

L'ÉCLUSE MARITIME

DU

PORT DE ZEEBRUGGE

DU

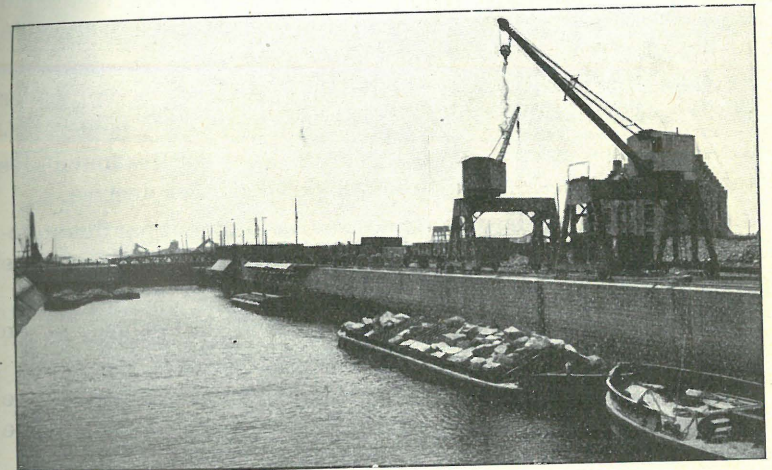
PAR

Ch. PIENS

Ingénieur principal des Ponts et Chaussées.

Pl. XV à XVIII.

L'écluse maritime du port de Zeebrugge (1), qui commande l'entrée vers la mer du nouveau canal de Bruges à la côte, a 258 mètres de longueur totale, dont 62 mètres de longueur pour chaque tête et 158 mètres pour le sas.



Sas de l'écluse. Vue vers l'amont.

Elle a 20 mètres d'ouverture, ses buses et ses radiers sont

(1) Voir *Annales des Travaux publics*, t. I, p. 833, t. IV, p. 413, t. V, p. 7 et t. VIII, p. 1155.

établis uniformément à 5 mètres au-dessus du niveau des basses mers moyennes de vive eau, offrant ainsi des mouillages à la navigation de 9^m.20 à marée haute de morte eau, et de 10^m.10 à marée haute de vive eau.

La longueur utile de l'ouvrage est de 256 mètres, donc 62 mètres en moins que la longueur totale.

Cette longueur utile relativement fort grande est obtenue grâce au dispositif spécial adopté pour les portes d'amont et d'aval.

Elles sont à vantail unique et roulantes; elles ouvrent et ferment le pertuis de l'écluse en se déplaçant normalement à l'axe de celle-ci.

Lorsque le pertuis est ouvert, la porte est logée dans une chambre ménagée dans l'épaisseur renforcée du mur en retour; lorsque le pertuis est fermé, la porte s'appuie sur un seuil et sur des feuillures disposées symétriquement à l'amont et à l'aval, ce qui lui permet de fonctionner indifféremment comme porte de flot et comme porte d'ebbe.

Le sous-sol de fondation se composant de sable argileux, il a été possible de construire l'écluse en fouille ouverte, maintenue à sec par des épaissements, sur un radier général en béton, coulé dans des encoffrements entourés de palplanches.

L'épaisseur du radier est de 3^m.50 au droit des chambres des portes, de 1^m.70 sous les têtes et de 0^m.50 seulement dans le sas.

Les planches XV à XVIII reproduisent suffisamment les détails de construction pour nous dispenser de les décrire.

Le remplissage et la vidange du sas s'effectuent par des aqueducs-larçons ménagés dans les bajoyers des têtes, et commandés par des vannes cylindriques.

