

LE CANAL DE LA MER DU NORD

A LA

MER BALTIQUE

PAR

ALEXIS DUFOURNY,

INGÉNIEUR PRINCIPAL DES PONTS ET CHAUSSEES.

PREMIÈRE PARTIE

Le canal de la mer du Nord à la mer Baltique est l'œuvre hydraulique la plus considérable qui s'exécute en ce moment.

Il vient se classer, comme importance maritime, internationale, immédiatement après la traversée de Suez, en faisant abstraction, bien entendu, du canal de Panama, dont les travaux sont abandonnés et du canal de Manchester (1) qui coûtera près de 400 millions, il est vrai, mais dont le but est d'intérêt purement local.

Beaucoup de journaux scientifiques ont parlé du

(1) Ce canal se termine en cul de sac et sa longueur totale n'est que de 57 kilomètres.

grand canal allemand ; ils en ont donné les plans et fait la description ; ils ont exposé les considérations qui ont présidé à la détermination du tracé et mis en relief les raisons justificatives des profils adoptés.

Le *Centralbatt für Bauverwaltung* (1) a été la source des renseignements publiés par les revues françaises en général. Nous recourrons, comme ces dernières, aux articles du journal allemand, mais plus encore à ses dessins qui sont d'une grande clarté et d'une parfaite exécution.

Nous espérons, d'ailleurs, pouvoir ajouter quelques données utiles aux publications déjà parues, en relatant les renseignements que nous avons recueillis au cours d'une visite que nous avons faite des travaux du canal de la mer Baltique en octobre dernier.

M. le ministre des travaux publics nous a chargés de parcourir le canal sur toute son étendue et de lui en donner la description.

Notre tâche a été considérablement facilitée et c'est un devoir pour nous de le reconnaître ici, par la bienveillance des hauts fonctionnaires de l'empire qui nous ont accompagnés dans notre excursion et par les documents que la Commission impériale du canal a bien voulu mettre à notre disposition.

MM. Kock, baurath et membre de la Commission impériale, et Richard Reverdy, baurath et directeur d'une importante section du canal, nous ont accueillis avec prévenance et nous ont fourni les renseignements techniques que nous cherchions à obtenir. Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à ces éminents collègues.

(1) Le *Wochenschrift der Oesterr. Ingenieur- und Architekten-Vereins* a publié également des articles intéressants sur la même question.

But du canal.

C'est le 3 juin 1887 que l'empereur Guillaume I^{er} a inauguré solennellement le canal à creuser, par le Schleswig-Holstein, de la mer du Nord à la mer Baltique.

« Pour l'honneur de l'Allemagne, a dit l'empereur, pour le *bien* de l'empire, pour sa *grandeur* et sa *force*. »

Le but de l'œuvre à créer se trouve caractérisé en style lapidaire dans ces paroles remarquables.

L'entreprise est *grandiose* et incontestablement tout à l'honneur de l'Allemagne.

Elle est *utile*, puisqu'elle ouvre un passage direct de la mer Baltique à la mer du Nord, puisqu'elle raccourcit les distances dans une mesure énorme et qu'elle permet d'éviter le détour de 4 à 500 milles marins par les détroits du Kattégat, du Sund et des Belts.

AVANTAGES HUMANITAIRES

Elle est *humanitaire* et *philanthropique*, car, à dater de l'achèvement du canal, en 1895, selon les prévisions des ingénieurs, les navigateurs n'auront plus à franchir les passes si redoutées du Skagerrak et ne seront plus exposés aux coups de mer terribles qui sévissent sur la côte ouest du Jutland.

Le gouvernement de l'empire avait, au Congrès de navigation de Francfort, exposé une carte que nous avons revue à Holtenau, à l'embouchure du nouveau canal dans la baie de Kiel, et qui démontre, d'une façon saisissante, les grands dangers de la navigation actuelle de la mer du Nord à la mer Baltique.

Chacun des sinistres survenus de 1858 à 1885 se trouve représenté sur la carte par un point rouge; s'il s'agit d'un vapeur, et par un point bleu s'il s'agit d'un

voilier, et chaque point est placé précisément à l'endroit où le navire a péri.

Or, comme pendant la période considérée, il s'est produit 6,316 naufrages, la carte, en certains points, est criblée, surchargée de points dont chacun correspond à une catastrophe maritime. Le diagramme est d'une éloquence effrayante et justifie à lui seul, en parlant aux yeux, la nécessité de la voie nouvelle et le bienfait qui doit en résulter pour l'humanité.

Durant une période de cinq ans, l'Allemagne seule a perdu 92 navires sur la côte nord du Danemark, 708 personnes ont péri et les sinistres ont occasionné des pertes évaluées à 6,500,000 marks. La perte totale annuelle que subit la navigation maritime et qu'entraîne la nécessité de doubler le cap de Skagen se chiffre, d'après certaines statistiques, par une centaine de navires, 500 matelots et 12 millions de francs.

Le canal de la mer du Nord à la mer Baltique est donc, au premier chef, une œuvre humanitaire.

AVANTAGES ÉCONOMIQUES

La voie nouvelle est non moins une œuvre *économique*, car il paraît impossible que, répondant à des besoins, à des nécessités aussi impérieuses que celles que nous venons d'indiquer, elle ne soit pas appelée à un très brillant avenir.

Elle deviendra inévitablement la source et le point de départ d'un trafic nouveau considérable. De tous temps, on a entrevu ce trafic; aussi depuis cinq siècles fait-on des efforts de plus en plus considérables pour réunir la mer du Nord à la mer Baltique par une voie de jonction.

Historique. — En 1398 déjà, Lubeck, la puissante ville hanséatique, alors à l'apogée de sa grandeur, fit construire à ses frais un canal dit « de Steckmitz »,

qui, réunissant l'Elbe et la Trave, passait au travers de tout le Schleswig-Holstein.

C'était une œuvre pour l'époque, et d'autant plus mémorable que le « Stecknitz » est l'un des plus anciens canaux à écluses de l'Europe.

L'accroissement continu des dimensions des navires rendit bientôt le canal insuffisant et la même ville de Lubeck se vit amenée à en construire un autre entièrement nouveau, beaucoup plus important que le premier, en 1525, pour réunir le Beste et l'Alster ; mais des difficultés survinrent à ce sujet entre les villes de Lubeck et de Hambourg, et le canal fut comblé.

Enfin, sous le règne du roi de Danemark, Christian VII, et sous l'impulsion énergique du prince héritier Frédéric, fut creusé un canal allant de Rendsbourg à la baie de Kiel et réunissant ainsi la Baltique à l'Eider maritime qui débouche dans la mer du Nord.

La voie nouvelle fut appelée « canal de l'Eider ». Elle subsiste encore ; son mouillage est de 3 mètres et elle peut porter de petits navires ne dépassant pas 32 mètres de longueur. Elle ne saurait évidemment plus aujourd'hui desservir le trafic considérable qui s'échange entre la mer du Nord et la mer Baltique.

Du reste, le canal de l'Eider était à peine achevé qu'on en voyait l'insuffisance et que l'on songeait déjà à creuser une voie nouvelle, en eau profonde, à grande section, sans écluse et pouvant suffire à tous les besoins de l'avenir, c'est-à-dire à un très large trafic.

C'était évidemment là un simple programme, un desideratum ; il fallait, en tous cas, pour les réaliser, les ressources d'un empire, l'effort à tenter et à accomplir étant au-dessus de la puissance d'un état isolé.

Depuis plusieurs années, on constate une progression rapide dans le mouvement de la navigation de la mer Baltique à la mer du Nord. En 1858, il passait par

le Sund 24,541 navires, et en 1882 ce chiffre s'élevait à 38,788 navires. On compte aujourd'hui qu'il passe annuellement 45,000 navires par le Sund, par les Belts et par le canal de l'Eider, ce qui correspondrait à un tonnage de 13 à 14 millions de tonnes-registres.

Les prévisions basées sur l'expérience permettent de supposer que la voie nouvelle augmentera le trafic dans une forte proportion, et d'aucuns vont même à évaluer cette augmentation de trafic à la moitié du tonnage actuel.

HAMBOURG ET COPENHAGUE

Incontestablement le mouvement maritime grandira. Le port de Hambourg va voir son importance et sa zone d'action considérablement accrues. Par le nouveau canal, Hambourg se trouve placé à la porte d'entrée de la mer Baltique.

Hambourg devient l'entrepôt, le port alimentaire de l'Europe septentrionale. Il s'outille et s'arme à cet effet; il fait des préparatifs grandioses et des dépenses colossales pour être prêt à desservir sa nouvelle clientèle dès l'ouverture du canal; il veut acquérir d'emblée une situation prépondérante dans l'Europe septentrionale.

Copenhague est menacé, Copenhague jusqu'ici la métropole de la Baltique, le vrai centre de tout le commerce du nord. C'est une lutte terrible qui s'engage. Le danger est grave et pressant. On cherche à le conjurer et à réagir.

On crée à côté du vieux port de Copenhague un port franc très vaste et la ville s'impose des sacrifices et des dépenses énormes devant lesquelles hésiteraient peut-être des nations plus puissantes et plus riches.

Les travaux de Copenhague sont très étendus, nous

venons de le dire, et sont poussés avec une fièvre, une célérité qui prouvent l'imminence du péril.

On ne peut s'empêcher d'admirer la vaillance et l'énergie de la petite nation danoise ; mais on doit se demander si la résistance sera utile et si Copenhague, après la création de son port franc, pourra soutenir, avec chances de succès, la concurrence terrible de Hambourg et de Lubeck, deux places commerciales de premier ordre, et dont la première est déjà devenu l'une des premières places de commerce du monde entier.

Il faut donc s'attendre, dans un avenir prochain, à une véritable révolution économique dans tout le bassin de la Baltique. Et il serait bien difficile de prévoir l'avenir et de mesurer, dans toute son étendue, l'importance du nouveau canal et les effets qui vont en résulter.

Kiel, Lubeck, Rostock, Dantzig, Königsberg et Cronstadt, qui se trouvent plus rapprochés actuellement de la côte nord de l'Angleterre que des ports de Brême et de Hambourg, auront, dès que le canal sera achevé, un moyen de communication rapide avec ces ports, avec ceux des Pays-Bas et de la Belgique, et avec tous ceux du sud de l'Europe. C'est un véritable déplacement géographique qui va se produire des ports de la Baltique vers les centres commerciaux les plus importants du continent. De là, comme disait l'empereur en 1887, ne peut résulter qu'un grand *bien* pour l'Allemagne.

AVANTAGES AU POINT DE VUE STRATÉGIQUE

L'entreprise que l'on poursuit ne peut, d'autre part, qu'augmenter dans une mesure considérable la *force* de la marine militaire allemande. Le nouveau canal sera une arme puissante ; il enlèvera pour toujours au Danemark les clefs de la Baltique, que ce pays détient aujourd'hui, et, dès lors, le moyen de couper ou de

maintenir en deux tronçons isolés la flotte germanique. Le point de vue stratégique domine ainsi toute l'entreprise.

Nous sortirions de notre cadre et de notre compétence en examinant de ce point de vue la question du canal; mais nous ne pourrions cependant pas omettre de le signaler, sans laisser une lacune dans notre travail, lacune d'autant plus importante qu'elle a trait au but essentiel et déterminant de l'œuvre entreprise.

Il apparaît clairement, du reste, aux yeux de tous, par un simple examen de la carte, que le canal permettra la concentration de la flotte et son déplacement rapide de la mer du Nord dans la mer Baltique.

Le grand port militaire de Kiel sera réuni aux arsenaux militaires de Wilhelmshafen, les plus importants de l'Allemagne, par une voie sûre, offrant un excellent abri et défendue, à chacune de ses extrémités, à Cuxhafen et à Kiel, par des forts capables de protéger la flotte. Il y aura à Cuxhafen des bassins militaires et une station puissamment défendue. Toutes les évolutions stratégiques de la flotte de guerre seront ainsi rendues commodes et sûres.

Le but essentiel de l'œuvre se révèle d'une façon d'autant plus certaine, que le coût des travaux sera payé, pour plus des deux tiers, par les finances de l'empire, et, pour le restant, par le trésor de la Prusse. Ce sont, d'ailleurs, des ingénieurs empruntés à tous les Etats de l'empire qui ont coopéré à la rédaction des plans et qui poursuivent, en ce moment, la réalisation de l'œuvre commune.

