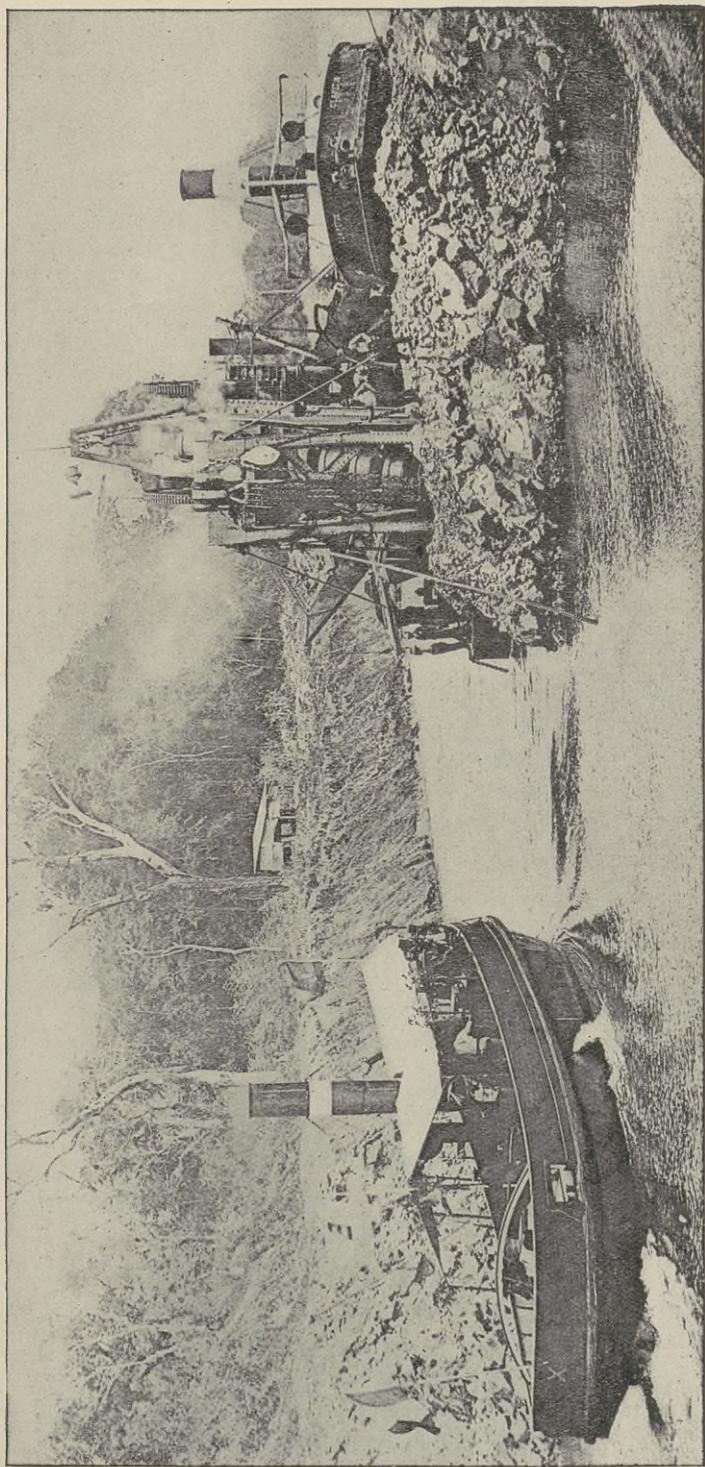
Plus n'est besoin de cette énorme armée de travailleurs changeant à chaque instant les voies pour suivre le progrès des terrassements ; plus n'est besoin d'ouvriers pour les soins incessants qu'exigent des voies mobiles nécessairement mal



Travaux d'excavation à sec. — Les chantiers du Col de Culebra, tels qu'ils étaient installés en 1888 pendant la dernière année des travaux de l'ancienne Compagnie de Panama, présidée par M. de Lesseps.

Ces chantiers représentent l'installation type de l'excavation à sec sur une grande échelle. On conçoit que cet échec de voies constamment déplacées par suite de la marche des excavations et la modification correspondante des terrasses ne peut être assaini et ballasté comme il le faudrait. — Avec l'excavation sur l'eau, la voie est toujours prête sans l'intervention de la main humaine, avec l'excavation à sec, la voie est toujours en mauvais état.





Travaux d'excavation sur l'eau. — Drague travaillant dans du rocher miné à travers les collines du Mindi, près de Colon, en 1887.

A la suite de l'excavation du rocher noyé que j'avais réussi à extraire moyennant une dépense de 8 francs le mètre cube par des dragues après un minage suivant un procédé nouveau, dans le canal près de Colon, l'entrepreneur chargé de la section du Mindi abandonna l'excavation à sec déjà installée et lui substitua le minage par mon procédé et ensuite le dragage. Ce qui était vrai déjà en 1887 est dix fois plus vrai aujourd'hui, grâce aux progrès réalisés dans le brisage mécanique des roches noyées et dans les dragages.



assises et non ballastées pour supporter un trafic excessif; plus n'est besoin de lutter contre les brusques déluges tropicaux qui amènent sur les voies les détritrus arrachés aux parois de la tranchée, les submergent, ruinent leur assiette ou les ensevelissent; plus n'est besoin de s'arrêter à cause des déraillements incessants que ces conditions inguérissables du sol et du climat déterminent à tout instant, bloquant des journées entières les communications entre les points de chargement et de déchargement; plus n'est besoin de lutter contre les éboulements qui arrêtent le travail des excavateurs ou s'ils se produisent sur les voies paralysent par répercussion un matériel et une main-d'œuvre considérables; plus n'est besoin de s'ingénier pour faire circuler des trains sur des décharges, dont les pluies remplissent les vides et provoquent les glissements; plus n'est besoin d'hésiter entre ce Charybde et ce Scylla, soit d'avoir des wagons et des locomotives puissants et lourds pour évacuer de grosses masses de terrain en subissant la lourde pénalité de plus nombreux déraillements plus difficiles à réparer, ou d'avoir un matériel plus léger circulant plus facilement mais plus faible et déplaçant des masses insuffisantes.

Plus n'est besoin d'exposer au soleil et à la pluie alternativement les milliers d'ouvriers luttant contre la nature, et avec cela de subir le cortège douloureux des fièvres et des pneumonies qui découlent de cet inhumain travail.

Avec l'excavation sur l'eau par la drague, le transport sur l'eau par chalands, la décharge sur l'eau en ouvrant les portes de fond du chaland dans un bassin profond, toutes ces difficultés s'évanouissent.

La puissance de portage de l'eau est indéfinie et l'on peut choisir les plus puissants organes d'excavation. En fait, les dragues ayant des godets d'un yard cube (764 litres) sont aujourd'hui courantes. Comme il en passe 15 par minute, elles sont capables de remonter du fond plus de 22 000 yards cubes par jour de 24 heures.

En tenant le compte le plus large des arrêts et autres causes de diminution de travail, le plus pessimiste des dragueurs ne refusera pas à ces instruments un rendement effectif de 7 000 yards cubes mesurés dans l'excavation (5 348 mètres cubes).

Et des dragues de cette capacité ne sont pas les plus puissantes. Il en existe en Grande-Bretagne qui ont des godets de

deux yards cubes (1 528 litres) environ, c'est-à-dire qui peuvent donner un rendement utile pratique de 14 000 yards cubes par jour (10 700 mètres cubes) (1).

Avec le transport par eau, un chaland peut transporter facilement 2 000 tonnes de matières, soit environ 1 000 yards cubes mesurés dans l'excavation et même plus (764 mètres cubes).

Le personnel à bord d'une drague faisant cet énorme travail est d'une quinzaine d'hommes si elle est à vapeur; d'une dizaine, si elle est mue électriquement. Le personnel à bord d'un chaland, est de deux ou trois hommes. Le déchargement est automatique et n'exige que l'effort de la gravité.

Et ce personnel vit à bord de la drague et des chalands, parfaitement protégé du travail et de la pluie, n'ayant qu'à exercer un travail de contrôle et de surveillance des machines, travail sans effort physique. Le personnel est en nombre infime, parfaitement défendu contre les intempéries, comme le matériel est lui-même parfaitement indifférent à la pluie ou au soleil, à la nuit comme au jour.

Cette admirable et complète solution de toutes les difficultés isthmiques se reflète naturellement dans les prix de revient.

Je ne veux retenir que ceux qui sont inscrits dans le rapport de l'International Consulting Board, recueillis au cours de ses enquêtes de 1905.

Dans l'appendice K du rapport, on trouve que l'excavation à sec de terre et de roche tendre à Culebra a coûté pour la désagrégation (minage) 11,25 sous américains ou 56 centimes et quart, et que l'excavation, transport et décharge a coûté 60,16 sous américains ou 3 fr.,008 par yard cube (0 m. c. 764).

Dans l'appendice J du même rapport, on trouve que l'excavation par drague, transport et décharge en mer a coûté 7 sous américains ou 0 fr. 35 à Colon et 8 sous américains ou 0 fr. 40 à Panama, par yard cube (0, 764 m. c.). La différence entre ces deux derniers prix de 7 et 8 sous tenant à un plus long transport dans le second cas.

Il est à remarquer que l'excavation à sec a été réalisée avec

(1) Au cours de la discussion devant la Society of Arts, Mr. Moir, membre de la puissante Société d'entreprise S. Pearson and Son, a confirmé ce point en disant que sa maison venait de commander une drague enlevant 24 000 yards cubes par jour, à 45 pieds de profondeur (voir page 97).

du matériel neuf amené par l'administration américaine et l'excavation par drague a été réalisée avec du vieux matériel de l'ancienne Compagnie resté sans travail depuis seize ans.

Si les dragues et les chalands employés avaient été de la force actuellement courante, le prix aurait été incontestablement abaissé de moitié à peu près et réduit par yard cube à 3,75 sous américains ou 0 fr. 185.

Mr. Welcker, délégué hollandais dans l'International Consulting Board, a fait en effet remarquer dans le même appendice J que le prix de revient était en Hollande de 0 fr. 25 par mètre cube avec transport de 6 à 7 kilomètres c'est-à-dire de 3,75 sous américains par yard cube, soit 0 fr. 185.

Ainsi nous voyons que les prix portant sur des travaux effectifs et réels recueillis par l'International Consulting Board établissent une relation de 1 à 16 entre le coût des travaux d'excavation, transport et décharge à sec et ceux effectués sur l'eau.

Cette énorme disproportion est entièrement en harmonie avec ce qu'on doit attendre de deux procédés dont l'un antagonise toutes les forces naturelles et dont l'autre les utilise.

Emploi de l'énergie gratuite.

Mais ce n'est pas tout, l'établissement du dragage, transport et décharge sur l'eau, se lie, comme je le montrerai plus loin, avec l'établissement d'un barrage à Gamboa à travers le Chagres, la grande rivière qui suit le canal sur 44 kilomètres du côté de l'Atlantique.

Les chutes de ce barrage placé un peu à l'amont du point où le Chagres entre dans la ligne du canal, permettent la production d'une force de 32 000 chevaux environ, auxquels viendront s'ajouter 16 000 chevaux donnés par les chutes du barrage de Bohio. On assurera ainsi la distribution gratuite de la force nécessaire aux dragues, chalands et instruments de désagrégation de la roche, d'ailleurs très tendre en général.

Cette électrification de l'ensemble du grand chantier permettrait de réduire encore notablement le coût déjà si minime des dragages et du transport des déblais.

Dragage du rocher.

Mais dira-t-on si l'on emploie la nouvelle et puissante méthode de dragage, qu'advient-il pour les rochers ?

Si grande que soit l'économie de l'excavation des terrains meubles par la drague, l'enlèvement des rochers noyés n'est-il pas un insurmontable obstacle ?

Ici, nous touchons à l'une des questions techniques les plus singulièrement ignorées même par les ingénieurs réputés habiles et compétents.

Il y a vingt-cinq ans, quand j'étais à l'École des Ponts et Chaussées, on enseignait que c'était une opération coûtant trente à trente cinq francs le mètre cube.

Plus récemment encore, on pouvait voir la Commission du Canal isthmique, dans son rapport du 16 novembre 1901, énoncer solennellement dans sa liste de prix, que l'extraction du rocher sous l'eau coûterait 4 dollars 75 sous, ou 23 fr. 75 le yard cube (0,764 m. c.), ce qui fait 31 francs le mètre cube.

Ce prix exorbitant habite encore le cerveau de bien des ingénieurs.

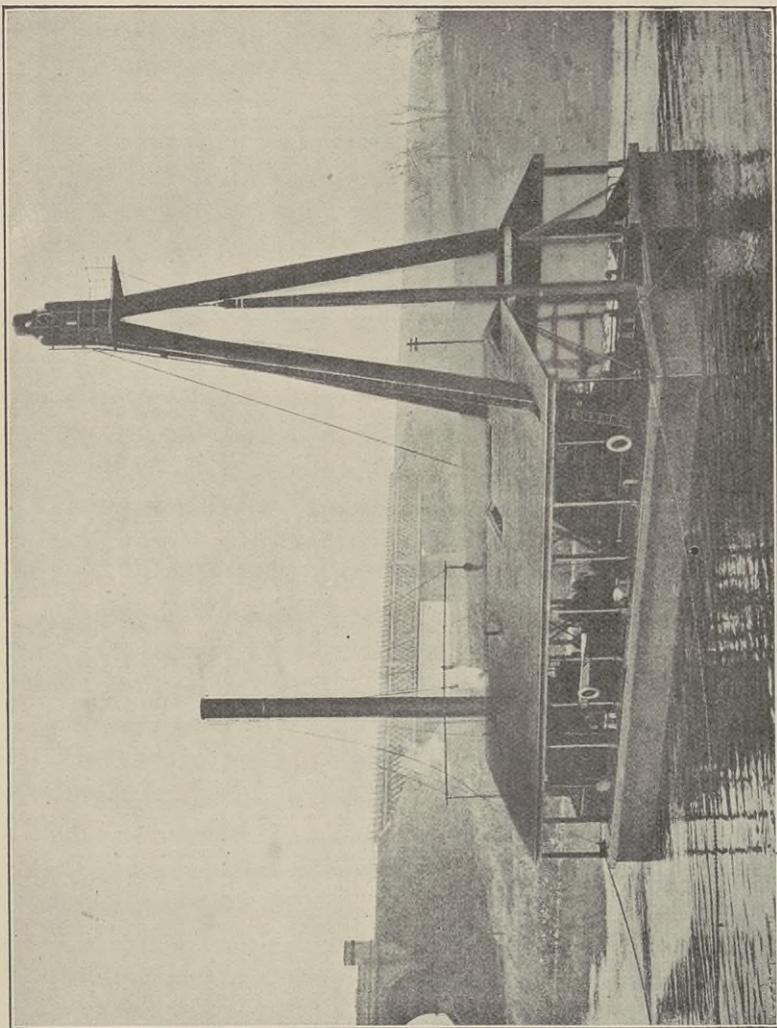
En 1885, à Colon, me trouvant dans l'obligation d'enlever du rocher noyé, je le minai par un procédé qui le réduisait entièrement en morceaux gros comme un pavé et je le draguai ensuite sans que la drague remarquât si on lui donnait du sable ou du rocher à enlever.

Cela me revint, malgré la méthode rudimentaire de minage employée, à environ 8 francs le mètre cube, 6 francs le yard cube, soit le quart du prix que la Commission isthmique, composée des plus éminents ingénieurs américains, admettait encore seize ans plus tard.

Et cependant, depuis mes travaux de 1885, le progrès avait marché, Lobnitz, le grand constructeur de Renfrew, avait inventé la dérocheuse pour Suez. C'est un pilon d'acier terminé par une pointe amovible, qui détruit le rocher le plus dur en morceaux gros comme la tête d'un homme.

Plus le pilon est lourd, plus la production est grande et plus le coût par yard cube diminue.

Graduellement, le poids du pilon a monté de 4 tonnes à



Dérocheuse Lobnitz de 12 tonnes, travaillant dans le canal de Manchester.

Le pieu d'acier terminé par une pointe amovible en forme d'obus tombe de 3 mètres environ et, manœuvré comme un mouton enfonçant des pieux, il pénètre de 0^m,75 dans la roche la plus dure en la brisant. Le prix par mètre cube observé en 10 mois de travail dans le canal de Manchester a été de 1,20 par mètre cube. Moyennant cette dépense, le rocher devient dragable comme du sable.



20 tonnes. Il atteindra certainement 50 tonnes. Alors le prix de concassement de la roche sera insignifiant.

Déjà aujourd'hui, pour des rochers de dureté moyenne, le coût du concassage est inférieur à 1 fr. 25 par yard cube.

Dans le numéro de l'*Engineering* du 17 août 1906, on trouve une note de Mr. Hunter l'ingénieur en chef du canal de Manchester établissant que le prix de revient de concassage de la roche dans ce canal pendant 10 mois de travail a été inférieur à 0 fr. 90 par yard cube, et cela malgré les pertes de temps dues au passage des navires.

La quantité minimum de roche concassée par mois a été 5622 yards cubes (4,294 m. c.), la quantité maximum 10,180 yards cubes (7,778 m. c.), la quantité moyenne 6,403 yards cubes (4,892 m. c.) le minimum a donc été de 225 yards cubes par jour.

Mr. Quellenec, ingénieur conseil du Canal de Suez et membre du Consulting Board, lui a remis une note établissant que le prix de concassage à Suez était de 25 sous américains par yard cube par la même méthode Lobnitz (1 fr. 25).

Par une des plus singulières et des moins explicables omissions, ce très important document n'a point été inséré ni dans le rapport du Consulting Board, ni dans ses annexes.

Il n'a pas été fait non plus mention d'aucune des données que Mr. Hunter a dû fournir au Board sur les résultats qu'il obtenait dans le canal de Manchester et qui concordaient si rigoureusement avec ceux qu'on obtenait à Suez.

Ces résultats si économiques ont été réalisés avec des pilons de douze et quinze tonnes.

Si on compare le rocher de Culebra avec celui du canal de Manchester, on trouve que sauf quelques filons durs il est infiniment plus tendre que les grès du canal de Manchester.

Le prix de Manchester est donc un maximum et il n'y a nul doute dans mon esprit que le prix de concassage tomberait à 11 sous américains (0 fr. 55), prix actuel du minage à explosif et à sec, même en faisant marcher à la vapeur les pilons Lobnitz.

L'emploi gratuit de l'électricité des chutes du Chagres à Gamboa et l'augmentation du poids des pilons de 15 à 40 ou 50 tonnes réduira à quelques sous ce concassage, à coup sûr au-dessous de la moitié du prix constaté à Manchester.

Pourquoi le Consulting Board n'a-t-il pas inséré la note de Mr. Quelleneq, l'ingénieur conseil de Suez, sur les prix de revient réels du concassage du rocher à Suez ?

Pourquoi aucune mention n'a-t-elle été faite dans ce rapport des renseignements qu'a dû fournir Mr. Hunter, l'ingénieur en chef de Manchester ?

Pourtant, il y a dans l'appendice J la preuve que ces importants renseignements ont été fournis au Board.

Mr. Wallace, le premier ingénieur en chef du Canal, nommé par le gouvernement américain, avait dit (page 380 du rapport) :

« En ce qui touche l'excavation de la roche sous l'eau, il y a un procédé dont il n'a pas été fait mention dans aucun de ces rapports, mais je pense que M. Bunau-Varilla en a parlé, c'était le brisage du rocher par ce qui est appelé le travail au ciseau. »

Mr. HUNTER. — « Vous voulez dire le système Lobnitz ».

Mr. WALLACE. — « Je ne sais comment vous l'appellez ».

Mr. HUNTER. — « Vous n'avez peut être pas besoin de vous étendre la dessus : nous avons discuté cela d'une façon prolongée ici, c'est un procédé avec lequel il se trouve que Mr. Quelleneq et moi nous sommes tous deux extrêmement familiers. »

Le silence du Board dans ce rapport sur les faits que les deux éminents ingénieurs des canaux de Manchester et de Suez ont dû lui fournir est d'autant plus suspect que le prix adopté par lui pour l'excavation du rocher sous l'eau est de deux dollars et demi, ou douze francs cinquante le yard cube. D'après les prix de concassage fournis par le délégué anglais, Mr. Hunter (18,5 sous américains), et le prix de dragage fourni par le délégué hollandais, Mr. Welcker (3,75 sous américains), ce prix aurait dû être fixé à 21,75 sous américains, ou 1 fr. 09 le yard cube. Le prix de l'excavation du rocher sous l'eau d'après les éléments fournis au Board est donc plus de dix fois inférieur à celui qu'il a adopté.

Et ce prix lui-même eût dû être considéré comme un maximum à raison des économies qu'entraînera l'emploi de la gratuite énergie électrique fournie par le barrage de Gamboa, pour alimenter en force motrice les dragues, les concasseurs de

rocher et les chalands porteurs. Il sera alors probablement ramené à 15 sous américains (0 fr. 75) par yard cube.

On peut résumer cet exposé des avantages de la méthode de dragage substituée à la méthode à sec en disant qu'elle est au moins seize fois plus économique quand le terrain n'exige pas de minage préalable. Si le terrassement nécessite cette préparation, le concassage par le procédé Lobnitz dans la méthode humide revient moins cher que le minage à l'air dans la méthode à sec.

Voilà quelle est la vérité scientifique, celle qui résulte de l'expérience des grands travaux hydrauliques poursuivis à Suez, à Manchester et sur nombre d'autres points.

Je n'hésite pas à dire que ce chiffre de 11 sous américains ou 0 fr. 55, que j'admets comme un maximum pour la destruction du rocher à la Culebra, par de gros pilons de 40 à 50 tonnes soulevés électriquement et qui peut paraître hardi, le semblera moins si l'on pense que les Japonais à Okasaki et à Yokohama, dans un rocher tendre tout à fait semblable à celui de la Culebra, avec de petits pilons mus à la vapeur, dépensent environ quatre fois moins par yard cube.

Dans l'exposé que j'ai fait en septembre 1905 devant le Consulting Board du projet du « Détroit de Panama », je n'avais pas voulu aller jusqu'à la limite des avantages du système d'excavation par l'eau et je m'étais borné à demander pour lui qu'on admît qu'il était trois fois plus puissant et trois fois plus économique en moyenne, alors qu'il l'est seize fois plus pour les terrains meubles et quatre fois plus pour les terrains rocheux.

Je pensais que cette extrême modération permettrait une plus facile admission de mon postulat. Cette humble proposition suffisait d'ailleurs pour établir qu'il ne coûterait pas plus d'argent ni plus de temps de creuser le « Détroit de Panama » par dragage que de creuser l'étroit canal à niveau fermé par des écluses de marée à sec.

Mais cette modération ne désarma pas les partisans incoercibles de l'exécution à sec. Je fus repoussé avec perte par le Consulting Board. Ni la grandeur du but à atteindre, ni l'évidence des chiffres recueillis par lui-même ne purent le convaincre.

Arguments erronés invoqués pour rejeter le travail à la drague sans lequel le Déroit de Panama resterait chimérique.

Le Consulting Board se contenta de passer sous silence les chiffres éloquents relatifs à l'extraction du rocher sous l'eau obtenus dans les canaux de Suez et de Manchester. Il adopta un prix unitaire dix fois plus haut que celui qui résultait de ces travaux. Cela lui permit de condamner la méthode proposée.

C'est ce que nous trouvons à la page 32 du rapport de la majorité du Board, signé par Messieurs G. W. Davis, W. Barclay Parsons et W. H. Burr, représentants du gouvernement américain; Guérard, délégué du gouvernement français; Hunter, délégué du gouvernement anglais; Eugen Tincauzer, délégué du gouvernement allemand; J. W. Welcker, délégué du gouvernement hollandais et Quellennec (1), ingénieur en chef du Canal de Suez.

« La revendication faite par M. Bunau-Varilla que l'excava-
« tion peut être réalisée à bas prix s'appuie principalement sur
« l'espoir que grâce à l'usage de la puissance électrique déve-
« loppée au barrage de Gamboa et distribuée le long de la ligne,
« la dépense de charbon pour produire la vapeur sera éliminée
« et le coût de toutes les opérations mécaniques réduit dans une
« proportion qui a paru au Board une estimation très exagérée
« de l'économie ainsi obtenue et en plus sur l'espoir que l'exca-
« vation sur l'eau peut être faite à bien meilleur marché qu'en
« excavant à sec. Ce coût réduit du dragage est probablement
« vrai pour le sable, l'argile et autres matières qui peuvent être
« remuées sans être ébranlées par quelque autre opération préli-
« minaire. Mais presque tous les terrains à draguer pour la
« transformation sont classés dans les devis du Board comme
« rochers et auront à être ameublés en minant sous l'eau, en bri-
« sant ou pulvérisant, comme dans la méthode Lobnitz ou par
« toute autre méthode qui peut être décidée. D'autre part, on
« doit se souvenir que la plus grande part du dragage doit être
« faite sous 40 ou 50 pieds d'eau, ce qui ajoutera grandement

(1) Mr. Quellennec, tout en ayant signé ce rapport, a fait au cours des séances du Board des réserves qui détruisent en fait l'adhésion que sa signature paraît donner aux conclusions du document.

« au prix de revient. Les prix unitaires adoptés par le Board
« représentent d'après son meilleur jugement le coût de l'exca-
« vation des diverses classes de terrain que la transformation
« nécessiterait avec les meilleures méthodes et machines en
« usage. »

Il est à peine nécessaire de faire remarquer les erreurs fondamentales que ce paragraphe contient. 1° Dans une drague où la force motrice ne coûte rien, il est absolument indifférent que le dragage soit fait à 20 ou à 50 pieds. 2° Il est absolument faux de dire que presque tous les terrains à draguer soient du rocher. La Commission du Canal isthmique a admis qu'il y avait environ moitié de roche tendre, un quart de roche dure et un quart de terrains meubles dans le canal, en dehors des sections maritimes, c'est-à-dire du k. 24 au k. 62. Dans les sections maritimes, entre l'Océan Atlantique et le k. 24 et entre le Pacifique et le k. 62, presque tout est en terrain meuble.

La personne qui a écrit cette partie du rapport a évidemment considéré qu'il était nécessaire de faire cette assertion si contraire à tous les faits matériels en vue d'augmenter l'importance des objections illusoires tirées du prix d'excavation adopté pour la roche sous l'eau. Cette assertion erronée s'harmonise avec l'adoption du prix prohibitif et dix fois trop haut de 12 fr. 50 par yard cube (2 dollars 50), soit 16 fr. 40 par mètre cube, pour l'excavation du rocher sous l'eau et avec la suppression des informations de MMr. Quellenec et Hunter relatives aux véritables prix dix fois plus faibles établis à Manchester et à Suez.

C'est ainsi que la nécessaire substitution de la drague à l'excavateur fut condamné en 1905 pour ce motif imaginaire. « Le terrain est trop dur ».

La première Commission formée après la chute de l'ancienne Compagnie était aussi arrivée aux mêmes conclusions et en 1890 avait condamné le système de dragage que j'avais installé au centre de l'Isthme sur les deux versants du massif le plus élevé, du Col de Culebra.

J'avais en fait inauguré le dragage de la Culebra à la fin de 1888, mais les travaux de dragage furent interrompus à leur début par la crise financière qui a paralysé l'achèvement du Canal.

Cette Commission formée d'autorités techniques connues condamna ma méthode en 1890, mais cette fois ce fut pour une

raison contraire de celle que le Consulting Board mit en avant en 1905.

« L'idée de se faire un auxiliaire du principal ennemi à « redouter sur des chantiers de cette importance, c'est-à-dire « des eaux pluviales si abondantes dans ce pays, est certaine- « ment très séduisante. »

Et la Commission concluait en disant que la mollesse des terrains y faisait obstacle. Elle terminait en disant : « On sera « peut-être obligé d'y recourir (à la drague) pour la mise à fond « c'est une ressource à ne pas perdre de vue. »

Les raisons, on le voit, ne manquent jamais au juge qui veut condamner.

Il convient d'autre part, pour montrer la nature vraie des objections soulevées par le Board, d'appeler l'attention sur ce fait que dans son rapport elle a interverti les deux facteurs de l'économie qui résultera du système proposé.

Le rapport représente l'emploi gratuit de la puissance électrique du lac de Gamboa comme le principal élément dont j'attends des économies, alors que ce n'est qu'un élément subalterne. Il présente en outre, comme un élément subalterne ce que j'ai exposé comme étant la clé de voûte du système de construction, son principal et essentiel élément : la substitution du travail sur l'eau au travail à sec.

Le « Déroit de Panama » ne peut être réalisé autrement que par le dragage, mais que l'électricité soit gratuite ou non, c'est la différence entre le coût de l'établissement et de l'entretien pendant 10 ans d'une station centrale distribuant sur les chantiers 24 000 chevaux et le coût du harnachement de chutes donnant brut 48 000 chevaux.

Admirables conditions présentées par la nature pour l'emploi du système d'excavation sur l'eau.

Après avoir montré les qualités exceptionnelles de la méthode de dragage, ces brillantes qualités auxquelles ses ennemis n'ont été capables que d'opposer une condamnation illogique et sans fondement, j'ai à dire avec quelle merveilleuse perfection elle peut s'adapter aux conditions présentes de l'Isthme.

Si nous jetons un regard sur le profil en long du terrain naturel, nous trouvons trois zones distinctes :

1° La masse centrale qui s'étend du kilomètre 46 au kilomètre 57; (1)

2° Les hautes vallées du Chagres et du Rio Grande k. 24 à k. 46 sur le côté Atlantique et k. 57 à k. 62 sur le côté Pacifique;

3° Les basses vallées, les sections maritimes des deux rivières, les parties où le fond du lit est au-dessous du niveau moyen de la mer. Elles s'étendent sur le côté Atlantique du k. 0 au k. 24 et sur le Pacifique, du k. 62 au k. 75.

L'élévation du terrain sur l'axe est en moyenne sur la longueur totale de 75 kilomètres (46,62 milles), de 14^m,55 (47,7 pieds) au-dessus du niveau moyen des Océans, mais cette altitude du terrain varie considérablement dans les trois groupes naturels dont j'ai parlé.

Dans le massif central, l'altitude moyenne sur l'axe est de 55^m,43 (181,7 pieds), l'élévation maximum du terrain sur l'axe est de 101^m,66 (333 pieds), elle est de 47^m,57 (149,4 pieds) au commencement de la section, au kilomètre 46 et de 33^m,78 (110,7 pieds) à la fin, au kilomètre 57.

Entre la section maritime, côté Atlantique, et le massif central, c'est-à-dire entre les kilomètres 24 et 46, l'altitude moyenne n'est plus que de 14^m,63 (47,9 pieds). Dans la section correspondante, côté Pacifique, elle est de 16^m,25 (53,3 pieds) entre les kilomètres 57 et 62. Enfin dans les parties maritimes, l'altitude moyenne tombe à 3^m,68 (11,9 pieds) du côté de l'Atlantique, du k. 0 au k. 24. Elle est au-dessous du niveau moyen sur le côté du Pacifique, — 0^m,69 (— 2,3 pieds) du k. 62 au k. 75.

Un regard sur la configuration de l'Isthme montre que le gros de l'œuvre d'excavation devra se faire sur les 11 kilomètres qui s'étendent entre les k. 46 et 57.

En fait, dans le volume de 156 000 000 de mètres cubes (205 000 000 de yards cubes) qu'il y aurait à excaver sur les 75 kilomètres du Canal pour obtenir le Canal à niveau de la Commission du Canal isthmique, projet de 1905 (35 pieds de profondeur, 150 pieds de largeur au plafond et bermes de 50 pieds) il n'y a pas moins de 87 000 000 de mètres cubes (114 000 000 de yards cubes) à extraire du massif central sur ses

(1) Ce kilométrage est le kilométrage français, il s'applique aux profils des projets avec bief supérieur à 130 pieds ou à 170 pieds au-dessus de la mer. Le kilométrage du projet américain avec bief à 85 pieds est un peu changé par suite du déplacement d'environ trois kilomètres de l'origine du kilométrage français à Colon.

11 kilomètres de longueur. Ainsi plus de la moitié de l'excavation totale s'y trouve concentrée.

Presque la même chose peut se répéter au sujet du « Déroit de Panama » avec ses 500 pieds de largeur au plafond, sa profondeur moyenne de 50 pieds et ses bermes de 100 pieds.

Le « Déroit » demande une excavation de 458 000 000 de mètres cubes, soit 600 000 000 de yards cubes.

Sur ce total, 199 000 000 de mètres cubes ou 260 000 000 de yards cubes doivent être excavés sur les 11 kilomètres du massif central.

Dans ce cas, ce n'est plus tout à fait la moitié du cube total, ce n'en est que les 4/9.

Le lac de Gamboa. Son rôle dans l'excavation du Déroit.

Si nous regardons la carte de l'Isthme, nous voyons que le Chagres, la principale rivière de l'Isthme, entre dans la ligne du Canal au kilomètre 45. Juste au-dessus de ce point la rivière passe entre deux montagnes, le Cerro Obispo et le Cerro SantaCruz, toutes deux formées d'un poudingue dur et homogène.

Les pentes rocheuses des deux montagnes se rencontrent sous le lit du Chagres, à environ 11 mètres au-dessous du lit, ou en d'autres termes au niveau de la mer.

L'ensemble débarrassé des couches sédimentaires et de roche tendre forme une sorte de V d'environ 150 mètres (500 pieds) de largeur à la base (niveau de la mer) et de 675 mètres (2 250 pieds) d'ouverture en gueule à l'altitude de 48 mètres (160 pieds) au-dessus de la mer.

C'est une admirable place pour un barrage de maçonnerie. Les fondations devront se faire à travers une couche de 11 à 14 mètres d'alluvions sur lesquelles coule la rivière. Cette partie du travail peut être faite, soit avec des fouilles ouvertes et asséchées à la pompe, soit avec des caissons à l'air comprimé.

L'ancienne Compagnie de Panama avait prévu un barrage à cet emplacement pour contrôler les crues de Chagres, grâce à la formation d'un lac régulateur dont l'élévation maximum devait être aussi de 60 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Par une incroyable erreur, la nouvelle Compagnie de

Panama avait, sans raison plausible, abandonné cet emplacement parfait et transporté le barrage à Alhajuela, 16 kilomètres (10 milles) plus haut dans la vallée.

La Commission du Canal isthmique, dans son projet de canal à niveau de 1905, était revenue aux idées de l'ancienne Compagnie et avait de nouveau proposé le même emplacement et le même niveau maximum (200 pieds).

L'érection du barrage et la formation subséquente du lac est une nécessité absolue de l'exécution du « Détroit de Panama » l'organe essentiel de l'exécution par dragage.

En sus du rôle imposé au lac par l'ancienne Compagnie et par la Commission du Canal isthmique, à savoir d'être le régulateur des crues du Chagres, j'ai proposé :

1° Qu'il devint le bassin de réception de tous les déblais dragués du k. 24 au k. 62, c'est-à-dire dans toute l'extension de l'Isthme en dehors des parties maritimes;

2° Qu'il devint le générateur de la puissance électrique qui alimentera tout le matériel d'excavation et de transport du k. 46 au k. 57;

3° Qu'il fournisse par simple déversement dans le bassin de dragage toute l'eau nécessaire au maintien du niveau de la navigation, la chute d'une partie de cette eau étant utilisée pour permettre aux chalands porteurs de passer à travers les écluses qui les élèveront du niveau des dragues au niveau du lac.

Quelques chiffres suffiront à prouver que le lac de Gamboa peut aisément remplir les quatre fonctions qui lui incombent.

La surface à 61 mètres d'altitude (200 pieds) est de 11 209 hectares ou 43,3 milles carrés. A l'altitude de 51^m,85 (170 pieds) elle est de 7 973 hectares (30,8 milles carrés). A 40,26 d'altitude (132 pieds) elle est encore de 3 857 hectares (14,9 milles carrés).

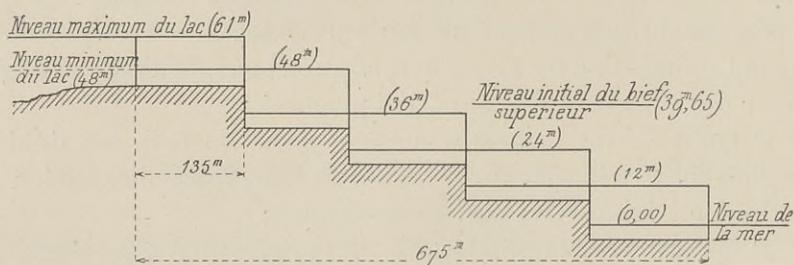
Le volume de ce lac entre le terrain naturel et la surface à l'altitude de 61 mètres au-dessus de la mer est de plus de 2 milliards de mètres cubes (2 600 millions de yards cubes).

A l'altitude de 160 pieds, sa capacité est encore de 950 millions de mètres cubes ou plus de deux fois le volume du « Détroit de Panama » tout entier.

J'ai proposé de consacrer tout l'espace compris entre la surface à l'altitude 160 pieds et la surface à l'altitude 200 pieds

au rôle de contrôleur des crues et de magasin d'eau. Il est dès lors évident qu'il reste au dessous du niveau minimum beaucoup plus qu'il n'en faut pour emmagasiner tous les matériaux dragués.

On doit remarquer que ce magnifique bassin de dépôt est situé à moins d'un kilomètre de l'origine de la tranchée du massif central et que rien n'est plus aisé que d'établir des échelles d'écluses entre le bief de dragage et le lac, en se



servant des collines rocheuses qui séparent le lac et la tranchée du Canal.

Nous voyons que le système de dragage est assuré de son plus indispensable élément de succès : la présence dans le centre de l'Isthme d'un bassin de décharge ample et profond, capable de recevoir plus de déblais qu'il n'est nécessaire.

Le Massif central présente des conditions parfaites pour le dragage.

Arrivons aux dragages eux-mêmes.

Le massif central avec son altitude maximum de 101^m,66 (333 pieds) est maintenant percé, grâce aux travaux exécutés par les Français, jusqu'à l'altitude de 48 mètres (160 pieds) au-dessus de la mer (excepté sur une longueur d'environ 200 mètres où une hauteur de 10 mètres environ a été respectée pour le passage des trains, éminence aujourd'hui rasée d'ailleurs par les Américains).

Nous pouvons donc passer d'un Océan à l'autre sans nous élever plus de 48 mètres.

Dès lors en barrant aux deux extrémités des 11 kilomètres

du massif central, par deux petits barrages, les vallées de l'Obispo et du Rio Grande jusqu'à un niveau égal ou supérieur à 48 mètres, tout le massif central sera couvert par une nappe continue d'eau et des dragues peuvent être installées dans toute la longueur.

Mais ces dragues doivent flotter le plus haut que possible pour atteindre les terrains les plus élevés.

En adoptant comme premier niveau de dragage l'altitude de 51^m,85 (170 pieds) le terrain placé au-dessous de ce niveau sera enlevé à la drague.

Pour le terrain situé plus haut, il sera nécessaire de l'excaver à sec et de le précipiter dans le bief de dragage, où il sera dragué puis transporté et déchargé dans le lac de Gamboa.

Une autre méthode consisterait à décharger directement le terrain dans des chalands qui le transporteraient jusqu'au lac.

Le volume à traiter de la sorte montera à environ 25 000 000 de mètres cubes (33 000 000 de yards cubes).

Comme nous l'avons dit souvent, la difficulté essentielle de l'excavation à sec ne consiste pas dans l'excavation, elle consiste dans le transport et la décharge.

L'excavation de la partie haute de la tranchée avec la précipitation immédiate des charges de wagons dans le bief, du haut d'estacades fixes, sera relativement très facile.

Le coût de l'excavation sera aisément réduit de moitié d'après la décomposition même des dépenses fournies au Consulting Board et le pouvoir d'excavation actuel pourrait être quadruplé. Il atteint en ce moment 250 000 yards cubes par mois. On pourrait donc compter se débarrasser de cette partie en trois ans, à raison de 12 000 000 de yards cubes par an.

Comme la production moyenne des dragues dans le massif central peut être basée sur un rendement moyen de 30 000 000 de yards cubes par an, l'enlèvement de cette partie haute entraînera un supplément de délai de deux ans et un surplus de dépenses d'environ 60 000 000 de francs.

Après l'exécution de ce travail préliminaire, les dragues fonctionneront régulièrement, abaissant successivement le niveau jusqu'à celui des océans.

Sur les 11 kilomètres du massif central, 16 grandes dragues peuvent aisément être installées, qui même avec le rendement

minimum absolu de 7 000 yards cubes par 24 heures, produiraient plus de 100 000 yards cubes par jour ou 30 000 000 de yards cubes par an.

Les 260 000 000 de cubes yards (199 000 000 de mètres cubes) de la tranchée du massif central pourraient donc être enlevés en un peu moins de 8 ans 1/2, si nous n'avions pas à tenir compte de deux années de plus pour l'enlèvement de la partie supérieure.

La durée de ce travail cyclopéen n'excéderait donc pas 10 ans 1/2 à partir du moment où les barrages ainsi que les écluses donnant accès au lac seront établis. Comme on doit prendre 4 à 5 ans pour cela, l'exécution du « Détroit de Panama » est réalisable en 15 ans.

Cette période si courte, si nous la comparons à celle de 60 ans nécessaires aux travaux à sec, ne doit pas être considérée comme optimisme.

Avec les dragues et spécialement les dragues électriques les délais d'exécution peuvent être facilement abaissés très bas. Le rendement que nous avons admis comporte une marge de sécurité égale au chiffre lui-même.

D'autre part, les travaux en dehors du massif central ne peuvent pas retarder le terme final.

Les travaux d'excavation des parties maritimes seront faits indépendamment.

Les terrains seront dragués puis pompés et déposés sur les côtés de la vallée ou bien transportés en mer. (Excavation côté Atlantique, k. 0 à k. 24, 66 000 000 de mètres cubes. Excavation côté Pacifique, k. 62 à k. 75: 29 000 000 de mètres cubes.)

Pour les parties de l'Isthme situées entre le massif central et les parties maritimes, elles doivent être draguées, et les déblais iront dans le lac de Gamboa, soit transportés par chalands, soit pompés et rejetés par-dessus le barrage.

Une partie pourrait être aussi avantageusement déposée sur les côtés des vallées, si l'on ne voulait pas tout rejeter dans le lac de Gamboa.

Lorsque le niveau de l'eau sera descendu de 170 pieds à l'altitude de 60 pieds, dans la tranchée du massif central, les barrages à travers le Chagres et le Rio Grande étendront le même niveau du k. 24 au k. 62.

Les dragages avec décharge dans le lac seront alors

commencés, indépendamment de ceux du massif central. (Excavation du k. 24 au k. 46, 130 000 000 de mètres cubes. Excavation du k. 57 au k. 62, 34 000 000 de mètres cubes.

Pendant cette période, le point d'accès des chalands au lac de Gamboa, c'est-à-dire le pied de l'échelle d'écluses se trouvera au k. 46, à peu près au milieu du long bief de dragage s'étendant du k. 24 au k. 62.

Il sera à 3 kilomètres du centre mathématique du bief.

De cette façon la moyenne de la distance de transport dans le bief qui était de 5,5 kilomètres dans la première période, sera de 11 kilomètres dans la seconde. La distance de transport sera donc toujours infime.

Nature du terrain excavé dans le « Déroit de Panama ».

La masse de la tranchée de Culebra est composée dans sa presque totalité d'argile dure qui mérite à peine le nom de rocher.

La commission du Canal isthmique, dans son rapport de 1901, a donné une très précise définition de la nature de ce rocher.

« Il y a un peu de roche très dure du côté oriental de cette section (Culebra) et les deux milles, côté ouest, sont en terrain ordinaire. Le reste consiste en argile indurée, résistante avec du terrain plus mou au sommet et des filons de roche dure. En fixant le prix, on a traité le terrain comme roche tendre, mais on lui a donné des talus équivalent à ceux de la terre... »

« Probablement, les neuf dixièmes de ce terrain seraient naturellement classés comme argile dure de caractère stable. »

Si nous admettons que la dureté moyenne est celle du grès du canal de Manchester, nous ferons une estimation probablement deux à trois fois trop forte.

Quantité de puissance hydraulique nécessaire.

Les chiffres fournis par M. Hunter, l'ingénieur en chef du canal de Manchester, et publiés dans l'Engineering du 17 août 1906, établissent qu'en dix mois de travail, avec deux équipes fournissant dix heures chacune (sans tenir compte des pertes de temps dues à l'interruption du travail par le passage des navires), le produit minimum des pilons de 12 tonnes a été de 225 yards

cubes par jour, ce qui correspond à environ 270 yards cubes pour 24 heures de travail à trois équipes. Admettons l'extrême minimum de 200 yards cubes par jour comme base de nos calculs.

Dès lors, si les neuf dixièmes de l'ensemble de la tranchée de la Culebra au lieu d'être une argile dure, à peine digne d'être nommée roche tendre, avait la dureté du rocher de Manchester, il faudrait 500 pilons de 12 tonnes pour préparer et rendre dragables 100 000 yards cubes journallement (76 000 mètres cubes).

Mais nous l'avons dit, le rendement dans le terrain du massif central de l'isthme sera en moyenne trois fois plus grand. Si par sécurité nous comptons seulement deux fois, on sera conduit à dire que 83 pontons ayant 3 pilons de 12 tonnes à bord effectueront le travail.

Comme on élève de 10 pieds environs ($3^m,05$) les pilons toutes les 15 secondes, cela exigera un débit de puissance mécanique de 32 chevaux par pylon, soit 8 000 chevaux pour l'ensemble, ce qui, en comptant 50 % de rendement seulement, correspondra à 16 000 chevaux à la chute génératrice de puissance.

On améliorera encore considérablement les résultats en augmentant le poids du pylon, mais nous n'en tenons pas compte pour ne pas nous baser sur des expériences à venir.

Le chantier se composera de 16 dragues mues électriquement, servies par 5 chalands portant chacun 2 000 tonnes, lesquels chalands seront munis d'appareils électriques propulseurs de 50 chevaux.

En comptant un emploi moyen de 300 chevaux par drague et de 200 chevaux pour les 5 chalands, l'extraction et le transport exigeront 8 000 chevaux effectifs également, soit 16 000 à la chute.

L'ensemble des opérations du chantier du massif central (k. 46 au k. 57) nécessitera donc une chute d'eau de 32 000 chevaux.

Les opérations qui se poursuivront latéralement au massif central, entre les kilomètres 24 et 62, exigeront la mise en marche d'un matériel naval de puissance égale, ce qui entraînera la nécessité d'une nouvelle puissance hydraulique de 16 000 chevaux, soit 48 000 en tout. Le service total sera assuré par les chutes des lacs de Gamboa et de Bohio.

Le débit moyen du Chagres à Gamboa, d'après des relevés constants faits depuis plus de 20 ans, est d'environ 100 mètres cubes à la seconde, mais il tombe pendant trois mois de saison sèche beaucoup plus bas que la moyenne.

Le volume du lac de Gamboa compris entre la cote de 170 pieds (51,85 mètres) et 200 pieds (61 mètres) est de 877 668 000 mètres cubes.

Si le lac est rempli à la fin de la saison des pluies, il peut déborder pendant plus de 100 jours 100 mètres cubes à la seconde, sans tomber au-dessous du niveau de 170 pieds et sans recevoir aucune eau de la vallée supérieure.

Cette réserve garantit donc la constance du débit moyen pendant les périodes les plus sèches.

Comme il faudra 30 mètres cubes à la seconde pour le service des écluses d'accès au lac quand le dragage fonctionnera dans toute l'étendue du canal, entre le k. 24 et le k. 62, il reste 70 mètres cubes à la seconde disponible pour la génération de la puissance. La chute à Gamboa doit être comptée entre le niveau maximum du lac de Bohio (60 pieds) et le niveau minimum du lac de Gamboa (170 pieds), soit 110 pieds ou 33 m. 65.

La puissance hydraulique est donc de 31 200 chevaux.

Elle est donc pratiquement égale dans les plus mauvaises conditions à celle qu'exige l'excavation du massif central.

D'autre part, à Bohio, on disposera au minimum de 100 mètres cubes déversés de Gamboa et en moyenne de 150 mètres cubes à la seconde.

Le débit de 100 mètres cubes tombant de la hauteur minimum du lac de Bohio (50 pieds ou 15^m,25) produira une puissance de 20 000 chevaux.

La puissance totale développée sera donc au minimum de plus de 50 000 chevaux et satisfera au besoin de 48 000 chevaux prévus pour les travaux en dehors des parties maritimes. Pour ce dernier groupe de travaux, il s'exécutera à la vapeur, les déblais seront transportés en mer ou pompés sur les côtés de la vallée.

Quantité d'hommes et d'argent nécessaires.

Après avoir constaté que la nature a placé rigoureusement au point voulu les puissances mécaniques nécessaires à ce gigantesque déplacement de masses, voyons combien faible est le nombre d'hommes nécessaires à la direction de ces forces pour atteindre le but poursuivi.

Le chantier du massif central se compose donc de 16 dragues électriques montées par 10 hommes, de 83 pontons dérocheurs

montés par 9 hommes et pour chaque drague de 5 chalands automoteurs électriques montés chacun par deux hommes.

Cela fait un effectif de 1 067 hommes, soit avec le travail à trois équipes 3 201 hommes par jour ; soit 3 500 hommes, en y comprenant le personnel des électriciens, des écluses, ouvriers de l'entretien, etc.

Ce personnel ne s'augmentera que de 1 000 hommes lorsque les basses vallées du Chagres et du Rio Grande seront attaquées, car dans ces régions la presque totalité du terrain est meuble et directement dragable.

L'immense travail à réaliser entre les k. 24 et 62 exige donc seulement un personnel de 3 500 hommes à 4 500, soit en moyenne 4 000 hommes.

Comme cela est nécessaire dans les pays tropicaux, l'entretien se fera par substitution de pièces neuves aux pièces usées et les réparations seront réduites à leur minimum de travail sur place.

En admettant le salaire moyen excessivement élevé de 12 schellings, soit 15 francs ou 3 dollars, pour y comprendre les frais de la direction technique supérieure, la dépense journalière sera de 2 400 livres ou 12 000 dollars ou 60 000 francs, soit pour 300 jours de travail par an une dépense annuelle de 720 000 livres ou 3 600 000 dollars ou 18 000 000 de francs.

La dépense en 10 ans et demi atteindra donc 7 560 000 livres ou 37 800 000 dollars ou 189 000 000 de francs pour les travaux en dehors des parties maritimes, ci. 189 000 000

Si nous y ajoutons :

1° Une somme égale pour les réparations et l'entretien du matériel.	189 000 000
2° Une somme de 125 000 000 de francs pour les écluses d'accès au lac de Gamboa, le barrage de Gamboa (ce dernier évalué à 25 000 000 de francs par la Commission du Canal Isthmique), les petits barrages accessoires, les installations électriques, etc.	125 000 000
3° Une somme de 50 000 000 de francs pour les excavations à faire dans les parties maritimes de l'Isthme, k. 0 à k. 24 et k. 62 à k. 75.	50 000 000
4° Une somme de 100 000 000 de francs pour le matériel de dragage, transport et désagrégation du rocher.	100 000 000

5° Une somme de 60 000 000 de francs pour le surplus des dépenses afférentes à l'excavation de la partie de la tranchée de Culebra au-dessus de l'altitude 170 pieds.....	60 000 000
On arrive au total de.....	713 000 000
Et en ajoutant pour imprévus.....	37 000 000

on obtient le total annoncé de sept cent cinquante millions de francs.

Le seul énoncé des chiffres élémentaires montre quelle marge considérable il existe entre les évaluations et la réalité probable.

J'ai la ferme conviction que la dépense totale n'atteindra pas les deux tiers de cette somme et se limitera à 20 millions de livres, 100 000 000 de dollars ou 500 000 000 de francs, soit un neuvième de ce que coûterait à sec l'exécution de cette gigantesque conception. Mais ceux qui sont moins optimistes sur le coût des opérations de dragage peuvent doubler et même tripler le coût de la main-d'œuvre et des réparations. Ils n'atteindront pas 1 500 000 000 de francs somme très admissible pour un tel résultat. C'est cette estimation ultraprudente que j'ai donnée au Consulting Board en 1905.

Après avoir montré comment l'utilisation rationnelle de la topographie et de la dynamique de l'Isthme permettent l'exécution facile et à bas prix de l'œuvre jusqu'à présent chimérique de la création d'un détroit à travers l'Isthme de Panama, examinons cette magnifique voie une fois créée.

Régime des eaux.

Les trois grandes rivières de l'Isthme sont le Chagres et ses deux grands affluents : le Rio Trinidad à gauche et le Rio Gatun à droite. Ils tombent entre Bohio et la mer.

Le Chagres, domestiqué par le lac formé par le barrage de Gamboa, n'aura plus de crues inquiétantes et jettera dans le détroit les eaux pures du lac.

Les plus grandes crues mesurées à Gamboa depuis un quart de siècle sont montées à 1600 mètres cubes à la seconde, les plus basses eaux constatées correspondent à un débit de 11 mètres cubes (une crue se serait élevée en 1879 à un maximum de 2 040 mètres cubes à la seconde à Gamboa, mais elle n'a pas été mesurée, c'est une simple conjecture).

La durée de la montée des crues est courte tout au plus 48 à 72 heures. Déterminées par le passage d'un cyclone exceptionnel, elles disparaissent avec lui.

Le total de la masse débitée à raison de 1600 mètres cubes à la seconde en 48 heures continuellement est de 276 000 000 de mètres cubes. Sirien n'est écoulé dans le Déroit, cela correspond à une variation de niveau du lac de 2^m,9 ou 9 pieds 8 pouces.

Nous avons dit que le volume du lac à la cote de 200 pieds est environ quatre fois le volume des déblais du Déroit de Panama qui y seront déversés. Il perdra donc de ce fait moins d'un quart de sa surface puisqu'ils seront déposés contre le barrage, dans l'endroit le plus profond.

Ces simples chiffres montrent avec quelle facilité le contrôle des crues du Chagres sera fait par le lac de Gamboa, après l'exécution du Déroit.

C'est la conception nouvelle de l'aménagement du Chagres que j'ai présentée au Consulting Board en septembre 1905 et qu'il s'est appropriée intégralement. Jusqu'alors, depuis l'époque de l'ancienne Compagnie jusqu'à celle du Gouvernement américain inclusivement, il n'avait jamais été proposé que des dérivations totales.

Entre les kilomètres 24 et 44 le Déroit recevra directement les eaux des petites rivières qui s'y jettent. Leurs sédiments sont faibles comme ceux du Chagres, il sera d'ailleurs facile de les diminuer encore en adoucissant leurs pentes par de petits barrages.

Le volume des eaux débitées par ces petites rivières monte pendant les crues exceptionnelles, courtes et rares, à 600 mètres cubes. Admettons même 800 mètres cubes à la seconde tous les trois ou quatre ans. La section du Déroit étant en moyenne de 2 500 mètres carrés, environ, ce débit ne produira qu'un courant de 0^m,30 soit six dixièmes de nœud si tout s'écoule d'un côté, trois dixièmes si la moitié va au Pacifique et l'autre à l'Atlantique.

Entre le k. 24 et la mer, le lit du Chagres complété par des dérivations existantes, sauf une à ouvrir, portera directement à la mer les eaux du Trinidad, du Gatuncillo et des autres petits affluents, et cela sans contact avec le Déroit dans la partie maritime.

Sur le versant du Pacifique, les rivières ont un débit insignifiant et se jetteront dans le Déroit.

Ainsi se trouve complètement résolue la grave question des rivières de l'Isthme, qui a fait couler tant d'encre, et à juste titre, pour le cas d'un canal étroit à niveau ou à écluses.

Indestructibilité du passage interocéanique.

Le Déroit de Panama, cette artère unique du commerce mondial, doit avoir pour qualité essentielle l'indestructibilité en cas de guerre comme en cas de commotion tellurique.

Le Déroit de Panama avec sa largeur de 600 pieds (183 mètres) au plan d'eau, ses bermes de 100 pieds (30,5 mètres) de chaque côté défie tout éboulement.

Il ne comporte aucune écluse, cette plaie et ce constant danger des canaux à bief élevé ou à niveau et à portes de marée.

Le seul ouvrage d'art qui existera après sa réalisation sera le barrage de Gamboa.

Mais après la construction, ce barrage aura en réalité disparu. Les centaines de millions de mètres cubes déposés à l'amont auront rempli la vallée sur plusieurs kilomètres et formeront le véritable et indestructible barrage qu'aucune explosion de dynamite, aucun tremblement de terre ne pourront altérer. Quelques millions de mètres cubes de roche auront aussi enseveli le barrage à l'aval, le rendant inaccessible et immuable.

On peut donc dire que le Déroit de Panama ne dépendra d'aucun ouvrage d'art et n'aura, une fois fait, ni écluse ni barrage (1).

Nature de la voie créée.

Ce sera une véritable voie naturelle ayant à peu près la largeur de la Tamise (largeur de la Tamise à basse mer au London-Bridge : 650 pieds) ayant le tiers de la largeur du Bosphore, une

(1) On pourrait d'ailleurs envisager, comme solution alternative, de détruire alors le lac de Gamboa et de laisser le Chagres s'écouler librement dans le « Déroit ». Cela donnerait aux courants maxima un accroissement maximum de 1,6 nœud, chose parfaitement admissible encore puisque le courant total n'atteindrait pas encore 5 nœuds dans les plus mauvaises conditions.

Une telle vitesse, qui n'aurait lieu que quelques heures tous les trois ou quatre ans, serait encore très admissible vu les énormes dimensions de la voie interocéanique. La seule objection sérieuse à ce mode de procéder serait peut-être les apports, mais on pourrait les réduire à rien en établissant dans la haute vallée du Chagres une série de barrages rectifiant le lit, remplaçant la pente par une série d'escaliers et diminuant le courant en crues.

voie où les navires pourront librement naviguer et évoluer comme dans une grande rivière maritime.

Le transit se fera en quatre ou cinq heures.

Telles sont les caractéristiques de cette artère si désirable, si facile à réaliser si l'aveuglement technique ne conduisait pas une grande nation comme l'Amérique à une incroyable négligence des révélations scientifiques les plus claires et les mieux démontrées.

En persistant comme elle le fait à tourner le dos au progrès, en s'épuisant dans un travail inutile et ridicule, le génie américain ne s'aperçoit pas qu'il perd en ce moment une bataille sanglante. La défaite que la raison subit en ce moment en Amérique pèsera lourdement sur le prestige qu'avait si justement acquis le génie américain. Il renie en ce moment la propre doctrine qui avait fait sa gloire : l'augmentation de l'action des machines et la diminution de celle de l'homme.

On a le droit d'errer tant que la vérité scientifique n'est pas révélée, mais à partir de ce moment, la négliger, lui tourner le dos, c'est déchoir, c'est se déclasser volontairement dans la hiérarchie intellectuelle de l'humanité.

II

CANAL PROVISOIRE A ÉCLUSES

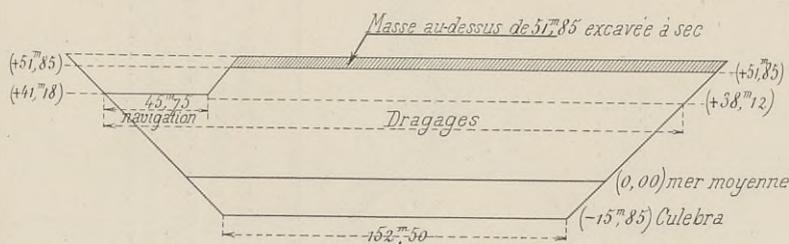
La solution complète du problème autrement insoluble de la main-d'œuvre énorme qu'exige l'excavation à sec du Canal de Panama, la possibilité d'obtenir un véritable Détroit invulnérable en cas de guerre ou de tremblement de terre, et cela pour une dépense au plus égale au moins cher des canaux à écluses et à bief élevé, ce ne sont pas les seules conséquences de la substitution du travail sur l'eau au travail à sec. (Estimation, par la Commission isthmique, du Canal à écluses, à 85 pieds d'altitude, 720 000 000 francs, rapport de 1901. Estimation du canal à niveau : 1 610 000 000 francs. Document de 1905.)

Il en est une autre considérable également.

Pendant les quatre à cinq ans nécessaires à la construction du barrage de Gamboa : 1° si on érige des écluses aux extrémités des 11 kilomètres de la tranchée du bief central et vers les extrémités des parties maritimes des vallées du Chagres et du Rio Grande, aux endroits dont j'ai parlé comme devant être les limites des deux biefs successifs de dragages; 2° si on se contente de remplir le bief central jusqu'à l'altitude de 130 pieds (39^m,65) au lieu de 170 (51^m,85); 3° si l'on approfondit jusqu'à la cote de 100 pieds (30^m,5) le passage déjà ouvert à la cote de 157 pieds (48 mètres) à travers la Culebra; on aura créé sans grands efforts et en peu de temps un canal à écluses entre les océans, en même temps les bassins de dragages nécessaires à l'exécution du Déroit de Panama.

L'énorme largeur de la tranchée permettra toujours de loger simultanément les navires en transit, les pilonneuses Lobnitz et les dragues. Le transit exige seulement une bande de 150 pieds ou 45 mètres. A 130 pieds au-dessus de la mer, la tranchée aura plus de 6 fois cette largeur et encore 4 fois cette largeur au niveau de la mer.

Il suffira à chaque dépression de niveau de réserver à la

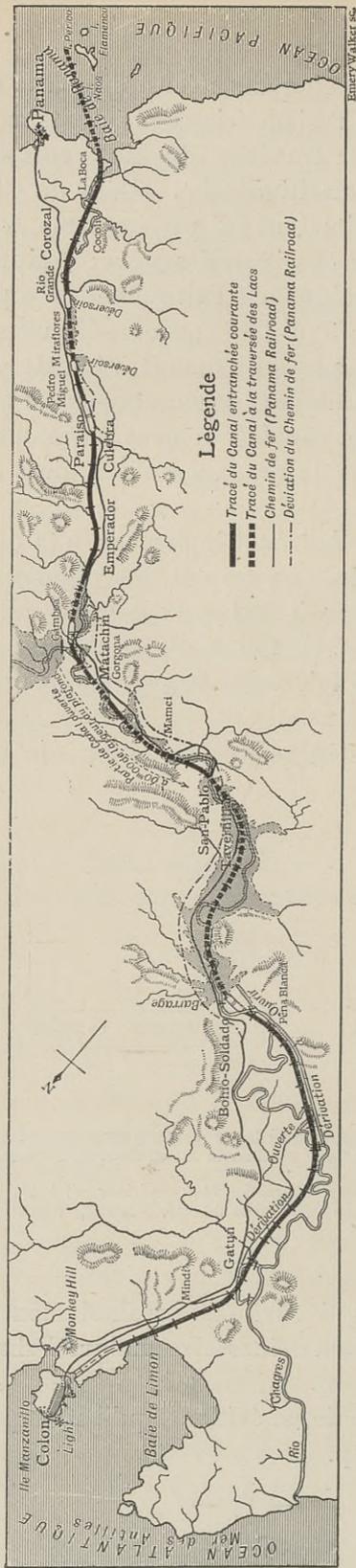


Disposition des travaux de dragage et de la navigation avec un premier bief supérieur à 170 pieds (51^m,85) au-dessus du niveau de la mer.

Cette disposition restera la même si le premier bief supérieur est à 130 pieds, la masse à excaver à sec, au-dessus du niveau du bief, sera seule augmentée.

navigation une bande qui aura été préalablement approfondie pour offrir le tirant d'eau nécessaire malgré l'abaissement du plan d'eau.

Ce procédé est si facile, si évident, qu'il n'est pas nécessaire de s'y étendre beaucoup.

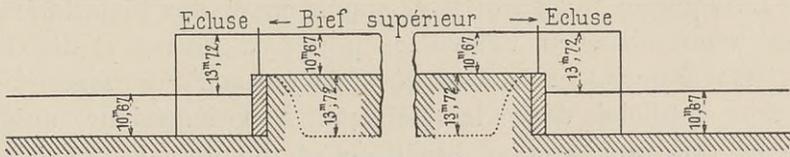


Henry Walker sc

Plan du canal à écluses à bief supérieur à 130 pieds (39^m, 65) au-dessus du niveau de la mer (Projet BUNAU-VARILLA, 1905).
 Ce canal à écluses est réalisable en quatre années et est conçu en vue d'une irrigation ultérieure en un passage au niveau
 de la mer libre de toute écluses de marée (Déroit de Panama).

Le plan du canal constructible en 3 années et comportant un bief supérieur à 170 pieds (51^m, 83) au-dessus de la mer est le même, sauf l'addition d'une écluse supplémentaire de chaque côté. — Il a paru inutile de produire le plan avec bief à 170 — le profil en long suffisant pour rendre claire cette proposition.

Une question plus grave se pose, qu'arrivera-t-il aux écluses quand on abaissera le niveau ?



TYPE USUEL

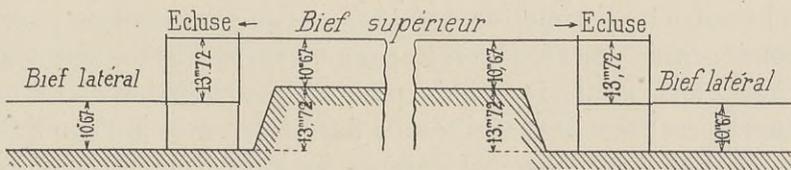
Il y aurait une impossibilité matérielle avec la construction usuelle des écluses.

J'ai donné à ce problème, il y a bientôt vingt ans, une solution simple.

Considérons un bief fermé par deux écluses du type usuel, c'est à dire comportant à l'amont une porte ayant comme hauteur le tirant d'eau du Canal et à l'aval une porte ayant comme hauteur la somme du tirant d'eau et de la chute.

Il est évident qu'avec une telle écluse aucun abaissement du niveau du bief n'est réalisable sans arrêter la navigation.

Mais si on fait la porte d'amont d'une hauteur égale à la



TYPE SPÉCIAL NÉCESSAIRE A LA TRANSFORMATION

porte d'aval et si on approfondit le bief supérieur sur deux ou trois cents mètres à l'amont de l'écluse, toute difficulté s'évanouit.

On peut draguer d'un mètre, par exemple, tout le bief supérieur sans toucher à l'écluse.

Cet approfondissement fait, on peut abaisser d'un mètre le niveau de l'eau sans modifier ni la marche des navires, ni le fonctionnement de l'écluse.

On répète cette double opération autant de fois qu'il est nécessaire pour amener le niveau du bief supérieur au niveau des biefs latéraux.

Lorsque le niveau du bief supérieur et des biefs latéraux sont confondus, on enlève les portes d'écluses et dès lors les maçonneries restantes ne forment qu'une masse de rocher artificiel dans le nouveau bief supérieur unique formé de l'ancien bief supérieur et des anciens biefs latéraux.

Si les écluses sont en échelle, une disposition inspirée du même principe assure également leur disparition (1).

C'est dans cette méthode de construction que réside la clé de la transformation d'un canal à écluses en canal à niveau.

J'ai proposé en 1887 cette méthode à l'ancienne Compagnie de Panama, pour assurer à bref délai l'ouverture du canal et poursuivre ultérieurement l'exécution du canal à niveau.

Je n'avais pas alors comme aujourd'hui élargi la question et exposé la facilité d'obtenir par cette transformation non seulement le canal à niveau mais encore le « Détroit de Panama ».

A cette époque, on ne pouvait garantir qu'une chose, c'est que l'excavation des roches tendres de l'Isthme ne reviendrait pas plus cher sous l'eau qu'à l'air.

Aujourd'hui, grâce aux progrès des dragages, à l'application de l'électricité à la motion des dragues, que j'ai réalisée pour la première fois sur l'Esla, en Espagne, en 1895, grâce enfin aux progrès de la méthode Lobnitz pour la désagrégation du rocher, progrès réalisés dans ces toutes dernières années, l'extraction des roches sous l'eau est déjà en Europe à peu près moitié moins cher que l'excavation à sec. Les chiffres du canal de Manchester le prouvent, car son rocher qui coûte 0 fr. 90 le yard cube à désagréger et qui coûterait 0 fr. 25 tout au plus à draguer en grand, soit moins de 1 fr. 25 en tout, coûterait si on l'excavait à sec 2 fr. 50.

Dans l'Isthme, cet écart s'accroît dans des proportions énormes par suite des difficultés de la main-d'œuvre et de l'influence que les pluies diluviennes exercent sur les travaux à sec surtout pour le transport et la décharge.

(1) On trouvera toutes les explications nécessaires à ce sujet dans l'exposé devant le Consulting Board (voir page 187).

Ouverture du canal en trois ans à une navigation restreinte comme la navigation militaire.

Mais si rapide que soit l'exécution d'un passage entre les océans à la cote 130, elle peut être abrégée encore et si l'on voulait, par exemple, ouvrir en trois ans à la navigation militaire l'Isthme pour un nombre restreint de passages.

Il suffirait d'ajouter une cinquième écluse de chaque côté de l'Isthme et de passer à 170 pieds, soit à 51^m,85 d'altitude.

Le passage étant ouvert à 157 pieds aujourd'hui à travers le massif central par les travaux français, il suffirait d'une passe d'excavateur pour atteindre le fond à 140 pieds, et donner 30 pieds de tirant d'eau. On peut donc dire qu'aucune excavation ne serait à faire dans le massif central.

Si on se contente, d'autre part, de construire les têtes des écluses et de laisser à nu les excavations du corps des écluses, on réduit à presque rien la masse de maçonneries à exécuter.

Cet avantage est acheté au modeste prix d'une plus grande consommation d'eau pendant l'éclusée, chose négligeable si l'on veut seulement établir la communication militaire.

Enfin, tout en construisant le barrage de Gamboa dès maintenant, on peut se prémunir contre le délai de 4 à 5 ans qu'il exige, en installant des pompes pour remonter dans le bief central l'eau employée pour les éclusées.

Une seule question resterait ouverte pour ce programme condensé. Elle consisterait dans l'ouverture du débouché du lac de Bohio.

Ce débouché doit être pratiqué dans un col éloigné de l'axe du Canal et peut exiger des travaux durant quatre années.

On peut, là comme ailleurs, simplifier le problème en faisant écouler le Chagres dans la grande tranchée même, ouverte pour le Canal. Cette tranchée percée dans un massif rocheux résistant est abaissée jusqu'à 12 mètres au-dessus de la mer par les travaux de la Compagnie ancienne du Canal de Panama.

Rien ne serait plus facile que d'élargir en trois ans cette

tranchée de manière à laisser le Chagres couler à côté des écluses installées dans la même tranchée et qui permettront de passer du niveau de l'Atlantique à celui du lac de Bohio aux navire en transit.

III

TRAVAUX ET PROJETS DU PASSÉ ET DU PRÉSENT

Résultats des travaux de la Compagnie française.

On voit combien peut se simplifier la question de l'ouverture au transit si on veut la dégager d'un absurde dogmatisme et ne voir que l'œuvre à réaliser en se servant des énormes résultats acquis.

Les travaux de la Compagnie de Panama ont, en réalité, dégagé entièrement les grandes difficultés de l'œuvre.

Ils l'ont amenée au point où la solution rationnelle que j'ai exposée peut s'appliquer, au point où peut commencer l'exécution du « Détroit de Panama » avec l'exclusif emploi des conditions et des forces naturelles.

En même temps ils permettent, par des travaux faciles et immédiats, de combiner cette exécution avec l'ouverture au transit dans des conditions plus ou moins parfaites, suivant qu'on veut y consacrer ou trois ans ou quatre à cinq ans.

En tous cas, cette ouverture anticipée sera un inexprimable service rendu à l'Humanité. Ce dont elle paiera ce service : les taxes de transit, défraieront entièrement les dépenses de construction du « Détroit de Panama ».

Erreur fondamentale commise par le Consulting Board.

