

PORTS.

NOTE

SUR LE PHARE DE 1^{er} ORDRE CONSTRUIT A L'EST

DU PORT D'OSTENDE;

PAR

M. L. CREPIN,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Avant le 1^{er} janvier 1860, les attéragés du port d'Ostende n'étaient signalés que par un phare de 3^e ordre, à feu fixe, dont le foyer ne dominait le niveau des hautes mers que de 28^m,60, ce qui lui assignait une portée géométrique d'environ 15 milles (1); mais cette portée atteignait à peine 10 milles, eu égard à l'intensité du feu par suite de l'impuissance de l'appareil d'éclairage.

Cependant, les bancs de Flandre s'étendant jusqu'à 20 milles au large, il en résultait qu'une partie considérable de la mer du Nord que n'éclairaient ni le phare de 1^{er} ordre de Dunkerque, ni celui de Westcapelle, et que n'atteignaient pas les rayons lumineux du feu d'Ostende, se trouvait dans l'obscurité, ce qui exposait les navires venant de la Manche en destination d'Ostende ou d'Anvers aux dangers les plus sérieux.

(1) Le mille marin de 60 au degré = 1851^m,98 soit environ 1852^m.

Cet état de choses avait soulevé de nombreuses réclamations, et par arrêté du 3 juillet 1854, M. le ministre des travaux publics institua une commission à l'effet de rechercher quelles seraient les mesures à prendre à l'égard du phare d'Ostende pour améliorer son système d'éclairage.

A la suite du travail de cette commission, il fut décidé que le feu de 3^e ordre, serait remplacé par un feu fixe de 1^{er} ordre, de lumière blanche, d'une portée de 20 milles, et que la tour serait construite à l'Est du port, à proximité du fanal des Dunes, feu de direction dont la construction du nouveau phare rendait la suppression possible.

Les crédits nécessaires pour la construction du nouveau phare ayant été accordés par la Législature, l'adjudication des travaux fut faite en 1857, et les travaux de fondation furent commencés la même année.

Les dessins ci-joints, pl. VI et VII, à l'échelle de 0^m,005 par mètre, représentent l'élévation principale de l'édifice, une coupe par l'axe du plan, et quatre plans pris respectivement à diverses hauteurs ; l'appareil d'éclairage est représenté en élévation et en coupe à l'échelle de 0^m,05 par mètre.

Le massif de fondation de la tour repose sur une couche de béton de 18 mètres de côté et d'un mètre d'épaisseur, établie directement sur le sable bouillant, à la cote de 1^m,50 sous la haute mer des vives-eaux.

La couche de béton est surmontée de deux assises de libages en pierres de Tournai, ayant tous un mètre de côté et 0^m,50 d'épaisseur.

Cette partie du travail a été exécutée en 1857, et recouverte de sable pendant l'hiver jusqu'à la reprise des travaux.

Les deux assises de libages sont surmontées d'un massif de maçonnerie pleine, en briques, formé de six couches de 0^m,50 d'épaisseur, établies en retraite, pour arriver aux dimensions de 11^m,00 en longueur et en largeur, à la cote de 3^m,50 au-dessus de marée haute. Cette cote correspond au niveau du pavement du souterrain.

Sur ce massif est établie une maçonnerie de forme octogonale présentant intérieurement une partie vide cylindrique de 3^m,70 de diamètre, et une hauteur sous la naissance de la voute de 2^m,40. Cette voute a la forme d'une calotte sphérique de 0,70 de flèche et la partie vide dont il vient d'être parlé forme la cave aux huiles.

Le soubassement de la tour est octogonal, en pierre de taille des Écaussines et enclavé en partie dans le corps de logis renfermant les logements des gardiens et les chambres réservées pour magasins et salles de réunion.

La tour qui surmonte ce soubassement est cylindro-conique, reposant sur une base en pierre de taille et supportant une corniche également en pierre de taille, sur laquelle est établi un couronnement décoré de pilastres et comprenant dans sa hauteur la chambre de service. Ces pilastres supportent un entablement surmonté d'une balustrade à jour, le tout en pierre de taille, et la chambre de la lanterne est établie en retraite de manière à laisser une galerie découverte de 0.80 de largeur.

La lanterne repose directement sur la tourelle en pierre de taille renfermant la chambre dont il vient d'être parlé, et le batis de l'appareil d'éclairage repose sur la voute en pierre de taille qui recouvre la chambre de service.