Tracé.

Le tracé du canal résulte des conditions stratégiques, économiques et commerciales auxquelles il doit satisfaire. La mise en pratique de ces conditions impliquait

de nombreux points de passage obligés, et commandait les points de débouquement du canal.

Du côté de Kiel, en effet, se trouvent des arsenaux immenses, un port militaire de premier ordre, une vaste baie admirablement abritée, dans laquelle règne presque en permanence un calme complet et qui peut contenir aisément toute une flotte de guerre.

Les navires du plus grand tirant d'eau évoluent partout et comme ils veulent dans cette baie, dont le mouillage est de 14 à 15 mètres et qui a au moins un kilomètre de largeur dans ses passes les plus rétrécies.

Comme point de départ d'un canal, il serait impossible de trouver mieux que la baie de Kiel. Aussi, tous les projets de jonction de la Baltique à la mer du Nord, établis aux siècles passés, ont-ils eu le port de Kiel comme tête de ligne.

Du côté de la mer du Nord, la solution est également tout indiquée. Il n'y en a même qu'une seule, car l'on concevrait difficilement un canal maritime ne venant pas aboutir dans le vaste estuaire de l'Elbe. L'accès est sûr, large, profond et offre un excellent abri contre les gros temps.

Le thalweg du fleuve passe au pied de Cuxhafen, puis se porte sur la rive opposée à Brünsbüttel, en suivant la loi sinusoïdale et la loi des rives concaves. C'est au sommet de la sinusoïde, à Brünsbüttel, que débouche le canal dans des profondeurs de 12 mètres, qui vont en augmentant jusque 20 mètres, de Brünsbüttel jusque Cuxhafen.

Kiel, Brünsbüttel, Cuxhafen et Wilhelmshafen se trouvent, du reste, placés sur une ligne à peu près droite : c'est une heureuse coïncidence et un avantage utile à signaler.

De Kiel à Brünsbüttel, la voie à suivre est tout indiquée dans ses grandes lignes. Sur plus de 30 kilo-

mètres de longueur, de Holtenau situé dans la baie de Kiel, jusque Rendsbourg, s'étend le canal de l'Eider, l'ancien canal construit par le prince Frédéric de Danemark. Le tracé de cette voie a été combiné jadis très économiquement, de façon à emprunter toutes les dépressions du sol. En suivant cette direction, on pouvait donc réduire au minimum le cube des terrassements et l'on pouvait aussi, précieux avantage, utiliser la puissance de transport du canal, tant pour amener sur place les matériaux que le matériel nécessaire à l'exécution de la voie nouvelle.

Au delà de Rendsbourg, la vallée de l'Eider se présente en ligne droite et presque sans un pli de terrain jusque vers Grunenthal, localité située sur la crête de partage de la vallée de l'Eider et de la vallée du Holstein. A partir de Grunenthal jusqu'à l'Elbe, le terrain est entièrement plat, terrain de polder, s'asséchant, à marée basse, par le Holstein et par d'autres affluents de l'Elbe.

En partant de Holtenau, on est donc conduit à Brünsbüttel par des voies toutes tracées et dont on ne peut guère dévier : le thalweg du canal de l'Eider, la vallée de l'Eider et la vallée du Holstein. Les variantes de tracé, les combinaisons, les changements sont d'autant plus étroitement limités, qu'il faut nécessairement traverser plusieurs lacs, le Kuden, le Meckel, l'Andorfer, le Schirnauer et le Flemuder. Ces lacs sont des points obligés et pour divers motifs : ils sont des points de garage précieux donnés par la nature ; ils permettent, à raison de leur étendue, une accélération dans la marche des navires ; ils peuvent emmagasiner de grands volumes d'eau et réduisent, dans une forte mesure, la vitesse des courants d'évacuation.

D'un autre côté, la reconnaissance géologique du sol, faite par des sondages extrêmement multipliés

dans les endroits difficiles, était venue déterminer et fixer en plusieurs points, les directions à suivre. Celles-ci étaient, au surplus, assujetties à cette condition que le minimum du rayon des courbes ne pouvait descendre en-dessous de 1,000 mètres. Le tracé était donc commandé d'une manière presque absolue, et il ne pouvait faire l'objet ni de grandes discussions ni de grands écarts. Il est dessiné en noir et en traits pleins sur la planche VI (fig. 1). Le tracé proposé par l'ingénieur Dahlström, l'un des premiers et des plus ardents promoteurs du canal de la Baltique, est indiqué sur la carte par un trait pointillé noir. La différence principale entre les deux tracés consiste en ce que l'un suit l'Eider parallèlement à son cours, et que l'autre, celui de M. Dahlström, emprunte le lit de la rivière depuis Rendsbourg jusque Wittenbargen, localité située à l'endroit où l'Eider forme un coude à angle droit et remonte vers le nord.

Laquelle des deux solutions était la préférable? On discuta sur ce point, et le tracé de l'ingénieur Dahlström fut écarté, parce qu'il soulevait d'assez nombreuses réclamations de la part des riverains de l'Eider. Ceux d'aval redoutaient les conséquences du barrage qu'il aurait fallu établir à Wittenbargen, pour séparer l'Eider inférieur du canal maritime de la Baltique. Un barrage en ce point aurait intercepté le courant de la marée et aurait empêché la propagation de celle-ci vers la partie supérieure du fleuve. De là un arrêt brusque, une destruction de force vive considérable, et, comme conséquence, un surélévement à craindre du niveau de la marée dans la partie inférieure du fleuve.

Quelle serait l'importance de ce surélévement? De combien faudrait-il renforcer, élargir et exhausser les digues du fleuve? L'expérience seule viendrait indiquer

la mesure et la quantité des travaux à faire; et cette inconnue, cette aggravation de charges et de dépenses futures n'étaient pas pour rassurer les intéressés, dont on conçoit l'opposition.

Les riverains de l'Eider supérieur considéraient comme préjudiciable à leurs intérêts la suppression des inondations de leurs prairies, aux époques de grandes marées et des crues de la rivière. Ces inondations deviendraient évidemment impossibles, le jour où les eaux de l'Eider, coulant dans un canal maritime, resteraient à un niveau constant. Enfin, les habitants de Rendsbourg redoutaient le passage de la nouvelle voie maritime dans le centre même de la ville, car il devait en résulter un contact et un mélange des eaux plus ou moins saumâtres du canal avec celles de la nappe des sources alimentaires.

Personne, après examen, n'avait plus des apaisements complets touchant la réalisation de l'idée, qui avait souri d'abord, de réunir en un seul et même lit, de Rendsbourg à Wittenbargen, le canal maritime et l'Eider. On creusa donc un lit distinct pour le canal, et on plaça ce dernier à la gauche et à quelques centaines de mètres de la rivière.

Le tracé adopté a un développement total de 98^{kil.}65, dont près des deux tiers se trouvent en alignement droit. Voici, du reste, d'après une note officielle, la manière exacte dont le tracé se décompose :

	Mètres	Kilomètres	Pour cent
En alignement droit		62,15	63
En courbe d'un rayon de	6,000	4,82	4,9
.. .. .	5,000	5,52	5,6
.. .. .	3,000	13,23	13,4
.. .. .	2,500	3,77	3,8
.. .. .	2,000	0,98	1,0
.. .. .	1,700	1,99	2,0
.. .. .	1,500	2,99	3,0
.. .. .	1,000	3,20	3,3
		<hr/>	<hr/>
		98,65	100

Les courbes de 1,000 mètres de rayon ont un développement de 3^{kil},20. Elles se trouvent réunies dans la partie du canal située près de Holtenau. Elles se succèdent à faible intervalle, tout en restant séparées par des alignements droits d'au moins 253 mètres, ce qui correspond à deux fois environ la longueur d'un des plus grands navires de la Baltique.

Tous les obstacles à la navigation, toutes les difficultés se trouvent donc concentrées sur un seul point du côté de Kiel, où le tracé est assez tourmenté. Des rayons de 1,000 mètres doivent être envisagés comme un inconvénient pour un canal maritime à grand trafic; ils doivent être évités si possible. L'expérience de Suez a indiqué qu'il convient de prendre des rayons de 1,800 mètres au moins (1).

On a placé les ponts mobiles dans des parties du canal en alignement droit, ce qui rend le passage plus facile aux navires, et l'on a construit plusieurs gares d'évitement. Ces gares sont espacées de 12 kilomètres. Au canal de Suez, les gares de croisement sont espacées de 10 kilomètres, et il a été reconnu que cet espacement est convenable et peut répondre à un trafic de grande importance.

Disons quelques mots, avant de terminer la description du tracé, des deux parties extrêmes du canal.

Du côté de l'Elbe, le choix de la direction à prendre a fait l'objet d'une étude attentive de la part des ingénieurs et des marins. La question était difficile à résoudre. Le point de débouquement était invariablement fixé, comme nous l'avons dit, au sommet de la sinusoïde qu'affecte le thalweg de la rivière, mais l'angle d'intersection était à déterminer.

Cet angle est de 47 degrés. De la sorte les navires

(1) Voir *Annales des Travaux publics* (France), année 1887, p. 1906.

qui veulent pénétrer dans le canal, ou en sortir, ne se trouvent pas en travers du courant, ni au flot ni à l'ebbe.

D'un autre côté, l'entrée se trouvant dirigée vers l'aval, ne sera pas obstruée par les débâcles de glaces qui sont fort redoutables à l'embouchure de l'Elbe.

L'inclinaison de 47 degrés aurait été réduite encore, si les coups de mer, qui se font sentir violemment jusque Brünsbüttel et au delà, n'avaient pas été à redouter et si l'on n'avait pas craint l'action des vagues sur les portes de l'écluse maritime à placer à l'entrée du canal.

Depuis la tête aval de cette écluse jusqu'au thalweg du fleuve, s'étend un chenal d'accès de 700 mètres de longueur et de 100 mètres de largeur, qui peut servir d'abri ou de gare de refuge.

Du côté de Kiel, le canal débouche dans la rade, suivant une direction vers l'est. L'écluse d'entrée de ce côté est précédée d'un chenal de 120 mètres de largeur et de 800 mètres de longueur du côté de la rive nord. Le chenal a des accostages pour les navires de commerce et pour les bâtiments de guerre.

Profil en long.

CANAL AVEC OU SANS ÉCLUSES

Un canal sans écluses est un canal parfait : l'idéal. Il offre à la navigation des avantages du plus grand prix ; il est accessible à toute heure et sans sujétion de marée ; il possède une capacité de transport presque illimitée ; il peut être parcouru à toute vitesse sans danger s'il est large, si ses berges sont revêtues de bonnes défenses et s'il ne présente, ni à l'entrée ni à la sortie, de cause notable de ralentissement. Citons comme exemples : le canal de Suez, le canal de Corinthe et celui de Cronstadt à Saint-Petersbourg.

L'écluse est un obstacle, une entrave, et toujours, quel que soit le système, un point de sujétion des plus graves. Un navire de grand tonnage et qui coûte des millions ne s'expose pas à franchir une écluse sans nécessité absolue. Il court des risques d'avaries, même en usant des plus grandes précautions; il perd un temps précieux, et s'il vient à couler bas, il peut fermer le canal pendant des semaines et enrayer tout le trafic.

L'opération de l'éclusage est toujours longue, notwithstanding les perfectionnements récemment apportés aux appareils de remplissage du sas des écluses, car c'est à l'entrée et à la sortie de ces ouvrages que les manœuvres sont multiples, délicates et difficiles.

Il ne peut passer qu'un nombre fort restreint de grands navires à une écluse à sas durant une journée, et cet ouvrage limite conséquemment, d'une manière assez étroite, le débit, la puissance de transport du canal.

MANCHESTER-LIVERPOOL

C'est là le motif pour lequel on a placé trois sas accolés à chacune des écluses du canal de Manchester à Liverpool, et que les écluses d'Eastham, celles placées à l'extrémité aval de la nouvelle voie maritime, sont entièrement ouvertes à marée étale.