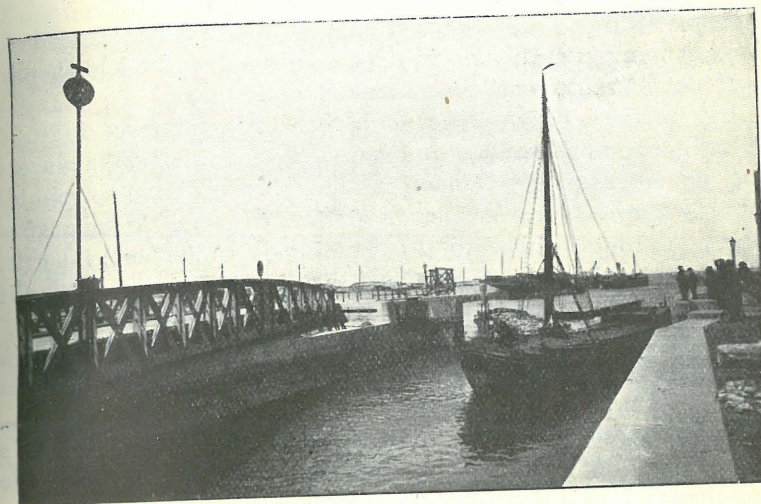
Un pont-route est établi sur la tête aval de l'écluse, et un pont-rail à double voie sur la tête amont.

Une voie ferrée est installée sur le pont-route, pour permettre à celui-ci de livrer également passage aux trains, en cas de besoin.

Nous allons décrire les éléments essentiels des portes roulantes et leur système de manœuvre, à raison des idées ingénieuses qui les caractérisent et qui sont dues à l'esprit inventif des constructeurs MM. Coiseau et Cousin.

PORTES ROULANTES.

Description. — Les deux portes de l'écluse sont identiques; chacune d'elles est formée d'un caisson métallique de 4^m.50 d'épaisseur uniforme, ayant en élévation la figure d'un trapèze dont le petit côté a 20^m.71 de longueur et le grand côté 24^m.49. La hauteur du caisson est de 12^m.70; le bord inférieur descend jusqu'à la cote — 5^m.90, et la partie supérieure est arasée à la cote + 6^m.80, soit 0^m.20 au-dessus des plus hautes marées.



Tête aval de l'écluse. Vue vers la mer.

Le caisson est divisé en deux parties par une cloison horizontale, ou pont, placée à la cote — 1^m.05, soit à 0^m.35 en contre-bas des plus basses mers. Ce pont constitue avec la partie inférieure de la porte un compartiment étanche, qui est entretenu à vide et contient le lest nécessaire pour empêcher le soulèvement de la porte.

Dans le compartiment supérieur, au contraire, le niveau le plus élevé, qui sera tantôt celui de la marée, tantôt celui du canal, s'établira librement; à cet effet, le bordé est percé dans la face amont de deux orifices circulaires de 0^m.35 de diamètre, établis au niveau du pont étanche; le bordé de la face aval est percé, au même niveau, de quatre orifices semblables, et il offre de plus une solution de continuité de 0^m.50 de hauteur et

de 11 mètres de largeur, dont le seuil est à la cote + 4 mètres.

Sous les fluctuations de niveau des eaux ambiantes, le volume d'eau déplacé par la porte ne varie donc pas; par suite, la charge sur les roues de support reste invariable, et celle-ci peut se régler à volonté au moyen du lestage.

Les deux orifices de la face amont peuvent être fermés par des vannes; ceux de la face aval sont également pourvus de vannes et, en outre, de clapets s'ouvrant de l'aval vers l'amont.

Le jeu de ces orifices sera examiné plus loin.

La porte ainsi constituée est supportée par deux paires d'essieux et par huit roues de 1 mètre de diamètre, dont le chemin de roulement est formé de deux rails Goliath.

A l'endroit des roues sont ménagées deux chambres de 2^m.30 de largeur, embrassant toute l'épaisseur de la porte. On a accès à ces chambres par des cheminées de 0^m.70 de diamètre, munies d'un sas à air, ce qui permet de visiter les roues de support et leurs coussinets, ainsi que les chemins de roulement; il suffit, au préalable, de refouler par de l'air comprimé l'eau qui emplit les chambres.