La tour en maçonnerie de briques a une hauteur de 30^m,85 depuis la base jusqu'à la corniche, et des diamètres respectifs de 7^m,40 et 6^m,20 en bas et en haut.

Cette partie de la tour, comme la partie inférieure, depuis le sol de la cave, présente un vide cylindrique de 3^m,70 de diamètre, et est éclairée par 21 lucarnes régulièrement espacées.

Le vide cylindrique dont il vient d'être parlé contient un escalier circulaire en vis à jour, ayant son point de départ à 5^m,20 au-dessus du sol du rez-de-chaussée, et se terminant à 37^m,40 au-dessus du même point.

Cet escalier, tout en pierre de taille des Écaussines,

s'appuie à sa partie inférieure sur un dôme à jour couronnant le vestibule d'entrée. Ce dôme en pierre de taille est percé par un jour de 1^m,80 de diamètre. Le jour de l'escalier a également 1^m,80 de diamètre, le rampant 0^m,15 d'épaisseur et 0^m,32 de hauteur mesurée suivant la section normale. Chaque marche a 0^m,80 de largeur entre le rampant et le nu du mur dans lequel elle est engagée de 0^m,18.

La surface supérieure du rampant, celle qui passerait par les arêtes des marches, ainsi que la surface inférieure ou de douelle de l'escalier, sont des hélicoïdes gauches à plan directeur.

Les marches posées à recouvrement et suivant une partie de joint normale à la surface de douelle, portent chacune une partie du rampant et se soutiennent mutuellement du côté du jour. Un garde-corps en fer avec lisse en bois de chêne est installé sur le milieu du rampant. Ce garde-corps de 0^m,95 de hauteur, est composé d'autant de montants qu'il y a de marches.

L'escalier se termine par un galerie en pierre de taille, occupant la moitié du cercle formant le vide de la tour.

Des escaliers en fonte plus étroits, et disposés en hélice conduisent à la chambre de service et à la chambre de la lanterne.

Un escalier en fonte établit également la communication entre le rez-de-chaussée et le 1^{er} étage du corps de logis.

Du côté de l'entrée principale, un escalier extérieur en pierre de taille conduit de la route au vestibule, et de l'autre côté, deux escaliers donnent accès directement au rez-de-chaussée et au souterrain de l'habitation des gardiens. Cette dernière entrée souterraine sert à l'approvisionnement des huiles, charbons, etc., sans passer par le rez-de-chaussée du bâtiment.

Les travaux de fondation de la tour, repris en mars 1858, ont été poussés régulièrement et avec assez d'activité pour

qu'à la fin du mois de septembre, les maçonneries fussent élevées jusqu'à moitié de la hauteur de la tour.

Les travaux ont été suspendus pour être repris en 1859, et ont été complètement terminés dans le courant de cette année, de telle sorte que le nouveau phare a pu être mis en activité à partir du 1^{er} janvier 1860.

Les travaux de cet édifice ont été effectués sans aucune espèce d'accident; tous les matériaux de construction ont été montés par le vide intérieur de la tour; un échafaudage fixe extérieur, très-léger, a été établi au fur et à mesure de l'élévation de la maçonnerie, pour en permettre le rejointoiement. Cet échafaudage a servi aussi à silicatiser les maçonneries de briques à l'extérieur.

La fondation de la tour étant établie sur un sol incompressible, l'ouvrage n'a éprouvé aucun tassement.

L'appareil d'éclairage est un appareil lenticulaire de premier ordre, disposé de manière à éclairer $\frac{5}{8}$ de l'horizon, c'est-à-dire un angle de 225° ;

L'angle mort de 135° est occupé par des réflecteurs sphériques en cuivre plaqué d'argent.

L'appareil de refraction est formé de cinq panneaux dioptriques et catadioptriques occupant chacun $\frac{1}{8}$ de la circonférence; chaque panneau est formé d'un panneau dioptrique du tambour, d'un panneau catadioptrique de la coupole composé de 13 anneaux, et d'un panneau catadioptrique de la couronne inférieure, composé de 6 anneaux.

Une armature en bronze portée sur une estrade en fonte réunit ces divers panneaux et les réflecteurs.

La lanterne a 3^m,50 de diamètre intérieur; elle est formée de montants en fonte revêtus de bronze à l'extérieur, et recouverte d'une coupole en cuivre rouge sur charpente en fer forgé; elle est pourvue d'une galerie dite de service et d'un marchepied en fonte; le vitrage formé de glaces de 0^m,009 d'épaisseur a été fourni par l'établissement de Florenne en Belgique; la lanterne est munie extérieurement d'un

grillage en laiton composé de 16 panneaux ajustés et montés sur des pièces en bronze qui l'assujétissent aux montants de la lanterne. Le dôme en cuivre est surmonté d'un paratonnerre dont la chaîne en fil de cuivre descend à l'extérieur de la tour dans un puits rempli de charbons de bois.