AMSTERDAM-YMUIDEN

A Ymuiden, il y a deux écluses jumelées, et l'administration en construit présentement une troisième de plus grandes dimensions que les deux autres (1). Une très intéressante discussion a surgi dans ces derniers temps au sein de l'Institut royal des ingénieurs néerlandais (2) au sujet des écluses d'Ymuiden, et à l'heure

(1) Les dimensions principales de la nouvelle écluse sont les suivantes : longueur, 210 mètres ; largeur, 25 mètres, profondeur, 9^m,50 sous l'étiage du canal.

(2) Séance du 13 juin 1889. *Tijdschrift van het koninklijk Instituut van Ingenieurs*, p. 100.

même où l'on édifie un nouvel ouvrage pour parer à l'insuffisance des ouvrages existants, un ingénieur, M. Huet, après avoir soutenu que les trois écluses d'Ymuiden seraient insuffisantes, qu'elles seraient impuissantes à faire face à un trafic semblable à celui d'Anvers, ou même de Rotterdam, et que l'on serait forcé tôt ou tard de laisser le Zuiderzée en libre communication avec la mer du Nord, sans écluse ni barrage, a été chargé d'étudier la question d'une façon détaillée, et il a obtenu à cet effet un subside de 4000 florins.

C'est évidemment dans un but d'économie que l'on a placé des écluses à l'entrée du canal d'Ymuiden. Ces écluses maintiennent l'étiage du canal à une cote constante, un peu supérieure au niveau de la marée basse. (L'amplitude de la marée est d'ailleurs faible à Ymuiden.) Elles permettent dès lors de tenir le plafond et les ouvrages du canal un peu plus haut que si l'étiage de ce dernier avait été réglé à la cote des plus basses mers. Elles empêchent aussi l'introduction dans le canal des vases que charrie la mer avec abondance devant l'entrée du port d'Ymuiden.

Mais tout compte fait, et supputant d'une façon complète et exacte les dépenses nécessaires dans les deux hypothèses, avec ou sans écluses, il doit y avoir, semble-t-il, bien peu de bénéfice à prendre l'une plutôt que l'autre de ces solutions.

Au point de vue du coût de construction, on pouvait faire à l'origine indistinctement l'une ou l'autre chose ; au point de vue de la navigation, le doute n'était pas possible, puisque l'écluse est à la fois une gêne pour les navires et une cause de réduction de trafic pour le canal.

L'inconvénient des écluses sur une voie maritime appelée à une navigation active est évidente et incontestable. Mais il ne faut pas s'exagérer l'inconvénient.

Tout en cherchant à réaliser un profil en long permettant d'obtenir le minimum de perte de temps pour la navigation, il serait peu sage de s'imposer, dans ce but, des dépenses de construction excessives. Il faut rester dans des conditions pratiques.

PANAMA

Jamais, en effet, l'on ne justifiera l'imprévoyance d'une autorité qui, poursuivant le but pratiquement irréalisable de construire un canal sans écluse, ruinerait l'œuvre entreprise et compromettrait à toujours existence, comme on l'a vu faire récemment pour le canal de Panama qui restera un exemple mémorable.

LE CANAL DE LA BALTIQUE ET LE CANAL DE SUEZ

Les ingénieurs allemands, si avancés dans la science hydraulique, et si bien au fait de tous les précédents que nous venons de rappeler, n'auraient pas hésité un instant, si la chose eût été possible, à réunir la Baltique à la mer du Nord par un canal sans écluses. Ils se sont inspirés de Suez, la chose est incontestable; ils ont cherché à se rapprocher le plus possible de ce modèle. Mais les situations de l'un et de l'autre côté sont fort différentes.

A Suez, l'amplitude moyenne de la marée n'est que de 1^m,46, et le plus grand écart qui se produit dans la mer Rouge, entre les niveaux de haute et de basse mer, ne dépasse pas 2^m,56. Le canal de Suez a une longueur de 160 kilomètres et l'origine des lacs Amers, dont l'immense étendue suffit à emmagasiner tout le débit de marée venant de la mer Rouge, se trouve placée seulement à 27 kilomètres de cette mer.

La marée ne se propage donc pas au delà des lacs Amers. Du côté de la Méditerranée, il y a les lacs

Menzaleh, Ballah et le lac Timsah, qui affaiblissent et annihilent même souvent d'une manière complète dans le canal les dénivellations, du reste fort faibles, qui résultent des oscillations du niveau de la Méditerranée.

L'écart moyen est de 40 centimètres seulement à Port-Saïd entre mer haute et mer basse, et l'écart maximum ne dépasse jamais 1^m,32.

Dans l'Elbe, au contraire, au débouché du canal de la Baltique, la marée haute s'élève parfois à la cote + 5^m,01, et l'ebbe la plus basse descend à — 3^m,39, ce qui fait un écart de 8^m,40 entre les cotes extrêmes ; l'écart moyen est encore de 2^m,79, c'est-à-dire beaucoup supérieur à la plus grande différence que nous avons signalée tout à l'heure à Suez et à Port-Saïd.

Dans la mer Baltique, la marée est, pour ainsi dire, nulle, et la dénivellation provenant de cette cause ne dépasse guère 0^m,10 à 0^m,20. Mais l'influence du vent est très appréciable sur le niveau de la mer. L'accumulation des eaux, produite par un vent d'est persistant, peut atteindre une amplitude de 2^m,71 dans la partie la plus enfoncée de la baie de Kiel, là précisément où débouche l'écluse de Holtenau.

La forme en entonnoir de la baie est la seule cause de cette amplitude, de cette surélévation qui est accidentelle et locale, et qui mérite d'autant plus d'être signalée, que le niveau général de la Baltique baisse, dans une mesure assez sensible, sous l'action persistante des vents d'est. Les eaux de la Baltique sont alors déversées partiellement dans l'Océan par les détroits des Belts et du Sund. Ces vents produisent donc un courant de sortie vers l'Océan. L'influence locale causée par le vent d'est produit ainsi à Holtenau un effet contraire à celui qui s'observe dans le niveau général de la mer Baltique. De même, sous

l'action du vent d'ouest, qui surélève le niveau de la mer Baltique, on voit s'abaisser celui des eaux dans la baie de Kiel, et jusqu'à une cote de 2^m,55 en-dessous de la moyenne.

L'amplitude maxima de l'oscillation dans la mer Baltique est donc de 5^m,26.

En fait, il peut exister des dénivellations de 7^m,33 entre la marée haute de l'Elbe et les basses eaux dans la mer Baltique, et, inversement, de 6^m,33 entre les hautes eaux de la mer Baltique et l'ebbe la plus basse dans la mer du Nord; le canal n'a que 98 kilomètres de développement et les lacs de l'Eider, les seuls de quelque importance se trouvant sur le parcours de la voie, sont situés près de Rendsbourg, à 70 kilomètres de l'Elbe.

Si les deux mers étaient mises en libre communication par la voie nouvelle, il s'établirait dans celle-ci, le calcul le prouve, des courants d'une violence extrême, et qui seraient aussi désastreux pour le maintien des rives que pour la sécurité de la navigation. On était donc placé dans l'obligation absolue d'établir des écluses, et du côté de la mer Baltique et du côté de l'Elbe. De ce dernier côté, la nécessité était d'autant plus impérieuse que l'Elbe charrie des eaux extrêmement vaseuses, et qu'à marée montante ces eaux pénétrant dans le canal, auraient fatalement produit dans ce dernier vers l'étale des envasements rapides.

Les eaux de la mer Baltique sont, au contraire, fort pures, et, de ce côté, le danger d'envasement n'était pas à craindre.

Tout en prenant Suez pour modèle, on se trouvait donc dans la nécessité de s'en écarter, afin de satisfaire aux exigences et aux nécessités locales. Mais nous allons voir que l'on s'est appliqué, le plus pos-

sible, à réaliser, comme à Suez, les avantages d'un canal sans écluses.

Les variations du niveau de la mer Baltique ne se produisent qu'exceptionnellement, à la suite d'une longue période de vent d'est ou d'ouest, et la statistique démontre que pendant une vingtaine de jours par an, tout au plus, le niveau s'écarte dans une très forte mesure du niveau des eaux moyennes fixé à la cote $+ 0^m,23$.

En creusant le plafond du canal à la cote $- 9^m,23$ près de l'écluse de Holtenau, le niveau du canal peut donc baisser de plus de 1 mètre, tout en permettant encore le passage des navires calant 8 mètres.

L'écluse de Holtenau, nécessaire pour empêcher dans les cas extrêmes de trop grands écarts entre le niveau moyen du canal et le niveau de la mer Baltique, peut donc rester ouverte pendant presque toute l'année. De ce côté, le canal est donc, en fait, tout à fait exempt des inconvénients et des lenteurs qu'entraînent le sasement et le fonctionnement d'une écluse.

La situation est toute autre à Brünsbüttel. De ce côté, l'écluse doit rester fermée pendant toute la durée du flot, sous peine de voir pénétrer dans le canal les eaux troubles de l'Elbe, qui provoqueraient des envasements onéreux. Elle peut rester ouverte, au contraire, pendant toute la période du jusant. Deux fois par jour conséquemment et pendant plusieurs heures, les portes placées aux extrémités du canal sont ouvertes, les deux mers sont en libre communication, et la situation est, à certains égards, analogue à celle du canal de Suez.

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES ÉCLUSES
MIS EN COMPARAISON

Les avantages théoriques d'un pareil état de choses sautent aux yeux ; les voici en résumé :

Possibilité pour les navires de franchir le canal deux fois par jour, et durant un long espace de temps, sans avoir à subir les retards ni courir les dangers d'un double sassement ;

Plus de longueur-limite assignée aux navires, plus d'obligation pour les voiliers de lâcher le remorqueur au passage des écluses, celles-ci restant ouvertes et pouvant conséquemment être traversées par les trains de navires et de bateaux les plus étendus ;

Réalisation du niveau de marée basse dans le canal et dès lors, avantage important, maintien parfait et intégral du régime des voies d'irrigation et d'assèchement des polders et des wateringues traversés par la voie nouvelle ;

Enfin, chasse puissante sur toute l'étendue de cette voie par les eaux pures de la mer Baltique, grâce aux différences d'altitude entre cette mer, dont le niveau reste presque constant, et celui de l'Elbe, qui est essentiellement variable.

Ces avantages sont importants, cela n'est pas à contester ; mais ils sont balancés par des inconvénients tellement sérieux, que l'on pourrait difficilement se prononcer sur la question de savoir si la solution adoptée est la meilleure.

Du moment où il faut satisfaire à cette double condition : que le plan de flottaison du canal puisse descendre depuis le niveau des eaux moyennes de la mer Baltique jusqu'au delà de la marée basse moyenne de l'Elbe, et que les navires de 8^m,50 de calaison

trouvent encore à ce moment un mouillage suffisant dans le canal, il devient indispensable d'abaisser le plafond de la voie nouvelle beaucoup en-dessous de la cote nécessaire pour un canal à niveau constant. Cet abaissement, comme on le voit sur le profil en long (pl. VI, fig. 2), s'étend depuis Rendsbourg jusqu'à Brünsbüttel, soit donc sur une étendue de 60 kilomètres. Il résulte de là évidemment une augmentation importante des dragages et des dépenses.

L'oscillation, à chaque marée, du plan de flottaison du canal et la production incessante des courants de la mer Baltique, dont la vitesse, à certains moments de la marée, atteindrait 1^m,50, vont produire inévitablement dans les talus du canal des érosions et des éboulements dont on ne saurait prévoir l'importance.

On estime, dès à présent, que le seul entretien du canal demandera annuellement un million et demi à deux millions de marks, et personne n'oserait certifier, connaissant la nature fort sableuse du terrain traversé, si cette évaluation ne sera pas en-dessous de la réalité.

Les forts courants dont nous venons de parler ne seront pas seulement nuisibles à la voie elle-même, mais à la navigation qu'elle a pour but de desservir. Les navires auront à lutter en remontant ces courants, et beaucoup de peine à gouverner quand ils seront chassés par eux.

A l'endroit des écluses, au moment des plus grandes vitesses, le passage sera rendu presque impossible. Si l'on imagine, en effet, qu'un navire de 2 à 3,000 tonneaux, présentant en coupe de 80 à 100 mètres carrés de section, vienne masquer l'une des entrées des écluses qui sont à double passage, il se produira à l'avant du navire un remous, une surélévation qui arrêtera sa marche d'autant mieux, que la vitesse doit réglementairement diminuer à l'approche des ouvrages

d'art. En sens inverse, c'est-à-dire si le navire a le courant arrière, il courra le plus grand danger d'être jeté contre les maçonneries de l'écluse, et sa situation sera donc encore plus grave.