Une troisième cheminée s'élève du pont intermédiaire jusqu'à la partie supérieure de la porte; elle permet la visite de la chambre étanche.

Cinq aqueducs avec vannes de 1^m.00 × 0^m.70 sont ménagés dans l'épaisseur de la porte, aux fins d'effectuer les chasses de fond nécessaires à l'entretien des radiers de l'écluse.

Il est également possible de procéder, par l'intérieur de la porte, à la visite des vannes de ces aqueducs.

Des fourrures en bois de greenheart de 0^m.30 de largeur garnissent inférieurement et latéralement le pourtour du bordé sur les deux faces amont et aval; ces fourrures assurent l'étanchéité du contact avec les feuillures et les seuils d'appui de l'écluse.

Le volume d'eau déplacé par la chambre étanche est de 418 mètres cubes ou de 429 tonnes.

La porte a un poids propre de 200 tonnes, et le lest est de 279 tonnes.

L'excès de poids de 50 tonnes assure la stabilité du vantail pendant la manœuvre.

Éléments constitutifs. — L'ossature générale comprend huit grandes fermes verticales, placées à des intervalles de 2^m.50,

s'étendant sur toute la hauteur de la porte et embrassant son épaisseur entière.

Ces fermes prennent appui sur le seuil de la chambre, sur la poutre du pont étanche et sur une ferme horizontale en treillis qui règne au niveau supérieur de la porte.

Les lisses verticales de ces fermes constituent des membrures pour le bordé; elles sont formées de fers U de $\frac{152 \times 58}{7 \times 9}$; les barrots ou les barres horizontales de ces fermes sont composés de deux fers semblables.

Les fermes verticales sont reliées par six cours de ceintures horizontales, espacés inégalement suivant la grandeur des pressions; ces ceintures sont des poutrelles à double T de 0^m.35 de hauteur, composées d'une âme de 8 millimètres et de cornières $\frac{80 \times 80}{9}$ au droit de la chambre étanche, et d'une âme de

7 millimètres et de cornières $\frac{60 \times 60}{8}$ pour la partie supérieure.

Trois cours de membrures sont disposés entre les fermes verticales en contre-bas du pont étanche; le cours du milieu seul se prolonge au-dessus du pont. Les membrures prennent appui sur les ceintures; leur portée et leur écartement sont

ainsi variables, et un profil unique en U de $\frac{152 \times 58}{7 \times 9}$ a pu être

adopté.

Les tôles du bordé sont rivées sur les lisses des grandes fermes verticales et sur les membrures; leur épaisseur varie de 7 à 10 millimètres.

Au droit et dans le sens de chacune des fermes verticales, l'âme pleine du pont étanche est supportée par des entretoises horizontales et par une série de varangues disposées normalement à ces dernières et rivées sur elles.

Ces pièces ont à résister à la charge d'eau au-dessus du pont, charge qui peut s'élever jusqu'à 7^m.65 (6^m.60 + 1^m.05).

Conditions de résistance des éléments constitutifs. — Les portes sont en acier.

Elles ont à résister aux cas limites suivants: comme porte de flot, niveau maximum de la marée + 6^m.60, d'une part, et plan

de flottaison du canal + 3^m.50, d'autre part; comme porte d'ebbe, niveau maximum du canal + 4^m.50 à l'amont et niveau de la marée basse à l'aval.

Sous ces charges, les diverses parties constitutives de la porte travaillent à un taux inférieur à 9 kilogrammes par millimètre carré.

Enfin, dans certains cas extraordinaires, tel que celui où les eaux du canal atteindraient la cote surélevée + 4^m.50 et le niveau de la basse mer — 0^m.70, le taux du travail ne dépasserait pas 11 kilogrammes.

Conditions d'équilibre. — Les hauteurs des retenues jouent un rôle prépondérant dans les conditions de stabilité de la porte.