J'ai, à Washington, en septembre 1905, présenté la question du « Détroit de Panama » sous une forme inverse de celle que j'adopte aujourd'hui devant la Society of Arts.

J'ai tenu à montrer que tout devait converger vers un canal à écluses à bief élevé rapidement construit et devant être ultérieurement transformé en détroit.

Comme je l'ai déjà dit, cette proposition « le canal à bief

élevé d'abord, le Détroit après », n'a pas mérité les suffrages du Consulting Board qui n'a pas voulu entendre parler de la méthode d'excavation par drague et a maintenu, contre toute vérité théorique et expérimentale, l'exécution à sec.

Cette grande et déplorable erreur a été celle-là même qui a dicté les décisions du Congrès de 1879 réuni par M. de Lesseps, comme celles de toutes les Commissions qui ont successivement étudié le problème de Panama.

Mais, à la différence du Congrès de 1879, le Consulting Board a été mis en présence des solutions techniques que j'ai apportées dans la question et que les progrès de la Science et de l'Industrie depuis 26 ans permettaient de rendre si fécondes en résultats inespérés.

Comme le Congrès de 1879 n'avait rien devant lui en dehors de l'exécution à sec, il est excusable de n'avoir rien vu au delà, le Consulting Board en 1905 avait tout devant lui, il est inexcusable d'avoir fermé les yeux.

Il n'est pas sans intérêt au point de vue philosophique de voir que la même erreur a entraîné les mêmes conséquences à 27 ans de distance.

Deux projets avaient en 1879 divisé les préférences du Congrès, le projet patronné par M. de Lesseps, le canal à niveau avec écluses de marée et le projet conçu par un grand ingénieur français, Godin de Lépinay. Il consistait à créer des barrages aux deux extrémités de l'Isthme, l'un à 10 kilomètres de l'Atlantique, à Gatun, à travers le Chagres et l'autre à travers la vallée du Rio Grande, à proximité du Pacifique.

Ces barrages retenaient les eaux de toutes les rivières de l'Isthme à 24 mètres au-dessus de la mer et constituaient un lac intérieur faisant de l'Isthme de Panama un isthme de Nicaragua artificiel.

Deux projets identiques aux projets de Lesseps et Godin de Lépinay divisèrent l'International Board à Washington en 1905. La majorité composée de 3 membres américains et 5 étrangers (1) vota pour le canal à niveau et à écluses de marée; la minorité composée de 5 membres américains vota pour un

(1) Majorité : MM. Géo Davis, Barclay Parsons, W. H. Burr, membres américains, et W. Henry Hunter, A. D. Guérard, Eugen Tincauzer, J.-W. Welcker, E. Quellenec, membres européens.

Minorité : MM. Alfred Noble, Henry Abbott, Frédéric P. Stearns, Joseph Ripley, Isham Randolph.

canal à lac intérieur formé par un barrage à Gatun. La seule modification apportée au projet Godin de Lépinay fut de remplacer la cote de 24 mètres (78 pieds $\frac{7}{10}$) par la cote de 25^m,90 (85 pieds) pour l'altitude du lac intérieur.

Aucune caractéristique essentielle du projet de Godin de Lépinay ne fut donc modifiée.

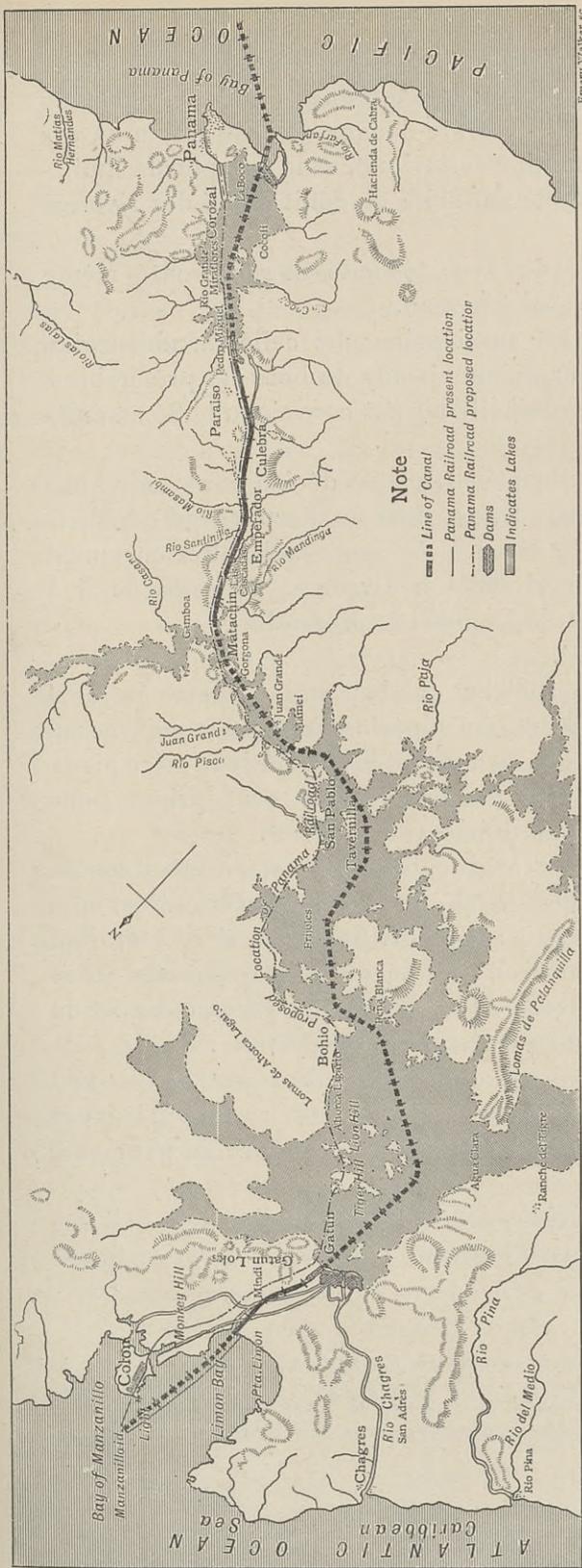
Seul son nom resta enseveli dans l'oubli.

Le rapport de la minorité du Consulting Board ne fait pas mention de l'auteur du projet qu'elle a adopté. La minorité du Consulting Board ne s'est pas contentée de s'appropriier le projet Godin de Lépinay sans citer son nom. Elle s'est approprié, sans citer son auteur non plus, la méthode nouvelle de construction de barrages en terre que j'avais exposée pour le barrage de Bohio nécessaire à mon projet de canal à écluses avec bief à 130 pieds (39^m, 65) au-dessus de l'océan. Sans cette nouvelle méthode, le barrage de Gatun est irréalisable matériellement. Le projet américain résulte donc exclusivement des travaux de Lépinay et des miens. Il est bien regrettable de voir que les noms des deux véritables auteurs du projet aient été entièrement éliminés contrairement à la plus vulgaire notion de probité intellectuelle. Mais les comptes rendus du Congrès de 1879 rendent à Godin de Lépinay la justice qui lui est due.

C'est le projet de Godin de Lépinay qui a eu la faveur du gouvernement américain et c'est celui qu'il a recommandé au Congrès.

Le Congrès fut ainsi placé entre deux détestables alternatives. La première était d'adopter un canal à niveau dont l'exécution ne pouvait se réaliser à sec qu'en plus de vingt ans, malgré les affirmations dépourvues de toute base expérimentale de la majorité du Consulting Board, laquelle affirmait contre toute évidence qu'il prendrait 12 à 13 ans. La seconde était d'adopter un canal à écluses perpétuelles. Cette dernière solution fut présentée au Congrès des États-Unis comme une conception purement américaine, par le Président des États-Unis, par opposition à la conception européenne du canal à niveau.

Cet argument est entièrement erroné, puisque le premier canal à bief de partage a été établi en France, entre l'Océan et la Méditerranée, par Riquet, sous Louis XIV, puisque les deux grands canaux de Manchester et de Kiel sont à écluses, enfin puisque le projet adopté était un projet français vieux de 26 ans.



Henry Walker sc.

Plan du canal à écluses de Panama (niveau du bief supérieur 25^m.92 ou 85 pieds au-dessus de la mer)
adopté par le gouvernement américain comme solution perpétuelle.
(C'est le projet original de Godin de Lépinay formulé en 1879 avec une altitude de 24 mètres pour le bief supérieur).

Godin de Lépinay avait indiqué l'emplacement de Gatun dans son plan, sous la réserve explicite qu'un barrage y serait reconnu possible (Comptes rendus du Congrès de 1879).

La seule raison qui poussa la minorité américaine du Consulting Board à reprendre la proposition de Godin de Lépinay sous sa forme initiale a été le désir de prolonger autant que possible la durée possible du canal à écluses. La limite d'exploitabilité est fixée par le défilé limité des rivières tombant dans le bief central. Avec un barrage à Bohío, 14 kilomètres plus haut que Gatun, la limite d'exploitation est entre 40 et 60 000 tonnes. Comme le canal de Sault-Sainte-Marie qui dessert pendant 8 mois de l'année le trafic du lac Supérieur a atteint 44 000 000 de tonnes l'an dernier, le Consulting Board ne pouvait soutenir que le canal à écluses avec barrage serait une solution perpétuelle. Pour échapper à l'inévitable transformation que j'avais proposée, il fallut à tout prix chercher une solution reculant la mort certaine du canal à écluses. On la trouva partiellement en reportant le barrage à Gatun. De cette façon, on recueille de nouvelles rivières et la limite d'exploitation est portée un peu plus loin. Cette limite, au lieu d'être entre 40 et 60 000 tonnes, sera entre 60 et 100 000 000 de tonnes. Mais c'est un simple trompe-l'œil, car si le Canal de Panama suit la loi de croissance du canal de Sault-Sainte-Marie, il atteindra 60 000 000 tonnes 22 ans après l'ouverture et 100 000 000 tonnes 27 ans après. C'est donc un répit de cinq ans que l'on a acheté au prix du plus dangereux des ouvrages, marché criminel qui a tout moment peut être soldé par la destruction du Canal de Panama sous la plus faible commotion tellurique.

L'argument nationaliste ne prévalut pas contre les évidents désavantages de ce système: les terribles accidents auxquels une fausse manœuvre l'expose, le danger de destruction en cas de guerre ou de commotion tellurique, sans compter la limitation obligée de son trafic par suite du débit limité des rivières qui l'alimentent.

Ce projet fut défendu avec ténacité et représenté même comme supérieur au canal à niveau.

Une telle théorie est aussi vaine que celle du chirurgien qui voudrait démontrer qu'une jambe de bois est préférable à une jambe naturelle. Aussi elle n'a pas convaincu le Sénat américain.

Alors, pour sauver le projet, on se décida à revenir à ma proposition et le sénateur Knox, dans un discours qui décida la bataille, montra que le canal à écluses serait ultérieurement transformé en un « vrai canal à niveau », un canal de 5 à 600 pieds de largeur et de 50 pieds de profondeur.

Le projet fut adopté.

Il semble *à priori* indifférent que la première forme du canal à écluses se réalise avec un bief supérieur à 85 pieds ou avec un bief supérieur à 130 pieds, ou avec un bief supérieur à 170 pieds au-dessus de l'océan, si les précautions sont prises pour assurer la transformation ultérieure en détroit.

Toutefois, la tranchée à exécuter à sec est de 53 000 000 de yards cubes pour le bief à 85 pieds, alors qu'elle n'est que de 20 000 000 pour le bief à 130 pieds. En outre, si ce bief n'est qu'une phase préliminaire, on peut ouvrir avec un passage étroit n'exigeant qu'une douzaine de millions de yards cubes. Son élargissement suivra immédiatement l'ouverture.

Or en faisant 3 000 000 de yards cubes par an, il faut 4 ans pour le passage à 130 pieds, il faut 17 ans $\frac{1}{2}$ pour la tranchée complète à faire à sec et nécessaire au passage à 85 pieds (1).

Il n'est pas sans intérêt de constater quelles sont déjà les manifestations de la terrible erreur faite par le gouvernement américain.

(1) Naturellement, je ne prétends pas dire que l'on ne fera pas plus de 3 000 000 de yards cubes annuellement, et que, par suite, il faudra 17 ans pour creuser la tranchée. Les chiffres sont donnés simplement pour mettre en relief l'aisance de l'ouverture à 130 pieds et l'effort considérable qu'exige l'ouverture à 85 pieds.

Condition actuelle des travaux faits par le Gouvernement américain.

Le 3 mars 1881, la Compagnie universelle du Canal de Panama se constitua et en novembre 1883 les projets définitifs furent approuvés.

On peut considérer qu'un an et dix mois furent consacrés aux études, aux sondages, au déboisement, aux transports du premier matériel, à la construction des maisons et des hôpitaux pour les employés et les ouvriers, en un mot à organiser la vie et le travail dans la forêt vierge. Une inconcevable erreur a fait dire, même dans des documents officiels américains, que la Compagnie française laissait ses ouvriers noirs vivre dans des paillotes. Rien n'est plus faux ; des casernements amples et sains ont été partout érigés.

Trois ans après, le 1^{er} janvier 1886, il avait été excavé environ 15 000 000 de mètres cubes, soit environ 20 000 000 de yards cubes.

L'ensemble des constructions couvrait alors une surface de 217 184 mètres carrés, c'est-à-dire une surface égale à celle d'une bande s'étendant le long du canal d'un océan à l'autre et large de 3^m, 10. Cette surface bâtie s'est depuis lors encore beaucoup accrue.

Le 31 janvier 1886, étant ingénieur en chef de la Compagnie, j'eus l'honneur de faire dépasser aux travaux le total de 1 000 000 de mètres cubes mensuel, depuis longtemps ambitionné, et de produire 1 067 823 mètres cubes ou 1 397 000 yards cubes pendant le cours de janvier.

Les travaux furent interrompus à la fin de 1888, le cube total exécuté par l'ancienne Compagnie se montait alors à 55 000 000 mètres cubes ou 72 000 000 de yards cubes, chiffre officiel fourni par la Commission du Canal isthmique dans ses rapports de 1901 et de 1906, ce qui correspond à un cube moyen mensuel de 1 000 000 de yards cubes pendant les 6 ans de travaux.

Il faut ajouter à ce chiffre environ 8 000 000 de yards cubes exécutés par la nouvelle Compagnie de Panama entre 1894 et 1904, année du rachat par le gouvernement américain.

La valeur de cette immense somme d'installations et de matériel fut évaluée par la Commission isthmique, globalement au prix ridiculement bas de 33 millions de dollars, soit 66 000 000 livres ou 165 000 000 de francs. Le complément aux

40 000 000 dollars payé est formé par le prix donné pour les titres du Panama Railroad indispensable à l'exécution du Canal et qui ont été rachetés 35 000 000 francs alors qu'ils avaient coûté 93 000 000 à la Compagnie.

Il est vrai de dire que la Commission ne tint compte que de 39 586 332 yards cubes comme étant la seule partie des travaux utilisables pour les plans qu'elle avait adoptés, le reste des travaux étant noyé par les lacs créés par les barrages.

Depuis la reprise des travaux par le gouvernement américain, c'est-à-dire depuis avril 1904 jusqu'à fin 1906, le cube utile extrait pour l'excavation du Canal se monte à environ quatre millions de yards cubes.

Des dragages ont en outre été exécutés à Panama et à Colon, mais ils ont plutôt le caractère de travaux d'entretien des installations actuelles.

La somme totale dépensée en installations et travaux se monte à environ 40 000 000 de dollars à fin 1906 (£ 8 000 000), c'est-à-dire à 7 millions de dollars de plus que n'ont été évalués et payés les travaux, matériel, installations faits par les Français, et que la Commission isthmique croyait très certainement pouvoir reproduire pour une somme égale.

On aurait tort de croire que les bâtiments, hôpitaux, magasins étaient hors d'usage et que de nouvelles constructions ont pris leur place. Le rapport de l'ingénieur en chef, M. Stevens, au 30 juin 1906, établit la statistique suivante sur la répartition actuelle des habitations :

Habitations pour personnel blanc (marié)	
Construites par les Français	235
— par les Américains	73
Habitations pour personnel de couleur (marié)	
Construites par les Français	297
— par les Américains	20
Habitations pour personnel (non marié)	
Construites par les Français	153
— par les Américains	12

L'œuvre sanitaire accomplie par les Américains dans la prophylaxie de la fièvre jaune est digne des plus hauts éloges.

Ils ont reproduit à Panama ce qu'ils avaient admirablement réalisé à Cuba en vérifiant la théorie de Carlos Finlay, le médecin de la Havane qui découvrit l'origine de la fièvre jaune il y a un

quart de siècle. Mais cette œuvre d'assainissement s'appuie surtout sur une police sanitaire rigoureuse et ne demande pas de lourds sacrifices d'hommes et d'argent.

CONCLUSION

La cause commune à la fois de l'échec caractéristique, qui est subi par les Américains dans l'exécution des travaux, et de l'erreur dans le choix du plan détestable adopté par eux réside dans la méconnaissance de l'influence néfaste des pluies sur l'excavation à sec dans un pays tropical.

Ils ont négligé ce capital élément qui commande toute la situation et n'ont pas voulu tenir compte du système nécessaire d'excavation sur l'eau, que j'avais dégagé des douloureuses épreuves de l'ancienne Compagnie de Panama.

Ils ont pensé qu'en augmentant la dimension des excavateurs, des wagons, des locomotives, le cube d'excavation augmenterait proportionnellement, c'est le contraire qui est arrivé et qui devait arriver.

Quelques mots du message du Président Roosevelt du 17 décembre 1906 indiquent clairement le fait.

« Les machines à excaver françaises, bien que de construc-
« tion excellente, ressemblent à de vrais jouets quand on les
« compare avec les nouvelles pelles à vapeur juste comme les
« wagons à déblais français ressemblent à des jouets d'enfants
« quand on les compare aux longs trains de grands wagons
« plats qui se déchargent avec des charrues à vapeur et que
« nous employons.

Un peu plus loin, il dit : « Dans la saison des pluies, nos
« pelles à vapeur ne peuvent faire que peu de chose dans la terre
« meuble, mais elles travaillent constamment dans le roc ou
« dans le terrain dur.

Le Président Roosevelt aurait pu étendre aux « énormes wagons » ce qu'il dit des pelles à vapeur et ajouter que sur les voies de chantiers d'excavation de terre meuble, ces énormes wagons seraient régulièrement en dehors des rails et non dessus.

Si l'ancienne Compagnie de Panama avait commis l'imparadonnable erreur de mesurer le poids de ses locomotives et de ses wagons d'après la grandeur de la tranchée et non d'après le terrain et les pluies, si elle avait choisi le matériel américain actuel, elle n'aurait absolument rien fait pendant 9 mois sur

douze. En effet, le Président nous dit que ce matériel ne fait rien dans la terre meuble pendant les pluies et la presque totalité des tranchées, lors des travaux français, étaient dans l'argile molle, alors que les Américains travaillent aujourd'hui en majeure partie dans l'argile dure et le rocher.

Les ingénieurs américains ne se rendent évidemment pas un compte suffisant de ces faits, car ils hésiteraient à comparer à des jouets le système mécanique qu'il y a vingt ans excavait avec moins d'hommes qu'ils n'en ont 1 400 000 yards cubes par mois, alors que la machinerie soi-disant supérieure qu'ils emploient ne leur donne jusqu'ici comme record qu'un cube de 325 000 yards cubes par mois. C'est moins du tiers du cube officiellement annoncé en avril dernier par le Président de la Commission isthmique, comme devant caractériser l'excavation mensuelle de la deuxième moitié de 1906 (1 000 000 de yards cubes).

Pour l'excavation des parties hautes des montagnes, pour l'œuvre énorme et nécessaire qu'ils ont accomplie, les ingénieurs français ont donc sagement fait de choisir des locomotives de 30 tonnes, des wagons portant 10 tonnes de déblais, qu'on appelle dédaigneusement des jouets.

Les énormes travaux accomplis par eux dans les circonstances si difficiles, l'incapacité pour leurs successeurs d'atteindre même de loin les résultats qu'ils obtenaient compensent largement le léger ridicule qui se mêle à l'accusation qu'on leur jette d'avoir employé des jouets pour cette grande bataille contre la Nature.

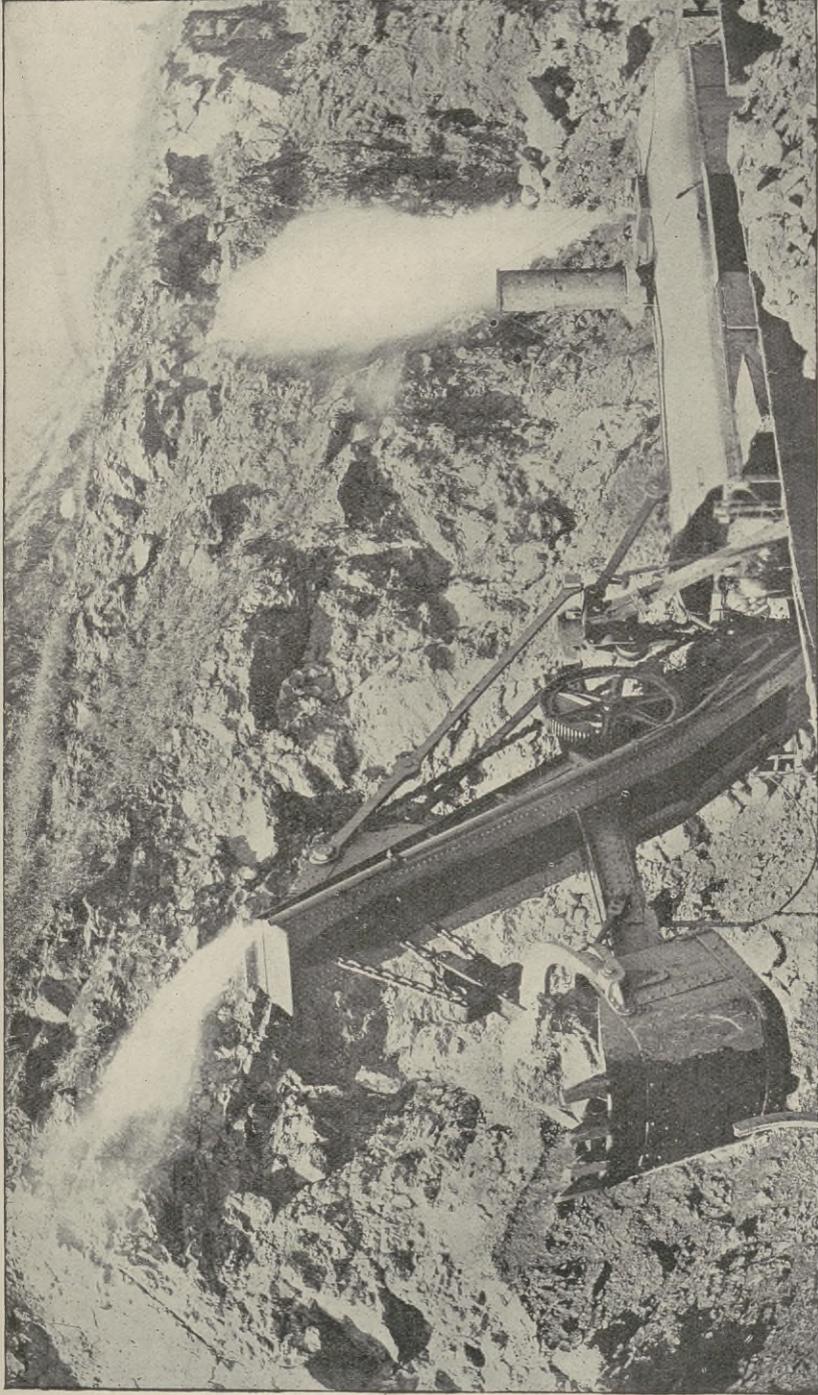
La valeur des armes, comme celle des outils, ne se mesure pas à leur poids, mais à leur efficacité.

Arrivés à la période où nous sommes actuellement, les dragues et les bateaux porteurs devraient être substitués au premier matériel et pour ceux-là il n'y a plus de limite ni à leur puissance, ni à leur rendement.

C'est cette nouvelle phase au début de laquelle le Canal de Panama est tombé entre les mains américaines.

Les ingénieurs américains n'ont pas su ou n'ont pas voulu comprendre la philosophie de ce grand problème et comment le chemin était ouvert devant eux pour réaliser la communication en quatre ans entre les océans et onze ans plus tard l'œuvre immortelle et généreuse du « Détroit de Panama ».

Est-il trop tard pour réagir ? Non, si la question était examinée dans un esprit purement scientifique.



Pelle à vapeur américaine en travail.

On conçoit la différence entre la pelle à vapeur américaine et l'excavateur français en comparant cette photographie à celle donnant l'installation des chantiers de Culebra. Chaque type de machines a des avantages et des inconvénients. — Les ingénieurs américains crurent que toutes les difficultés isthmiques allaient disparaître par l'entrée en scène de la pelle à vapeur. Ils durent reconnaître que l'instrument d'excavation jouait un rôle très subalterne et que toute la difficulté est dans le transport. Ils ne se sont pas encore élevés de la constatation à la conclusion qu'elle devrait entraîner, c'est que le seul moyen de transport puissant et économique, est le transport par eau.

Oui, si la vanité nationale s'en mêle.

Un moment il a semblé que le Président Roosevelt voulût exclure toute étroite considération nationale de la recherche scientifique de la meilleure solution. Ce fut lorsqu'il décida, en avril 1905, de demander aux gouvernements d'Allemagne, d'Angleterre, de France et de Hollande de nommer des délégués techniques pour le Consulting Board.

Par malheur, la question rentra dans la sphère mesquine des considérations nationales lorsque le Président des États-Unis quelques mois plus tard, le 19 février 1906, écrivait dans son message au Congrès en recommandant le canal à écluses :

« On remarquera que les ingénieurs américains dans le Consulting Board et dans la Commission ont, par une majorité de plus de deux contre un, soutenu le canal à écluses alors que les ingénieurs étrangers forment un bloc contre lui. »

La vérité scientifique n'est ni allemande, ni américaine, ni anglaise, ni française, ni hollandaise, elle est la vérité scientifique, elle appartient à la race humaine.

Sans doute chaque branche de l'humanité peut s'enorgueillir de l'avoir vue se dégager chez elle, mais quand on la recherche, vouloir tenir compte des frontières c'est se condamner à l'erreur volontairement.

Cette erreur a été commise par le Président Roosevelt lorsqu'il a recommandé ainsi le canal à écluses perpétuelles comme la solution américaine.

La monstruosité d'attacher à perpétuité le commerce d'un demi-continent et la sécurité militaire des États-Unis à un projet constamment menacé par les accidents ou les tremblements de terre, frappa le Sénat à tel point que la Commission sénatoriale du Canal isthmique rejeta la recommandation présidentielle. Le Sénat allait faire de même quand le sénateur Knox, le 19 juin 1906, sauva au dernier moment la proposition en la dépouillant de son caractère perpétuel et en acceptant ma formule :

« Le canal à bief élevé d'abord, le Détroit de Panama ensuite. »

Il dit : « Je vote pour le projet parce que le type à écluses peut, si la nécessité se manifeste jamais, être transformé en un véritable canal à niveau, en un canal ayant cinq à six cents pieds de largeur et cinquante pieds au plus de profondeur d'eau. »

C'était ma proposition tout entière dans ses termes généraux ; elle rallia le Sénat et le canal à écluses fut voté.

Mais la forme adoptée de cette façon pour la première phase de la construction du Déroit de Panama continue à supporter la charge de l'erreur qui présida à sa conception.

Elle comporte une tranchée, à excaver à sec, inutilement profonde et un barrage, à travers le Chagres, inutilement volu mineux.

Le Président Roosevelt, malgré le ton optimiste de son message du 17 décembre 1906, reconnaît que ce barrage en terre, long de 2 350 mètres (7 700 pieds), retenant l'eau à 110 pieds au-dessus du fond du lit de la rivière, comporte « *quelque petit risque* ». C'est une parole grave dans la bouche d'un chef d'État parlant de la clé de voûte de toute l'œuvre à créer.

Les conséquences successives de l'erreur initiale commise dans la conception du plan se manifestent dans la construction.

On n'a pas obtenu pendant la deuxième partie de 1906 le 1/3 du cube que Mr Shonts annonçait en avril comme devant suivre immédiatement la fin de la période d'organisation. On est obligé de reconnaître que les écluses sont mal placées et on est à la recherche d'emplacements convenables.

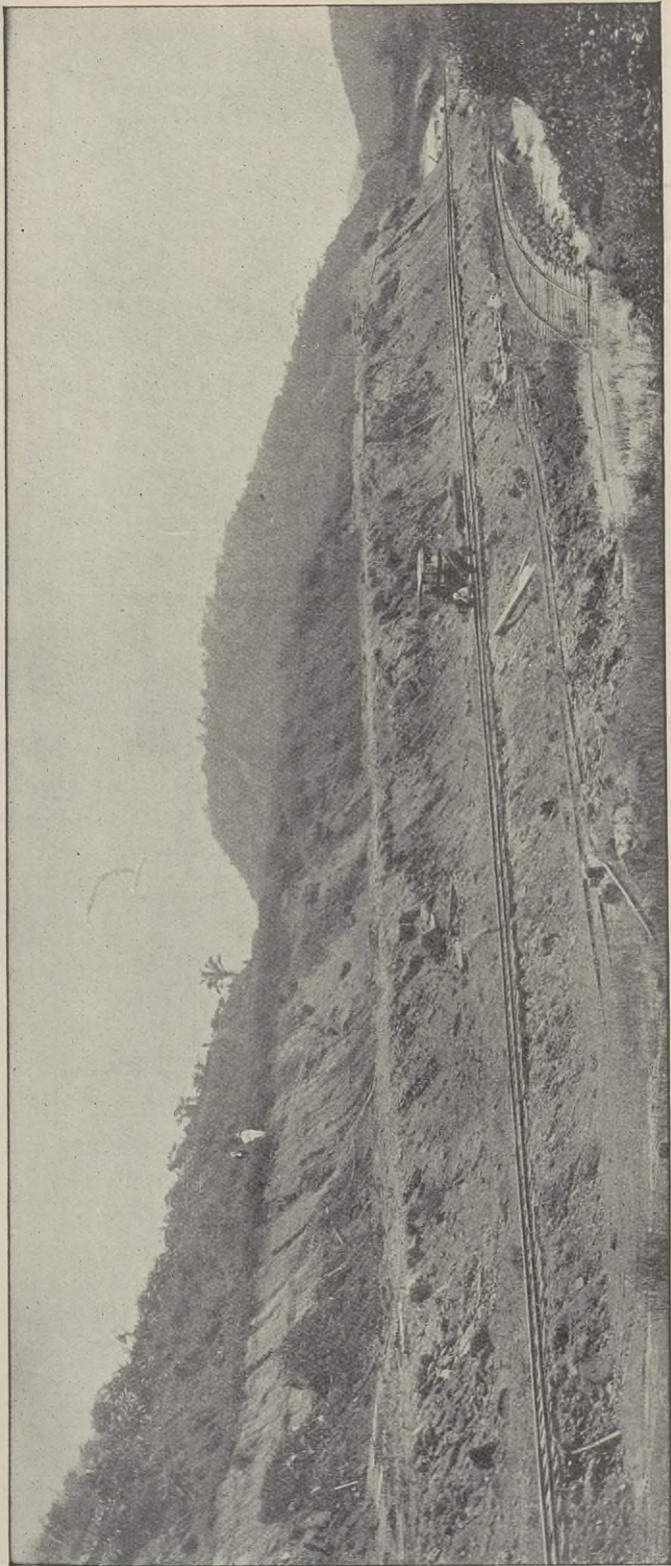
Tous ces faits matériels, l'énorme somme dépensée, sans résultats sérieux, 200 000 000 de francs (40 000 000 de dollars) en deux ans et huit mois, devraient sonner la cloche d'alarme et montrer que la piste suivie est fautive, que l'on marche par une voie douloureuse vers un plan dangereux, incertain, qui remplacera peut-être les fêtes de l'inauguration par un épouvantable cataclysme.

Certes, il faut pour revenir à la vérité un courage héroïque et s'il est un homme capable de l'avoir, c'est M. Roosevelt.

Son dernier message ne semble pas indiquer toutefois qu'il faille l'espérer.

La confiance inspire évidemment le Président, malgré ces faits. La photographie que je reproduis en l'extrayant du message présidentiel, avec l'inscription placée au dessous, montre que cette confiance est mal placée. (Voir page 85.)

Le Président a évidemment été trompé, on lui a fait croire qu'un nouveau niveau d'excavation avait été créé à travers la Culebra longue de 11 k. à 20 mètres (65 pieds) au-dessous du dernier laissé par les Français. L'excavation à laquelle se réfère cette observation est simplement l'enlèvement d'une chaussée, large de 200 mètres, haute de 10 mètres que l'on a laissée à travers la tranchée ouverte par les Français, pour laisser passer



« Vue de la tranchée de Culebra. Le niveau auquel sont les deux hommes est celui atteint par les Français; le niveau auquel se trouve « le wagonnet est le niveau américain actuel, 20 mètres (65 pieds) plus bas ».

(Photographie et inscription erronées extraites du message présidentiel du 17 décembre 1906).

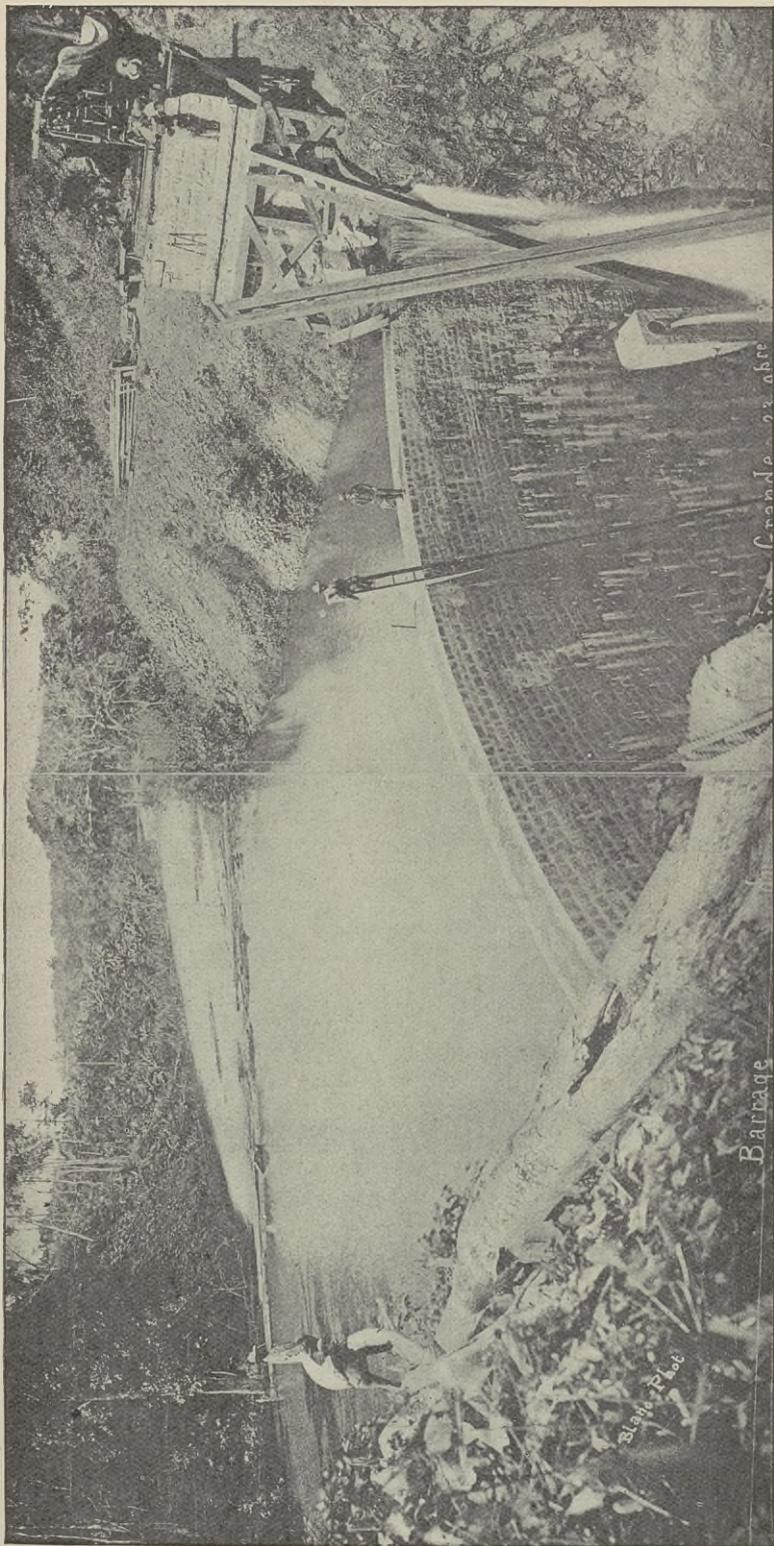
Toute personne lisant le message ne peut faire autrement que de croire qu'un nouveau niveau, 20 mètres au-dessous du plus bas laissé par les Français, a été créé le long de la tranchée de Culebra (longue de 41 kilomètres) par les Américains.

Il n'y a, par malheur, pas l'ombre d'une réalité dans l'illusion que crée nécessairement la ligne placée en dessous de la photographie. Le Président Roosevelt a dû être trompé par quelque fausse explication, autrement il n'aurait pas inséré une telle affirmation dans un document public portant son nom respecté.

Au surplus, le rapport de la Commission du Canal isthmique pour l'année terminée le 1^{er} décembre 1906 s'exprime ainsi : « Le travail technique de l'année a été presque « entièrement préparatoire... Le plan général du travail a été dans la tranchée de Culebra de mettre les différents niveaux en conditions convenables pour y placer le nombre « maximum de pelles à vapeur. »

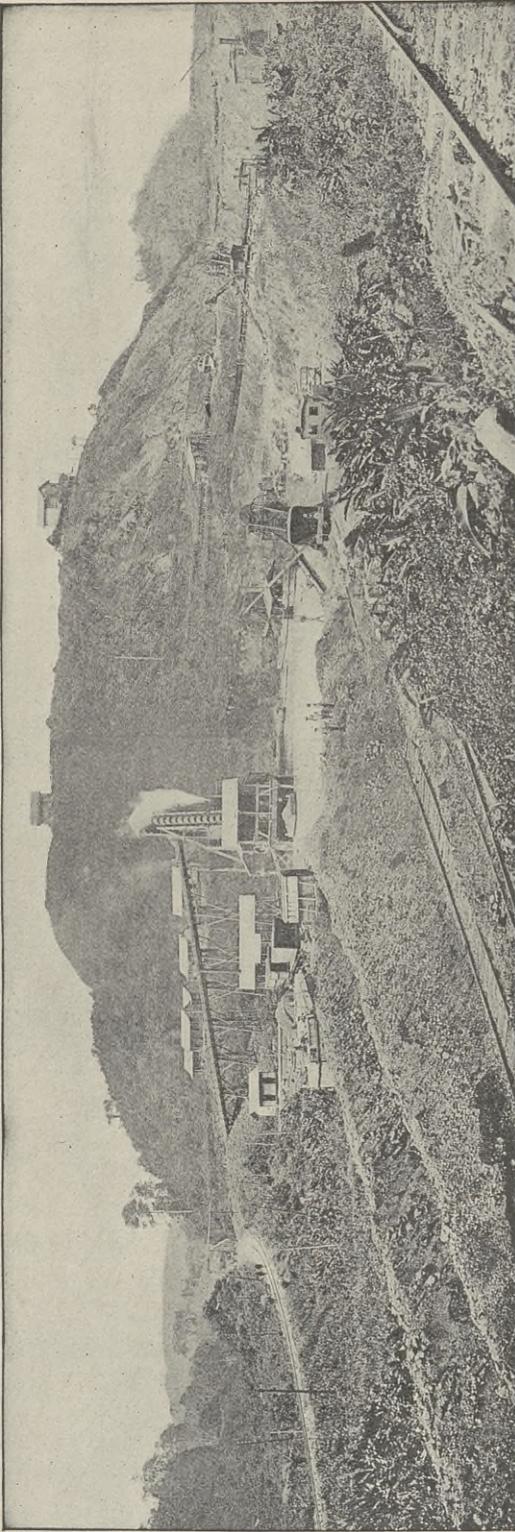
Le rapport est donc bien clair, il exclut toute idée qu'un travail d'une importance capitale telle que l'ouverture d'un nouveau niveau 20 mètres plus bas que le plus profond créé par les Français, ait jamais été réalisé.





Ce barrage à travers le Rio Grande, à 1 200 mètres environ de la Culebra, permettait de relever à 6 mètres au-dessus du niveau du lagon de dragage les eaux de la rivière. Un siphon reliait le réservoir ainsi formé avec le lagon de dragage représenté par la figure de la page 80.
Ce barrage que j'avais fait très très léger a parfaitement résisté depuis l'époque de sa construction (1888). Le réservoir qu'il crée sert aujourd'hui à l'alimentation de la ville de Panama en eau potable.





Installation de dragage à la Culebra dans un lagon artificiel créé à flanc de coteau, 18 mètres au-dessus du thalweg de la rivière Rio-Grande (novembre 1888).

C'est à cette installation que se réfère M. Lindon Bates quand il parle de la nouvelle méthode d'exécution formulée à la fin des travaux de l'ancienne Compagnie. J'avais, en réalisant à la Culebra l'application de la méthode générale de dragage, que j'avais formulée, dû me limiter à l'extraction et au transport par chalands sur le chantier des matières draguées. On devait redraquer les matières des chalandes pour les charger sur wagons. C'était un premier acheminement vers la méthode complète qui consiste à transporter les chalandes chargés jusque dans une décharge en eau profonde telle que le lac de Gambou. Bien que cette installation ne jouit pas alors de tous les avantages du dragage, ceux qu'elle avait étaient déjà énormes. Mais la liquidation de l'ancienne Compagnie n'ent rien de plus pressé que de détruire cette précieuse installation qui, si elle fut restée, eût permis à la nouvelle Compagnie de Panama de faire trois fois plus de cube à la Culebra avec la même dépense.

Les ingénieurs américains ne comprirent pas quand ils trouvèrent les traces du matériel naval que représente cette photographie. « Ce que l'homme ne comprend pas, dit « Goethe, il s'en moque. » Mr Taft, ministre de la guerre, matérialisa cette pensée de Goethe, quand il dit devant un Comité de la Chambre des représentants avec l'intention de railler l'œuvre des Français : « Mr Stevens, l'ingénieur en chef, a trouvé un remorqueur sur le sommet de la tranchée de Culebra, qu'il descendit, répara et mit en service à « La Boca. Ils (les Français) probablement pensaient que l'eau montait vers le sommet de la tranchée et qu'elle arriverait à faire flotter le remorqueur ». En se moquant en ces termes des Français, Mr Taft n'a fait que tourner en dérision sa propre ignorance de l'histoire du Canal.



les trains d'un côté à l'autre. — L'obliquité des voies a obligé à donner la largeur de 200 mètres à la masse traversière dont l'excavation a été différée.

En dehors de l'enlèvement de cette masse traversière insignifiante, aucun changement substantiel n'a été apporté dans les niveaux d'excavation créés par les Français. D'ailleurs la quantité de terrains enlevés par les Américains est trop faible pour avoir permis la création d'un niveau, 20 mètres plus bas que celui existant antérieurement, ou rien même d'approchant.

J'en suis profondément peiné, car j'eusse vivement désiré que l'œuvre entreprise par les États-Unis à Panama tournât à leur gloire et non à leur confusion.

J'ai combattu pendant des années aux États-Unis contre la solution erronée de Nicaragua, qui pendant un demi-siècle avait recueilli les suffrages scientifiques et politiques unanimes des Américains.

J'ai triomphé de cette légende grâce au constant appui, grâce au dévouement sans limite de deux grands citoyens américains, Mr John Bigelow et le sénateur Mark Hanna, qui savaient placer l'intérêt national au-dessus de la vanité nationale et saluer la vérité scientifique sans chercher la nationalité de ceux qui se battent pour elle.

Plus tard, quand la Colombie a voulu faire obstacle à la résurrection de l'œuvre de Panama, j'ai coopéré à la sécession de l'Isthme et comme ministre plénipotentiaire de la nouvelle République, j'ai signé avec le Secrétaire d'État, Mr Hay, la charte de la construction du Canal de Panama.

J'ai encore rencontré en Mr John Hay le cœur le plus élevé et le plus noble, et la grande République d'outre-Atlantique en perdant Mark Hanna et John Hay a perdu les conseils sincères du plus élevé patriotisme.

Ils n'étaient plus dans les conseils de l'État quand j'ai accompli la troisième partie de ma tâche, quand j'ai livré le précieux dépôt que constituait la solution résultant de la douloureuse expérience acquise par l'ancienne Compagnie de Panama.

J'ai montré comment devaient être exécutés les travaux et quel devait être le but: le Détroit de Panama, combien il était facile à atteindre en 15 ans, après avoir ouvert le passage en quatre années, peut-être en moins de temps encore.

J'ai parlé à des aveugles qui ne voulaient pas voir, à des sourds

qui ne voulaient pas entendre. Il fallait apparemment quelque chose d'américain et ce que j'apportais n'eût pas.

Un ingénieur américain connu, Mr Lindon Bates, décrivait cette phase dans un récent travail : « La crise de Panama. »

« Quand, il y a trois ans, notre gouvernement assumait l'entreprise de Panama, ce fut avec son enthousiasme proverbial. Notre confiance en nous-mêmes était sans limite. Nous allions montrer au monde comment les méthodes pratiques américaines allaient réaliser la voie navigable. Nous avions un dédain subtil pour nos prédécesseurs : les impraticables Français. Nous lui donnions une teinte de pitié : les Visionnaires.

« Aussi nous achetâmes leurs propriétés, droit de concession, chemin de fer, études, machines, ferrailles, et nous sourîmes parce que nous croyions avoir fait un marché de yankees.

« Une chose fut oubliée et les Français avec une générosité d'idéalistes la jetèrent par-dessus le marché. Elle leur avait coûté six fois ce que nous avons payé pour tout leur placement et, en vérité, c'était pour nous la partie vraiment précieuse de l'actif : leur expérience. Si nous l'avions payée un prix élevé, elle aurait été estimée hautement et nous aurait rendu d'énormes services.

« Mais elle aussi a été dédaignée et en oubliant nous suivons le même vieux chemin fatal pour tomber dans le même trou.

« On demande des ouvriers pour Panama ! Voilà cinquante ans que de l'Isthme vient le même appel.

« Dans les derniers mois du régime français, la lumière surgit sur l'horizon et le mot de ralliement circula : le minimum d'hommes, le maximum de machines sur l'eau (1) et un matériel à terre indestructible par la pluie. C'était la loi finale qui renfermait l'expérience d'une génération. »

Quoi qu'il en soit, j'ai accompli complètement mon devoir d'ami sincère des États-Unis en cherchant à éclairer leur route.

J'ai accompli en même temps, et c'était mon but principal, mon devoir envers mon pays en montrant qu'à aucune époque ses ingénieurs n'avaient été au-dessous de la grande tâche qu'il avait entreprise, en montrant que son patrimoine intellectuel

(1) Allusion au système de dragage que j'avais établi à Culebra à flanc de coteau. (Voir les photographies pages 87 et 89.)

peut revendiquer l'honneur d'avoir donné la solution du problème posé par Charles-Quint en 1523, à Cortez : « Où est le Secret du Déroit ? » (El secreto del Estrecho).

Ce secret, je l'ai montré, est désormais découvert. Il n'est pas comme Cortez et ses successeurs l'ont pensé dans la géographie de l'Isthme, il est dans sa topographie et dans son hydraulique.

Tout est préparé par la Nature pour que les forces hydrauliques relèvent dans la haute vallée du Chagres les terres et les roches qui obstruent la place du Déroit. Harnachez ces forces et le Déroit sera fait par leur action spontanée.

C'est le Secret du Déroit.

PHILIPPE BUNAU-VARILLA.

DISCUSSION DEVANT LA SOCIETY OF ARTS

après la note lue par **M. Bunau-Varilla** sur le Canal de Panama
le 23 janvier 1907. (1)

(Traduction textuelle de la discussion insérée dans le Journal de la Society of Arts).

LE PRÉSIDENT en ouvrant la discussion met en relief ce fait que l'auteur de la note a été lié avec l'entreprise du Canal de Panama depuis 1884, époque à laquelle il coopérait avec M. de Lesseps, qui fut l'initiateur du grand projet. L'assistance avait donc eu le plaisir d'écouter quelqu'un ayant eu un privilège plus qu'ordinaire de se familiariser avec le projet en général et avec les difficultés spéciales que l'on doit surmonter. Tous ceux qui ont écouté la description qu'il a donnée du Canal de Panama et du problème à résoudre l'ont fait avec un intérêt

(1) La réunion du 23 janvier était présidée par le vice-président de la Society of Arts qui a pour président le Prince de Galles.

On lira avec un vif intérêt l'opinion très nettement articulée par Sir John Wolfe Barry et qui éclaire d'une lumière si vive la question de l'ouverture d'un Déroit à travers l'Isthme de Panama par la méthode nouvelle proposée. Après ce qu'a dit le grand ingénieur anglais, auquel on doit le magnifique pont élevé dans la partie maritime de la Tamise, le Tower Bridge, personne ne pourra plus insinuer que la conception du « Déroit de Panama » aussi bien que la méthode nouvelle par laquelle il devient possible et facile ne soit pas basé sur les données techniques les plus pratiques et les plus claires.

tout spécial et ont senti qu'il avait donné tout son cœur à la solution du « Secret du Détroit ». L'auteur de la note est entièrement indépendant en ce qui touche la présente entreprise et il est venu ce soir pour donner à la Société et par la Société au monde ses vues profondément mûries sur le mode propre et dans son opinion sur le mode unique de conduire les travaux au succès final. Quant à lui-même (le président), il éprouvait la crainte que sans plus d'études sur un sujet aussi compliqué il fut difficile d'exprimer une opinion quant aux idées de l'auteur de la note. Toutefois, en principe, on ne pouvait s'empêcher d'être captivé par cette idée que l'œuvre pouvait être entreprise et menée au succès par l'usage de l'eau comme organe de support pour la machinerie et comme organe de transport pour mener les déblais dragués à leur destination. On ne pouvait manquer aussi d'être frappé par la remarquable ingéniosité avec laquelle un énorme réceptacle pourrait être créé pour y déposer les déblais, et cela à un niveau suffisamment commode pour que les chalands puissent y accéder. Le mode de conduite des travaux décrit par l'auteur de la note, le nombre de chalands qu'on devrait y employer, le nombre et la taille des écluses nécessaires pour réaliser l'œuvre dans un temps donné *a priori* et la quantité de terrain qu'il y aurait à transporter, tout cela formait des questions méritant l'attention minutieuse et les calculs des ingénieurs, mais avec lesquelles la réunion d'aujourd'hui n'avait rien à faire.

Ce qui se recommandait de soi-même et immédiatement à l'esprit de l'ingénieur, c'est le principe considérable que s'il était possible d'employer le pouvoir de flottaison de l'eau pour amener les instruments d'excavation à la place où l'excavation doit être faite, et aussi pour faire voyager les chalands entre les dragues et la place où s'effectuait leur décharge, cela résoudrait plusieurs des grandes difficultés rencontrées en exécutant de tels travaux dans un pareil pays.

Comme l'a dit l'auteur de la note, au lieu de traiter la pluie intense de cette région en ennemie, il la convertissait en une amie et une alliée. Si ce plan pouvait être réalisé, il (le président) le considérait comme une proposition de très haute valeur. Sa propre expérience venait corroborer entièrement de telles vues, parce qu'il connaissait très bien ce que coûte l'excavation dans des strates de terrain aqueuses lorsque l'excavation y est

faite à sec, là où les pluies déterminent d'innombrables glissements de terre et occasionnent les plus grandes difficultés dans le maintien des voies.

Si ces difficultés pouvaient être évitées, une énorme quantité d'éléments de trouble était de ce fait éliminée et un prix pouvait être atteint qui, de très loin, serait inférieur au minimum de ce que l'on peut espérer avec l'excavation à sec.

Il (le président) pensait que l'on pouvait dire que le Canal de Suez aurait été impossible à exécuter sans les grands progrès faits dans le matériel de dragage au moment où le problème a été attaqué, et cela bien que les distances de transport des déblais fussent comparativement faibles.

Depuis cette époque, les progrès du matériel de dragage ont marché à pas gigantesques et les ingénieurs sont maintenant en mesure d'amener des dragues sur les travaux, qui ont une puissance et une rapidité d'excavation auxquelles on ne rêvait même pas autrefois. Tous ces développements ont eu lieu pendant la vie des personnes présentes et ils ne sont pas terminés. Le seul point qui l'a frappé de manière adverse dans la note lue ce soir, c'est quand l'auteur de la note a parlé d'excaver avec des dragues vieilles de seize ans. Il pense que l'auteur n'a fait que s'y référer pour un travail d'expérience, car personnellement il (le président) regretterait de voir attaquer les travaux du Canal avec des dragues construites il y a seize ans alors qu'on peut en avoir maintenant d'un caractère très supérieur et d'une bien plus grande puissance (1).

Il (le président) a eu quelque chose à faire avec le Canal de Suez et peut parler par expérience de l'excavation des roches sous l'eau.

M. Quellenec, l'ingénieur-conseil du Canal, connaissait le prix des travaux bien mieux que lui, mais la question a été posée alors qu'il était membre de la Commission consultative internationale du Canal de Suez. On considérait à une époque que l'excavation du rocher entre les lacs Amers et Suez, nécessaire pour l'approfondissement du Canal en vue des besoins

(1) C'est précisément ce qui est exprimé au cours de la note, ainsi qu'il est facile de s'en convaincre. Le travail fait avec de vieilles dragues n'a été cité que pour montrer que ces vieilles dragues font pour 7 à 8 sous le même travail que font pour 60 sous américains les excavateurs les plus perfectionnés. Mais pour les travaux, la note suppose que ces vieux instruments seront délaissés et remplacés par d'autres donnant un prix de revient moitié moindre et une puissance double de travail.

actuels de la navigation, présentait de telles difficultés que l'on en suspendit l'exécution pendant des années, bien que chacun sut que cela avait à être fait.

Mais la difficulté a disparu. Les travaux ont été faits sans explosifs, le transit du Canal n'a pas été interrompu et l'excavation du rocher sous l'eau a été faite à un prix que M. Quellenec établit être 1 fr. 65 par mètre cube.

M. Hunter a aussi déclaré qu'il a excavé du rocher sous l'eau dans le canal de Manchester par le même procédé Lobnitz, à 1 fr. 20 le mètre cube, et ces prix, les ingénieurs doivent les admettre comme des faits (1).

En prenant ces prix comme vrais (et ils doivent être admis comme tels sur le témoignage d'aussi éminents ingénieurs), il semble en vérité que ce soit un fait renversant que de voir les ingénieurs admettre le prix énorme de 16 fr. 50 par mètre cube au Canal de Panama pour l'excavation du rocher sous l'eau.

Il (le président) désirait aussi dire qu'il pouvait plus ou moins corroborer par sa propre expérience le prix que l'auteur de la note a cité pour le dragage des terrains meubles.

Il a excavé et transporté au loin bien des millions de mètres cubes de ces terrains.

En outre, les ingénieurs peuvent maintenant, en suivant des méthodes récentes, excaver et pomper de pareils terrains à une distance de 2 000 à 2 500 mètres dans de grands tuyaux sans la moindre difficulté et à un prix très modique.

Cela encore montre combien on peut avoir de solutions précieuses quand on a à traiter un problème d'excavation par le dragage au lieu de le traiter par la méthode à sec.

La grandeur de la conception de l'auteur de la note l'a frappé (le président) *a priori* comme étant celle que tout le monde aimerait à voir étudier à fond.

Bien que le profil en travers du Canal de Panama proposé par la Commission fut beaucoup plus grand que celui de Suez, il est encore relativement petit si l'on pense à la constante augmentation de la taille des navires. Il (le président) pense

(1) Il y a une légère rectification à mentionner, les prix cités s'appliquent à la partie réellement difficile de l'excavation : la transformation du rocher en matière dragable. Pour avoir le prix de l'excavation proprement dite, il faut y ajouter le dragage et le transport. C'est 0 fr. 25 par mètre cube en plus avec des travaux organisés en grand et des conditions normales de transport et de décharge. Ce prix lui-même peut varier énormément suivant les conditions locales du travail, la distance de transport ou la faiblesse du cube à enlever.

que le Canal isthmique est condamné à être trop petit pour les besoins de l'avenir. Il pense donc que tout le monde devrait accueillir favorablement l'idée que l'auteur a énoncée et qui consiste à dire que l'on ne peut se contenter de ce qui pourrait s'appeler un canal, mais que l'on doit envisager ce qu'on peut mieux décrire par le nom de « Détroit de Panama ».

Une autre des choses qui l'a frappé (le président) c'est que les récents et douloureux événements qui ont eu lieu à la Jamaïque, à Valparaiso, en Californie, semblent indiquer qu'une grande œuvre d'importance internationale sise dans une localité telle que l'Amérique centrale et l'Isthme de Panama devrait être projetée de façon à entièrement éliminer ce que l'on appelle ouvrage d'art.

Un système de canal à écluses dans un voisinage volcanique exposé aux tremblements de terre ne peut être envisagé avec quiétude. Quand il prend en considération l'énorme somme d'argent à dépenser en travaux, il lui semble à lui simple spectateur (et il n'est qu'un spectateur dans ce cas particulier) que tout projet comportant de grands barrages et toute une série d'écluses fermées par des portes, lesquelles seraient absolument anéanties par des tremblements de terre relativement faibles, devraient être évités dans une aussi magnifique entreprise.

Mr. E. W. MOIR dit qu'il ne connaissait pas beaucoup le Canal de Panama, mais qu'il pouvait pleinement endosser les assertions de l'auteur de la note en ce qui touche aux avantages du dragage par rapport à l'excavation à sec, et aussi en ce qui touche à l'accroissement de puissance du matériel actuel de dragage, par rapport à ce qu'il était possible d'obtenir à une époque relativement récente.

Sa propre maison, S. Pearson and Son (1), a eu beaucoup à faire en dragage et la semaine dernière elle avait donné à

(1) La Société S. Pearson and Son est la plus grande Société d'entreprises de travaux maritimes d'Angleterre et probablement du monde. L'adhésion donnée par un membre de cette grande Société aux principes nouveaux sur lesquels la construction du Détroit de Panama est basée en démontre la valeur pratique. Le témoignage de M. Moir, le grand entrepreneur, s'ajoute à celui du grand ingénieur Sir John Wolfe Barry et lavent sans réplique possible la conception du Détroit et ses moyens d'exécution des manœuvres dont ils ont été l'objet à Washington au sein du Consulting Board.

Mr. Lobnitz la commande d'une drague qui a été garantie d'un débit de 750 mètres cubes à l'heure, à la profondeur de 13^m,70 (45 pieds) en terrain meuble (soit 18 000 m. c. par 24 heures).

Les godets sont de 1 mètre cube de capacité et la vitesse garantie du dragage est de 18 godets à la minute (cube théorique 28 700 m. c. par 24 heures).

Il a eu souvent des entretiens avec Mr. Lobnitz à propos de sa dérocheuse. Le père de Mr. Lobnitz a entrepris sur la Clyde la construction des dragues, et le fils, qui continue brillamment l'œuvre du père, lui dit qu'il avait vu récemment des chiffres de prix de revient sur le canal de Manchester qui indiquent que le dragage de roche noyée s'y fait moyennant une dépense moindre qu'il ne serait possible de le faire avec du minage de surface et l'enlèvement à sec par les procédés usuels à ciel ouvert.

Ce témoignage, par suite, confirme de façon concluante ce que l'auteur de la note a exprimé.

Sur la proposition du président, un vote cordial de remerciements a été accordée à M. Bunau-Varilla pour sa note intéressante et instructive.

M. BUNAU-VARILLA, dans sa réponse, fait remarquer qu'il a bien fait état des énormes progrès qui ont été faits par le système de dragage par rapport à l'excavation à sec.

En dehors de ceux dus au considérable accroissement de volume et de puissance des dragues, il y en a un autre qui jouera un rôle important dans les travaux de Panama : l'usage de l'électricité.

À bord d'une drague, le prix de revient effectif unitaire de l'excavation dépend surtout du temps perdu et des accidents. Comme les dragues excavent des matières qu'elles ne peuvent pas voir, elles sont exposées à rencontrer des obstacles cachés et la machinerie est de temps à autre soumise à une résistance anormale.

Quand la puissance motrice est électrique, aussitôt que la résistance atteint une limite déterminée, le courant est coupé et l'accident est évité.

Cela est un très important facteur dans le prix de revient des travaux.

En 1895, alors qu'il construisait le chemin de fer de l'Ouest de l'Espagne, il saisit l'occasion qui résultait de la nécessité d'enlever une grande quantité de ballast dans la rivière Esla pour faire des expériences sur l'adaptation de l'électricité au dragage.

Elles remplirent entièrement son attente. L'emploi de l'électricité à bord de la drague amena une économie considérable de temps et la suppression des petits accidents.

Il ne pouvait conclure sans exprimer sa profonde gratitude pour l'hospitalité que lui avait offerte la Society of Arts. La salle des séances est une place très appropriée pour exprimer ses opinions parce que c'est un terrain neutre et bienveillant et situé dans un pays lié au sien étroitement par la plus profonde amitié.

Après la reproduction qui vient d'être faite de la conférence devant la Society of Arts ; après l'approbation sans réserve donnée avec sa haute autorité par Sir John Wolfe Barry aux nouveaux principes développés et à la solution inespérée qu'ils entraînent : « Le Déroit de Panama », il est bon de reproduire pour l'édification du lecteur les deux lettres ci-dessous au Président Roosevelt.

La première, du 5 mars 1906, dénonce les procédés de discussion technique qui ont abouti au rejet de la méthode rationnelle de travail et du projet indispensable du « Déroit de Panama » qu'elle rendait enfin réalisable.

La seconde, en date du 29 octobre 1906, dresse le procès-verbal de l'échec déjà subi par les ingénieurs américains en tournant le dos à la méthode rationnelle, prodrome sinistre de ce que plus tard coûtera aux États-Unis l'erreur d'avoir adopté une méthode irrationnelle de construction et, avec elle, une forme de canal vulnérable aux coups de la guerre et aux secousses des tremblements de terre.

New-York, 5 mars 1906.

A Son Excellence Monsieur Théodore Roosevelt,

Président des États-Unis, Washington, D. C.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

Je vous ai soumis en mars de l'an dernier un projet de construction du Canal de Panama et vous l'avez référé au Consulting Board international qui l'a rejeté.

Il était basé sur le principe de la réduction au minimum de l'excavation à sec, laquelle présente des difficultés inouïes dans l'Isthme. Il était basé aussi sur le principe de l'application au

maximum de l'excavation par dragues flottantes, laquelle élimine toutes les difficultés isthmiques, résoud entièrement la question de main-d'œuvre et garde à Panama les merveilleuses qualités de puissance et de bon marché qu'elle possède partout, à condition bien entendu que la décharge des chalands puisse se faire dans une masse d'eau profonde voisine du lieu d'extraction.

J'ai indiqué, comme décharge en eau profonde, l'énorme lac de Gamboa qui sera créé par le barrage de Gamboa dans la haute vallée du Chagres, au centre même de l'Isthme, en contact étroit avec le bief où les dragues flotteront et chargeront les chalands. Ce lac sera facile à mettre en communication avec le bief de dragage par des échelles de petites écluses comme en demandent les chalands.

Je vous ai écrit que si le canal à niveau devait être construit immédiatement, il devrait être creusé par cette méthode alors même qu'une exploitation anticipée ne serait pas en question.

J'ai montré comment les conditions que l'on doit créer pour employer le système de dragage pourraient satisfaire aussi dans l'espace de quatre années les besoins du commerce du monde. Cela, comme je l'ai établi, se fera en permettant l'ouverture au transit, dès le début du dragage, grâce à la connexion des biefs successifs de travaux à l'aide d'écluses adaptées au transit international.

Cela est connu sous le nom de « principe de la transformation ». Je l'ai énoncé en 1887.

Je vous ai donné l'an dernier en mars et au Board, avec de plus complets détails, en septembre, les solutions techniques qui permettent l'élimination graduelle et à peu de frais des écluses pendant la période de creusement. Elles permettent la complète indépendance et la liberté réciproques des travaux et du transit si le chenal normal de navigation fixé à 150 pieds de largeur pour le premier canal à écluses est porté à 300 pieds ou plus pour le passage à niveau (page 226, Rapport du Consulting Board).

J'ai montré au Board que, grâce aux extraordinaires progrès réalisés récemment dans l'excavation par drague du rocher et de la terre meuble, on pouvait raisonnablement envisager de donner non seulement 300 pieds au passage à niveau, mais 500. Cela permettrait la création de la voie d'eau parfaite, libre de toute écluse de marée, libre de tout danger d'obstruction pou-

vant résulter d'un éboulement des flancs de la grande tranchée, libre de tout danger pouvant résulter de la destruction éventuelle du barrage de Gamboa. Cette dernière libération résultera de l'élimination du barrage de Gamboa comme barrage proprement dit par l'évolution même du système de construction. Ce système, en effet, aboutira à placer derrière le barrage 300 à 400 millions de mètres cubes apportés par les chalands. Il en résultera une surélévation du fond même de la vallée sur plusieurs kilomètres. Le barrage de Gamboa ne jouera donc plus aucunement le rôle de barrage après cette surélévation du niveau même du fond de la vallée (page 234 et suivantes du Rapport du Consulting Board).

J'ai appelé la voie d'eau invulnérable qui devait être ainsi créée : le « Détroit de Panama », parce que si elle est environ trois fois moins large au niveau de l'eau que le détroit qui sépare l'Europe et l'Asie Mineure, le Bosphore, à Hussein-Pacha et à Kawak, elle est aussi trois fois plus large que le canal le plus large qui ait été jusqu'à présent conçu pour Panama.

C'est une voie d'eau interocéanique libre, d'une dimension intermédiaire entre un canal et un détroit naturel. Il est donc légitime de lui appliquer l'une ou l'autre de ces dénominations.

Je professe pour plusieurs membres du Consulting Board international des sentiments d'amitié personnelle, mais cela ne peut m'empêcher d'établir que l'esprit scientifique n'a pas inspiré ses recherches. Le Rapport du Board montre que les conclusions auxquelles il est arrivé sont, à des endroits vitaux, erronées et trompeuses.

Avant de partir pour la France, la semaine prochaine, je suis contraint par le sentiment inexorable du devoir à appeler du Président Roosevelt mal informé au Président Roosevelt mieux informé. C'est ce devoir que j'accomplis publiquement aujourd'hui.

Il y a des partis en science comme il y en a en politique. L'esprit de parti exclut l'esprit scientifique d'induction expérimentale.

Les progressistes parmi les ingénieurs sont ceux qui veulent développer aussi loin que possible l'emploi de l'excavation par drague, du transport et de la décharge sur l'eau. C'est à cause du fait scientifique et expérimental que ce système possède exclusivement de merveilleuses qualités de simplicité, de puissance

et de bon marché, dès que sont réalisées les conditions nécessaires au travail des dragues et de leurs annexes. Elles le sont rigoureusement dans les plans que j'ai proposés.

Leurs opposants, les rétrogrades, conduits par les préjugés que maintiennent de vieilles habitudes d'esprit, sont ceux qui préfèrent l'excavation et le transport par machines sur rails, malgré leur profonde infériorité à tous égards. Cette infériorité est énormément accentuée dans l'Isthme par les conditions climatériques et de main-d'œuvre.

C'est l'esprit de ces derniers qui a prévalu dans le Consulting Board, ce n'est pas l'esprit expérimental et scientifique des premiers.

Il a transformé en montagne le gravier que rencontre sur sa route le système hydraulique, il a transformé en gravier les montagnes qui obstruent le passage du système de travail à sec.

LES PRIX UNITAIRES EXPÉRIMENTAUX DU DRAGAGE
SONT EXAGÉRÉS DE 300 %/0. CEUX DE L'EXCAVATION A SEC
SONT TRAITÉS DE MANIÈRE INVERSE.

Un évident exemple de cette tendance à frapper d'un injuste ostracisme le dragage et à favoriser l'excavation à sec peut être facilement obtenu. Il ressort de l'examen des prix unitaires admis par le Consulting Board pour les deux seules catégories de travaux que les États-Unis aient encore réalisées dans l'Isthme. Il jaillit de la comparaison entre ce prix et le coût qui résulte de l'expérience réelle.

On peut trouver, pages 395 et 396 du Rapport que le coût moyen par mètre cube de l'excavation à sec à Culebra a été 4 fr. 65 (y compris 0 fr. 75 pour le minage). Ce coût résulte des dépenses effectives faites pendant 15 mois.

Actuellement les meilleurs excavateurs, d'après les idées américaines, travaillent à Culebra. Aucune amélioration dans les prix ne peut être espérée d'une amélioration du matériel. Tout au contraire, une forte accentuation des dépenses se produira nécessairement lorsque la tranchée sera approfondie. Le transport aux décharges sera plus long et les troubles incessants qui résulteront de la continuelle irruption des eaux s'accroîtront de manière alarmante.

A la page 299 du Rapport, on peut trouver, d'autre part, le prix moyen par mètre cube de l'enlèvement du terrain avec l'excavation sur l'eau.

Le coût effectif du dragage dans le port de Colon est de 45 centimes et dans celui de Panama de 50 centimes par mètre cube.

Cela résulte de chiffres portant sur une excavation totale par drague ayant une importance de même ordre que celle accomplie à sec.

Contrairement à ce qui a eu lieu à Culebra, le matériel avec lequel le dragage a été réalisé est ancien. Il a été construit il y a vingt ans, et se trouve abandonné depuis seize ans.

Des machines du même type sont en usage courant aujourd'hui qui excavent, transportent et déchargent le double moyennant une dépense égale.

Si les États-Unis avaient renouvelés leur matériel de dragage à Panama et à Colon, le coût moyen actuel de l'excavation par drague serait descendu à un peu moins de vingt-cinq centimes par mètre cube au lieu d'être un peu moins de cinquante centimes en moyenne.

Ces données expérimentales étant connues, ainsi que leurs conséquences rationnelles sur les prix futurs à admettre comme unités, voyons quelle interprétation le Consulting Board leur a donnée.

A la page 419 du Rapport se trouve la liste des prix unitaires adoptés par le Consulting Board.

On y voit que l'excavation à sec à Culebra jusqu'au niveau de haute mer est fixée à 5 fr. 25 par mètre cube et que le dragage des ports de Panama et de Colon est estimé à 1 franc (vase et sable).

Il résulte de ces chiffres qu'une augmentation de 12 % environ au-dessus du coût résultant de l'expérience actuelle de l'excavation à sec a paru au Consulting Board suffisante pour couvrir l'augmentation certaine et importante de dépense qui résultera de l'approfondissement. Par contre, une augmentation de 100 %, au-dessus du coût que révèle l'expérience actuelle des dragages à Panama et à Colon, est chargée arbitrairement à l'excavation sur l'eau sans la moindre justification rationnelle imaginable. Loin d'être doublé, le coût probable aurait dû être réduit à la moitié de celui qu'on obtient aujourd'hui avec des dragues démodées.

En réalité, le prix unitaire du dragage adopté est de 300 % au-dessus de ce qu'il sera certainement à Colon et à Panama.

L'esprit bien caractérisé qui a inspiré un pareil traitement des données expérimentales ne peut trouver d'excuse dans l'ignorance des conditions réelles du dragage actuel.

Il y a deux très importantes déclarations sur ce point.