Il est donc bien difficile de prédire, avec quelque certitude, et c'est l'expérience qui prononcera, si les écluses de Brünsbüttel et de Holtenau pourront être simultanément ouvertes à chaque marée, et si la navigation pourra ainsi s'exercer librement et sans arrêt de la mer Baltique à la mer du Nord.

L'avantage signalé est donc plus ou moins hypothétique et personne ne pourrait affirmer non plus comment fonctionneront, dans la pratique, les portes intermédiaires à placer dans l'écluse de Brünsbüttel et qui permettront d'ouvrir rapidement, au commencement et à la fin de chaque jusant, toutes les portes de cet ouvrage, pour en laisser les passes libres à la navigation.

L'ouverture simultanée de toutes les portes d'écluse à Brünsbüttel ne sera pas exempte de dangers. Il faudra bien peu de chose, en effet, pour rendre impossible la manœuvre; un obstacle de peu d'importance, un défaut ou un bris de mécanisme, peut enrayer la fermeture des portes et pour un temps assez long, ce qui exposerait le canal aux inconvénients que l'on veut éviter.

Il y a, somme toute, un essai à faire, et si les prévisions ne se réalisaient pas, les ingénieurs ont toujours la ressource de tenir le canal à niveau constant, et d'écouler, par des rigoles latérales, les eaux des terres riveraines, comme cela se fait au canal de Gand à Terneuzen sur le territoire néerlandais.

Profil en travers.

Deux professeurs jouissant d'une grande notoriété en Allemagne, MM. Bellingrath (1) et Schlichting (2), enseignent que pour obtenir une exploitation régulière et facile, en réduisant dans une juste mesure la résistance à la traction, il faut donner à la section mouillée du canal une superficie au moins égale à 4 fois celle de la section mouillée des navires appelés à y circuler. M. Schlichting a démontré au Congrès de Vienne que le rapport de 1 à 3 adopté sur les canaux français construits dans le cours de ces dernières années pour le batelage, d'après le profil-type, est peu satisfaisant, et que celui de 1 à 5 serait celui qui répondrait le mieux aux données du problème.

Afin cependant de réduire les dépenses de construction, M. Schlichting a proposé au Congrès de Vienne le rapport de 1 à 4, qui a été adopté pour les voies navigables artificielles de grand trafic.

Le professeur Rankine (3) préconise en Angleterre le rapport de 1 à 6 et l'on a vu au Congrès de Bruxelles un ingénieur du Waterstaat néerlandais, M. Brevet, d'accord avec un de ses collègues, M. Waldorp, défendre le rapport de 1 à 8 pour les canaux destinés à une circulation active de navires à vapeur ayant des vitesses de 4 à 5 kilomètres à l'heure.

Le rapport de 1 à 4 proposé par M. Schlichting était basé sur des expériences faites au canal de l'Erié et qui ont été depuis plus ou moins confirmées

(1) BELLINGRATH. *Studien über Bau- und betriebsverhältnisse eines deutschen Kanalnetzes*, 1879, p. 136.

(2) SCHLICHTING. *Normaleprofile für Binnenschiffahrtskanäle*, Wien, 1886, p. 20.

(3) RANKINE. *Procès-verbaux du Congrès international de navigation intérieure* tenu à Bruxelles, 1885, p. 121.

par des expériences faites sur le canal de Suez et dont il est rendu compte dans un mémoire de M. Armand Saint-Yves, inspecteur général honoraire des ponts et chaussées (1).

Dans les recherches qui ont été faites à Suez, la section mouillée du canal était 4,44 fois la section immergée du grand paquebot l'Ormuz, que la Compagnie des messageries maritimes avait bien voulu soumettre aux expériences.

La vitesse de ce navire, de 10 nœuds 52 centièmes en pleine mer, à 40 tours de machine, a été réduite dans le canal, avec la même force propulsive de la machine, à 4 nœuds 32 centièmes, soit donc d'environ 53,84 p. ‰.

En fait, et pour un rapport de 1 à 4 et 5, les diverses expériences relatées par les auteurs accusent des réductions de vitesse d'environ 50 p. ‰.

Mais ces coefficients de réduction subissent de très fortes variations et dépendent évidemment, non seulement de la comparaison de la section mouillée du canal et de celle du bateau au maître couple, mais de la vitesse de marche, qui est un élément de premier ordre, de la forme et du périmètre des sections du canal, de la forme affinée des bateaux et du jeu qui existe sous leur quille. L'expérience démontre, en effet, que le vide à l'arrière produit par la marche d'un navire se remplit plus activement par le courant qui s'établit sous la quille que par les courants latéraux (2).

Des considérations qui précèdent, il résulte que le nouveau canal à construire à travers le Jutland devait

(1) Voir *Annales des ponts et chaussées*, année 1889.

(2) Voir *Annales des ponts et chaussées*, année 1889, p. 416. Au Congrès international de navigation intérieure, qui vient de se tenir à Paris, M. Schlichting, après avoir défendu le rapport de 1 à 4 pour les canaux ordinaires et de 1 à 6 pour les canaux maritimes (voir *Bulletin officiel du Congrès*, 30 juillet 1892, p. 5), a reconnu, avec le Congrès, la difficulté de

nécessairement, pour satisfaire à son but, c'est-à-dire pour livrer un passage sûr et rapide à la navigation à vapeur, avoir des sections au moins égales à 4 ou 5 fois celle des plus grands bâtiments fréquentant aujourd'hui la mer Baltique.

Les grands paquebots, les rapides faisant les voyages au long cours ne pénètrent pas aujourd'hui dans cette mer, dont la clientèle la plus nombreuse est formée de voiliers et de cargo-boats de 6 à 7 mètres de calaison au maximum, et ayant tout au plus 70 à 80 mètres carrés à la maîtresse section immergée. Ces dimensions des navires de la marine marchande, de celle bien entendu dont nous venons de parler, se trouvent notablement dépassées par celles des bâtiments de guerre, car l'on compte à présent de nombreux cuirassés, tant en Allemagne que dans les autres pays, ayant au moins 100 mètres carrés de surface au maître couple.

En partant de ce chiffre et du rapport de 4 à 5 que les ingénieurs allemands considèrent comme le rapport minimum nécessaire, entre les sections mouillées d'un canal et celles des plus grands navires qui y circulent, on est amené à trouver pour les profils du canal de la mer Baltique des surfaces variant de 4 à 500 mètres carrés. C'est effectivement entre ces chiffres que varieront les sections mouillées données au canal. Les surfaces de ces sections se modifieront incessamment avec la hauteur d'eau du canal, qui devra nécessairement osciller à chaque marée depuis le niveau de la mer Baltique jusqu'à celui de l'ebbe moyenne dans l'Elbe, à Brünsbüttel.

fixer un chiffre précis et absolu pour le rapport de la section immergée du bateau à la section mouillée du canal.

Le Congrès a été unanime à émettre un vœu tendant à ce que des expériences soient faites en vue de compléter celles qui ont eu lieu sur le canal d'Erié et sur le canal de Suez.

Le profil du nouveau canal est équivalent, en surface, à celui du canal de Suez, qui atteint aujourd'hui en moyenne 470 mètres carrés, mais qui, à mesure de la réalisation d'un programme d'élargissement déjà décrété, doit être porté dans l'avenir au maximum de 837 mètres carrés (1). A l'origine, et pendant les quinze premières années d'exploitation, le profil du canal de Suez n'avait que 304 mètres carrés de superficie. (V. SAINT-YVES, *Mémoire sur le Congrès de Manchester*.)

Les sections du canal de la Baltique dépassent assez notablement les sections de tous les autres canaux maritimes, dont les profils transversaux se trouvent représentés (planche VII) et dont les dimensions principales sont résumées dans le tableau ci-après :

DÉSIGNATION DU CANAL.	Largeur du plafond.	MOUILLAGE.	Inclinaison des berges.	SECTION MOUILLÉE.	Observations.
Canal du Nord à la mer Baltique.	Mètres. 22	Mètres. 9 à 9,80	3/1 2/1 sur 3 ^m h' sur 4 ^m h'	Mét. carrés. 400 à 480	(c) Banquettes de 2 ^m ,50 à 2 ^m ,30 sous le niveau de flottaison. Dans les endroits tourbeux, la largeur de la banquette augmente jusque 10 mètres. — Agrandissement projeté : 70 mètres au plafond, section nouvelle : 837 mètres carrés.
Canal de Suez (a).	34,50	8,50	2,5/1	470	
Canal de Panama	22	8,50	1,5/1	306	
Canal d'Ymuiden	20 à 32	7,70	2/1	370 à 387	
Canal de Manchester	30,50	7,93	2/1	326	
Canal de Walcheren	20	7,20 à 7,40	3,6/1 à 3,7/1	288 à 296	
Canal de Gand à Terneuzen	17	6,50	3/1	237	
Canal de Corinthe	22	(bief supérieur) 8	Variable. Largeur maximum au plan d'eau 23,60	188,80 maximum.	

Les navires desservant le commerce de la mer Baltique n'ont guère, en moyenne, comme nous l'avons dit, que 6^m,50 de tirant d'eau, et leur largeur n'excède pas 12 mètres. Ils trouvent au pied de leur quille une

(1) Voir *Annales des ponts et chaussées*, année 1885, 2^e semestre.

largeur d'au moins 40 mètres en eaux normales, et leur croisement sera dès lors non seulement possible, mais relativement aisé.

Pour le croisement des bateaux de guerre et des navires de dimensions exceptionnelles, on a créé, de 12 en 12 kilomètres, des lieux de croisement de 450 mètres de longueur; en ces points, le plafond du canal a une largeur de 60 mètres. — Il existe, en outre, plusieurs grands lacs, dont nous avons déjà parlé, et où les croisements pourront se faire dans les meilleures conditions.

Les faibles inclinaisons données à la partie inférieure des talus ont été adoptées dans le but d'obtenir pour cette partie basse le plus de stabilité possible, et pour permettre aussi d'élargir les sections ou de les approfondir, en réduisant de 3/1 à 2/1 ou 2 1/2/1 l'inclinaison de ces talus. C'est donc une réserve pour l'avenir, si tant est qu'il soit possible de descendre en-dessous de l'inclinaison de 3/1 dans les sections du canal creusées dans le sable.

Nous parlerons plus loin des digues du canal, de leur mode de construction et des systèmes de revêtements qui ont été adoptés pour protéger les parties des talus exposées aux érosions dues aux évacuations d'eau et aux vagues de remous provoquées par la marche des navires. C'est pour donner toute facilité à ces vagues de s'épanouir sur les berges et pour mieux amortir leur choc que l'on a prévu des perrés de défense et établi des banquettes au niveau de la flottaison.

Dans les courbes, on a augmenté assez fortement la largeur du canal, et l'élargissement a été calculé d'après la formule :

$$E = 26 - \frac{R}{100}.$$

Pour un rayon de 1,000 mètres, l'augmentation de largeur est donc de 16 mètres, et pour 2,600 mètres de rayon, cette augmentation n'a plus lieu.

Ouvrages principaux.

Les ouvrages qui méritent une mention particulière sont :

- Les écluses ;
- Les ponts ;
- Les digues ;
- Les revêtements ;
- Les quais ou ports.

Quant aux ouvrages ordinaires, comprenant les aqueducs, éclusettes, barrages, et les maisons destinées au personnel, ils ne diffèrent pas notablement des types classiques adoptés pour ces genres d'ouvrages.

Nous ne nous occuperons donc spécialement que des travaux d'art énumérés ci-dessus d'une manière spéciale.

ÉCLUSES.

Les écluses à Brünsbüttel et à Holtenau se composent de deux sas accolés, dont la longueur totale est de 215^m,80, correspondant à une longueur utile de 150 mètres ; leur largeur est de 25 mètres (v. pl. VIII, fig. 1 et 2). Cette largeur est commandée par les conditions d'écoulement des eaux et par les nécessités de la navigation maritime. Les bâtiments de guerre doivent pouvoir franchir les écluses avec rapidité, et l'on doit disposer d'un jeu suffisant, notamment pour le passage au droit de l'enclave des portes, où la section est la plus étroite. Une largeur de 25 mètres n'a rien d'exagéré pour permettre le passage des navires de guerre(1). C'est

(1) La nouvelle écluse d'entrée projetée au port du Havre a 30 mètres d'ouverture libre et 225 mètres de longueur utile, avec porte intermédiaire formant des sas de 75 et 120 mètres de longueur utile.

là une dimension, sinon habituelle, du moins très souvent adoptée.