Les niveaux à envisager sont, en effet :

Du côté amont, le plan de flottaison normal du canal fixé à la cote + 3^m.50; toutefois, on a admis qu'en pratique ce plan d'eau aurait pu être relevé jusqu'à la cote + 4^m.50;

Du côté aval, le niveau de la plus basse mer ou la cote — 0^m.70;

Le niveau moyen des basses mers de vive eau ou 0;

Le niveau moyen des basses mers de morte eau ou + 0^m.70;

Le niveau moyen des hautes mers de morte eau ou + 3^m.70;

Le niveau moyen des hautes mers de vive eau ou + 4^m.60;

et le niveau des plus hautes marées ou + 6^m.60.

Il a été dit que la porte et son lest ont un poids propre de 479 tonnes et que le déplacement de la caisse étanche correspond à 429 tonnes.

L'excès de poids est donc de 50 tonnes, lorsque le vantail est immergé.

La section horizontale de la chambre supérieure est telle qu'une différence de niveau de 0^m.50 environ suffirait pour équilibrer cet excès de poids et pour faire flotter la porte si celle-ci était libre, c'est-à-dire non appuyée contre ses feuillures.

Pour que l'équilibre soit constamment maintenu, il est donc nécessaire que le niveau le plus élevé, soit d'amont, soit d'aval, puisse s'établir dans la chambre supérieure.

Cependant cette condition n'est pas toujours entièrement satisfaite, mais alors les résistances passives des frottements contre les faces d'appui, dues à la poussée horizontale de la retenue, interviennent dans la stabilité du vantail.

Examinons les conditions d'équilibre de la porte dans les divers cas qui peuvent se présenter en pratique.

Les deux orifices ménagés dans le bordé amont sont constamment ouverts, ainsi que les quatre orifices du bordé aval.

Les vannes de ces orifices ne se manœuvrent qu'exceptionnellement, lorsqu'il est nécessaire de faire flotter la porte.

Supposons les eaux du canal à leur flottaison normale + 3^m.50. A marée basse, ce niveau s'établit dans le compartiment supérieur par les orifices amont, les clapets d'aval empêchant l'eau de s'écouler.

Cet état de choses persiste aussi longtemps que la marée montante n'a pas atteint le niveau amont.

A partir de cette cote, les eaux de la mer pénètrent dans la porte par les clapets du bordé aval, mais en même temps elles s'écoulent dans le canal par les orifices du bordé opposé. Une chute intermédiaire entre les niveaux amont et aval s'établit dans la porte; sa hauteur dépend du rapport des sections des orifices aval et amont. Ce rapport étant 2, la hauteur du bief dans la porte sera en retard sur le niveau de la marée du cinquième de la différence entre l'aval et l'amont. Et ce retard sera maximum lorsque la marée aura atteint la cote + 4.00; car à cet instant les eaux pénètrent librement dans la porte par la solution de continuité ménagée à cette hauteur dans le bordé. La plus grande différence de niveau entre l'aval et le bief de la

porte sera ainsi de $\frac{0^m.50}{5} = 0^m.10$; la sous-pression supplémentaire qui en résultera sera insuffisante pour altérer l'équilibre du vantail.

A la marée descendante, la même suite de fluctuations de niveau se reproduit en ordre inverse.

Supposons, en second lieu, que le canal soit en contre-bas de sa retenue normale, ou bien, ce qui revient au même, et pour nous placer dans les conditions les plus défavorables, que le sas de l'écluse ait été maintenu au niveau de la marée basse, ce qui peut être considéré comme un cas extrême.