A la page 299 du rapport, Mr. Maltby, l'ingénieur chargé de la division des dragages, après avoir donné le prix effectif de 0,45 par mètre cube à Colon énonce : « Nous pouvons faire cela pour un prix bien moindre avec les dragues de type récent. »

On peut voir aussi à la page 304 du Rapport que Mr. Welcker, délégué du gouvernement hollandais, a déclaré avoir dragué cette année en Hollande au prix de 0 fr. 25 par mètre cube y compris un transport à 6 ou 7 kilomètres.

Je donne cet exemple du traitement inégal auquel ont été soumis les systèmes d'excavation à sec et sur l'eau pour montrer combien il est facile de tourner le dos à la direction vraie si l'austérité de l'esprit scientifique ne maintient pas avec rigidité l'alignement que montrent les données expérimentales et si on laisse l'esprit de parti des idées préconçues exercer sa néfaste influence.

Prix unitaires expérimentaux de l'excavation des roches noyées exagérés de 400 %.

Je n'ai pas mis en relief l'exemple ci-dessus à raison de son influence sur le choix de la solution la meilleure. Envisageons maintenant un cas entièrement similaire, mais comportant des conséquences vitales sur l'adoption de la solution scientifique et rationnelle du problème de Panama : l'extraction des roches noyées. La première Commission isthmique, dans son Rapport de 1901, a fixé l'extraction des roches submergées à 31 fr. 50 le mètre cube dans sa liste des prix unitaires.

Un pareil prix rendrait inadmissible la proposition de draguer la plus grande partie du Canal de Panama à cause des roches qu'on y trouve. J'ai expliqué (pages 232 et 239 du Rapport) que cette difficulté est entièrement éliminée par les nouvelles méthodes actuellement en usage dans un grand nombre de travaux publics.

La meilleure de ces méthodes, le système Lobnitz, inventée

il y a dix-huit ans et développée pour les besoins du Canal de Suez, permet à cette Compagnie d'enlever le rocher à 4 fr. 85 par mètre cube. Cela ne fait pas le cinquième du prix admis par la première Commission isthmique. On sait que ce prix lui-même est beaucoup trop élevé qu'il ne devrait l'être à cause de la très longue distance de transport et du temps perdu qu'occasionne pour les dragues le passage des navires. Les documents du Canal de Suez montrent que le rocher est rendu dragable pour 2 fr. 10, et que cette opération ne coûterait pas plus de 1 fr. 65 par mètre cube (page 239 du Rapport) si l'on supprimait les interruptions dues au transit. (Rapport de la Commission consultative internationale des travaux du Canal de Suez, page 32. Réunion du 8 novembre 1904, Rapport de l'ingénieur en chef de la Compagnie.)

Mais le Canal de Suez n'est pas le seul témoin que le Board pouvait consulter au sujet du bon marché de la nouvelle méthode d'extraction de roches noyées.

A la page 255 du Rapport du Consulting Board, Mr. Hunter, ingénieur en chef du canal de Manchester, énonce que plusieurs millions de mètres cubes de rocher doivent être enlevés dans le canal de Manchester pour lui donner une profondeur de 29 pieds. Il dit que « le coût d'après certaine méthode qui a été adoptée » (méthode Lobnitz) est calculé devoir atteindre un peu moins de 3 fr. 30 par mètre cube (1).

La roche du canal de Manchester est dure, beaucoup plus dure que celle de Culebra en moyenne. Avec la méthode Lobnitz, il ne coûte pas plus de briser la roche à 50 pieds qu'à 29. A peu près la moitié du coût réside dans la génération de la puissance mécanique par la vapeur. Cela disparaîtra avec l'usage de l'énergie électrique gratuite engendrée par les chutes du lac de Gamboa dans ma proposition.

C'était la plus importante question soumise au Board, c'était une question d'importance vitale. Elle a été beaucoup discutée par le Board et c'est un fait bien singulier que la citation ci-dessus soit la seule dans le Rapport du Board qui se réfère au prix d'extraction des roches noyées par la nouvelle méthode.

(1) Depuis lors, Mr. Hunter a communiqué à l'Engineering, qui l'a publiée, le 17 août 1906, une note sur les prix de revient du brisage du rocher. Il ne dépasse pas 1 fr. 20 par mètre cube. Il ne reste plus que le dragage et le transport à y ajouter, c'est-à-dire ce qui coûte environ 0 fr. 50 à Colon et à Panama.

Rien d'autre ne peut être découvert dans les comptes rendus ou dans les appendices de ce que Mr. Quellenec, ingénieur-conseil du Canal de Suez, membre du Board, doit avoir dit et écrit sur ce sujet, de ce que Mr. Hunter, ingénieur en chef du canal de Manchester, membre du Board, doit avoir dit et écrit sur ce même sujet.

A la page 380 du Rapport, il existe une assertion très explicite qui prouve l'existence de ces discussions sur ce point capital, discussions dont aucune trace ne reste dans le Rapport. Au cours de son témoignage, Mr. Wallace, l'ancien ingénieur en chef du Canal de Panama, dit : « En ce qui touche l'excavation du rocher sous l'eau, il y a un procédé dont il n'a point été question dans aucun de ces rapports, mais je pense que M. Bunau-Varilla s'y est référé. C'est le procédé qui consiste à briser le rocher par ce qu'on appelle le « système du « marteau ».

Mr. HUNTER. — « Vous voulez dire le système Lobnitz. »

Mr. WALLACE. — « Je ne sais comment vous l'appellez. »

Mr. HUNTER. — « Vous n'avez peut-être pas besoin de vous étendre à ce sujet. *Nous avons discuté cela d'une façon très développée ici*, c'est un procédé avec lequel il se trouve que Mr. Quellenec et moi sommes très familiers ».

Qui peut expliquer ce fait bien extraordinaire qu'aucune trace des discussions auxquelles il est fait ainsi allusion ne puisse être trouvée, soit dans les comptes rendus, soit les appendices du Rapport. Ce n'est certes pas la sincérité de l'esprit scientifique, non plus que le désir de fournir les plus larges justifications aux conclusions finales, qui expliquera que l'on ait éliminé des procès-verbaux les arguments exposés dans ces discussions étendues.

Rien n'est resté de la lumière jetée par l'expérience des ingénieurs en chef des deux plus grands canaux du monde pour éclairer ceux qui avaient la charge de choisir la meilleure solution du problème gigantesque posé devant les États-Unis. Rien ne reste, si ce n'est le simple fait que le Consulting Board a adopté 16 fr. 40 par mètre cube pour le prix de l'extraction des roches noyées réalisée à la drague (9 fr. 85 si ce rocher, tout en étant extrait à la drague, émerge d'abord au-dessus de l'eau et peut être par suite miné à sec).

Le prix de 16 fr. 40 pour un tel travail est encore plus erroné

et encore plus trompeur que celui inscrit dans la liste des prix unitaires pour le dragage des sables et vase des ports de Colon et de Panama.

Dans ce dernier cas, l'exagération était de 300 % au-dessus de la réalité expérimentale, dans le cas des roches noyées c'est 400 % au moins en sus du prix réel et probablement 500 % ou 600 %.

Ce n'est pas non plus le prix correspondant au système antique et démodé, le prix de 31 fr. 50 le mètre cube.

Ce n'est pas ce prix qui certainement fut adopté par la première Commission du Canal isthmique parce qu'il ne jouait qu'un rôle négligeable dans son projet.

Ce n'est pas non plus le prix correspondant au nouveau système (3 fr. 50 par mètre cube). C'est un prix hybride, illogique, irrationnel, trompeur, le résultat du combat entre le passé et le présent, un compromis entre deux choses qui n'admettent pas de compromis. C'est un compromis vicié dans son essence, car il est fait en vue de fournir une base à des estimations erronées et trompeuses qui ont été invoquées comme des vérités indéniables pour condamner le système nécessaire de la transformation.

Ce fut un compromis dicté probablement par un désir d'harmonie. Il a été employé comme une arme mortelle pour combattre le principe de la transformation par drague du canal à bief élevé en passage libre au niveau des océans et pour cacher ses précieuses, ses inestimables qualités.

L'évaluation du coût de la transformation basée sur ce prix unitaire erroné et trompeur peut être trouvée dans l'appendice P (pages 411 à 413 du Rapport). Si la transformation est faite pour obtenir le canal à niveau, étroit, de 45 mètres de largeur (excepté dans la tranchée de Culebra où il est porté à 60 mètres), cette estimation atteint d'après le Consulting Board 1 045 000 000 de francs.

Si la transformation est faite en vue de créer un canal à niveau de 90 mètres de largeur au plafond, l'estimation atteint 1 580 000 000 de francs.

La substitution du prix de 3 fr. 30 par mètre cube aux exorbitants et injustes prix de 16 fr. 40 et 9 fr. 85 par mètre cube réduirait le coût dans le premier cas à 525 000 000 de francs et dans le second à 790 000 000 de francs.

Aucune estimation n'a été faite pour le « Déroit de Panama ». Il peut toutefois être admis, d'après les chiffres précédents, que chaque augmentation de 30 mètres de largeur au plafond coûtera 250 000 000 de francs.

Dès lors, la transformation du canal à bief élevé en déroit coûtera 1 250 000 000 de francs, c'est-à-dire 1 500 000 000 avec l'addition usuelle de 20 % pour les imprévus.

C'est précisément le chiffre auquel je suis arrivé par une autre méthode de calcul (page 236 du Rapport). Elle représente un maximum du coût de la transformation du canal à bief élevé en « Déroit de Panama ». Elle est certes plus du double de ce que sera le coût en pratique, grâce aux merveilleuses conditions qu'assurera l'usage du lac de Gamboa comme décharge, l'usage de ses chutes pour la génération de la puissance mécanique et grâce aussi au peu de dureté de la roche du massif central en moyenne. (Voir l'opinion de Mr. Stevens, ingénieur en chef du Canal, page 289 du Rapport.)

Conséquences des évaluations trompeuses relatives au coût de la transformation.

Un même esprit de justice à fausses balances a conduit à négliger les données expérimentales de l'excavation à sec à Culebra et de l'excavation sur l'eau à Colon et à Panama. Il a ajouté 300 % de surplus injustifié au coût réel de l'excavation sur l'eau et 12 % au coût réel de l'excavation à sec, alors que les difficultés probables du futur justifieraient beaucoup plus. Maintenant il ajoute 400 % de surplus au coût expérimental du dragage de roches noyées, tel qu'il résulte des documents des canaux de Suez et de Manchester. Le bas prix actuel de l'extraction des roches noyées est d'ailleurs confirmé par des exemples fournis par beaucoup d'autres grands travaux maritimes du monde, y compris ceux du Japon qui a acheté successivement sept dérocheuses Lobnitz en cinq ans.

Ainsi, grâce à cette simple erreur, en apparence insignifiante, on a réussi à mettre de côté la méthode puissante et économique permettant de construire le Déroit de Panama. On élimine cette méthode précieuse qui permet l'obtention presque immédiate du passage (en 4 ans) et plus tard dans un maximum

de 20 ans et très probablement en 12 ans l'obtention de la voie invulnérable, large, profonde et sans écluses : le « Déroit de Panama ». Cette voie, aucun tremblement de terre, aucun acte de guerre, aucun crime de malfaiteur, aucun accident ne peut la paralyser pendant un temps appréciable comme le serait soit le canal à niveau, étroit et à écluses de marées, soit le canal perpétuel à écluses à bief élevé, peut-être au moment même où son caractère stratégique le rendra indispensable.

Efforts faits pour voiler la transformation sous les nuages de difficultés imaginaires.

Mais l'esprit de parti ne s'est pas limité à recommander l'adoption de prix unitaires en conflit absolu avec l'expérience actuelle. Il a cherché à voiler la transformation sous un nuage de difficultés imaginaires, irréelles.

Il est évident que si une rue doit être doublée de largeur et abaissée en même temps, la circulation ne sera pas un instant troublée pendant la transformation. L'excavation et le pavage se feront sur la moitié additionnelle sans interrompre la circulation là où elle passe actuellement. Lorsque le chemin nouveau est fait, on y dévie la circulation. La chaussée primitive est alors excavée, abaissée et pavée à son tour.

Tel est le système simple, dicté par le sens commun, qui assure la complète indépendance du transit et des travaux dans les dépressions successives du bief supérieur. Il a été minutieusement décrit (pages 226 et suivantes du Rapport) et démontré libre de toute objection si la largeur normale au plafond de 45 mètres est doublée au moins et portée à 90 mètres ou plus pour le passage à niveau. Il a été montré aussi que le chenal de navigation serait contracté si cette augmentation n'était pas admise.

Cela est vrai quels que soient les talus des tranchées, raides ou doux.

La discussion de ce point par le Consulting Board et qui se trouve au bas de la page 32 est, je regrette de le dire, dépourvue de loyale clarté.

Le Rapport s'abstient de dire quelle hypothèse il admet pour la largeur au plafond du canal à niveau. Le fait que la pente des talus intervient et est prise en compte montre que le Board

s'est placé dans l'hypothèse du *non-accroissement* de la largeur, c'est-à-dire dans une hypothèse que j'ai déclarée défectueuse et que j'ai recommandé de ne pas adopter.

Que peut-on dire d'une discussion qui pour un lecteur confiant semble porter sur la proposition elle-même, mais qui porte sur des caractéristiques que la proposition condamne? Que peut-on dire d'une discussion présentée de manière à faire croire qu'une objection qui s'applique à la caractéristique exclue par la proposition s'applique à la proposition elle-même? Le moins que l'on puisse en dire c'est que cette manœuvre oblique est entièrement incompatible avec la claire sincérité d'une discussion scientifique.

Inexplicable silence du Rapport du Consulting Board sur la proposition à lui soumise de construire un passage sans écluses : le « Détroit de Panama » (pages 234 et suivantes du Rapport).

On est surpris que le Consulting Board, dans sa discussion du système que j'ai proposé, soit resté silencieux sur l'important chapitre du « Détroit de Panama » que je lui avais soumis et qui a provoqué à un degré si élevé l'attention et la discussion publiques.

La raison de ce silence apparaît clairement à la lumière de ce qui vient précisément d'être dit. Les objections formulées par le Board contre la transformation sont basées sur ce que l'on a admis sans l'exprimer que la même largeur sera conservée pour le canal à bief élevé et pour le passage à niveau, et cela contrairement à ma proposition.

Il n'aurait point été possible de conserver sur leurs pieds ces objections si l'on avait dû parler du « Détroit de Panama » comportant une largeur de 500 pieds au plafond au lieu de 150 que doit avoir le premier canal à écluses.

Il aurait été nécessaire de concéder que les difficultés que l'on avait mises en relief pour le transit, et qui pour un lecteur confiant apparaissaient *comme s'appliquant à toutes les conditions de la transformation*; s'étaient évanouies avec une telle augmentation de largeur. Il aurait été nécessaire de dire franchement que la fixation à 300 pieds ou plus de la largeur du canal à niveau *libérait entièrement* le transit de toutes difficultés du fait des travaux et réciproquement.

Le maintien du nuage des difficultés afférentes à la transformation était le but évident d'une discussion oblique et la plus importante partie du projet soumis au Board fut laissée hors de considération en vue de maintenir le nuage à sa place, et de faire considérer la transformation comme chargée de dangers pour le transit.

De même que pour les troubles éventuels au transit les autres objections sont dépourvues de tout fondement.

Je ne désire pas allonger cette lettre outre mesure. Toutefois, je désire déclarer que je défie de soutenir avec les appendices du Rapport en mains et devant des ingénieurs compétents et à l'esprit libre :

1° Qu'un canal à écluses conçu en vue de la transformation exige de plus grandes écluses que s'il était conçu sans aucune arrière-pensée de le transformer en canal à niveau;

2° Que les portes d'amont des écluses que je recommande pour la transformation présentent des difficultés spéciales et nouvelles de manœuvres.

Cette objection particulière s'élimine pour la très simple raison que les portes d'amont des écluses créées en vue de la transformation seront identiques aux portes d'aval des écluses que l'on créerait pour un canal à écluses perpétuelles;

3° Qu'il n'y aura, si on le désire, aucune suspension de transit dans l'une ou l'autre des écluses jumelles (qu'elles soient isolées ou en échelles) pendant la transformation.

Ce fait particulier exigerait une explication que je n'ai pas donnée parce que j'ai pensé que le plus vulgaire ingénieur l'apercevrait *à priori* (1);

4° Que le temps de construction, dans mon projet, d'écluses ayant les dimensions de celles adoptées par la minorité du Board soit supérieur à quatre années. Cela peut être établi par les chiffres du Rapport de la minorité, si l'on prend en considération la différence entre la quantité de terrain à excaver dans les emplacements que j'ai adoptés pour mon projet et celle à excaver dans l'emplacement de Gatun choisi par la minorité (pages 245 et 84 du Rapport).

(1) On trouvera cette explication dans la note placée au bas de la page 189 pour les écluses en échelles.

**L'opinion de l'ingénieur-conseil du Canal de Suez
sur les difficultés supposées et sur le coût de la transformation.**

Les objections soulevées contre le principe de la transformation et qui se basent sur une dépense supposée qui est erronée et sur des difficultés supposées, mais qui n'existent pas, ont été jugées de la façon suivante par Mr. Quellenec, ingénieur-conseil du Canal de Suez (page 139 du Rapport).

« Je pense aussi que la transformation d'un canal à bief
« élevé en un canal à niveau est une opération pratique et ne
« présentant pas de grandes difficultés si certaines mesures
« sont prises lors de la construction, spécialement en ce qui
« touche la disposition des portes d'amont des écluses. Je
« pense aussi qu'une telle transformation peut être réalisée
« à un prix moindre que celui établi par les évaluations
« du Comité du Canal à écluses pour une telle transfor-
« mation.

« Pour conclure, je préfère un canal à niveau, et je pense
« qu'un canal à écluses devrait être considéré uniquement
« comme une solution temporaire et construit de telle sorte
« qu'il puisse être facilement transformé en un canal à niveau. »

Cette expression de vues scientifiques couvre et ratifie l'ensemble des principes que j'ai énoncés.

Elle est en stricte conformité avec les principes modernes de la technique éclairée qu'un procès oblique et déloyal ne peut voiler que momentanément.

**Les estimations erronées et trompeuses du coût de la
transformation ne peuvent être protégées contre le jugement
d'un avenir rapproché.**

On a voulu volontairement ignorer les données actuelles sur le prix réel de l'extraction des roches noyées. On a produit, sans définir dans quelles limites elles étaient applicables, des objections qui viseraient un canal à niveau étroit et ayant moins de 300 pieds de largeur au plafond, alors qu'elles cessent d'exister à partir d'une largeur de 300 pieds et que ma proposition était de faire un passage de 500 pieds. Ces deux manœuvres ont probablement été considérées comme dangereuses pour un

prochain avenir par ceux qui emploient de tels moyens dans ce grand débat.

En vue d'éviter la sévérité du jugement futur du monde scientifique, la recommandation de ne pas adopter le principe de la transformation est suivie de ces trois lignes :

« Le Comité croit que dans l'avenir les méthodes et les « mécanismes relatifs au travail qu'exige la dépression du « niveau du canal seront améliorés au point de grandement « diminuer le coût et le temps de la transformation. »

Le caractère positif de cette assertion établit que ces méthodes et mécanismes n'ont pas à être découverts. Ils existent maintenant, mais le Consulting Board décide, à l'exception de Mr. Quellenec, de fermer les yeux devant eux. Une telle réserve n'est qu'un bien pauvre abri contre le jugement de l'avenir, si l'on se rappelle la minutie avec laquelle j'ai décrit les méthodes que je propose (pages 224 et suivantes du Rapport).

L'instabilité du grand barrage de Gatun.

Si j'ai un droit d'appel en ce qui concerne l'injustifiable procès auquel ont été soumises mes propositions, il pourrait sembler impropre de jeter la critique sur une autre proposition.

Cependant, je me sens obligé de décliner toute responsabilité pour l'emploi qui a été fait, dans le projet d'érection du grand barrage de Gatun, de la méthode que j'ai inventée et décrite pour le petit barrage de Bohio (page 213 du rapport) et qui consiste à élever et à amener sur l'emplacement du barrage, grâce à l'action des pompes centrifuges, d'énormes quantités de matières draguées.

Par un étrange oubli des règles protégeant la propriété intellectuelle, cette méthode a été adoptée par la minorité du Consulting Board sans aucune mention de son origine. (Voyez page 213 pour le barrage de Bohio et pages 69 et 304 pour le barrage de Gatun.)

Quoi qu'il en soit, si cette méthode s'applique admirablement, dans les conditions où j'ai projeté son emploi, à un barrage à Bohio long de 400 mètres en crête reposant sur un terrain à 9 mètres au-dessus de la mer (sauf dans le lit de la rivière elle-

même qui est au niveau de la mer) et retenant l'eau à un niveau normal de 15^m,25 d'altitude et pouvant éventuellement atteindre 18^m,30. Je ne pense pas qu'elle s'applique à un barrage à Gatun long de 2 350 mètres en crête, reposant sur un terrain à peu près au niveau de la mer (à 6 mètres au-dessous du niveau de la mer dans le lit de la rivière) et retenant les eaux à 25^m,90 d'altitude.

Je considère une telle structure comme extrêmement dangereuse à raison de la mollesse de sa masse, si l'on a égard aux légers tremblements de terre qui sont fréquents et doivent être constamment attendus dans l'Isthme.

Ils causent souvent la chute des verres sur les tables et de telles inclinaisons du terrain détermineront des compressions et des dépressions successives dans la masse molle et longue du barrage, lesquelles causeront des ruptures de continuité que suivra une débâcle générale immédiate.

Il est certain que dans le cas d'un aussi terrible accident le nom de l'inventeur de la méthode de construction, bien que non mentionné aujourd'hui, ne manquera pas d'apparaître avec fracas. J'ai donc le droit, dès maintenant, de déclarer emphatiquement que je désapprouve expressément l'usage de ma méthode, très bonne pour un petit barrage bas et temporaire, extrêmement dangereuse pour un gigantesque barrage, de plus de 15 millions de mètres cubes, dans un pays souvent secoué par les tremblements de terre.

CONCLUSION

Je considère que l'interprétation correcte et loyale de tous les faits matériels enregistrés dans les appendices du Rapport du Consulting Board démontre d'une façon irrésistible la vérité des principes et la prudence des chiffres que j'ai énoncés.

En six mois, d'avril à septembre 1905 (page 296 du Rapport,) Mr. Maltby, avec de vieilles dragues démodées travaillant à une seule équipe, a enlevé 450 000 mètres cubes à un prix moyen de 0 fr. 46 et presque sans main-d'œuvre.

A Culebra, dans les travaux à sec (pages 395 et 396 du Rapport) pendant la même période, avec une quantité énorme d'ouvriers, avec les meilleurs excavateurs, l'excavation a atteint 300 000 mètres cubes.

Si les dragues avaient été du type usuel maintenant et non d'un type démodé, si elles avaient travaillé à deux équipes, l'excavation avec un nombre d'hommes insignifiant eut été 1 800 000 mètres cubes au prix de 0 fr. 25 le mètre cube contre 300 000 mètres cubes à Culebra au prix de 4 fr. 65 le mètre cube, ou encore 3 fr. 93 si nous déduisons le prix du minage pour avoir des conditions d'excavation entièrement similaires.

Ces chiffres devraient ouvrir les yeux qui ne sont pas fermés volontairement. Ils montrent combien modérée était mon assertion, que le dragage était au moins trois fois plus puissant et trois fois plus économique que l'excavation à sec (page 239 du Rapport). Nous trouvons aujourd'hui que le dragage est huit fois plus économique et sera seize fois plus économique aussitôt que des dragues de type actuel seront mises au travail.

Ces faits capitaux ne peuvent être écartés en objectant que le terrain est du sable et de la vase à Panama et ne peut se comparer avec le terrain de Culebra, Les dragues puissantes d'aujourd'hui ne perçoivent de différence entre aucune nature de terrains dragables. Bien entendu, le rocher doit être rendu dragable par une opération préliminaire.

Les dragues travaillent avec une égale économie à 6, 12 et 15 mètres de profondeur si elles sont construites en vue de ces profondeurs.

Je considère que l'extraction de la roche noyée est démontrée dans les appendices être une opération économique et facile grâce au système Lobnitz.

Je considère qu'aucune objection sincère et scientifique n'a été et ne peut être élevée contre la solution assurant la complète indépendance des travaux et du transit, assurant l'élimination facile et économique des écluses isolées ou en échelles, sans interrompre le passage à travers aucune des écluses pendant toute l'évolution du procédé d'élimination.

Je considère que les chiffres relatifs au temps nécessaire à l'excavation des 15 000 000 de mètres cubes correspondant au passage à 39^m,65 d'altitude, à l'érection des écluses, à la construction des barrages de Gamboa et Bohio et à l'ouverture de la navigation en quatre ans, reposent sur des éléments plus prudents que ceux admis par la minorité du Board pour la construction de son canal à l'altitude de 25^m,92, avec sa tranchée

de 41 000 000 de mètres cubes et son grand barrage de plus de 15 000 000 de mètres cubes de terre (pages 84, 85 du Rapport pour les propositions de la minorité et 238-245 pour mes propositions).

Je considère cependant que quel que soit le niveau du premier bief supérieur, la transformation sera assurée, avec toutes ses qualités, si le barrage nécessaire à l'emmagasinement de l'eau est érigé à Gamboa et si les précautions nécessaires sont prises dans la rédaction des projets d'écluses, conformément à ce que j'ai décrit (pages 222 et suivantes du Rapport).

Grâce à ces précautions qui n'entraînent pas de dépenses importantes, on pourra, après l'ouverture du canal à écluses, alors que le coût exact du dragage des terres et roches aura éclairé tous les esprits, décider la transformation. Elle sera réalisée probablement avec une largeur au niveau de la mer supérieure à celle de 500 pieds au plafond, que je propose maintenant pour le « Détroit de Panama ».

Je n'hésite pas à déclarer que le creusement à sec à travers le massif central jusqu'à 12^m,20 d'altitude (plafond correspondant au niveau de 25^m,92 du bief) retardera l'ouverture du canal beaucoup plus qu'on ne s'y attend, que cette question est la seule qui présente une gravité réelle (1) et que, par suite, un plus haut passage à 39^m,65 est recommandé par toutes les considérations de logique et d'expérience.

En vous adressant, Monsieur le Président, ce respectueux et public appel, je sers probablement pour la dernière fois la grande cause pour laquelle mon pays a fait le sacrifice de tant de sang et de tant d'or, la grande cause qui a attiré au génie français l'honneur d'avoir brillamment et généreusement contribué au progrès de la science et de l'humanité.

En défendant la solution qui résulte de l'expérience que j'ai acquise à la tête des travaux de l'ancienne Compagnie de Panama, la solution de ce qui pendant des siècles a été appelé le « Secret de l'Isthme », en poursuivant pour le bénéfice des États-Unis et du monde la réalisation d'un Bosphore artificiel entre le nord et le sud de l'Amérique, hier un rêve, aujourd'hui une réalité, je sers aussi un grand intérêt moral maintenant

(1) Pour la construction.

commun à l'Amérique et à la France, comme mes compatriotes en ont servi de semblables lors des deux autres grandes étapes historiques de l'histoire des États-Unis : la guerre de l'Indépendance et la cession de la Louisiane.

Je reste de la sorte fidèle aux traditions politiques et scientifiques des deux grandes Républiques de l'ancien et du nouveau monde.

Je suis, Monsieur le Président, avec grand respect,
Votre obéissant serviteur,

P. BUNAU-VARILLA.

Paris, le 29 octobre 1906.

A Son Excellence Monsieur Théodore Roosevelt,
Président des États-Unis, Washington.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

Lorsque vous avez décidé votre voyage dans l'Isthme, c'était pour aller constater solennellement que les travaux étaient entrés dans la période d'activité depuis plusieurs mois.

Quel chiffre d'excavation vous avait-on annoncé comme caractérisant cette période d'activité? Un million de yards cubes par mois dans la tranchée de la Culebra.

Quelle date vous avait-on annoncée comme l'origine de cette période d'activité? Le mois de juin ou tout au plus tard de juillet de cette année.

Sur ces deux points il ne saurait y avoir de doutes, ils sont constatés officiellement.

Le 25 mai dernier, Mr. Taft disait devant le sous-comité du Committee on appropriations de la Chambre des représentants :

« J'aimerais, Monsieur le Président, à dire une chose à propos des travaux du Canal. *Le travail de construction n'a pas commencé au sens propre du mot.* Je veux dire le travail d'excavation dans le sens de l'excavation du prisme du Canal, de l'excavation jusqu'au fond du prisme du Canal. *Nous sommes juste prêts à commencer.* »

Ainsi le mois de juin 1906 devait voir le début de cette période de grande activité, la fin de la phase préparatoire.

Le quantum d'excavation mensuel attendu est aussi fixé officiellement.

Le 23 avril 1906, dans un rapport spécial au Secrétaire de la guerre, Mr. Shonts dit :

« Mr. l'ingénieur en chef Stevens durant le mois de mars, « sans faire aucun effort spécial, mais en suivant la ligne générale de travail indiquée ici, a enlevé 240 000 yards cubes de « déblais avec une moyenne de 10 7/10 excavateurs. Les rap- « ports au 15 de ce mois indiquent encore une augmentation de « rendement. »

« Il croit qu'en juillet ou en août il aura 40 excavateurs « installés et sera en position d'enlever approximativement « 1 000 000 de yards cubes par mois. »

Voici donc fixés officiellement par le Secrétaire de la guerre et le Président de la Commission du Canal isthmique ces deux points essentiels : 1° le début de la période d'activité ; 2° son rendement probable.

Le début de la période d'activité est bien venu puisqu'il est annoncé publiquement qu'il y a 47 excavateurs installés aujourd'hui au lieu de 10 7/10 dont on disposait en mars.

Mais quels sont les résultats réels. A-t-on atteint le million promis ou quelque chose d'approchant ? Non, les cubes sont à peine supérieurs à ceux qu'on obtenait dans la période de simple installation.

Les journaux annoncent qu'en août on a fait 244 000 yards cubes, en septembre 289 000.

Dans cette période de pleine activité on ne dépasse que de 40 000 ou de 49 000 yards cubes le nombre atteint en mars alors que selon les propres expressions de Mr. Taft les « travaux n'avaient pas encore commencé ».

L'échec est donc aussi complet que possible, il serait puéril de se le dissimuler.

J'ai cherché par tous les moyens à éclairer de mon expérience le chemin à suivre et le 5 mars dernier je vous écrivais, Monsieur le Président, dans une lettre ouverte :

« Je n'hésite pas à affirmer que l'excavation à sec nécessaire « pour atteindre le niveau, de navigation, de 85 pieds (25^m,92) à « travers le massif central retardera l'ouverture du Canal beau-

« coup plus qu'on ne s'y attend, que cette question est la *seule*
« *qui présente une gravité réelle* et que, par suite, un plus haut
« passage à 130 pieds (39^m,65) est recommandé par toutes les
« considérations de logique et d'expérience. »

Voici donc le grave échec que vous allez constater dans votre visite, Monsieur le Président.

La découverte de ses causes vraies peut sauver le Canal de Panama de dangers très graves. Elle peut préserver les États-Unis de dangers très cruels aussi, auxquels l'absence prolongée de connexion entre les océans l'expose en cas de guerre.

Je poursuis l'œuvre, que je me suis imposée, en cherchant encore une fois à faire jaillir la vérité afin de vous permettre de la saisir, Monsieur le Président, au cours de votre prochaine inspection des travaux.

La cause de l'échec réside-t-elle dans une insuffisante période de préparation ou dans des économies trop grandes ?

Évidemment non, car voilà plus de deux ans et demi que les États-Unis sont en possession du Canal et ils y auront dépensé à la fin d'octobre la somme considérable de 36 000 000 de dollars (180 000 000 de francs).

Les dépenses à cette date dépassent donc de 3 millions de dollars la somme de 33 millions à laquelle ont été estimés par les États-Unis et payés par eux tous les travaux faits par les deux Compagnies de Panama, toutes les maisons, hôpitaux, magasins construits, toutes les installations et tout le matériel. La Commission du Canal isthmique dans ses deux rapports du 16 novembre 1901 et du 5 février 1906 a reconnu que l'ancienne Compagnie de Panama avait excavé 72 000 000 de yards cubes. Il faut y ajouter 7 000 000 de yards cubes exécutés par la nouvelle Compagnie.

Si l'on songe que le cube excavé à fin de septembre dernier par les États-Unis est environ de 3 000 000 yards cubes, on trouve que pour réaliser une excavation légèrement supérieure à trois millions de yards cubes, les États-Unis ont déjà dépensé une somme notablement supérieure à ce qu'ils ont payé, suivant leur propre estimation, une excavation qui est à la leur dans la proportion de cent à quatre (1).

(1) Les chiffres inscrits dans la lettre originale diffèrent légèrement ; nous les avons remplacés ici par ceux extraits des publications officielles parues depuis lors.

Si l'on songe, d'autre part, aux accusations de désordre et d'extravagance dont on a qualifié les travaux de l'ancienne Compagnie de Panama, on ne peut s'empêcher de conclure que les résultats actuels en démontrent l'inanité et la révoltante injustice.

Cela n'est pas inutile à dire, pour montrer à quel degré d'erreur peut arriver l'opinion soi-disant autorisée dans un problème aussi compliqué que celui du Canal de Panama.

C'est l'erreur des experts qui est aujourd'hui en cause dans l'échec dont le monde est témoin.

On a voulu accuser de cet échec d'abord les soldats, puis les officiers de l'armée du travail.

La main-d'œuvre est insuffisante, a-t-on dit, il faut faire appel aux Chinois. Voilà pour les soldats.

Les ingénieurs de l'Isthme sont insuffisants, a-t-on dit, il faut faire appel aux entrepreneurs. Voilà pour les officiers.

La faute n'est, Monsieur le Président, ni aux soldats, ni aux officiers, ni à la main-d'œuvre, ni aux ingénieurs de l'Isthme (1).

La faute n'est pas à ceux qui livrent la bataille, elle est à la stratégie qu'on leur a imposée.

La main-d'œuvre actuelle serait surabondante, aucun besoin de Chinois n'existerait, si ses efforts n'étaient pas dirigés en sens inverse des forces naturelles.

Le secret du succès de la lutte contre la nature consiste à s'associer les forces naturelles, non pas à lutter contre elles.

J'ai cherché devant le Consulting Board à faire prévaloir cette notion essentielle que l'obstacle basique dans l'Isthme était la pluie sous son climat torride. Exécuter les travaux d'excavation, de transport et de décharge à sec sur rails, c'est vouloir lutter contre la nature, c'est demander à des dizaines de milliers d'hommes un infructueux et stérile effort contre ses forces antagonistes.

Exécuter les travaux d'excavation par dragues flottantes, transporter les déblais sur l'eau et les décharger dans un lac artificiel et profond créé au centre de l'Isthme, c'est s'aider des forces naturelles et non pas lutter aveuglément contre elles.

(1) La vérité de cette remarque paraît s'être imposée depuis au gouvernement américain, car l'introduction des ouvriers chinois et la remise des travaux aux entrepreneurs qui avaient été présentées comme les deux remèdes suprêmes, pendant toute la deuxième moitié de 1906, ont été abandonnées, après avoir fait l'objet d'adjudications.

C'est ce principe tutélaire que j'ai émis dès 1887 et qui a été adopté par l'ancienne Compagnie de Panama en substitution du travail à sec qui avait engendré les difficultés si grandes, alors combinées avec la fièvre jaune que la science de cette époque ne permettait pas de combattre.

En adoptant le travail à sec, soit pour creuser le canal à niveau, soit pour creuser le canal à écluses avec passage à 85 pieds au-dessus de la mer, le Consulting Board a commis la plus grave des hérésies techniques. Il a fait faire aux États-Unis, après 18 ans d'interruption de travaux, le plus déplorable des pas en arrière.

Vous en voyez, Monsieur le Président, la manifestation palpable.

Avec d'immenses difficultés, les milliers d'hommes luttant contre la nature n'ont pu atteindre 300 000 yards cubes ni en juillet, ni en août, ni en septembre.

Si, comme je le propose, les travaux d'excavation, transport et décharge sur l'eau étaient installés, 3 000 hommes excaveraient facilement 100 000 yards cubes par jour dans la tranchée de la Culebra. Ils feraient cet immense travail protégés du soleil et de la pluie en toute saison. Point ne serait besoin même d'y employer les noirs, les blancs seraient parfaitement en mesure de travailler dans ces conditions.

Quant au système romain ou égyptien qui consiste à faire appel à des hordes de demi-esclaves, on se demanderait comment on a pu même y songer dans un pays qui est à la tête du progrès dans la substitution de la machine à l'action physique de l'homme. Le creusement *à sec* de 53 millions de yards cubes (41 000 000 mètres cubes) de la Culebra est la grosse erreur de la minorité du Consulting Board. Les résultats actuels montrent une difficulté qui ne fera que croître en descendant, car la tranchée en s'approfondissant recueillera plus d'eau de pluies.

Il faut donc appliquer la drague à ce creusement. Mais comme le système de dragage exige de vastes préparations, l'exécution d'un barrage à Gamboa et la construction d'écluses pour élever les chalands dans le lac, on peut pendant ce travail continuer l'excavation à sec au point le plus haut de la Culebra.

Avec une excavation de 12 millions de yards cubes, on peut ouvrir à la cote de 130 pieds au-dessus de la mer (39^m,65) un canal livrant passage à un cuirassé. Ce résultat peut être

obtenu en quatre ans, même avec une excavation mensuelle de 250 000 yards cubes, chiffre assuré dès maintenant.

L'exécution des écluses nécessaires à ce bief élevé peut aussi être faite en quatre ans.

A partir de ce moment, l'excavation pourra continuer sur l'énorme échelle que permettent les dragages tout en laissant passer le transit universel.

A cette méthode si simple, le Consulting Board n'a opposé qu'une objection, c'est le prix imaginaire qu'il a fixé arbitrairement pour le coût du travail de désagrégation de la roche pour la rendre dragable.

Envoyez, Monsieur le Président, des émissaires à Manchester, à Liverpool, à Suez, à Yokohama, à Okasaki, à Brest, à Dakar, ils y verront que la roche est concassée et rendue dragable à des prix invraisemblables de bon marché, quelle qu'en soit la dureté.

Le prix de 4,75 dollars (23 fr. 75) par yard cube (0^m^c,76) fixé par la première Commission isthmique pour l'extraction des roches sous l'eau, le prix de 2,50 dollars (12 fr. 50) fixé par le Consulting Board sont également faux et trompeurs.

C'est ce dernier prix qui a été opposé à ma proposition. Le numéro de l'*Engineering* du 17 août 1906 contient un document signé de Mr. Hunter, ingénieur en chef du Canal de Manchester, établissant que le coût moyen en 10 mois de travail a été inférieur à 0,18 dollar par yard cube (0,90 fr.) pour le brisage du rocher dans le canal afin de le rendre dragable. Si vous y ajoutez le prix de 0 fr. 35 à 0 fr. 40 constaté à Panama et Colon pour le dragage, transport et décharge en eau profonde, vous arriverez à 0,25 dollar (1 fr. 25) pour le prix vrai d'extraction à Manchester d'un yard cube de rocher plus dur que la moyenne de celui de Culebra.

Il est dix fois plus faible que celui admis par le Consulting Board, 2,50 dollars (12 fr. 50) et près de vingt fois plus faible que celui admis en 1901 par la première Commission isthmique, 4,75 dollars (23 fr. 75) et ce prix de 0,25 dollar (1 fr. 25) est lui-même beaucoup trop fort pour la roche tendre de Culebra, les travaux de Yokohama et d'Okasaki le montrent surabondamment.

Monsieur le Président, ces erreurs graves montrent la nécessité d'une revision des plans du Canal si l'on ne veut pas

que cette glorieuse entreprise s'enfonce de plus en plus dans le marais de l'erreur et du préjugé.

On doit faire une revision basée non sur des idées préconçues, mais sur la réalité pratique des méthodes modernes d'exécution.

Cette revision entraînera la suppression de l'absurde barrage de Gatun que Godin de Lépinay n'avait proposé en 1879 que sous la réserve qu'il fût reconnu faisable, pour son projet de canal à lacs, projet que la minorité du Consulting Board a reproduit sans citer son auteur et en augmentant de 6 pieds l'altitude des lacs pour toute modification.

La minorité du Consulting Board a eu le privilège d'être le premier groupe d'ingénieurs acceptant le projet Godin de Lépinay, cet emplacement éminemment dangereux. Elle ne l'a fait qu'après avoir entendu la méthode nouvelle que je lui ai exposée en septembre 1905 pour ériger un barrage à Bohio retenant les eaux à 60 pieds au-dessus de la mer. Elle a immédiatement appliqué ma méthode à un barrage retenant les eaux à 85 pieds, en un endroit où la vallée est six fois plus large et où le terrain est de 25 pieds plus bas.

Qui ne se souvient des polémiques auxquelles le barrage de Bohio a donné lieu avant la méthode nouvelle que j'ai développée, combien on a discuté sa possibilité! Les objections étaient excessives et injustes, bien que sous des plumes autorisées et compétentes, mais que penser après cela de la substitution à cet emplacement d'un autre où la longueur est sept fois plus grande et le sol vingt-cinq pieds plus bas. Que penser de cette recherche de la difficulté et du danger dans un pays où les choses les plus simples sont déjà si difficiles!

Le choix de Gatun augmente de huit à dix fois la masse du barrage et, par suite, le temps d'érection qui serait nécessaire à Bohio. Les risques de destruction sont au moins dans la même proportion, probablement en cas de tremblements de terre infiniment plus forts encore.

Quel en est l'avantage? Augmenter de 2 à 3 la masse des eaux amenées dans le bief central par l'afflux des rivières.

Si la limite extrême de la vie du canal à écluses avec barrage à Gatun correspond à 100 000 000 de tonnes, elle sera de 66 000 000 de tonnes avec barrage à Bohio. Dans l'un et l'autre cas, on aura utilisé l'afflux total annuel minimum sur lequel on

peut compter. Aucun barrage supplémentaire, contrairement à ce qu'a affirmé la minorité du Consulting Board, ne pourra élargir cette limite.

Si, comme c'est probable, l'accroissement du trafic de Panama est rapide et en progression géométrique, comme au canal de Sault-Sainte-Marie, ce trafic de Panama après avoir commencé avec 6 millions de tonnes atteindra 66 millions 22 ans après et 100 millions 27 ans après l'ouverture. (Voir Rapport de Harvey Goulder, June 1906. Lake Carriers association.)

On peut donc dire que l'effet du choix de Gatun sera simplement de retarder de cinq ans l'échéance fatale de la date à laquelle la transformation du canal à écluses à vie limitée en un détroit libre à vie illimitée aura dû être réalisée. Cet infime avantage ne vaut ni les délais supplémentaires, ni les risques qu'entraîne le choix de Gatun.

En tous cas, que le barrage soit à Gatun ou qu'il soit à Bohio, la transformation devra être entreprise le lendemain même de l'ouverture au trafic pour être prête une dizaine d'années après, avant que soit arrivée cette échéance obligée que fixe le débit limité des rivières de l'Isthme dans les deux cas.

En outre, le Canal tel qu'on le construit maintenant semble conçu dans ses détails pour rendre aussi difficile que possible cette transformation en détroit, si facile si l'on veut la prévoir lors de la construction, comme je l'ai montré au Consulting Board. La minorité du Consulting Board a fait accepter le projet Godin de Lépinay comme la forme éternelle du Canal de Panama. Elle paraît avoir été inspirée par le désir de faire obstacle à une transformation possible.

Celle-ci est inévitable, les statistiques du canal de Sault-Sainte-Marie le démontrent.

Le Sénat n'a d'ailleurs voté le Canal que sous la promesse formelle du sénateur Knox qu'il serait transformé en cette voie à niveau large et libre que j'ai appelée le « Détroit de Panama ». Mais l'honorable sénateur a fait erreur en pensant que l'Amérique avait un demi-siècle devant elle.

Elle a une vingtaine d'années seulement après l'ouverture et la transformation doit être alors non pas commencée mais bien terminée. Il faut donc s'y préparer dès aujourd'hui.

Tous ces faits graves méritent, Monsieur le Président, la haute attention que j'appelle respectueusement sur eux.

La date de l'ouverture du Canal sera celle de la protection effective de la côte du Pacifique. Jusque-là celle-ci restera sans défense, à la merci de l'ennemi.

De fausses idées, de mauvais conseils risquent de retarder inutilement de six à sept ans, peut-être de dix ans, cette date, de compromettre pour maintenant et pour plus tard la grande œuvre que l'Amérique a entreprise, peut-être de menacer sa sécurité en cas de guerre étrangère.

Celui qui dit le plus clairement la vérité est celui qui donne la plus solide preuve de son amitié.

C'est sous l'égide de cette pensée que je place, Monsieur le Président, l'expression des idées que renferme cette lettre et je la termine en vous présentant mon profond et respectueux dévouement.

Signé : P. BUNAU-VARILLA.

DEUXIÈME PARTIE

Lettre du 26 septembre 1905 à M. Roosevelt, Président des États-Unis.

Exposé de M. Bunau-Varilla devant le Consulting Board.

Memorandum du 20 octobre 1905, adressé aux membres du Consulting Board.

Second memorandum, en date du 6 novembre 1905, adressé aux membres du Consulting Board.

Commentaire du Consulting Board sur le projet de M. Bunau-Varilla avec la réfutation des erreurs multiples que comporte ce commentaire.

Résultat des travaux du Consulting Board.

Attitude du Président des États-Unis avant et après les travaux du Consulting Board.

La victoire du Détroit de Panama et du principe de la transformation.

Les responsabilités de ceux qui ont combattu la solution rationnelle du « Secret du Détroit ».

EXPOSÉ
DEVANT LE CONSULTING BOARD
DES DIVERS PROBLÈMES
DE LA CONSTRUCTION DU CANAL DE PANAMA

**Précédé d'une lettre au Président Roosevelt lui notifiant
la découverte du « Secret du Détroit ».**

26 septembre 1905.

A Son Excellence Monsieur Théodore Roosevelt,
Président des États-Unis, Washington, D. C.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

J'ai l'honneur de vous remettre ci-inclus le texte des projets que j'ai soumis à la Commission Internationale consultative du Canal de Panama.

Il contient, outre la justification mathématique de la conception que j'ai eu l'honneur de vous présenter en mars dernier, un nouvel et important chapitre sur le développement final de la méthode que je propose.

Ce développement assure, par des considérations basées sur les principes techniques les plus fermes et les plus pratiques, une extraordinaire et inattendue réduction des prix d'extraction, en même temps qu'une non moins extraordinaire et non moins inattendue rapidité de travail, une fois que la première étape sera franchie, une fois que le Canal sera ouvert avec un bief de partage à la cote de 39 mètres au-dessus des océans (130 pieds), chose qui, comme je l'ai établie, est réalisable en quatre années.

Cette réduction des prix unitaires d'excavation, cette augmentation du débit des chantiers résultent de la mise en œuvre des forces naturelles de l'Isthme, grâce à l'emploi de ses chutes d'eau, grâce à l'utilisation rationnelle des conditions créées par l'ouverture d'une voie navigable à travers la Cordillère, grâce

à l'infime prix de transport qui s'ensuit pour les déblais; elle résulte également de la création d'une mer intérieure par l'érection d'un grand barrage à Gamboa, mer intérieure qui recevra tous les déblais apportés par eau et versés dans ses vastes profondeurs par les chalands porteurs.

De même que la méthode nouvelle permet l'ouverture au transit dans un laps de temps dont personne n'a jamais osé parler, qui sans elle serait chimérique, de même elle permet d'envisager la forme définitive du Canal avec une ampleur dont personne n'a jamais osé parler, qui sans elle serait chimérique également.

Il est possible avec les nouveaux facteurs de prix de revient et de temps d'exécution d'envisager l'obtention non plus d'un Canal à Panama mais d'un Détroit, non plus d'une voie ayant 10^m,50 (35 pieds) de profondeur et 66 mètres (220 pieds) de largeur à la ligne d'eau, non plus d'une voie obturée à son extrémité par des écluses de marée, mais d'envisager enfin une voie d'eau comparable comme ampleur à celle de la nature, d'une voie d'eau ayant 13 mètres et demi (45 pieds) de profondeur aux plus basses marées, 180 mètres de largeur à la ligne d'eau (600 pieds), d'une voie d'eau enfin où les navires les plus grands pourront naviguer à leur aise et n'auront plus rien à craindre, grâce à cette liberté d'action, des courants produits par les marées librement admises dans le Détroit de Panama, courants dont le maximum d'ailleurs ne saurait atteindre trois nœuds et un tiers.

L'ouverture du Détroit de Panama, qui exige l'excavation de 450 millions de mètres cubes (600 millions de yards cubes), peut être exécutée aisément dans un temps maximum de vingt-cinq ans pour une somme totale maximum de quinze cent millions de francs (trois cent millions de dollars), en comprenant dans l'estimation de temps la première phase, celle de l'ouverture du Canal à 39 mètres au-dessus de la mer (139 pieds), alors que l'exécution du canal à niveau, à écluses de marée, à largeur et à profondeur restreintes, ne pourrait se réaliser dans ce temps et pour cette somme qu'avec de graves aléas si l'on emploie, comme on y a jusqu'ici exclusivement songé, les méthodes de travaux usitées, et cela bien que ce canal n'exige que le tiers de l'excavation nécessaire à la création du Détroit.

En vous donnant le complet développement de cette méthode, je termine, Monsieur le Président, ma contribution à la création de la grande artère du commerce des peuples.

J'ai déjà eu sous votre haute magistrature le bonheur de faire parcourir à cette noble idée deux étapes décisives. La première a été franchie sur le terrain politique en préparant la victoire de la solution de Panama sur sa rivale de Nicaragua, inférieure en réalité, mais supérieure en apparence et jouissant depuis un demi-siècle de la faveur imméritée des croyances populaires et des recommandations scientifiques. La seconde a été franchie sur le terrain diplomatique en déterminant la création de la République de Panama et l'annihilation des efforts, par suite de la sécession de la Colombie, qu'une coterie de politiciens développaient, qui forçait le gouvernement d'une noble nation à transformer une voie qui fait partie du patrimoine de l'humanité en un instrument d'extorsion et de sordides projets.

La troisième étape se termine aujourd'hui sur le terrain technique.

Je suis heureux, Monsieur le Président, d'offrir à la République des États-Unis le bénéfice des travaux et des recherches incessantes qui me tiennent courbé sur ce grand problème depuis plus de vingt années.

Si j'ai découvert une voie inconnue à travers ce mystérieux labyrinthe, si j'ai fait faire un pas décisif à la solution du « Secret de l'Isthme » qui tient en suspens l'humanité depuis des siècles, je le dois à la foi profonde que j'ai dans les avantages qui en résulteront pour l'homme, je le dois aussi à l'espérance, hélas déçue, que ma patrie trouverait dans le travail d'un de ses fils une compensation aux douleurs que cette grande et généreuse entreprise lui a fait subir.

Il a plu à la Destinée de rendre vains mes efforts dans ce sens, mais dans son insondable sagesse elle me permet de croire que ces efforts ne seront pas perdus pour la France puisqu'ils seront utiles à l'Amérique et que, dans l'enfantement grandiose du Bosphore de Panama, les deux républiques-sœurs rajeuniront leur éternelle amitié en pensant qu'elles ont servi en commun ce progrès toujours fait des efforts, des dangers et des douleurs des hommes.

En offrant aux États-Unis, dans la personne du fils le plus éminent et du chef élu de sa race généreuse, le bénéfice des

solutions qui représentent en argent plus de trois milliards d'économie (600 millions de dollars) directe sur les travaux et le bénéfice singulièrement plus grand peut-être encore qui résultera de la livraison immédiate du Canal à l'activité de ses citoyens, je suis fier d'avoir justifié la confiance et l'amitié dont vous m'avez, Monsieur le Président, donné de si touchants et de si précieux témoignages.

J'ai l'honneur, Monsieur le Président, de vous présenter l'expression de mon très profond et très respectueux dévouement.

P. BUNAU-VARILLA.

EXPOSÉ DE M. BUNAU-VARILLA

DEVANT LE BOARD OF CONSULTING ENGINEERS

APPENDICE F *du Rapport du Board of Consulting Engineers fort the Panama Canal, en date du 10 janvier 1906.*

L'exposé devant le Board a été fait dans la séance du 19 septembre 1905.

Cet exposé porte sur l'intégralité du problème de Panama et montre comment la solution consistant dans l'érection d'un canal à écluses à bief élevé et dans sa transformation ultérieure en Détroit de Panama est impérieusement ordonnée par les données de ce problème.

En dehors de ces importantes conclusions, une méthode entièrement nouvelle est exposée pour la solution du problème du Chagres avec une voie au niveau de la mer. En outre, une méthode entièrement nouvelle est exposée pour la construction du barrage en terre de Bohio. Ces deux propositions nouvelles ont été adoptées, la première par la majorité du Board pour son projet de canal à niveau, la seconde par la minorité du Board pour son projet de canal à écluses. Ni l'un ni l'autre de ces deux groupes du Board n'ont songé à mentionner l'origine de ces deux caractéristiques essentielles de leurs projets respectifs.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

MESSIEURS,

J'apprécie pleinement l'honneur qui m'est imparti d'avoir à exposer mes vues sur la solution du problème de la construction du Canal de Panama devant un corps formé des plus éminents ingénieurs des grandes nations du monde.

J'ai désiré bien des années le moment qui vient aujourd'hui et je suis heureux de plaider devant cette haute cour technique pour ce qui, je le crois, donnera une satisfaction simultanée à tous les énormes intérêts engagés dans la question de la grande route interocéanique.

I

CONDITIONS GÉNÉRALES

Avant d'entrer dans la description des solutions que j'ai à présenter, permettez-moi de jeter un coup d'œil d'ensemble sur le problème de Panama, afin de déterminer ses facteurs dominants.

Future nécessité d'un canal à niveau.

L'homme qui ne regarde pas l'avenir probable du trafic de Panama à travers les verres rapetissants des statistiques actuelles, ne peut manquer d'être frappé de l'importance prodigieuse que le transit futur atteindra, selon toute probabilité.

Si cinq ou six millions de tonnes, comme le veut la statistique, sont déjà prêtes à passer, que deviendra le tonnage lorsque la population américaine établie entre le Pacifique et les Rocheuses, et qui se montait à environ quatre millions d'âmes seulement en 1900, atteindra quarante millions ?

Que deviendra le trafic lorsque la population de l'Extrême-Orient, un tiers de l'humanité, s'éveillera de son long sommeil ? Quel sera-t-il quand elle établira d'étroites communications commerciales avec la côte Atlantique de l'Amérique, si riche, si productive, si industrielle ?

Sans doute, de telles considérations paraîtront chimériques à ceux qui ne peuvent concevoir pour le développement du trafic autre chose qu'un coefficient annuel de 4 ou 5 p. %.

Qu'ils regardent le trafic des canaux du Sault de la rivière de Sainte-Marie (1) (américain et canadien) il y a trente six ans,

(1) Rivière faisant communiquer, par le déversement de ses eaux, le lac Supérieur avec les autres grands lacs américains : Michigan, Huron, Saint-Clair, Érié, Ontario.

quand Suez fut ouvert. Qu'ils voient ce qu'il est devenu aujourd'hui. Dans cette courte période, le transit a passé d'un peu plus d'un demi-million de tonnes en 1869 à près de 35 millions de tonnes en 1903, et cela avec une interruption de la navigation par les glaces pendant un tiers de l'année. (Le trafic pour 1905 était déjà évalué, à l'automne de 1905, à 44 000 000 de tonnes, chiffre confirmé depuis.)

Les gens qui pensent que le trafic atteint par le Canal de Suez après trente ans d'exploitation : 10 000 000 de tonnes, représente pour Panama une limite éloignée dans un nébuleux avenir, ont un autre sujet de méditation. Qu'ils regardent le trafic qui passe à Détroit, entre le lac Saint-Clair et le lac Érié. Ils le verront deux fois plus grand que le trafic déjà énorme des canaux américains et canadien de Sault-Sainte-Marie, entre le lac Supérieur et le lac Huron.

C'est avec ces chiffres dans l'esprit, et non pas avec les chiffres du Canal de Suez que l'avenir du Canal de Panama doit être envisagé. Ses sources d'action sont en effet semblables à celles des canaux intérieurs américains et non pas à celles du canal unissant l'Europe et l'Asie.

Ces considérations nous amènent à penser qu'un jour viendra où le Canal de Panama exigera impérieusement la seule forme qui convienne au commerce gigantesque qu'il servira : la forme à niveau.

L'Isthmian Canal Commission a fait porter ses études sur toutes les solutions possibles permettant d'établir une communication par eau à travers l'Amérique centrale. Son rapport a montré que l'exploitation du canal à écluses qu'elle a proposée avait pour limite 40 000 000 de tonnes (1).

(1) Cette limite correspondait à l'établissement d'un barrage à Bohio à travers le Chagres. L'emplacement de Bohio était le seul qui ait alors jamais été envisagé (septembre 1905). Depuis, la minorité du Consulting Board a proposé de faire un barrage à Gatun (janvier 1906), 14 kilomètres plus bas, en vue d'augmenter de 50 % la quantité d'eau reçue dans le bief supérieur et de porter de 40 à 60 000 000 de tonnes la limite corrélative de l'exploitation. L'emplacement de Gatun, proposé sous réserve par Godin de Lépinay en 1879, avait toujours été considéré comme inadmissible. C'est l'exposé même des idées développées devant le Board et reproduit ici qui devait amener à faire considérer à nouveau cet emplacement, car cet exposé renferme pour l'érection du barrage de Bohio une méthode de construction nouvelle qui, seule, rendait possible pour la première fois la conception d'un barrage à Gatun. La réserve de la possibilité technique posée par Godin de Lépinay à son propre projet s'est trouvée levée par le nouveau procédé que je proposais et la minorité du Board s'est empressée de s'approprier les idées de Lépinay et les miennes sans citer d'ailleurs ni l'un ni l'autre de ses auteurs.

Naturellement, on pourrait augmenter cette limite en employant le pompage et en puisant dans les sections au niveau de la mer pour alimenter le bief central. Mais ce ne serait qu'un remède provisoire, non une solution définitive.

Tout canal à écluses à Panama ne sera jamais qu'une solution temporaire, quelque haut ou bas que soit le niveau adopté pour le bief de partage. Il est logiquement impossible d'adopter des écluses si nous n'avons pas à notre disposition les moyens certains et sûrs de transformer le Canal ainsi construit en un canal à niveau. C'est la forme finale et nécessaire que la grande voie d'eau internationale doit prendre.

Nature des difficultés qui empêchent la construction immédiate d'un canal à niveau.

Pour voir le problème du Canal de Panama dans sa vraie lumière et déterminer les principes justes qui doivent présider à sa construction, il est de la plus haute importance de connaître les causes essentielles de l'échec de la construction directe du canal à niveau dans le passé.

Cette cause a été généralement attribuée à la difficile solution de deux problèmes techniques : le contrôle des crues du Chagres et l'excavation de la tranchée de la Culebra.

Rien n'est plus erroné, rien n'a plus souvent égaré les esprits les plus distingués.

Le problème du Chagres est relativement facile à résoudre : il comporte différentes solutions théoriques et pratiques. J'expliquerai plus tard quelle est, d'après moi, la méthode la plus simple et la plus économique.

Le problème de la tranchée de Culebra, quelque grande que soit la masse de terrain à excaver, ne dépasserait pas les limites d'un programme d'exécution en 10 ans, à la fois raisonnable et pratique, si le travail devait se faire dans le nord de l'Amérique ou en Europe.

Ce n'est donc pas dans la violence des crues du Chagres, ni dans la grandeur anormale et exceptionnelle de la tranchée de la Culebra, ni dans la constitution de ses éléments internes que gît la grande difficulté.

Elle réside en dehors de ces catégories de faits sur lesquels portent à l'ordinaire les études des ingénieurs en prise avec un

grand problème technique. Elle réside dans des éléments particuliers qui semblent plutôt d'ordre psychologique que de caractère technique.

Elle résulte essentiellement de la déprimante influence d'un climat humide et chaud sur le blanc, elle résulte aussi de la médiocre qualité de la seule main-d'œuvre qui puisse être employée dans l'Isthme : la main-d'œuvre de l'homme de couleur.

L'Isthme de Panama est un pays où la préservation de la vie humaine semble dépendre entièrement de l'économie avec laquelle on dépense son énergie physique.

Aucun blanc vivant dans l'Isthme pendant des mois ne peut se vanter d'y conserver son intégrité physique. C'est un pays où la tension physique qu'exige la direction de grands travaux (je parle pour ceux au sommet comme pour ceux aux pieds de l'échelle hiérarchique) est incompatible avec les exigences de la nature sous l'influence déprimante du climat.

Le relâchement de vigilance qui résulte de cette influence sur les officiers de l'armée du travail n'est pas contrebalancé, tout au contraire ses mauvaises conséquences sont gravement accrues par les dispositions naturelles des soldats.

Alors que dans nos climats, l'intelligence, la prévision, l'activité vigilante et virile se trouvent chez les plus vulgaires ouvriers blancs, nous ne trouvons là-bas, chez les noirs, qu'indifférence, manque d'énergie mentale et tendance invincible au repos paresseux.

Et il est impossible un moment de penser à employer la main-d'œuvre blanche, cela voudrait dire la mort en peu de temps (1). Aucun ouvrier ne demande plus de surveillance et d'attention que l'ouvrier de couleur. Nulle part, cette surveillance n'est plus relâchée que dans l'Isthme de Panama.

De l'association de ces deux influences caractéristiques du climat résulte une diminution extraordinaire des rendements que l'on pourrait attendre de n'importe quel plan d'action basé

(1) Cette règle expérimentale qui résultait des épreuves répétées et douloureuses de l'ancienne Compagnie de Panama doit, paraît-il, être modifiée. La découverte des causes de la malaria et de la fièvre jaune, faite depuis les travaux de l'ancienne Compagnie de Panama, en Italie pour la malaria et à Cuba pour la fièvre jaune, ont permis à une administration sanitaire rigoureuse d'empêcher que la dépression des travailleurs blancs dégénère en mort certaine. Des Espagnols ont été employés en nombre restreint et ont résisté (1906) suffisamment. Mais quel a été leur délabrement physique ? On ne le dit pas !

sur les connaissances acquises dans la zone tempérée de la Terre.

Il faut aussi se garder des expériences faites en petit et des coefficients que l'on recueille sur le travail d'un nombre limité de machines.

Pendant ces expériences, il y a une stimulation anormale temporaire des ouvriers. Elle tend les énergies et les élève plus ou moins au niveau qui nous est habituel. Cela n'est qu'un phénomène temporaire et local.

Cela est très dangereux parce que des déductions peuvent être tirées des coefficients ainsi obtenus, des délais peuvent être calculés d'après des expériences en apparence pratiques, mais qui en réalité ne le sont pas. Les conditions dans lesquelles l'expérience s'est faite, quelque naturelles qu'elles paraissent, sont en réalité artificielles et temporaires (1).

On peut dire que les grandes entreprises de travaux publics résultent de la coopération des hommes et des machines, du cerveau et de l'acier.

Que pourrait-on attendre de travaux entrepris sous un climat hypothétique qui, tout en respectant l'intégrité de l'homme, affecterait celle des machines, qui tout en maintenant les cerveaux en état normal diminuerait la dureté de l'acier et le transformerait en un métal plus mou, intermédiaire entre le plomb et le fer ?

Personne ne penserait que des plans calculés d'après les

(1) La vérification rigoureuse de cet ordre de faits peut se trouver dans ce qui suit. Le 23 avril 1906, Mr. Shonts, président de l'Isthmian Canal Commission, disait au secrétaire de la guerre, M. Taft, dans un rapport daté du lendemain de son retour de l'Isthme : « L'ingénieur en chef Stevens croit qu'en juillet ou en août il aura 40 excavateurs installés et sera en position d'enlever 1 000 000 de yards cubes par mois. » Le 17 décembre 1906, le Président Roosevelt, dans un message écrit également au retour de l'Isthme, dans un chapitre pompeusement intitulé « Nouveaux records d'excavation », disait : « En août 242 000 yards cubes, en septembre 291 000 yards cubes, en octobre « 325 000 yards cubes. »

Pas un mot n'était dit du cube de novembre pourtant bien intéressant, puisque c'était celui que le Président avait vu exécuter. S'il n'était pas cité, c'est qu'il était trop faible. — Le maximum atteint à partir de juillet ou août a donc été non pas 1 000 000 de yards cubes, mais moins du tiers, soit 325 000.

Le Président des États-Unis, tout en présentant ce grave échec comme une victoire, expliquait la désolante insignifiance des résultats en disant :

« La saison des pluies sera bientôt passée et alors il y aura une *immense augmentation* dans le montant excavé. »

La saison sèche est venue : le mois de janvier 1907 a donné plus de 500 000 yards, celui de mars environ 800 000. On voit que cette *immense augmentation* n'a réussi qu'à faire péniblement dépasser le six dixième en moyenne de ce que Mr. Stevens pensait pouvoir faire en pleine saison des pluies, régulièrement à partir de juillet ou août 1906. En mai 1907 d'ailleurs au lieu d'atteindre le million on a rétrogradé à 690 000 y. c.

conditions existant dans nos pays se réaliseraient sous l'influence d'un climat hypothétique capable d'altérer la dureté de l'acier. C'est ce qui arrive à Panama, non avec des machines mais avec des hommes, non avec l'acier mais avec les cerveaux. C'est là l'élément prépondérant du problème.

Vous m'excuserez, Messieurs, d'insister aussi longtemps sur ce point, mais il ne peut assez recevoir d'attention si l'on veut connaître le facteur qui contrôlera tout plan d'action pour la construction du Canal.

C'est le principe vital essentiel que l'on doit garder en vue dans l'examen de tous les systèmes proposés.

Source de coefficients réellement pratiques pour le calcul du temps de construction.

La conclusion de ce que je viens d'exprimer est que des expériences locales à petite échelle ou des résultats obtenus dans d'autres contrées ne peuvent servir à former des idées correctes sur le rendement probable de n'importe quel plan d'action.

Si nous étions au début de la première tentative de creusement du Canal, nous serions dans l'obscurité et aucune étude préliminaire n'éclairerait la question.

Nous serions dans la position de l'ancienne Compagnie de Panama à son début et nous serions incapables de savoir d'avance ce que produiront les plus énergiques efforts.

Mais aujourd'hui nous pouvons parler différemment. Nous pouvons jouir des leçons d'expérience qu'ont réalisées sur la plus grande échelle deux Compagnies successives. Le travail de chacune d'elles couvre près de dix années.

Cette double expérience nous conduit à conclure que l'adoption directe et immédiate d'un passage à niveau excavé à sec exigerait une période d'exécution inadmissible.

Elle conduit à ce principe qui forme la base de ma proposition, à savoir que le moyen d'arriver au passage à niveau ne consiste pas à ordonner son excavation immédiate par la méthode à sec.

Les coefficients adoptés par le Comité Technique

(C^{ie} nouvelle du Canal de Panama)

montrent qu'un délai de 30 années est nécessaire à l'excavation à sec d'un canal à niveau.

La chute de l'ancienne Compagnie de Panama survint en 1888 et la nouvelle Compagnie du Canal de Panama se forma en 1894. Eu égard aux explosions d'amertume que l'effondrement de la grande entreprise détermina, la nouvelle Compagnie forma un Comité international d'éminents ingénieurs qu'on appelle usuellement le « Comité Technique ». Ils étaient choisis parmi ceux particulièrement experts dans les travaux hydrauliques et ils avaient à déterminer quels plans devaient être adoptés et quels résultats pouvaient être attendus des travaux.

Ce Comité Technique, très sagement, décida de ne former son jugement que d'après les faits qu'il constaterait lui-même et non d'après l'expérience des collaborateurs de M. de Lesseps.

Un exemple montrera combien ses travaux furent dominés par le principe qu'il avait posé. Malgré l'expérience que j'avais acquise durant ma longue connexion avec l'œuvre de Panama, malgré ce que j'avais publié à ce sujet, je ne fus pas invité et je ne pus solliciter de discuter avec le Comité Technique, quel était le meilleur plan à adopter.

L'expérience ainsi acquise par le Comité Technique, avec une entière indépendance, l'amena à formuler en 1898 son plan. Son profil en long était pareil à celui que j'avais recommandé en 1892 et qui est né, je puis le dire, de l'expérience de l'ancienne Compagnie française. Ce projet est publié dans mon livre de 1892 : *Panama: le Passé, le Présent, l'Avenir*.

Dans mon plan de 1892, il était projeté un lac formé par un barrage à Bohio. Le niveau dudit lac oscillait entre 16 et 19 mètres au-dessus de la mer.

Le Comité Technique projeta un lac à Bohio dont le niveau devait osciller entre 16 et 20 mètres au-dessus de la mer.

Dans mes plans de 1892, je recommandais avec insistance de séparer les questions du Chagres et de la Culebra. Je recommandais de donner des niveaux différents au bief formé par le lac de Bohio et au Canal dans la grande tranchée. En donnant le même niveau à ces deux parties de la voie d'eau, chose attrayante à priori à cause de la simplicité apparente, on se

heurte à l'un des deux obstacles suivants. On doit faire à Bohio un barrage bien trop élevé si l'on veut réduire l'excavation du massif central. On doit faire à Culebra une tranchée bien trop profonde si l'on veut ériger à Bohio un barrage bas et, par suite, entièrement sûr.

Le Comité Technique fut conduit par ses études personnelles au même principe et projeta une échelle d'écluses pour réunir le bief du lac de Bohio au bief du massif central.

La seule différence sur ce point avec mon projet fut que l'altitude du plafond proposée par le Comité Technique pour la traversée du massif central était de 20^m,75, alors que j'avais proposé 29^m,75. J'avais même déterminé un plus haut niveau qu'on atteignait à l'aide d'une écluse supplémentaire, pour le cas où l'excavation de Culebra présenterait d'exceptionnelles difficultés.

Le Comité Technique admit cette altitude parce qu'il crut possible d'atteindre ce niveau durant la période de dix ans qu'il affectait à l'exécution des travaux de Bohio (barrage et écluses) et à cause de l'approfondissement de Culebra réalisé depuis la rédaction de mon projet.

J'avais proposé un plus haut niveau dans le massif central, je le propose encore. J'avais pensé et je pense encore qu'il est possible de terminer les travaux à Bohio beaucoup plus vite qu'avec la méthode de construction du barrage, admise par le Comité Technique.

En outre, il me paraissait préférable de ne pas rechercher un trop bas passage *au début* et de ne pas subir les risques et les délais qu'il comporte alors que l'approfondissement est si facile après.

Tout ceci montre combien l'expérience acquise par l'ancienne Compagnie et celle gagnée par la nouvelle a conduit à des principes identiques quant au profil à adopter pour le Canal.

La solution donnée à la question du Chagres différait quelque peu de la mienne, mais je ne tiens pas à débattre la question maintenant. Elle n'a pas de corrélation avec ce que je désire établir : l'identité pratique entre ce que chacune des deux Compagnies jugeait devoir faire pour obtenir l'ouverture du trafic dans le minimum de temps et avec le minimum de risque.

Voyons maintenant ce que le Comité Technique a considéré comme l'excavation annuelle probable dans la grande tranchée.

Il a basé le choix de l'altitude du plafond du bief central sur un débit probable de 3 000 000 de mètres cubes par an (4 000 000 de yards cubes).

Comme le chiffre qui représente l'excavation totale dans la division de Culebra est de 186 000 000 de yards cubes (Rapport de Mr. John F. Wallace, ingénieur en chef du Canal de Panama, février 1905) pour le canal à niveau (étant données les dimensions adoptées), il en résulterait que 45 ans s'écouleraient avant l'exécution de la tranchée si l'on adopte la vitesse d'excavation du Comité Technique.