Les nouvelles écluses du canal d'Ymuiden ont 24 mètres de largeur ; de même, celles du canal de Manchester et celles qui viennent d'être décrétées pour le port de Bremerhafen. Les nouvelles entrées des bassins Victoria, Albert et Tilbury, à Londres, des bassins de Liverpool, Hull, Cardiff, ont aussi 24 mètres. Cette largeur permet le passage des navires à aubes.

On trouve, en Angleterre, plusieurs exemples d'écluses ayant 100 pieds de large; l'écluse de l'Eure, au Havre, a cette même dimension. Aujourd'hui, l'on considère que pour les navires de commerce, une largeur de 18 mètres suffit. C'est la dimension régulièrement admise en Angleterre, dans les cas les plus récents, et c'est aussi celle qui avait été adoptée pour les écluses du canal de Panama dans le projet présenté par M. Eiffel et approuvé par la Compagnie.

Il existe cependant des paquebots d'une largeur un peu supérieure à 18 mètres, parmi lesquels notamment ceux de la Compagnie Hambourgeoise-Américaine, dont les plus grands ont 158^m,04 de longueur et 18^m,30 de largeur à la ceinture. La hauteur de ces bâtiments, entre pont et quille, est de 12^m,61 ; leur déplacement est de 12 à 14,000 tonnes, et leur force motrice de 12,500 à 16,000 chevaux-vapeur (1).

La longueur utile des écluses du canal de la Baltique a été limitée, comme nous l'avons déjà dit, à 150 mètres. C'est relativement peu. Mais les navires de guerre et les navires de commerce faisant le service de la Baltique n'ont pas 150 mètres de longueur, et il est à observer d'ailleurs que pendant une partie impor-

(1) Voir *Génie civil*, p. 5, t. XX, n° 1.

tante de la journée les écluses seront ouvertes et que le canal sera accessible aux trains de bateaux et aux navires des plus grandes dimensions.

Ces navires (1) ne dépassent guère 160 mètres en longueur. En vue de faciliter le passage des trains de navires, on a construit dans ces derniers temps à Barrow, en Angleterre, et à Tilbury-Dock, à Londres, des écluses de 210 mètres de longueur utile avec portes intermédiaires.

Les nouvelles écluses d'Ymuiden ont 208 mètres de longueur entre buscs, et elles sont aussi munies de portes intermédiaires. Il en est également ainsi des écluses du canal de la Baltique, dont chaque sas est muni de six paires de portes, trois de flot et trois d'ebbe.

Les portes intermédiaires divisent le grand sas en deux parties d'égale longueur. Le busc des écluses de Brünpsbüttel est à 9^m,97 au-dessous du niveau normal de l'eau dans le canal, soit à la cote (— 10^m,00).

A Holtenau, le busc n'est qu'à 9^m,80 au-dessous du niveau normal des eaux dans le canal.

Les écluses, sur toute leur étendue, reposent sur une couche de béton, coulée dans des enceintes de pieux jointifs. Au droit des chambres destinées à recevoir les portes de l'enclave, le béton a une épaisseur de 3^m,50, réduite à 2^m,50 seulement dans le sas. Les radiers, en pierre de taille, ont 93 centimètres d'épaisseur. (Voir pl. VIII, fig. 3 et 4.)

Toute la maçonnerie est en briques de choix, en briques spéciales, sauf les buscs, les chardonnets, les

(1) Le *Teutonic*, du White Star Line, a 177^m,40 de longueur, 17^m,60 de largeur, 12^m,82 de creux et jauge 9,700 tonnes brutes.

Le *Campania* a 189 mètres de longueur, 19^m,88 de largeur, 13^m,10 de creux et 12,500 tonneaux de jauge brute.

radiers et les parements à l'entrée des écluses, et les plates-formes, qui sont en pierre de taille.

L'épaisseur des bajoyers de rive, à Holtenau, est de 9 mètres dans les chambres des portes, et de 6^m,50 dans le sas. La pile-bajoyer placée entre les sas a 12^m,50 de largeur dans le sens transversal. Deux larçons, de 2^m,20 de largeur et de 4 mètres de hauteur, sont ménagés dans cette pile, et un aqueduc de mêmes dimensions dans chacune des culées. Des vannes cylindriques commandent ces aqueducs de remplissage, qui sont mis en communication avec les sas par 24 conduites dont les centres sont espacés de 6 mètres d'axe en axe, et dont les débouchés mesurent 0,80 × 1,30.

Tous les appareils seront actionnés par des moteurs à pression hydraulique, et toutes les installations seront éclairées à l'électricité.

Pour opérer le raccordement de la grande voie maritime avec l'Eider inférieure, en aval de Rendsbourg, on a construit une écluse de navigation de 105 mètres de longueur totale, de 68 mètres de longueur utile et de 12 mètres de largeur, afin de permettre aux bateaux de 4^m,50 de tirant d'eau qui fréquentent la rivière et naviguent jusqu'à l'Elbe, d'entrer dans le canal de la mer Baltique.

L'écluse de Rendsbourg est fondée dans une fouille blindée, sur une aire de béton d'épaisseur uniforme. Il n'y a donc pas de coffres ni de surépaisseur de fondation devant les têtes et au droit des chambres. Les pieux d'enceinte sont jointifs et ont 0^m,25 de côté. La tête ouest de l'écluse a deux contre-portes de sûreté, et la tête est se trouve munie de portes à éventail destinées aux chasses prévues pour le nettoyage de l'avant-port.

PONTS

L'œuvre principale entre tous les ouvrages du canal, les écluses exceptées, est le pont de Grünenthal, qui franchit la grande tranchée dont nous avons parlé et qui livre passage à la fois au chemin de fer de l'Ouest-Holstein, à la chaussée d'Albersdoff à Hademarschen, et à un chemin latéral vers Beldorf.

Le pont est d'une seule arche de 156^m,50 de portée entre les points d'appui, ménageant une hauteur libre de 42 mètres pour le passage des navires. Au canal de Manchester, la hauteur laissée libre sous les ponts n'est que de 27 mètres. Malgré les 42 mètres sous poutres ménagés au pont de Grünenthal, les navires de guerre et les grands voiliers devront encore baisser leurs huniers et leurs mâts de perroquets.

La largeur du pont de Grünenthal, qui est de 12^m,26 à l'entrée, va en diminuant vers la partie centrale de l'ouvrage, où elle n'est plus que de 10 mètres.

La voie est supportée par deux poutres en forme de croissant, qui rappellent celle des poutres adoptées aux ponts du Douro, de Luiz I^{er}, à Oporto, et de Garabit.

Il existe, cependant, une différence essentielle entre ces ponts et celui de Grünenthal : elle consiste en ce que les longerons de la voie traversent les poutres en arc, à mi-hauteur, et qu'il y a liaison en ces points entre les arcs et les plates-bandes. (Voir pl. IX, fig. 1 et 2.)

De là résultent des déformations identiques aux points de jonction considérés, et la nécessité de tenir compte de ce fait dans le calcul des dimensions des diverses parties de l'ossature métallique.

Les poutres du support ont 4^m,10 de hauteur au sommet de l'arc; elles reposent sur des rotules avec plaques d'appui et coins, et buttent contre des massifs

fortement établis et descendus profondément dans le sol sous forme de voûtes.

La voie de chemin de fer présente une légère courbure vers la partie supérieure, et qui peut varier de 0^m,100 à 0^m,274, suivant la température.

Les maçonneries du pont ont fait l'objet du calcul le plus attentif, et elles sont disposées et combinées fort habilement pour obtenir une stabilité parfaite avec le minimum de volume et de dimensions.

Il y aura un second pont du modèle de celui de Grünenthal placé à la traversée du canal, pour la route de Kiel à Erkernforde. Un pont tournant était d'abord projeté en cet endroit; c'est sur le désir exprimé par l'Empereur que le pont sera fixe et établi dans les mêmes conditions qu'à Grünenthal.

Les dispositions du terrain ont, d'ailleurs, de part et d'autre, une grande analogie.

Trois lignes de chemins de fer coupent le canal en des endroits différents, ce sont :

- 1° La ligne de la Marche à Taterphal ;
- 2° La ligne de Neumünster à Rendsbourg ;
- 3° La ligne de Kiel à Flensbourg.

La traversée se fait à l'aide de ponts tournants et le dessus des fondations des ouvrages est à 0^m,50 en-dessous du plafond du canal, pour permettre un approfondissement éventuel.

Les ponts tournants sont à travées égales, couvrant des passes de 36 mètres d'ouverture. Toutes les manœuvres se feront à l'aide de la pression hydraulique.

DIGUES

Le canal maritime traverse, sur de grandes étendues, des terrains marécageux sans aucune consistance, formés de tourbe légère pouvant à peine porter

le poids de l'homme. Une tranchée, dans cette bouillie, était remplie en très peu de temps par le glissement et l'éboulement des masses latérales, et la traversée de ces « Moor, Burger-Moor, Rüt-Moor, Meckel-Moor » nécessitait l'emploi de dispositions spéciales.

A proximité des marais à traverser se trouvaient des tranchées de sable pur, et notamment la grande tranchée de Grünenthal.

L'on songea tout naturellement à charger de remblais en sable les rives du canal à creuser, de façon à établir longitudinalement, de part et d'autre de l'axe de la voie nouvelle, de véritables barrages en sable, capables de contenir la tourbe vaseuse. Cela fait, on n'aurait plus qu'à tailler les rives du canal dans le sable et à déblayer strictement la section à réaliser, sans avoir à craindre des éboulements et des apports latéraux.

Les figures 13 et 14 (planche X), font voir comment le profil du canal se trouve limité et se trouve creusé dans les digues de sable et les figures 1 à 12 indiquent à la fois comment on devait procéder à l'exécution de ces digues, suivant le degré plus ou moins consistant du sol et comment, en raison de cette résistance et de l'homogénéité du terrain, les digues prenaient des formes d'équilibre extrêmement variables.

Ces formes, dans leur allure générale, sont ovoïdes, la pointe de l'ovale étant dirigée vers le haut.

Il était curieux de voir exécuter les digues de sable, dans le « Rüt-Moor », notamment. Le terrain y était fort peu dense et très instable, imprégné d'eau et presque sans consistance. Il fallait, pour faire le remblai de sable (fig. 1 à 4), commencer par construire une légère passerelle sur un pilotis et n'amener d'abord que des wagonnets d'un demi-mètre cube. Un

premier chargement superficiel de sable tenait les pieux de la charpente plus ou moins encastrés vers le haut; le remblai continuait, s'étendait latéralement, et bientôt l'on voyait la tourbe, sous le poids du remblai, refluer sous forme de bourrelet atteignant 1^m,00 à 1^m,50 de hauteur, tant vers le canal que vers l'extérieur de la digue.

A mesure que le terrain s'affermissait, on amenait des wagons d'un poids de plus en plus fort. Sous l'action de ce poids, du roulement et du déchargement des wagons, le terrain se comprimant, se tassant, acquerrait une résistance et une incompressibilité absolues. Les remblais se faisaient sur une largeur de 15 mètres en couronne dans les marais fangeux, et de 12 mètres dans les terrains plus consistants.

Dans certaines parties du « Rüt-Moor », les digues en sable ont descendu jusqu'à 27 mètres de profondeur au-dessous du niveau d'étiage du canal; il entraînait 1,000 mètres cubes de sable par mètre courant de digue, et sous ce poids énorme la tourbe d'abord, la glaise et l'argile sableuse, sur lesquels la tourbe reposait, ensuite, se trouvaient charriés, réfoulés, produisant des relèvements du sol sur des distances de 40 et 50 mètres.

Sitôt après l'achèvement des digues latérales en sable, le creusement et le déblai du canal s'effectuaient, modifiant évidemment dans une assez forte mesure les conditions d'équilibre et de poussée dans lesquelles se trouvaient les digues en sable. Ces conditions se trouveront modifiées encore, mais d'une manière favorable, après la mise à flottaison du canal, lorsque les digues seront soumises aux contrepoussées de l'eau.