Il s'établira, comme précédemment, un bief intermédiaire dans la porte pour toute hauteur de marée inférieure à + 4.00 et la dénivellation entre l'aval et ce bief sera encore maximum lorsque la marée aura atteint le seuil de l'ouverture du bordé. Le

bordé aval supportera alors une chute de 0^m.80 $\left(\frac{4^m.00}{5}\right)$. Dans ce cas, l'excès de poids de la porte ne suffit plus pour équi-

librer la sous-pression, mais la stabilité du vantail se trouve encore largement assurée par les résistances dues au frottement des surfaces d'appui.

Enfin, admettons les eaux du canal à leur cote la plus élevée + 4^m.50.

Pour toute hauteur de marée inférieure à + 4^m.00, le niveau dans le compartiment supérieur se maintiendra au niveau du seuil de l'ouverture aval du bordé, soit la cote + 4^m.00. La porte subit également dans ce cas une sous-pression supplémentaire de 0^m.50, entre les cotes + 4^m.50 et + 4^m.00, mais les frottements contre les feuillures empêchent, ici encore, le soulèvement de la porte.

On voit donc que par le jeu des orifices et des clapets si ingénieusement ménagés, les niveaux d'amont et d'aval s'établissent automatiquement dans le compartiment supérieur de la porte à des hauteurs telles que l'équilibre est toujours assuré, quelles que soient les circonstances si variables dans les niveaux qui puissent se présenter.

Aménagement de la chambre de porte. — Lorsque le pertuis de l'écluse est ouvert à la navigation, la porte se loge latéralement dans une chambre de refuge comprise dans l'épaisseur du mur en retour. Inférieurement, cette chambre pénètre de 0^m.80 dans l'épaisseur du radier.

Des feuillures, affectant le pourtour du vantail en élévation, sont ménagées dans les bajoyers; ces feuillures ont 5 mètres de largeur entre le parement dans le bajoyer attenant à la chambre et 4^m.96 dans le bajoyer opposé, de façon à obtenir le dégage-ment des surfaces en contact.

En plan, les feuillures présentent, comme en élévation, un évasement.

Le but de ce dispositif est de pouvoir retirer le vantail de ses enclaves. On isole, à cet effet, le compartiment supérieur en fermant les vannes des orifices; on déleste la porte de la quantité d'eau nécessaire pour la faire flotter, et on laisse écouler, par une vanne plate ménagée dans le pont étanche, l'excès du volume d'eau supérieur dans la caisse étanche, de manière à assurer la stabilité du flotteur.

Des aqueducs, qui s'embranchent sur les larrons de l'écluse, débouchent aux extrémités de la coulisse inférieure de la chambre; ils sont destinés à diriger des chasses d'eau sous la porte pour

entretenir le radier en état de propreté et expulser les vases qui pourraient s'y déposer.

Les aqueducs sont commandés par des vannes cylindriques semblables à celles des larrons de l'écluse.

L'entrée de la chambre de refuge est formée d'abord sur 0^m.40 de largeur de deux faces d'appui des bois de bordage. Ces deux faces sont à écartement de 5 mètres; puis se présentent deux faces écartées de 5^m.10; la chambre s'élargit ensuite à 6 mètres par deux plans inclinés.

Il existe ainsi entre les faces d'appui et le bordé un jeu de 0^m.50 pour le passage de l'eau pendant le mouvement de translation de la porte. Indépendamment de ces ouvertures latérales, l'eau trouve encore issue par la coulisse inférieure de la chambre, conduit dont la section est de 3 mètres carrés.

Efforts de manœuvre. — Pour établir la puissance des organes mécaniques de manœuvre des portes, on a admis que l'ouverture ou la fermeture du pertuis de l'écluse devait pouvoir s'effectuer en 3 minutes.

Les résistances à vaincre sont dues au roulement de la porte et à la pression résultant du relèvement ou de la dépression que subit le niveau de l'eau dans la chambre de la porte pendant que celle-ci y pénètre ou en sort.

L'effort nécessaire à vaincre ces résistances a été évalué à 7,000 kilogrammes, se décomposant comme suit: 1,000 kilogrammes pour vaincre le frottement du roulement; 6,000 kilogrammes pour résister à la pression de l'eau dont nous venons de parler.