Mais cela ne serait pas un calcul loyal. La « Division de Culebra » dont parle le rapport Wallace et qui exigerait une excavation de 186 000 000 de yards cubes, porte sur une plus longue étendue du Canal que la tranchée de Culebra telle que l'entendait le Comité Technique. Il n'y a que 103 000 000 de yards cubes à extraire de cette tranchée. Si l'on excave à raison de 4 000 000 de yards cubes par an, 26 ans seront nécessaires pour finir les travaux.

Cela ne comprendra pas les délais supplémentaires qui seront nécessaires quand l'excavation atteindra le niveau des eaux des vallées. Si l'on en tient compte dans une certaine mesure, on peut dire que 30 ans peuvent être considérés comme la longueur de temps afférente à l'excavation à niveau de la Culebra, d'après le Comité Technique.

On peut admettre, je crois, avec sécurité, que les estimations de temps du Comité Technique doivent être réduites d'un tiers, pour tenir compte de la prudence exagérée avec laquelle elles furent faites. Cela conduirait à un délai d'exécution de 20 années pour la Culebra.

Cela serait d'accord avec l'opinion de l'Isthmian Canal Commission qui a dit que le canal à niveau prendrait plus de deux fois le temps nécessaire à son plan. Ce temps nécessaire était de 10 années.

Cette considération montre qu'un canal à niveau excavé immédiatement à sec exigerait le délai prohibitif de 20 années et plus. On doit admettre ce chiffre si les périodes de construction sont calculées non pas d'après les conceptions de l'inexpérience, mais sur la base large et solide des connaissances

acquises par deux Compagnies françaises. Elles ont travaillé avec des directions et des méthodes entièrement différentes et elles ont abouti aux mêmes conclusions quant au temps nécessaire à l'excavation à sec.

Conditions en apparence incompatibles :

Ouverture immédiate et construction au niveau de la mer.

Comment on peut y satisfaire.

L'examen logique et systématique des conditions générales du problème nous fait aboutir aux conclusions suivantes :

1° *Un canal à niveau est l'issue nécessaire de l'entreprise de Panama;*

2° *Il est inadmissible d'envisager l'idée d'une excavation directe à sec du canal à niveau sans encourir d'énormes délais. Ces délais sont prohibés par les impérieuses et immédiates nécessités du commerce du monde, aussi bien que par les considérations politiques qui rendent indispensable la connexion des océans dans le temps le plus court possible.*

Il y a toutefois un moyen de satisfaire à ces deux conditions inverses et en apparence incompatibles.

Ce qu'elles demandent en réalité, c'est d'abord une communication immédiate par un canal quelconque, ensuite et plus tard un canal à niveau.

Ce dernier doit être réalisé dans un espace de temps plus court que celui que mettra le trafic à atteindre la capacité maximum du premier canal.

La solution consiste à disjoindre les deux conditions.

Elles seraient incompatibles si elles devaient être satisfaites simultanément, mais ce n'est pas le cas. La clé du problème se trouvera aisément si la construction du passage au niveau de la mer est divisée en deux phases distinctes.

La première phase correspondra à l'ouverture d'une communication permanente et de dimensions telles qu'elle satisfera aux nécessités maximums probables des 20 ou 30 années à venir. Un tel canal doit être projeté sous l'empire d'une loi d'airain qui commandera de choisir dans chaque section du canal les dispositions donnant pour la construction *le maximum de facilité* et *le minimum de risque*.

La seconde phase correspondra à la *transformation* de la voie navigable en un *passage au niveau de la mer sans gêner la navigation internationale en quoi que ce soit.*

II

JUSTIFICATION DU PROJET

Description générale.

Ainsi qu'on peut le voir dans le profil annexé à la brochure intitulée *Une solution du problème de Panama* (1), la voie navigable proposée est un canal à écluses dont le bief supérieur est à 39^m,65 au-dessus de la mer (k. 46 à k. 57). Il est uni avec la section au niveau de l'Atlantique par le lac de Bohio (15^m,25 à 18^m,30) lequel s'étend du k. 24 au k. 46 et avec la section au niveau du Pacifique, d'abord par un bief à 18^m,30 d'altitude entre le k. 57 et le k. 59 et ensuite par un autre bief à 7,62 d'altitude entre le k. 59 et le k. 62.

Sur le côté Atlantique, le bief supérieur est réuni au lac de Bohio par une échelle de deux écluses et le lac de Bohio avec la section au niveau de la mer par une autre échelle de deux écluses.

Sur le côté Pacifique, le bief supérieur est réuni avec le premier bief intermédiaire par une échelle de deux écluses. Le premier bief intermédiaire est réuni au second par une écluse et ce dernier au bief maritime par une autre écluse.

Toutes les écluses sont établies sur des fondations rocheuses parfaites.

En dehors du Canal proprement dit, il y a deux ouvrages importants : un à Gamboa, l'autre à Bohio.

Le barrage de Gamboa est établi près du Canal à travers le Chagres, à une distance d'environ un demi-kilomètre du Canal. Ce barrage sera établi sur des fondations rocheuses entre le Cerro Obispo et le Cerro Santa-Cruz. Il consistera en une struc-

(1) Cette brochure contenait la lettre au Président Roosevelt, datée du 27 mars 1905, dans laquelle lui était exposée, par moi, la théorie de la construction du canal à niveau en deux phases, la première comportant l'établissement du canal à bief élevé. Le profil dont il est question est celui reproduit dans le présent ouvrage.

ture de ciment armé destinée à retenir les eaux à une hauteur de 61 mètres au-dessus de la mer.

Le barrage de Bohio est établi en travers de la vallée du Chagres sur le côté sud-américain du Canal.

Il consistera en un énorme amas de sable argileux déposé par la méthode hydraulique en travers de la vallée. Ce dépôt atteindra 750 à 900 mètres au pied de la banquette, il aura des pentes très douces vers l'aval et une épaisseur au sommet de 360 mètres.

Le déversoir du lac sera placé sur le côté opposé par rapport au Canal. On éliminera ainsi tout contact possible entre le courant de déversement et le barrage. L'emplacement du déversoir sera dans un des cols que l'on trouve dans la chaîne de collines qui se relie à la butte de Bohio. Ce sera soit dans le col que j'ai choisi dans mon projet de 1892, soit dans le col de Rio-Gigante qui a été préféré à la fois par le Comité Technique et l'Isthmian Canal Commission (Rapport de 1901).

Contrôle automatique du lac de Bohio.

La décharge du lac sera assurée par un déversoir pur et simple dont la crête sera de 15^m,25 au-dessus de la mer.

L'altitude maximum du lac étant de 18^m,30, ce déversoir aura la longueur voulue pour décharger par seconde 5 000 mètres cubes d'eau lorsque le lac atteindra sa hauteur maximum. Un déversoir de 525 mètres de longueur permettra d'écouler indéfiniment une crue plus haute et plus longue qu'aucune autre connue.

Ce sont les conditions de contrôle automatique adoptées par l'Isthmian Canal Commission dans son Rapport de 1901. Je pense qu'elles couvrent toutes les éventualités possibles à Bohio avec une merveilleuse simplicité.

Le Comité Technique avait adopté des portes s'ouvrant au-dessous du niveau minimum pour écouler plus rapidement les eaux, mais c'est une dangereuse disposition qui ne devrait pas être admise (1).

Comme on le verra plus tard, la quantité maximum d'eau à

(1) Cette observation se réfère à un canal à écluses permanent, comme l'avaient projeté le Comité Technique et l'Isthmian Canal Commission ; aussi elle ne s'applique plus du tout à un canal à écluses entièrement provisoires.

débiter par le déversoir sera normalement de 1 000 mètres cubes à la seconde, même si la plus grande crue connue, celle de 1879, était reproduite à Gamboa avec une intensité ou une durée double.

Avantages du chenal choisi pour conduire de Bohio à la mer les crues du Chagres.

Le chenal entre le déversoir du lac de Bohio et la mer est, comme le système de contrôle du niveau du lac, un élément parfait de la solution.

C'est le lit de la rivière Chagres elle-même qui constituera le canal de fuite dans presque toute sa longueur. Deux déviations artificielles seulement existeront, l'une entre les k. 16 et 22, l'autre entre les k. 8 et 10. La dernière est déjà ouverte et ne demandera qu'un élargissement.

L'extrême simplicité qui résulte du choix de ce côté du Canal pour écouler les eaux est évidente. Le lit de la rivière est large et profond. Par ses dépôts successifs, il a formé deux digues latérales continues qui empêchent les débordements, sauf pour les crues exceptionnelles. Il faut ajouter, comme je l'ai établi dans mon livre de 1892 (page 136), qu'il y a une importante réduction de la longueur de la rivière entre Bohio et la mer, grâce à la coupure faite entre le k. 16 et le k. 22. Cela permet au lit du Chagres de débiter une crue de 1 000 mètres cubes à la seconde, comme il écoule aujourd'hui une crue de 850 mètres cubes. C'est là une petite crue de saison des pluies, incapable de faire sortir la rivière de son lit.

J'ai proposé cette solution qui est un des grands avantages du lac de Bohio, dans mes plans de 1892. Pour une raison que j'ignore, elle ne fut pas adoptée par le Comité Technique en 1898, car il a prévu deux déviations au-dessous de Bohio, une de chaque côté du canal. Mais ma solution a été reprise depuis par l'Isthmian Canal Commission, dans son rapport de 1901, et elle forme un trait caractéristique du projet qu'elle a adopté.

Telle est la description sommaire, mais précise, des différents travaux à exécuter. Examinons maintenant comment le projet actuel résout les deux grands problèmes techniques du Canal de Panama : la question du Chagres et la question de la Culebra.

LE PROBLÈME DU CHAGRES

Je propose de résoudre la question de l'aménagement du Chagres par l'érection d'un barrage à Gamboa, retenant les eaux à l'altitude de 61 mètres au-dessus de la mer.

Le barrage de Gamboa, après avoir formé une partie essentielle des plans de l'ancienne Compagnie de Panama, a été abandonné par la nouvelle Compagnie.

Je considère comme un fait d'une exceptionnelle importance que l'Engineering Committee de l'Isthmian Canal Commission ait recommandé à nouveau cet emplacement pour un barrage de retenue.

Cette opinion confirme mon sentiment sur ce point : à mon avis, le site de Gamboa est le plus parfait que l'on puisse choisir.

Bien que les plans de l'ancienne Compagnie y aient prévu un barrage de terre, j'ordonnai des sondages en 1885, en vue de l'érection d'un barrage de maçonnerie, que je considérais et considère encore comme la seule forme admissible. Ils donnèrent des résultats favorables pour les fondations d'un barrage de maçonnerie.

Comme l'emplacement d'Alhajuela (16 kilomètres en amont) a été choisi par le Comité Technique pour la simple raison d'une plus facile construction, il est bon d'établir un parallèle entre les deux barrages. Cela permettra de passer en revue les principaux éléments de la question des crues du Chagres. Cela mettra à même de suivre le système du Comité Technique qui forme une base solide pour toute l'argumentation logique de ce problème.

Le barrage de Gamboa comparé avec le barrage d'Alhajuela. Sa supériorité.

A tous les points de vue, excepté au point de vue de la simple construction, le site de Gamboa est infiniment préférable à celui d'Alhajuela pour un barrage.

Crues du Chagres.

Les dimensions restreintes du lac d'Alhajuela obligent à une solution incomplète de la question des crues du Chagres.

Celles du lac de Gamboa permettent une solution absolument parfaite et en même temps une solution également parfaite de l'emmagasinement de l'eau pendant la saison sèche.

Le lac de Gamboa à l'altitude de 61 mètres aura une surface de 11 209 hectares et une surface de 7 963 hectares à l'élévation de 51^m,85. Il a donc une surface moyenne de 9 500 hectares quand l'eau oscille entre ces deux altitudes,

Le lac d'Alhajuela avait, dans le projet du Comité Technique, à l'altitude de 65 mètres au-dessus de la mer, une surface de 3 000 hectares et une moyenne de 2 600 hectares dans la zone d'oscillations maxima de la surface.

La surface beaucoup plus considérable du lac de Gamboa (quatre fois plus grande environ) assure un effet régulateur beaucoup plus complet.

Le Comité Technique a basé son système régulateur sur la plus grande crue connue depuis cinquante ans, la célèbre crue de 1879, qui n'a pas été mesurée exactement. Sa hauteur résulte de souvenirs plutôt que de données techniques certaines. Il a été sage toutefois de la prendre pour base des calculs parce qu'on pouvait la considérer comme un maximum.

Le débit moyen de la rivière fut environ 1 600 mètres cubes à la seconde à Gamboa et 2 600 mètres cubes à Bohio, pendant 48 heures, d'après le Comité technique (p. p. 28-31, Rapport du 16 novembre 1898).

Le Comité admit les données suivantes (que nous exprimons ci-après en chiffres ronds) comme les caractéristiques de l'aménagement régularisateur d'une telle crue.

Le lac d'Alhajuela avait à emmagasiner 600 mètres cubes à la seconde et le barrage laissait écouler 1 000 mètres cubes dans le lit inférieur.

Cela réduisait le flux à Bohio à 2 000 mètres cubes à la seconde.

L'emmagasinement dans le lac d'Alhajuela se montait par conséquent, dans les 48 heures, à environ 100 000 000 de mètres cubes.

Le lac de Bohio avait à emmagasiner 800 mètres cubes par seconde et devait laisser échapper 1 200 mètres cubes dans le lit inférieur et dans la dérivation. Sept cents mètres cubes s'échappaient du côté Nord-américain (lit du Chagres) et cinq cents s'écoulaient du côté Sud-américain (dérivation). Le lac de

Bohio avait donc à emmagasiner 140 000 000 de mètres cubes environ.

L'emmagasinement de 100 000 000 de mètres cubes dans le lac d'Alhajuela correspond à une variation de niveau de 4 mètres.

La même quantité d'eau gardée dans le lac de Gamboa ne ferait varier le niveau que de 1^m,05.

Une telle augmentation du pouvoir de retenue du lac est une qualité essentielle. Il y a toutes les raisons possibles, en effet, d'accentuer plus que le Comité Technique les retenues d'eau de crues dans la haute vallée du Chagres.

Voici les très importantes raisons qui justifient cette façon de voir.

Si la quantité d'eau qui s'échappe du lac Supérieur n'atteint pas 500 mètres cubes à la seconde au lieu de 1000, elle peut sans inconvénient passer par le canal, qu'il soit à niveau ou à écluses. La section du canal actuellement prévue est de 600 mètres carrés et sera augmentée plus tard. Permettre à cette masse d'eau de couler dans le canal c'est laisser se produire un courant de moins de deux nœuds à l'heure. C'est la vitesse des courants de marée entre la mer Rouge et les lacs Amers dans le Canal de Suez et ils n'ont jamais arrêté le trafic.

On peut ajouter que ces courants n'auront lieu qu'en cas de grandes crues qui n'arriveront que tous les trois ou quatre ans et ne dureront que deux ou trois jours.

La décharge usuelle ordinaire sera de 330 mètres cubes et ne donnera qu'un courant d'un nœud.

Les apports du Chagres ne sont pas à redouter avec le lac de Gamboa.

Il peut être convenable de faire remarquer que les eaux émises par le lac ne contiendront pas d'éléments solides. Le Chagres n'est pas maintenant une rivière lourdement chargée d'apports. Dans sa formation générale, le sol est dur et couvert d'une végétation tropicale extrêmement intense.

D'un autre côté, le lac de Gamboa recouvrira la partie basse de la vallée du Chagres et des rivières tributaires. Il recevra donc les rivières près de leur source. Il éteindra tout courant dans les parties de leur lit où la friction de l'eau sur le fond

détruit ses éléments et produit ces particules ténues qu'arrachent les crues et qui forment les apports.

Si nous acceptons 500 mètres cubes au lieu de 1 000 mètres cubes comme décharge au lac de Gamboa, nous voyons que pour la crue maximum l'emmagasinement dans le lac sera de 1 100 mètres cubes au lieu de 600 par seconde. Cela mettrait 190 000 000 de mètres cubes d'eau environ derrière le barrage en 48 heures et déterminerait une variation de niveau de 2 mètres environ.

D'un autre côté, le débit à Bohio qui naturellement serait, ainsi que nous l'avons vu, 2 600 mètres cubes à la seconde se trouvera réduit à 1 500 mètres cubes si 1 100 mètres cubes sont retenus à Gamboa.

Si nous emmagasinons dans le lac de Bohio 800 mètres cubes par seconde, comme l'a proposé le Comité Technique, le flux du lac sera réduit à 700 mètres cubes. C'est la quantité d'eau que le Comité technique a proposé d'envoyer sur le côté Nord-américain du Canal, c'est-à-dire dans cette dérivation que forme le lit du Chagres pour la majeure partie. Ainsi serait supprimée la déviation de l'autre côté sans changer le débit du côté Nord-américain.

L'efficacité du lac de Gamboa de beaucoup supérieure à celle du lac d'Alhajuella pour régulariser les crues du Chagres.

On voit clairement par ce qui précède combien l'efficacité du barrage de Gamboa est supérieure à celle du barrage d'Alhajuella dans l'œuvre essentielle de ces ouvrages qui est de régulariser les crues du Chagres.

Avec une variation de niveau de 2 mètres dans le lac de Gamboa au lieu de 4 mètres dans celui d'Alhajuella, un système de régularisation de crues peut être obtenu avec des avantages nouveaux et capitaux. Ce système évite le coûteux et dangereux travail soit d'une déviation le long du Canal entre Gamboa et Bohio, soit d'un tunnel à travers les faits de partage. Il est assez curieux de remarquer que l'idée la plus simple de résoudre le problème du Chagres et qui consiste à déverser dans le Canal le débit régularisé à Gamboa par le barrage n'a jamais été acceptée auparavant. L'ancienne Compagnie versait dans une dérivation les eaux du lac. La Commission isthmique

voulait percer des divisoires et écouler par des tunnels les eaux dans des bassins voisins. D'autre part, il permet de n'employer qu'un côté, le bon côté, pour conduire les crues jusqu'à la mer à l'aval de Bohio.

Il est évident que l'emmagasinement peut être porté beaucoup plus loin, et nous allons voir comment je propose d'utiliser le pouvoir précieux d'absorption du lac de Gamboa pour solutionner les questions de crues et d'emmagasinement d'eau pour la saison sèche.

Autres avantages résultant de la position du barrage de Gamboa.
Il permet d'enlever au lac de Bohio
tout rôle vital dans la régularisation des crues du Chagres.

L'avantage qui résulte d'une beaucoup plus grande surface lacustre n'est pas le seul avantage en faveur du site de Gamboa.

Son immédiate proximité du Canal m'autorise à dire, comme on l'a vu, que les eaux émises par lui dans le canal n'y amèneront pas de sédiment du tout. Le barrage de Gamboa régularise les crues du Chagres infiniment mieux que celui d'Alhajuela et en même temps il nettoie entièrement les eaux émises, ce qui ne serait pas dans l'autre cas.

Les eaux sortant du lac d'Alhajuela seront pures elles aussi à ce moment, mais ayant à recevoir des affluents entre le lac et le canal elles y amèneront des apports.

Un autre avantage exceptionnel du site de Gamboa, c'est la proximité de ses eaux et du bief supérieur si on en décide un dans le massif central, conformément à ma proposition de 1892, à celle du Comité Technique de 1898, et à celle que je sou mets aujourd'hui.

La connexion entre le bief supérieur et le lac est immédiate avec le lac de Gamboa, elle est longue et difficile avec le site d'Alhajuela.

Elle nécessite pour ce dernier emplacement un canal de 15 kilomètres et demi de longueur qui soulève les plus graves objections. Étant donnée l'énorme importance de cette connexion, peut-on penser aux terribles conséquences qu'entraînerait sa destruction sur un seul point pendant l'exploitation du Canal?

D'autre part, avec le site de Gamboa, il est possible d'obtenir

une solution complète du problème des crues du Chagres sans imposer au lac de Bohio autre chose qu'un rôle subsidiaire.

Le lac de Bohio peut donc disparaître graduellement pendant les travaux de transformation sans troubler le système régulier de l'aménagement des crues du Chagres.

Je considère que la proposition faite par l'Engineering Committee composé du général Davis, du professeur Burr et de Mr. Barclay Parsons d'ériger un barrage à Gamboa est une des plus importantes contributions récentes à la question de Panama.

Je ne suis pas d'accord toutefois avec la méthode de construction que proposent ces Messieurs et je réserverai cette question pour plus tard. Je désire maintenant en terminer entièrement avec la question du Chagres.

SYSTÈME PROPOSÉ POUR L'AMÉNAGEMENT
DES CRUES ET LA FORMATION DES RÉSERVES D'EAU
POUR LA SAISON SÈCHE

Aménagement des crues.

Ainsi que nous l'avons vu, le Comité Technique a basé son système sur la puissance de retenue des lacs de Bohio et d'Alhajuela. Nous avons vu combien ce système pouvait s'améliorer avec un barrage à Gamboa au lieu de celui d'Alhajuela.

Eu égard à la capacité du lac de Gamboa, je ne pense pas nécessaire d'employer le lac de Bohio pour l'aménagement de la plus grande crue connue. Ce dernier lac devrait être réservé pour une crue plus grande et plus longue encore. Il devrait être, en un mot, un organe d'aménagement pour cas extraordinaires.

Pour cette raison, je suppose qu'il n'aurait à agir que sur ce qui tombe dans la section Gamboa-Bohio sans aucun afflux de la vallée supérieure au cas où la crue exceptionnelle de 1879 se reproduirait. Dans ce cas, il ne viendrait que 1 000 mètres cubes à la seconde sur les 2 600 mètres cubes qui ont coulé à Bohio, d'après le Comité Technique, en 1879.

Pour écouler cette masse au-dessus de son déversoir de 525 mètres de long, le lac de Bohio aurait à s'élever de 1^m,04 au-dessus du niveau minimum de 15^m,25.

Cela correspondrait à un emmagasinement de 50 000 000 mètres cubes.

L'espace compris entre 16^m,04 et 18^m,30 ne sera point employé, sauf en cas extraordinaire, c'est-à-dire pour une crue d'intensité et de durée jusqu'à présent inconnue.

Avec une surface à l'altitude de 18^m,30 au-dessus de la mer, le déversoir écoulera 5 000 mètres cubes à la seconde.

Si nous ne demandons au lac de Bohio, en cas de grande crue, qu'à traiter le débit des rivières entre Gamboa exclusivement et Bohio, nous devons emmagasiner derrière le barrage de Gamboa la plus grande crue connue à cet endroit. Elle est de 1 600 mètres cubes à la seconde pendant 48 heures. Cela constitue un volume de 276 000 000 mètres cubes, ce qui correspond à une élévation du niveau de 2^m,90.

Le pouvoir d'emmagasinement du lac de Gamboa est égal à deux fois la plus grande crue connue.

Pour prévoir même l'improbable, nous réservons pour l'emmagasinement des crues un espace deux fois plus grand, soit une variation du niveau égale à six mètres.

On pourra retenir la crue maximum, même si elle dure 96 heures au lieu de 48 ou pendant 48 heures une crue de 3 200 mètres cubes à la seconde.

Le lac de Bohio, organe d'aménagement en cas extraordinaire, peut graduellement disparaître.

Nous sommes de la sorte protégés par les plus larges marges de sécurité qui aient jamais été envisagées. Si cependant la nature soumettait le système adopté à une épreuve plus dure encore, on n'aurait plus qu'à laisser l'eau s'écouler dans le Canal comme elle vient de l'amont.

Cela ne causera pas de danger car le lac de Bohio pourra écouler une crue de 5 000 mètres à la seconde d'une durée indéfinie.

Dans la première période de la vie du Canal, le lac de Bohio existera et il sera aisé d'élargir les parties étroites de la section supérieure de ce lac temporaire. De cette façon, on admettra 1 600 mètres cubes à la seconde et plus dans le Canal sans créer

un courant pouvant gêner la navigation, si une crue de 1 600 mètres cubes durait plus de 96 heures, soit plus de deux fois la plus grande crue connue.

Dans la seconde période de la vie du Canal, la période à niveau, ses dimensions seront nécessairement élargies et la section en travers sera portée à 1 000 mètres et plus. Avec 1 000 mètres carrés, un flux de 1 600 mètres cubes n'engendrerait qu'un courant d'environ 3 nœuds. Avec le Détroit, la section moyenne sera vers le milieu du canal et à mi-marée de 2 556 66 mètres carrés, par suite un débit de 1 600 mètres cubes y produit un courant de 1 nœud 22.

Un pareil accident n'arriverait certainement pas une fois par siècle. La crue sur laquelle nous basons nos calculs n'a en effet eu lieu qu'une fois en 50 ans. Et, d'autre part, nous sommes normalement armés pour retenir entièrement derrière le barrage de Gamboa une crue de violence égale et de durée double ou de violence double et de durée égale.

La suppression du lac de Bohio, comme organe de contrôle, ne peut donc entraîner de dommages appréciables.

Le fait de ne pas astreindre le lac de Bohio à être un organe vital de l'aménagement du Chagres, comme le Comité Technique a dû le faire par suite du choix du barrage d'Alhajucla, est d'une importance considérable.

Cela libère entièrement la transformation du Canal à écluses en Canal à niveau de la question des crues du Chagres. Pendant la transformation, le lac de Bohio disparaîtra sans affecter l'aménagement du fleuve, ce qui eût été impossible avec le système adopté par le Comité Technique.

Emmagasinement pour la saison sèche. Il sera amplement suffisant pour un trafic de 50 000 000 de tonnes.

Le rôle du lac de Gamboa est double. D'abord il doit former une réserve d'eau pour la saison sèche, et il doit retenir les crues en même temps.

Novembre et décembre sont précisément les mois pendant lesquels si on attend une crue le réservoir doit être bas, et si on attend une saison sèche prématurée il doit être haut.

Il est, par suite, nécessaire d'avoir deux tranches distinctes dont chacune est affectée à un service distinct.

Le volume du lac entre le niveau 48^m,80 et 54^m,90 sera consacré à la retenue pendant la saison sèche et le volume du lac entre le niveau 54^m,90 et 61 mètres sera consacré à l'emmagasinement des crues, comme nous l'avons vu.

Il n'y aura pas de conflit entre deux nécessités inverses et rien ne sera laissé aux prophéties du temps à venir.

Le volume retenu pour la saison sèche montera à environ 550 000 000 mètres cubes.

Cela donnera pour chacun des 100 jours de saison sèche 5 500 000 mètres cubes ou environ 67 mètres cubes par seconde, ce qui, ajouté au débit minimum de 14 mètres cubes à la seconde, donnera environ 80 mètres cubes à la seconde.

L'Isthmian Canal Commission, dans son Rapport du 16 novembre 1901, a déclaré que pour 10 000 000 de tonnes le canal absorbera pour les écluses 13,5 m. c. et pour divers besoins indépendants du transit 22,1 m. c. Cela fait 35,6 m. c. en tout.

Il résulte de ces chiffres que la quantité d'eau retenue derrière le barrage de Gamboa satisfera un transit de 40 millions de tonnes avec la hauteur d'écluses de l'Isthmian Canal Commission. Cela correspond à 50 000 000 de tonnes avec la hauteur moindre que je propose d'employer.

On voit que le lac de Gamboa fournit pour la question de réserve d'eau une solution aussi parfaite que pour la question des crues.

Le trafic qu'il assure pendant la saison sèche est précisément le trafic que l'on considère comme le plus haut qu'on puisse réaliser avec un canal à écluses (1).

Lorsque la seconde phase de la vie du Canal sera atteinte, lorsque le canal à niveau sera construit, l'emmagasinement d'eau pour la saison sèche ne sera plus nécessaire. Alors le pouvoir d'absorption des crues sera doublé. Le lac pourra désormais entre 48^m,80 et 61 mètres absorber quatre fois la masse d'eau que la plus grande crue connue depuis cinquante ans ait amenée.

Les règles relatives à la manœuvre des appareils de retenue ou d'écoulement seront précises et simples.

(1) Il aurait dû être ajouté « avec un barrage à Bohio ». La minorité de la Commission a voulu élargir cette limite et la porter entre 60 et 100 000 000 de tonnes. Cet avantage a été acheté par elle au prix de la construction d'un barrage à Gatun, par le procédé nouveau que je décris plus loin pour le barrage de Bohio, en un point où la destruction de cet ouvrage est presque une certitude au premier tremblement de terre sérieux.

La surface du lac sera, pendant la saison des pluies, maintenue à l'altitude 54^m,90, de façon à ce que l'on soit prêt à retenir dans le lac de Gamboa toute crue survenant dès que le lac de Bohio aura monté de 1^m,04 au-dessus de son niveau minimum de 15^m,25.

Pendant la saison sèche, on emploiera l'eau aux besoins de l'exploitation du Canal et même avec un trafic de 50 000 000 de tonnes le niveau ne descendra pas au-dessous de 48^m,80.

Construction du barrage de Gamboa.

Elle est impossible avec les déblais de la grande tranchée.

Ce doit être un barrage de béton armé.

Les fondations rocheuses pour le barrage se trouvent entre le Cerro Santa-Cruz et le Cerro Obispo, à peu près au niveau de la mer.

La hauteur du barrage au-dessus de ses fondations sera donc à peu près 61 mètres.

Il n'y a rien d'exceptionnel dans une telle hauteur. Beaucoup de structures de cet ordre de grandeur ont été réalisées en maçonnerie.

Certaines, telles le barrage de Croton (1), sont plus hautes encore. La distance verticale entre le niveau de l'eau et le point le plus bas des fondations est de 90 mètres, si je ne me trompe, à Croton.

Un barrage, comme je le propose à Gamboa, peut donc être calculé par des méthodes qui ont la sanction d'une longue expérience.

L'élément additionnel de certitude que les ossatures d'acier donneront à un béton armé augmente encore la valeur de ce type de barrage. Cela efface toutes les suspicions que peut faire naître la possibilité d'un tremblement de terre.

J'ai déjà déclaré ce que je pense à propos du choix du site de Gamboa par l'Engineering Committee de l'Isthmian Canal Commission. Je pense que sa proposition de revenir au projet de l'ancienne Compagnie est une des plus décisives et des plus heureuses contributions à la solution du problème de Panama. Mon opinion toutefois diffère de celle du Committee sur la construction.

(1) Service des eaux de la ville de New-York.

Il a été proposé par l'Engineering Committee d'élever avec les déblais de la grande tranchée un barrage de terre pourvu d'une muraille centrale au milieu.

Un barrage de terre avec ou sans mur central est un barrage en terre.

La stabilité et la résistance du barrage doivent être déterminées par le caractère du barrage lui-même. Il doit être jugé par son mérite propre sans tenir compte de la muraille centrale, si l'on veut avoir une conception loyale et scientifique de l'ouvrage.

Raisonnons donc sans prendre en considération l'élément supplémentaire de stabilité que forme la muraille centrale et posons nettement la question :

« Un barrage en terre de 61 mètres de retenue est-il possible « avec les déblais de la grande tranchée ? »

Je réponds emphatiquement non, et je réponds après avoir consacré des années à étudier sur le terrain cette même question. C'était en effet aussi le projet de l'ancienne Compagnie du Canal d'ériger là un haut barrage de terre avec les déblais de la grande tranchée. J'espérais sincèrement lorsque j'arrivai dans l'Isthme en 1884 réaliser ce projet et je n'ai pu arriver à la conviction qu'il fût pratique et faisable.

Je ne le considère ni pratique ni faisable pour plusieurs raisons dont une seule suffirait pour entraîner la condamnation de l'idée.

1° Un tel barrage doit être érigé là pour l'éternité. Il sera la clé du Canal tout entier, quelle que soit la première forme adoptée, quelle que soit la transformation ultérieure.

Il doit donc être établi dans des conditions telles qu'il donne une garantie substantielle et absolue de stabilité.

Un barrage en terre est toujours considéré comme une structure suspecte dès qu'il atteint une hauteur notable. J'ai prévu l'emploi dans le barrage de Bohio des meilleurs matériaux. J'y emploie une méthode qui ne laisse aucun doute sur la perfection rigoureuse et homogène de toutes ses parties. Malgré la possibilité de lui donner une épaisseur dix fois égale à celle qui est strictement nécessaire, je ne pense pas qu'on doive imposer au barrage en terre de Bohio une retenue supérieure à 18^m,30. Dans ces limites et avec ces précautions, un barrage en terre est une solution sûre et satisfaisante. Je ne saurais, par contre,

considérer un barrage en terre comme une structure admissible pour une période de temps indéfinie si la retenue est trois fois plus élevée. Je me joins à la première Isthmian Canal Commission en disant qu'à Bohio une retenue de 28^m,06 ne devait pas être admise sans la garantie supplémentaire d'un mur central. Je n'irai pas plus loin, même avec le meilleur mur central.

Je puis être considéré comme timoré, mais dans l'art technique quand le calcul ne me peut guider, je ne pense pas que ce manque d'audace soit une faute.

2° L'érection du barrage en terre de Gamboa à travers un fleuve impétueux et irrégulier sera accompagnée d'innombrables difficultés. Elle est condamnée, selon moi, à un échec certain parce que nous n'avons pas, comme à Bohio, un lit au même niveau et de même largeur qui puisse recevoir le fleuve pendant l'érection.

L'absence d'un lit large et profond dans lequel la rivière peut être dérivée pendant le dépôt des terres sur l'emplacement libéré du barrage est chose grave. C'est une objection essentielle à toutes les localités de la vallée du Chagres. Elle s'applique à Gamboa, elle s'applique aussi à Gatun où un barrage de terre a été parfois proposé (1) sans prêter une attention suffisante aux conditions locales.

3° Le grand avantage apparent d'un barrage en terre, c'est la possibilité d'y employer une grande quantité de matériaux extraits du massif central. Cet avantage s'évanouit comme de la brume au soleil quand on considère la nature des terrains excavés.

Il n'y a pas parmi toutes les natures de terrains un seul qui soit moins qualifié pour jouer un tel rôle.

La terre employée dans un barrage doit être de telle nature que toutes ses particules arrivent à être en contact étroit les unes avec les autres. Elles ne doivent laisser aucun vide pour le passage de l'eau.

Ce contact réciproque peut être obtenu avec un terrain convenable par une compression mécanique. Il peut encore mieux être réalisé en choisissant bien la méthode de déposer la terre à sa place.

(1) La première proposition a été faite par Godin de Lépinay devant le Congrès de 1879, mais sous la réserve que l'exécution en fut reconnue possible.

Ni la compression, ni aucun système de dépôt ne permettra jamais d'obtenir l'adhérence des diverses particules de déblai de la grande tranchée.

Traits caractéristiques des éléments internes de la tranchée de Culebra.

Beaucoup d'erreurs commises à propos de cette substance.

La tranchée de Culebra est formée en proportions restreintes de roche, d'argilolithe pour la plus grande partie et de quelques bancs d'argile près de la surface du sol.

Beaucoup d'opinions ont été exprimées au sujet de cette argilolithe, de cette argile rocheuse de la grande tranchée. Beaucoup d'erreurs ont été commises sur sa stabilité. Quelques-uns y voient du rocher, d'autres y voient de la terre. En réalité, c'est une roche tendre qui, lorsqu'elle est en place et pourvue par suite de l'humidité interne nécessaire, est au-dessus et au-dessous de l'eau parfaitement résistante et dure.

Sous l'eau, elle est absolument stable. Au-dessus de l'eau, elle s'effrite à l'air bien qu'en proportions insignifiantes tant que, je le répète, elle n'est pas enlevée de sa position naturelle. Mais si nous prenons un morceau de cette roche argileuse et si nous l'exposons à l'atmosphère, elle perd son eau, ses molécules se séparent. Elle tombe alors en fragments comme le fait la chaux lorsque, par un processus inverse, elle absorbe l'humidité atmosphérique.

Si vous mettez un morceau de cette argilolithe desséchée dans de l'eau, elle tombe à l'état de boue.

Beaucoup de très distingués esprits ont été, chose curieuse, trompés par ce phénomène à diverses reprises. J'ai entendu donner à cette argile rocheuse le nom d'« argile soluble ». Des ingénieurs éminents ont craint l'action de l'eau sur cette substance si la tranchée du Canal était ouverte à travers!

Aucune muraille n'est nécessaire dans la tranchée de Culebra.

Le Comité Technique lui-même a été une victime de cette erreur : Il a projeté des murailles dans la tranchée de la Culebra pour protéger cette argile supposée soluble du contact de l'eau, son dissolvant supposé. Ce fut là une des erreurs les plus

lourdes de la Compagnie nouvelle de Panama et des ingénieurs formant ses conseils techniques. Cela les empêcha d'avoir une vision exacte du problème de Panama.

En réalité, ces murailles n'auront jamais à remplir un tel rôle. En passant, il est bon de dire que l'Isthmian Canal Commission a conservé ces murs dans son projet, quelques-uns de ses membres l'ont fait dans une pensée différente.

L'idée à laquelle ceux-ci ont obéi n'était pas de protéger l'argile du contact de l'eau, mais de protéger les navires du contact éventuel de quelque protubérance.

M. Noble et M. Morison m'ont certifié ce fait et les écrits du général Hains permettent de laisser inférer la même supposition.

Il est intéressant de noter que la même erreur a été commise durant la construction du Canal de Suez. Un grand ingénieur, Hawkshaw, a prédit de terribles conséquences si l'argile du prisme du Canal n'était pas soustraite au contact de l'eau entre les lacs Amers et Suez. Le temps nécessaire pour faire la maçonnerie manqua, rien ne fut fait et personne depuis n'a remarqué l'absence de cette protection soi-disant indispensable.

Cette argile rocheuse est extrêmement facile à miner, elle s'extrait très bien soit à la pelle à vapeur, soit à l'excavateur une fois minée. Lorsqu'elle est mise à la décharge, elle retient une partie de son humidité et ne se détruit que partiellement. Sa surface seule devient savonneuse et il n'y a pas de frottement à proprement parler entre un morceau d'argile et ses voisins.

En un mot, une décharge de ces déblais forme un remblai de morceaux de rocher dont les surfaces sont transformées en savon.

L'instabilité des décharges de la tranchée de Culebra en saison humide a paralysé durant des années l'exécution des travaux.

Des décharges ainsi constituées n'ont pas le pouvoir de retenir l'eau, mais elles ont une extrême tendance au glissement. Cela fut une des plus grandes difficultés de l'excavation de la Culebra. Les éboulements des décharges, aussitôt que commençait la saison humide, ont été pendant plusieurs années la cause effective de la paralysie des travaux dans la grande tranchée.

J'ai surmonté cette difficulté en disposant les décharges de façon à ce qu'elles reçussent la quantité minimum d'eau des coteaux les surplombant.

Un petit barrage de 2^m,50 à 3 mètres de retenue fait avec les déblais de la Culebra n'a pas réussi.

Je puis dire que cette notion du caractère de l'argile de Culebra, pour son emploi dans les barrages, n'est pas simplement théorique.

Malgré ma connaissance des faits qui me la faisaient supposer impropre, je tentai une expérience. J'avais à élever de 8 à 10 pieds le niveau du haut Obispo pour amener l'eau dans un bassin de dragage sur le côté Atlantique de la Culebra. J'avais pour cet insignifiant travail les déblais de la Culebra en énorme surabondance. Je pensai que vue la faiblesse de la retenue, je pouvais après tout barrer le ruisseau avec une décharge.

Je jetai en travers la vallée du cours d'eau un remblai de 5 mètres de haut, je déchargeai train après train, l'eau passa toujours à travers le remblai. Le niveau ne put jamais s'élever de plus de trente centimètres. Je dus abandonner mon barrage et j'installai une pompe centrifuge pour alimenter le bassin de dragage.

Excusez-moi, Messieurs, d'insister aussi longtemps sur ce point, mais je suis sûr que vous serez assaillis par différentes théories sur l'argile de Culebra. La connaissance exacte de cette argile a une portée capitale sur certains travaux d'extrême importance comme le barrage de Gamboa, les murs de Culebra, etc., et j'ai pensé nécessaire d'entrer dans des explications circonstanciées (1).

Preuves de la stabilité de l'argilolithe de Culebra quand elle est dans sa position naturelle et sous l'eau.

Vous remarquerez combien malfondée est la terreur de voir cette roche argileuse se dissoudre dans l'eau du Canal lorsque vous observerez le terrain du lieudit Las Cascadas.

(1) Le Consulting Board fit probablement son profit de cette démonstration, car pour la première fois depuis la chute de l'ancienne Compagnie la légende néfaste des argiles solubles de Culebra a disparu enfin des documents officiels et ne figura pas dans son Rapport, non plus que les ouvrages déraisonnables qu'elle avait jusqu'alors imposés.

C'est là que la rivière l'Obispo a une chute verticale et le terrain est constitué précisément par de l'argilolithe. Si l'argilolithe était destructible par l'eau, cette chute n'aurait jamais existé.

Cela s'est vu aussi dans des puits de reconnaissance foncés dans la Culebra. Longtemps abandonnés et remplis d'eau, ils furent vidés après des années. Leurs parois étaient aussi dures, aussi nettes que le jour où le terrain avait été ouvert.

Un barrage en terre à Gamboa est impossible, par conséquent : 1° parce qu'il ne serait point assez sûr s'il était construit avec la dernière perfection ; 2° parce qu'il ne pourrait être construit en contact avec la rivière ; 3° parce que les matériaux qu'on y destine ne sont pas ceux qu'on doit employer pour faire un barrage étanche.

Il en résulte qu'un barrage bien calculé en béton de ciment armé est nécessaire.

Le coefficient de sécurité doit être très large. Le barrage doit résister même à une surpression due aux matières en suspension si l'on vient à décharger les terres contre la face amont du barrage.

Sa construction sera très simple. Le Chagres ne sera pas capable de la gêner.

De larges ouvertures seront pratiquées à travers le barrage pour permettre à la rivière de passer durant la construction. Celles-ci seront au moment convenable fermées par des portes d'acier puis remplies de béton.

J'ai fini avec le barrage de Gamboa. Retournons au barrage de Bohio pour expliquer le système que je recommande pour sa construction.

Construction du barrage de Bohio.

Le barrage que j'ai proposé en 1892 de construire à Bohio devait former un lac dont la surface oscillait entre 16 et 19 mètres au-dessus de la mer. Il devait fournir une complète solution de l'aménagement du Chagres (pour le premier canal à écluses à construire). En 1898, le Comité Technique proposa un barrage en terre, au même endroit, oscillant entre 16 et 20 mètres.

L'Isthmian Canal Commission, dans son Rapport de novembre 1901, recommanda aussi un barrage en terre à Bohio pour un lac oscillant entre 25^m,92 et 28^m,06, mais avec un mur central.

Je propose aujourd'hui un lac oscillant entre 15^m,25 et 18^m,30. Cette légère différence avec ma proposition initiale répond simplement à la convenance de l'emploi de chiffres ronds en mesures américaines (50 à 60 pieds). Il ne résulte pas de question de principes.

La construction d'un mur central (dans le plan de la Commission américaine) a été l'objet de discussions nombreuses lorsqu'on pensait trouver les fondations à 39 mètres au-dessous de la mer. La difficulté a considérablement grossi à raison de la nécessité d'aller plus profondément encore, à 53^m,40 au-dessous de la mer. Certainement il est ridicule de soutenir que ce soit au-dessus des possibilités techniques de l'heure actuelle, mais il est également ridicule d'avancer que cela est sans importance.

Aucun barrage en terre dans l'Isthme ne devrait atteindre 28^m,06 sans mur central.

Peu d'ingénieurs toutefois prendraient la responsabilité d'un barrage de terre à Bohio, retenant l'eau à 28^m,06, sans la garantie supplémentaire d'un mur central.

Cela semble avoir éliminé le projet d'un barrage de cette hauteur et avoir dirigé l'esprit d'ingénieurs éminents vers un maximum de retenue d'eau de 18^m,30.

Un barrage aussi bas devient une œuvre très simple et très facile si la méthode de construction est choisie convenablement.

Le barrage conçu par le Comité Technique était ce qu'on pourrait appeler un barrage académique.

Ce barrage, certes, correspondrait très bien aux conditions de travail des pays civilisés où la main-d'œuvre intelligente est en abondance, où les matériaux et le terrain doivent être économisés. Il correspond aux conditions européennes et non pas à celles de l'Isthme.

Il consiste essentiellement dans une puissante banquette formée d'un mélange de sable et d'argile (corroi) déposé en faibles quantités à la fois, battu au pilon de façon à l'incorporer avec le corroi déjà en place.

La banquette a une épaisseur de 15 mètres au sommet et de 120 mètres à la base. Je considère très douteux qu'un pareil ouvrage puisse se réaliser dans l'Isthme avec la perfection requise pour assurer son succès.

Ni corroi, ni maçonnerie ne sont admissibles dans l'Isthme à raison du manque de main-d'œuvre intelligente.

Malgré le temps considérable que le Comité Technique a estimé pour sa construction, je suis persuadé qu'une telle conception du barrage de Bohio aurait abouti à un désastre. Le peu de confiance que mérite la main-d'œuvre, le relâchement forcé d'activité des surveillants sont, comme nous le savons, les principaux facteurs de l'exécution dans l'Isthme. La même raison qui empêche que la maçonnerie ordinaire soit possible sur une vaste échelle et qui oblige à lui substituer la maçonnerie mécanique, le béton, interdit d'espérer qu'une puissante banquette de corroi ait les qualités indispensables dans toute sa masse.

Le barrage en terre de Bohio doit consister en une montagne de sable argileux transporté et déposé par l'eau.

La solidité de la structure doit être basée sur le système de construction et non pas sur la bonne volonté et la vigilance de l'ouvrier. Le barrage doit être conçu de telle sorte qu'une marge presque déraisonnable de sécurité le garantisse contre tous les risques imaginables. Telle est le principe du projet du barrage de Bohio que j'ai eu l'honneur de soumettre au Président des États-Unis.

Voyons d'abord les dimensions.

Donnons 750 mètres d'épaisseur au pied et 360 mètres d'épaisseur à la crête. Le barrage sera six ou sept fois plus épais à la base et vingt-cinq fois plus épais à la crête que celui du Comité Technique. Nous aurons rempli de cette façon la condition relative à la marge nécessaire de sécurité. Mais il est également nécessaire qu'en plus de cette marge la qualité de la structure soit la plus élevée possible. Il faut qu'elle atteigne celui du corroi le plus parfait qu'ait espéré le Comité Technique et qu'il n'eut jamais réalisé.

Considérons d'abord la qualité du terrain naturel dans la vallée du Chagres en amont de Bohio. Ce terrain consiste en une quantité illimitée d'argile sableuse facile à draguer, facile à mettre en suspension dans l'eau, facile à traiter par la pompe centrifuge.

Grâce à ces qualités exceptionnelles, il sera facile d'envoyer

la matière en suspension dans l'eau sur l'emplacement du barrage par des opérations purement mécaniques.

L'eau laissera déposer la matière ainsi transportée, celle-ci acquérera de la sorte l'état d'adhérence idéale et de cohésion nécessaire pour former un barrage parfait. Le système que je propose donnera au remblai entier une qualité que la méthode de construction au corroi, la préparation à la main, ne permet pas d'atteindre.

A l'avantage de donner une perfection exceptionnelle à la masse imperméable jetée en travers de la vallée du Chagres, cette méthode ajoute ceux de la simplicité et de la rapidité (1).

Dans ma lettre au Président des États-Unis, j'ai expliqué comment ce programme serait rempli par deux dragues puissantes excavant en combinaison avec le nombre voulu de pompes centrifuges. Celles-ci élèveront, par la méthode hollandaise, à la hauteur voulue pour amener la matière en place, l'eau qui la tient en suspension.

Un an suffira à la formation de l'immense dépôt. La méthode ne laisse rien à désirer au point de vue pratique.

Maintenant, Messieurs, permettez-moi de répondre à une observation insérée dans un des fascicules reliés en gris qui ont été préparés pour vos travaux. Il porte comme titre : « Le Canal de Panama. Partie IV — Projet de Mr. Bunau-Varilla », etc.

Dans les remarques qui accompagnent ma lettre au Président, il est dit que mon estimation de quatre années pour l'exécution des travaux de Bohio est ultra-optimiste. Cette appréciation est basée sur le fait que le Comité Technique estimait à 10 ans le temps nécessaire à l'exécution des travaux de Bohio.

Il est parfaitement vrai que tel a été l'avis du Comité Technique. Je ne pense pas équitable de mesurer le crédit auquel a droit mon estimation d'après celle que le Comité Technique a formulée pour son projet personnel.

Ce n'est pas équitable, parce que les estimations de temps ne s'appliquent pas à la même méthode de construction et, par suite,

(1) C'est la première fois qu'a été proposée une semblable méthode de créer un grand barrage. La minorité du Consulting Board s'empara de cette idée avec laquelle l'érection d'un barrage à Gatun devenait possible. Elle se l'appropriâ sans citer son auteur et chose fort étonnante chez des ingénieurs aussi considérables ils déguisèrent son origine sous l'appellation : « Sluicing system », qui ne rappelle pas les procédés de dragage et d'élévation par pompes centrifuges qui la caractérisent.

ne sont pas comparables. D'autre part, les estimations de temps du Comité Technique ont toujours et, à juste titre, été considérées exagérées de prudence.

La connaissance de ma méthode de construction du barrage de Bohio aurait très probablement amené le Comité Technique à réduire de trois ou quatre ans au moins son estimation du temps nécessaire.

Il aurait alors dû réduire à six ou sept ans le délai d'exécution des travaux de Bohio.

**Les estimations de temps du Comité Technique
peuvent être réduites dans la proportion de 4 à 5,375, d'après
l'Isthmian Canal Commission.**

D'autre part, comme je l'ai dit au début, les estimations de temps du Comité Technique peuvent être réduites d'un tiers. Il est intéressant de noter que cela est plus ou moins l'opinion de l'Isthmian Canal Commission, d'après le contenu même de son rapport de novembre 1901. Dans son rapport, nous voyons qu'elle estime pouvoir enlever les 43 000 000 de yards cubes de la Culebra en huit années après deux ans de préparation. Cette assertion établit qu'elle estime à 5 375 000 yards cubes la production annuelle pratique. Comparons ce chiffre aux 4 000 000 de yards cubes admis par le Comité Technique comme la production annuelle. Nous en déduisons qu'il existe, pour les estimations de rapidité d'exécution du même objet, un rapport de 4 à 5,375 entre les vues du Comité Technique et celles de la Commission américaine.

**Mon estimation du temps nécessaire aux travaux de Bohio
n'est pas contredite par les chiffres du Comité Technique.**

Appliquons cette proportion à la période de six à sept ans citée plus haut, nous trouvons quatre ans et demi et cinq ans un tiers. C'est la période nécessaire aux travaux que je projette à Bohio d'après le Comité Technique, mais avec la correction déduite de l'appréciation de l'Isthmian Canal Commission. Dire quatre ans ou dire cinq ans, c'est dire la même chose pour une aussi difficile entreprise.

Je ne me considère donc pas du tout comme condamné par les chiffres que le Comité Technique a avancés pour le temps néces-

saire à ses travaux de Bohio. Au contraire, il y a harmonie parfaite entre ses chiffres et les miens.

Un autre fait tiré du même rapport de 1901 établit aussi que l'Isthmian Canal Commission jugeait possible de réduire en toute sécurité les délais du Comité Technique.

Les travaux projetés à Bohio par l'Isthmian Canal Commission étaient singulièrement plus importants et plus difficiles que ceux du Comité Technique.

La Commission américaine avait à ériger un barrage de 28^m,06 de retenue au lieu d'un barrage de 20 mètres de retenue. Elle projetait un déversoir de 600 mètres de longueur alors que le Comité Technique n'avait prévu qu'un ouvrage à vannes long de 60 mètres. Elle avait à construire comme noyau du barrage de terre un mur central de 67 mètres de hauteur, établi sur des fondations supposées être à 39 mètres au-dessous de la mer. Le barrage du Comité Technique ne comportait aucun mur central.

Malgré l'accroissement considérable de travaux que comportaient ces dispositions, la Commission américaine n'a pas accru le délai de 10 ans fixé par le Comité Technique pour un projet beaucoup plus simple. L'Isthmian Canal Commission adopta le même nombre d'années. Elle alla plus loin. Au lieu de déclarer comme le Comité Technique que les travaux de Bohio étaient le facteur irréductible de la durée de l'exécution, elle énonça que c'était l'exécution de la Culebra et elle fixa 10 ans pour cela. Les travaux de Bohio furent estimés pouvoir se faire en une période inférieure.

Cette remarque montre combien la Commission a clairement marqué qu'à son avis le Comité Technique avait exagéré la prudence en fixant les délais de l'excavation et des travaux accessoires. Il est donc bien logique de réduire, comme je l'ai dit, le temps alloué par le Comité Technique. Cela devrait être fait non seulement eu égard à la simplification résultant du nouveau mode d'exécution proposé, mais aussi à raison de la surestimation générale des délais.

Tous les travaux à Bohio peuvent être faits en quatre années.

Mais je ne désire pas justifier mon évaluation du temps nécessaire aux travaux de Bohio, par une simple comparaison, fut-elle logiquement déduite, avec une évaluation différente.

Vous jugerez si j'ai tort ou raison d'après le mérite intrinsèque de ma propre justification. C'est à mon sens la manière normale de procéder.

Un an et demi devraient être consacrés à la construction des dragues, remorqueurs, chalands qui excaveront et porteront la terre à l'emplacement du barrage. En même temps, on installerait les pompes centrifuges, celles qui jeteront l'eau en masse dans les chalands pour mettre la terre en suspension et celles qui aspireront cette sorte de soupe.

Vous savez qu'il n'y a aucune limite de hauteur ou de distance pour envoyer au point requis par pompe centrifuge la terre en suspension dans l'eau. Il suffit d'employer des pompes en série aspirant l'une dans l'autre ou bien de disposer des relais sur les conduites. On introduit ainsi la quantité d'énergie requise au point voulu.

Il n'est pas hors de propos de suggérer, pour la rapide installation des dragues et chalands, que les coques soient expédiées en sections aussi grandes que possible. Cela économisera le travail sur place. Le volume des sections ne doit être limité que par ce que le Panama Railroad peut transporter.

Une vaste installation de cette nature peut être aisément actionnée par une seule station centrale électrique donnant aux dragues et aux pompes la puissance mécanique nécessaire.

La limite d'une année et demie peut ne pas être dépassée, si l'on fait les commandes à l'intérieur et à l'extérieur des États-Unis à des fabricants expérimentés. Ce genre de matériel est d'un usage courant en Hollande notamment. De hautes primes de rapide livraison et de sérieuses pénalités de retard assureront le respect des délais.

Pendant cette année et demie, l'excavation de la butte de Bohio, déjà descendue à 12 mètres au-dessus de la mer, peut être terminée et les fondations des écluses réalisées.

En même temps, la construction du déversoir qui consiste à excaver un col bas doit être attaquée avec énergie.

Après un an et demi, le lit de la rivière doit être barré par un ouvrage provisoire. La meilleure méthode paraît être celle utilisée aux États-Unis et au Canada. Elle consiste à faire flotter des radeaux formés de pièces de bois croisées et boulonnées ensemble et à les échouer sur place en remplissant de pierres les intervalles des bois.

Ce genre de structure est facile à manier, d'une exécution rapide. Elle forme rapidement un puissant obstacle au courant, obstacle que l'on renforce en déversant des pierres en aval et du sable en amont. Ce barrage provisoire sera, après renforcement, élevé jusqu'à 15 mètres au-dessus de la mer. A cette altitude la rivière ne peut plus le submerger, et même les grandes crues passeront à travers le nouveau chenal ouvert sur l'emplacement des écluses sans atteindre la crête du barrage.

Une autre année doit suffire pour construire le barrage lui-même et mettre le déversoir en état de laisser s'écouler les plus grandes crues. Deux ans et demi en tout devraient donc suffire pour résoudre à Bohio la question du Chagres.

A la fin de cette première période de deux ans et demi, l'écoulement du fleuve dans le chenal provisoire sera interrompu. On placera des portes d'acier en amont des écluses, appuyées sur des piles convenablement disposées, et l'on poursuivra l'érection des écluses. Cette construction consiste en réalité à la manipulation d'une grande masse de sable, de ciment et d'acier. Tout dépend de l'approvisionnement convenable de matières dans le voisinage du lieu d'emploi. Deux ans et demi ayant été disponibles pour accumuler tout ce qui est nécessaire, la partie la plus difficile du travail sera déjà faite. Il semble dès lors qu'un an et demi seront amplement suffisants avec la machinerie appropriée pour en finir.

En quatre années, on peut donc réaliser le système intégral des travaux de Bohio.

Je suis convaincu que la volonté sincère et arrêtée d'accomplir ce programme le réalisera exactement.

Aucune crainte du sous-sol perméable sur lequel reposera le barrage de Bohio.

Je demande à ajouter que la rapidité de la construction ne sera pas obtenue aux dépens de la solidité. Aucune question ne semble pouvoir s'élever au sujet de la masse formant le barrage lui-même. Peut-on en soulever une au sujet du terrain naturel sur lequel reposera le barrage. Existe-t-il un danger résultant du passage possible de l'eau, contournant par-dessous la masse imperméable du barrage et passant à travers le sous-sol partiellement perméable.

Il a été montré par le grand et regretté ingénieur Georges Morison que la filtration n'atteindrait pas 1,3 mètre cube par seconde, même avec une retenue de 28^m,06. Il a été employé pour ce calcul certains coefficients de filtration récemment fournis à la science par un éminent ingénieur, Mr. Stearns, membre de votre Board. Le chiffre de M. Morison est calculé en admettant que le sous-sol perméable communiquerait avec l'eau immédiatement à l'amont et à l'aval du barrage.

Mais les circonstances sont bien plus favorables. Lorsque le sous-sol perméable a été formé par les apports de la rivière, les sources du Chagres étaient plus près de Bohio qu'elles ne le sont maintenant. Les eaux n'avaient pas eu le temps de réduire le sable à l'état de vase. Mais depuis, l'origine du fleuve a reculé vers l'intérieur et des apports plus récents et mieux brisés ont recouvert les apports anciens. Cette nouvelle couche forme un manteau imperméable entre Bohio et Gamboa.

On peut affirmer que le sous-sol imperméable ne communique pas avec l'eau, sauf à partir d'une distance de 20 kilomètres à l'amont et qu'il n'y a pas de communication à l'aval.

Même en admettant que la pression intérieure détermine plus tard cette communication à l'aval, le manteau imperméable de l'amont empêcherait la filtration de dépasser un quart de mètre cube à la seconde.

Le barrage de Bohio sera donc à quelque point de vue qu'on l'examine une structure absolument parfaite.

Autres systèmes proposés autrefois pour la régularisation des crues du Chagres.

J'ai présenté ce qu'on doit considérer comme une solution complète de la question des crues du Chagres. J'ai non seulement justifié les dispositions recommandées, mais aussi expliqué la construction de leurs éléments essentiels. J'ai montré que l'ensemble de ces dispositions jouit de la qualité précieuse de s'adapter à toutes les formes que prendra le Canal. Cela est vrai pour le canal à écluses à bief supérieur élevé aussi bien que pour le canal à niveau, aussi bien pour toutes les formes intermédiaires pendant la transformation.

Ceci étant établi, il n'est pas sans intérêt de montrer comment la même question a été traitée dans les divers projets

présentés jusqu'à présent. Une lumière suffisante a été jetée sur le projet du Comité Technique de la nouvelle Compagnie de Panama formulé en 1898. Il est donc entièrement expliqué. Considérons maintenant, par ordre de dates, le projet que j'ai présenté en 1892 dans mon livre « Panama, le Passé, le Présent, l'Avenir », puis celui adopté par l'Isthmian Canal Commission en 1901. L'Isthmian Canal Commission en 1901 avait été mieux inspirée que le Comité Technique en 1898 et s'était approprié ma solution de 1892 consistant à déverser tout le défluent du lac de Bohio d'un seul côté du Canal, celui où le Chagres a sa bouche et la majeure partie de son lit, à l'aval de Bohio.

Ces deux dernières conceptions sont inspirées par une même idée : 1° recevoir les eaux du Chagres dans un grand lac formé par un barrage à Bohio ; 2° écouler les eaux du Chagres au-dessous de Bohio sur le côté nord américain du Canal. De cette manière les eaux échappées du lac, empruntent entre Bohio et la mer le lit du Chagres qui reste entièrement du même côté du Canal que l'embouchure du fleuve, sauf sur deux sections entre les K. 22 et 16 du Canal et entre les kilomètres 10 à 8.

Si dans les deux projets les dispositions en plan sont identiques, il y a une différence dans les altitudes des lacs.

J'avais proposé, en 1892, un lac oscillant entre 16 et 19 mètres. La Commission isthmique a proposé un lac oscillant entre 25^m,92 et 28^m,06.

La raison de cette différence entre les niveaux doit être cherchée dans la différence entre les conceptions primaires.

Mon projet était le premier pas fait vers le Canal à niveau. Le projet de la Commission était un projet définitif, non une solution temporaire.

Je ne considérais le lac de Bohio que comme un organe d'expansion du Chagres destiné à amortir et à supprimer à Bohio tout courant.

Le Chagres, ainsi rendu inerte et inoffensif, pouvait être écoulé sur le côté nord américain du Canal et jeté dans son lit qui reste entièrement jusqu'à la mer, sauf sur 8 kilomètres, de ce côté du Canal.

En d'autres termes, le lac de Bohio était dans mon esprit un organisme permettant d'amener le Chagres de la rive sud américaine (côté de la source) à la rive nord américaine (côté de l'embouchure) sans troubler la navigation du Canal.

Pour ce but limité, un lac oscillant entre 16 et 19 mètres était amplement suffisant.

Il présentait par surcroît l'incalculable avantage de n'exiger qu'un barrage de terre peu élevé, facile à construire et offrant de parfaites garanties de sécurité.

J'admettais librement les eaux du Chagres dans la partie du Canal située entre Gamboa et le lac proprement dit. J'ai augmenté la section du Canal dans le sens vertical et horizontal de façon à ne pas avoir plus de deux nœuds à la seconde avec une crue de 800 mètres cubes. J'avais l'intention d'interrompre la navigation pendant les très grandes crues, courtes et rares, mais capables de causer un courant de 4 nœuds entre Gamboa et le lac.

Les apports ne pouvaient séjourner dans le lit du Canal, mais se seraient déposés dans le lac de Bohio. J'acceptais volontiers ce danger eu égard au court espace de temps pendant lequel le lac devait subsister.

Le dégagement des eaux du lac était assuré par l'ouverture de portes entre le niveau maximum et minimum aussitôt qu'il y avait tendance à élévation du niveau.

Les conditions d'écoulement du Chagres au-dessous de Bohio n'étaient pas sensiblement améliorées par une réduction du débit des crues, car le lac ne les retenait pas. Toutefois l'écoulement vers la mer était accéléré par l'augmentation de pente des eaux qui résultait du raccourcissement dû aux coupures.

Après avoir franchi la première période, je comptais ériger le barrage de Gamboa pour en faire l'organe de régulation des crues du Chagres pendant la transformation en Canal à niveau. Je n'ai pas jugé à propos de développer les plans détaillés de cette transformation dans mon livre de 1892. Cet ouvrage avait pour but principal de montrer qu'un canal capable de larges recettes pouvait être rapidement établi à Panama. Il devait, en outre, prouver que la construction était à l'abri des mécomptes de la première entreprise de Panama et que les marges de sécurité les plus larges éloignaient toute possibilité de surprise.

Les plans de l'Isthmian Canal Commission n'ont pas été établis pour une condition transitoire, comme les miens. Ils ont visé un canal à écluses permanent et définitif.

Sans doute, la Commission améliora l'aménagement des crues du Chagres en élevant le niveau du lac de Bohio et en portant le plan d'eau maximum de 18^m,30 à 28^m,06. Cet avantage a été acheté au prix d'une surélévation du barrage en terre. La Commission ne l'a pas cru faisable sans un mur central fondé sur la roche à 39^m,04 au-dessous de la mer.

Le surplus d'élévation des eaux a en outre augmenté les dimensions du lac.

Le remous des eaux devait monter dans la vallée bien au-dessus de Gamboa et réduire la quantité d'apports d'une façon corrélative.

La capacité du lac dans ses oscillations entre le niveau minimum et le niveau maximum était appelée à absorber un grand volume d'eau. Cela devait réduire considérablement les crues écoulées dans le lit du Chagres situé dans la vallée basse entre Bohio et la mer.

Les dimensions transversales du lac, même dans les environs de Gamboa, étaient appelées à adoucir naturellement les courants de crues et à empêcher qu'ils troublassent la navigation.

On voit, par cet examen rapide, que la solution que j'avais présentée en 1892 pour la question du Chagres avait été entièrement admise par l'Isthmian Canal Commission en 1901. Les légers inconvénients qu'elle comportait et qui étaient parfaitement tolérables pour une solution temporaire ont été guéris par une élévation de niveau. Il était légitime de le faire pour une conception permanente. Mais on tombait dans la difficulté supplémentaire de construction d'un plus haut barrage et dans le risque plus grand de sa conservation.

**Les plans de l'Isthmian Canal Commission, parfaits
pour un canal à écluses perpétuelles,
mauvais si la transformation en canal à niveau est prévue.**

Un des buts visés par l'Isthmian Canal Commission était d'atteindre un niveau compatible avec un projet d'excavation de la tranchée centrale en 10 ans.

Je l'ai déjà expliqué, la solution d'un niveau commun dans le lac et la tranchée est très attrayante à cause de son évidente simplicité. Elle a le défaut d'exiger un barrage trop haut et une tranchée trop profonde.

Certainement, pour un *canal à écluses perpétuelles*, on doit admettre que c'est la meilleure solution à adopter. Cela justifierait l'érection d'un mur central dans le barrage même si les fondations sont à — 53^m,40 (altitude récemment déterminée) au lieu de — 39^m,04 (altitude erronée déterminée par l'Isthmian Canal Commission).

Mais cette solution ne peut soutenir l'examen si elle est réalisée en vue d'une transformation ultérieure en canal à niveau.

Elle ne répond pas à la condition essentielle qui est de limiter au minimum le temps de construction et les risques d'instabilité. Il admet un barrage inutilement haut et par suite inutilement dangereux. Il admet une tranchée inutilement profonde et, par suite, un travail inutilement long à faire.

J'ai fini cette partie de mon exposé qui se réfère au premier des deux grands problèmes techniques de Panama : le Chagres. Voyons maintenant l'autre : Culebra.

LE PROBLÈME DE CULEBRA

Comme vous pouvez le voir sur le profil en long du canal à écluses, avec un bief supérieur à la cote 39^m,65, ce terrible problème disparaît entièrement. C'est le seul qui ait jamais réellement existé dans la question de Panama.

On ne peut plus dire qu'avec le plan proposé l'excavation de la Culebra est l'élément qui domine la durée de la construction.

Une masse d'environ 15 000 000 de mètres cubes reste à enlever, voilà tout. En admettant la vitesse d'extraction adoptée par l'Isthmian Canal Commission (4 100 000 mètres cubes par an), cela peut être enlevé en trois ans et neuf mois.

Quelques-unes des objections élevées contre mon projet (voir page 224 des brochures reliées en gris et intitulées : *Le Canal de Panama*, partie IV, projet de M. Bunau-Varilla, etc.) se réfèrent au nombre accru des écluses et à la difficulté de fournir l'eau nécessaire au bief central.

Il y a à ce sujet un évident malentendu. Je n'ai jamais pensé, comme peuvent le faire croire les objections susvisées, à ne pas ériger immédiatement le barrage de Gamboa au niveau de 61 mètres. J'ai parlé d'une retenue de 45 mètres parce que j'ai cru qu'on pouvait légitimement avancer que le barrage de Gamboa exigerait plus de quatre années de construction. J'ai voulu simplement dire dans ma lettre au Président de la République que le Canal pouvait s'ouvrir même si le barrage n'avait pas atteint sa cote définitive.

Je n'ai jamais un moment pensé que le barrage ne devait pas être complété immédiatement après l'ouverture. Je n'ai jamais cru qu'il resterait arasé à 45 mètres pour faciliter l'ascension des chalands porteurs de déblais.

L'alimentation en eau du bief supérieur est parfaite dans les plans que je propose.

Je n'ai rien pu découvrir qui justifiait l'objection de la brochure grise, d'après laquelle mon plan ne comporterait pas de moyen d'alimenter le bief supérieur en eau.

Que le niveau du lac soit à 45 mètres ou à 61 mètres d'élévation, cela importe peu pour l'alimentation du bief supérieur. Il semble sans utilité d'entrer dans des détails sur le moyen de laisser couler l'eau du lac dans le bief central qui est à une cote inférieure (39^m,65). N'oublions pas que le lac arrive à quelques centaines de mètres du bief supérieur.

Dans la brochure grise, un autre évident malentendu s'est glissé à propos de l'alimentation du bief avec des pompes ou avec un réservoir à Alhajuela.

Je suis supposé avoir suggéré ces moyens comme des solutions normales. Je ne les ai mentionnés que pour les besoins de la discussion, en étudiant les limites mises par la nature à l'exploitation d'un canal à écluses. Je n'ai jamais songé à alimenter le Canal de cette façon qu'en cas de nécessité temporaire.

Probablement, la façon trop condensée dont ma lettre au Président définissait mon programme de travaux a causé ces malentendus. Quoi qu'il en soit, l'explication que j'ai donnée sur la façon d'employer le lac de Gamboa comme régulateur de crues et comme magasin d'eau a éclairci les choses.

La limite des oscillations du lac sera de 12 mètres et, comme je l'ai déjà dit, l'eau sera toujours entre 61 mètres et 48^m,80. Elle aura donc toujours facile accès au bief central qui, dans mon projet, aura une altitude de surface de 39^m,65 au plus.

Après avoir répondu à ces objections, retournons à la question elle-même.

Pourquoi le niveau 39^m,65 a-t-il été choisi pour le bief central?

Le niveau, en aucun cas, ne devrait être plus bas pour la première forme de la voie d'eau de Panama.

On pourrait me demander pourquoi le niveau 39^m,65 a été choisi pour le bief supérieur.

Parce qu'excaver jusqu'à la profondeur correspondant à ce niveau c'est attaquer une quantité de terrain qui peut être enlevée dans le temps nécessaire au reste des travaux du Canal. C'est aussi parce que le léger accroissement dans la profondeur actuellement excavée limite au minimum le risque d'éboulements. Ce risque en s'éliminant dégage du danger d'être arrêté pendant quelques années par un accident de cette nature. Il dégage aussi du danger de l'arrêt également long qu'exigeraient des travaux supplémentaires en vue de prévenir des éboulements.

On peut aussi ajouter qu'il n'est pas bon de placer le bief supérieur plus haut que 39^m,65, à raison de la difficulté d'avoir un site satisfaisant pour l'écluse supplémentaire qui serait nécessaire (1).

Ne vaudrait-il pas mieux, pourrait-on demander encore, prolonger la période de construction de trois ou quatre ans et supprimer une des écluses montant au niveau du bief supérieur.

A cette question il pourrait être difficile de répondre si le canal à écluses était construit pour l'éternité. Ce serait chose grave que de dire si, pour un avenir indéfini, on ne devrait pas sacrifier quelques années de plus pendant la construction.

Mais si nous construisons un canal avec l'idée bien arrêtée que ce n'est que le premier pas vers la forme à niveau, alors la réponse est évidente.

(1) Cette observation ne s'applique qu'à un canal à écluses semi-permanent. Pour une solution provisoire et si l'on a en vue de hâter l'ouverture et de simplifier les travaux, on peut adopter une écluse provisoire supplémentaire élevant le niveau à 50 mètres environ.

En creusant plus profond, nous devons accepter une augmentation certaine et définie pour la période de construction du Canal.

Nous retardons ce jour, depuis si longtemps attendu, sans autre justification que le désir de réduire un peu le temps du transit des navires. Et cet avantage ne peut porter que sur la courte période qui s'écoulera entre l'ouverture à la navigation et à la suppression de l'écluse par approfondissement pendant l'exploitation.