Nous croyons utile, en parlant des digues, de dire un mot de la grande digue d'enceinte établie autour du lac de Flemshüde, situé à 15 kilomètres de Holtenau.

Le tracé du canal actuel de l'Eider, entre Rendsbourg et Holtenau, comprend 6 écluses rachetant une pente de 7 mètres. Le canal maritime n'ayant qu'un seul bief, aura son niveau de flottaison 7 mètres plus bas que celui de l'ancien canal dans son bief le plus élevé, entre Königsforde et Rattmaus.

Par le fait, le lac de Flemshüde aura sa superficie réduite de plus de moitié, tout le restant du lac venant à émerger. Il pourrait résulter de cet abaissement considérable du niveau de l'eau, dans tous les terrains environnants du lac de Flemshüde, un drainage puissant, une forte dépression dans la nappe aquifère, et une grande perte de valeur pour ces terrains. En vue de parer à cet inconvénient, on a entouré, sauf sur un point à l'endroit de jonction avec le canal, d'une puissante digue en sable toute la partie à conserver du lac de Flemshüde ; on a établi le long de la digue un fossé d'enceinte, placé au niveau des terrains environnants, et conséquemment près de 7 mètres au-dessus de l'étiage du canal maritime et du lac, qui est en communication avec ce dernier. Le fossé est alimenté par les eaux de l'Eider. A cet effet, un barrage est établi dans la rivière, et les eaux de celle-ci peuvent être dirigées, ou bien vers le fossé à alimenter, ou bien vers le lac par une chute en cascade de 7 mètres de hauteur.

Le fait intéressant, est de voir un canal d'irrigation, coulant à une très grande hauteur au-dessus du niveau du canal maritime et à proximité d'un lac en libre communication avec ce canal.

Il y a une certaine hardiesse à agir de la sorte, les filtrations et les accidents qui peuvent en résulter étant toujours à craindre, dans les conditions plus ou moins critiques qui viennent d'être exposées.

REVÊTEMENT ET CONSOLIDATION DES RIVES

Une des plus grosses difficultés que l'on ait à résoudre dans le creusement d'un canal maritime, est la consolidation des rives et le revêtement des talus.

Nous avons dit, en parlant du profil transversal, quelle résistance il faut vaincre, quel travail il faut produire pour marcher à grande vitesse, même dans un canal dont la section est relativement grande et quatre fois au moins supérieure à celle du navire au maître bau. La résistance des rives et du fond produit, à égalité de force dépensée, un ralentissement de moitié dans la vitesse du navire, lorsque celui-ci passe de la mer ou d'un lac étendu dans un canal à section normale. Les talus et le fond sont donc incessamment soumis à des actions d'une puissance considérable ; ils opposent à la marche des navires un obstacle important, et doivent conséquemment offrir une grande solidité et beaucoup de résistance à l'entraînement et à l'affouillement.

La consolidation des talus est indispensable dans les terrains meubles ; c'est une condition essentielle, à défaut de laquelle la navigation serait compromise, et peut-être rendue impossible. Si l'on fait, de prime abord, les travaux nécessaires, des revêtements solides et de grande résistance, on est entraîné à d'énormes dépenses. Le coût de premier établissement peut être ainsi de beaucoup augmenté, et le travail, par cela même, être rendu impossible à défaut des ressources nécessaires.

Si les perrés et les revêtements sont insuffisants, l'entretien devient très onéreux, et l'on peut, d'ailleurs, difficilement faire des réparations solides pendant que le canal est en service.

Sur le canal de la mer du Nord à la mer Baltique, la question des consolidations de talus revêt un carac-

tère d'autant plus grave, que le canal sera, à chaque marée, parcouru par des courants violents, et que le sol dans lequel se trouve creusée la voie nouvelle est, sur de grandes longueurs, d'une nature extrêmement sableuse. On peut donc se demander si, en adoptant les moyens de consolidation relativement faibles que nous allons décrire, on n'est pas resté en deçà du strict nécessaire, et si, par la suite, on n'aura pas de déceptions et des imprévus, comme cela est arrivé au canal de Suez.

Une berme de largeur variable (pl. IX), suivant la nature du sol, de 2^m,50 au minimum et de 9 mètres au plus, est ménagée dans la rive à 2 mètres sous le plan de flottaison du canal. Elle sert de pied au revêtement en maçonnerie qui protège le talus contre les érosions des vagues et des courants.

Ce revêtement diffère de forme et de nature, suivant qu'il peut s'exécuter à sec, qu'il doit s'établir sous eau et que l'on se trouve dans des parties du canal où la pierre est rare ou abondante. Il varie encore avec la nature du sol.

Dans une traversée de terrain plus ou moins rocheux, là où l'entrepreneur a des pierres en suffisance et à bon compte, il emploie le mode de revêtement indiqué (fig. 3). S'il doit travailler sous eau, le perré a 30 centimètres d'épaisseur au moins; il est formé de moellons en délit ou de briquillons, le cas échéant reposant sur un lit de gravier ou de briquillons; il prend appui sur une berme en briques ou en moellons, et son inclinaison est de 1 sur 1 1/2. A la partie supérieure du perré vient un gazonnage à plat incliné à 20 p. % vers le canal. Ce même gazonnage existe dans tous les systèmes de revêtements.

Si le travail est possible à sec, le revêtement en pierres s'opère comme il est indiqué à la figure 4; le

perré se maçonne à sec sur une fondation de 0^m,20 d'épaisseur de briquillons et de gravier et présente nécessairement plus de garanties de résistance. Il se raccorde avec la partie gazonnée du talus par un arc de cercle de 3 mètres de rayon.

La figure 5 indique un système de revêtement en briques sur champ reposant sur une couche :

1° De terre-glaise de 20 centimètres dans les terrains de sable ;

2° De briquillons dans les terrains plus résistants.

Enfin, il est fait usage (fig. 6) de revêtements sur de grandes longueurs de canal, là où les briques et les pierres sont à un prix élevé, d'un béton de ciment et de sable, formé d'un mélange de 1 à 6. Les plaques en béton ont 0^m,20 d'épaisseur, 1^m,75 de longueur suivant les talus et 1^m,50 de largeur. Ces plaques en béton s'appuient inférieurement sur une berme en moellons de 0^m,75 de largeur et 0^m,25 d'épaisseur. Elles sont surmontées par un revêtement en briques de 0^m,25 d'épaisseur reposant sur une couche de sable de 10 centimètres.

Cette partie en briques se trouve interposée entre le niveau des basses eaux moyennes et celui des eaux moyennes, là précisément où la fatigue du perré est la plus grande, par suite de l'oscillation de la vague. Au-dessus du perré en briques sur tête s'étend un perré en briques sur champ, placé sur un lit de sable de 0^m,25 et se raccordant par un arc de cercle de 2 mètres de rayon avec le talus supérieur incliné à 5 pour 1.

Le coût moyen de l'un ou de l'autre des systèmes de revêtement que nous venons d'indiquer est de 45 à 47 marks par mètre courant. Comme il y a 200 kilomètres de rive à revêtir, la dépense pour consolidation est de 11 à 12 millions de francs. Le pied de tous ces revêtements nous paraît faible, surtout dans les

terrains mobiles. On sera obligé, nous le croyons, de l'appuyer en divers points sur un bordage soutenu par de forts piquets.

D'autres dispositifs que ceux décrits ci-dessus ont également été employés à titre exceptionnel et sur des longueurs peu importantes. On a par exemple combiné les dispositifs 1 et 2 : enrochement inférieur jusqu'au niveau de l'eau, perré supérieur; enrochement inférieur et berme de 1^m,20 de largeur, perré maçonné à sec à la partie supérieure.

Nous avons constaté en divers endroits que des bermes de 2^m,50 et même de 4 mètres étaient insuffisantes, que le pied venait alors à manquer au perré et que des éboulements assez importants se produisaient.

PORTS

Nous avons déjà dit qu'à l'extérieur des écluses, du côté de l'Elbe comme du côté de la baie de Kiel, seraient établis des ports spacieux armés d'accostages pour les bâtiments de guerre et les navires de commerce.

Le port intérieur à Brünsbüttel (v. pl. VIII, fig. 1) a 500 mètres de longueur sur 180 mètres de largeur. Il présente sur la rive gauche, rive ouest, un bassin de commerce avec cales de réparation pour les dragues et les bateaux de service; il présente également des quais de chargement pour les navires marchands.

Sur la rive droite, se trouvent des postes d'accostage pour les navires de guerre, et un deuxième quai de chargement pour les navires du commerce.

Ces quais sont outillés et pourvus de toutes les installations nécessaires pour faciliter l'exploitation.

Les murs de quai, au pied desquels les navires doivent trouver une profondeur de 9^m,50, sont sur arcades et leurs piles sont fondées sur pieux battus

obliquement et surmontés d'un grillage établi à 4^m,70 sous le niveau de flottaison (v. pl. XI). Ils sont en briques : leur parement a une inclinaison de 1/12 et les perrés fermant les voûtes sont inclinés à 1/1,25.

Ce système de mur est fort connu et très économique, pour le cas d'emploi dont il s'agit. Il est à noter, en effet, que le mur doit servir à l'accostage des navires du plus grand tirant d'eau et prendre appui à une grande profondeur sous le niveau du plafond du canal, qui est lui-même déjà à 9^m,50 sous la cote de flottaison.

Le mur, depuis la pointe des pieux de support jusqu'au niveau de la tablette, a une hauteur totale de 14^m,80.

Du côté de Kiel, le port intérieur a 80 mètres de largeur et 550 mètres de longueur (v. pl. VIII, fig. 2); il possède un quai de 290 mètres de longueur pour les navires de commerce. Un ancien bras de l'Eider a été aménagé comme bassin intérieur; il est destiné aux chalands, aux dragues et aux remorqueurs; il a 100 mètres de longueur sur 50 mètres de largeur.

Il y aurait encore, s'il fallait donner une description complète des ouvrages du canal, à parler des barrages construits à la jonction de l'Eider avec la voie nouvelle, des éclusettes d'irrigation et d'évacuation pour les terrains de polders qui sont riverains du canal, sur toute l'étendue du tracé comprise entre Burg et Brünsbüttel. Mais ces ouvrages ne présentent pas de particularité notable, et la description serait sans utilité pratique.

Disons en terminant ce chapitre, que la question de la traction sur le canal fait l'objet d'une étude approfondie et qui porte sur les divers systèmes mis en usage, mais qu'à raison même de la situation des lieux et des nombreux lacs à traverser, le système qui prévaudra presque certainement est celui des remorqueurs.

Les agents du canal maritime seront mis en communication entre eux par téléphone et par télégraphe, et les appareils seront également à l'usage des marinières et du public en général.

SECONDE PARTIE

Exécution des travaux.

La première et la plus importante partie de notre travail est terminée.

Nous n'aborderons la seconde partie, qui a pour objet l'exécution et la description des travaux, que d'une manière fort succincte.

Il faudrait consacrer tout un volume à cette description, si l'on voulait entrer dans les détails de construction de la grande voie maritime dont l'achèvement se poursuit avec une extrême célérité.

Jamais, en effet, il n'a fallu déployer dans une entreprise plus de puissance, plus de force, plus d'énergie, que dans le cas actuel, puisqu'il fallait mener à bien, et dans un délai extrêmement court, assigné de prime abord, une véritable œuvre de Titan.

En donnant une description complète des ouvrages effectués, nous sortirions d'ailleurs du cadre de notre mémoire, et nous dépasserions le but que nous nous sommes proposés d'atteindre.

Nous nous bornerons à donner une idée sommaire de l'importance des travaux accomplis, comme aussi des engins et du matériel qui y ont été consacrés, et nous tâcherons de faire ressortir les particularités, les innovations introduites sur les chantiers du canal de la mer Baltique.

En réalité, les choses nouvelles, ici comme partout ailleurs, sont rares.

PUISSANCE D'ACTION

Ce qui étonne, c'est la puissance du matériel, la grandeur colossale des moyens mis en action, et, d'autre part, la méthode, la précision, l'ordonnement judicieux, intelligemment et longuement étudié, qui président à la réalisation de l'entreprise.