Mécanisme de manœuvre. — La face latérale du vantail qui se déplace dans la chambre de celui-ci est munie d'une armature, à l'extrémité de laquelle se trouve articulé un balancier ou pannonnier. Les extrémités du balancier sont connectées aux brins de deux chaînes sans fin, parallèles et tendues sur deux jeux de poulies.

Les poulies motrices sont montées sur l'arbre d'un treuil à trois trains d'engrenages.

Suivant le sens de la rotation imprimée à l'arbre, on obtient l'ouverture ou la fermeture de la porte.

Le treuil est actionné par une dynamo réceptrice pouvant fournir 20,000 watts sur l'arbre.

Le treuil et la dynamo sont logés dans une cave ménagée dans le mur en retour de l'écluse.

En cas d'accident, la manœuvre peut aussi se faire à la main au moyen d'un treuil actionné par trois hommes. La durée d'ouverture est, en ce cas, d'environ 15 minutes.

Les portes roulantes sont en service depuis quatre ans, mais uniquement pour le passage des engins et bateaux servant à la construction du port extérieur : le 27 février 1900, deux chalandes ont été amenés par mer au port de Zeebrugge, et éclusés dans le sas de l'écluse; c'est la première manœuvre utile de cet ouvrage d'art.

Par mer calme, l'ouverture ou la fermeture de l'écluse s'effectue en 3 minutes environ, suivant du reste ce qui avait été prévu.

Les résistances absorbent 45 ampères au démarrage, en agissant sur le rhéostat avec modération; 30 à 40 ampères en marche courante, suivant la hauteur de la marée, enfin 55 à 60 ampères à la fin de la manœuvre, par suite du coïncement de la porte dans son logement.

La porte de flot a été manœuvrée plusieurs fois par mer houleuse, la houle ayant jusque 1 mètre d'amplitude. Mais dans ce cas, comme chaque montée de la houle applique la porte contre la feuillure à l'entrée de la chambre, et donne naissance à des résistances de frottement que l'appareil moteur ne peut vaincre, le mouvement de translation s'effectue par intermittences, avec avancements successifs.

Considérations générales. — Depuis quelques années, on remarque une tendance à substituer aux portes busquées des portes à vantail unique.

Dès 1882 déjà, M. le baron Quinette de Rochemont prévoyait des portes tournantes à un seul vantail pour son type d'écluse du canal projeté de l'Escaut à la Meuse, écluse dont le dispositif fut adopté par l'administration supérieure de France, ainsi qu'il résulte du mémoire publié, en 1883, par cet ingénieur, dans les *Annales des Ponts et Chaussées*.

Pour ce qui concerne la navigation maritime, les bateaux-portes sont depuis longtemps d'un usage courant pour assurer la fermeture des pertuis des formes de radoub.

Les portes à vantail unique pour écluses maritimes sont beaucoup moins répandues. Une porte tournante de ce genre existe à Bristol, et une à Dundee, depuis quelques années.

Ce système de portes a été repris plus récemment en France avec des dispositifs spéciaux. En 1887, il a été appliqué notamment aux écluses maritimes du canal du Havre à Tancarville. Ces portes sont également tournantes; « elles ne sont au fond qu'un bateau-porte qui ne se soulève pas et auquel on a mis des gonds pour le faire tourner ». (Mémoire de M. Widmer, *Annales des Ponts et Chaussées*, 1892.)

Des portes à vantail unique qui se déplacent suivant leur propre plan sont plus exceptionnelles. Elles ont été employées pour isoler deux bassins à flot : leur pertuis de communication se ferme par un caisson glissant ou roulant. (Caisson glissant de Portsmouth.)

Mais les travaux du port d'escale de Zeebrugge comportent, à notre connaissance, la première application, à une écluse maritime, d'un vantail roulant.