Ce délai supplémentaire de transit, dû au passage à travers deux écluses de plus, n'est donc qu'un léger désavantage temporaire, qui disparaîtra quand on poursuivra l'exécution du canal à niveau.

Par contre, le retard supplémentaire apporté à l'ouverture de la grande route internationale causera un tort sérieux au commerce du monde, et peut-être à la défense des États-Unis.

En outre, en allant plus bas, nous ne subissons pas seulement des délais additionnels certains, nous courons aussi des risques nouveaux quant à la stabilité des parois de la tranchée.

Si l'on rencontre une strate de terrain qui cause un glissement, combien d'années ne doit-on pas ajouter à celles que nous calculerons comme le supplément certain?

Excaver plus profondément veut dire plus de temps. Cela veut dire aussi plus de risques.

Aussitôt que la hauteur raisonnable de 39^m,65 pour l'eau du bief central est atteinte, on ne devrait pas chercher à aller plus bas. Même si le fond de la cuvette en était atteint actuellement par les travaux du passé, je déclarerais encore qu'il ne faut pas aller plus bas. Je dirais qu'une des plus grandes difficultés étant finalement éliminée, il ne faut pas la réintroduire sous la pression illogique du désir d'un meilleur canal.

Non, un canal à l'altitude de 39^m,65 est parfaitement satisfaisant pour le début de l'exploitation. Toute tendance à baisser le passage central serait une désobéissance à la *loi d'airain* que l'on doit garder dans l'esprit : choisir dans chaque section du canal ce qui *assurera avec minimum de risques et par le minimum d'efforts une communication ample et permanente entre les océans.*

On pourrait encore dire que les désavantages du retard seront compensés par l'économie de deux écluses.

L'économie de ces écluses représente une trentaine de millions et les recettes nettes d'une seule année couvriront largement cette somme.

On pourrait encore demander ceci : Si vous aviez à consacrer sept années au reste des travaux, continueriez-vous à recommander le même niveau ?

Je répondrais : certes oui. Si les autres travaux étaient assez difficiles pour nécessiter sept années et même dix années, je pourrais après l'exécution de la tranchée centrale disposer des travailleurs. Je concentrerais ailleurs leur activité pour hâter le jour de l'achèvement.

La question de la main-d'œuvre restera pendant la construction un élément de continuelles difficultés. Les ouvriers peuvent être rares, le nombre nécessaire peut n'être pas obtenu. C'est une raison de plus pour préférer l'érection d'une paire d'écluses à l'excavation d'une nouvelle masse de terrains à travers le massif central.

Si la main-d'œuvre est surabondante, je préférerais l'employer à élargir la tranchée du faite et à enlever le terrain au-dessus de 39^m,65 pour préparer le chemin de la période de transformation.

L'érection d'une paire d'écluses consiste simplement à associer ensemble des éléments (ciment et acier) préparés loin de l'Isthme, alors que l'excavation est une opération purement isthmique et qui exige naturellement un grand nombre d'hommes.

L'avantage de faire le canal à niveau en deux phases consiste à assurer la plus rapide exécution de la voie d'eau d'abord et à réaliser les perfectionnements après.

Elle tire une ligne très nette de conduite qui empêche de mêler deux desiderata : utilité et perfection.

La première phase correspond à l'utilité et aboutit à la forme la plus simple du Canal parmi celles qui assurent une ample et permanente communication.

En d'autres termes, la première phase correspond au minimum de difficultés et la seconde au maximum de qualités.

La conception d'un bief central à 39^m,65 est bien pour cette section dans la ligne du minimum de difficultés. Donc tout essai de faire un passage plus bas dans la première phase au

prix de plus de dépenses et de plus de risques ne doit pas être encouragé.

Une telle décision irait contre les indications que le Président des États-Unis a faites récemment, avec sa haute autorité, sur le principe des recherches du Consulting Board.

J'espère, a-t-il dit, voir le Canal construit d'après le système qui amènera au jour le plus rapproché possible le moment où il sera possible de faire traverser l'Isthme par le premier navire. Il a dit aussi : Le surplus de temps de transit des navires, dû à des écluses additionnelles, serait de peu de conséquence en comparaison d'une réduction du temps de construction du Canal ou d'une diminution des risques de cette construction.

L'adoption d'un niveau inférieur à 39^m,65 serait en contradiction directe avec le principe que le Président a exprimé si clairement, si heureusement, et avec tant d'autorité. En parlant de la sorte, il parlait au nom des intérêts nationaux et internationaux.

III

TRANSFORMATION DU CANAL CONSTRUIT AVEC ÉCLUSES EN UN CANAL A NIVEAU

J'espère établir à votre entière satisfaction que cette transformation peut être obtenue graduellement, *sans interrompre un instant la navigation*, grâce à une modification simple du type ordinaire des écluses.

J'espère, en outre, établir à votre entière satisfaction que si la largeur au plafond du Canal est portée de 45 mètres (dimension actuelle) à 90 mètres, une nouvelle conséquence en résultera. Non seulement il n'y aura aucune interruption de la navigation, mais il n'existera aucun contact entre la navigation et les instruments d'excavation et de transport des déblais. Pendant toute la transformation, le chenal de navigation restera entièrement libre de tout ce qui est nécessaire pour le creusement du Canal et l'évacuation des produits de l'excavation.

Si la largeur du Canal est doublée, la liberté de la navigation ne sera pas affectée par la transformation. Tout se passera

comme si les travaux étaient exécutés dans une autre partie de la Terre.

Si la largeur du chenal n'est pas doublée, si la largeur initiale (45 mètres) est maintenue, cette indépendance subsistera encore pendant l'abaissement du plan jusqu'au niveau de 22^m,50. Cela correspond à la moitié de la descente à peu près.

Entre le niveau 22^m,50 et celui de la mer, les travaux s'exécuteraient en empruntant de plus en plus le chenal de navigation.

Même de cette façon, ils peuvent être exécutés en laissant toujours libre et sans obstacle pour la navigation un chenal ayant au moins 22^m,50 de largeur. C'est un chenal d'une largeur suffisante pour presque tous les navires du monde. C'est la largeur que pendant longtemps on a considérée d'une ampleur suffisante pour Suez. C'est un chenal d'une largeur supérieure à celle du canal de Kiel.

On peut ajouter que la contraction à 22^m,50 du chenal navigable libre sera l'extrême réduction, que cela n'arrivera qu'à période finale quand le niveau de la mer sera atteint. Du niveau 22^m,50 jusqu'au niveau 14, le chenal libre restera supérieur à 36 mètres, c'est-à-dire à la dimension adoptée pour le bief central par le Comité technique en 1898. C'était une largeur ample et libérale.

C'est donc en réalité pendant l'approfondissement des 14 derniers mètres seulement que la contraction du chenal libre se fera sentir et que la largeur tombera de 36 mètres à 22^m,50.

Je relève ce qui suit parmi les remarques précédant ma lettre au Président et insérées pages 223 et 224 de la brochure grise dont j'ai déjà parlé. (Le Canal de Panama, partie IV, Projet de Mr. Bunau-Varilla).

On y énonce que ma proposition de doubler la largeur du plafond du Canal est faite « dans l'intention d'éviter la contraction du chenal ». On ajoute que « cela conduirait à une dépense extravagante et que l'on ne l'estime pas nécessaire ».

L'accroissement de largeur de 45 à 90 mètres n'aboutit pas à une dépense extravagante.

Il a été bien loin de mon esprit de supposer qu'un tel accroissement aurait pour but unique d'éviter la contraction du chenal pendant la transformation.

Je n'ai probablement pas exprimé ma conception avec assez de clarté dans ma lettre au Président. Je vais l'exprimer d'une manière différente.

Lorsque le moment viendra d'ordonner la transformation, cette décision peut être dictée par deux ordres distincts de considération.

Cela peut être dû à la pression du transit en constant accroissement. Cela peut provenir de la nécessité certaine d'avoir à manipuler sous un nombre restreint d'années (10 ou 20) un trafic d'une importance égale à celui du canal de Sault-Sainte-Marie (44 000 000 de tonnes) ou à celui passant devant Détroit (72 000 000 de tonnes).

Cela peut être dû, d'autre part, à des considérations purement morales ou militaires. Ces considérations peuvent amener à exclure tout ouvrage artificiel (excepté les écluses de marée) sans que le transit y soit pour quelque chose.

Dans la première hypothèse, il me semble inadmissible que l'amélioration qu'on recherche en supprimant les niveaux supérieurs ne soit pas accompagnée par celle non moins désirable d'un accroissement de largeur. J'ai fixé 90 mètres comme le minimum de la largeur probable qui sera adoptée.

Je me suis placé dans l'hypothèse de ce futur probable et j'ai établi que la transformation se ferait alors sans restreindre le libre usage de la largeur tenue aujourd'hui pour suffisante.

Je n'ai donc pas considéré l'accroissement du plafond comme nécessaire à l'exécution de mes plans. J'ai simplement dit que si la transformation était dictée par le développement du trafic, elle se réaliserait de cette manière.

Je ne pense donc pas qu'il soit justifié de dire que le coût résultant de la méthode que je recommande serait extravagant. Le coût ne s'applique pas à la méthode, mais au but que je suppose devoir être poursuivi : créer une voie d'eau à la fois plus large et au niveau de la mer.

Cette notion de la nécessité future d'augmenter la largeur du plafond du Canal n'est point au surplus limitée à ma personnalité.

On peut la trouver clairement exprimée dans une des brochures grises préparées pour le Consulting Board (Le Canal de Panama, partie III. Plan du canal à niveau).

En prévision de la nécessité future d'augmenter la largeur

et la profondeur du Canal, on recommande une excavation supplémentaire *immédiate* si on construit le canal à niveau. Elle consisterait à porter les bermes de 15^m,25 à 30^m,50 de chaque côté pour l'élargissement futur et cela avant toute exploitation du Canal. Cela entraîne une excavation actuellement inutile d'environ 27 000 000 de mètres cubes (36 320 000 yards cubes) entre les kilomètres 24 et 62.

Ainsi l'on propose de réaliser immédiatement au-dessus des bermes (situés à 3,05 au-dessus de l'eau) une excavation nécessaire seulement en vue d'un élargissement futur de 30^m,50. Cela, je puis le dire, correspond exactement à ma proposition. Il n'y a pas de différence appréciable entre faire dès maintenant les travaux en vue d'un élargissement futur de 30^m,50 et projeter, comme je le fais, un élargissement ultérieur de 45 mètres.

Si le coût d'un élargissement futur de 45 mètres doit être stigmatisé du mot : « extravagance », même condamnation s'applique aussi à un élargissement de 30 mètres. Les deux tiers d'une extravagance sont aussi une extravagance (1).

Si — comme l'envisage l'Isthmian Canal Commission — on devait décider d'élargir de 30^m,50 au lieu de 45 mètres le Canal, la contraction du chenal libre de navigation ne descendrait jamais au-dessous de 37^m,62. En outre, le chenal ne subirait aucune contraction jusqu'au moment où le plan d'eau sera abaissé à 7^m,50 au-dessus de la mer.

La contraction sera donc, en ce cas, limitée à une période très courte et suivie immédiatement par la jouissance d'un chenal de 75 mètres de largeur.

Les largeurs au plafond des canaux de Suez, Manchester, Amsterdam et Kiel, sont respectivement 33 à 36 m. — 36 m. — 37 m. — 22 m. On peut donc dire que la restriction à 37 mètres du chenal libre pendant une courte phase de la transformation n'empêchera ni ne gênera de façon quelconque le libre transit.

Toutefois, je continuerai à raisonner en supposant un élargissement de 45 mètres en cas d'énorme développement du trafic. Cette dimension me semble mieux justifiée que 30^m,50. La différence entre les deux élargissements ne correspond

(1) Le lecteur se souviendra que les brochures grises sont l'œuvre de l'Isthmian Canal Commission et que la partie IV, consacrée à mon projet, condamne ainsi ce que la partie III, consacrée au projet de la Commission, propose.

qu'à un cube de 13 500 000 m. c. au-dessus des bermes entre Bohio et Miraflores, soit 21 000 000 de mètres cubes environ jusqu'au fond du Canal. C'est une masse relativement secondaire si on la compare au total de l'excavation et dont l'enlèvement sera pleinement justifié par les facilités données au passage des navires.

La navigation internationale conservera un chenal indépendant
de 22,50 au moins,
si aucun accroissement de largeur n'est admis.

Dans la deuxième hypothèse que j'ai faite, si la mollesse du trafic n'exige aucun élargissement quand on mettra le Canal à niveau, la navigation conservera 22^m,50 de chenal.

La contraction ne sera pas entièrement réelle. Cela signifiera plutôt une délimitation des surfaces où dragues, remorqueurs, chalands, machines diverses ne seront pas autorisés à pénétrer. La réciproque ne sera pas vraie, et si la navigation le demande, les bateaux de service se rangeront pour laisser passer les navires en transit.

Le Canal de Suez a été élargi et approfondi avec une largeur au plafond de 22 mètres et les instruments de travail n'ont jamais arrêté les navires.

On peut donc affirmer que sans augmenter la largeur de 45 mètres la transformation peut se faire sans troubler la navigation internationale. Mais on ne saurait plus dire qu'elle se fera sans emprunter un pouce du chenal normal consacré à la navigation internationale.

Je continuerai toutefois à employer cette formule, parce qu'elle exprime en peu de mots le caractère de la méthode proposée et parce qu'elle correspond au cas le plus probable. Ce cas, c'est le doublement de la largeur au plafond sous la pression de l'accroissement de transit. C'est ce que je propose de faire.

Il ne suffit pas de dire : « *Les travaux peuvent se poursuivre sans emprunter un pouce de la largeur normale du chenal consacré à la navigation internationale.* » Il faut aussi que les travaux s'exécutent sans employer une minute du temps des écluses

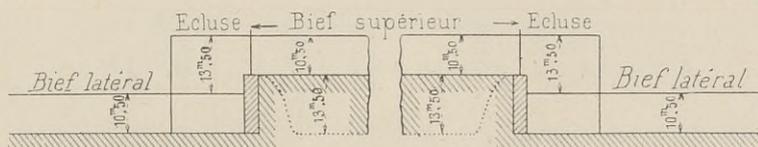
consacrées à la navigation internationale. Il faut aussi que les travaux s'exécutent sans dépenser une goutte de l'eau emmagasinée pour l'usage de la navigation internationale.

Établissons ces trois points. En le faisant, j'aurai établi que ma méthode remplit les trois conditions nécessaires et suffisantes pour effectuer la transformation sans rien faire peser sur l'activité et la liberté du transit international.

Principe basique du système de transformation.

Il consiste en une modification apportée au type usuel des écluses.

Écluse isolée. Examinons une écluse isolée. Supposons $10^m,50$ de profondeur d'eau dans le Canal et $13^m,50$ de chute aux écluses. Dans le type usuel, la porte d'amont de l'écluse a une hauteur égale à la profondeur d'eau dans le Canal. Le seuil de la porte est formé par le *mur de chute*. Ce mur a deux rôles distincts à jouer. Il forme le seuil de la porte, comme nous



TYPE USUEL

l'avons dit, et en même temps il sert de mur de soutènement pour le terrain qui forme le fond du bief supérieur.

Examinons les conditions que crée ce type usuel des écluses dans un canal à bief supérieur.

Il est bien évident que pour supprimer le bief supérieur il serait nécessaire d'abord de creuser à la drague flottante le fond jusqu'à la ligne marquée en pointillé sur la figure. Il faudrait pour cela draguer jusqu'à la profondeur anormale de 24 mètres.

Ceci fait, il serait nécessaire d'interrompre la navigation pour enlever les murs de chute, les portes et le terrain adjacent. On ne saurait, en effet, toucher aux écluses tant que la navigation se poursuit.

Ceci posé, arrivons à la solution que j'ai donnée au problème en 1887.

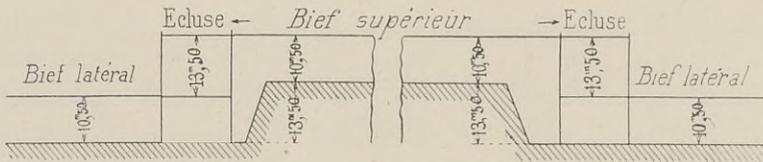
Elle consiste simplement à donner à la porte d'amont la même hauteur qu'à la porte d'aval et le même niveau de seuil.

Naturellement, le fond du bief supérieur sera excavé jusqu'au niveau du fond du bief latéral voisin sur 150 ou 200 mètres en amont de l'écluse. Il ne peut plus s'arrêter au mur de soutènement qui disparaît dans ce nouveau type.

Les écluses étant ainsi disposées, si nous draguons de 1^m,50 le fond du bief, nous ne touchons pas pendant ce travail à aucune partie vitale du Canal. Les écluses restent exactement comme elles étaient avant tout travail.

Lorsque le dragage est terminé, nous avons partout 1^m,50 de profondeur de plus qu'il n'est nécessaire dans le bief supérieur. Rien ne nous empêche alors d'abaisser le niveau de l'eau de 1^m,50.

Les navires, après cette double opération, trouveront encore les 10^m,50 d'eau dont ils ont besoin. Rien n'aura été changé sinon que le Canal aura alors son bief supérieur, 1^m,50 plus bas au-dessus de la mer qu'il n'était auparavant.



TYPE SPÉCIAL NÉCESSAIRE POUR LA TRANSFORMATION

Après neuf opérations successives du même ordre, le niveau du bief supérieur sera abaissé de 13^m,50. Les portes d'écluses étant dorénavant sans utilité peuvent être enlevées.

Le bief supérieur sera ainsi éliminé et confondu avec les deux biefs latéraux. Le nouveau bief supérieur ainsi créé sera à son tour excavé par la même méthode.

Il est bien évident que la maçonnerie des écluses ne sera dans le nouveau bief supérieur qu'une masse de roche artificielle. On procédera à son enlèvement comme on le ferait pour une masse quelconque de rocher située n'importe où dans le bief supérieur.

Bien entendu, je n'attache aucune importance à la dimension

particulière de 1^m,50. On peut répéter ce que j'ai dit avec 3 mètres ou 4^m,50 d'approfondissement.

L'avantage qui résulte pour les travaux de transformation de la suppression du mur de chute est bien évident. C'est une conséquence de ce fait qu'avec le mur disparaît un organe hybride commun au bief et à l'écluse.

Pendant toute l'excavation du bief supérieur, l'écluse doit conserver son intégrité absolue pour assurer le passage des navires.

Le mur de soutènement limitant le terrain du fond devrait être excavé comme tous les éléments formant le fond du bief. Mais si le fond du bief peut et doit être abaissé, le mur qui en fait partie ne peut l'être, car il appartient aussi à l'écluse qui doit rester intacte.

En supprimant dans la méthode proposée un organe commun à deux entités ayant des nécessités contraires, nous supprimons en même temps l'obstacle essentiel de la transformation.

C'est cet obstacle qui a amené beaucoup d'ingénieurs à maintenir qu'une telle transformation est impossible sans arrêter la navigation.

On a cru, en général, qu'il était impraticable d'abaisser le niveau du bief supérieur sans arrêter la navigation.

L'expression de cette opinion erronée a été récemment enregistrée dans un document officiel signé par l'ingénieur en chef du Canal de Panama, Mr. John F. Wallace, qui, dans son rapport du 1^{er} février 1905, adressé au contre-amiral John Walker, disait :

« Il est évident que la construction d'un barrage à Bohio et
« la création d'un lac artificiel introduira un élément dans le
« problème qui rendrait tout abaissement futur du bief supérieur
« impraticable, considérant le temps et la dépense et la possi-
« bilité de voir, durant cette opération, le Canal fermé au tran-
« sit pendant nombre d'années.

Quand le lac de Bohio aura été confondu avec le bief supérieur, il ne sera qu'une partie élargie de ce bief supérieur.

En même temps que le bief supérieur auquel appartient le lac de Bohio sera baissé, l'étendue du lac de Bohio diminuera avec son niveau.

La présence d'un élargissement dans un bief quelconque ne peut être considérée comme apportant l'ombre d'une difficulté dans le problème.

Le barrage de Bohio, d'autre part, n'aura pas à être enlevé quand le Canal sera mis au niveau de la mer (malgré ce qui est dit à la page 224 de la brochure grise dont j'ai parlé).

Le Canal une fois à niveau recevra les eaux du haut Chagres, domestiquées et nettoyées par le lac de Gamboa. Les affluents du Chagres couleront dans le Canal lui-même, entre Gamboa et Bohio. Aucun affluent ne sera reçu au-dessous de Bohio dans le Canal (1).

Une fois le Canal transformé en une voie au niveau de la mer, la puissance d'absorption des crues pour le lac de Gamboa sera augmentée. Il n'y aura plus alors de réserves à faire pour l'alimentation du bief supérieur en saison sèche. Le volume consacré à l'emmagasinement de saison sèche se joindra à celui réservé à l'absorption des crues. Dans ces conditions, on peut dire que le lac absorbera, pendant les crues exceptionnelles, toutes les eaux venant de la haute vallée du Chagres. Cela ne dépassera pas la capacité d'absorption, même si ces crues étaient plus violentes et plus longues que celle de 1879 (quatre fois plus).

Débarrassé des crues du haut Chagres, le Canal avec les dimensions élargies (90 mètres au plafond) peut recevoir en temps de grandes chutes d'eau les affluents du Chagres entre Gamboa et Bohio. Le débit de ces rivières dans la crue hypothétique de 1879 aurait donné jusqu'à 1 000 mètres cubes par seconde. Un tel débit ne donnerait que deux nœuds de courant avec les dimensions élargies. Mais, en réalité, les crues mesurées n'ont jamais donné plus de 600 mètres cubes. On peut donc compter tout au plus sur 800 mètres cubes.

Au-dessous de Bohio, les déviations déjà faites sur les deux côtés du Canal continueront à porter à la mer les affluents du Chagres sans qu'ils aient accès au Canal. La seule différence avec l'état antérieur sera que la dérivation du côté nord améri-

(1) C'est ce programme de l'aménagement du Chagres que j'ai, pour la première fois, présenté en 1905 et que s'est intégralement appropriée la majorité du Consulting Board. Semblable en cela de la minorité, elle a entièrement négligé de mentionner l'origine de cette importante et toute nouvelle solution du Chagres.

cain ne recevra plus d'eau venant de l'amont de Bohio. Elle sera donc très supérieure aux besoins des plus grandes crues des affluents dont le plus considérable est le Rio Trinidad. La dérivation, côté sud américain, ne recevra pas de rivières importantes avant le Gatuncillo, qui tombe en face du k. 10 du Canal. A une aussi petite distance de la mer, on peut faire une dérivation qui emmène les crues du Gatuncillo sans que l'élévation du niveau à Gatun atteigne jamais un mètre.

On voit, par cette courte revue, que les chenaux d'écoulement des rivières à l'aval de Bohio seront plus qu'amples pour leur service. Aucun déversement au-dessus du terrain naturel dans le Canal ne sera plus jamais possible.

Après que la grande crue sera passée, le réservoir de Gamboa écoulera l'eau retenue à raison de 1 000 mètres cubes par seconde, c'est-à-dire sans déterminer un courant atteignant deux nœuds.

Comme aucune déviation ne sera nécessaire entre Gamboa et l'aval de Bohio, le barrage de Bohio restera là. Ce sera le témoin muet d'une période disparue, mais on n'aura pas à l'enlever.

La seule objection à cette disposition pourrait être les apports des affluents tombant directement dans le Canal entre Gamboa et Bohio. Quelques travaux faciles pourraient éliminer ces apports. (Petits barrages successifs diminuant la pente des eaux, comme ceux faits pour l'extinction des torrents. Bassins de dépôts où débouchent des rivières, etc.) Si, contre toute attente, ces apports étaient considérables, on devrait se résoudre à prolonger à l'amont de Bohio les déviations de l'aval et écouler directement en mer ces rivières.

Écluses en échelle.

Voyons ce qu'il faut faire avec les écluses si, au lieu d'être isolées, elles sont disposées en échelle de deux écluses, ce qui correspond à mon projet.

Pour l'écluse supérieure, il n'y a pas de difficulté. Elle sera traitée comme si elle était isolée.

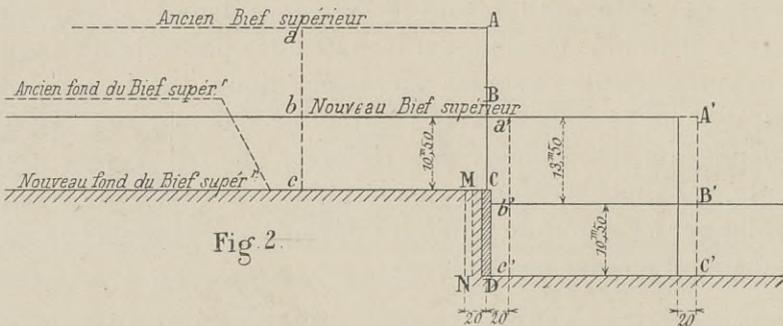
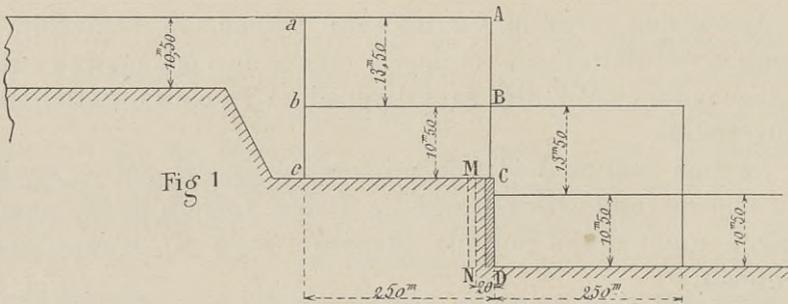
La difficulté commence lorsque l'écluse d'amont est enlevée, car l'écluse d'aval se présente comme une écluse isolée du type usuel. La porte d'aval de l'écluse d'amont devient la porte

d'amont de l'écluse d'aval et son seuil est sur un mur limitant le fond de l'écluse d'amont.

Considérons une échelle de deux écluses ayant la même chute de $13^m,50$ que nous avons déjà envisagée et supposons-la placée à l'extrémité du bief central.

Les deux croquis ci-dessous représentent : le premier, l'échelle d'écluses avant l'enlèvement de l'écluse d'amont et, le deuxième, ce qui reste après que le niveau du bief supérieur a été baissé de $13^m,50$.

Le principe que nous avons exposé nous mènera à la solu-



tion. Il nous faut libérer les organes du bief et les organes de l'écluse.

Une première solution semblable à celle que nous avons décrite s'offre *a priori*.

Au lieu de construire la porte d'aval de l'écluse d'amont de A à C, faisons une porte s'étendant de A à D. Limitons le fond de l'écluse d'amont par un mur placé en MN au lieu de CD (la distance de MN à CD étant de 20 mètres environ). Nous aurons

de la sorte reproduit les conditions ci-dessus décrites pour une écluse isolée.

Lorsque l'écluse d'amont aura été rasée, le fond formera l'extrémité du bief supérieur nouveau. Cette extrémité sera libérée de la porte d'amont de l'écluse d'aval et distante d'une vingtaine de mètres de cette porte. On pourra, dès lors, creuser le fond et baisser le niveau sans affecter le moins du monde le fonctionnement de l'écluse.

Quelques précautions devront être prises pour empêcher, pendant l'excavation, les pierres de tomber près de la porte. Il est inutile d'insister sur ces détails, tout ingénieur conçoit les précautions nécessaires pour enlever la maçonnerie non avec des dragues, mais avec des caissons mobiles à air comprimé ou des plongeurs (1).

Il est suffisant de maintenir une distance de 20 mètres pour prévenir la chute accidentelle de pierres près de la porte.

Cette solution a le grand inconvénient d'exiger l'établissement d'une porte de dimensions extraordinaires $13^m,50 + 13^m,50 + 10^m,50 = 37^m,50$. Aussi nous ne la mentionnons que pour suivre la trace du principe.

Une solution beaucoup meilleure peut s'obtenir en prolongeant l'écluse inférieure de 20 mètres.

Cela nous met en mesure de préparer toute la maçonnerie pour l'installation de deux portes respectivement à 20 mètres en avant des portes de l'écluse inférieure.

Après la suppression de l'écluse d'amont, nous plaçons en

(1) La capacité de travail d'une écluse isolée est près du double de celle d'une écluse appartenant à une échelle de deux écluses ou plus (Voir mon livre « *Panama* », le Passé, le Présent, l'Avenir, 1892). Lorsque l'écluse supérieure cesse d'être utile, une des deux écluses jumelles qui restent laissera passer presque autant de navires en transit que les deux écluses le faisaient auparavant.

On pourra donc condamner provisoirement l'une d'elles et enlever les maçonneries de l'écluse d'amont qui lui correspond.

On peut aussi ne condamner aucune des deux écluses jumelles pendant l'enlèvement des maçonneries de l'écluse d'amont. Pour cela, on commencera par enlever par caissons à l'air comprimé la maçonnerie des murs. Cela ne troublera pas le passage des navires. Quand cela sera fait, on attaquera le fond d'une des écluses d'amont par des caissons à air comprimé dont les cheminées seront placées dans l'espace autrefois occupé par les murs. La hauteur des caissons étant de 3 mètres, au début les navires ayant moins de 7 mètres de tirant d'eau, c'est-à-dire la presque totalité des navires pourront encore passer par-dessus les caissons. On devra donc se borner à faire passer par l'autre écluse les navires de dimensions exceptionnelles. Et cette légère restriction de la liberté de passage ne durera que le temps nécessaire à l'enlèvement d'une couche de 3 mètres de fond de l'écluse. Après cela, l'excavation continuera sans aucune modification aux conditions normales de transit; les navires passeront au-dessus des caissons pendant l'excavation du fond et auront toujours leur tirant d'eau normal.

$a'b'c'$ l'ancienne porte d'amont abc . Cette porte étant placée, la porte ABC devient superflue, est enlevée et remise en $A'B'C'$. Cette nouvelle porte étant en place, la porte d'aval de l'écluse devient sans utilité et est enlevée.

Les nouvelles portes $a'b'c'$ et $A'B'C'$ mises en place, l'écluse inférieure devient entièrement indépendante du fond de l'écluse supérieure et son extrémité, qui est le mur CD, reste à une distance d'une vingtaine de mètres de la porte d'amont.

Ce mur, comme le reste du bief, peut donc être excavé, comme je l'ai expliqué plus haut, en prenant les précautions voulues.

Tout cet arrangement est parfaitement simple, parfaitement faisable. Il ne demande pas la création de portes anormales. Il se limite dans la construction de l'écluse d'aval à prolonger les murs de 20 mètres et à ménager les emplacements où se mettront les portes.

CONDITIONS ESSENTIELLES DE LA TRANSFORMATION

J'ai ainsi établi le principe basique qui permet la transformation d'un canal à écluses en canal à niveau sans interrompre la navigation. J'ai maintenant à démontrer que la méthode que je propose laisse absolument intacte les trois éléments essentiels de cette navigation :

- 1° La largeur du canal;
- 2° Les écluses de la navigation internationale;
- 3° L'eau emmagasinée pour alimenter le bief central.

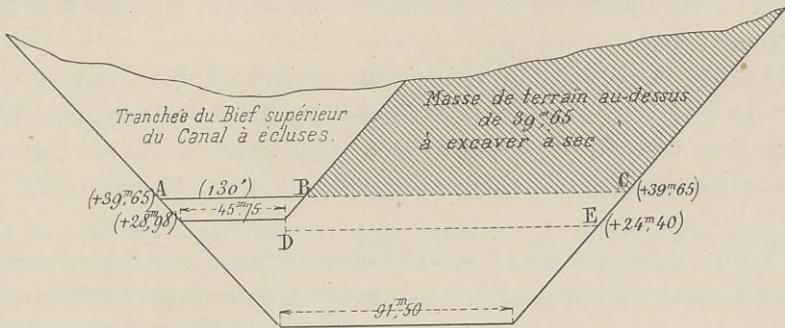
*Pas un pouce du chenal
consacré à la navigation internationale ne sera employé
pour les travaux de transformation.*

Nous établirons cette première proposition en admettant que la largeur du canal à niveau soit fixée à 90 mètres au lieu de 45 adoptée pour le premier canal à écluses.

J'ai expliqué déjà que si l'augmentation de largeur est de 30 mètres au lieu de 45, on devra comprendre comme suit la proposition : le chenal de navigation ne souffrira pas de contraction tant que le niveau du bief central sera supérieur à l'altitude

de 7^m,50 au-dessus de la mer. Il sera graduellement contracté de 45 mètres à 37^m,50 quand on passera de cette altitude à ce niveau de la mer. Si aucune augmentation de largeur n'est admise, il y aura contraction graduelle du chenal de 45 mètres de largeur à 22^m,50 jusqu'au niveau de la mer.

La démonstration que je vais donner peut se répéter avec toutes les largeurs au plafond, pour le canal à niveau, comprises entre 45 et 90 mètres. Il y aura toujours contraction. Si la



largeur est 90 mètres ou au delà, il n'y aura pas contraction du chenal.

L'excavation à réaliser pendant l'exécution du canal à niveau comprendra naturellement le terrain au-dessus du niveau 39,65 et le terrain au-dessous.

Personne ne peut voir une différence raisonnable entre les conditions actuellement existantes et celles qui existeraient alors.

Les mêmes excavateurs emploieraient les mêmes voies, les mêmes locomotives traîneraient aux décharges les mêmes trains.

Rien ne serait changé si ce n'est qu'il faudrait un peu de prudence dans l'allumage des mines pour éviter de gêner la navigation. J'ai montré dans ma lettre au Président que même l'énorme transit de 35 000 000 de tonnes ne donnerait pas plus d'un passage de navire toutes les deux heures, dans chaque sens.

La limitation des heures d'explosions due à ces rares passages est donc sans importance et ne peut avoir aucune influence sur la rapidité et le prix de l'excavation.

Cette partie très importante de l'excavation totale (au-dessus de 39^m,65) peut donc être exécutée dans les mêmes conditions qu'on veut le faire aujourd'hui. Elle peut même l'être dans des conditions bien meilleures si l'art de l'ingénieur réalise (et nous verrons plus tard qu'il peut le faire) un progrès marqué sur les méthodes actuellement connues et sur lesquelles toute la présente théorie est basée.

Considérons maintenant le terrain au-dessous du niveau 39^m,65.

Ce terrain sera excavé par pilonnage ou par minage, puis par dragage.

La masse de terrain au-dessus de 39^m,65 étant enlevée, le terrain inférieur peut être attaqué jusqu'au niveau 24^m,40. Une première tranche de terrain sera ainsi enlevée sur le côté du chenal de navigation, entre l'altitude 24^m,40 et l'altitude 39^m,65 de B à C.

Pour empêcher tout contact entre aucun des instruments de travail, dragues, appareils à miner ou à briser les roches, chalands, remorqueurs, etc., un premier chenal sera ouvert entre B et C. Il aura la largeur suffisante pour la circulation des appareils flottants et pourra donner accès aux dragues. Un tel chenal peut être ouvert par des dragues, amenées le long de B ou par des excavateurs établis sur B C et enlevant le terrain au-dessous de leurs rails.

En tous cas, ni pour l'installation des dragues, ni pour la circulation des chalands, il ne sera permis d'employer le chenal de A à B. Il sera, depuis le premier jour jusqu'au dernier de la période dont nous parlons, réservé à la circulation interocéanique.

Il est donc évident que pendant tous ces travaux il n'y aura aucun contact quelconque entre les appareils de minage et de dragage et le chenal de navigation.

Quand ce nouveau chenal de 15^m,25 de profondeur aura été ouvert, nous dévierons la navigation dans une de ses parties. Les navires abandonneront le vieux chenal qui sera à son tour miné ou pilonné, puis dragué jusqu'au niveau de 24^m,40.

A ce moment, la section tout entière de A jusqu'à C aura une profondeur de 15^m,25. L'eau pourra être abaissée de 4^m,58 et le chenal de navigation sera reporté de nouveau à gauche.

Le terrain sera de nouveau rendu libre sur la droite, sera miné ou pilonné, puis dragué et approfondi à nouveau de 4^m,58. Le chenal de navigation sera de nouveau déplacé, son site approfondi, et ainsi de suite.

Je pense que cette démonstration suffit à exclure toute objection. La méthode que je propose satisfait, théoriquement et pratiquement, de manière rigoureuse, à la première des conditions à remplir. Ainsi l'on peut dire que *pas un pouce de la largeur normale du chenal de navigation ne sera emprunté pour les travaux.*

Les deux autres conditions sont remplies en même temps par un moyen simple de se débarrasser des déblais. Nous les examinerons donc tous les deux à la fois.

Pas une minute du temps des écluses de navigation internationale, pas une goutte de l'eau emmagasinée pour la navigation internationale ne seront employées par les travaux de la transformation.

Le problème de pilonner ou de miner, puis de draguer le terrain sans toucher au chenal de navigation peut être résolu, ainsi que nous l'avons vu, de parfaite manière. L'autre et non moins important problème du transport et de la décharge des matières extraites peut recevoir une solution également irréprochable.

Le lac formé par le barrage de Gamboa aura une surface de 112 090 000 mètres carrés à l'altitude de 61 mètres au-dessus de la mer. Il aura une surface de 79 730 000 mètres carrés à l'altitude de 51^m,85. Il pourrait contenir bien des fois la quantité de terrain à draguer pendant la transformation du canal à bief élevé en canal à niveau.

Les quantités de terrain à draguer entre les écluses d'Obispo et de Paraiso pour la transformation seront les suivantes : 53 500 000 mètres cubes si la largeur de 45 mètres est maintenue et 84 000 000 de mètres cubes si elle est portée à 90 mètres. Ces chiffres sont obtenus en admettant des parois continues à 45 % à partir du fond du canal supposé de 10^m,67 de profondeur. La masse de 53 500 000 mètres cubes, si elle était distribuée sur une surface égale à celle du lac, à l'altitude de 40^m,26

(38 570 000 m. q.) aurait 1^m,50 de hauteur seulement. Une masse de 84 millions occuperait un peu plus de 2 mètres. On peut comprendre combien d'espace, ce lac profond de 45 mètres près du barrage, offrira pour la réception des déblais.

Le lac de Gamboa, qui est déjà un régulateur de crues et un magasin d'eau, devra jouer un troisième rôle des plus importants : il recevra tous les déblais de la grande tranchée.

La solution que je propose pour se débarrasser des terrains dragués est de les jeter dans le lac de Gamboa.

Cette solution peut être aisément réalisée en reliant les eaux du lac à celles du bief central par une double échelle de cinq écluses.

Les déblais extraits par les dragues seraient déversés dans des chalands. Une fois chargés, ils se dirigeraient vers l'échelle d'écluses du lac de Gamboa en cheminant le long du bief central en dehors du chenal de navigation. Après avoir gravi l'échelle d'écluses, ils entreraient dans le lac de Gamboa et s'y déchargeraient en ouvrant leurs portes de fond.

Ceci serait la plus idéale méthode d'excavation, la plus simple, la seule ne nécessitant aucunement l'intervention de la main d'homme. L'exécution entière serait assurée par des méthodes puissantes et entièrement mécaniques.

L'extrême simplicité de la solution en même temps que la puissance de ses éléments se montre dans l'exemple suivant. Huit dragues travaillant dans le bief supérieur long de 11 kilomètres enlèveraient en sept années les 84 000 000 de mètres cubes correspondant au passage à niveau large de 90 mètres. En moins de cinq ans, elles déblaieraient les 53 500 000 mètres cubes correspondant à la largeur de 45 mètres.

Le calcul de la durée de la transformation est entourée des plus sérieuses garanties.

Le type de drague sur lequel ces calculs sont établis est celui auquel j'ai fait allusion quand j'ai parlé du barrage de Bohio. C'est une drague ayant des godets de 800 litres, une capacité théorique d'excavation de 15 000 mètres cubes et un rendement pratique de 5 000 mètres cubes mesurés sur profils.

Le rendement de huit de ces dragues serait de 40 000 mètres cubes par jour. Trois chalands contenant 600 mètres cubes et plus passeraient chaque heure dans l'échelle d'écluses. Celle-ci pouvant prendre quatre chalands à la fois resterait bien au-dessous de son rendement normal (1).

Avec cette solution, le transport et la décharge peuvent s'obtenir sans quitter le bief central autrement que pour passer dans le lac de Gamboa par l'échelle d'écluses.

Les écluses de navigation internationale resteront de cette façon entièrement libres de tout service afférent à l'excavation du Canal. Comme le chenal de navigation lui-même, elles resteront complètement indépendantes des travaux.

L'eau nécessaire à élever les chalands dans le lac et à les retourner vides dans le bief supérieur ne formera qu'une partie du flux qu'il sera nécessaire d'y envoyer pour l'alimenter. En fait, ce n'est pas l'eau emmagasinée dans le lac qui sera employée pour élever les chalands, ce sera son pouvoir mécanique.

Les écluses, le chenal et l'eau consacrés à la navigation internationale resteront entièrement indépendants des travaux de transformation.

La transformation en cinq années avec une largeur au plafond conservée, ou en sept années (si elle est doublée), ne se réaliserait que si l'excavation préalable au-dessus de 39^m,65 est terminée entièrement au début de la période de dragages.

Il paraît logique d'admettre que cette excavation sera ordonnée avant que la transformation en canal à niveau soit décidée et que le terrain sera libre à ce moment. Il en sera ainsi, à moins qu'on ne veuille élargir énormément la voie à niveau, comme cela sera développé plus loin. En ce cas, le transport aux décharges du terrain au-dessus de la cote 39^m,65 sera réalisé par des chalands allant au lac de Gamboa.

Une méthode rapide et économique d'excaver le terrain au-dessus de la cote 39^m,65 consisterait à décharger le terrain dans

(1) Sur un canal de grande navigation, comme le Sault-Sainte-Marie Canal, on compte un intervalle de 40 minutes entre deux navires successifs, mais le calcul est fait pour de grands navires qui doivent se mouvoir très lentement; avec des chalands, une moyenne de 30 minutes d'intervalle paraît largement suffisante. On pourra vraisemblablement abaisser à 20 minutes la durée du passage d'une écluse.

le chenal B C partiellement ouvert, puis de le draguer et de l'évacuer avec des chalands.

La précipitation dans le chenal pourrait se faire avec des appareils Brown de levage et de transport, ou dispositifs analogues.

On doit se rappeler aussi que l'excavation entre Bohio et Obispo sur le versant Atlantique, et entre Paraiso et Miraflores sur le versant Pacifique, devra être poursuivie dès que le niveau sera abaissé dans le massif central jusqu'au niveau du lac de Bohio.

Cela conduit simplement à une addition de dragues dans ces deux sections. Les écluses du lac auront toujours une puissance de transport en réserve beaucoup plus grande qu'il n'en faut pour faire du délai de sept ans une réalité.

Dimensions, site et coût des écluses unissant le lac de Gamboa au bief supérieur

Il me reste à montrer comment les écluses permettant de monter du bief central au lac de Gamboa seront établies, quelles seront leur disposition, leur site et leur coût.

Il y aura deux échelles d'écluses : l'une pour monter, l'autre pour descendre.

Chaque écluse aura 12^m,20 de chute, une longueur utile de 135 mètres, une largeur utile de 25 mètres et une profondeur d'eau de 4^m,50 (1).

Elles pourront enlever en une fois quatre chalands de 60 mètres de long, 12 mètres de large et tirant 4^m,20 en charge. Des chalands de ce type peuvent charger aisément 550 mètres cubes mesurés dans l'excavation. Chaque éclusée élèvera donc 2 200 mètres cubes.

Comme on peut admettre que chaque éclusée durera au plus 45 minutes, le débit sera de 3 000 mètres cubes par heure, soit 72 000 mètres cubes par 24 heures. Cela correspond à une produc-

(1) Naturellement, ces dimensions ne sont données que pour fixer les idées. Elles répondent à l'éclusage de quatre chalands portant 550 mètres cubes. Ces dimensions doivent varier si l'on veut prendre des chalands portant plus de terre à la fois. Leur tirant d'eau étant supérieur, la profondeur des écluses doit s'en ressentir.

tion annuelle de 22 000 000 de mètres cubes, environ. Un tel débit permettrait d'enlever en un peu moins de quatre ans dans le massif central tout le cube au-dessous de l'altitude 39^m,65, même si l'on portait à 90 mètres la largeur finale du plafond de 45 mètres (cube évalué pour fixer les idées, avec un profil sans banquette ayant des talus latéraux à 45° et une profondeur d'eau de 10^m,67).

Pour réaliser cette production, il suffira de 16 dragues réparties sur les 11 kilomètres du bief supérieur.

Les éclusages ne prendront pas une demi-heure (environ 20 minutes). Il y a donc une ample marge de sécurité en supposant 45 minutes.

Cela couvre, beaucoup plus qu'il n'est nécessaire, l'éventualité du temps perdu par un accident aux écluses. Un tel accident n'aurait pas de portée sur l'exploitation du Canal. Il paralyserait l'excavation naturellement, mais le coût d'une interruption est insignifiant eu égard au nombre d'hommes employés. La probabilité d'un semblable retard peut être déduite de l'expérience des grands canaux à écluses. Elle est insignifiante si on la compare à la marge de sécurité que nous avons pour la couvrir.

Cet extraordinaire développement de puissance productive n'a rien de commun avec celui qui résulterait du développement d'un vaste système d'excavateurs, de voies ferrées, trains et décharges. Le défaut de ces vastes combinaisons, c'est qu'elles exigent une grande quantité de coopérateurs énergiques et habiles pour aboutir au succès. C'est ce qui a toujours manqué et manquera toujours dans l'Isthme. En dehors de cela, dans des chantiers à sec, chaque instrument dépend de l'instrument voisin. Un déraillement, un éboulement paralysera une série de trains et laissera inertes pendant de longues heures 10 ou 15 excavateurs.

Supériorité extraordinaire de l'excavation sur l'eau comparée à l'excavation sur rails.

Sur l'eau, chaque instrument est parfaitement indépendant de tous les autres. Un accident, s'il survient à l'un d'eux, n'en affecte pas dix ou quinze. D'autre part, un accident sur l'eau est quelque chose d'exceptionnel. Sur rails, c'est la règle normale

à raison des conditions des voies sur lesquelles les travaux s'exécutent.

Sur l'eau n'existe pas la terrible difficulté de manœuvrer un grand nombre de trains lourds sur des voies qui traînent après elles les incurables tares qui suivent : 1° Elles ne peuvent être ballastées ; 2° elles ont à être ripées tous les jours sur quelque section au fur et à mesure du progrès des excavateurs ; 3° elles ne peuvent être assainies à cause du caractère provisoire de leur assiette, et cela dans un pays de pluies diluviennes pendant les trois quarts de l'année ; 4° elles ne peuvent être garnies de rails très lourds comme l'exigerait leur solidité à cause du manque de force des travailleurs noirs.

Ces détestables conditions de trafic s'imposent sur de longs espaces et dans des tranchées envahies par l'eau dès que le niveau du thalweg des vallées est atteint.

Sur l'eau, la production croît en proportion directe du nombre d'éléments mis en action. A sec, le produit est loin d'être proportionnel. L'efficacité individuelle de chaque élément décroît rapidement avec le nombre des éléments associés ensemble, à raison de la répercussion lointaine des accidents survenus en un point. Cela est si vrai qu'à la Culebra j'ai été conduit moi-même autrefois à réduire le nombre d'excavateurs d'un chantier déterminé pour augmenter son rendement total.

Bonnes fondations assurées pour les écluses de Gamboa.

L'emplacement des écluses est facile à trouver près du Cerro Corrozita, où seront placées les écluses du bief de partage sur le versant Atlantique. Elles ne seront pas à plus d'un demi-kilomètre des eaux du lac de Gamboa. Il a été dit dans la brochure grise (Canal de Panama, partie IV, Projet de Mr. Bunau-Varilla) que de bonnes fondations pourraient ne pas se rencontrer pour les écluses du lac de Gamboa.

Il n'y a rien de la sorte à craindre. L'Isthme autour du coude du Chagres à Gamboa est la partie la plus dure de la formation isthmienne tout entière. Tout y est roche ou argile rocheuse du caractère le plus solide.

Il n'y a donc aucun risque de ne pas trouver l'emplacement convenable le long de l'une des collines reliées avec le Cerro Corrozita vers le k. 46.

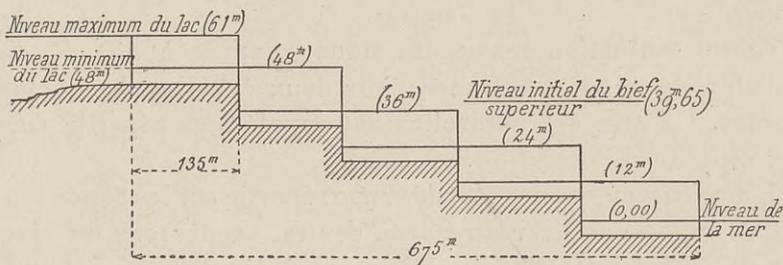
**Comment on peut éviter la difficulté
de construire les écluses basses de l'échelle de Gamboa
lorsque le bief supérieur sera abaissé.**

Une question a aussi été soulevée, celle de la possibilité de construire les écluses basses de l'échelle de Gamboa lorsque le niveau du bief sera graduellement déprimé.

Il n'y aurait jamais aucune difficulté technique à faire ces écluses. On peut employer soit la méthode des batardeaux et des épaissements, soit celle des caissons à air comprimé, mais cela paralyserait longtemps l'exploitation de l'écluse supérieure.

Pour des raisons d'économie et de rapidité, il faut donc éviter de construire les écluses basses pendant la transformation.

Il est nécessaire d'inclure la construction de trois écluses



inférieures dans le programme des travaux à réaliser tout de suite.

Elles seront ainsi construites immédiatement dans des conditions faciles et tout sera en place, sauf les portes, pour le jour de la mise en service.

On peut négliger temporairement les deux écluses supérieures que l'on construira lorsque la transformation sera décidée.

L'écluse supérieure de l'échelle aura du côté du lac un niveau variable entre 61 mètres et 48 mètres d'altitude, c'est-à-dire entre les niveaux maximum et minimum du lac (min. théorique 48^m,80).

Le niveau minimum du lac correspondra à la suppression momentanée comme écluse de la dernière écluse.

Elle se trouvera alors transformée en simple couloir laissant passer les chalands sans changer leur niveau de flottaison.

On voit donc qu'il n'y aura aucun inconvénient aux variations de niveau du lac pour le passage continu des chalands entre le lac de Gamboa, et *vice versa*.

**Le coût des écluses du lac de Gamboa ne dépassera pas
75 000 000 francs.**

Nous pouvons estimer l'extrême limite de la dépense afférente aux écluses de Gamboa en les comparant aux écluses prévues par le Comité Technique pour le Canal de Panama. Elles ont à peu près la moitié de leur longueur, le tirant d'eau minimum est aussi moitié moindre, la chute est plus grande d'un tiers, la largeur est la même à peu près. On peut dire que dans ces conditions c'est une évaluation exagérée que de prendre les chiffres du Comité Technique comme ceux représentant le coût probable des écluses de Gamboa.

Cette évaluation maximum nous conduit à une dépense probable de 75 000 000 francs pour deux échelles de 5 écluses simples. Ce prix est naturellement appelé à se répartir sur le prix unitaire d'excavation.

L'amortissement de cette dépense répartie sur les 84 000 000 de mètres cubes à excaver du massif central au-dessous du niveau (39^m, 65) affecterait chaque mètre cube de 0 fr. 89. Même si le cube devant passer par les échelles était restreint à cela, cette dépense serait largement justifiée par la simplicité et la puissance de la méthode dont elle est un élément. Mais, naturellement, la dépense sera répartie sur un chiffre beaucoup plus grand de mètres cubes, car le cube à extraire en dehors du massif central y passera, pour la plus grande partie tout au moins.

J'ai ainsi établi que le système de transformation satisfait rigoureusement aux conditions imposées. *Il respecte entièrement la largeur du chenal de la navigation internationale, l'activité des écluses de la navigation internationale, enfin l'eau emmagasinée pour assurer la navigation internationale.*

Il me reste à parler de la nature des travaux d'excavation qui doivent être exécutés par dragage.

Substitution du dragage à l'excavation à sec pendant la période de transformation.

En dehors des raisons qui justifient son emploi, on pourrait demander si la méthode de dragage proposée est intrinsèquement meilleure ou plus mauvaise que l'excavation à sec.

En d'autres termes, les avantages de la transformation sont-ils achetés au prix de dépenses ou de difficultés inhérentes à la méthode d'excavation qu'entraîne la transformation elle-même.

Raisons principales pour lesquelles la méthode d'excavation sur l'eau est si supérieure dans l'Isthme à la méthode à sec.

Dans toutes les contrées du monde, le dragage est incomparablement supérieur à l'excavation à sec quand le terrain ne demande pas de minage. Dans l'Isthme de Panama, cet avantage est transformé en une énorme supériorité. S'il y a un instrument de travail qui contrebalance autant qu'il est physiquement possible toutes les mauvaises influences de l'Isthme, c'est la drague. Il les contrebalance : 1° Parce que c'est le seul instrument d'excavation où l'homme blanc peut travailler sans dépense d'énergie physique. Il peut y travailler pour ainsi dire assis, protégé du soleil et de la pluie ; — 2° parce que l'homme de couleur reste sous un contrôle constant, attaché à des travaux toujours les mêmes et sous l'œil du surveillant ; — 3° parce que c'est l'instrument le moins exposé à souffrir d'une erreur ou d'un accident. Si un petit éboulement survient, il se retire et ne reste pas enterré comme un excavateur ou une pelle à vapeur. Si l'attaque du terrain montre qu'il est trop dur, il s'arrête simplement au lieu de s'exposer à perdre son équilibre. Il ne déraile pas, il est indépendant des autres organes du travail. Son débit n'est pas affecté par des accidents survenus aux wagons, locomotives ou voies ferrées qui desservent les instruments d'excavation à sec.

Il n'est pas arrêté par les pluies tropicales, ni par l'irruption de l'eau dans les tranchées ouvertes au-dessous des thalwegs des rivières.

Le dragage du rocher fut préféré à son excavation à sec pendant la période de l'ancienne Compagnie de Panama, et cela avec des dragues bien moins puissantes que celles en usage maintenant.

Quiconque a travaillé dans l'Isthme avec les deux systèmes ne peut manquer d'avoir été frappé de l'énorme supériorité de la drague. Elle est si apparente, si évidente que je n'hésitai pas à Culebra, aussitôt que les conditions devinrent compatibles avec la drague, de l'appliquer en substitution de l'excavation à sec. Et le travail se faisait dans une argile à consistance rocheuse, exigeant le travail des explosifs pour être excavée mécaniquement.

La suspension des dragages à Culebra; une erreur fatale de la nouvelle Compagnie du Canal de Panama (1).

Malheureusement les chantiers de dragages venaient justement de s'organiser à la Culebra quand survint la chute de l'ancienne Compagnie.

Bien qu'il n'y ait eu que quelques mois (peut-être deux) d'activité, le résultat confirma mon attente et remplit mes espérances.

Malheureusement pour le Canal, l'inévitable et aveugle réaction qui suit de tels désastres fit douter des plus clairs résultats obtenus.

Je considère que cela a été, entre autres erreurs, une des plus fatales de la nouvelle Compagnie du Canal de Panama de ne pas avoir persévéré dans la même ligne d'efforts :

Ce qu'elle a fait à Culebra eût pu être fait infiniment meilleur marché et infiniment plus vite. Il suffisait pour cela de suivre ma dernière méthode d'attaque de la Culebra et non pas ma première, la méthode à sec. Celle-ci était indispensable pour la partie haute, mais elle ne l'était plus à l'altitude où j'ai laissé la tranchée.

Depuis ce temps, on n'a plus dragué dans l'Isthme et la vérité, un instant dégagée, ne l'a pas été depuis.

Le même mode d'excavation par drague, de préférence à l'excavation à sec du rocher, a été suivi par un entrepreneur

(1) Il serait peut-être injuste d'attribuer toute cette erreur aux ingénieurs de la Compagnie nouvelle. Lorsqu'elle se forma, en 1894, elle trouva les chantiers de dragage que j'avais installés déjà détruits par les ingénieurs de la Liquidation. Elle eut, certes, le tort de ne pas les rétablir, mais elle ne les a pas détruits.

pour l'excavation des collines du Mindi, près de Colon. Alors qu'à la Culebra de légères explosions suffisaient à ébranler de larges masses de terrain; les grès du Mindi, quoique n'étant pas exceptionnellement durs, exigeaient un minage autrement sérieux. Cet abandon de l'excavation du rocher à sec se fit dans des conditions singulièrement démonstratives.

Les excavations à sec du Canal au-dessous du niveau de la mer avaient été complètement organisées à sec quand l'entrepreneur Jacob signa son contrat et prit charge des chantiers. Il n'hésita pas à enlever rails et wagons et à attaquer le rocher à la drague après minage sous l'eau. Il suivit la méthode que j'avais inventée et mise en expérience en 1885 sur les premiers kilomètres du Canal. Grâce à cette méthode, j'excavai le grès de Monkey Hill économiquement sous 2 mètres d'eau. L'entrepreneur Jacob poursuivit, par ma méthode, l'excavation du rocher sous l'eau jusqu'au plafond du Canal. Il ne se repentit pas d'avoir abandonné le travail à sec et d'avoir attaqué le rocher à la drague sous l'eau.

J'ai décrit cette méthode dans mon livre de 1892. Pour l'information des membres du Board of Consulting Engineers, j'ai télégraphié à Paris d'envoyer ce livre à ceux des membres qui ne l'ont pas déjà reçu. Je n'en ai plus que quelques exemplaires, mais je pense ne pouvoir mieux faire que de les offrir aux éminents ingénieurs qui étudient cette grave question. J'espère, Messieurs, que vous recevrez ce livre avant votre départ pour l'Isthme.

Ainsi fut adopté le dragage dans deux cas où le terrain n'était pas meuble et où il exigeait une dislocation par minage préalable. C'était à un moment où l'on recherchait la vitesse et l'économie. Ce sont là des exemples qui crient la supériorité du système de dragage. On a appliqué le dragage avec succès à des conditions qu'on aurait cru devoir *a priori* exclure l'emploi économique des méthodes hydrauliques, c'est-à-dire à l'excavation de la roche.

Pourquoi le dragage, parfois, n'a pas réussi dans l'Isthme.

Quand le dragage a été un insuccès dans l'Isthme, ce n'a jamais été la faute de la drague. Cela a toujours été dû à l'incapacité où l'on a été de se débarrasser des déblais après leur

extraction et de découvrir les machines appropriées pour cela.

La question de l'évacuation des déblais est toujours une question plus importante que l'excavation proprement dite. Lorsqu'ils sont chargés en chalands, un moyen simple, puissant, pratique de s'en débarrasser, tel que celui que je propose, est l'élément essentiel du succès.

On peut, certes, dire que l'excavation par dragage est toujours et partout supérieure à l'excavation à sec pour les terrains meubles, et cela au triple point de vue du rendement, de l'économie et de la sécurité. Peut-on avancer que la méthode gardera les mêmes qualités avec la roche dure quand on en rencontrera au-dessous de la cote 39,65.

Je réponds à cette question, que les frais afférents à la transformation donneront un prix de revient unitaire moindre que l'excavation à sec. Je parle des conditions isthmiques et en employant pour la désagrégation soit la méthode de minage homogène, soit le traitement mécanique employé avec grande économie à Suez et ailleurs (Pilons Lobnitz de 15 tonnes).

On peut affirmer avec certitude, grâce à l'expérience de Suez, que, dans les conditions de Panama, cette excavation peut se faire pour beaucoup moins de 6 fr. 50 le mètre cube (1 dollar le yard cube). Les conditions naturelles de Panama sont excellentes, car il n'y aura ni courant ni variation de niveau, ni tempêtes de surface, ni passage de navires troublant les travaux. On peut aussi tirer des documents du Canal de Suez que le rocher y est extrait et déchargé, y compris réparation et amortissement des machines, à moins de 5 francs le mètre cube (1).

Quant à l'argile rocheuse, même avec le léger minage qu'elle exige, son prix d'extraction devrait rester au-dessous de 2 francs le mètre cube avec dragage à vapeur. Ce prix devrait encore être beaucoup réduit avec l'emploi de l'électricité gratuite, même en comptant 80 centimes par mètre cube pour l'amortissement des écluses montant au lac de Gamboa.

Le prix de l'excavation d'argile dure peut être réduit encore avec les nouveaux appareils de dragage résultant de la combinaison d'appareils désagrégateurs et de pompes à suction. Mais c'est là une éventualité de l'avenir. Bien que de larges expé-

(1) Malgré les interruptions dues au transit, ce prix est exactement 4 fr. 85, soit 2 fr. 10 pour la désagrégation à la machine Lobnitz et 2 fr. 75 pour dragages et transport à 32 k. et décharge. (Commission consultative Internationale, 8 novembre 1904).

riences se soient faites au Canada, il n'est pas assez prouvé que l'on peut adapter cette drague aux conditions isthmiques pour baser des estimations. Je me limite aujourd'hui à celles qu'on peut émettre avec prudence et entière sécurité.

**Le moyen certain de réduire les dépenses de dragage
réside dans le travail
de puissants instruments mus électriquement.**

Mais un autre et certain moyen de réduire les dépenses sera évident quand nous observerons à quel point un système de dragage se prête à l'emploi d'une distribution électrique d'énergie.

J'ai dans ce but préparé le chemin à l'usage de l'électricité dans les dragages. J'ai fait construire par la maison Smulders, en Hollande, en 1895, une drague mue électriquement, conformément à certains plans spéciaux que je traçai. Ce fut, autant que je crois le savoir, la première drague mue électriquement qu'on employa dans les travaux publics. Les résultats que j'obtins sur la rivière Esla, en Espagne, ont été éminemment satisfaisants. Ils m'ont convaincu que la drague pouvait acquérir des qualités nouvelles réduisant les dépenses et les risques d'accident dus à la rencontre sous les eaux d'obstacles invisibles.

Un obstacle imprévu rencontré pendant le dragage cause une réaction brusque sur la chaîne dragueuse qui tend à arrêter la machine ou à briser la chaîne dans une drague ordinaire. Dans une drague électrique, cela cause une augmentation du courant qui, s'il parvient à une limite déterminée, interrompt automatiquement la force motrice.

Réduction étonnante des prix de l'excavation et du transport.

Une telle distribution de puissance mécanique sous forme électrique ne laissera en réalité qu'un nombre d'hommes insignifiant à bord. On peut comprendre l'extraordinaire économie d'un système d'excavation produisant 5 000 mètres cubes par jour avec trois équipes de 15 hommes (1), soit 45 hommes.

(1) C'est le nombre d'hommes qu'exigerait une drague à vapeur. En réalité, à bord d'une drague électrique, il ne faut que 5 à 6 hommes et non pas 15. — Plus tard, et notamment dans ma conférence devant la Society of Arts, j'ai réduit à 10 hommes l'estimation du personnel existant à bord d'une drague électrique.

Même en admettant le prix très élevé de 15 francs par homme, on aboutit à une dépense de 675 francs pour 5 000 mètres cubes, soit 0 fr. 135 (1) par mètre cube.

Cela sera accompagné de frais très minimisés de réparation dus à l'emploi de l'électricité et de dépenses nulles pour la génération de la puissance.

Celle-ci sera aisément donnée par les chutes de Gamboa et de Bohio qui fourniront aisément les 15 000 chevaux nécessaires au système.

Le transport se réalisera au prix de 7 centimes à peu près le mètre cube.

Les chalands auraient des hélices commandées électriquement et prendraient leur électricité sur une ligne de trolley courant le long du bief supérieur et sur le lac. Une ligne desservirait les chalands allant à la décharge, l'autre les chalands vides.

L'assistance de remorqueurs ne serait nécessaire que près des dragues, près des écluses et près des points de décharge.

Je crois fermement qu'un tel matériel réduirait le prix de l'excavation à un niveau qu'il est difficile de concevoir.

A quelque point de vue qu'on se place, on doit considérer que la substitution de l'excavation sur l'eau, comprise de cette manière, à celle effectuée sur rails créera une véritable révolution. Cette transformation du prix et du rendement des travaux est due à l'économie, à l'efficacité, à la simplicité, à la réduction de la main-d'œuvre qu'on réalise largement de cette manière.

Les avantages du système sont indépendants de l'ouverture rapide à la navigation. Je considère que ce système devrait être adopté pour toutes les excavations au-dessous de 39^m,65, même si l'on voulait réaliser le canal à niveau directement sans phase intermédiaire.

J'ai à peine besoin d'ajouter que, même si l'on n'admet que la moitié de ce que je suppose pour le rendement des dragues, le prix restera pour toutes fins pratiques du même ordre de grandeur.

(1) Ce prix extraordinairement bas n'est pas surprenant si l'on songe que Mr. Wallace a excavé de la terre près de Colon avec les vieilles et démodées dragues de l'ancienne Compagnie pour 47 centimes le mètre cube, y compris transport et décharge.

Une profondeur de dragage de 11 à 15 mètres parfaitement avantageuse pour des dragues construites *ad hoc*.

J'en aurais terminé avec ce sujet qui finit la question de transformation, si je ne tenais à répondre à une observation faite dans le fascicule gris déjà cité. (Canal de Panama, partie IV.)

On y expose que les dragues ne peuvent travailler avantageusement à des profondeurs aussi grandes que 11 à 15 mètres. Il y a un malentendu dans cette assertion. Il est juste aussi facile de construire des dragues travaillant avec leur rendement maximum entre 11 et 15 mètres qu'il est facile d'en construire d'autres travaillant dans ces mêmes conditions entre 5 et 9 mètres.

Tout cela dépend simplement des longueurs respectives de la coque et de l'élinde supportant la chaîne.

Les dragues, en général, sont bâties pour avoir leur efficacité maximum entre 5 et 9 mètres, parce que ce sont là les profondeurs usuelles. Si demain ces dragues travaillent par 15 mètres de fond, elles le feront dans de mauvaises conditions. Mais ce n'est pas une question de principe, et rien absolument n'empêche de construire des dragues faisant un travail admirable entre 11 et 15 mètres. Je le répète, c'est une question de longueur de coque et d'élinde.

IV

NOUVELLES PERSPECTIVES OUVERTES PAR LA GRANDE RÉDUCTION DE PRIX ET DE TEMPS DES TRAVAUX D'EXCAVATION, LE DÉTROIT DE PANAMA.

Un décroissement extraordinaire dans le prix pratique de l'excavation et un accroissement extraordinaire dans la puissance pratique de l'excavation résultent de la méthode que j'ai développée plus haut. Cela permet d'élargir avec une singulière extension nos vues sur la jonction interocéanique.

Le canal à niveau est une forme de passage fort au-dessus du canal à écluses. Mais avec ses dimensions réduites en

largeur et en profondeur il reste un canal où les navires sont partiellement privés de leur liberté.

Même avec les dimensions accrues que j'ai supposées devoir être atteintes, 90 mètres de largeur au fond, et 10^m,67 de profondeur, ils n'auront pas assez d'eau. Ils ne pourront naviguer librement, ils ne pourront gouverner librement et, par conséquent, ils ne pourront admettre qu'il y ait dans le Canal des courants de plus de deux nœuds à l'heure.

Pour cette raison, on a toujours pensé nécessaire d'établir des écluses de marée près du Pacifique.

La présence d'écluses dans le canal même à niveau, son chenal relativement étroit et peu profond, montrent que ce canal à niveau reste bien inférieur au passage libre large et profond : le Bosphore.

En fait, il est au-dessous d'une telle voie de communication autant qu'il est au-dessus du canal à écluses.

La forme idéale de la jonction navigable entre l'Atlantique et le Pacifique à travers l'Amérique centrale n'est pas un Canal, c'est un Bosphore.

On a jusqu'à présent relégué au pays des rêves la conception d'un « Détroit de Panama » auquel les eaux des deux océans auraient libre accès, dans lequel les navires passeraient d'un océan à l'autre en 4 et 5 heures, sans limitation d'aucune sorte, dans lequel aucune écluse ne serait à franchir.

La méthode proposée fait une réalité de ce qui était hier un rêve. Le Détroit de Panama, s'il était construit par les méthodes connues jusqu'à présent, demanderait trois quarts de siècle et 4 500 000 000 de francs, sans compter les intérêts.

La méthode que j'ai développée ci-dessus, si elle est considérée dans toute l'extension de ses conséquences, transforme ce rêve en une réalité.

Le « Détroit de Panama » exigera environ la même somme d'argent et le même temps que le canal à niveau et à portes de marée qu'on envisage, c'est-à-dire 25 ans de temps et 1 500 000 000 de francs (1).

(1) Cette estimation a été faite pour désarmer d'avance toute critique possible. En réalité, ces chiffres sont deux fois trop forts. On verra que la critique n'a pas été désarmée par ces évaluations si libérales.

Dans le temps de construction est compris le temps de l'érection du canal éclusé à bief élevé.

Dans la dépense n'est pas compris le coût des écluses et barrages, non plus que le surplus du coût de l'excavation afférente à l'ouverture rapide du passage interocéanique.

Pour justifier ces vues, prenons pour base les chiffres officiels pour un canal à niveau et à écluses de marée de 150 pieds de largeur au plafond (45^m,75) et de 35 pieds (10^m,67) de profondeur. On trouvera ces chiffres dans la partie III des fascicules gris préparés pour le Consulting Board (pages 192-198).

Un pareil canal demandera environ 150 000 000 de mètres cubes (200 000 000 cubic yards) dont, en chiffres ronds, 37 500 000 mètres cubes sont estimés roche dure, 75 000 000 de mètres cubes roche tendre et 37 500 000 mètres cubes terre. Son coût est estimé 1 600 000 000 de francs et le temps de construction, 24 ans. Le prix unitaire adopté pour la roche dure est 9 fr. 30 le mètre cube, pour la roche tendre 6 francs et pour la terre 3 fr. 35.

Les chiffres des cubes correspondant au Déroit de Panama seront bien plus élevés, mais grâce aux nouveaux procédés d'exécution les prix unitaires seront beaucoup plus bas. Le prix total et le temps total resteront les mêmes.

Les courants dus aux marées et aux crues n'excéderont pas 3,3 nœuds dans le Déroit de Panama.

Les courants de marée qui doivent se développer dans un canal ouvert à Panama ont été calculés par une Commission de l'Académie des Sciences. Le rapport a été inséré dans les comptes rendus à la date du 31 mai 1887. Pour un canal de la nature de celui alors projeté, ayant 21 mètres de largeur au plafond, le maximum calculé fut deux nœuds et demi.

Toutefois, le courant maximum serait plus élevé : 2,9 nœuds, avec les dimensions beaucoup plus grandes du Déroit de Panama.

L'autorité scientifique et professionnelle de cette Commission est au-dessus de tout soupçon.

Elle vérifia ses calculs en montrant que les formules donnent des résultats exacts si on les applique au Canal de Suez. On sait, en effet, qu'entre les lacs Amers et Suez il y a

des courants dus aux marées de la mer Rouge, lesquelles atteignent 2 mètres d'amplitude.

On peut donc considérer avec confiance que les courants de marée ne pourront atteindre 3 nœuds. A ceux-ci, il faut ajouter les courants de crues qui, dans des occasions exceptionnelles, atteindront 4/10 de nœud dans le large prisme du Déroit. Cela nous conduirait à un maximum de 3,3 nœuds.

On peut objecter qu'il est impossible de risquer les énormes intérêts du commerce sur le plus ou moins de certitude d'une théorie de courants.

On peut répondre à cela que lorsque le Canal sera à niveau, les écluses de Miraflores existeront encore et serviront de portes de marée. En les laissant ouvertes, on pourra mesurer l'intensité du courant et pour cela interrompre la navigation pendant un jour. Après l'expérience qui vérifiera la théorie, on pourra en toute liberté d'esprit détruire les écluses.