Les moyens et le plan d'exécution sont, peut-on dire d'une manière générale, à la hauteur de l'œuvre conçue.

Voici quelques chiffres qui donnent une idée du travail et des moyens d'exécution :

L'entreprise coûtera globalement 200 millions, dépense qui se décompose comme suit, en chiffres ronds :

13,000,000 de francs pour acquisition de terrains et rachat des servitudes ;

90,000,000 de francs pour excavations et dragages ;

10,000,000 de francs pour consolidation des rives et berges ; bouées en mer ;

46,000,000 de francs pour quais et écluses ;

9,000,000 de francs pour ponts et bacs ;

1,600,000 francs pour travaux de fortifications et pontons ;

1,800,000 francs pour bâtiments, magasins et ateliers ;

2,800,000 francs pour machines hydrauliques, phares, appareils électriques ;

7,000,000 de francs pour frais généraux et indemnités ;

18,600,000 francs pour imprévus.

Le 30 août 1890, lors d'une visite des travaux du canal par l'entrepreneur, il fut fait un relevé du matériel employé à l'exécution des travaux ; il comprenait :

27 excavateurs à séc ;
26 dragues ;
6 élévateurs, dont 1 fixe ;
72 baquets pour dragueurs, dont 7 à vapeur ;
15 remorqueurs ;
97 locomotives ;
2930 wagonnets ;
290 camions ;
37 pompes à vapeur.

Ce matériel s'est notablement accru depuis. C'est ainsi qu'il y a aujourd'hui 64 dragues ou excavateurs sur les travaux, 75 remorqueurs à vapeur pour le transport du produit des dragages, 50 machines fixes ou pompes à vapeur pour les épuisements et la fabrication du mortier (1).

La puissance totale des machines en action au creusement du canal est de 20 à 22,000 chevaux-vapeur. Le personnel ouvrier était, au 1^{er} octobre 1891, de 7980 ouvriers, et le personnel technique se composait de 41 ingénieurs, diplômés d'académie et originaires des différents États confédérés.

ADMINISTRATION SUPÉRIEURE TECHNIQUE

Tout ce personnel relève d'une commission impériale, qui a son siège à Kiel, et dont les membres ont été, autant que possible, choisis parmi le haut personnel technique des États de l'empire.

La commission a réparti l'exécution des travaux entre quatre directions ou circonscriptions distinctes, placées respectivement sous les ordres d'un inspecteur divisionnaire.

La première division s'occupe des travaux relatifs à

(1) Voir *Journal des Intérêts maritimes*, 4 février 1892.

l'établissement de l'écluse de l'Elbe, à Brünsbüttel, ouvrage d'une importance considérable et dont nous dirons quelques mots.

La deuxième division est chargée de la section du canal comprise entre l'Elbe et l'Eider.

La troisième comprend la partie du canal qui s'étend de l'Eider jusqu'à l'origine de l'Eider-canal, au delà de Rendsbourg.

Enfin, la quatrième et dernière section, qui est la plus étendue, aboutit à la baie de Kiel.

Les trois dernières divisions sont subdivisées chacune en trois sections.

Voilà pour les grandes lignes, les travaux et leur répartition.

PERSONNEL OUVRIER

La question du recrutement d'un personnel ouvrier de huit à dix mille hommes, car ce nombre oscille entre des limites assez étendues, n'était pas sans présenter de nombreuses difficultés. Il fallait loger et alimenter ce personnel dans une région pauvre et peu peuplée. Il fallait assurer l'ordre et créer toute une organisation.

Aux termes des règlements édictés, les ouvriers devaient être âgés de 17 ans au moins, et Allemands, si possible. Chaque ouvrier, avant son acceptation, devait passer à la visite des médecins. Il ne s'engageait que sur contrat en due forme, et recevait alors une plaque et une carte qui devait être exhibée à toute réquisition de l'administration.

La plaque doit être portée d'une manière apparente. Tous les travailleurs sont affiliés à la Caisse de secours en cas de maladie établie par la loi du 15 juin 1883.

Dans un but d'humanité très louable, l'administration des travaux a fait élever des baraquements nombreux et spacieux pour le logement des ouvriers.

Chaque baraquement peut contenir de cent à cinq cents hommes.

Les dessins de l'une de ces installations se trouvent reproduits sur la planche IX. Ils indiquent des bâtiments d'administration, des baraquements-dortoirs et des communs.

Les bâtiments d'administration comprennent des logements, un magasin pour la vente des objets de première nécessité, une cuisine, un réfectoire pouvant servir de salle de réunion, un lavoir, une salle de bains, une chambre de désinfection, un cabinet médical et une salle d'attente pour les malades.

Les baraquements-dortoirs sont formés de chambres à huit lits pour les ouvriers, et de quelques chambres spéciales pour les contremaîtres.

Les communs comportent les cabinets d'aisance, les écuries, les remises, les magasins, les caves, les puits, etc.

Au 30 septembre 1891, il y avait dans les quarante baraquements de l'administration quatre mille quatre-vingt-six ouvriers, dont quatre cent soixante-six étrangers.

Les fonctions de médecin ont été, pour ainsi dire, une sinécure dans tous ces établissements, grâce aux mesures hygiéniques et de propreté et au régime de sobriété auxquels le personnel était astreint. Alors que dans toute la région basse, marécageuse et poldérienne, où les travaux s'exécutent, la population indigène était ravagée par la fièvre, le personnel ouvrier était indemne de toute maladie et fort satisfait du régime auquel il était soumis.

Les travailleurs logés dans les baraquements y reçoivent un dîner abondant et nutritif, et dont la ration a été soigneusement déterminée. Ils peuvent en outre, en payant comptant, se procurer des aliments et

toute espèce d'objets à un prix très bas ne dépassant guère le prix de revient.

La journée de travail ne peut excéder une limite déterminée par l'administration, et c'est du consentement de celle-ci que dépend le travail de nuit. Il y a repos obligatoire les dimanches et les jours de fête. Les réparations urgentes et les travaux indispensables et de toute première nécessité sont seuls autorisés ces jours-là.

Chaque semaine, les salaires sont payés, et les amendes encourues sont versées dans une caisse dont la Commission a la gestion, et dont les fonds servent à accorder des secours extraordinaires.

Tout différend entre ouvriers et entrepreneur est soumis à la Commission et jugé par elle. Les ouvriers ne peuvent être renvoyés que pour injures graves, pour faux, vols ou inconduite notoire.

Nous avons tenu à signaler avec quelle préoccupation, quelle vigilance, quel soin attentif toutes les questions relatives au personnel ouvrier sont examinées et tranchées en Allemagne.

En agissant ainsi, en prenant les mesures nécessaires pour donner aux travailleurs le logement et le vivre, pour assurer leur santé, pour veiller à la sobriété et à la morale, on fait peut-être du socialisme, mais du meilleur et du plus pur, et qui s'inspire des sentiments d'humanité les plus méritoires. Du reste, le bienfait n'est pas perdu, car nulle part on ne vit entreprise mieux conduite et une armée de travailleurs aussi considérable marcher avec plus d'ordre, plus de méthode, et réaliser mieux et plus rapidement d'aussi grands résultats.

TERRASSEMENTS

Le cube total des déblais à effectuer pour achever le canal a été évalué à 77 millions de mètres. Les

élargissements de sections rendus obligatoires sur de grandes longueurs dans les terrains sableux, les remblais exécutés pour faire passer le pont de la route de Kiel à Erkernforde au-dessus de la voie nouvelle, et d'autres imprévus, feront augmenter le cube précité de telle façon, que l'on peut globalement compter sur 80 millions de mètres cubes à enlever dans un intervalle de cinq ans, ce qui fait en moyenne 16 millions de mètres cubes par an, et 18 à 19 millions pour les années où les travaux étant bien en cours et toutes les installations terminées, l'outillage donnera son plein, c'est-à-dire son maximum de rendement.

De juillet 1889 à juillet 1891, les quantités de déblais ont été les suivantes :

Août et septembre . . .	1,944,000 mètres cubes.
Octobre et novembre . . .	1,706,000 id.
Décembre et janvier . . .	1,524,000 id.
Février et mars . . .	1,992,000 id.
Avril et mai. . . , .	2,911,000 id.
Juin et juillet	5,351,000 id.
En tout. . . .	<u>16,428,000 mètres cubes,</u>

ce qui revient mensuellement et en moyenne à près de 1,500,000 mètres cubes.

Pendant les mois de juin et de juillet, on a fait 5,351,000 mètres cubes, soit environ 100,000 mètres cubes par jour.

Le 1^{er} octobre 1891, le déblai total était de 36 millions de mètres cubes, et la tranchée de Grünenthal était achevée presque entièrement. Cette tranchée comporte l'extraction d'un cube de 15 millions de mètres, dont une grande partie a dû être transportée à longue distance, et une autre, mais moins importante, surélevée à une hauteur de plus de 20 mètres pour être mise en dépôt.

Ce travail considérable a été réalisé, malgré le peu d'espace sur lequel on travaillait, en trois années de temps, ce qui est un résultat des plus remarquables.

Le creusement du canal est exécuté presque exclusivement au moyen de dragues à godets et de dragues à suction. Partout cependant où la chose était possible, où l'on ne rencontrait ni ruisseau ni rivière dont l'écoulement devait se faire par la tranchée à ouvrir, on a travaillé à sec, et les entrepreneurs se sont servis d'excavateurs puissants, dont ils ont du reste appris aujourd'hui à se servir d'une façon merveilleuse. Chacun de ces appareils équivaut à toute une escouade de travailleurs. Disposés méthodiquement et combinés avec art, les excavateurs enlèvent rapidement des cubes énormes et peuvent suffire, d'une manière continue, au travail de quatre locomotives.

Les dragues en usage sur le canal sont la plupart à godets et déchargent généralement les déblais dans des chalands ou bateaux-porteurs de grandes dimensions. Elles sont de deux types : les unes sont construites en Allemagne et sont de tous points semblables aux dragues du Wésér décrites, d'après *l'Engineering*, au journal français *Les Annales des travaux publics* (15 mars 1892); les autres proviennent de maisons néerlandaises.

Toutes ces dragues sont en acier, très perfectionnées et de grande puissance. Elles élèvent 200 à 300 tonnes de déblais par heure. Ces déblais sont déversés dans des chalands.

Plusieurs dragues sont à hélinde et godets et munies de pompes centrifuges de grande puissance.

Les dragues et les pompes peuvent fonctionner dans toutes sortes de terrains et dans toutes les circonstances.

Pour les « dragues avec refouleurs de déblais », les

dispositions sont prises de façon à empêcher l'accès aux pompes des pierres, pièces de bois et débris de grand volume.

Les déblais déversés dans le porteur attenant à la machine sont repris ensuite par la drague ; ils passent par un réservoir en tôle avec des grilles pour retenir les matériaux consistants ; ils sont dilués et désagrégés par des volumes d'eau déversés par des pompes spéciales. Le mélange est aspiré par les pompes centrifuges du bateau dragueur et refoulé à des distances qui atteignent parfois 500 et 600 mètres. Les tuyaux de décharge sont en partie supportés par des tonneaux ou par des flotteurs en tôle. Les joints des tuyaux flottants sont en cuir et entourés d'une garniture en acier. Les dragues dont nous venons de parler forment un tout complet ; elles élèvent les déblais et les portent à distance : on les appelle dragues avec refouleurs de déblais.

Il est également fait usage, indépendamment de ces dragues aspiratrices et à refoulement de déblais (v. pl. XII), de dragues à godets et à longs couloirs, et de bateaux dragueurs à succion et porteurs de sable.

Il existe, au surplus, nombre d'appareils dragueurs de tous les systèmes, déversant simplement les déblais dans les chalands. Les chalands sont conduits à différents postes d'accostage, où se trouvent installés des excavateurs-élévateurs, qui opèrent soit par longs couloirs, soit par pompes centrifuges, comme nous venons de le décrire et qui envoient les déblais à longue distance.

On a, au moyen de ces appareils, relevé et remblayé des terrains bas et marécageux sur des étendues considérables et mis ces terrains en valeur quand les déblais étaient argileux.