Chaque tête d'une écluse de l'espèce nécessite généralement une paire de portes busquées de flot, et une paire de portes busquées d'ebbe, soit quatre vantaux.

L'emploi de portes tournantes à vantail unique réclame encore une porte de flot et une porte d'ebbe.

Une porte roulante ou glissante, se déplaçant normalement à l'axe de l'écluse, peut agir, au contraire, comme porte de flot et comme porte d'ebbe, et être unique pour chaque tête d'écluse.

Un dispositif de ce genre permet de retirer d'une dimension donnée d'écluse le maximum de longueur utile.

Une porte à un seul vantail ferme toujours bien du moment que les plans de contact avec les feuillures et le seuil ont été convenablement dressés, et cette condition est d'exécution aisée, à raison de ce que le cadre formé par le buse et les deux feuillures se trouve dans un même plan. Le pertuis de l'écluse est fermé dans des conditions également bonnes, que la longueur du vantail soit un peu grande ou un peu faible.

Il n'en est pas toujours de même des portes busquées; leur construction et leur pose réclament une exactitude rigoureuse, souvent difficile à réaliser en pratique; les contacts d'un même vantail s'exercent, en effet, dans trois plans différents, qui sont : celui du buse et de l'une des faces du chardonnet, celui de la se-

conde face du chardonnet, et enfin celui de la face de contact du poteau busqué.

Si la largeur des vantaux est trop forte, les portes s'arc-boutent l'une sur l'autre et ne portent plus sur le busc. Si, au contraire, ils sont trop courts, ils ne se joignent pas dans le bas, et ils se déforment de manière que les poteaux arrivent à se toucher par le haut.

Enfin, l'ampleur des vantaux du nouveau système est telle qu'il est possible d'y ménager des installations permettant de les visiter à l'intérieur. Sous ce rapport, les cheminées à air comprimé, appliquées pour l'accès aux organes de roulement qui semblaient devoir rester inaccessibles, constituent une heureuse innovation.

PONTS TOURNANTS.

Manceuvre électrique. — Un second point utile à signaler concernant l'écluse maritime du port de Zeebrugge, est relatif à la manœuvre électrique de calage et d'orientation des ponts.

Le pont-route et le pont-rail sont de type identique.

La planche XVIII reproduit les dispositions principales du pont-rail; elle donne également la coupe en travers du pont-route.

Les maîtresses poutres ont 40^m.47 de longueur, dont 25^m.08 de volée et 15^m.39 de culasse.

Le poids total du pont-rail est de 177 tonnes, dont 43 tonnes de contrepoids, et celui du pont-route de 154 tonnes, dont 33 tonnes de contrepoids.

Lorsque les ponts sont fermés, ils portent sur six appuis : deux appuis fixes au bout de la volée; deux appuis fixes sur le bord du bajoyer, et deux coins de calage à l'arrière de la culasse.

Les appuis fixes sont réglés de telle sorte que quand on relève la culasse au moyen des coins mobiles, le pont commence par pivoter autour de son point d'appui sur le pivot; il arrive ainsi à toucher les appuis du bord du bajoyer, puis en continuant à basculer autour de ces appuis, il parvient à toucher ceux du bout de volée, en quittant l'appui qu'il avait sur le pivot tout d'abord.

On arrive, par la manœuvre inverse, à faire reprendre l'appui sur le pivot, pendant que le pont quitte ses appuis et devient libre pour la rotation.

Lorsque le pont tourne, il repose sur son pivot, et pour parer aux défauts d'équilibrage, il est encore supporté par deux galets voisins de l'arrière de la culasse. Le contrepoids est réglé de manière à assurer une prépondérance de culasse, afin que cette dernière descende, quand le pont est décalé de l'arrière, d'une quantité suffisante pour que l'extrémité de la volée quitte ses appuis malgré la flèche prise par les poutres.

Les deux galets d'arrière ne touchent leur chemin de roulement que dans ces conditions.