Pour permettre aux navires de manœuvrer avec un courant semblable, il est nécessaire de leur ménager une place très ample. Ils doivent avoir beaucoup d'eau, non seulement latéralement mais sous leur quille. Dans ces conditions, je propose de donner au Déroit de Panama une largeur de 152^m,50 au fond (500 pieds) et une profondeur de 13^m,72 aux plus basses marées (45 pieds). Le Canal aura 13^m,72 de profondeur à Colon où le niveau de l'Océan est fixe et une profondeur graduellement accrue qui atteindra 16^m,77 sous le niveau moyen à Panama.

Le « Déroit de Panama » demandera trois fois plus d'excavation que le Canal de Panama à niveau.

L'accroissement du volume de l'excavation au delà des 200 000 000 yards cubes nécessaires au canal à niveau sera d'environ 400 000 000 de yards cubes.

Cette conception du Déroit de Panama exigera une excavation de 458 000 000 de mètres cubes. Si on les divise d'après la proportion indiquée plus haut pour les différentes qualités de terrain du canal à niveau, on aura 114 500 000 mètres cubes de roche dure, 114 500 000 mètres cubes de terre et 229 000 000 de mètres cubes de roche tendre.

Calcul des prix unitaires et du coût total de la construction du Déroit de Panama.

Le dragage et le transport de la terre seront fixés à 1 fr. le mètre cube en y comprenant l'amortissement des écluses du lac pour 18 centimes par mètre cube.

Le prix du minage ou en général des opérations nécessaires pour rendre dragable la roche tendre est extrêmement bas. Ce soi-disant rocher tendre consiste principalement en argile dure. Elle demande un léger minage devant les dragues ou un léger pilonnage.

Nous admettrons 66 centimes pour ce travail spécial et nous admettrons 1 fr. 66 par mètre cube pour la roche tendre.

La roche dure sera traitée par minage symétrique (méthode Bunau-Varilla) ou par les machines Lobnitz. L'expérience acquise par les pilons Lobnitz à Suez et ailleurs nous permet de fixer un maximum de 3 fr. 40 par mètre cube pour le prix de l'opération qui consiste à rendre dragable la roche dure.

Le prix total de l'enlèvement de la roche dure sous l'eau serait de cette façon 4 fr. 40 le mètre cube.

Si ces chiffres peuvent être donnés avec la sécurité parfaite qu'ils seront réalisés en pratique, on doit remarquer qu'ils s'appliquent seulement aux excavations sous l'eau.

Une grande partie du cube total aura à être excavé au-dessus de la cote 39,65 par la méthode à sec et sera beaucoup plus coûteux.

On doit toutefois remarquer d'abord qu'une drague ordinaire peut attaquer des berges de 4^m,50 au-dessus de l'eau. On doit en outre remarquer que cette limite peut être portée à 9 mètres avec une drague sans chaîne de mon invention, qui a été bâtie et a donné les meilleurs résultats. Enfin, on doit dire que le terrain, s'il est trop élevé pour être attaqué à la drague, peut toujours être transporté et déchargé sur l'eau, s'il doit être excavé à sec. On sait que le prix du transport et de la décharge coûte plus de 50 % du prix total de l'excavation (voyez Rapport du 1^{er} février 1905, John T. Wallace). Cet important élément sera ainsi réduit à rien ou à peu près.

D'autre part, le rocher dur est tout à fait l'exception dans la partie haute de la tranchée et l'on doit s'attendre à n'y trouver que de la terre ou de la roche tendre.

Pour toutes ces raisons, je crois que pour la partie haute excavée à sec les prix proposés par l'Isthmian Canal Commission dans les brochures grises, pour le canal à niveau (page 198), peuvent être réduits de près de moitié.

Pour fixer les prix unitaires par mètre cube, nous prendrons donc 1,70 au lieu de 3,40 pour la terre et 3 francs au lieu de 6 francs pour la roche tendre. Ces prix s'appliqueront à ce qu'il faudra excaver à sec au-dessus de la cote 39,65. Cette masse est beaucoup inférieure à la moitié de la masse totale d'excavation. Nous aurons donc un prix péchant par excès en prenant comme prix moyen la moyenne arithmétique des deux prix ainsi établis pour la terre et la roche tendre. Nous arrivons ainsi à 1 fr. 35 par mètre cube pour la terre et 2 fr. 33 par mètre cube pour la roche tendre.

Si nous appliquons ces prix aux quantités supposées, nous trouvons :

Roche dure.	114 500 000 m. c. à 4 fr. 40	Fr.	503 800 000
Roche tendre.	229 000 000 m. c. à 2 fr. 33	»	533 570 000
Terre.	114 500 000 m. c. à 1 fr. 35	»	154 575 000
			<hr/>
		»	1 191 945 000
Si nous ajoutons à ce chiffre pour travaux secondaires.		»	58 055 000
			<hr/>
	Nous obtenons un total de.	»	1 250 000 000
Ajoutons 20 % pour imprévu.		»	250 000 000
			<hr/>
	Cela forme.	»	1 500 000 000

Le Canal de Panama étroit, peu profond et fermé par des écluses de marée, demande autant d'argent et de temps à réaliser que le Détroit de Panama, si ce dernier est construit par la nouvelle méthode proposée.

Si nous comparons ce chiffre avec celui inscrit à la page 198 de la partie III de la brochure grise, pour le canal à niveau étroit à portes de marée, nous trouvons que ce dernier est supérieur à notre propre chiffre de 108 998 880 francs.

J'ai donc montré que la réalisation du « Détroit de Panama » coûtera en réalité pratique une somme égale à celle correspondant au canal à niveau étroit et à écluses de marée. Il me reste maintenant à dire combien la construction prendra de temps.

Si l'on se souvient des chiffres relatifs au puissant rende-

ment des grandes dragues électriques, on verra que 16 au plus de ces instruments travaillant dans le bief central feront annuellement 22 500 000 mètres cubes. L'excavation de 458 000 000 de mètres cubes correspondrait donc à une période de 20 années (1). Il faut y ajouter quatre années pour la réalisation de la première phase : le canal à écluses à la cote 39^m,65.

On verra facilement aussi que toute la différence qui pourrait se révéler entre le rendement probable et le rendement pratique des unités serait facilement corrigée par une augmentation de leur nombre.

Si un ingénieur ne pensait pas ces chiffres parfaitement raisonnables, c'est qu'il conserverait dans la mémoire ceux de l'excavation à sec sur rails.

Il doit remarquer qu'entre le rendement d'un matériel d'excavation à sec et d'un matériel d'excavation mû électriquement et travaillant sur l'eau il existe la relation qui se trouve entre le train et le navire. Cette relation entre les prix et les puissances effectives de ces deux modes de transports des marchandises usuelles éclaire nettement notre proposition.

Pour rendre justice aux conceptions exposées, imaginons un ingénieur de chemin de fer. Il est habitué à considérer un prix de 50 à 60 francs par tonne entre New-York et San-Francisco, comme le prix minimum par les moyens les plus économiques. Il lui serait difficile d'admettre que la même distance pût être franchie par mer au prix rémunérateur de 15 à 20 francs.

C'est là tout le mystère d'une méthode qui entraîne avec elle des conséquences aussi étonnantes.

CONCLUSION

LE CANAL A BIEF ÉLEVÉ D'ABORD — LE DÉTROIT DE PANAMA ENSUITE

L'idée générale incorporée dans le projet que je viens de développer consiste dans l'érection d'un canal à écluses devant être plus tard transformé en une voie au niveau de la mer. Elle

(1) Cette estimation est, comme toutes celles présentées au Consulting Board, un maximum maximorum. En effet, le bief central, lui-même long de 11 kilomètres, ne comporte que 199 000 000 mètres cubes, soit moins de la moitié du cube total. Les autres parties du Canal doivent être draguées simultanément. En réalité, l'excavation du Détroit de Panama demandera 10 années environ. En lisant le post-scriptum on verra que les prix unitaires sont également plus de deux fois supérieurs aux réalités.

répond rigoureusement aux conditions que le Président des États-Unis a tracées à l'International Board of Consulting Engineers, comme contrôlant le problème qui lui était soumis.

Le Canal à écluses présenté et qui correspond à la première phase est le Canal qui peut être ouvert *avec la plus grande célérité possible*. Le Canal à écluses présenté est aussi le Canal qui peut être ouvert avec la plus *large marge de sécurité*.

C'est le projet de Canal offrant le plus bas des barrages en terre. Il annihile, par suite, tout risque quelconque pouvant être légitimement opposé à un barrage plus élevé. C'est celui demandant la tranchée la moins profonde dans la divisoire continentale. C'est donc celui qui réduit au minimum le risque de trouver une couche glissante exposant à un éboulement, dont l'idée seule est terrifiante pour une tranchée aussi profonde. La découverte d'un tel accident de terrain, s'il ne créait pas la catastrophe, exigerait de longs travaux de prévention et de consolidation.

Pour ces deux raisons, on peut dire que ce canal éclusé à bief élevé n'est pas seulement le *plus rapide à construire*. C'est aussi le *moins dangereux à établir*, c'est aussi celui qui *offre une ample et permanente communication entre les océans*. Il remplit ce dernier rôle exactement de la même manière que n'importe quel canal éclusé à bief moins élevé, sauf en ce qui touche le *temps de passage*. Or ce *temps de passage*, le Président des États-Unis l'a déclaré être *d'importance secondaire si on le compare à l'économie de temps et à la réduction du risque pendant la construction*.

Le Président des États-Unis a aussi demandé au Board d'examiner si, *dans le cas où un canal à écluses multiples serait adopté, il serait possible plus tard de le transformer en une voie au niveau de la mer*.

Les solutions présentées démontrent la praticabilité de cette transformation dans des conditions de perfection théorique et pratique.

En dehors de cette qualité, la méthode nouvelle renferme cette autre et essentielle caractéristique de comporter un procédé d'excavation de grande puissance et de bon marché corrélatif. Ce procédé résout entièrement la question de la main-d'œuvre et elle utilise les forces naturelles de l'Isthme dans des proportions inattendues. Grâce à l'énorme réduction du prix d'excavation, ce procédé nous permet d'entrevoir comme

le but simple et raisonnable non plus seulement le canal à niveau étroit fermé par des écluses de marée sur le Pacifique, mais bien le véritable Bosphore, le véritable Détroit de Panama qui peut être traversé en cinq heures.

Pour atteindre cette fin désirable, il est nécessaire d'avoir un canal de 13^m,72 de profondeur aux plus basses marées, de 152^m,50 au fond, de 183^m de largeur à la ligne d'eau moyenne.

Les courants de marée n'auront pas d'influence sur les navires abondamment pourvus d'eau sous leur quille et latéralement. Ceux-ci jouiront, par suite, des conditions nécessaires pour gouverner librement et naviguer avec indépendance.

Un tel projet est certainement chimérique avec le système usuel de travail. Il conduirait, en effet, à un surplus d'excavation de 306 000 000 de mètres cubes sur la quantité nécessaire pour le canal de 45^m,75 de largeur au plafond et de 10^m,67 de profondeur constante. Mais avec les solutions techniques que j'ai présentées, cela devient une tâche parfaitement raisonnable et relativement facile à réaliser. Elle prendra un délai maximum de 25 années et exigera une dépense égale à celle de l'excavation à sec sur rails d'un canal à niveau étroit et pourvu d'écluses de marée.

L'horaire qui, je pense, pourrait être rigoureusement observé serait d'ouvrir le Canal à la cote 39^m,65 en quatre ans et d'excaver le reste du Détroit en 21 ans.

Le plan que je soumetts ainsi au Board, si on le compare à celui de l'exécution à sec du canal à niveau, comporte : 1° l'ouverture à la navigation en quatre ans au lieu de 20 ans au moins et 2° dans l'espace de temps qu'exigerait à peu près la création d'un canal étroit à niveau, l'excavation d'une tranchée de 458 000 000 de mètres cubes au lieu de la tranchée de 153 000 000 correspondant à ce canal étroit. De cette façon, pour la même somme et dans le même délai serait ouvert un véritable Bosphore — le « Détroit de Panama » qui offrira à la navigation un passage libre et dégagé de toutes entraves, sans aucune écluse de marée ou autrement, et cela avec une voie d'eau large de 183 mètres à la surface, profonde de 13^m,72 aux plus basses marées.

Un tel programme, si tentant qu'il fut, n'a jamais été formulé par n'importe qui, car il aurait demandé 75 ans de temps, et

quatre milliards et demi d'argent pour son exécution avec les procédés jusqu'ici connus et usités.

Il a donc été jusqu'à présent relégué dans le pays des songes. Mais il devient une réalité, grâce à l'utilisation logique et scientifique des conditions créées, d'abord par l'établissement préalable d'un passage éclusé à travers le massif central et ensuite par la création de la mer intérieure qu'est le lac artificiel Gamboa.

On peut dire que le « Détroit de Panama » sera fait par le canal provisoire à bief élevé.

Cela est vrai scientifiquement, cela est vrai financièrement. Les recettes du transit seront certainement supérieures à 76 000 000 de francs par an en moyenne et cela couvrira plus que la moyenne annuelle des dépenses.

J'ai fini l'exposé des différentes solutions que je désirais vous soumettre, M. le Président et Messieurs les membres du Board. Je pense que j'ai justifié mon exorde en disant que ces solutions couvrent toutes les nécessités de la question et qu'elles satisfont tous les énormes intérêts engagés.

P. BUNAU-VARILLA.

MÉMORANDUM

du 20 octobre 1905, adressé aux membres du Consulting Board.

1° Le projet présenté vise la création d'une communication par eau avec la *célérité la plus élevée possible* et avec le *minimum de risques* (1).

2° Il remplit ces deux conditions parce qu'il est parmi tous les projets connus celui présentant le barrage en terre le moins haut, le plus étroit et la tranchée centrale la moins profonde.

L'excavation peut être faite en quatre ans. Ceux qui croient cela impossible doivent penser qu'il n'est pas réalisable d'atteindre l'activité régulièrement acquise par l'ancienne Compagnie pendant ses trois dernières années.

Les barrages et écluses peuvent être construits dans le même espace de temps. Cela résulte de leur entière indépendance des travaux d'excavation, ainsi que cela a été établi dans le corps de l'exposé. La seule chose qui peut devenir difficile, est de recueillir le sable nécessaire dans la baie de Panama ou sur les rives du Chagres au-dessus de Matachin (sable et gravier). En vue de simplifier le travail, il serait bien d'étudier l'entière élimination du sable dans le béton, comme cela a été fait en France avec un complet succès.

Un béton fait de 0^mc,84 de pierre cassée, mélangée avec 700 kilos de ciment Portland, pourrait apparaître plus coûteux à première vue, mais serait plus économique en fin de compte. Cela résulterait de la simplification considérable des travaux. Une autre méthode consisterait à casser les pierres pour le béton de façon à obtenir deux grosseurs distinctes. Les plus grosses auraient 6 centimètres de dimension maximum, les plus petites un centimètre. On supprimerait également le sable.

Le délai de quatre années nécessaires pour excaver 15 000 000 de mètres cubes de la tranchée centrale correspond au délai de 8 ans fixé pour l'enlèvement de 33 000 000 de mètres cubes. Ce dernier délai a été fixé par l'Isthmian Canal Commission dans son Rapport de 1901, et le cube de 33 000 000 y était

(1) Conditions essentielles dont l'observation fut recommandée par le Président des États-Unis au Consulting Board en le recevant le 11 septembre 1905 à Oyster Bay.

inscrit au lieu de 15 000 000 à cause de la moins grande élévation du bief supérieur (niveau minimum 25^m,62 au lieu de 39^m,65).

Ce délai de quatre ans correspond aussi au délai de plus de 20 ans pour un canal à niveau, fixé par la même Commission. Ce délai correspond à l'excavation à sec des 78 500 000 mètres cubes de la tranchée centrale que comportait en ce cas le projet de la Commission.

La détermination du délai de quatre ans ne repose donc pas sur une assertion théorique ou hypothétique. Elle est basée pour le cube total à extraire dans mon projet (45 000 000 mètres cubes) sur le rendement total obtenu pendant ses trois dernières années par l'ancienne Compagnie (Compagnie de M. de Lesseps, 40 000 000 mètres cubes). Elle est basée pour le cube de la tranchée centrale (15 000 000 mètres cubes) sur le rendement admis par l'Isthmian Canal Commission. Chacun a la liberté d'ajouter la marge nécessaire pour les travaux préparatoires. L'Isthmian Canal Commission a fixé deux ans pour ces travaux préparatoires. Plus d'un an et demi se sont écoulés depuis que les États-Unis ont pris possession du Canal et la plus grande partie de ces travaux doit être terminée.

3° La seule différence entre deux formes de canal à écluses ayant un nombre différent d'écluses (tous les autres éléments restant égaux) c'est le temps du transit. Il est diminué d'une heure et demie par chaque paire d'écluses supprimée. On peut donc dire que le Canal proposé aura la même puissance de travail et la même consommation d'eau que n'importe quel canal à écluses à bief moins élevé. Le seul avantage obtenu par la réduction du nombre des écluses, qui est la réduction du temps de transit, doit être acheté par une exécution plus longue et plus dangereuse. C'est une conséquence de ce fait qu'un canal à bief moins élevé exige une tranchée centrale plus profonde.

4° L'objet visé par la création d'un canal à bief élevé, c'est la prompte ouverture de la navigation interocéanique. Il y a aussi un autre but qui ne le cède pas en importance au premier. C'est de créer les conditions nécessaires pour poursuivre les travaux d'excavation jusqu'au niveau de la mer par des dragues flottantes en remplacement des excavateurs sur rails.

5° La puissance d'excavation des instruments travaillant sur l'eau est deux ou trois fois plus grande que ce que peut donner un matériel sur rails.

Le prix de l'excavation est *grosso modo* en proportion inverse de la puissance d'exécution. Il est donc deux à trois fois plus faible avec la drague qu'avec l'excavateur à sec. L'Isthmian Canal Commission a clairement établi ce fait en établissant sa série de prix de 1901. Elle y a inséré que l'enlèvement de terre, non extraite à la drague, coûterait 2 fr. 25 par yard cube (0^m,763) et que l'enlèvement des terrains dragables coûterait un franc. La proportion de 1 franc à 2 fr. 25 fixée ainsi par la Commission s'applique à toutes les catégories de dragage. Certaines opérations de dragage peuvent être coûteuses à raison soit de l'éloignement des décharges, soit des difficultés accessoires, telles la présence d'un courant, d'une surface d'eau agitée, etc. Avec les conditions idéales de dragage, de transport des déblais, de décharge des chalands que présente le système que je propose, on peut admettre avec confiance le rapport de 1 à 3. Ce sera le rapport des prix d'excavation sur l'eau et à sec, le rapport inverse sera celui des puissances d'excavation dans les deux systèmes.

6° L'excavation de la roche sous l'eau, cette terreur des anciens ingénieurs, n'a plus aucune importance. La roche peut être rendue aisément dragable en la brisant comme un épicier brisait autrefois son sucre, mais avec un marteau de 15 à 30 tonnes au lieu d'un marteau d'une demi-livre.

Ce système, le système Lobnitz, a été expérimenté toujours avec succès dans toutes les natures de roche. Plus la roche est dure, plus pesant doit être le pilon. Dans une même roche, d'autre part, plus lourd est le pilon, plus bas est le prix de revient.

Avec des pilons de 15 tonnes, la Compagnie de Suez obtient la dragabilité d'une roche dont la dureté représente la majeure partie de la soi-disant roche dure de Panama. La dépense est infime (1 fr. 65 par mètre cube, en déduisant ce que coûtent les arrêts dus au transit).

Ce fut presque un insuccès il y a vingt ans à Suez avec des pilons de quatre tonnes. Le prix a graduellement décliné à mesure de l'augmentation du poids des pilons. Avec des pilons de 12 tonnes beaucoup trop légers pour la roche dure, du gneiss compact a été brisé pour 8 fr. 20 le mètre cube et du mica gneiss a été brisé pour 14 fr. 90 le mètre cube à Philippeville. Le prix a atteint 24 francs à Saint-Nazaire, mais avec des conditions extrêmement défavorables, petite profondeur à l'intérieur d'un

bassin éclusé et avec une surface inclinée de la roche (1).

Avec des pilons de 25 à 30 tonnes, les roches les plus dures que l'on pourra imaginer seront brisées pour 5 à 6 francs au plus si l'énergie est fournie par la vapeur. Si l'énergie est délivrée gratuitement sous forme électrique, le prix sera réduit de moitié pour tous les genres de roches.

De cette façon, le prix de l'excavation par drague du rocher noyé sera amené à être considérablement au-dessous du prix de l'extraction à l'air libre (2).

7° Le très bas prix du dragage et le très bas prix du brisage de la roche qu'on obtient maintenant seront encore beaucoup réduits à Panama. La cause en est dans les exceptionnelles conditions de travail qui s'y trouveront réunies : *a* le niveau constant et invariable de l'eau où travaillent les dragues, où circulent les chalands. *b* Aucun courant pouvant gêner le travail et le transport n'est à craindre. *c* La présence d'une masse d'eau profonde, (le lac de Gamboa) qui sera unie au bief supérieur par une ou plusieurs doubles chaînes d'écluses, existera pendant toute la transformation. Les chalands-porteurs s'y déchargeront simplement en ouvrant les trappes de fond, sans craindre d'emplier le lac qui peut absorber plusieurs fois le cube total à excaver. *d* Enfin, avantage dernier mais non le moindre : l'énergie mécanique nécessaire sera fournie sous forme électrique aux dragues pour l'excavation, aux chalands pour le transport, aux pilons pour concasser la roche. Cette énergie sera débitée par les chutes des lacs de Gamboa et de Bohio en quantité surabondante.

Aucune objection raisonnable contre la décharge dans le lac de Gamboa ne peut être basée sur le danger de le remplir même partiellement. On ne peut davantage invoquer la nécessité de réserver son volume tout entier pour les apports éventuels.

(1) Une simple erreur de copie a fait omettre de dire dans le mémorandum original que ces prix élevés étaient surtout dus à la trop faible section des pilons et à la qualité mauvaise du métal. Les chocs courbaient les tiges trop minces et faisaient cristalliser le fer. Depuis que l'on emploie de l'acier doux et que l'on donne plus d'épaisseur aux pilons, toute cette catégorie de dépenses élevées a disparu. Récemment, un nouveau mode d'attache a quadruplé le rendement, d'où nouvelle réduction.

(2) On remarquera avec quelle extrême prudence les avantages de la méthode proposée sont développés devant le Consulting Board. En réalité, il n'est pas besoin d'avoir de l'énergie gratuite pour que le prix de l'excavation du rocher sous l'eau soit inférieur à celui de l'excavation à l'air libre (Voir ce qui résulte des chiffres publiés dans *L'Engineering* sur les prix de revient constatés dans le Canal de Manchester, page 47, ainsi que les nouveaux faits officiellement constatés dans le *post-scriptum*).

Le terrain naturel à l'emplacement du barrage est à 15 mètres au-dessus de l'eau. A la cote de 40^m,26, la surface du lac sera 38570000 mètres carrés. A la cote de 51^m,85, elle sera de 79630000 mètres carrés. A la cote de 61^m,00, elle atteindra 112090000 mètres carrés. Le volume total d'un tel lac sera d'environ 2050000000 mètres cubes. Un milliard cent millions seraient réservés entre la cote de 48^m,80 et la cote de 61^m pour l'approvisionnement d'eau de la saison sèche et pour offrir les espaces nécessaires à l'absorption des grandes crues. Une moitié de l'espace compris entre 48^m,80 et 61^m,00 sera consacrée à la première de ces fonctions, une autre à la seconde.

Il restera donc au-dessous du niveau minimum 950000000 mètres cubes d'eau morte. Après avoir déversé 458000000 mètres cubes d'excavation, (en supposant que l'intégralité du volume du Déroit de Panama y soit portée) il resterait encore, en eau morte, plus de la moitié de l'espace au-dessous du niveau minimum du lac. Les apports, comme nous l'avons vu, sont sans importance. Cela a été établi au cours de l'exposé et cela résulte aussi de l'expérience de 18 années faite avec le lac du Rio Grande.

J'ai bâti près de Culebra, à travers cette petite rivière, un barrage de 14 mètres de hauteur au-dessus de ses fondations et d'environ 9 mètres au-dessus du lit de la rivière. Il correspond sur le versant Pacifique du massif central à ce que sera le barrage de Gamboa sur le versant Atlantique, mais à une échelle très réduite. Le lac formé il y a dix-huit ans et qui vient d'être employé à fournir l'eau à Panama n'a pas été rempli par les apports. Sa surface n'a pas été réduite depuis la date déjà lointaine de sa création.

Le lac de Gamboa ne sera pas assez rempli soit par les décharges, soit par les apports, pour que les matières solides atteignent l'espace où la surface du lac oscillera. La partie d'eau morte au-dessous du plus bas niveau sera à moitié remplie par les décharges, voilà tout.

On peut ajouter que lorsque le Canal sera à niveau, il n'existera plus la nécessité d'emmagasiner de l'eau pour alimenter en saison sèche le bief supérieur.

L'espace compris entre les altitudes 48^m,80 et 54^m,90 n'étant plus employé pour l'alimentation du bief, le niveau du lac au plus bas ne descendra plus qu'à la cote 54^m,90. Dès lors, le volume

d'eau morte au-dessous du niveau minimum du lac restera le même qu'avant tout travail, il sera même supérieur à ce qu'il était. Il y aura en moins les 450 000 000 de mètres cubes occupés par les déblais du Déroit de Panama, mais il y aura en plus le volume de 550 000 000 qu'on réservait pour les déficits d'alimentation de saison sèche. Après la création du Déroit, l'espace du lac affecté à la réception des apports sera donc plus grand que si le Canal restait à perpétuité un canal à bief élevé, toutes les autres conditions restant d'ailleurs les mêmes.

8° Le dragage dans l'eau, le transport sur l'eau, la décharge à travers l'eau est une conséquence de l'établissement d'un canal à bief élevé. Cela donne la solution du problème de Panama exactement comme une méthode similaire de dragage a fourni à Suez, il y a quarante ans, la solution du problème de Suez. Naturellement, les deux méthodes n'ont de commun que le fait d'utiliser l'eau comme moyen de support des instruments de travail et de transport, les arrangements sont différents.

A Suez, la méthode de dragage intervint quand le vice-roi d'Égypte suspendit la corvée (travail obligatoire des fellahs). C'était, dans l'esprit des ennemis du Canal de Suez, ce qui devait tuer l'entreprise, ce fut ce qui la sauva. Grâce à elle s'opéra la nécessaire substitution du puissant dragage à la main-d'œuvre. La nouvelle méthode proposée par M. Lavalley fut comprise par le génie supérieur de M. de Lesseps, malgré sa nouveauté. Grâce à elle, à elle seulement, le Canal de Suez devint un fait.

9° Le système de dragage que j'ai décrit permet d'envisager ce qui jusqu'à présent était impossible et ce qui autrement serait inadmissible. Grâce à lui, on peut excaver en 20 ans, non pas seulement le canal à niveau étroit, sans profondeur et fermé par des écluses de marée (45^m,75 de largeur, 10^m,67 de profondeur), mais le Déroit de Panama libre de toutes écluses (152^m,50 de largeur, 13^m,72 de profondeur au plus basses marées). Cela demandera trois fois plus d'excavation que le canal à niveau étroit, peu profond, à écluses de marée, mais ce sera fait pour le même prix et dans le même temps.

Cela résultera de ce que l'excavation se poursuivra par un système qui *grosso modo* est trois fois plus puissant et trois fois plus économique que l'excavation sur rails. L'excavation sur rails est la seule méthode de construction à sec du Canal.

10° Ces travaux sont entièrement réalisables et praticables sans interrompre le moins du monde le transit interocéanique. Cette qualité de la méthode que je propose a été pleinement démontrée dans mon exposé devant le Board. Elle a été reconnue entièrement réelle par l'Isthmian Canal Commission dans son commentaire sur mon projet. Pendant toute la période de transformation, les trois éléments essentiels du Canal seront entièrement respectés : *pas un pouce du chenal de navigation ; pas une minute du temps des écluses ; pas une goutte de l'eau réservée au bief supérieur* ne seront empruntés pour les travaux de transformation.

11° **Le Déroit de Panama**, la jonction maritime indépendante, libre, profonde et large, est la seule forme de passage qui donnera à la voie navigable non seulement sa pleine valeur économique, mais aussi sa pleine valeur militaire. Tant qu'une écluse de marée ou autre existera qu'une cartouche de dynamite peut estropier, le passage sera faible au point de vue militaire.

12° La création du « **Déroit de Panama** » sera une conséquence directe de la création du canal à écluses à bief élevé. Cette première forme de canal rend possible ce qui autrement serait impossible. Elle engendrera non seulement les moyens techniques, mais aussi les moyens financiers. Cette grande conception peut être réalisée sans aucune charge pour le Trésor américain. Le coût moyen annuel des travaux, 75 000 000 francs, sera fourni par les recettes du canal à écluses. Le transit de Panama sera beaucoup plus grand que celui de Suez et ce dernier canal a eu des recettes supérieures à 75 000 000 depuis bien des années.

13° Mon exposé devant le Board of Consulting Engineers porte sur soixante et un points essentiels du problème de Panama. Il explique entièrement des vues basées sur une étude qui a duré plus de vingt années, de ce grand problème technique.

Sans répéter ce que j'ai déjà développé, je désire mettre en garde d'une manière emphatique contre certaines illusions courantes. Elles tendent à résulter de ce que l'on confond le rendement théorique des gros instruments d'excavation sur rails avec leur rendement effectif.

En réalité, *la limitation du débit des chantiers à sec n'est jamais*

venue et ne viendra jamais de la faiblesse des instruments d'excavation.

La difficulté n'est pas de pelleter de la terre ou de la roche brisée et de l'élever en l'air. Elle commence à ce moment et se termine quand le wagon, qui a reçu la terre ou la roche, s'est débarrassé de son contenu aux décharges.

La difficulté réelle est le transport à l'intérieur de la tranchée, sur un réseau de voies prodigieusement compliqué et étendu, sur un réseau de voies qui doit satisfaire à un transit beaucoup plus grand que ceux des grandes stations de chemin de fer, sur un réseau de voies qui ne peuvent être ballastées parce qu'elles ont à être mues et ripées constamment pour suivre le progrès de l'excavation, sur un réseau de voies qui, par suite de l'ordre des choses et de leur constitution, sont naturellement et obligatoirement en mauvais état, lavées par les pluies tropicales, entretenues par des nègres négligents. C'est de ce terrible état de choses que résulte l'inévitable frein qui arrête tout le mécanisme de l'organisation la plus parfaite et réduit à un degré surprenant les rendements calculés.

Plus la tranchée sera profonde, plus grandes seront les difficultés de faire mouvoir à l'intérieur les trains vides et chargés. En même temps s'accroîtra le nombre de ces inévitables déraillements qui bloquent des lignes d'excavateurs, déraillements dont la fréquence décourage les volontés les plus fortes et fondent des énergies de fer.

J'ai récemment lu que le plus grand obstacle aux travaux de Panama était attribué à l'emploi des *locomotives-jouets* et des *wagons-jouets* laissés par les Français. Ils ne peuvent desservir les puissants excavateurs américains, dit-on (1).

Pas un centime n'a été payé pour le matériel français. Il n'y avait donc aucune nécessité de l'employer. Rien n'a empêché d'acheter des locomotives de 60 tonnes pour remplacer les locomotives françaises de 30 tonnes. Si cela n'a pas été fait, ce n'a pas été pour une raison d'économie. La raison véritable est qu'une

(1) Interview de Mr. Shonts, président de l'Isthmian Canal Commission dans le Star de Washington. Cette injuste et ridicule appellation a persisté. On la retrouve même dans le message présidentiel du 17 décembre 1906. Mais en même temps, toutes les photographies des journaux publiés à cette époque montrent que le matériel français de transport est seul employé, bien que le Président des États-Unis, trompé sur ce point comme sur bien d'autres, dise que ce matériel est entièrement mis de côté et remplacé par du matériel américain plus puissant.

locomotive lourde ne peut faire un kilomètre sur une voie placée à l'intérieur de la tranchée sans la détruire complètement.

Le remède ne peut être cherché dans une augmentation considérable du poids des rails (30 kilos par mètre). Les hommes de couleur ont peu de force dans les bras, et des rails tels que ceux adoptés par l'ancienne Compagnie française représentent à peu près la limite de ce qu'ils peuvent porter. Quant aux *wagons-jouets*, ce sont des wagons de terrassements en acier, d'un volume de 6 mètres cubes et portant 10 tonnes. Ils ont la même puissance de transport que la plupart des wagons de marchandises aujourd'hui en usage sur les chemins de fer anglais et sur ceux de l'Europe continentale.

Il est évidemment désirable d'augmenter leurs dimensions et leur résistance pour recevoir les masses de déblais tombant des vastes pelles à vapeur américaines. Mais cet accroissement aboutit à une plus grande fatigue des rails et, par suite, à plus de déraillements.

Nos excavateurs français avaient un pouvoir d'excavation de 1250 mètres cubes en dix heures de travail et ils firent plus que cela aux essais.

Leur débit moyen à la Culebra a été, si ma mémoire est fidèle, de 125 mètres cubes pendant la saison des pluies (9 mois) et de 225 mètres cubes pendant la saison sèche (3 mois). Cela montre combien peu on doit compter sur le pouvoir expérimental d'excavation aux essais. Le débit réel, pratique, dépend seulement du transport et très peu de la capacité d'excavation (1). Le faible rendement, dû à des causes qui sont toujours présentes et le seront toujours, a attiré sur l'ancienne Compagnie la critique aveugle et injuste des ignorants.

Quoi qu'il en soit, la vérité se fait jour graduellement. Mr. Stevens, ingénieur en chef du Canal de Panama, a déclaré

(1) Un rapport de Mr. Stevens, publié le 29 décembre 1905, soit un mois après la rédaction du mémorandum ci-dessus, disait : « Le problème de la tranchée de Culebra est un problème de transport pur et simple. Les déblais peuvent être chargés avec une rapidité suffisante, mais le nœud de la difficulté est de les remorquer et de s'en débarrasser. » Il est tout à fait singulier que le distingué ingénieur qui était alors chargé de l'exécution du Canal ait si clairement vu la situation et soit demeuré incapable de saisir la conséquence même qui en découlait. Cette conséquence obligée était de rechercher le remède à la difficulté du transport sur rails, et le seul remède complet et évident était le transport sur l'eau. Mr. Stevens, non seulement n'y a pas été conduit par la logique, mais il a refusé de voir la solution lorsqu'elle lui était révélée. A l'appendice J du Rapport du Consulting Board, on trouve au cours de la déposition de

devant le Board of Consulting Engineers que les travaux exécutés par les Français méritaient l'admiration.

Le grand avantage du dragage est de supprimer toutes difficultés de transport, à condition que la décharge puisse s'effectuer par la simple ouverture des portes de fond des chalands. Un chaland ne déraille pas, son travail est indépendant, il est peu exposé aux accidents, et si cependant un accident arrive cela ne se répercute pas sur le reste du matériel.

La difficulté est terminée quand le chaland vient d'être chargé, elle ne fait que commencer quand le wagon vient d'être chargé. L'excavation à sec n'a fait aucun progrès depuis une vingtaine d'années, parce que le progrès est limité par la faiblesse du rail. Au contraire, le dragage sur l'eau en a fait d'énormes, grâce au pouvoir illimité de portage de l'eau. Aucune drague ayant des godets de 800 litres n'était connue il y a vingt ans. Il n'y avait pas de dragage électrique. La destruction mécanique et à bon marché du rocher sous l'eau n'existait pas.

Si mes chiffres relativement à la construction des barrages et écluses en quatre années étaient trop faibles, la main-d'œuvre de l'excavation devenue disponible y serait alors concentrée. Cette période de quatre ans est sûrement suffisante pour l'excavation et après quatre années l'achèvement des écluses serait grandement accéléré par l'appoint des agents de l'excavation. Le pessimisme peut suggérer 5, 6 même 8 années au lieu de 4 pour les écluses, mais cela ne peut aller plus loin. Les plans proposés resteront toujours ceux demandant le minimum de temps.

Il en est tout autrement des estimations de temps et du coût de l'excavation de la Culebra pour le canal à niveau.

Si elles ne sont pas basées sur ce qui a été démontré par l'expérience de l'ancienne Compagnie. Si elles sont fondées sur la base traitresse du pouvoir d'extraction théorique des excavateurs américains, sans prendre en compte l'énorme réduction

Mr. Stevens devant le Board, en octobre 1905, les vues qu'il avait sur la solution complète du transport rationnel des déblais, ce nœud de la difficulté, d'après lui.

Le président (général Davis) : « Avez-vous lu le projet de Mr. Bunau-Varilla qui « consiste à faire un barrage à Gamboa, à écluser les chalands porteurs de déblais « entre la Culebra et le réservoir, et de décharger les produits de l'excavation dans le « lac au-dessus du barrage ? »

Mr. Stevens : « J'y ai jeté un coup d'œil. »

Mr. Hunter : « Voudriez-vous convertir la tranchée de Culebra en un grand lac et « sortir les déblais en draguant ? »

Mr. Stevens : « Je pense que je pourrais trouver une meilleure méthode. »

La bonne opinion que Mr. Stevens avait de lui-même n'a pas été, sur ce point, justifiée par les faits. Il a échoué et est aujourd'hui démissionnaire (27 février 1907).

causée par les difficultés de transport. Si, en un mot, le terme d'exécution à sec d'un canal à niveau est fixé à 10 ou 12 ans. *Je désire dresser ici même un solennel procès-verbal énonçant ce qui suit : Je déclare qu'une telle estimation est absolument trompeuse ; qu'il est rigoureusement indispensable de prévoir deux fois plus de temps et que l'acceptation d'un terme aussi court, basé sur une hypothèse que l'expérience démontre erronée, serait une des plus grandes calamités qui puissent menacer l'œuvre de Panama.*

Ce serait comme si l'on déclarait une guerre avec une armée grande sur le papier, mais restreinte sur les champs de bataille. Ce serait comme une campagne ouverte avec d'excellente artillerie, mais avec des soldats invalides et infirmes pour la servir.

Ce serait le renouvellement de l'histoire de la première période de l'entreprise de M. de Lesseps avec toutes ses amères désillusions.

La même erreur fondamentale aura été commise. On aura, cette fois encore, calculé le rendement des travaux d'après le débit théorique des excavateurs en affectant ce débit d'une réduction qui paraissait donner une ample sécurité. Une fois encore on verra que cette réduction pour correspondre à la réalité eût dû être deux ou trois fois plus grande.

La justification de la première Compagnie de Panama au commencement a été qu'aucune expérience humaine antérieure ne pouvait être invoquée. La seule voie ouverte était de plonger héroïquement dans l'inconnu pour en extraire la vérité nécessaire. Si l'expérience est négligée aujourd'hui, il n'y aura pas de justification pour une erreur d'une telle portée.

P. BUNAU-VARILLA.

Washington D. C., octobre 30, 1905.

SECOND MÉMORANDUM

AUX MEMBRES DU CONSULTING BOARD, EN DATE DU 6 NOVEMBRE 1903.

Prix du dragage dans l'Isthme.

Au cours de mon exposé devant le Board, j'ai expliqué que la main-d'œuvre du dragage serait réduite à 13 centimes et celle du transport à 7 centimes par mètre cube. En dehors de cela il

n'y aura rien à verser, que pour l'entretien et la réparation du matériel.

J'ai montré que la probabilité de ces résultats était attribuable aux conditions idéales qu'on rencontrera pendant la transformation. J'ai montré que cela tenait à ce que l'excavation se ferait sur l'eau, à ce que le transport se ferait sur l'eau, à ce que la décharge se ferait sur l'eau. J'ai dit que cela tiendrait également à l'emploi de très puissantes dragues et de très grands chalands, et aussi à la fourniture gratuite de l'énergie par les chutes des lacs du Chagres (1).

Bien que je crusse que le prix véritable ne serait pas loin de 25 centimes par mètre cube, j'ai admis un franc par mètre cube pour le terrain naturellement dragable. C'était une concession aux idées courantes faite pour l'établissement des prévisions de dépenses de construction du « Détroit de Panama ». Le prix de un franc comportait 16 centimes pour l'amortissement des écluses du lac de Gamboa, laissant net 84 centimes par mètre cube pour l'excavation, transport et décharge, au lieu de 25 centimes que je crois devoir être le prix réel.

Quelle que soit la marge de sécurité admise, je ne doute pas que le prix fixé ait été critiqué comme trop optimiste.

Sur ce *point capital*, je puis fournir au Board un témoignage très intéressant.

Le vendredi 3 novembre dernier, j'ai rencontré l'ancien ingénieur en chef du Canal de Panama, Mr. John F. Wallace. Je l'entretins des plans que j'ai établis pour réduire la main-d'œuvre et les dépenses d'excavation du « Détroit de Panama » après la construction du « canal à bief élevé ».

Mr. Wallace, au début de notre conversation, m'exprima que le seul point sur lequel il différait d'avec moi dans mon plan de transformation était la question de dépenses. Lorsque je donnai la justification de ces prix, il admit sans hésitation qu'il avait excavé les terrains de Colon avec les vieilles dragues de l'ancienne Compagnie au prix de 47 centimes le mètre cube.

Les conditions du dragage à Colon sont semblables à celles

(1) On se trouve dans l'obligation d'élever un doute sur la loyauté de la rédaction du Rapport du Board en ce qui touche le projet que je lui ai soumis, quand on voit ce Board émettre l'invraisemblable contre-vérité que c'est de l'emploi de l'électricité gratuite que j'attendais avant tout et surtout l'économie à réaliser par mon projet. La façon dont je résume l'ensemble des conditions assurant une extraordinaire économie répondait d'avance au Rapport du Board.

qu'on rencontrera pendant la transformation : pas de variation de niveau — pas de courants — décharge en mer par simple ouverture des portes du fond des chalands, comme cela aura lieu dans le lac de Gamboa.

Ce chiffre très important, qui résulte des travaux exécutés par Mr. John F. Wallace, confirme entièrement mon assertion. Les vieilles dragues de l'ancienne Compagnie ont des godets d'un volume moitié moins grand que ceux des dragues actuelles. Les chalands sont deux ou trois fois plus petits que les chalands d'aujourd'hui. Le nombre des hommes est pratiquement le même sur une grande ou sur une petite drague, sur un grand ou sur un petit chaland. On voit donc qu'en employant les types que je recommande, les prix seraient réduits de moitié et tomberaient à 23 centimes et demi le mètre cube.

A cette considération, ajoutons celle de l'importante économie du coût de la puissance mécanique. En remplaçant par l'électricité gratuite la coûteuse vapeur, on éliminera en même temps la plus grande partie des réparations, ainsi que le temps perdu correspondant à l'immobilisation de la drague pendant les réparations.

Tous ces facteurs cumulés réduiront certainement le prix de revient à un niveau beaucoup inférieur à 23 centimes et demi.

Je pense ce fait fort important à signaler au Board. Il m'autorise complètement à dire que je suis plus que prudent quand j'admets un prix quatre fois plus élevé que celui dégagé par l'expérience rationnellement étudiée (1).

Prix du brisage de la roche sous-marine.

Un autre élément qui peut avoir attiré les critiques est le prix que j'ai admis pour le coût du brisage du rocher dur, 3 fr. 35 par mètre cube.

On doit se souvenir qu'il correspond à 6 fr. 70 pour la même opération faite sans employer l'électricité gratuitement.

On doit se souvenir aussi que j'ai admis la présence de 25 % de roche dure dans le Canal. En fait, la quantité de

(1) Les renseignements fournis par Mr. Wallace devaient être répétés dans les appendices du Rapport du Board comme émanant de Mr. Maltby, l'ingénieur chargé des dragages. Les chiffres sont identiques. Mr. Welcker, délégué hollandais, devait de son côté dire que dragage, transport, déchargé, à 6 ou 7 kilomètres, lui avaient coûté, en Hollande, 0 fr. 25 par mètre cube.

roche réellement dure sera beaucoup plus petite et n'ira pas au delà de 10 % de la masse entière.

La preuve de la rareté de la roche dure dans l'Isthme est établie par la difficulté de trouver des carrières pour les pierres nécessaires au béton.

S'il y avait 25 % de véritable roche dure dans la masse totale à excaver, on trouverait des carrières sur les collines latérales à chaque pas. C'est le contraire qui a lieu. La roche dure et saine est en réalité fort rare. Les carrières donnant des pierres parfaites sont si difficiles à découvrir que ce devint une grave question quand l'ancienne Compagnie commença à concasser des pierres pour le béton des écluses.

Presque toujours, la soi-disant roche dure, comme celle de la carrière de Bohio, contient en grandes quantités des éléments tendres très voisins de l'argile.

La seule vraie roche dure de l'Isthme est le basalte ou l'andesite. Mais cette roche dure elle-même n'existe qu'en quantités très limitées, certainement pas plus de 10 %. Elle sera extrêmement facile à traiter par la méthode Lobnitz.

La roche dure se présentera toujours divisée en petites masses au lieu de se trouver en masses compactes, comme le granit ou le gneiss.

Quand la roche de l'Isthme fit son apparition sur la surface de la terre, ce fut à une époque très voisine de l'apparition de l'homme. Elle a été soumise à la fissuration qui résulte de l'exposition soudaine à une atmosphère froide.

Le gneiss ou le granit sont restés en masses compactes à cause de leur très lent refroidissement.

Ce n'est pas tant la dureté de la roche que son état plus ou moins divisé qu'il faut prendre en considération pour juger l'action du pilon Lobnitz. Ces pilons tombant sur des roches déjà subdivisées, comme du basalte, briseront facilement leurs éléments séparés en les frappant.

La rareté de la roche réellement dure et l'état divisé où elle se rencontre me font croire que le prix de brisage de 6 fr. 70 par mètre cube est absurdement exagéré. Cette exagération résulte de ce que ce prix unitaire est trop fort avec un pilon à vapeur pour de la roche divisée et de ce qu'il est appliqué à 25 % du cube total. Cela devient encore plus saillant si nous pensons qu'on emploiera des pilons de 25 tonnes au lieu de

ceux de 15 tonnes aux résultats déjà si économiques. D'autre part, dire 6 fr. 70 avec un pilon à vapeur, c'est dire 3 fr. 35 avec un pilon électrique à énergie gratuite.

Je puis dire exactement la même chose du prix de 67 centimes que j'ai admis pour le pilonnage électrique de la roche tendre. Il correspond à 1 fr. 34 pour le pilonnage à vapeur. La proportion de roche tendre admise dans l'excavation totale est de 50 %. Cette énorme proportion montre que l'argilolithe de Culebra est considéré comme roche tendre. Celle-ci sera désagrégée et rendue dragable peut-être pour 35 ou 45 centimes au lieu de 1 fr. 34. Le véritable roche tendre aurait droit à un prix de 3 fr. 35 dans le montant total des dépenses prévues si nous éliminions l'argile dure. Cela veut dire deux fois le prix réalisé à Suez pour la même qualité et probablement pour une qualité plus dure que ce qu'on appelle roche tendre en dehors de l'argilolithe.

Le prix de 67 centimes pour la roche tendre comme le prix de 3 fr. 35 pour la roche dure, comme le prix de 1 franc pour le dragage sont considérablement au-dessus de ce qu'on réalisera en pratique.

Pierres et sable pour béton.

Comme je l'ai déjà établi dans mon premier mémorandum, l'obtention du sable peut présenter de telles difficultés que son entière élimination soit justifiée. Il peut être aussi très difficile de trouver les pierres dures nécessaires au béton. La rareté de la roche réellement dure est un des caractères de l'Isthme. La présence d'éléments tendres voisins de l'argile dans presque toutes les roches, dites dures, rend difficile l'ouverture de carrières donnant en grandes masses des pierres dures et saines.

Il est très dangereux de se baser sur le travail manuel pour la séparation des pierres bonnes et des pierres mauvaises, que donneront mélangées les carrières de l'Isthme. Cela coûtera beaucoup d'argent et emploiera un grand nombre d'hommes. Cela ne donnera jamais les pierres ayant la qualité et l'homogénéité requises. L'emploi d'un grand nombre d'hommes sera en outre un défaut capital, car le problème de la main-d'œuvre est un des éléments ardu de la question.

Je propose d'éliminer entièrement des opérations isthmiques la question des pierres et du sable nécessaires au béton.

Je propose d'amener dans l'Isthme ces deux éléments et de les apporter soit du continent nord américain, soit des Antilles avec un service régulier de vapeurs, comme il sera fait avec le ciment de Portland.

Cette décision libérera entièrement la main-d'œuvre isthmique de la question compliquée et confuse du choix des pierres nécessaires, de leur concassage et de leur transport. Elle laissera pour les travaux proprement dits : excavation et construction d'écluses, plusieurs milliers d'ouvriers. Leur travail sera consacré à des opérations essentiellement isthmiques et non pas à une œuvre qui peut infiniment mieux et à meilleur compte s'effectuer dans la zone tempérée du monde.

Le prix du transport par mer et du déchargement à Colon, même s'il s'élevait à 26 francs par mètre cube, ne sera pas supérieur à l'économie réalisée. Elle résultera des conditions de travail dans des pays où la main-d'œuvre est productrice en même temps que bon marché et où la qualité des roches est parfaite.

Les frets de grandes masses expédiées régulièrement sont très bas. D'autre part, les énormes progrès réalisés pour le déchargement des navires de minerais par les machines Brown dans les ports des grands lacs américains résolvent la question du transbordement à Colon.

C'est une admirable solution des problèmes de prix et de main-d'œuvre qu'entraîne le passage du minerai du navire au wagon.

Le transport par train aux différents emplacements des écluses et barrages est également facile avec les lourdes locomotives de marchandises pesant plus de 100 tonnes et usitées en Amérique.

Sans connaître les dimensions exactes qui seront admises par le Board of Consulting Engineers pour les écluses, on peut admettre 380 000 mètres cubes de béton.

Cela correspondra à environ 750 000 tonnes de pierres, sable et ciment par chaque couple d'écluses jumelles de 10^m,50 de chute (1).

Comme il y a huit écluses jumelles dans les plans que je

(1) Ce chiffre avancé pendant les études du Board devait être entièrement justifié par son Rapport. Il énonce, en effet, que les écluses de Gatun comporteront 330 000 mètres cubes de béton par couple d'écluses jumelles de 8 mètres de chute.

propose, la masse totale à transporter en trois ans serait 6 000 000 de tonnes, soit 2 000 000 de tonnes par an. Cela ferait 7 000 tonnes par chacun des 300 jours ouvrables.

Un tel transport conduirait à la formation à Colon de 7 trains de 1 000 tonnes chaque jour. Ce chiffre est parfaitement admissible pour la section du chemin de fer située dans la vallée du Chagres. Les trains auraient abandonné la moitié de leur charge en quittant les pentes douces de la vallée du Chagres. Les mêmes machines pourraient remorquer le reste du train sur l'autre côté de l'Isthme.

Tout homme connaissant les puissants et économiques résultats obtenus sur les grands lacs dans le transbordement entre navire et wagon d'énormes masses de minerai reconnaîtra que ces idées sont éminemment pratiques.

Par cette méthode, les trois éléments de la maçonnerie des écluses arriveraient à leur destination sans avoir emprunté aucun élément à la précieuse et rare main-d'œuvre isthmique.

Celle-ci doit être jalousement gardée pour les opérations isthmiques proprement dites.

Naturellement, à ce montant doit être ajoutée la masse nécessaire pour le barrage de Gamboa, mais elle jouera un rôle relativement subalterne en comparaison de l'ensemble des 8 grandes écluses jumelles.

Temps de construction des écluses.

La question de la construction des écluses est, de cette manière, réduite à l'excavation de leur emplacement et au dépôt du béton ensuite. Pour faire le béton, il suffit d'excaver dans des dépôts de pierres cassées, de sable et de ciment, de charger de légers wagonnets ($1/2$ mètre cube de capacité), et de verser leur contenu avec la quantité d'eau nécessaire dans des tubes dont l'autre extrémité laisse tomber le béton tout fait à sa place.

Étant donnée l'extrême simplicité de ces opérations et l'extension de la surface des écluses, on peut en toute sécurité admettre que 300 mètres cubes de béton seront déposés journallement dans chaque écluse avec 200 ouvriers. Cela ferait 600 mètres cubes par couple d'écluses jumelles avec

400 hommes (1), soit 180 000 mètres cubes par an. Le béton des écluses pourrait donc se faire en un peu plus de deux ans avec 3 200 hommes (8 écluses jumelles).

Il est facile de concevoir qu'avec un pareil plan l'exécution des écluses en quatre ans peut être réalisée.

Si nous consacrons deux ans à l'excavation des écluses et si le dépôt du béton est commencé aux têtes de façon à en terminer en 6 mois avec les têtes, l'érection des portes se fera pendant la pose du reste du béton en un an et demi.

Le délai d'un an et demi pour le montage des portes sera plus que suffisant si ces dernières sont envoyées des États-Unis en gros tronçons de 10 tonnes et plus. De cette façon on limitera au minimum le rivetage dans l'Isthme.

Naturellement, en exploitation, les portes seront manœuvrées soit à la main, soit avec des machines électriques ou hydrauliques.

Il n'entre dans mon programme de quatre ans que l'installation des appareils de manœuvre à la main. La machinerie plus compliquée de la manœuvre mécanique sera établie après.

La seule différence entre le temps nécessaire aux écluses de Bohio et le temps nécessaire aux autres sera que l'emplacement des premières devra pendant un an être occupé par la dérivation du Chagres. Par suite, elles doivent être faites en trois ans au lieu de quatre, ce que je crois très praticable.

Marges de sécurité donnant toute garantie que l'ouverture au trafic peut être accomplie en quatre années.

Comme le Président des États-Unis l'a si justement exprimé au Board of Consulting Engineers, le moment où le premier navire passera d'un océan à l'autre ne peut arriver trop tôt, ce sera le jour de la victoire sur la nature.

Il importe très peu que ce jour-là les travaux soient ou ne soient pas complètement finis. Le trafic de 6 000 000 de tonnes qui passera dans les premières années ne nécessite pas les

(1) Ce sont exactement ces mêmes chiffres que la minorité du Consulting Board adoptait plus tard, dans son Rapport du 20 janvier 1906, pour l'érection des écluses de Gatun (page 84 du Rapport). Pour les 3 écluses jumelles et en échelle, elle admettait 1 800 mètres cubes par jour, soit 600 mètres cubes de béton par écluse double et par jour. Le délai total fixé pour le bétonnage était de 2 ans et un quart.

amples dispositions prévues. Un pareil trafic ne correspond qu'à un passage dans chaque sens toutes les douze heures.

Pour un transit aussi restreint, le Canal peut être aussi bien ouvert avec 33 mètres de largeur qu'avec 45. Pour un transit aussi restreint, le Canal peut être ouvert avec une seule écluse au lieu de deux écluses accolées. Il suffira pour celle non terminée que la tête d'amont soit achevée pour empêcher l'eau d'entrer et que la tête d'aval soit protégée par un batardeau.

J'ai montré que l'excavation peut être faite avec ses dimensions définitives en quatre ans, sans même atteindre le débit moyen annuel de l'ancienne Compagnie. Dans sa dernière année (1888), il faut se le rappeler, elle avait 2 à 3 000 hommes occupés aux écluses en dehors des chantiers d'excavation proprement dits.

J'ai montré que les écluses et barrages peuvent être achevés dans la même période de quatre ans sans effort exceptionnel. Ils peuvent être terminés en n'admettant que des chiffres très raisonnables, très inférieurs à ceux que j'ai personnellement obtenus dans des travaux entraînant la préparation de grandes masses de béton.

Quoi qu'il en soit, certains événements pourraient obstruer l'évolution régulière d'un programme basé sur des chiffres parfaitement raisonnables et parfaitement modérés. Le manque de main-d'œuvre, par exemple, pourrait paralyser partiellement les travaux. Je dois toutefois faire remarquer en passant que la *main-d'œuvre nécessaire dans mon projet n'est pas supérieure à ce que l'ancienne Compagnie avait recueilli dans les Antilles*. Même si une éventualité de manque de main-d'œuvre ou toute autre se produisait, on pourrait encore obtenir le passage en quatre ans des plus grands navires actuellement à flot en réduisant d'un tiers la largeur des tranchées, en limitant l'effort de construction des écluses à l'érection d'une écluse simple et des parties vitales de l'écluse jumelle.

Le Canal aurait encore une cuvette égale à celle des plus grands canaux du monde.

L'entier achèvement du canal à bief élevé avec ses dimensions normales serait fait après, en un an ou deux au plus. En même temps serait conquise la position stratégique technique qui garantit la construction en vingt ans sans perturbation de trafic

du « Détroit de Panama ». C'est la seule solution complète du problème que posent les nécessités militaires et économiques de la jonction des océans. C'est la grande voie navigable libre de toute écluse de marée, large de 150 mètres environ au fond, profonde de 14 mètres environ aux plus basses marées. Le canal à niveau sera encombré par ses écluses de marée et étranglé par ses 45^m,75 de largeur et son insuffisante profondeur de 10^m,67.

P. BUNAU-VARILLA.

Washington D. C., 6 novembre 1905.

COMMENTAIRE DU CONSULTING BOARD

sur le projet de M. Bunau-Varilla

(Extrait du Rapport de la majorité du Consulting Board,
daté du 10 janvier 1906 (1).

Plan de M. P. Bunau-Varilla.

M. Bunau-Varilla propose de construire un canal à écluses avec un bief élevé et après son achèvement de le transformer en un canal à niveau. Il estime le temps nécessaire pour compléter le canal à écluses à quatre années, avec un bief élevé à 39^m,65 au-dessus de la mer.

La transformation exigera l'élargissement de tout le chenal aussi bien que l'approfondissement de tous les chenaux au-dessus de la mer.

L'élargissement au-dessus de l'eau doit être fait d'abord par les méthodes ordinaires pour l'excavation à sec, mais toutes les excavations au-dessous de l'eau doivent être faites par dragage.

En employant la puissance hydraulique pour développer de l'électricité et en alimenter les dragues et autres instruments, il estime que le travail peut être fait à très bas prix.

Bien que l'assertion ne soit pas matériellement erronée, elle prépare l'esprit du lecteur à supposer que toute l'économie est attendue de l'emploi de l'électricité, alors qu'en réalité le facteur essentiel est l'emploi du travail sur l'eau en substitution du travail à sec. Il ressort d'une façon parfaitement claire du texte principal et des deux mémorandums que l'électricité n'est employée que pour réduire encore le prix déjà extrêmement bas des dragages par rapport à l'excavation à sec.

(1) Les réponses aux objections du Board sont placées au-dessous des paragraphes correspondants et en caractères *italiques*.

Dans une section suivante, le Board a exposé que, d'après son jugement, n'importe quel canal à écluses peut être transformé d'une manière telle que si le temps, le coût et le danger sont placés hors de considération, le changement peut être fait sans un sensible dérangement pour le transit. Si la dernière condition était observée avec rigidité, le temps et le coût seraient grandement augmentés et il est probable que pour éviter cette augmentation extraordinaire, que quelque gêne au trafic serait tolérée dans le cours de la transformation, comme dans beaucoup de canaux ou de voies navigables dont les profondeurs et les largeurs ont été augmentées.

Il est évident, d'après le contexte même de l'assertion précédente, que le rapport cherche non à élucider mais à éluder la question. Laisser de côté le temps, le coût et le danger dans l'examen de la transformation, c'est éluder les trois données essentielles du problème. On pourrait dire aussi qu'on peut toujours faire un autre canal à côté et abandonner le premier. Ce serait une façon de ne tenir compte ni du coût, ni du temps, ni du danger.

La seule question est précisément la suivante: En vue du temps, du coût et du danger, quelle est la meilleure solution? Le Board n'a pas voulu y répondre.

Les démonstrations surabondantes fournies au sujet de l'indépendance complète du transit en cas de transformation par la méthode que je propose restent donc intactes.

M. Bunau-Varilla a esquissé au Board un procédé très ingénieux à suivre en réalisant cette transformation. Il se réfère spécialement aux difficultés d'éliminer les écluses successivement et de se débarrasser des déblais. Si les écluses sont isolées (comme ce serait le cas avec le projet de canal à écluses avec bief supérieur à 18^m,30 au-dessus de la mer), il modifierait leur construction en mettant le seuil des portes d'amont au niveau du fond du bief inférieur au lieu de le mettre au niveau du fond du bief supérieur, comme c'est la pratique usuelle. Cela ajouterait grandement au poids de ces portes et les rendrait un peu moins convenables pour l'exploitation.

Le rédacteur de cette partie du Rapport n'a pas remarqué que cette modification de la porte d'amont la rendrait purement et simplement

identique à la porte d'aval. L'objection qu'il élève est donc absolument dénuée de toute base, car on n'a jamais remarqué dans une écluse qu'il y ait plus de difficulté à manœuvrer la porte d'aval que la porte d'amont, bien que la première soit plus grande que la seconde.

Avec des écluses ainsi arrangées, le canal, en amont de l'écluse, serait approfondi par étapes modérées de 5 à 10 pieds, par exemple.

Pendant le cours de l'approfondissement, la pleine profondeur de 40 pieds serait maintenue dans le canal et aucune excavation ne serait nécessaire à une profondeur supérieure à 45 ou 50 pieds.

Après cet approfondissement partiel, dans toute l'étendue du bief supérieur, l'eau serait abaissée de la même quantité. En répétant la même opération suffisamment, on amènerait le bief supérieur au même niveau que les biefs adjacents. Alors les portes des écluses limitant le bief supérieur seraient laissées grandes ouvertes.

Avant de commencer un approfondissement ultérieur, il serait nécessaire d'enlever les écluses jumelles. On le ferait d'abord pour l'une pendant que l'autre laisserait passer la navigation.

Cette assertion, qui tend à prouver que l'approfondissement sera successivement interrompu, est sans aucun fondement.

J'ai longuement expliqué que la mise à niveau du canal à écluses serait dans mon projet accompagnée d'un doublement de la largeur du fond et portée de 150 pieds à 300 pieds (45^m, 75 à 91^m, 50). J'ai établi que dans ces conditions on pouvait toujours préparer latéralement une voie complètement libre. Quand on attaquera les écluses pour les détruire, la navigation passera dans un chenal latéralement à ces écluses. En disant que la navigation passera dans une écluse pendant qu'on enlèvera l'autre, on admet donc implicitement que ma proposition qui semble en discussion est exclue. On raisonne comme si la largeur de 150 pieds était maintenue après transformation, mais on se garde toutefois de l'énoncer, car il serait difficile de soutenir que cette largeur sera nécessairement conservée à 150 pieds (45^m, 75) puisque déjà dans le projet même de la majorité du Consulting Board (canal à niveau et à écluses de marée) on donne 200 pieds de lar-

geur de plafond au Canal, dans le massif central, au lieu de 150 pieds jusque-là admis. La discussion est donc menée comme si, en transformant le canal de la forme à écluses à celle à niveau, on devait se contenter d'une largeur au plafond plus faible que celle que le Rapport lui-même reconnaît nécessaire dès aujourd'hui pour un simple canal à niveau.

Si les écluses étaient en échelle de deux ou plus, la modification de la construction initiale ne serait pas si simple.

Dans chaque écluse, au-dessous de l'écluse supérieure, une paire de portes additionnelles serait placée près de la porte d'amont, de façon que lorsque l'écluse supérieure sera enlevée et l'emplacement approfondi les portes additionnelles soient employées comme portes d'amont.

Jusqu'à l'achèvement du changement, les portes provisoires augmenteraient les écluses de 30 mètres environ. Cela augmenterait le temps d'emplissage et pèserait d'autant sur les réserves d'eau.

Il est difficile de répondre à une discussion placée sur un terrain aussi mouvant. Contre toute évidence, il est parlé de ce qu'il adviendrait dans une échelle de plus de 2 écluses. Je n'ai jamais parlé que de l'emploi d'échelles de deux écluses, car je crois inutile et dangereux d'employer des échelles de trois écluses ou plus.

Or, pour une échelle de deux écluses, tout ce qui vient d'être dit est absolument faux.

Les portes supplémentaires ne seront posées, comme je l'ai dit avec tous les détails désirables, qu'au moment où l'écluse d'amont aura cessé d'être utile. Pendant toute la période de l'abaissement du bief supérieur qui correspond à la suppression de l'écluse supérieure, l'écluse inférieure fonctionnera avec ses portes normales et la dépense d'eau sera normale.

Au moment où l'écluse supérieure cessera de fonctionner, les portes de l'écluse inférieure seront remplacées par des portes nouvelles qui seront l'une et l'autre avancées de la même longueur au delà du site de celles qu'elles remplacent.

La longueur de l'écluse ne variera donc pas d'un millimètre et la consommation d'eau sera rigoureusement restée normale.

Encore une fois, le rédacteur de cette partie du Rapport se place dans une hypothèse qu'il ne définit pas et qui est en contradiction abso-

lue avec ce que j'ai proposé. L'objection qu'il tire d'une telle discussion peut surprendre un lecteur inattentif, elle ne peut porter sur celui qui aura examiné avec précision mes propositions.

Le procédé de transformation du Canal serait le même que pour un canal à écluses isolées jusqu'au moment où l'écluse supérieure laisse ses portes complètement ouvertes. C'est le moment où le niveau du bief supérieur a été baissé d'une hauteur égale à la chute de l'écluse supérieure.

La transformation à partir de ce moment devient plus difficile. En effet, si une écluse est fermée pour excaver le fond de l'écluse supérieure, cela aboutira à faire une navigation éclusée à travers l'autre et non plus une navigation ouverte. Si le trafic est important, il pourrait être nécessaire d'ajouter une troisième échelle pour en avoir deux constamment disponibles. Et d'ailleurs une troisième échelle pourrait être exigée pour la sécurité de la navigation de façon à en avoir une réservée, toujours prête, excepté durant les courtes périodes lorsqu'une échelle sera en réparation et la machinerie remise en état.

Il paraît probable qu'il sera judicieux de construire la troisième échelle d'écluses avant de commencer la transformation. Si cela était réalisé, tout changement désiré pourrait être fait en fermant successivement une échelle à la navigation. Et avec cette troisième échelle, les modifications suggérées par M. Bunau-Varilla, qui soulèveraient des objections dans un canal à écluses, pourraient être éliminées.

C'est la première fois qu'on émet l'idée de faire une troisième échelle d'écluses pour avoir une échelle de rechange continuellement disponible.

C'est très sage, mais aussi très coûteux. Il semble plus que singulier que la même personne le suggère alors qu'elle se refuse à envisager l'hypothèse d'un doublement de la largeur de 45^m, 75 au plafond en cas de mise à niveau du Canal, chose que le bon sens vulgaire montre comme une opération corrélative à l'œuvre de la transformation sous la pression d'un abondant trafic.

Si je l'avais indiquée comme nécessaire à la transformation, on n'eût pas manqué de s'exclamer sur l'exagération d'une telle dépense.

Comme je ne l'ai pas fait, il semble qu'on la propose pour paraître rejeter les dispositions préconisées. C'est un trompe-l'œil. Le système que l'on veut bien qualifier de très ingénieux et qui permet d'opérer la transformation sans arrêter le trafic reste tout entier debout. C'est une simple modification de pur détail relativement au moyen de réaliser le principe que j'ai énoncé et qui seul permet la transformation. Ce principe consiste à libérer l'écluse de sa liaison avec le fond du bief, à disjoindre ces deux éléments à besoins contradictoires.

Le rédacteur du rapport est dans l'obligation de reconnaître qu'on ne peut faire autrement pour effacer les écluses supérieures de l'échelle. En ce qui touche l'écluse inférieure, il propose un mode différent pour appliquer toujours le même principe à l'écluse inférieure. Il eût été peut-être équitable de ne pas terminer cet exposé par une phrase laissant croire que le mode nouveau se substitue à ma proposition et permet de la rejeter. Il eût été équitable de dire que sur ce point de détail les principes que j'ai posés sont respectés et qu'il ne s'agit que d'un mode différent de déplacer la porte d'amont de l'écluse inférieure, de façon à satisfaire aux conditions que j'ai définies.

Si l'on érige pour des raisons de convenance générale une troisième échelle, on devra quand même disposer les écluses inférieures comme je l'ai proposé.

Si on ne le fait pas, on perdra l'avantage de cette sécurité pendant la fermeture d'une des trois échelles. Les travaux qui s'y exécuteront la condamneront entièrement.

Si, au contraire, toutes les trois sont disposées comme je l'ai dit, les travaux de l'échelle fermée ne la condamneront pas. Elle restera toujours disponible pour le cas où un accident arriverait à l'une des deux autres. Il suffira de retirer les appareils de dérochement qui excavent le fond de l'écluse amont pour la rendre immédiatement au transit.

L'existence d'une troisième échelle ne saurait donc modifier en quoi que ce soit la valeur de la solution que j'ai proposée pour l'enlèvement des maçonneries des écluses supérieures pendant l'exploitation des écluses inférieures.

Mais il suffit de se reporter à mes explications détaillées pour voir que la troisième échelle est une entière superfétation en ce qui touche l'effacement des écluses.

Si elle existe, elle aura, pendant cette période, le même rôle que si on ne faisait aucune transformation. Si elle n'existe pas, l'efface-

ment de l'écluse se réalisera sans aucune gêne pour le travail et en employant les deux écluses basses à la fois, sauf en se limitant pour l'une d'elles à ne pas faire passer pendant quelque temps les navires exceptionnels calant plus de 30 pieds d'eau.

Je me suis suffisamment expliqué pour n'avoir pas à répéter les mêmes démonstrations une seconde fois.

Pour se débarrasser des déblais exécutés pendant la transformation, M. Bunau-Varilla propose de construire une échelle d'écluses qui unirait le niveau de la mer avec la surface du lac de Gamboa et d'employer ce lac comme décharge des déblais dragués dans le Canal. Celles de ces écluses qui seraient au-dessous de la surface du bief supérieur du canal à écluses auraient à être construites avant de relever l'eau dans le Chagres et toutes auraient à être construites avant de commencer la transformation. Les écluses inférieures seraient submergées et ne seraient point utilisées jusqu'à ce qu'elles émergent avec l'abaissement successif du bief supérieur. Avec cette communication entre le bief et le lac, il ne serait pas nécessaire à un moment quelconque de faire passer les chalands par les écluses du Canal et toute gêne à la navigation aux écluses serait entièrement évitée.

Cette partie de l'exposé est nette, claire, dépourvue de toute ambiguïté et pose nettement la question.

Cette méthode de se débarrasser des déblais est faisable mais non économique, et bien que la décharge d'un grand volume de déblais dans le lac de Gamboa réduirait dans une certaine mesure son utilité pour contrôler les crues ou pour retenir les apports, le volume du lac est si grand que cette réduction ne serait pas importante.

Objecter que cette méthode n'est pas économique, c'est nier l'évidence éclatante et la pratique de tous les jours si l'objection porte sur les dépenses de transport des déblais par les écluses.

L'éclusage est une opération comportant des dépenses si infimes qu'elles sont, pourrait-on dire, absolument nulles.

Si, au contraire, l'objection porte sur le coût de l'érection de l'échelle d'écluses il y aurait eu, dans l'intérêt de l'équité, à dire si

oui ou non les prévisions sont justes, si oui ou non un péage de 16 centimes par mètre cube du « Déroit de Panama » amortit ou n'amortit pas la construction de l'échelle d'écluses de Gamboa.

Si ce péage amortit le coût de l'échelle d'écluses, on peut dire que c'est acheter à un prix infime l'acquisition de la plus puissante, de la plus économique, de la plus admirable méthode de transport et de décharge qui ait certainement jamais été produite.

Quant aux objections basées sur la réduction de volume du lac, on sait ce qu'il faut en penser. La suppression de l'obligation de faire des réserves pour la saison sèche fera plus que compenser le volume des déblais apportés. Il est donc faux de dire qu'après la création du Déroit de Panama, l'efficacité du lac pour contrôler les crues ou retenir les apports sera diminuée si peu que ce soit. C'est le contraire qui sera le cas.