La lampe de premier ordre, à 4 mèches concentriques, est du système dit *modérateur*. Les *Annales des ponts et chaussées de France* en donnent une description détaillée. (Année 1858, 2^e cahier, 3^e série, notice n^o 197.)

Un bec à 4 mèches consomme 750 grammes d'huile par heure et correspond pour la dépense et l'intensité de la lumière à 17 lampes-carcel.

Pour que la flamme prenne tout son développement, et qu'en même temps la couronne du bec soit suffisamment rafraîchie, il est nécessaire que l'huile élevée corresponde à 4 fois la consommation de la lampe.

Pour le premier ordre, la quantité d'huile élevée par heure est de 3 kilogrammes; l'huile excédante est dégorgée par le bec et retombe dans le réservoir.

La consommation annuelle d'un phare de premier ordre est de 3,650 kilogrammes d'huile.

La lanterne, l'appareil d'éclairage, les lampes et tous les accessoires, ont été fournis par les soins de l'administration du service central des Phares de France (1); l'appareil d'éclairage a été monté et vérifié à Paris; cet appareil est un chef-d'œuvre d'exécution et de perfection; les glaces de vitrage de la lanterne ont seules été fabriquées en Belgique.

L'élévation de la tour au-dessus du sol, est de 52^m,00 mesurée jusqu'au feu.

Le plan focal passe à 57^m,50 au-dessus du niveau de la marée haute des vives eaux ordinaires, ce qui donne au feu une portée géométrique de 20 milles en supposant l'obser-

(1) L'exécution en a été confiée à M. Henry Lepaute, constructeur de phares à Paris.

vateur placé à 5 mètres. Mais cette portée est plus grande, car pour les feux de premier ordre, on suppose ordinairement l'observateur placé à 15 mètres. Dans ce cas, le calcul donne une portée de 24 milles.

Le calcul étant fait relativement au niveau de la haute mer, la portée du feu augmente encore par suite de l'abaissement de la marée.

Voici comment la portée du feu d'Ostende a été calculée, eu égard à la rotondité de la terre et à la réfraction terrestre, l'observateur étant supposé à 5 mètres au-dessus du niveau de la haute mer.

En appelant H , la hauteur du plan focal au-dessus de la haute mer;

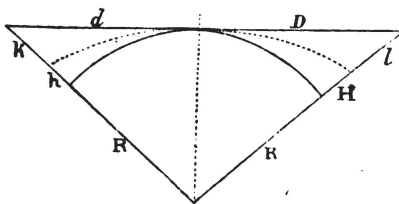
h , la hauteur de l'œil de l'observateur au-dessus du même point,

R , le rayon moyen de la terre;

L , la distance cherchée à laquelle le feu peut s'apercevoir,

$$\text{On a la formule } L = \sqrt{\frac{R H}{0.42}} + \sqrt{\frac{R h}{0.42}} \quad (1).$$

(1) La formule ci-dessus a été établie de la manière suivante, en employant les notations :



- H.** Hauteur du feu au-dessus du niveau de la haute mer;
- h.** Hauteur de l'œil de l'observateur au-dessus du même point ;
- R.** Le rayon moyen de la terre ;
- L.** La portée du feu ;
- D.** La distance entre le feu et l'horizon ;
- d.** La distance entre l'œil de l'observateur et l'horizon ;
- l.** La surélévation produite par la réfraction à la distance D ;
- K.** La surélévation produite par la réfraction à la distance d .

Pour le phare d'Ostende, on a

$$H = 57^m, 50$$

$$h = 5^m, 00$$

$$R = 1432, 7 \text{ lieues de } 4444 = 6, 366918^m, 8.$$

en prenant les logarithmes, on trouve :

$$\sqrt{\frac{RH}{0.42}} = 29524 \text{ mètres et } \sqrt{\frac{R h}{0.42}} = 8706 \text{ mètres,}$$

d'où en substituant :

$$L = 29524^m + 8706^m = 38230 \text{ mètres,}$$

et comme le mille marin de 60 au degré = 1852^m, on aura

$$L = \frac{38230}{1852} = 20 \text{ milles.}$$

Si on suppose l'observateur placé à 15 mètres, ou $h = 15^m$, on trouve en employant les mêmes formules $L = 24$ milles.