Ce chemin de roulement fait corps avec la crémaillère d'orientation fixée sur la plate-forme de l'encuvement du pont.

Le mécanisme de manœuvre comporte un arbre horizontal de 50^m/^m de diamètre, fixé à l'extrémité de la culasse. (Pl. XVIII.)

L'arbre est muni, à l'une de ses extrémités, d'une roue dentée d'un diamètre primitif de 530^m/^m, qu'actionne un pignon de 120^m/^m, calé sur l'axe d'une dynamo-réceptrice blindée, fixée au pont, du type tramway de 18 kilowatts, faisant 600 tours.

La dynamo n'a qu'un sens de rotation. Le courant est amené par une lame métallique tenue en contact avec un conducteur fixé dans une coulisse entaillée dans le parement vertical du mur d'encuvement du pont, et qui est en connexion avec la ligne de distribution électrique.

L'autre extrémité de l'arbre, de 50 millimètres, porte un pignon de 120 qui engrène avec une roue dentée de 530, montée sur un autre arbre parallèle au premier, et qui porte deux roues d'angle folles et une roue d'angle fixe.

Les deux roues d'angle folles engrènent avec une roue disposée à angle droit sur les premières et calée sur un arbre horizontal avec vis sans fin, commandant, par l'intermédiaire d'une manivelle à coulisse, l'arbre actionnant les coins de calage par manivelle et bielle.

L'une et l'autre des roues d'angle folles peuvent être rendues solidaires de l'arbre moteur, au moyen d'un manchon d'embrayage à emboîtement fixé sur l'arbre, pouvant être avancé

ou reculé au moyen d'un levier à fourchettes. Selon que le manchon est en prise avec l'une ou l'autre roue folle, le pont se cale ou se décale.

La troisième roue d'angle fixe que porte à son extrémité l'arbre parallèle à l'arbre moteur, engrène avec deux roues d'angle montées follement sur un arbre vertical de 70 millimètres dont l'extrémité inférieure est pourvue d'un pignon de 200, attaquant la crémaillère d'orientation.

Un manchon mobile sur cet arbre vertical entre les deux roues d'angle, permet, comme pour le calage, d'embrayer l'une ou l'autre roue d'angle folle, et d'actionner ainsi l'arbre vertical dans un sens ou dans l'autre, pour l'ouverture et la fermeture du pont.

Le courant est lancé dans la dynamo-réceptrice au moyen d'un rhéostat liquide fixé au pont.

La commande des manœuvres se fait au moyen de trois leviers par un homme installé sur le pont.

L'un des leviers est en connexion avec le rhéostat, pour établir ou couper le courant.

Les deux autres leviers servent : l'un au calage et au décalage ; l'autre à l'ouverture et à la fermeture du pont. Ces leviers commandent, à cet effet, au moyen d'arbres et de manivelles, les deux manchons d'embrayage des deux jeux de roues d'angle décrits plus haut.

Lorsque les leviers de commande sont à la position d'arrêt, les manchons ne sont en prise avec aucune roue, et la dynamo tourne à blanc.

Enfin, un index indique au pontier la marche des coins de calage.

Un système denté engrenant avec l'arbre horizontal principal permet aussi de faire la manœuvre à bras d'homme.

Puissance motrice employée. — L'outillage du port à la côte comprend des installations électriques destinées à fournir l'énergie nécessaire à la manœuvre des portes, des ponts et des cabestans de l'écluse maritime, ainsi que des grues installées sur le môle d'accostage en mer ; à assurer l'éclairage du port et de ses dépendances ; enfin à actionner les machines-outils d'un atelier de réparation.

Les installations électriques sont doubles ; chacune d'elles consiste en une machine à vapeur Compound du type Willans à quatre cylindres, actionnant directement l'arbre d'une dynamo génératrice à courant continu.

Chaque machine peut fournir un courant de 350 ampères sous 440 volts.