Si un canal à écluses avec un petit lac terminal sur le versant atlantique était adopté, une variante au plan d'élimination des déblais soumis par M. Bunau-Varilla consisterait à faire passer des chalands porteurs de déblais à travers les écluses du Canal jusqu'à la mer. Cela occasionnerait certains troubles à la navigation. On pourrait aussi reprendre la plus grande part du terrain dragué sur différents points le long du Canal et le déposer sur les surfaces au-dessus de l'eau, mais cela coûterait cher.

Avec un bief supérieur à 85 pieds (25^m,92) s'étendant jusqu'à Gatun, une grande quantité de déblais pourrait être déversée dans les régions basses du lac de Gatun, au-dessus de Bohio, jusqu'à ce que le niveau soit abaissé à 60 pieds (18^m,65), et entre Gatun et Bohio jusqu'à ce que le niveau soit abaissé à 30 pieds (9^m,32).

La masse relativement faible qui resterait alors pourrait être soit pompée à des élévations supérieures, si elle se prête à ce traitement, soit passée à travers les écluses jusqu'à la mer sans des troubles sérieux ni très prolongés pour le transit. Si ces troubles étaient trouvés inadmissibles, les déblais pourraient être dragués dans les chalands mis sur wagons et déchargés sur des terrains plus élevés.

Bien que le prix unitaire de la reprise serait considérable, le volume serait faible comparé à ce qui devrait être traité de même manière si le niveau de 60 pieds (18^m,65) était adopté

pour le bief supérieur et le niveau de 30 pieds (9^m,32) pour la distance de Gatun à Bohio.

Les variantes que l'on suggère à un projet donné sont généralement inspirées par le désir d'apporter une amélioration et non une détérioration. Ce n'est pas ce qui s'est produit pour la variante que l'on suggère à ma proposition.

A un système simple, précis, complet, on propose comme variante un système alambiqué, boiteux, défectueux, incomplet.

A la décharge située au centre de l'Isthme, dans le lac de Gamboa, on veut en substituer d'autres situées à l'extrémité de l'Isthme ou en dehors tout à fait, en mer.

Aux nombreux défauts que le rédacteur de cette partie du rapport n'a pas pu éviter de citer pour sa variante rétrograde, il faut ajouter les suivants :

Les terres déposées dans les basses vallées constitueront un hérisson déréglé dans lequel s'accumuleront les eaux stagnantes après la mise à niveau. Elles barreront les lignes d'écoulement naturelles et devront être l'objet de coûteux travaux de règlement après qu'elles auront émergé.

Mais ce n'est pas tout, ces terres déposées dans les basses vallées du Chagres y seront pour le moins inutiles. Déchargées derrière le barrage de Gamboa en masses énormes, elles jouaient un rôle essentiel, celui de doubler le barrage de maçonnerie par une surélévation du fond de la vallée sur plusieurs kilomètres.

Cette énorme masse devait jouer le rôle du véritable barrage, d'un barrage indestructible dont le mur de Gamboa restait en fin de compte un simple mur de soutènement.

La variante laisse le mur de Gamboa isolé, à la merci d'une commotion tellurique ou d'un attentat criminel.

On se demande en réalité à quel étrange besoin de modification peut obéir un esprit technique pour proposer, comme une variante, des dispositions aussi détestables au point de vue des opérations à effectuer et du but à atteindre.

Il n'y a qu'une explication à ce fait singulier, c'est qu'on tenait à laisser dans l'esprit d'un lecteur superficiel la notion que la proposition que j'avais émise avait quelque chose d'incomplet.

Il faut ajouter que le rapport ne discute absolument pas le projet qui est présenté. On laisse de côté l'énorme avantage de la décharge de Gamboa pour un bief à 130 pieds (39^m, 65) qui est proposé et l'on examine le cas des biefs à 60 et 85 pieds qui ne sont pas proposés.

Enfin, la seule alternative envisagée qui ne soit pas évidemment ridicule, c'est celle où l'on ferait un lac à 85 pieds d'altitude jusqu'à Gatun. Or cet emplacement ne pouvait être indiqué que par des esprits absolument étrangers aux difficultés de l'Isthme.

Le barrage de Gatun est un invraisemblable exemple de la fantaisie débauchée de l'esprit technique.

La seule variante qui ne tombe pas d'elle-même, c'est celle qui exige l'adoption d'une œuvre inadmissible : le barrage de Gatun.

La revendication faite par M. Bunau-Varilla, que l'excavation peut être faite à bas prix, s'appuie principalement sur l'espoir que, grâce à l'usage de la puissance électrique développée au barrage de Gamboa et distribuée le long de la ligne, la dépense de charbon pour produire la vapeur sera éliminée et le coût de toutes les opérations mécaniques réduit dans une proportion qui a paru au Board une estimation très exagérée de l'économie ainsi obtenue; et en plus sur l'espoir que l'excavation sur l'eau peut être faite à bien meilleur marché qu'en excavant à sec. Ce coût réduit du dragage est probablement vrai pour le sable, l'argile et autres matières qui peuvent être enlevées sans être ébranlées par quelque autre opération préliminaire. Mais presque tous les terrains à draguer pour la transformation sont classés dans les devis du Board comme rochers et auront à être ameublés en minant sous l'eau, en brisant ou pulvérisant, comme dans la méthode Lobnitz ou par toute autre méthode qui peut être décidée. D'autre part, on doit se souvenir que la plus grande part du dragage doit être faite sous 40 ou 50 pieds d'eau, ce qui ajoutera grandement au prix de revient. Les prix unitaires adoptés par le Board représentent, d'après son meilleur jugement, le coût de l'excavation des diverses classes de terrain que la transformation nécessiterait avec les meilleures méthodes et machines en usage.

Il est à peine nécessaire de faire remarquer les erreurs fondamentales que ce paragraphe contient. 1° Dans une drague où la force motrice ne coûte rien, il est absolument indifférent que le dragage soit fait à 20 ou à 50 pieds; 2° il est absolument faux de dire que presque tous les terrains à draguer soient du rocher. La Commission du Canal isthmique a admis qu'il y avait environ 1/2 de roche

tendre, 1/4 de roche dure et 1/4 de terrains meubles dans le Canal, en dehors des sections maritimes, c'est-à-dire du K. 24 au K. 62. Dans les sections maritimes, entre l'océan Atlantique et le K. 24 et entre le Pacifique et le K. 62, presque tout est en terrain meuble.

La personne qui a écrit cette partie du rapport, a évidemment considéré qu'il était nécessaire de faire cette assertion si contraire à tous les faits matériels en vue d'augmenter l'importance des objections illusoires tirées du prix d'excavation adopté pour la roche sous l'eau. Cette assertion erronée s'harmonise avec l'adoption du prix prohibitif, et dix fois trop haut, de 12 fr. 50 (2 dollars 50 par yard cube, soit 16 fr. 40 par mètre cube) pour l'excavation du rocher sous l'eau et avec la suppression des informations de MM. Quellenec et Hunter, relatives aux véritables prix dix fois plus faibles établis à Manchester et à Suez.

C'est ainsi que la nécessaire substitution de la drague à l'excavateur fut condamnée en 1905 pour ce motif imaginaire.

« Le terrain est trop dur ».

La première Commission formée après la chute de l'ancienne Compagnie était aussi arrivée aux mêmes conclusions et, en 1890, avait condamné le système de dragage que j'avais installé au centre de l'Isthme, sur les deux versants du massif le plus élevé du Col de Culebra.

J'avais en fait inauguré le dragage de la Culebra à la fin de 1888, mais les travaux de dragage furent interrompus à leur début par la crise financière qui a paralysé l'achèvement du Canal.

Cette Commission formée d'autorités techniques connues condamna ma méthode en 1890, mais cette fois ce fut pour une raison inverse de celle que le Consulting Board mit en avant en 1905. Elle disait :

« L'idée de se faire un auxiliaire du principal ennemi à redouter sur les chantiers de cette importance, c'est-à-dire des eaux pluviales si abondantes dans ce pays, est certainement très séduisante. »

Et la Commission concluait en exprimant que la mollesse des terrains y faisait obstacle. Elle terminait ainsi : « On sera peut-être obligé d'y recourir (à la drague) pour la mise à fond, c'est une ressource à ne pas perdre de vue. »

Les raisons, on le voit, ne manquent jamais au juge qui veut condamner.

Il convient d'autre part, pour montrer la nature vraie des objections soulevées par le Board, d'appeler l'attention sur ce fait, que dans son rapport il a interverti les deux facteurs de l'économie qui résultera du système proposé.

Le Rapport représente l'emploi gratuit de la puissance électrique du lac de Gamboa comme le principal élément dont j'attends des économies, alors que ce n'est qu'un élément subalterne. Il présente, en outre, comme un élément subalterne ce que j'ai exposé comme étant la clé de voûte du système de construction, son principal et essentiel élément : la substitution du travail sur l'eau au travail à sec.

Le « Déroit de Panama » ne peut être réalisé autrement que par le dragage ; mais que l'électricité soit gratuite ou non, c'est la différence entre le coût de l'établissement et de l'entretien pendant 10 ans d'une station centrale de 24000 chevaux net ou le coût du harnachement de chutes donnant brut 48000 chevaux.

Il est, certes, bien douloureux dans une discussion scientifique d'avoir à soulever la question de loyauté. Puis-je pourtant me soustraire à cette obligation quand je vois exclus du commentaire, fait sur les prix que le Consulting Board adopte, la remarque excessivement importante qu'a énoncée la Sous-Commission chargée d'étudier le coût de la transformation.

Cette Sous-Commission (Appendice P. du Rapport) termine son étude en disant : « Nous exprimons la croyance que dans l'avenir des méthodes et des mécanismes pour le travail nécessaire à la transformation seront améliorés au point de diminuer grandement le coût et le temps de la transformation.

Ainsi donc le Sous-Comité, composé de MM. Abbot, Noble, Ripley, Tincanzer et Stearns, émet dans des termes d'une singulière précision sa certitude dans la future réduction du coût de la transformation et aucun écho ne s'en trouve dans le rapport principal.

N'est-il pas évident que la liberté d'esprit du rédacteur de cette partie du rapport était incomplète et que le besoin de représenter la transformation comme une difficulté inacceptable a parlé plus haut que l'équité ?

La comparaison entre le coût de la construction du canal à écluses et de son ultérieure transformation en canal à niveau avec le coût de la construction d'emblée de ce canal à niveau, sur la base des prix unitaires adoptés, montre que l'enlèvement du terrain sous l'eau, grâce à des mines sous-marines ou d'autres procédés de désagrégation, puis par le dragage, coûterait beaucoup plus que l'enlèvement à sec (1).

(1) On verra dans le *post-scriptum* que les chiffres produits devant l'Institut des Ingénieurs civils de Londres, le 20 juin 1907, ont établi que les prix d'extraction des

Comme il est montré dans une section ultérieure de ce rapport, le coût final d'un canal à niveau, obtenu en dernier lieu par le procédé de la transformation, serait environ 500 000 000 de francs plus cher que celui obtenu par construction immédiate, sans compter la perte des coûteuses écluses et autres structures abandonnées ou démolies après réduction au niveau de la mer.

La tactique adoptée pour aboutir au rejet du système de transformation était évidemment basée sur l'admission de prix exagéré pour l'enlèvement de la roche sous l'eau.

On remarquera que ni dans le Sous-Comité chargé de l'essentielle tâche de fixer les prix unitaires, ni dans le Sous-Comité chargé d'évaluer les frais de la transformation ne figurent les deux seuls ingénieurs du Board qui fussent familiarisés avec l'extraction économique des roches sous l'eau: Mr. Quellennec, ingénieur-conseil du Canal de Suez, et Mr. Hunter, ingénieur en chef du Canal de Manchester.

Nous avons donné plus haut la composition du Sous-Comité qui a évalué les frais de la transformation. Mr. Quellennec et Mr. Hunter n'y figurent pas.

Le Comité des prix unitaires était formé de MM. Parsons, Welcker et Randolph; on n'y voit pas non plus les noms de MM. Quellennec et Hunter.

C'étaient pourtant les deux seuls des membres du Board qui pussent donner le prix réel actuel d'excavation des roches sous l'eau. Mr. Quellennec a remis une note déclarant que le prix de revient à Suez était 1 fr. 65 par m. c. (1) pour le brisage au pilon Lobnitz. Mr. Hunter a dû déclarer aussi que cela revenait à Manchester au

roches submergées pouvaient être fixés à 1 fr. 80, 1 fr. 54 ou 1 fr. 20 par mètre cube d'après les prix élémentaires obtenus respectivement à Suez, à Blyth et à Manchester. Comme l'extraction à sec des roches modérément dures est environ 3 fr. 30 par mètre cube, on voit que les prix actuels sont déjà par le dragage entre le tiers et la moitié du prix d'excavation à sec dans la zone tempérée. Dans la zone tropicale, les pluies et la déféctuosité de la main-d'œuvre augmentent le coût de l'excavation à sec considérablement, alors que ces difficultés supplémentaires n'existent pas pour le travail sur l'eau.

(1) Ces prix, déjà si bas à la fin de 1905, ont baissé encore depuis, par suite de la meilleure manœuvre des machines Lobnitz résultant d'une plus complète familiarité du personnel. Le 20 juin 1907, devant l'Institut des Ingénieurs civils de Londres, le prix moyen de concassage du rocher à Suez, résultant d'une note de Mr. Quellennec, était tombé à 1 fr. 40 et le prix moyen à Manchester résultant des déclarations verbales de M. Hunter était tombé à 0 fr. 80 par mètre cube.

prix qu'il a publié plus tard dans l'Engineering du 17 août 1906, soit 1 fr. 20 (1) par mètre cube.

Nous avons vu que le prix fixé par un Comité dont les seuls gens compétents étaient exclus arrachait cette réflexion de Ponce Pilate au Sous-Comité étudiant la transformation :

« Nous croyons que cela sera moins cher plus tard. »

C'était probablement l'écho des discussions qui ont dû avoir lieu en même temps qu'un paratonnerre contre le jugement foudroyant de l'avenir. Ce jugement est déjà venu. Le 23 janvier 1907, devant la Society of Arts, son éminent vice-président, sir John Wolfe Barry, a déclaré renversant (startling) le prix de 16 fr. 70 adopté par le Consulting Board pour le prix d'extraction de la roche sous l'eau, alors que le prix obtenu par MMr. Quellenec et Hunter, respectivement, étaient à l'époque de cette discussion d'environ de 1 fr. 65 et 1 fr. 20 plus 0 fr. 40 pour dragage, transport et décharge (1).

Il n'y a donc pas à s'occuper du raisonnement que fait le Rapport sur le prix du canal à niveau réalisé en deux étapes. Ce raisonnement est faux parce qu'il se base sur un prix falsifié et dix fois exagéré.

Mais le rédacteur de cette partie du rapport ne se contente pas d'énoncer des affirmations qui sont fausses, parce qu'elles reposent sur des prix élémentaires faux. Il va plus loin, il y a joint des contre-vérités matérielles, parce qu'il ne lui semble pas que les prix élémentaires, malgré leur fausseté, donnent assez de désavantage à la méthode de transformation au point de vue du prix de revient.

A la page 101 du Rapport, la minorité du Consulting Board écrit que le canal à écluses qu'elle recommande coûtera cinq cent millions de moins que le canal à niveau recommandé par la majorité (canal à niveau, 247 021 200 dollars, — canal à écluses, 139 705 200 dollars). A la page 411 du Rapport, Appendice P, on lit que (avec les prix unitaires dix fois exagérés) la transformation coûtera 208 985 000 dollars.

Si l'on construit le canal à écluses, puis si on le transforme en canal à niveau, on aura successivement dépensé 139 705 200 dollars, puis 208 985 000 dollars, soit 348 690 200 dollars. Si l'on construit directement le canal à niveau, on aura dépensé 247 021 200 dollars.

La différence entre les deux procédés, en admettant les prix odieusement exagérés de transformation, sera donc 101 569 000 dollars, soit en chiffres ronds cinq cents millions de francs.

Cette différence, purement imaginaire d'ailleurs, ne suffit pas

(1) Voir la note de la page précédente.

au rédacteur du rapport, il ajoute que la différence entre les deux méthodes comprendra en outre des cinq cents millions « la « perte des coûteuses écluses et autres structures abandonnées et « démolies ».

C'est une contre-vérité pure et simple, la dépense de construction de ces structures est comprise dans le coût du canal à écluses et la dépense de destruction dans le coût de la transformation. C'est donc une addition entièrement fautive à la différence de cinq cents millions.

On voit immédiatement pourquoi cette addition est faite.

Tout lecteur intelligent, comprenant que l'exécution même du plus mal conçu des canaux à écluses donnera un dixième d'années plus tôt le passage qu'un canal à niveau exécuté à sec, serait porté à dire que la différence de prix de 500 000 000 de francs, même si elle était réelle, sera compensée par un demi milliard de recettes de trafic. Pour éviter ce fâcheux contre-temps, les ennemis du procédé rationnel de construction ont dû ajouter à la différence déjà fictive de cinq cents millions une autre différence, celle-là inventée de toutes pièces : « la valeur des écluses et autres coûteuses structures démolies. »

Les avantages que M. Bunau-Varilla réclame pour sa méthode d'excavation des strates successives sans occupation du chenal de navigation seraient réalisés seulement si les talus latéraux n'étaient pas raides, les avantages augmentant avec des talus doux et diminuant avec des talus raides. Comme, de beaucoup, la plus grande partie de l'excavation sous l'eau, dans son procédé de transformation, serait faite en terrain classé comme roc, de larges portions des talus latéraux seront raides à 4 mètres de hauteur pour 1 mètre de base et une très petite portion sera moins raide que 3 mètres de hauteur pour 2 mètres de base. Il est donc probable que très peu serait gagné par cette caractéristique spéciale du plan de M. Bunau-Varilla.

On retrouve ici encore une fois la méthode de raisonnement qui consiste à cacher l'hypothèse dans laquelle on se place pour émettre une objection. De cette manière le lecteur superficiel est amené à croire qu'une objection, soulevée pour un cas particulier spécifiquement exclu du projet, s'applique au principe même de la méthode sur laquelle il est basé.

L'effet de la raideur des talus sur la transformation est absolu-

ment nulle si, comme je l'ai dit, on donne au canal à niveau une largeur de 300 pieds ou plus, soit deux fois ou moins la largeur du canal à écluses jusqu'alors officiellement considéré.

C'est l'hypothèse dans laquelle j'ai présenté toute ma théorie de transformation, ce sont les dimensions inscrites sur les dessins accompagnant cette théorie dans le Rapport même du Consulting Board. Le lecteur superficiel doit donc bien s'attendre à ce que les objections portent sur ce que j'ai proposé. Il est donc conduit à penser que l'inclinaison des talus joue un rôle essentiel dans mon projet.

Il n'en est absolument rien. Même en supposant que les talus soient verticaux, et que la Culebra se laisse tailler des parois droites comme des murailles, il n'en résulterait pas le plus léger inconvénient pour la transformation. Depuis le début de cette opération jusqu'à son terme, le chenal initial de 45^m,65 (150 pieds) sera maintenu pour la navigation sans le plus léger emprunt de sa surface pour le service des travaux. Les travaux s'exécuteront dans un chenal réservé et indépendant de 150 pieds, pendant que la navigation parcourra l'autre chenal également large de 150 pieds. Les deux forment 300 pieds en tout.

Si la largeur est portée non à 300 pieds mais à 500, comme l'exige le Détroit de Panama, les travaux auront (avec des talus verticaux) constamment: 106^m,75 (350 pieds) de chenal réservé et la navigation: 45^m,65 de chenal indépendant (150 pieds).

On voit donc que les talus ne jouent aucun rôle si on se place dans l'hypothèse que j'ai définie et décrite comme la base de la théorie de la transformation, à savoir que la largeur, après transformation, doit être au moins double de la largeur initiale.

Si, au contraire, on prend un cas particulier, comme celui de la non-augmentation de largeur, tout change. C'est dans cette hypothèse que s'est placé le rapport sans le dire. Les objections qu'il formule ne s'appliquent donc qu'à ce cas.

Or, il est assez piquant de remarquer que le Board, qui ne discute ma proposition que dans l'hypothèse où aucune augmentation de largeur ne serait pas admise, a porté de lui-même de 45^m,75 à 61 mètres (de 150 à 200 pieds) la largeur du Canal dans la traversée rocheuse du massif central, tout en maintenant 150 pieds dans les terrains meubles du reste du tracé.

Dans l'hypothèse où il s'est placé pour son propre projet, il eût donc dû exprimer ceci: c'est qu'avec ma méthode de transformation les navires jouiraient toujours d'un chenal libre d'au moins 30^m,50 de largeur au plafond.

Cette dimension est à peu près égale ou supérieure à celle de tous les grands canaux du monde. Elle est donc suffisante pour la transformation si le trafic n'est pas d'une intensité énorme. Si le trafic est d'une intensité énorme, la largeur au fond doit être élevée à plus de 200 pieds pour le canal à niveau, et l'on rentre ainsi dans l'hypothèse sur laquelle est établie ma méthode : une largeur de 300 pieds au moins et de 500 avec le projet de détroit.

Alors qu'il est possible que le coût réel pourrait être diminué par des améliorations dans les voies et moyens d'exécution, améliorations qui sont encore à réaliser, il ne serait pas prudent d'en tenir compte et de réduire les estimations données ci-dessus.

Il est, à coup sûr, indigne d'une étude scientifique de prendre en compte une méthode de travaux non existante.

Mais que dire du refus opposé à l'examen et à l'étude de méthodes existantes et produisant les plus démonstratifs résultats sur un nombre considérable de chantiers, parmi lesquels sont les canaux de Manchester et de Suez dont les ingénieurs en chef font partie du Board?

Que dire de prix adoptés que ces méthodes existantes démontrent être dix fois trop élevés, d'après les chiffres officiels fournis par les ingénieurs en chef des deux plus grands canaux du monde.

N'a-t-on pas le droit de dire ce que sir John Wolfe Barry disait le 23 janvier 1907 à ce propos, c'est qu'il est « startling » (stupéfiant) de voir adopter un prix de 12 fr. 50 pour un travail que l'on exécute aux canaux de Manchester et de Suez pour 1 fr. 25 environ.

Le monde scientifique répétera demain, avec le grand ingénieur anglais, que les prix adoptés par le Consulting Board et qui devaient lui servir à condamner le projet du « Détroit de Panama » étaient « startling » (stupéfiant).

Il jugera de même l'assertion du Consulting Board, qui consiste à déclarer non existantes des méthodes réelles expérimentées depuis 18 ans et portées au plus haut degré de perfection pratique, une assertion qui consiste à reléguer dans les brumes du futur ce que deux des membres les plus éminents du Board lui ont décrit comme en travail sous leurs ordres.

M. Bunau-Varilla estime à quatre ans le temps nécessaire pour bâtir un canal à niveau élevé.

Bien qu'on pourrait défendre l'adoption d'écluses plus petites que celles proposées par le Board ou que celles exigées par la loi votée par le Congrès et sous l'empire de laquelle la construction du Canal a été commencée, elles devraient cependant admettre les navires de guerre les plus grands aussi bien que de grands navires de commerce.

Elles ne pourraient être faites aussi petites que celles proposées par la nouvelle Compagnie de Panama qui devaient avoir 25 mètres (82 pieds) de large et 225 mètres (738 pieds) de longueur utile. Le Comité technique a estimé que la construction des écluses de Bohio exigerait quatre ans après que l'excavation serait achevée, et aucunepériode plus courte n'a jamais été suggérée par une Commission depuis lors. M. Bunau-Varilla dans son projet ne prévoit pas seulement plus d'écluses le long du Canal que dans n'importe quel autre plan, mais il demande aussi la construction, comme formant partie du travail initial, des écluses en échelles conduisant du niveau de la mer au lac de Gamboa, qui sont fondées au-dessous du bief supérieur dans son plan.

En tenant compte, dans la mesure nécessaire, du temps afférent à l'approvisionnement du matériel d'excavation et à l'exécution de cette excavation elle-même, le terme de quatre années est de beaucoup trop court pour le travail à faire.

La Commission du Canal isthmique, dans son Rapport de 1901, avait mesuré le délai d'exécution du Canal par le délai d'exécution de la tranchée du massif central.

Dans son projet, cette tranchée exigeait 32 500 000 mètres cubes (43 000 000 yards cubes) et la Commission estimait à huit années l'exécution, plus deux ans de préparation.

A l'heure où le Board écrit son rapport, deux ans moins quatre mois s'étaient écoulés depuis la reprise des travaux par l'Amérique. L'exécution pure et simple du plan de 1901 eut donc exigé huit années d'après la Commission isthmique à partir de ce moment.

Réduisant de 32 500 000 à 15 000 000 de mètres cubes (20 000 000 yards cubes) le volume à excaver, j'avais le droit de réduire à quatre ans l'élément principal mesurant la durée de la construction du Canal.

Le Consulting Board n'a point discuté la légitimité de cette base.

Mais il a reporté la discussion sur un autre élément, la durée de la construction des écluses.

Il avait paru trop secondaire à l'Isthmian Canal Commission pour être mis en parallèle avec le temps exigé par l'excavation du massif central fixé par elle à huit ans.

Le Consulting Board est dominé par une crainte exagérée, celle de voir la construction des écluses durer fort longtemps. Il invoque pour la justifier le témoignage du Comité technique qui a fixé à quatre ans l'érection des écluses après l'excavation de leur emplacement.

Aucune commission depuis, dit le Board, n'a infirmé cette prévision. Il eût été plus vrai de dire qu'aucune commission ne l'avait confirmée et que la minorité du Consulting Board lui-même l'infirmait formellement.

En effet, pour son projet comportant trois écluses jumelles disposées en échelle à Gatun, la minorité admet que la maçonnerie exigera deux ans et un quart, soit presque rigoureusement ce que j'ai prévu pour des échelles jumelles de deux écluses.

Cette constatation dément l'assertion de la majorité du Board d'après laquelle quatre années seraient nécessaires à la construction des écluses après l'excavation faite. L'érection des portes peut se faire concurremment au dépôt du béton, c'est donc bien deux ans environ qu'il faut en tout après l'excavation.

Quant à celle-ci, elle est très aisément réalisable en deux années si l'on réfléchit au faible volume qui reste à excaver aux emplacements que j'ai indiqués.

La minorité a admis quatre années pour l'excavation de ses écluses du Gatun. Il y a là beaucoup plus que le double de l'excavation à réaliser sur les emplacements de mon projet. Cela tient à deux raisons : aucune excavation antérieure n'a été réalisée à leur emplacement et il y a trois écluses en échelle au lieu de deux.

Quant à l'argument tiré de ce que j'ai proposé plus d'écluses qu'en aucun autre plan antérieur, il est inconcevable qu'on ait pu le produire après avoir invoqué le projet de la Compagnie Nouvelle. Ce projet comportait quatre écluses de chaque côté du massif central, exactement comme le mien.

D'ailleurs, si l'affirmation du Consulting Board était vraie, si j'avais proposé plus d'écluses, cela ne changerait absolument rien au résultat.

L'avantage des écluses est que leur nombre n'accroît pas le délai total d'exécution parce que chaque chantier reste complètement indépendant des autres.

Enfin, le Consulting Board fait état des écluses basses de l'échelle permettant d'élever les déblais dans le lac Gamboa.

J'ai dit qu'elles devaient se faire immédiatement, cela voulait dire qu'elles devaient se faire avant la transformation commencée. Peu importe que ces écluses soient prêtes ou non le jour de la mise en eau du bief central. Le terrain naturel est à une altitude voisine de l'eau et rien n'est plus simple que de protéger par des batardeaux peu élevés l'exécution des travaux s'il reste à en faire alors.

On peut enfin se rendre compte que c'est tout gratuitement que le Consulting Board m'attribue l'intention d'exécuter de petites écluses.

J'ai basé le calcul du délai de construction des écluses sur des écluses hypothétiques jumelles exigeant 380 000 mètres cubes de béton (voir 2^o mémorandum, page 227). La minorité du Consulting Board nous dit que son échelle de trois écluses jumelles demandera 1 000 000 de mètres cubes.

En réalité, on voit s'évanouir entièrement les arguments successivement échafaudés par la majorité du Board pour prouver que les écluses dans le projet, à la cote 39^m,65 (130 pieds) ne peuvent se réaliser en quatre années.

Mais je vais plus loin; il est facile de diminuer ce délai en faisant des écluses simples et en construisant ultérieurement l'écluse jumelle.

On peut encore réduire l'effort en se limitant à la maçonnerie des têtes et en prenant les parois des tranchées comme bajoyers.

Le Président Roosevelt avait recommandé de tout sacrifier à la rapidité de l'ouverture au trafic. Le Consulting Board a obstrué par des chiffres et des assertions imaginaires le chemin qui conduisait à cette rapide ouverture du transit.

Après pleine et minutieuse considération de toutes les caractéristiques du plan de M. Bunau-Varilla, le Board est de l'opinion qu'il ne doit pas être adopté pour le Canal de Panama, eu égard aux raisons suivantes qui ont déjà été indiquées :

1^o La construction de grandes écluses exigées par la présente loi, et nécessaires pour satisfaire au trafic qui emploiera le Canal après son achèvement, rend tout à fait impossible de compléter le canal à écluses préliminaire dans un espace de temps quelque peu rapproché de la période énoncée.

Nous ne pouvons que répéter ce qui est dit plus haut : Cette asser-

tion est dénuée de toute réalité ; elle est fondamentalement erronée, elle est en contradiction explicite avec les chiffres qui basent le projet de la minorité du Board, projet qui est aujourd'hui le projet officiellement adopté par les États-Unis.

2° Le coût excessif de la transformation ajouté à la perte des coûteuses écluses et autres constructions nécessaires au canal à écluses préliminaires.

Nous ne pouvons que regretter la façon dont on a exagéré les dépenses de transformation en admettant un prix unitaire dix fois trop fort pour l'excavation des roches noyées et en comptant deux fois le coup des écluses et autres structures, premièrement dans le coût du canal à écluses et secondement en l'ajoutant comme une perte supplémentaire.

En réalité, l'exécution du canal à niveau étroit et à écluses de marée serait beaucoup plus économique en faisant d'abord le canal à écluses et en le transformant ensuite.

Cela est vrai, même sans tenir compte d'une avance d'une quinzaine d'années dans l'exploitation du Canal et, par suite, dans la période des recettes.

Quant à la solution nécessaire et inéluctable du « Détroit de Panama », elle reviendra à peu près au même prix que le canal à niveau étroit et à écluses de marée, si l'on fait le canal à écluses d'abord, en comprenant dans le prix total le coût du canal à écluses et celui de la transformation. Le canal à niveau étroit exécuté à sec était évalué par le Board à douze cent cinquante millions de francs environ (247 021 200). Il aurait coûté environ 625 000 000 de faire le canal à écluses avec bief à la cote 39,65 et il aurait coûté environ 625 000 000 de le transformer en un détroit ayant 183 mètres de largeur moyenne à la ligne d'eau.

3° Si le canal à écluses doit rester, comme il est probable, un grand nombre d'années, il doit être fait pour le service le plus efficace et ne pas être encombré par des modifications de construction des écluses qui se trouveraient incommodes à l'usage.

Le Board, en recommandant de ne pas introduire dans les écluses ce qui constitue la clé d'une facile transformation, répète ses propres erreurs.

Certes oui, on devrait exclure tout ce qui introduirait la plus

légère difficulté d'exploitation. Mais celles que le Board a signalées sont imaginaires. Il a énoncé que les portes d'amont de hauteur égale à la profondeur du Canal plus la chute seraient lourdes et difficiles à manier. Il a oublié de remarquer qu'elles sont identiques aux portes d'aval ! C'est là l'unique encombrement, l'unique gêne à l'exploitation qu'il a signalés : elle est purement fictive et imaginaire !

RÉSULTATS DES TRAVAUX DU CONSULTING BOARD

Après avoir rejeté, comme il vient d'être vu, la solution que j'avais proposée pour réaliser d'abord, dans le minimum de temps, avec le minimum de risques, la communication interocéanique et pour réaliser plus tard le Détroit de Panama, le Consulting Board se divisa en deux groupes.

Dans un rapport daté du 10 janvier 1906, la majorité, composée de trois ingénieurs américains, MM. Geo Davis, W^m Barclay Parsons et W^m H. Burr et de tous les délégués européens, A. D. Guérard, délégué du gouvernement français, W. Henry Hunter, délégué du gouvernement anglais, Eugen Tincauzer, délégué du gouvernement allemand, J.-W. Welcker, délégué du gouvernement hollandais et E. Quellenec, délégué du Canal de Suez, recommanda un canal à niveau construit à sec, suivant l'alignement de l'ancienne Compagnie de Panama, sauf pour les débouchés dans l'Atlantique et le Pacifique qui furent légèrement modifiés. Il comportait des écluses de marée établies sur le bord même du Pacifique, dans le Cerro Sosa.

La profondeur était fixée à 40 pieds, soit 12^m,20 ; la largeur du plafond était fixée à 150 pieds (45^m,75), comme dans le projet de la Commission du Canal isthmique en 1901, entre Colon et Bohio (k. 24 de l'ancienne Compagnie de Panama). La largeur au plafond était portée à 200 pieds (61 m.) dans le reste du Canal partout où la roche était rencontrée.

L'aménagement du Chagres était réalisé en conformité avec le programme que j'avais exposé, sauf quelques modifications insignifiantes. Un barrage en maçonnerie était prévu à Gamboa, relevant les eaux à 180 pieds d'altitude (54^m,90) dans la haute

vallée du Chagres (au lieu de 200 pieds que j'avais proposé). Les rivières entre Gamboa et Bohio devaient librement tomber dans le Canal, sauf deux le Cano Quebrada et le Gigantito que l'on devait barrer et rejeter dans le lit du Chagres au-dessous de Bohio. Au-dessous de Bohio, les dérivations, naturelle (lit du Chagres sur le côté Amérique Nord) ou artificielle (sur le côté Amérique Sud), conduisaient à la mer les rivières du bas bassin du Chagres.

C'était, on le voit, rigoureusement le principe, le programme d'aménagement que j'avais proposé et consistant dans l'utilisation du Canal lui-même comme moyen d'évacuation des eaux fluviales au-dessus de Bohio, celles tombant à l'amont de Gamboa étant régularisées par le barrage de Gamboa ; les eaux fluviales de l'aval de Bohio étant conduites à la mer par des dérivations naturelles ou artificielles séparées du Canal.

Enfin, la durée de construction du canal à niveau ainsi prévu était fixée à 12 ou 13 ans.

Ce délai était celui que, dans l'estimation du Board, devait entraîner l'exécution de la tranchée de Culebra pour laquelle il admettait 110 000 000 yards cubes (84 000 000 m. c.) sur 7 milles (11 kilom. de longueur). Le Board énonçait que l'exécution en dix ans de cette excavation pouvait être réalisée, et il ajoutait deux à trois ans pour les imprévus. Le Board reconnaissait que le problème était bien un problème de transport, comme je l'avais énoncé dans le second memorandum, mais il ne s'est pas résolu à se soumettre à l'impérieuse conséquence de ce fait, qui est de substituer le transport sur l'eau au transport sur rails, ainsi que je l'avais déterminé.

L'évaluation de la dépense était 247 021 200 dollars, soit 1 235 106 000 francs.

Le rapport de la majorité se terminait par ces mots :

« L'adhésion de Mr. Quellennec à ce rapport doit être considérée comme faisant corps avec les déclarations qualifiant son vote et inscrites aux minutes des 19^e et 25^e réunions.

Voici ces déclarations.

La première est relative à la modification proposée pour le débouché du Canal dans le Pacifique.

« Mr. Quellennec désire que son vote soit inscrit pour l'affirmative avec cette mention qu'il croit que l'alignement

« que montrent les plans français de cette portion du Canal est
« praticable et même éventuellement préférable. »

La deuxième porte sur l'ensemble du projet.

« Mr. QUELLENNEC. — Monsieur le Président, il est indéniable
« qu'un canal à niveau est préférable à un canal à écluses
« multiples, à la fois pour la sécurité et la facilité de l'exploit-
« tation. Les conditions de transit du Canal de Suez m'ont
« souvent prouvé les nombreux avantages offerts par un canal à
« niveau. Par conséquent, malgré les difficultés de la construc-
« tion d'un canal à niveau que j'ai déjà indiquées dans des
« déclarations précédentes, malgré le plus long délai et le coût
« plus élevé, je crois que le plan de canal à niveau doit être
« recommandé pour les raisons ci-dessus.

« En affirmant qu'un canal à niveau est préférable à un
« canal à écluses, je ne veux pas dire qu'un canal à écluses
« n'est pas praticable, et, comme pendant la discussion du projet
« du canal à écluses j'ai voté à certains moments avec les
« membres du Board qui paraissent être pour ce projet, je
« demande la permission au Board de justifier en quelques
« mots mes différents votes et d'expliquer ma pensée sur
« l'important sujet qui nous est soumis par le président des
« États-Unis.

« 1° A un point de vue général, je pense qu'un canal à
« niveau est préférable à un canal à écluses multiples et doit
« être recommandé comme donnant plus de sécurité de navi-
« gation et de facilité d'exploitation. Mais en faisant cette
« recommandation, je sens la nécessité de montrer clairement
« au gouvernement des États-Unis les grandes difficultés qui,
« dans mon opinion, résulteront de l'exécution de la tranchée
« de Culebra;

« 2° Bien que je reconnaisse les dangers offerts par les
« barrages et les écluses dans un canal à écluses multiples, je
« ne suis pas troublé par ces dangers qui peuvent être évités
« ou réduits au minimum, à la fois par une bonne construction
« et par une bonne direction. Dès lors, je considère un canal
« à écluses multiples comme praticable. Mais je pense qu'un
« semblable canal ne peut être préféré qu'en vue de réduire le
« coût et le temps de construction. C'est pour cette raison que
« j'ai voté pour un canal à 85 pieds (25^m,92) de préférence à un
« canal à 60 pieds (18^m,30) (1);

(1) Mr. Quellennec pose là, très heureusement, les vrais principes scientifiques du choix entre les altitudes différentes. Son argument montre que si l'on avait mis aux

« 3° Je pense aussi que la transformation d'un canal à bief
« élevé en un canal à niveau est une opération faisable et ne
« présentant pas de grandes difficultés, si certaines mesures
« sont prises lors de la construction, spécialement celles qui
« se réfèrent aux portes d'amont, et, à mon avis, en construisant
« des écluses séparées au lieu des échelles de deux ou trois
« écluses. Je pense aussi que cette transformation peut être
« faite avec une dépense moindre que celle établie par les
« estimations du Comité du canal à écluses pour ladite trans-
« formation (1);

« 4° Pour conclure, je préfère un canal à niveau, et je pense
« qu'un canal à écluses devrait être considéré seulement comme une
« œuvre temporaire érigée pour réduire le montant du travail à faire
« immédiatement et construit de telle sorte qu'il puisse être aisément
« changé en canal à niveau.

« Conséquemment, à mon avis, si un canal à écluses doit
« être construit, il devrait avoir des écluses séparées et un bief
« supérieur à 85 pieds (25^m,92) obtenu en ajoutant dans le plan
« avec bief à 60 pieds une écluse de plus d'environ 30 pieds
« placée aux extrémités de la tranchée de Culebra, près
« d'Obispo et de Paraiso.

« Voilà les raisons justifiant mon vote (2). »

voix le canal à 130 pieds qu'un ostracisme inqualifiable a éliminé, il eût dû voter pour cette altitude pour les mêmes raisons qui lui ont fait préférer le plus haut des deux projets à écluses soumis aux votes : 60 et 85 pieds.

(1) Mr. Quellenec en deux mots détruit tout l'édifice d'arguments antiscientifiques opposés au système que j'avais proposé. Il montre la facilité qui résultera pour la transformation de la disposition que j'ai donnée aux portes d'amont. Il rejette l'in vraisemblable barrière tirée des prix imaginaires et trompeurs admis par le Board pour l'extraction des roches sous l'eau et qui est dix fois plus fort que la réalité. On se rappelle que grâce à ce prix que sir John Wolfe Barry, le 23 janvier 1907, déclarait à Londres stupéfiant « startling », on était arrivé à trouver une différence de 500 000 000 francs entre le coût de la construction directe du canal à niveau et le coût de la construction en faisant un canal à écluses et en le transformant ensuite. Mr. Quellenec montre que cette différence n'existe pas et se transformerait en une économie si des prix sincères avaient été adoptés pour étudier la transformation proposée par moi, cela sans préjudice des recettes pendant la période d'une dizaine d'années qui doit s'écouler entre l'ouverture d'un canal à écluses et celle d'un canal à niveau exécuté à sec. Ces recettes se monteraient à plus d'un demi-milliard de francs.

(2) On voit par cet ensemble que l'opinion de l'éminent ingénieur-conseil du Canal de Suez, la personne certainement la plus autorisée de tous les ingénieurs du Board, ratifie intégralement les principes que j'ai apportés dans le débat. S'il n'est pas allé plus loin et s'il n'a pas recommandé un passage plus élevé à 130 pieds pour la première étape et un passage plus large : le Détroit de Panama, pour la seconde comme la logique de son remarquable exposé l'y amenait forcément, c'est évidemment qu'il ne pensait pas pouvoir faire plus devant une assemblée unanimement hostile aux principes nouveaux et rationnels apportés devant elles, et qui la gênaient évidemment dans ses habitudes d'esprit.

La préférence de Mr. Quellenec pour les écluses isolées est défendable. Elles faci-

En même temps que la majorité du Consulting Board formulait ainsi ses conclusions en voulant ignorer les nouvelles méthodes que je lui avais soumises et qui dénouaient si parfaitement le nœud gordien de Panama, la minorité formulait, dans un rapport daté du même jour, sa proposition.

Elle recommandait un canal formé par des lacs constitués de part et d'autre du massif central.

Le lac côté Atlantique était formé par un barrage à Gatun (k. 10 de l'ancienne Compagnie) jeté en travers de la vallée du Chagres large en ce point de 7700 pieds (2350 mètres).

L'eau est retenue par le barrage de Gatun à un niveau variant de 86 à 82 pieds (26^m,23 à 25^m,01).

L'altitude du plafond est 40 pieds (12^m,20 au-dessus de la mer). La profondeur d'eau minimum prévue du Canal sera donc 42 pieds (12^m,81) dans le massif central. La profondeur prévue dans la partie au niveau de la mer sera 41 pieds au-dessous du niveau moyen de la mer, soit 40 pieds au-dessous des plus basses. La largeur au plafond dans cette section au niveau de la mer est de 500 pieds.

On voit que c'est, pour la section niveau de la mer, à peu de chose près les dimensions mêmes que j'ai proposées pour le Détroit de Panama (45 pieds de profondeur et 500 de largeur).

La largeur au plafond de la tranchée de la Culebra est réduite, par contre, à 200 pieds (61 mètres).

Le bief supérieur commencé à Gatun par le grand barrage (k. 10 ancienne Compagnie) s'étend jusqu'à Pedro-Miguel (k. 59 ancienne Compagnie). Là un nouveau lac est formé qui s'étend jusqu'au bord même du Pacifique où un barrage clôt la vallée du Rio-Grande (k. 68 de l'ancienne Compagnie). Le niveau du lac du Pacifique (lac Sosa) est de 31 pieds au-dessous de celui de l'Atlantique (Gatun), c'est-à-dire à 54 pieds au-dessus de la mer (16^m,47). Deux barrages secondaires achèvent de fermer le pourtour du lac Sosa.

litent un peu la transformation, mais aux dépens de la commodité de l'exploitation du canal à écluses. Cela avait été, à l'origine, mon principe auquel Mr. Quellenec veut retourner. Mes plans de 1887, adoptés par l'ancienne C^{ie} du Canal, étaient à écluses isolées. Mes plans de 1892, publiés dans « Panama, le Passé, le Présent, l'Avenir », avaient aussi des écluses isolées. Toutefois, j'ai finalement admis des écluses en échelles de deux éléments, parce que leur élimination est aussi rigoureusement praticable sans gêner en quoi que ce soit l'exploitation, bien qu'un peu plus coûteuse que celle des écluses isolées, ainsi que je l'ai établi devant le Board (voir page 187).

L'estimation de la durée de la construction est de 9 années, ce que la minorité énonce en disant qu'elle croit ce délai beaucoup plus certain qu'une estimation à 15 ans de la durée d'exécution du canal à niveau de la majorité.

La dépense est évaluée à 139 705 200 dollars, soit à 698 526 000 francs.

L'excavation totale à faire est évaluée à 95 955 000 yards cubes (72 000 000 mètres cubes) dont 53 765 000 yards cubes (41 000 000 mètres cubes) doivent être extraits de la tranchée centrale.

Les écluses sont au nombre de six, trois en échelle descendant du lac de Gatun dans le bief au niveau de la mer. Une descend du lac Gatun au lac Sosa à Pedro-Miguel et deux descendent sur les bords du Pacifique dans le Cerro-Sosa du niveau du lac à celui de l'océan.

Par une invraisemblable inconscience du rôle stratégique du Canal de Panama pour l'Amérique, les écluses et barrages sont, comme à dessein, placés du côté du Pacifique, de façon à être détruits facilement par un bombardement de haute mer. Les écluses et le barrage de Gatun, bien que moins directement exposés, le sont également.

Le plan adopté par la minorité est presque rigoureusement le projet que Godin de Lépinay décrivait devant le Congrès international de 1879. Après avoir exposé son projet de création d'un lac de chaque côté de la Cordillère, M. de Lépinay disait (page 297 des *Comptes rendus* des séances) :

« Il est évident que les barrages de la vallée élevant le plan
« d'eau à la cote 24 doivent être aussi rapprochés que possible
« des deux mers. Les points désirables sont l'embouchure du
« Rio Gatun, k. 8 et le kilomètre 64 où ils semblent possibles.
« Dans tous les cas, les k. 22 (Bohio) et 62, qui sont les terminus
« des première et cinquième sections du projet, sont parfaite-
« ment praticables.

Le réel inventeur du canal à lac avec bief supérieur à une altitude voisine 25 mètres, ainsi que du barrage de Gatun, est donc bien Godin de Lépinay.

Le barrage de Gatun depuis 1879 fut toujours considéré comme impossible jusqu'au moment où je décrisis le moyen d'ériger des barrages dans l'Isthme avec l'aide de la drague et de la pompe centrifuge.

L'immensité du barrage de Gatun cessait de devenir un obstacle à raison de la puissance de la nouvelle méthode que j'introduisais dans l'art de l'Ingénieur.

Voici comment la minorité du Consulting Board décrit son procédé de construction dans son rapport de janvier 1906, rapport inséré dans le même volume où se trouve ma déposition de septembre 1905 devant le même Board et où je décrivais le nouveau procédé de construction (voir page 163 du présent volume). A la page 69 du Rapport du Consulting Board on lit : « La partie inférieure du barrage jusqu'à l'altitude 50 pieds, et « même jusqu'à celle de 80, sera réalisée avec des matières « draguées dans la section du Canal entre les écluses de Gatun « et la baie de Limon. Elles seront pompées par une drague « suceuse et rejetées à l'emplacement du barrage. Le procédé « est semblable au procédé de transport par courant d'eau « (sluicing process) employé dans la construction de quelques « barrages importants de l'ouest des États-Unis. »

Ainsi la méthode de construction est bien rigoureusement celle que j'avais donnée pour le barrage de Bohio.

La minorité du Consulting Board trouva probablement fort bien que la majorité s'appropriât la méthode d'aménagement du Chagres, que j'avais pour la première fois développée devant elle. C'était la caractéristique principale, la seule nouveauté du projet de canal à niveau de la majorité, on sait qu'elle s'empressa de taire le nom de l'auteur de la solution qu'elle adoptait pour le problème du Chagres.

La minorité, ne voulant pas être en reste avec la majorité, effaça de son rapport le nom de l'ingénieur qui avait conçu le canal à lac et le barrage de Gatun : Godin de Lépinay. Elle fit de même pour celui de l'ingénieur qui avait rendu faisable ce barrage de Gatun en inventant la méthode appropriée et en la décrivant devant le Board lui-même.

Les ingénieurs qui signèrent le rapport de la minorité étaient : MM. Alfred Noble, Henry L. Abbot, Frederic P. Stearns, Joseph Ripley, Isham Randolph, tous ingénieurs américains.

Rien ne m'étonna plus profondément que de voir figurer certains de ces noms au bas d'un rapport où se commettait une aussi flagrante violation de la propriété intellectuelle.

ATTITUDE DU PRÉSIDENT DES ÉTATS-UNIS

avant et après les travaux du Consulting Board.

Deux documents d'une extrême importance matérialisent la politique américaine avant et après les travaux du Board ou, pour mieux dire, avant et après l'exposé de la méthode nouvelle grâce à laquelle je donnais corps à la conception du Détroit de Panama, et je décrivais les moyens propres à la réaliser.

Le 11 septembre 1905, le Président Roosevelt recevait à sa résidence privée d'Oyster Bay le Consulting Board et lui adressait l'allocution dont on va lire la traduction et qui fut insérée dans le Rapport du Board.

« Ce que je vais vous dire doit être considéré comme
« suggestion seulement, non comme direction. Je vous ai
« nommés parce que dans mon jugement vous êtes spécia-
« lement aptes à servir comme conseils dans l'établissement
« des plans du plus grand travail technique que le monde ait
« encore vu. Et j'attends que vous me conseillez non pas ce que
« vous pensez que je désire entendre, mais ce que vous pensez
« que je devrais entendre.

« Il y a deux ou trois considérations que, j'en ai la convic-
« tion, vous conserverez constamment dans l'esprit lorsque
« vous arriverez à une conclusion sur le type propre du Canal.
« *J'espère que finalement il sera prouvé possible de construire un*
« *canal à niveau. Un pareil canal serait, sans aucun doute, le meil-*
« *leur en fin de compte s'il était faisable.*

« J'ai l'impression qu'un des avantages essentiels de la route
« de Panama est que finalement un canal à niveau sera une possi-
« bilité. Mais tout en donnant l'attention voulue à la perfecti-
« bilité idéale du projet au point de vue de l'ingénieur,
« souvenez-vous du besoin d'avoir un plan qui assure la construction
« immédiate du Canal avec la sécurité la plus grande et dans le plus
« bref délai possible.

« Si le fait de construire un canal à niveau n'augmente que
« légèrement le risque et ne demande qu'un peu plus longtemps
« que le canal à bief élevé et à écluses multiples, alors, bien
« entendu, il est préférable. Si les avantages et les désavan-
« tages sont étroitement balancés, j'attends que vous me le
« disiez. *Je désire également savoir si, au cas où vous recomman-*

« *driez un canal à bief élevé et à écluses multiples, il sera possible*
« *après l'avoir terminé de le transformer en, ou de lui substituer*
« *plus tard, un canal à niveau sans interrompre le trafic.*

« Parmi les considérations primaires, deux doivent être
« constamment présentes à l'esprit :

« 1^o *La plus grande rapidité réalisable de construction;*

« 2^o *La certitude pratique que le plan proposé sera faisable,*
« *qu'il peut être réalisé avec le minimum de risque.*

« *La quantité de travail, le montant du travail devrait être*
« *réduit au minimum possible.*

« Il peut y avoir de bonnes raisons pour que l'on subisse le
« délai causé par l'adoption d'un plan pour un canal idéal. Mais
« s'il n'y en a pas, alors j'espère voir le Canal construit d'après
« un système qui ramènera à l'époque la plus rapprochée
« possible dans l'avenir le moment où il sera praticable de faire
« franchir à un navire l'Isthme de Panama. Cela veut dire un
« système qui permettra dans le plus bref délai d'obtenir une
« voie d'eau à Panama entre océans, d'un caractère tel qu'elle
« garantisse une communication ample et permanente pour les
« plus grands navires de notre flotte et pour les plus grands
« vapeurs de l'Atlantique et du Pacifique.

« *Le délai dans le passage du Canal, s'il est dû à des écluses*
« *supplémentaires, serait de peu de conséquence si on le comparait à*
« *une diminution du temps de la construction du Canal ou à une*
« *diminution du risque de la construction.*

« Bref, je désire votre meilleur jugement sur toutes les
« questions diverses à considérer en choisissant entre les
« divers plans pour un canal à bief relativement élevé, à bief
« modérément élevé ou pour un canal à niveau.

« Finalement, je vous recommande d'avoir égard à la
« nécessité d'une expédition rapide pour arriver à une décision,
« tout en réservant le temps qui est nécessaire à un examen
« approfondi des conditions du problème. »

On voit que toutes les recommandations du Président
pouvaient se résumer dans ce programme, qui était celui d'un
véritable homme d'État soucieux de l'intérêt énorme dont il a
la charge.

Minimum de risque;

Maximum de rapidité;

Transformation ultérieure du canal pratique, le canal à écluses, en canal parfait, le canal à niveau.

Cela conduisait obligatoirement à choisir le plan ayant la tranchée la moins profonde possible, c'était le plan que j'avais présenté avec bief à 130 pieds d'altitude.

Cela conduisait aussi à choisir le plan ayant le barrage le moins haut, c'était le plan que j'avais présenté et qui comportait le petit barrage de Bohio de 50 à 60 pieds de retenue (15^m,25 à 18^m,30).

Comment le Président a-t-il tourné radicalement le dos à ces sains principes et soutenu de toutes ses forces le projet de la minorité du Board avec son long, haut, absurde et dangereux barrage de Gatun. Ce barrage dont il disait dans son message du 17 décembre 1906, d'un cœur léger, qu'il comportait « quelque petit risque ».

Comment a-t-il préféré la profonde et difficile exécution de la tranchée du bief à 85 pieds d'altitude à la facile exécution de la tranchée du bief à 130 pieds au-dessus de l'océan. Pourquoi a-t-il préféré 41 000 000 de mètres cubes à 15 000 000 de mètres cubes ?

C'est à coup sûr un mystère singulier, mais il y en a un autre non moins extraordinaire.

Dans la bouche du Président, le 11 septembre 1905, à Oyster Bay, le canal idéal c'est le canal à niveau. Que devait-il dire plus tard du « Déroit de Panama », de ce canal trois fois plus large que le canal à niveau, dégagé de toute écluse de marée.

On doit s'attendre à ce que le Président célèbre en termes enthousiastes une méthode qui, sans y obliger, assure dès qu'on le voudra au canal à écluses, par une transmutation insensible, cette apothéose : le Déroit.

Ce n'est pourtant pas ce qu'on trouve dans sa lettre au Congrès recommandant le projet de la minorité. Le Président Roosevelt a laissé échapper de son esprit ces principes qu'il recommandait aux membres du Consulting Board de conserver gravés dans le leur.

Il ne parle plus du canal à niveau comme de la solution idéale, qu'on doit attendre en fin de compte, mais comme d'une erreur des ingénieurs européens, incapables d'avoir compris la leçon du canal américain à écluses de Sault-Sainte-Marie. Il ne

parle du Détroit que comme d'une appellation pittoresque. Il s'appuie sur la Commission pour tourner en dérision la solution complète et parfaite du problème de Panama, le Détroit, le canal à niveau large et sans écluses. Et pourtant la discussion de mon projet de Détroit ne se trouve ni dans le rapport de la Commission, ni dans celui du Board.

Il serait hors du programme de ce livre de faire des hypothèses sur les raisons de cette singulière volte-face du Président Roosevelt.

Toutefois, il est permis de remarquer le caractère nettement nationaliste de la lettre par laquelle le Président Roosevelt recommande la solution américaine de la minorité du Consulting Board par opposition à la solution européenne de la majorité, le canal à niveau.

On peut dire qu'à ce moment l'attitude du gouvernement américain a cessé d'être scientifique pour devenir politique, et que c'est sous l'empire de considérations politiques et nationalistes que le projet de la minorité a été recommandé au Congrès.

Sans doute, c'était un projet français, celui de Godin de Lépinay, mais on avait eu soin d'effacer ce nom du rapport du Board, sans doute aussi le procédé de construction du barrage qui le rendait possible était encore français, mais on avait eu soin aussi d'effacer le nom de son auteur, c'est-à-dire mon nom, du rapport.

Grâce à l'effacement des deux noms français qui couvraient le projet de la minorité tout entier, on pouvait donner le faux coloris d'une origine américaine à ce projet, parce qu'il était recommandé par cinq ingénieurs américains et exciter par là la fibre des vanités populaires.

Le Président Roosevelt a-t-il craint de la heurter en laissant se développer la solution complète, le Détroit de Panama. A-t-il craint, pour le prestige de sa présidence à l'intérieur et pour le prestige de son pays à l'extérieur, de voir la grande agitation américaine en faveur de l'union des océans se terminer par le couronnement d'un projet français ? A-t-il reculé devant l'obligation de proclamer que ce projet étranger venait enfin dénouer le problème quatre fois séculaire du « Secret du Détroit » ?

Ce livre purement technique ne comporte pas la discussion

de semblables sujets, je me borne donc à reproduire la lettre du Président Roosevelt au Congrès américain. Dans cette lettre, le 19 février 1906, il recommande un projet qui est le contre-pied de celui qui devait naturellement résulter des principes posés par lui-même et si sagement le 11 septembre précédent au Consulting Board.

« Au Sénat et à la Chambre des représentants.

« Je sou mets avec la présente une lettre du Secrétaire de la guerre, transmettant le Rapport du « Board of Consulting Engineers on the Panama Canal » et le Rapport de l'Isthmian Canal Commission ainsi qu'une lettre de l'ingénieur en chef Stevens.

« Le Board et la Commission sont tous deux divisés dans leurs rapports. La majorité du Board of Consulting Engineers, au nombre de huit, y compris les cinq ingénieurs étrangers, sont en faveur du canal à niveau, et un membre de l'Isthmian Canal Commission, l'amiral Endicott, partage cette manière de voir. Cinq des huit membres américains du Board et cinq membres de la Commission du Canal sont en faveur du canal à écluses, ainsi que l'ingénieur en chef Stevens. Le Secrétaire de la guerre recommande un canal à écluses d'accord avec la recommandation de la minorité du Board et de la majorité de la Commission. Après une étude attentive des documents soumis et une prise en considération pleine et complète du sujet tout entier, je donne mon adhésion à cette recommandation. »

« On remarquera que les *ingénieurs américains* dans le Consulting Board et dans la Commission *sont en faveur du canal à écluses*, à la majorité de deux contre un, *alors que les ingénieurs étrangers forment un bloc contre lui*. Je pense que ceci peut être en partie expliqué par le fait que le canal à grand trafic du Nouveau Monde est le Canal de Sault-Sainte-Marie, un canal à écluses. Bien que ce dernier, le Soo, soit fermé à la navigation durant les mois d'hiver, il transporte annuellement trois fois le trafic du Canal de Suez. D'après mon jugement, l'argumentation très complète de la majorité du Board est viciée par le fait que les membres de cette majorité n'ont pas eu suffisamment égard aux leçons qu'ont données la construction et l'entretien du Soo Canal (1).

(1) Le Canal de Panama et le canal de Sault-Sainte-Marie n'ont absolument rien de comparable, contrairement à l'assertion du Président. Dans le premier, l'écluse est

« On doit conserver dans l'esprit, comme la Commission le
 « fait remarquer, qu'il n'est pas question de construire ce qu'on
 « a pittoresquement appelé le « Détroit de Panama », c'est-à-
 « dire une voie navigable à travers laquelle les plus grands
 « navires pourraient aller en sécurité à grande vitesse ininter-
 « rompue. Le canal à niveau, aussi bien que le canal à écluses
 « seraient trop étroits et trop peu profonds pour être appelés
 « avec quelque vérité un détroit et pour avoir aucune des pro-
 « priétés d'une bande d'eau large et profonde. L'un et l'autre
 « seraient des canaux purement et simplement (1). Chaque type
 « a certains avantages et certains inconvénients. Mais, d'après
 « mon jugement, les désavantages sont moindres et les avan-
 « tages sont beaucoup plus grands dans le cas d'un canal à
 « écluses, tel qu'il est substantiellement proposé dans les docu-
 « ments que transmet cette lettre. J'appelle une attention spé-
 « ciale sur ce fait que l'ingénieur en chef, qui sera principale-
 « ment responsable pour le succès de cette puissante œuvre
 « technique et qui, par suite, a un intérêt personnel spécial à
 « juger correctement, est emphatiquement et sincèrement en
 « faveur du projet du canal à écluses et contre le canal à
 « niveau (2).

une absurdité ; dans le deuxième, c'est une nécessité. On peut dire qu'il est *absurde* de monter pour redescendre au même niveau. On peut dire qu'il est *nécessaire* d'avoir une écluse pour racheter une différence de niveau. En outre, l'alimentation de l'écluse de Sault-Sainte-Marie est assurée par le lac Supérieur lui-même. Elle est sans limite. A Panama, c'est le débit des rivières qui ne peut s'étendre au delà de 60 à 100 000 000 tonnes de transit, quantité qui sera rapidement atteinte. En outre, il n'y a pas de tremblement de terre au Soo, il y en a à Panama. Tout cela montre que ce qui rendait l'écluse *indispensable* au Soo la rend *inadmissible* à Panama, si ce n'est à titre de construction temporaire et comme moyen d'exécution de la solution véritable et complète le Détroit de Panama.

(1) L'esprit reste atterré devant une série aussi invraisemblable de telles confusions. Si elles étaient involontaires, elles témoigneraient d'un grave défaut de compréhension inexplicable chez un homme ayant la brillante intelligence du Président Roosevelt. On doit donc admettre qu'il veut éteindre l'enthousiasme qu'a provoqué la nouvelle conception que j'ai émise et que, pour cela, il faut une *confusion volontaire* entre un canal étroit, fermé par des portes de marée, le *canal à niveau* tel qu'on l'a conçu jusqu'à présent, et le *Détroit de Panama*, ce canal large comme la Tamise à London Bridge, librement ouvert à l'Atlantique et au Pacifique, dans lequel les navires, s'ils n'ont pas la complète liberté d'évolution qu'ils auraient dans le détroit de Gibraltar, auront au moins la liberté qu'ils ont dans un grand fleuve maritime, ce qui leur permettra de passer l'Isthme à 10 nœuds, c'est-à-dire en 4 à 5 heures.

(2) Le 19 février 1906, le Président Roosevelt n'a pas voulu suivre pour l'intérêt et la gloire de son grand pays la voie qu'il avait tracée lui-même le 11 septembre 1905.

Ce qui était en 1905 la solution idéale : le canal à niveau que l'on devait atteindre par la transformation du canal à écluses, est subitement devenu détestable en 1906.

Dans l'intervalle qu'était-il survenu ? La naissance d'une troisième conception encore plus parfaite que le canal à niveau, c'est celle du Détroit, cette forme si large

« Une étude attentive des rapports semble établir une forte
« probabilité pour que dans ce qui suit soient renfermés les
« faits réels : Le canal à niveau serait légèrement moins exposé
« à des avaries en cas de guerre, les dépenses courantes, à part
« la lourde charge des intérêts sur le capital employé à la cons-
« truction, seraient moindres et pour de petits navires le temps
« de transit serait probablement moindre. De l'autre côté, le
« canal à écluses à un niveau de 80 pieds (24^m,40) ou à peu près
« ne coûterait pas beaucoup plus de la moitié à construire et
« pourrait être construit en la moitié de temps environ et il y
« aurait bien moins de risques inhérents à sa construction.
« Pour de grands navires, le transit serait plus rapide et en
« tenant compte des intérêts sur le capital économisé pendant
« la construction le coût effectif de l'exploitation serait
« moindre.

« Après sa construction, il serait plus facile d'augmenter les
« dimensions d'un canal à écluses que d'un canal à niveau. En
« somme, ce qui a été actuellement démontré en construisant

et si profonde de la communication que personne n'avait jamais osé en parler, car on la considérait au-dessus du pouvoir de l'humanité.

Avec cette conception avaient été apportés les moyens précis, certains, scientifiques, de la réaliser en une dizaine d'années, sans troubler la navigation utilisant le premier canal à écluses créé.

En présence de cette révélation, il semblait que le Président Roosevelt dût dire, tout au moins, qu'après le canal à écluses l'avenir, pour la jonction à niveau, réservait des perspectives d'une ampleur telle qu'on ne les avait jamais supposées réalisables, et que, ce qui était l'idéal quelques mois auparavant, était surpassé désormais dans d'incroyables proportions.

Au lieu de cela, il fait une brusque volte-face. Il confond, par une *inadmissible et volontaire assimilation*, une voie large et libre avec une voie étroite et fermée par des ouvrages d'art. C'est comme s'il déclarait identiques une voie large comme la Tamise et une voie étroite comme le canal de Manchester.

Puis cette identification contre nature une fois acquise, il fait le procès du Détroit indirectement en faisant celui du canal à niveau. Il s'appuie, pour condamner le premier, sur des arguments qui n'ont été dirigés par la Commission que contre le second, contre le canal à niveau, et cela à raison de son étroitesse et de ses ouvrages d'art, les deux si graves défauts que le Détroit a précisément pour but de supprimer.

Au point de vue de la construction, le même sophisme basé sur une *confusion voulue* se poursuit. La durée et le risque se réfèrent au canal à niveau construit à sec et directement. Ces deux objections s'évanouissent avec la transformation du canal à écluses en Détroit, laquelle n'arrêtera pas d'un jour le passage ni du premier navire ni de ceux qui le suivront dans le canal à écluses, et qui ne comporte aucun risque.

Le procédé de discussion qui sert au Président Roosevelt pour anéantir la solution parfaite du Détroit et les qualités exceptionnelles de son mode de réalisation, est exactement le même que celui que nous avons relevé maintes fois dans la discussion du Consulting Board, c'est la même casuistique. Il consiste à faire d'autorité une assimilation contre nature entre la solution bonne qu'on veut détruire et une solution mauvaise. Cela fait, on développe les objections que comporte la solution mauvaise, et le lecteur innocent demeure convaincu que ces objections s'appliquent aussi à la solution bonne, car on lui a fait croire qu'elles étaient l'une et l'autre identiques.

En réalité, dans le Rapport du Board comme dans la lettre du Président, la Science se tait et la Politique parle seule.

« et en exploitant le grand canal à écluses, le Soo, qui est une
« artère de trafic plus importante que le grand canal à niveau,
« le Suez, était l'opinion de la minorité du Consulting Board et
« celle de la majorité de la Commission du Canal isthmique
« relativement à la plus grande sécurité, praticabilité et désira-
« bilité d'un canal à écluses à Panama.

« La loi déjà votée visait un canal à écluses. Dans mon juge-
« ment, un canal à écluses est à conseiller, ainsi que cela est
« recommandé par la présente. Si le Congrès ordonne qu'un
« canal à niveau sera construit, naturellement ses instructions
« seront suivies.

« Autrement, le Canal sera construit sur le plan du canal
« à écluses décrit dans les documents ci-joints, sous réserve de
« certains changements qui, naturellement, peuvent être faits
« selon qu'on les trouvera nécessaires, tels que le changement,
« par exemple, que recommande le Secrétaire de la guerre pour
« l'emplacement du barrage sur le côté du Pacifique.

THÉODORE ROOSEVELT.

The White House, février 19 — 1907.

LA VICTOIRE FINALE DU « DÉTROIT DE PANAMA » ET DU PRINCIPE DE LA TRANSFORMATION

Les responsabilités de ceux qui ont combattu la solution rationnelle du « Secret du Détroit ».

On voit que les efforts du Consulting Board et ceux du Président Roosevelt ont tendu par les mêmes moyens vers un but commun, qui était d'éliminer de toute discussion à la fois le principe de la transformation et la fin que j'avais fixée à cette transformation : le Détroit de Panama.

Comme on a pu le reconnaître, les procédés de raisonnements ont été les mêmes.

Dans les deux cas, on a été incapable de lutter de front soit contre l'évidence de la grandeur et de la beauté du but à atteindre, soit contre la perfection des procédés techniques que

j'avais forgés pour réaliser cette grande œuvre. Dans les deux cas, on a procédé par des confusions préalables et grâce à des similitudes de nom on a fait passer l'innocent pour le coupable.

Mais on ne détruit pas plus une idée qu'on ne détruit une force.

La conception du Déroit de Panama, la démonstration de son obtention possible et facile au moyen d'un canal à écluses préalable était lancée. L'opinion publique en était saisie par deux conférences que je fis avant la fin des travaux du Board, à New-York devant l'Alliance française, le 17 novembre 1905; à Washington, le 29 du même mois, devant la Société de géographie. Après le message du Président, je protestai vis-à-vis de lui par la lettre ouverte dont la traduction se trouve à la page 99 de ce livre.

Ce fut le roc sur lequel vinrent se briser tous les efforts tendant à jeter le voile de l'oubli sur une conception trop brillante et sur des procédés trop parfaits et trop certains pour être battus dans une discussion scientifique et loyale.

Le canal à écluses perpétuelles, préconisé par le Président Roosevelt, fut sur le point de sombrer dans la tourmente.

Au dernier moment, le sénateur Knox le sauva en lui rendant publiquement le 19 juin 1906, devant le Sénat, cette qualité qu'on avait tant cherché à cacher aux yeux du monde, d'être la première pierre de l'édifice du Déroit de Panama.

Il énonça qu'il votait pour le canal à écluses.

« Parce que le type à écluses du Canal peut, si la nécessité
« s'en fait jamais sentir, être transformé en un véritable canal à
« niveau, un canal de 5 à 600 pieds de largeur et de 50 pieds ou plus
« de profondeur d'eau.

D'ailleurs, cette notion de la transformation nécessaire que j'avais formulée pour la première fois en 1887 en donnant les moyens de la réaliser, et qui depuis fut si aveuglément, si passionnément et, on peut le dire, si déloyalement combattue, remplissait à un tel point les esprits que le sénateur Dick, quelques heures avant le vote sénatorial, disait le 21 juin 1906 :

« Je ne puis oublier, Monsieur le Président, que dans la plupart
« de ces discussions, et dans presque tous les témoignages, il est généra-
« lement admis que le canal à niveau est le canal idéal et que

« *chacun de ceux qui ont discuté la question* a, presque sans excep-
« tion, admis que le canal à écluses n'est qu'une construction
« intermédiaire qui, à une époque ultérieure, peut être trans-
« formée en canal à niveau. »

Ainsi l'idée malgré la compression, malgré l'autorité technique et politique de ceux qui voulaient la faire oublier et disparaître, l'idée triomphait.

On peut dire que le Sénat américain, en votant le 21 juin 1906 le canal à écluses, a implicitement compris dans son vote que cette forme initiale n'était que la première étape de la construction du Détroit et que la forme ultime et nécessaire de la jonction des océans serait obtenue par la transformation de la première, grâce aux dragages, en un détroit véritable.

C'était la victoire finale des idées que j'avais développées déjà sous l'ancienne Compagnie de Panama, pour son bénéfice et son triomphe.

La mesquinerie humaine a cherché à voiler la victoire si chèrement acquise, mais qu'importe. Je le répète, on ne comprime pas plus les faits qu'on ne détruit les forces.

J'ai inscrit dans le grand livre de la Science française la solution du « Secret du Détroit », nul ne pourra l'en arracher.

Les fausses étiquettes tomberont, les moyens détournés qu'on a employés et qu'on emploiera pour faire croire à l'emploi de procédés différents de ceux que j'ai définis coûteront cher à leurs auteurs. Le chemin que j'ai tracé est celui qui conduit au but par la ligne de minimum de résistance. Tout écart fait pour éviter la ligne que j'ai déterminée augmentera dans des proportions énormes les difficultés.

Le projet du canal à écluses actuellement en construction en est un flagrant exemple.

Pour échapper ou paraître échapper aux principes que j'ai posés, on a voulu changer la forme rationnelle du premier canal à écluses afin de la couvrir d'un masque de perpétuité.

On s'est, de cette façon, écarté de la ligne de moindre résistance, et des difficultés, des délais et des dépenses énormes puniront cruellement cette déviation illogique.