Lorsqu'il s'agissait de remblais en sable, on refoulait, pour recouvrir ce remblai, d'ordinaire de la tourbe à l'état liquide et l'on formait ainsi un dépôt superficiel

de tourbe de 10 à 15 centimètres d'épaisseur. Les terrains ainsi formés seront livrés à la culture et l'on s'attend à des résultats heureux.

Une partie importante des déblais exécutés du côté de Holtenau a été versée dans la mer; une autre partie a servi à limiter, au moyen de digues puissantes et de remblais, le lac de Flemshüde, dont nous avons parlé précédemment.

ÉCLUSES

Les écluses de Holtenau et de Brünsbüttel méritent, à cause de leur très grande importance, une mention spéciale. Nous avons donné les dimensions principales de ces ouvrages.

Voici, pour l'écluse de Brünsbüttel, la plus coûteuse des deux, des chiffres qui permettront de juger de la grandeur et du coût du travail à réaliser :

	Mètres cubes.
Terrassements et déblais	92,083
Remblais derrière les bajoyers.	63,004 (1)

Charpente : 640 mètres courants d'enceinte en pieux de 0^m,30 de diamètre, battus à 7^m,50 de fiche.

Béton : 75,604 mètres cubes composé comme suit : 9 parties de pierrailles, 5 parties de mortier de trass, dont la teneur est de 1 de trass, 1 de chaux et 1 de sable.

Maçonnerie : 79,000 mètres cubes briques et pierres de taille au mortier de ciment.

L'Administration a fourni à l'entreprise :

10,000 mètres cubes de sable pour maçonnerie :

6,000 id. de pierres concassées ;

9,000 id. de briquillons ;

40 millions de briques d'une qualité et d'une résistance exceptionnelles, fabriquées sur place.

(1) Chiffres extraits du cahier des charges.

Aux termes du cahier des charges de l'entreprise, l'adjudicataire avait la responsabilité pleine et entière des moyens d'exécution. L'écluse pouvait être fondée à sec par épuisements ou bien le radier en béton pouvait être coulé sous eau. Les sondages avaient laissé espérer que l'on pourrait, du côté de l'Elbe, tenir à sec la fouille de l'écluse et l'on présumait, au contraire, qu'il faudrait fonder à niveau plein du côté de Kiel. De ce côté, en effet, des sources jaillissantes, d'une puissance considérable, s'étaient produites lorsque l'on forait les puits de sondage, et l'on était, dans une certaine mesure, fondé à croire que la nappe aquifère était influencée par le niveau de la mer.

Il n'en était rien.

Des pompes installées sur les puits firent descendre rapidement le niveau de l'eau en-dessous de la cote de fondation de l'écluse, et l'on put aisément, c'est-à-dire au moyen d'épuisements d'une importance relativement faible, tenir la fouille à sec et fonder dans d'excellentes conditions.

A Brünsbüttel, les pompes d'épuisement furent impuissantes à vaincre les venues d'eau, du moment où la nappe aquifère était descendue à la cote de 16 mètres. La cote moyenne de l'Elbe, à marée haute, est de 20^m,5.

L'entrepreneur se trouvait donc en face du problème suivant : Descendre le plan de fondation de l'écluse à la cote 5 mètres, couler 5 mètres de béton comme radier général et élever les bajoyers sur cette fondation.

Au moyen d'excavateurs, le déblai fut exécuté jusqu'à la cote 16 mètres, et de cette cote jusqu'à la cote 5 mètres, toute la tranchée fut creusée à la drague.

Le plan d'eau étant tenu à la cote 16 mètres, il fallait donc un outillage permettant de draguer à

11 mètres de profondeur et de réaliser un plan de fondation d'une régularité parfaite.

Ce travail difficile et de sujétion fut exécuté par l'entrepreneur Vering, qui enleva les 92,000 mètres cubes de déblai en moins de 3 mois, du 2 mai 1891 au 27 juillet de la même année.

Le niveau d'eau dans la fouille de l'écluse subissant de fortes oscillations, suivant que la marée était haute ou basse dans l'Elbe, on aveugla par des moyens fort ingénieux, mais dont le détail nous entraînerait trop loin, toutes les sources et l'on put maintenir dans cette fouille le plan d'eau à une cote sensiblement égale et constante, ce qui était indispensable pour empêcher le délavement du béton par les sources de fond.

Le 8 août 1891, les travaux de bétonnage furent commencés et l'entrepreneur devait avant l'hiver, soit en 3 1/2 mois, avoir coulé 75,000 mètres cubes de béton.

Les installations devaient donc permettre, dans des espaces restreints, l'exécution et le coulage, au même endroit, de 800 mètres cubes de béton par jour, quantité énorme et qui n'a jamais, croyons-nous, été dépassée ni atteinte et équivalente au 1/5 environ du cube total des maçonneries d'une écluse de navigation intérieure de 50 mètres de longueur.

Inutile d'insister sur les difficultés du problème et sur la science, l'ordre, la méthode et l'expérience dont il fallait faire preuve pour mener à bien une entreprise aussi ardue.

Le chantier de Brünsbüttel a été installé d'une manière remarquable et véritablement grandiose. Le croquis (pl. XI) et la photographie (pl. XII) donnent une idée de l'installation.

L'Administration avait approvisionné les briques, les briquaillons et le sable; l'entrepreneur, les autres

matériaux et notamment le trass, dont le cube s'élevait à 24,000 mètres. Ce trass provenait des carrières de Kruft, de Kretz ou de Plaidt, situées dans la vallée de la Nette, près d'Andernach. Tous les approvisionnements ont été faits par l'Elbe et amenés sur les chantiers par un plan incliné dont le pied était à l'embarcadère établi dans le fleuve et la partie supérieure à un niveau placé à 2 ou 3 mètres au-dessus du terre-plein de l'écluse.

Les dépôts de trass en roche (pl. XI), sont placés à l'amont du plan incliné et immédiatement à côté, vers l'écluse, les broyeurs ou moulins à trass d'un système spécial fabriqués à Mulheim par Herman Löhner. Ces broyeurs, avec boulets en acier et parois en fonte, fournissent par jour chacun 23 tonnes de trass réduit en une poudre impalpable.

Il est ainsi produit, chaque jour, une centaine de tonnes de trass moulu, ce qui correspond, d'après le mélange que nous avons précédemment indiqué, à environ 800 mètres cubes de béton.

Immédiatement à l'aval du plan incliné se trouvent les dépôts de pierrailles et de briquillons, une prise d'eau et les bacs sur chevalets pour le lavage de ces pierres avant leur emploi dans les bétonnières. Plus à l'aval encore se trouvent les dépôts de sable, les grands réservoirs pour l'extinction de la chaux, les mélangeurs de chaux, de trass et de sable dans les proportions prescrites, et une drague à godets pour déverser le mélange dans des wagonnets qui l'amènent aux bétonnières. D'autres wagonnets amènent les briquillons.

Les huit bétonnières indiquées sur la planche VI fonctionnent d'une manière continue, et déversent le béton, parfaitement préparé, dans des wagonnets d'un tiers de mètre cube de capacité. Ceux-ci circulent sur des rails installés autour de la fouille, jusqu'à un appareil spécial qui sert au coulage du béton.

Cet appareil est disposé de manière à permettre de déposer telle quantité de béton que l'on désire au fond de la fouille, à un endroit mathématiquement déterminé.

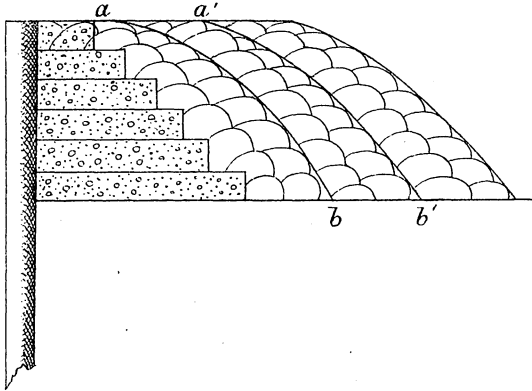
C'est un appareil flottant supporté par quatre bateaux, deux à l'avant, deux à l'arrière. A l'avant, huit caisses de 1 mètre cube de capacité dans lesquelles on déverse le béton ; à l'arrière, huit contrepoids équilibrant les caisses. Chaque caisse se meut séparément, descend au fond de la fouille, se vide par le bas, et remonte par l'action du contrepoids.

L'appareil se meut transversalement, c'est-à-dire perpendiculairement à l'axe de l'écluse, au moyen d'une glissière se déplaçant, de telle quantité que l'on veut, sur un rail fixé sur les bateaux-porteurs. D'autre part, tout l'appareil flottant avance ou recule suivant l'axe de l'écluse, guidé par des rails placés le long des côtés longitudinaux de la fouille.

On conçoit aisément comment, avec un appareil de l'espèce se mouvant en long et en travers avec telle précision que l'on désire, l'on puisse couler le béton d'un manière précise et exacte à l'emplacement voulu. Par des relevés constants et méthodiques, par des sondages soigneusement faits et contrôlés, l'administration s'assure que les couches de béton sont régulières et l'expérience prouve que grâce à ce procédé vraiment mathématique, procédé d'abscisses et d'ordonnées, le béton se coule d'une manière absolument parfaite.

Le coulage du béton s'est fait de l'amont vers l'aval, comme l'indique le croquis ci-après. On a commencé par des bermes régulières s'appuyant contre les pieux du coffre d'enceinte, puis on a coulé le béton suivant des surfaces plus ou moins curvilignes $ab - a'b'$, de façon que toute la laitance fût refoulée vers l'aval. Cette laitance était aspirée par des pompes à suceuse. Le béton n'était pas délavé et faisait rapidement prise

Un millier d'ouvriers se trouvaient en permanence sur les chantiers.



Dans le principe, on est resté en-dessous du cube de 800 mètres que l'on s'était proposé d'exécuter journellement. Mais depuis on a regagné le temps perdu, et, lors de notre passage sur les travaux, en octobre 1891, l'on était arrivé à couler près de 900 mètres cubes de béton par jour.

Ce béton, nous l'avons déjà dit, était fait avec un soin irréprochable et une perfection absolue. La finesse de mouture du trass, sa réception toujours délicate, ses épreuves, les qualités du sable et de la chaux, les dimensions des briquillons, leur lavage, les proportions et les soins du mélange, en un mot, les matériaux et les opérations nous ont paru réellement parfaits. Les bétonnières donnent d'excellents résultats. D'un autre côté, l'organisation des transports par wagonnets avait été étudiée de façon à réaliser une marche régulière, continue, et à donner la plus grande somme de rendement possible. Enfin, les équipes d'ouvriers avaient été composées comme nom-

bre, comme surveillance, comme durée de travail, de façon à produire jour et nuit, dans des conditions régulières, la somme de travail voulu.

Les chantiers de Brünsbüttel et de Holtenau étaient éclairés à l'électricité. Il en était de même des chantiers du pont de Grunenthal, et nous considérons comme de toute justice de déclarer que les derniers chantiers dont nous venons de parler, étaient également conduits avec beaucoup de talent et d'habileté, et que la besogne que nous avons vu faire était de tout point irréprochable.

Il a été fait usage de béton de trass pour les radiers de Brünsbüttel et de Holtenau et non pas de béton de ciment, alors que presque partout, en Allemagne, aujourd'hui le ciment est préféré au trass.

Nous n'avons pas eu d'explication bien plausible de l'emploi du trass dans les deux cas dont il vient d'être parlé. La raison la meilleure, à notre avis, qu'on nous ait donnée, c'est que les écluses du canal ont été projetées par des ingénieurs du sud de l'Allemagne, des parties rhénanes, où le trass se trouve en grande quantité et a conservé le plus de défenseurs et de partisans. Le trass avait, du reste, comme nous l'avons dit, fait l'objet d'un choix et d'une réception fort sévères.

PÉAGES

Disons un mot, en terminant, des péages et des revenus du canal.

On évalue à 2,400,000 francs les frais d'entretien et d'exploitation du canal. Pour couvrir cette charge et amortir partiellement, si possible, les dépenses de construction, on se propose de prélever sur les navires une taxe de 75 pfennings, soit 94 centimes par tonne-registre.

Ce tarif a été fixé, paraît-il, par l'empereur, d'accord avec le Conseil fédéral ; il doit être soumis aux diverses administrations maritimes, avant d'être arrêté définitivement.

Le 15 janvier 1892.