Après avoir subi ces difficultés, ces délais et ces dépenses qui ébranleront cruellement le prestige du génie américain, on sera fatalement conduit à cette transformation indispensable en

détroit. Alors elle se fera dans des conditions moins bonnes que si on l'avait préparée d'avance, mais elle se fera par ma méthode.

Il eût certes été plus heureux pour les deux grandes républiques, pour leur prestige moral et leurs intérêts matériels, que la solution, que la France avait tirée de son héroïque assaut contre la nature, fût ouvertement reconnue comme formant la loi de la seconde étape que parcourt aujourd'hui l'Amérique.

Le désir de flatter un vulgaire patriotisme a prévalu dans les conseils du Président Roosevelt. Tout en voulant bénéficier du principe français, on a démarqué ses étapes successives pour donner l'apparence d'une solution nationale américaine à la première phase de mon programme, à la construction du canal à écluses.

On est retombé ainsi dans le projet Godin de Lépinay de 1879, un autre projet français, le plus ancien des projets en dehors du canal à niveau.

On a de la sorte énormément alourdi et rendu inutilement coûteuse, longue et difficile, la réalisation de la première phase de mon programme, l'obtention d'un passage à écluses.

Le Président Roosevelt a voulu faire l'économie d'un peu de gloire en supprimant la part qui légitimement revenait à la France dans ce triomphe de l'esprit sur la matière, dans l'ouverture du nœud gordien de l'Isthme.

Il a oublié ce jour-là que la gloire d'ouvrir la communication entre les océans est tellement grande qu'il y en avait à la fois pour l'Amérique et pour la France, et que la part de l'une ne pouvait diminuer celle de l'autre.

Il a d'ailleurs fait un bien mauvais calcul.

Si mon programme eut été suivi, si l'Amérique avait de cette manière ouvert le passage en quatre ans en suivant un projet français, l'origine du projet eut bien pâli devant le fait matériel éclatant.

Jamais on n'eut pu convaincre qui que ce fut que la victoire était due à la tactique technique française.

Le fait brutal se serait imposé à l'admiration universelle et eût été porté au crédit unique du génie américain.

Pour s'éviter le paiement d'un léger tribut de reconnaissance envers la France, tribut que l'affectueuse admiration des deux

rares pour leurs qualités respectives rendait si facile, le Président Roosevelt a associé la gloire de son pays à un mauvais projet.

Les difficultés qu'entraînent les principes arriérés et impratiques de sa construction se traduisent par des dépenses excessives qui ne feront qu'augmenter d'année en année, et à côté desquelles ne se placeront que des travaux insuffisants.

Ces productions et ces dépenses juxtaposées aux productions et aux dépenses semblables faites par l'ancienne Compagnie dégageront complètement celle-ci de l'odieuse légende que la malice avait tissée sur son œuvre immortelle.

C'est ainsi qu'en voulant artificiellement augmenter la part de gloire de l'Amérique, le Président Roosevelt l'aura énormément diminuée et peut-être découronné pour toujours son prestige technique jusqu'alors immaculé.

En voulant artificiellement enlever à la France la part légitime qui lui revenait d'avoir intégralement, par des étapes logiques et successives, résolu le problème du « Secret du Détroit », le Président Roosevelt lui a, en fait, rendu le plus signalé des services.

En refusant le projet et la méthode finale que j'avais fournie à l'ancienne Compagnie, en s'en tenant à la méthode d'exécution à sec, par laquelle presque tous ses travaux ont été faits, en se limitant à la substitution d'excavateurs, de wagons et de locomotives américains aux éléments correspondants du vieux matériel français, le Président Roosevelt a créé une base de comparaison légitime entre les travaux américains et les travaux français.

Aucun événement plus heureux ne pouvait survenir pour montrer au monde combien grande avait été l'œuvre si décriée de l'ancienne Compagnie, et combien il est difficile de l'imiter malgré les énormes avantages que possèdent les exécutants actuels : 1° du fait des travaux exécutés par les Français; 2° du fait de la découverte récente des moyens prophylactiques pratiques contre les fièvres tropicales; 3° du fait des progrès scientifiques et mécaniques depuis la cessation des travaux de l'ancienne Compagnie (14 décembre 1888).

La comparaison entre les dépenses et les résultats se traduit déjà par les graphiques qui se trouvent au début de ce livre.

C'est ainsi que la vérité scientifique prend d'étranges

revanches et surprend par des conséquences inattendues les imprudents qui veulent porter sur elle une main sacrilège.

La voie choisie par le Président Roosevelt, le canal à écluses perpétuelles exécuté à sec, a déjà perdu devant le Sénat sa qualification essentielle de perpétuité. Il n'est devenu que l'antichambre du Déroit de Panama dans le discours du sénateur Knox, que l'on reconnaît comme ayant fait loi dans l'opinion de la haute assemblée.

C'est cette caractéristique, mort-née de soi-disant perpétuité, qui avait entraîné la création de la profonde tranchée de Culebra et la création du dangereux barrage de Gatun.

En maintenant ces deux énormités, ces deux ouvrages contre nature quand leur seule justification a disparu, l'Amérique continue dans une voie mauvaise. Le seul intérêt pratique sera de mettre en relief une seconde fois l'énorme difficulté des travaux à sec et de justifier glorieusement l'œuvre de l'ancienne Compagnie de Panama qui, elle, ne pouvait s'y soustraire.

Mais cette satisfaction à la justice historique sera payée chèrement par le renom industriel américain dont le monde attendait une glorieuse et rapide activité.

Tous les sincères amis de l'Amérique, dont je suis, doivent souhaiter qu'elle ne soit pas payée plus cher encore et que le barrage de Gatun ne disparaisse pas dans une secousse de tremblement de terre avant ou après l'inauguration.

Cet événement est de ceux que l'on doit logiquement et scientifiquement attendre.

S'il se réalise, la démonstration de l'absurdité du plan aura suivi celle de l'absurdité des moyens d'exécution.

S'il ne se réalise pas, la démonstration que l'on a employé un procédé d'exécution arriéré et que le génie américain n'a pu, avec l'excavation à sec, obtenir de meilleurs résultats que le génie français il y a vingt ans, malgré les conditions plus favorables de l'heure actuelle, est déjà et restera un échec sans précédent pour l'Amérique. Quand viendra l'inévitable transformation en « déroit » sous l'impérieuse nécessité du trafic croissant d'un côté et du manque d'eau alimentaire de l'autre, le prestige du génie américain subira un deuxième revers.

Ces défaites seront justement imputées au Président Roosevelt, qui n'aura pas su puiser dans l'amour de sa noble patrie et dans le devoir de sa haute charge, la force nécessaire pour rester fidèle à son programme du 11 septembre 1905.

Il a cédé à la tentation de ne pas payer à la France le généreux et fraternel tribut de l'hommage scientifique. Il a repoussé en termes dérisoires le « Détroit de Panama ». Il a espéré pouvoir mettre au crédit du génie américain une solution originale du grand problème posé. C'était aussi une solution française, la plus mauvaise et la plus ancienne de toutes !

Il a engagé son pays dans la voie douloureuse de l'erreur. La satisfaction illusoire qu'il lui a donnée en lui présentant pour le problème de Panama une solution faussement américaine et en repoussant la solution scientifique et complète, parce qu'elle était étrangère, coûtera cher à ce grand peuple.

POST-SCRIPTUM

Au moment où s'achève l'impression de ce livre, plusieurs faits d'une grande importance se sont produits dont il est bon que le lecteur soit informé. Ils établissent que les idées développées ont subi victorieusement l'épreuve des investigations scientifiques et que les événements font déjà surgir les effrayantes conséquences des erreurs commises.

Le Conseil de la « Society of Arts » vient de décerner à la note sur le Déroit de Panama, dont la traduction se trouve dans la première partie de ce livre, une des médailles qu'elle attribue aux plus importantes contributions à ses travaux.

Ainsi se trouve démontré, par cette haute distinction, le fait que la conception du « Déroit de Panama », ainsi que les méthodes nouvelles qui en assurent la réalisation, sont en rigoureuse harmonie avec les données actuelles de la Science. C'est là le premier fait.

En dehors de cette preuve d'ordre général une série d'autres ont jailli, le 20 juin 1907, des notes soumises à la conférence technique de l'Institut des Ingénieurs civils à Londres sur l'enlèvement des roches sous l'eau. C'est là le second fait.

Une note de M. Quellenec, ingénieur-conseil du Canal de Suez, sur l'extraction, dans le Canal de Suez, des roches noyées a montré :

1° Qu'avec des pilons Lobnitz de 3 1/2 et 5 tonnes employés au début, le coût de la destruction de la roche était de 12 francs par mètre cube et que le pilon ne s'enfonçait qu'à 0^m,50 dans la roche peu dure.

2° Qu'avec les pilons de 13 tonnes employés depuis 1902, le coût était tombé à 2 fr. 21 le mètre cube en y comprenant 0 fr. 52 pour l'amortissement, soit 1 fr. 69 par mètre cube pour le travail et l'entretien du matériel. Avec ces pilons, on rend dragable 0^m,78 d'épaisseur de roche dont certaines parties sont qualifiées

comme très dures. M. Quellenec ajoute que 30 % du temps payé est perdu à cause du passage des navires.

Si pour tenir compte des arrêts on réduit de 100 à 70 les frais du travail en maintenant les mêmes chiffres pour le petit et le gros entretien, le prix se réduit à 1 fr. 40 par mètre cube. Cela correspond à 115 coups de pilon par heure, chiffre que M. Quellenec déclare normal, bien que le nombre théorique, à raison d'un coup par 15 secondes, soit 240 à l'heure, et qu'il semble possible de s'en rapprocher davantage.

Une autre note de M. John Watt Sandeman, sur les travaux effectués dans le port de Blyth (près Newcastle) sous sa direction avec des pilons de 15 tonnes, donne un prix de 1 fr. 68 par mètre cube pour le concassage. Mais il résulte des chiffres donnés que la moyenne des coups de pilons est seulement de 34,5 à l'heure au lieu de 115 que M. Quellenec déclare la moyenne pratique. A Blyth donc le chiffre est très réduit à cause des incessantes interruptions dues aux mouvements très actifs du port.

En diminuant dans la proportion de 115 à 34,5 le montant des dépenses de main-d'œuvre, sans toucher aux dépenses de matières et d'entretien du matériel, on voit se réduire le prix par mètre cube à 1 fr. 14. C'est le prix de revient, dégagé de la surcharge due aux interruptions que cause le transit à Blyth.

La roche traitée à Blyth, d'après la note de l'ingénieur en chef, est de dureté variable entre le grès tendre et un grès très dur aussi résistant que le basalt.

Au cours de la discussion soulevée par ces notes, M. Hunter, ingénieur en chef du canal de Manchester, a annoncé que le prix moyen du concassage qui, dans la note publiée le 17 août 1906 par l'*Engineering*, était de 8,94 pence par yard cube, soit 1 fr. 18 par mètre cube, s'était abaissé à un prix moyen général de 5,9 pence, soit environ 0 fr. 80 par mètre cube, sans déduire les arrêts dus au transit. M. Hunter a réitéré que l'excavation s'étendait du grès de dureté moyenne à une roche siliceuse très dure et résistante.

Ainsi donc de trois points différents de la Terre est venue la preuve que le coût de la destruction de roches de dureté

variable entre le tendre et le très dur était, par mètre cube, de 1 fr. 43 à Suez, de 1 fr. 14 à Blyth et de 0 fr. 80 à Manchester.

Enfin la question du coût du dragage de la roche brisée a été élucidée par M. Quellenec et par M. Lobnitz. Le premier a exprimé dans sa note que le dragage coûtait environ le double de ce que coûte le dragage du terrain ordinaire. Le deuxième a déclaré au cours de la discussion devant l'Institut des Ingénieurs civils qu'il garantissait un rendement de 400 tonnes, soit 175 mètres cubes à l'heure avec une drague de 400 chevaux.

Les deux appréciations concordent et aboutissent à fixer le prix du dragage par mètre cube de rocher brisé à 0 fr. 30 au maximum, car le dragage du terrain ordinaire ne coûte pas 0 fr. 15 par mètre cube.

Enfin le transport n'est plus qu'une question insignifiante à laquelle on ne saurait consacrer que 0 fr. 10 par mètre cube.

M. Anthony George Lyster, l'éminent ingénieur en chef du port de Liverpool, dans une note soumise le même jour, a montré que le coût du dragage de la barre de la Mersey et du transport en mer à plusieurs milles avait été de 0 fr. 061 par tonne avec des dragues porteuses et à succion. Si le dragage par succion et le transport reviennent à environ 0 fr. 06 par tonne, le transport seul ne doit pas atteindre 0 fr. 04 par tonne, soit 0 fr. 10 par mètre cube pour de la roche.

On peut dire qu'un chiffre de 0 fr. 10, pour le transport seul, est bien aussi un maximum dans des conditions normales et avec des opérations en grand.

En ajoutant donc 0 fr. 40 par mètre cube pour dragage et transport, d'après les éléments fournis par la discussion, on arrive aux chiffres suivants pour l'enlèvement d'un mètre cube de roche de dureté moyenne, avec de larges installations appropriées et une distance moyenne de transport d'une dizaine de kilomètres.

Suez 1 fr. 83 ; Blyth 1 fr. 54 ; Manchester 1 fr. 20.

Si l'on réfléchit qu'à Panama la génération de la puissance motrice sera gratuite, que la dureté moyenne du rocher y sera beaucoup inférieure à celle qui correspond aux trois exemples cités, on reconnaîtra que le prix de 1 fr. 65 le mètre cube (1 fr. 25 le yard cube), que j'ai fixé comme devant être le prix

probable à Culebra, se trouve éloquemment contrôlé par les notes et les témoignages apportés le 20 juin 1907 devant l'Institut des Ingénieurs civils de Londres. On voit que mes protestations contre le prix de 12 fr. 50 par yard cube (16 fr. 50 par mètre cube) adopté par l'International Consulting Board sont désormais légitimées de la plus éclatante façon.

En disant que ce prix était dix fois trop fort, je n'ai dit que la stricte vérité en se tenant aux résultats actuels des pilons Lobnitz de 15 tonnes. Mais il y a un nouveau progrès à accomplir que j'ai nettement défini au Consulting Board en 1905, et que j'ai développé le 20 juin 1907 au cours de la discussion devant l'Institut des Ingénieurs civils de Londres, discussion à laquelle l'Institut m'avait convié de prendre part, bien que je ne fisse pas partie de cette Société.

Dans le passé, en triplant ou à peu près le poids des pilons, en le portant de 3 1/2 ou 5 tonnes à 13 tonnes, on a abaissé de 12 francs à 2 fr. 10 (amortissement et arrêt de transit compris), le coût de la destruction des roches à Suez. Dans l'avenir, en portant de 15 à 30 ou 45 tonnes le poids des pilons, on franchira une nouvelle étape du même ordre et le prix déjà si bas de la destruction de la roche deviendra deux ou trois fois plus faible encore. Tel est le second fait que je désirais mettre en lumière.

Le troisième fait résulte de la note lue le 20 juin 1907 devant l'Institut des Ingénieurs civils de Londres, par M. Anthony George Lyster, l'ingénieur en chef du port de Liverpool. Il y a annoncé que le projet en cours d'exécution pour les nouveaux docks de Liverpool est rédigé en vue de navires de 1 000 pieds (305 mètres) de long et de 40 pieds (12^m,20) de tirant d'eau.

Ainsi le projet du canal à écluses soi-disant perpétuelles de Panama, né d'hier, est déjà démodé pour le type de navire dont on prépare la réception à Liverpool. Les écluses ne peuvent y admettre que des navires de 900 pieds (274^m,50) de long et elles n'ont que 40 pieds de profondeur.

Le Canal, que l'on construit, est donc dès maintenant en arrière sur les nécessités prévues comme imminentes à Liverpool.

Ce fait seul ne juge-t-il pas l'incroyable myopie de ceux qui

prétendent limiter la grande voie du commerce universel d'après leurs conceptions restreintes.

Le quatrième fait réside dans la surprise que les levés précis viennent de réserver aux ingénieurs de la minorité du Consulting Board.

Ils avaient annoncé que la surface du lac créé par leur barrage de Gatun aurait 110 milles carrés de superficie, soit 285 000 000 mètres carrés.

Or les récents levés ont montré qu'il aurait 225 milles carrés et non pas 110, soit 582 000 000 mètres carrés.

Avec le lac de 110 milles carrés, l'évaporation prévue était de 710 pieds cubes par seconde (20^{mc},16). Avec la nouvelle superficie elle monte à 41^{mc},31 par seconde, soit 21^{mc},15 de plus.

Cela vient réduire sensiblement la limite à l'exploitabilité du canal à écluses qui résulte du débit des rivières se déversant dans le lac de Gatun.

La minorité du Consulting Board avait établi ses calculs de consommation en disant : 1° que l'évaporation, les pertes aux portes, l'infiltration, l'éclairage et la force exigeraient 1 227 pieds cubes (34^{mc},90) par seconde ; 2° que 53 éclusages exigeraient 2 751 pieds cubes par seconde (78 m. c.), soit en tout 3 978 pieds cubes ou 112^{mc},90 par seconde.

Il faut désormais ajouter l'évaporation supplémentaire de 745 pieds cubes (21^{mc},15).

La consommation d'eau totale pour un service de 53 éclusées journalières sera donc de 4 723 pieds cubes ou 134^{mc},05.

Avec ce nombre de 53 éclusées, la minorité du Consulting Board arrivait à un tonnage de 58 000 000 de tonnes, en supposant que le tonnage moyen des navires fut de 3 000 tonnes, ce qui est actuellement à peu près le cas à Suez (3 163 tonnes en 1904, mesurage de Suez environ de 1/6 supérieur au mesurage ordinaire). Le tonnage total, correspondant à 53 éclusées, atteindrait 77 000 000 ou 96 000 000 de tonnes selon qu'on suppose que le tonnage moyen des navires en transit s'élève à 4 000 ou à 5 000 tonnes respectivement.

Après avoir cité ces chiffres, le Rapport du 10 janvier 1906 ajoutait d'un cœur léger : « Si l'on a besoin de plus d'éclusées

« on fera des barrages nouveaux dans le haut Chagres et ce « fleuve et ses tributaires fourniront l'eau supplémentaire. »

En faisant croire à une extension indéfinie des ressources en eau, la minorité du Consulting Board commettait une incroyable erreur.

Elle n'avait pas observé que les barrages ne peuvent servir qu'à mettre en réserve l'eau de la saison des pluies pour la saison sèche et qu'on ne peut faire des provisions pour parer à une année peu pluvieuse, car aucune loi météorologique ne force une année pluvieuse à suivre une année non pluvieuse, comme c'est le cas avec la saison sèche et la saison des pluies. La limite d'exploitabilité est atteinte quand, jusqu'à la dernière goutte, la totalité de l'eau qui tombe pendant les années peu pluvieuses, est employée au service du Canal. Aucun barrage nouveau ne peut rien changer à cette limite.

Or c'est précisément ce qui arrive avec 53 éclusées journalières entraînant une consommation de 4723 pieds cubes ou 134 mètres cubes par seconde, d'après les chiffres mêmes que fournit la minorité du Consulting Board.

Aujourd'hui, avec la consommation de 4723 pieds cubes ou 134 mètres cubes, on peut dire que la limite de tonnage fixée pour le canal à écluses est supérieure aux disponibilités fournies par la nature, et que le canal à écluses, actuellement en exécution, n'est pas même capable de supporter un transit variant entre 58 et 96 millions de tonnes, selon le tonnage moyen futur des navires.

En voici la démonstration :

La minorité du Board admet dans son rapport deux faits : le premier, c'est que le débit moyen pendant les années peu pluvieuses est de 5680 pieds cubes à Gatun et le second c'est que l'on doit réduire les débits minima de 20% pour se protéger contre l'éventualité d'années encore moins humides. On ne peut donc, d'après elle, compter que sur 4544 pieds cubes ou 129 mètres cubes par seconde à Gatun.

Donc, *en ne perdant pas une goutte d'eau par déversement, en conservant dans des réservoirs l'intégralité de tout le débit de toutes les rivières, on n'a donc pas assez, on a un déficit de 5 mètres cubes par seconde pour satisfaire aux besoins des*

53 éclusées qui correspondent à un trafic variant entre 58 et 96 millions de tonnes, suivant le futur tonnage des navires.

Et ce chiffre de 5 680 pieds cubes à la seconde pour le débit du Chagres à Gatun n'est lui-même qu'hypothétique !

La seule chose que l'on connaisse expérimentalement, c'est le débit à Bohio, 14 kilomètres plus haut que Gatun.

Il résulte de constatations faites pendant 15 années par l'ancienne et la nouvelle Compagnie française. Le débit moyen des années peu pluvieuses y est de 3 384 pieds cubes (96 m. c.).

On a fait des mesurages à l'aval pendant 20 jours (en février, mars et avril 1900), ils ont donné 50 % de plus pour Gatun que le débit simultanément mesuré à Bohio.

Le plus simple sentiment de précaution eut par suite dû limiter à 50 % le surplus qu'on est en droit d'attendre d'un barrage placé à Gatun au lieu de Bohio. La minorité du Board, sur la foi de raisonnements suspects, a admis qu'à Gatun le débit serait, comparé à celui de Bohio, dans le rapport de 1 à 1,67 au lieu de l'être dans le rapport de 1 à 1,50 qu'indiquait l'expérience.

Et c'est ainsi qu'on est arrivé à 5 680 pieds cubes pour le débit à Gatun.

Si l'on admet ce qu'a révélé l'expérience, c'est donc seulement 5 076 pieds cubes qui auraient dû être admis pour le débit moyen des années peu pluvieuses à Gatun. En réduisant ce débit de 20 % d'après la règle admise par le Board, on ne devrait donc compter que sur 4 060 pieds cubes (116 m. c.). Il y aurait, en ce cas, un déficit de 663 pieds cubes, ou de 38 m. c. à la seconde, sur ce qui est indispensable pour assurer un transit de 58 à 96 millions de tonnes.

Ce déficit correspond à une réduction de 14 000 000 tonnes, 19 000 000 tonnes, 23 000 000 tonnes, suivant qu'on suppose un tonnage moyen de 3 000, 4 000 ou 5 000 tonnes par navire.

On peut donc dire que l'on ne peut pas compter, en cas d'années peu pluvieuses, faire passer plus de 44 000 000, 58 000 000 ou 73 000 000 de tonnes dans le canal à écluses qui se construit actuellement et que ces chiffres sont les véritables limites de son exploitabilité.

On voit combien sont vains les efforts faits pour violenter la nature.

Le canal à écluses, même au prix de travaux coûteux, difficiles et instables, dont plusieurs sont d'une destruction certaine en cas de guerre, d'accidents ou de tremblement de terre, tels que le barrage de Gatun, *le canal à écluses ne peut être que temporaire.*

On annonce précisément en ce moment que le trafic du canal de Sault-Sainte-Marie sera très probablement cette année de 60 000 000 de tonnes après avoir atteint 44 000 000 de tonnes en 1905. Or il y a dix-neuf ans, il n'avait que les 6 millions de tonnes de transit qui caractériseront les débuts du Canal de Panama.

On se demande, en face de pareils faits, comment il est possible qu'un grand pays, ayant cet exemple sur son propre territoire, puisse tolérer qu'on le trompe en lui parlant de perpétuité pour une forme de canal à Panama qui ne peut satisfaire qu'à un transit de 44 à 73 000 000 de tonnes, alors qu'en moins de vingt années un canal, fermé par les glaces pendant un tiers de l'année, a déjà dépassé devant lui, la limite inférieure du transit maximum que comportera le canal à écluses dites perpétuelles de Panama.

Les quatre faits que je viens de relater fournissent d'irrécusables témoignages de la vérité scientifique des principes qui étaient à la base des solutions que j'ai données à l'Amérique publiquement, en septembre 1905, et dont j'avais déjà saisi le Président Roosevelt à la fin du mois de mars précédent.

Ces témoignages appartiennent encore au domaine du raisonnement.

Les faits matériels ne pouvaient à leur tour manquer de faire entendre leur voix retentissante.

Si tout ce que j'ai dit au Président Roosevelt en mars 1905, au Consulting Board en septembre 1905, si ce que j'ai répété dans mes lettres au Président Roosevelt du 5 mars et 29 octobre 1906, si ce que j'ai développé encore, devant la Society of Arts le 23 janvier 1907, sur l'absurdité d'une trop profonde excavation faite à sec à travers la Culebra est bien fondé, les faits doivent le montrer.

Sans doute ils doivent le montrer surtout avec une sinistre éloquence quand le gouvernement américain procédera à l'approfondissement de la tranchée ouverte par les travaux héroïques des Français. Alors le fond de la cuvette deviendra l'effroyable gouttière où s'accumuleront les eaux versées par les déluges tropicaux. Et on a dans le projet actuel à approfondir cette gouttière de la cote moyenne d'environ 49 mètres au-dessus du niveau de la mer jusqu'à 12^m,20. C'est dans cette descente de 37 mètres que se révéleront les énormes difficultés que j'ai cherché à éviter au gouvernement américain.

Mais déjà maintenant la terrible difficulté des pluies sur le rendement des instruments d'excavation et de transport à sec doit se faire sentir, *bien qu'aujourd'hui on se contente encore d'élargir la tranchée ouverte par les Français* et que, par suite, les terrasses, successivement étagées au-dessus du fond, se drainent d'elles-mêmes. (Voir p. 290-91 les photographies montrant comment, déjà maintenant, à la suite de fortes pluies, le fond des excavations à sec du massif central est envahi par les eaux.)

Ce qui s'est passé l'an dernier ne pouvait manquer de se reproduire, car c'est en vain que l'homme veut défier les forces naturelles. Elles le ramènent bientôt au sentiment de son infime faiblesse.

En avril 1906, on l'a vu, l'ingénieur en chef Stevens avait organisé ses chantiers en vue de faire 1 000 000 de yards cubes par mois à partir de juillet et d'août. Il ne put atteindre au maximum que 325 000 yards cubes en septembre, pour retomber à 231 000 yards cubes lors de la visite du Président Roosevelt, en novembre.

La saison sèche de 1907 devait apporter un répit et faire croire à la victorieuse réalisation du programme de M. Stevens.

Sa démission rendue publique le 27 février 1907, alors qu'on le comblait d'honneurs, démontre qu'il ne voulait pas essayer une nouvelle défaite et qu'il préférerait partir quand la saison sèche lui fournissait une brillante mais fugitive auréole de succès.

En effet, on fit 566 000 yards cubes en janvier, 638 000 yards cubes en février, 815 000 yards cubes en mars, 870 000 yards cubes en avril. On célébrait déjà le moment où on allait atteindre la moyenne des trois dernières années de la période française de l'ancienne Compagnie (1886-1887-1888) qui était de

1400000 yards cubes. On escomptait le million de yards cubes mensuels comme un minimum certain, et l'on voyait dans moins de 48 mois la tranchée de 54000000 de yards cubes achevée pour la confusion du prophète de malheur que j'avais été. Hélas ! le mois de mai ne fit pas atteindre le million. On rétrograda à 690000000 yards cubes. Quel a été le mois de juin, on ne le sait pas encore, mais le câble transmet les plus sinistres rumeurs.

Voici ce qu'on lit dans le *Matin* du 30 juin 1907 :

Londres, 29 juin, dépêche particulière du *Matin*. — On télégraphie de Washington au *Morning-Post* :

« Des bruits qui courent depuis quelque temps dans les cercles gouvernementaux, et qui ont fait l'objet de commentaires dans les clubs, commencent à être reproduits dans les journaux. Les travaux dans l'Isthme seraient complètement désorganisés, et le colonel Gœthals, ingénieur en chef, serait très découragé et se serait déclaré désireux de quitter ses fonctions.

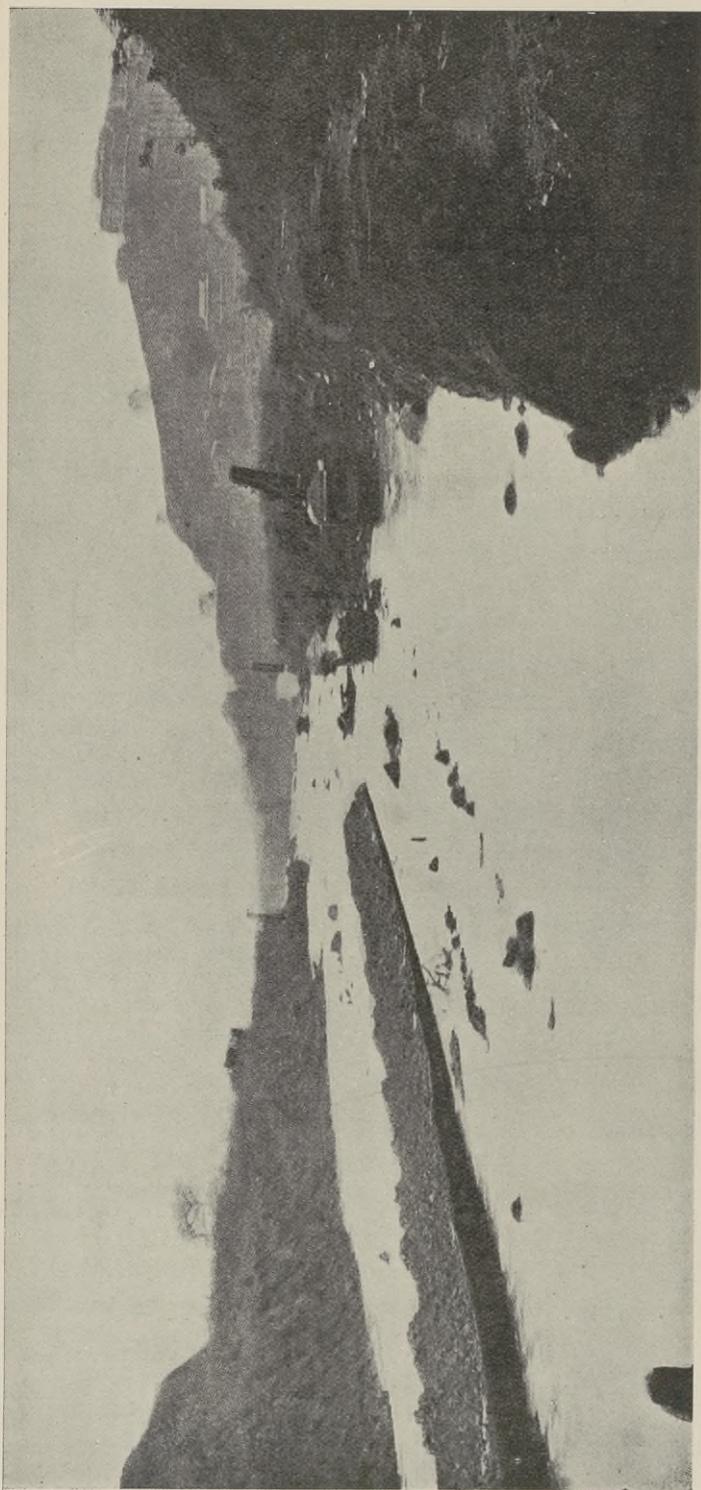
« Les travaux de construction seraient en grande partie interrompus. Dans les milieux militaires, on estime que la cause de ces difficultés réside dans l'incapacité et l'indifférence des employés civils, dont presque tous doivent leur nomination à des influences politiques. Ce fut en raison de cette intervention politique que M. Stevens, jadis ingénieur en chef, donna sa démission et que la direction des travaux de construction du Canal fut confiée à des officiers du génie.

« Depuis lors, s'il faut s'en rapporter aux informations officielles, peu de progrès ont été réalisés. »

D'autres journaux répercutent les mêmes bruits venant d'autres sources.

Bien entendu, l'erreur humaine ne perd jamais ses droits. Elle refuse de voir dans le nouvel échec le résultat de l'influence combinée d'un matériel de transport mal choisi et trop lourd et des pluies diluviennes sur un sol argileux.

On se détourne de la faute de stratégie technique et l'on cherche des victimes expiatoires. On rejette sur la mauvaise qualité des employés la cause de l'insuccès. On leur attribue injustement ce qui résulte de l'incroyable aveuglement avec lequel on a ri du matériel léger, ces *jouets d'enfants*, employés

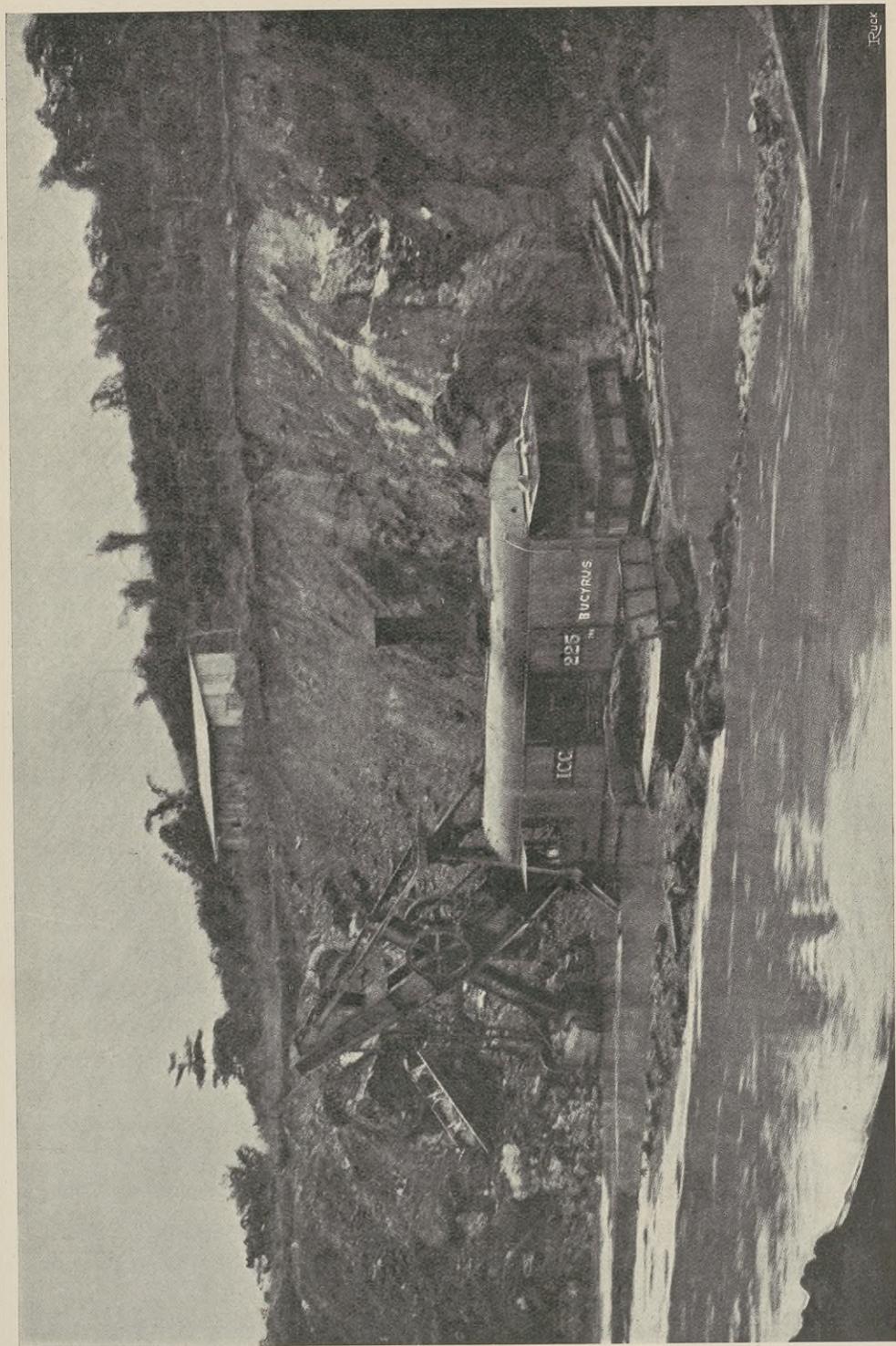


Cette photographie prise à Empéador, exactement au milieu de la grande tranchée du massif central, à la fin de l'année 1906, montre, ainsi que la suivante, l'effet causé par de fortes pluies sur les *travaux exécutés à sec*, c'est-à-dire au moyen d'excavateurs sur rails, de trains et de voies ferrées.

Si, malgré l'élévation relative du fond actuel de la grande tranchée, un pareil envasement des eaux peut se réaliser de temps à autre, on comprendra qu'il devienne incessant au fur à mesure de l'approfondissement (sommet actuel, 49 mètres au-dessus de la mer ; fond à atteindre, 12^m, 20 au-dessus de la mer) et qu'il arrive bientôt à devenir une difficulté considérable.

Le lecteur le moins familiarisé avec les questions techniques comprendra que la Nature donne ici la plus poignante leçon de choses à l'Homme. N'enseigne-t-elle pas à sa rebelle vanité qu'il faut non pas combattre la toute-puissance de la Nature mais l'utiliser, qu'il faut non pas lutter contre l'eau et fuir l'inondation en laissant en panne les trains et les excavateurs à moitié noyés, mais rendre cette inondation permanente, puis attaquer l'excavation par des dragues flottantes et transporter les déblais par des chalands ?

C'est ce que ni la majorité ni la minorité du Consulting Board, ni la majorité ni la minorité de la Commission du Canal isthmique n'ont su ou voulu comprendre en 1906. C'est ce que le Président Roosevelt, après en avoir admirablement saisi le principe, a aussi dans la suite refusé de comprendre. C'est ce que le grand ingénieur anglais, Sir John Wolfe Barry, le 23 janvier 1907, approuvait sans réserve en déclarant renversantes (startling) les objections élevées contre cette méthode indispensable et basée sur un prix fictif de l'extraction de la roche sous l'eau dix fois plus fort que la réalité. (Voir pages 83-97 et 282.)





par les Français avec leur subtile sagacité, ce qui résulte de la substitution à ce matériel nécessaire d'un matériel puissant, mais d'une lourdeur qui met hors de service les voies et les décharges dès que les pluies sont établies, ce qui résulte du mépris inconscient avec lequel on a traité le procédé d'excavation et de transport sur l'eau, dans lequel réside la seule et complète solution des difficultés isthmiques, ainsi que je l'avais déterminé et formulé dès 1887.

Si la cause du désarroi actuel était réellement dans le mauvais choix du personnel, pourquoi ce choix produit-il de bons résultats en saison sèche et la désorganisation en saison humide ?

La comparaison entre les cubes effectués pendant ces deux périodes fait jaillir la cause primitive et radicale de l'insuccès.

Elle est du côté des choses, dans le régime des pluies et du sol de l'Isthme. Elle est du côté des hommes, dans le désir auquel a cédé le chef suprême de la République, de flatter, aux dépens de la vérité scientifique, une orgueilleuse et aveugle présomption nationale, et cela en traitant avec dédain et hauteur les enseignements venant de l'expérience étrangère.

Au désarroi que causent les pluies alors que l'on ne réalise dans le massif central aucun travail d'approfondissement, on peut juger ce qu'il sera quand on entrera, avec la méthode d'excavation à sec, dans cette période. La difficulté n'existe pas avec l'excavation et le transport sur l'eau, elle est effrayante avec l'excavation et le transport à sec.

Après avoir évoqué ce cinquième fait, faut-il encore signaler une conséquence, plus terrible encore du rejet, de la méthode qui assurait une immédiate union du Pacifique à l'Atlantique, comme prélude de l'exécution du Détroit de Panama.

Je me rendis, en mars 1905, auprès du Président Roosevelt pour le mettre en garde contre l'exécution directe à sec du canal à niveau, que lui avaient successivement recommandée M. Wallace, l'ingénieur en chef, dans un rapport du 1^{er} février 1905 et MM. Davis, Burr et Parsons, formant le Comité technique de la Commission du Canal isthmique, par un rapport du 14 février 1905.

Après lui avoir montré le précipice où cette erreur l'eut fait

tomber, après lui avoir révélé la méthode rationnelle consistant à faire un canal à bief très élevé tout de suite et à l'approfondir ensuite au niveau de la mer, j'invoquai auprès du Président Roosevelt la nécessité militaire de la défense des États-Unis. On était alors au milieu du terrible conflit de la Russie et du Japon.

Le vieux fonds de haine qu'elle nourrit contre le régime autocratique avait mis l'Amérique du côté de ceux qui souhaitaient le triomphe des armées japonaises. Les services incomparables que la Russie avait rendus à l'Amérique lors de la guerre de Sécession, en mettant sa toute-puissante influence en faveur du maintien de l'Union, étaient alors bien oubliés et l'amitié américaine-japonaise semblait éternelle. Mais quand les nécessités d'existence des nations entrent en jeu les influences morales s'évanouissent.

Je crus devoir signaler au Président Roosevelt les éléments explosifs que recélaient les contacts entre son peuple et celui du mikado. Cela venait appuyer puissamment le conseil, que je venais de lui donner, de réaliser la jonction interocéanique par le procédé le plus court et par les méthodes que j'avais développées devant sa merveilleuse intelligence.

Je lui écrivis le lundi 10 avril 1905, de New-York, la lettre suivante à Fort-Worth-Texas, où il était alors. Elle lui transmettait le mémoire qui résumait les principes nouveaux que je lui avais verbalement exposés et qu'il avait parfaitement saisis.

Waldorf-Astoria, New-York,

Lundi, 10 avril 1905.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

Mon vif désir de vous faire parvenir à Fort-Worth le résumé précis des considérations que j'ai eu l'honneur de vous développer m'a fait procéder avant-hier, avec trop de hâte, à la vérification de ce document.

Une lecture plus attentive m'a révélé quelques erreurs et omissions dans la copie du dactylographe.

Je vous envoie, ci-joint, un nouvel exemplaire de ce travail,

rectifié comme il doit l'être, et qui permettra de faire corriger celui déjà entre vos mains.

Je me permets, Monsieur le Président, de saisir cette occasion pour revenir sur la très grave, sur l'internationale raison d'État qui contrôle, à mon avis, la discussion purement académique des ingénieurs sur la préférence à donner à un canal à niveau ne pouvant être ouvert que dans un nébuleux avenir, ou à un canal à niveau constructible en deux étapes dont la première est courte et certaine.

La manifestation, pour ainsi dire éruptive, que le Japon vient de donner de sa redoutable puissance militaire révèle à l'observateur la nature et la portée des tendances dont elle est née.

Le besoin intense d'extension nipponne, qui l'a créée, va bientôt se heurter à des obstacles qui détermineront les premières crises.

La ligne logique de marche de la domination japonaise est formée par cette file presque continue d'îles, qui constitue la ceinture extérieure de l'Asie, et qui commence à l'île Sakhaline pour se terminer aux Philippines, en passant par le Japon et Formose.

Déjà longtemps avant la guerre sino-japonaise, mon ami l'amiral Fournier, le signataire du traité de Tien-Tsin, avait prédit que Formose serait le premier trophée de la première victoire nipponne.

Toutes les aspirations internes du Japon seront demain tendues vers le dernier anneau de la longue chaîne de sang japonais qui entoure l'Asie, vers ces Philippines où flotte le drapeau de l'Union.

Voilà le premier obstacle que rencontrera le Panniponisme et derrière lequel se trouve l'Amérique.

Il existe un autre obstacle de même nature, une cause de tension plus grave encore parce que son échéance est plus proche.

Dans son mouvement d'expansion, que doubleront demain le souvenir de la victoire et le sentiment de la force, comment le Japon oublierait-il cette merveilleuse côte orientale du Pacifique, ces vastes, fertiles territoires où un vingtième à peine de la population de l'Union s'est installé ?

Ne peut-on pas se demander si demain il ne se dressera pas pour les États-Unis la grave question de savoir si la côte du Pacifique sera une colonie asiatique ou non, si le Pacifique lui-même sera un lac japonais ou un lac américain ?

La question n'est pas dans le domaine lointain, son embryon est déjà né ; elle éclatera demain.

La première et légitime exigence de ce peuple orgueilleux est d'être traité comme un peuple européen. Comment cette exigence se

pourrait-elle concilier avec l'interdit d'immigration que les populations de l'Ouest réclameront demain comme une indispensable protection, alors qu'il ne saurait frapper aucun peuple européen ?

Voilà ce second obstacle où se viendront heurter les intérêts contraires de l'Amérique et du Japon.

Ni le premier, ni le second ne sont de nature immatérielle et lointaine, ils sont de nature matérielle et certaine ; ils appartiennent à cet ordre de faits qui éveillent la vigilance des consuls et font taire les discussions des rhéteurs. Pour faire face à leurs conséquences possibles, il faut être prêt et armé : le maintien de la paix en est le prix.

L'ouverture du Canal de Panama, dans un avenir immédiat, aidera considérablement à ce résultat, aussi nécessaire pour les États-Unis que pour le reste du monde aryen dont ils sont en quelque sorte les fidéi-commissaires dans l'œuvre du nouvel accès au Pacifique.

Veillez recevoir, Monsieur le Président, le respectueux hommage de mon profond dévouement,

P. BUNAU-VARILLA.

Au moment où j'écrivis cette lettre, elle apparaissait comme résultant d'une imagination malade, tant les faits qui y étaient prédits étaient invraisemblables.

Deux ans seulement et quelques mois se sont écoulés depuis lors. En ce faible espace de temps le contact des deux races, alors si affectueuses l'une pour l'autre, a déjà allumé une partie des matières explosives dont j'avais signalé la présence.

Les populations du Pacifique ont réclamé l'exclusion des Japonais dont la supériorité dans les arts de la paix constitue pour elles une insoutenable concurrence. Ils l'ont obtenue du Président Roosevelt jusqu'à l'extrême limite où il était possible de la réaliser sans conflit déclaré avec Tokio.

Mais cela n'a pas suffi à arrêter les explosions, elles ont continué plus bruyantes après une accalmie temporaire. Un parti considérable s'est développé au Japon qui réclame le recours aux armes. L'Amérique se prépare à envoyer demain tous ses navires de guerre dans le Pacifique. Quel réveil sanglant nous réserve après-demain ?

Si immédiatement après la ratification du traité Hay-Bunau-Varilla, en février 1904, lorsque je développai rapidement une

première fois au Président Roosevelt la méthode nécessaire de construction du Canal, il avait saisi l'opportunité, le Canal serait aujourd'hui ouvert et la côte du Pacifique à jamais protégée !

Si en mars 1905, lorsque je vins à Washington exprès d'Europe pour l'avertir du danger, il avait immédiatement marché, moins d'un an nous séparerait de la réunion des océans !

Au lieu de cela, de perfides conseils lui ont suggéré les lenteurs de la réunion d'une Commission internationale. Quand il lui parla en septembre 1905, les principes, que je lui avais développés au mois de mars précédent, étaient encore vivants dans son esprit. Il les a fondus en un impérissable bloc dans son discours-programme d'Oyster-Bay, du 11 septembre 1905, au Consulting Board.

Depuis lors, il a non seulement déchiré par ses actes ce programme indispensable, mais il a publiquement tourné en dérision le « Détroit de Panama », son suprême couronnement.

La main solide qui dirigeait la barre l'a volontairement brisée. Au lieu de se diriger, par un chemin sûr, vers un but précis, le navire oscille au milieu des récifs, au gré des vagues et du vent.

Le 11 septembre 1905 la Jonction des Océans était près, la Guerre était loin ; aujourd'hui la Jonction des Océans est loin et la Guerre est près.

Puisse cet ouvrage, fait de vérité, tracer à travers l'obscurité de l'avenir le sillage lumineux qui mène vers la paix du monde par le triomphe de la raison.

PHILIPPE BUNAU-VARILLA.

30 juin 1907.



TABLE DES MATIÈRES

L'OBJET DE CE LIVRE.	1
LES DOCUMENTS QUE RENFERME CE LIVRE.	7

PREMIÈRE PARTIE

RÉSULTATS DES TRAVAUX DU GOUVERNEMENT AMÉRICAIN *du 4 mai 1904 au 31 mars 1907*

ET LEUR COMPARAISON

AVEC CEUX DES TRAVAUX DE L'ANCIENNE COMPAGNIE DE PANAMA *du 3 mars 1881 au 14 décembre 1888.*

Cube exécuté et dépenses.	11
Les frais de première installation ne justifient pas les dépenses énormes du gouvernement américain.	13
Comparaison entre les cubes exécutés sous le régime français et sous le régime américain.	14
Faits successifs établissant un trouble des plus graves.	17
Comparaison entre les dépenses et les cubes de la période française et de la période américaine.	19
Causes de la difficulté des travaux isthmiques démontrées par l'expérience malheureuse des Américains.	24
Le salut de l'œuvre de Panama entre les mains du génie militaire américain.	25

CONFÉRENCE DEVANT LA SOCIETY OF ARTS

Londres, 23 janvier 1907.

I

LE SYSTÈME DE CONSTRUCTION DU DÉTROIT

Préambule.	27
Définition du Déroit de Panama.	28
Courants de marée et d'eau fluviale dans le Déroit de Panama.	30
L'outil indispensable à la réalisation du Déroit de Panama. La drague.	34
Emploi de l'énergie gratuite.	43
Dragage du rocher.	44
Arguments erronés invoqués pour rejeter le travail à la drague sans lequel le Déroit de Panama resterait chimérique.	50
Admirables conditions présentées par la nature pour l'emploi du système d'excavation sur l'eau.	52
Le lac de Gamboa. Son rôle dans l'excavation du Déroit.	54
Le massif central présente des conditions parfaites pour le dragage.	56
Nature du terrain excavé dans le Déroit de Panama.	59
Quantité de puissance hydraulique nécessaire	59
Quantité d'hommes et d'argent nécessaires.	61
Régime des eaux.	63
Indestructibilité du passage interocéanique.	65
Nature de la voie créée.	65

II

CANAL PROVISOIRE A ÉCLUSES

Préambule	66
Ouverture du Canal en trois ans à une navigation restreinte comme la navigation militaire.	71

III

TRAVAUX ET PROJETS DU PASSÉ ET DU PRÉSENT

Résultats des travaux de la Compagnie française.	72
Erreur fondamentale commise par le Consulting Board.	72
Condition actuelle des travaux faits par le gouvernement américain.	77
CONCLUSION.	79

DISCUSSION DEVANT LA SOCIETY OF ARTS.	93
LETTRE DU 5 MARS 1906 à M. Roosevelt, Président des États-Unis.	99
LETTRE DU 29 OCTOBRE 1906 à M. Roosevelt, Président des États-Unis.	117

DEUXIÈME PARTIE

LETTRE DU 26 SEPTEMBRE 1905 à M. Roosevelt, Président des États-Unis	129
--	-----

EXPOSÉ DE M. BUNAU-VARILLA DEVANT LE BOARD OF CONSULTING ENGINEERS

I

CONDITIONS GÉNÉRALES

Future nécessité d'un canal à niveau.	133
Nature des difficultés qui empêchent la construction immédiate d'un canal à niveau.	135
Source de coefficients réellement pratiques pour le calcul du temps de construction.	138
Les coefficients adoptés par le Comité technique (Compagnie nouvelle du Canal de Panama) montrent qu'un délai de 30 années est nécessaire à l'excavation à sec d'un canal à niveau.	139
Conditions en apparence incompatibles : Ouverture immédiate et construction au niveau de la mer. — Comment on peut y satisfaire.	142

II

JUSTIFICATION DU PROJET

Description générale.	143
Contrôle automatique du lac de Bohio.	144
Avantages du chenal choisi pour conduire de Bohio à la mer les crues du Chagres.	145

Le problème du Chagres.

Préambule.	146
Le barrage de Gamboa comparé avec le barrage d'Alhajucla. Sa supériorité.	146
Crues du Chagres.	146
Les apports du Chagres ne sont pas à redouter avec le lac de Gamboa.	148
L'efficacité du lac de Gamboa de beaucoup supérieure à celle du lac d'Alhajucla pour régulariser les crues du Chagres.	149
Autres avantages résultant de la position du lac de Gamboa. Il permet d'enlever au lac de Bohio tout rôle vital dans la régularisation des crues du Chagres.	150

Système proposé pour l'aménagement des crues et la formation des réserves d'eau pour la saison sèche.

Aménagement des crues.	151
Le pouvoir d'emmagasinement du lac de Gamboa est égal à deux fois la plus grande crue connue.	152
Le lac de Bohio, organe d'aménagement en cas extraordinaire, peut graduellement disparaître.	152
Emmagasinement pour la saison sèche. Il sera amplement suffisant pour un trafic de 50 000 000 de tonnes.	153
Construction du barrage de Gamboa. Elle est impossible avec les déblais de la grande tranchée. Ce doit être un barrage de béton armé.	155
Traits caractéristiques des éléments internes de la tranchée de Culebra. Beaucoup d'erreurs commises à propos de cette substance.	158
Aucune muraille n'est nécessaire dans la tranchée de Culebra.	158
L'instabilité des décharges de la tranchée de Culebra en saison humide a paralysé durant des années l'exécution des travaux.	159
Un petit barrage de 2 ^m ,50 à 3 mètres de retenue fait avec les déblais de la Culebra n'a pas réussi.	160
Preuves de la stabilité de l'argilolithe de Culebra quand elle est dans sa position naturelle et sous l'eau.	160
Construction du barrage de Bohio.	161
Aucun barrage en terre dans l'Isthme ne devrait atteindre 28 ^m ,06 sans mur central.	162
Ni corroi, ni maçonnerie ne sont admissibles dans l'Isthme à raison du manque de main-d'œuvre intelligente.	163

Le barrage en terre de Bohio doit consister en une montagne de sable argileux transporté et déposé par l'eau.	163
Les estimations de temps du Comité Technique peuvent être réduites dans la proportion de 4 à 5,375 d'après l'Isthmian Canal Commission.	165
Mon estimation du temps nécessaire aux travaux de Bohio n'est pas contredite par les chiffres du Comité Technique.	165
Tous les travaux à Bohio peuvent être faits en quatre années.	166
Aucune crainte du sous-sol perméable sur lequel reposera le barrage de Bohio.	168
Autres systèmes proposés autrefois pour la régularisation des crues du Chagres.	169
Les plans de l'Isthmian Canal Commission, parfaits pour un canal à écluses perpétuelles, mauvais si la transformation en canal à niveau est prévue.	172

Le problème de Culebra.

Préambule.	173
L'alimentation en eau du bief supérieur est parfaite dans les plans que je propose.	174
Pourquoi le niveau 39 ^m ,65 a-t-il été choisi pour le bief central. Le niveau, en aucun cas, ne devrait être plus bas pour la première forme de la voie d'eau de Panama.	175

III

TRANSFORMABILITÉ DU CANAL CONSTRUIT AVEC ÉCLUSES EN UN CANAL A NIVEAU

Préambule.	178
L'accroissement de largeur de 45 à 90 mètres n'aboutit pas à une dépense extravagante.	179
La navigation internationale conservera un chenal indépendant de 22 ^m ,50 au moins si aucun accroissement de largeur n'est admis.	182
Principe basique du système de transformation.	183
Écluse isolée.	183
On a cru en général qu'il était impraticable d'abaisser le niveau du bief supérieur sans arrêter la navigation.	185

Le Canal une fois à niveau recevra les eaux du haut Chagres domestiquées et nettoyyées par le lac de Gamboa. Les affluents du Chagres couleront dans le Canal lui-même entre Gamboa et Bohio. Aucun autre affluent ne sera reçu au-dessous de Bohio dans le Canal.	186
Écluses en échelle.	187

Conditions essentielles de la transformation.

Pas un pouce du chenal consacré à la navigation internationale ne sera employé pour les travaux de transformation.	190
Pas une minute du temps des écluses de navigation internationale, pas une goutte de l'eau emmagasinée pour la navigation internationale ne seront employées pour les travaux de transformation.	193
Le lac de Gamboa, qui est déjà un régulateur de crues et un magasin d'eau, devra jouer un troisième rôle des plus importants : il recevra tous les déblais de la grande tranchée.	194
Le calcul de la durée de la transformation est entouré des plus sérieuses garanties.	194
Les écluses, le chenal et l'eau consacrés à la navigation internationale resteront entièrement indépendants des travaux de transformation.	195
Dimensions, site et coût des écluses unissant le lac de Gamboa au bief supérieur.	196
Supériorité extraordinaire de l'excavation sur l'eau comparée à l'excavation sur rails.	197
Bonnes fondations assurées pour les écluses de Gamboa.	198
Comment on peut éviter la difficulté de construire les écluses basses de l'échelle de Gamboa, lorsque le bief supérieur sera abaissé	199
Le coût des écluses du lac de Gamboa ne dépassera pas 75 000 000 fr.	200
Substitution du dragage à l'excavation à sec pendant la période de transformation.	201
Raisons principales pour lesquelles la méthode d'excavation sur l'eau est si supérieure dans l'Isthme à la méthode à sec.	201
Le dragage du rocher fut préféré à son excavation à sec pendant la période de l'ancienne Compagnie de Panama, et cela avec des dragues bien moins puissantes que celles en usage maintenant.	202
La suspension du dragage à Culebra, une erreur fatale de la nouvelle Compagnie du Canal de Panama.	202
Pourquoi le dragage parfois n'a pas réussi dans l'Isthme.	203
Le moyen certain de réduire les dépenses de dragage réside dans le travail de puissants instruments mus électriquement.	205

Réduction étonnante des prix de l'excavation et du transport.	205
Une profondeur de dragage de 11 à 15 mètres parfaitement avantageuse pour des dragues construites <i>ad hoc</i>	207

IV

NOUVELLES PERSPECTIVES OUVERTES

PAR LA GRANDE RÉDUCTION DE PRIX ET DE TEMPS DES TRAVAUX D'EXCAVATION. LE DÉTROIT DE PANAMA

Préambule.	207
La méthode proposée fait une réalité de ce qui était hier un rêve. Le Déroit de Panama qui, s'il était construit par les méthodes connues jusqu'à présent, demanderait trois quarts de siècle et 4 500 000 000 francs, sans compter les intérêts.	208
Les courants dus aux marées et aux crues n'excéderont pas 3,3 nœuds dans le Déroit de Panama.	209
Le Déroit de Panama demandera trois fois plus d'excavation que le Canal de Panama à niveau.	210
Calcul des prix unitaires et du coût total de la construction du Déroit de Panama.	211
Le Canal de Panama étroit, peu profond et fermé par des écluses de marée, demande autant d'argent et de temps à réaliser que le Déroit de Panama, si ce dernier est construit par la nouvelle méthode proposée.	212
CONCLUSION. — Le canal à bief élevé d'abord. — Le Déroit de Panama ensuite.	213
—————	
MÉMORANDUM du 20 octobre 1905, adressé aux membres du Consulting Board.	217
SECOND MÉMORANDUM, en date du 6 novembre 1905, adressé aux membres du Consulting Board.	227
COMMENTAIRE DU CONSULTING BOARD sur le projet de M. Bunau-Varilla avec la réfutation des erreurs multiples que comporte ce commentaire.	237
RÉSULTAT DES TRAVAUX DU CONSULTING BOARD.	258
ATTITUDE DU PRÉSIDENT DES ÉTATS-UNIS avant et après les travaux du Consulting Board.	265
LA VICTOIRE DU DÉTROIT DE PANAMA ET DU PRINCIPE DE LA TRANSFORMATION.	272
POST-SCRIPTUM.	279

ERRATA

Page 7, avant-dernière ligne : *au lieu de 5 mars 1905, lire 5 mars 1906.*

Page 83, 38^e ligne : *au lieu de 50 pieds au plus, lire 50 pieds ou plus.*

Page 262, 31^e et 32^e lignes : *au lieu de à 54 pieds au-dessus de la mer (16^m,47),
lire à 55 pieds au-dessus de la mer (16^m,77).*

PROFILS EN LONG SUR L'AXE DU CANAL DE PANAMA

Ces profils représentent : 1° le terrain naturel initial le long de l'axe ; 2° le point le plus bas atteint par les excavations dans chaque profil en travers.

NOTE. — Ces profils montrent trois projets de canal à écluses avec bief supérieur aux altitudes respectives de 51-85, 39-65, 25-95 devant être ultérieurement transformés en détroit librement ouvert sur les Océans Pacifique et Atlantique. (Profondeur aux plus basses marées, 13-75; largeur au plafond, 152-50; largeur moyenne à la ligne d'eau, 183 mètres.)

Les terrassements du projet avec bief supérieur à la cote 51-85 sont déjà presque intégralement réalisés par les travaux des Compagnies Françaises. Il ne reste donc presque exclusivement à faire que les ouvrages d'art. Le canal ainsi conçu pouvait être ouvert en trois années. Il livrerait déjà passage aux navires s'il avait été poursuivi depuis le 4 Mai 1904, date de la reprise des travaux par l'Amérique.

Le projet avec bief supérieur à la cote 39-65 exige une excavation à sec de 15 millions de mètres cubes dans le massif central.

Il peut être réalisé en quatre ans. C'est celui soumis par l'auteur aux délibérations de l'International Consulting Board réuni, en Septembre 1905, à Washington, par le président Roosevelt.

Ce canal à écluses constituait la première étape de la réalisation du Déroit de Panama par excavation à la drague sans gêner ni interrompre en quoi que ce soit le transit.

Le troisième projet avec bief supérieur à la cote 25-95 est celui adopté par le président Roosevelt comme forme définitive du Canal de Panama. Mais n'ayant été accepté par le Sénat Américain que comme l'antichambre de la forme du canal libre, large et profond proposé sous le nom de Déroit de Panama au Consulting Board par l'auteur, les lignes relatives à cette transformation ont été tracées sur ce profil, bien qu'elles n'en fassent pas officiellement partie.

L'excavation à travers le massif central, dans ce troisième projet, représente 41 millions de mètres cubes à creuser à sec.

Les trois profils mettent en relief ce fait que, dans chaque Canal à écluses, l'abaissement du bief supérieur augmente énormément et inutilement la masse à excaver à sec. Comme un canal à écluses ne peut jamais être qu'une solution provisoire, à raison du débit limité des rivières alimentant le bief central (1), il est illogique d'augmenter la difficulté des travaux et de retarder son ouverture en abaissant le premier bief supérieur, alors que les travaux de transformation auront pour premier résultat cet abaissement du bief supérieur.

Le projet américain porte à son maximum cette difficulté si facile à éviter. Il se complique, d'ailleurs, d'une autre également admise contre toute logique : le choix de l'emplacement de Gatun au lieu de Bohio pour barrer le Chagres, c'est-à-dire d'un point où la vallée est six fois plus large qu'à Bohio. Le barrage en terre qui sera érigé à Gatun sera à la merci du premier tremblement de terre.

La forme ainsi adoptée pour un canal à écluses nécessairement provisoire est donc au plus haut degré irrationnelle, tant au point de vue du coût de l'exécution et de la rapidité de l'ouverture, qu'au point de vue de la sécurité, une fois le canal ouvert.

Ce projet fait courir à l'Amérique les plus graves dangers au point de vue de sa défense nationale, en maintenant sans communication interocéanique pendant de longues années, et en créant une communication éminemment fragile, exposée à une immédiate destruction en cas de guerre ou de tremblement de terre, jusqu'au moment où le canal éclusé sera transformé en Déroit.

(1) Le Président Roosevelt, le 19 Février 1905, en recommandant le canal à écluses perpétuelles au Congrès, a dit que la majorité du Consulting Board, formée pour cinq de ses membres sur huit par l'ensemble des ingénieurs européens, n'avait pas eu suffisamment égard à la leçon donnée par le canal américain du Sault-Sainte-Marie en recommandant un canal à niveau.

Il eut été juste de dire précisément le contraire. Ce sont les ingénieurs américains de la minorité du Board qui n'ont pas interprété cette grande leçon comme elle devait l'être.

Ils ont recommandé le canal à écluses perpétuelles, qui a été adopté par le Président Roosevelt, alors que le limite de son pouvoir de transit, fixée par le débit des rivières isthmiques, est restreinte à un chiffre variant entre 44.000.000 et 73.000.000 de tonnes (voir le post-scriptum).

La seule leçon du canal de Sault-Sainte-Marie c'est la rapidité de son développement. Il était de 6 411.000 tonnes en 1888, il était de 44.270.000 tonnes en 1905, on s'attend à ce qu'il atteigne 60.000.000 de tonnes en 1907. En dix-neuf ans, il a passé du trafic qu'aura au début le canal de Panama au trafic qui représente le maximum de capacité de la forme éclusée.

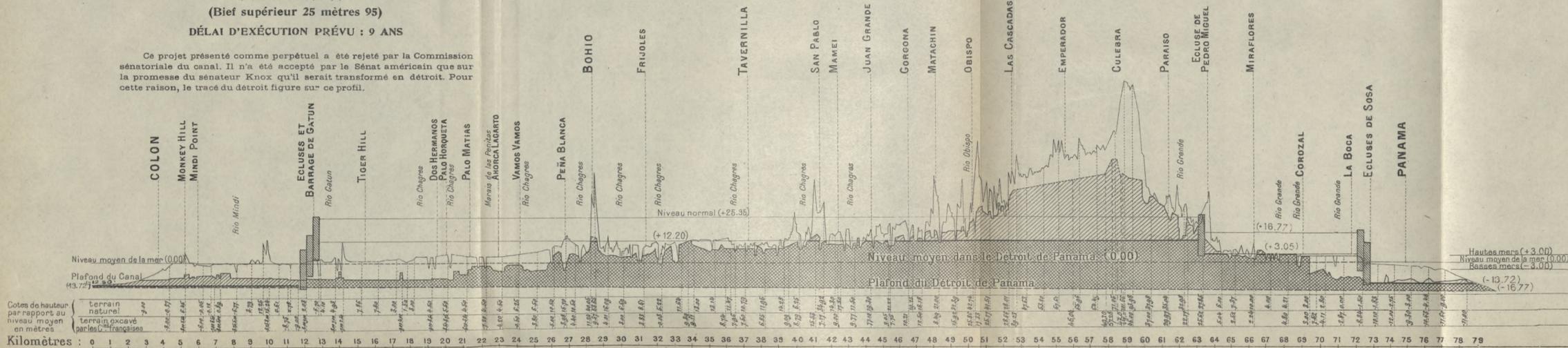
La grande et unique leçon du canal de Sault-Sainte-Marie est donc contraire à ce qu'a dit le Président Roosevelt.

Elle démontre que le canal à écluses perpétuelles est une des plus désolantes et des plus incroyables erreurs qui aient jamais été commises. Elle démontre la nécessité de la transformation du canal à écluses, quel qu'il soit, non en canal à niveau, mais en déroit. Elle démontre que l'œuvre de la transformation doit être commencée dès l'ouverture et préparée pendant la construction.

PROJET DE CANAL A ÉCLUSES PERPÉTUELLES adopté par le président Roosevelt

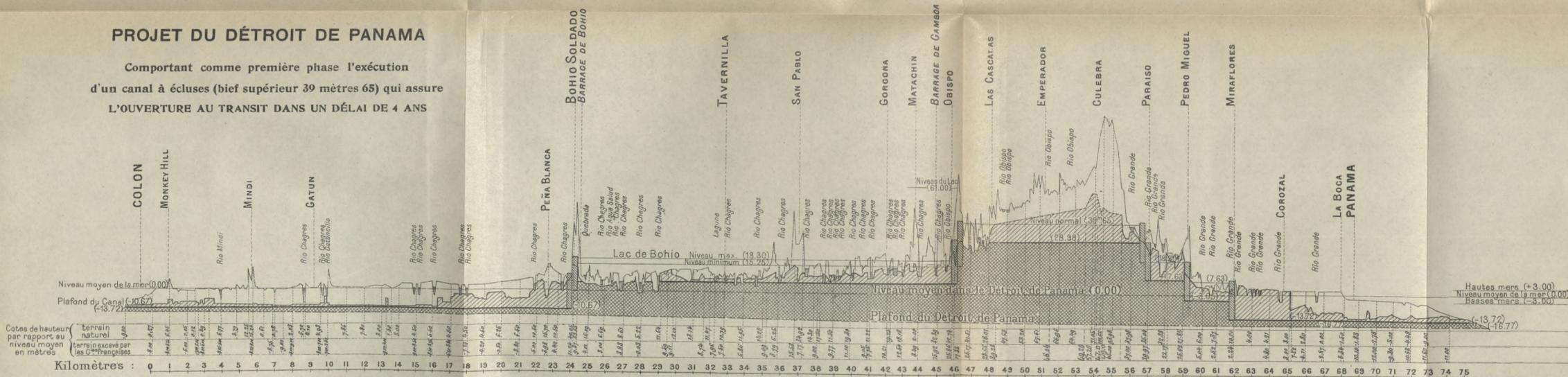
(Projet Godin de Lepinay.)
(Bief supérieur 25 mètres 95)
DÉLAI D'EXÉCUTION PRÉVU : 9 ANS

Ce projet présenté comme perpétuel a été rejeté par la Commission sénatoriale du canal. Il n'a été accepté par le Sénat américain que sur la promesse du sénateur Knox qu'il serait transformé en déroit. Pour cette raison, le tracé du déroit figure sur ce profil.



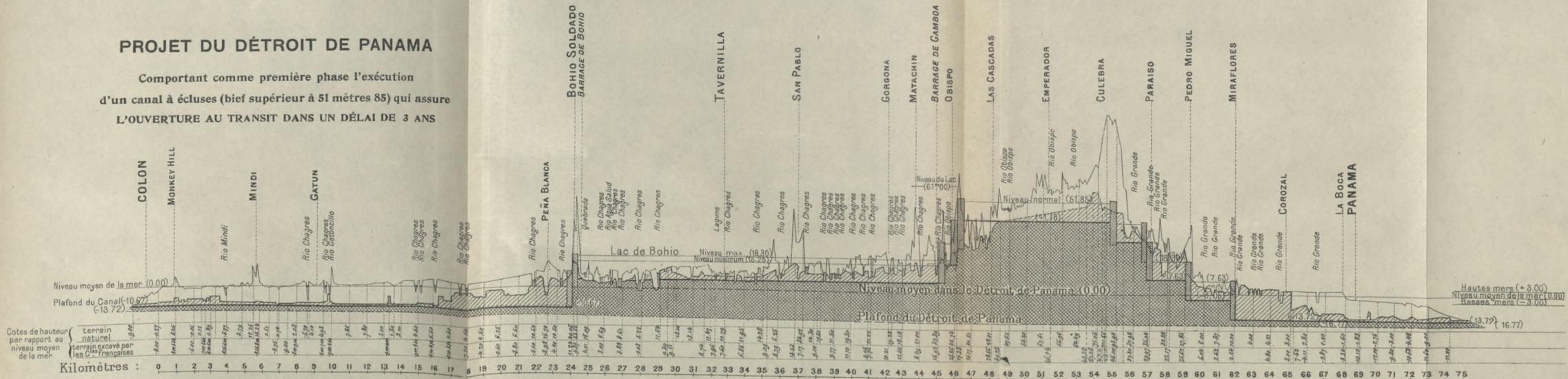
PROJET DU DÉTROIT DE PANAMA

Comportant comme première phase l'exécution
d'un canal à écluses (bief supérieur 39 mètres 65) qui assure
L'OUVERTURE AU TRANSIT DANS UN DÉLAI DE 4 ANS



PROJET DU DÉTROIT DE PANAMA

Comportant comme première phase l'exécution
d'un canal à écluses (bief supérieur à 51 mètres 85) qui assure
L'OUVERTURE AU TRANSIT DANS UN DÉLAI DE 3 ANS



Légende

Excavation actuellement réalisée par les Compagnies Françaises :

Ancienne Compagnie de Panama... 55.000.000 m. c.
Nouvelle Compagnie de Panama... 5.000.000 m. c.

Excavation à réaliser à sec pour ouvrir le canal à écluses

Excavation à réaliser à la drague après l'ouverture du canal à écluses pour le transformer en déroit.

S. 61



PROJET DE LOI DE LA CHAMBRE DES DEPUTES

IMPRIMERIE E. CAPIOMONT ET C^{ie}



PARIS

57, RUE DE SEINE, 57

20

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000294560