Quant à la stabilité de la tour, nous ne pouvons mieux faire que de renvoyer au mémoire si remarquable de M. l'ingénieur en chef Léonor Fresnel, inséré dans les *Annales des ponts et chaussées de France*, 2^e semestre de l'année 1831.

On a d'abord $L = D + d$;

puis en vertu d'un théorème de géométrie bien connu :

$$D = \sqrt{(2R + H + l)(H + l)} \text{ et } d = \sqrt{(2R + h + K)(h + K)}$$

plus simplement en négligeant les hauteurs H , h , L et l en présence de R ,

$$D = \sqrt{2R(H + l)} \text{ et } d = \sqrt{2R(h + K)}$$

d'autre part la formule de la réfraction terrestre donne les relations :

$$l = \frac{0.08 D^2}{R} \text{ et } K = \frac{0.08 d^2}{R},$$

et en combinant ces équations, on trouve :

$$L = \sqrt{\frac{RH}{0.42}} + \sqrt{\frac{R h}{0.42}}.$$

Nous y emprunterons toutefois quelques considérations générales sur l'action des vents.

Quoique dans nos climats, on n'ait eu que bien rarement l'exemple d'édifices élevés en maçonnerie, renversés par le vent, et que les avaries que ces édifices peuvent éprouver proviennent le plus souvent de quelques vices de construction, il faut cependant reconnaître que l'effort du vent s'exerçant sur des maçonneries encore fraîches et peu homogènes, a pu dans certaines circonstances déterminer ou accélérer leur ruine, en occasionnant des tassements inégaux ou en les aggravant. Il est donc intéressant sous plusieurs rapports d'étudier cette action et d'en apprécier les effets.

On sait que dans les tempêtes, toutes les tours isolées et d'une construction un peu légère, éprouvent des oscillations analogues au balancement des arbres. Ces oscillations résultent évidemment de l'élasticité du corps de l'édifice et de l'intermittence du vent. Celles que M. Fresnel a eu l'occasion d'observer, lui ont paru se succéder à des intervalles d'une ou deux secondes; elles n'étaient d'ailleurs accompagnées d'aucune de ces trépidations ou vibrations rapides qu'eût pu produire le choc d'un corps dur ou le choc des vagues.

M. Fresnel ajoute qu'il n'a jamais découvert aucune trace de dégradation qui pût être attribué à ces balancements, et que les tours observées n'ont présenté aucune fissure horizontale ni dans leurs enduits ni dans leurs joints. On doit en conclure que leurs oscillations n'ont opéré aucun dérangement relatif permanent dans leurs éléments, car, quelque minime qu'eût été un tel effet, il n'eût pu se manifester à chaque ouragan sans entraîner la ruine d'un édifice exposé depuis trois siècles comme le phare de Gênes aux rafales si fréquentes sur les cotes de la Méditerranée.

On doit reconnaître en second lieu que l'amplitude de ces oscillations a été peu considérable relativement à la

hauteur des tours, puisque l'inflexion n'a pas été assez prononcée pour qu'il en résultât des fissures apparentes. Il est d'ailleurs facile de concevoir comment l'effet total résultant de la pression du vent peut devenir sensible au sommet d'un édifice, sans que les effets élémentaires soient appréciables. Mais, en admettant cette assimilation des hautes tours à des tiges élastiques obéissant à une pression répartie sur toute leur longueur, on se demandera peut-être comment ces édifices, en vertu de leur élasticité, ne se trouvent pas livrés par intervalles à des vibrations destructives, par l'effet de ces intermittences subites qui caractérisent les rafales? A cela, on peut répondre que l'instantanéité de ces intermittences ou des changements dans la direction du vent, est loin d'être absolue. L'élasticité de l'air est en effet incompatible avec un tel phénomène, et dès lors on ne peut supposer que le vent, soufflant même par rafales, puisse agir sur les édifices soumis à son effort, à la manière d'un corps dur ou d'un liquide incompressible dont ils recevraient les chocs.

En résumé, tous les faits bien observés paraissent démontrer que les oscillations imprimées par les tempêtes aux tours en maçonnerie ne peuvent compromettre ces édifices, supposés de bonne construction, qu'autant qu'ils manqueraient de stabilité proprement dite, c'est-à-dire, qu'ils pourraient être renversés en masse sous l'effort du vent.

On sait que l'effort exercé par le vent sur un corps immobile est la somme de deux pressions, l'une résultant de l'action immédiate de l'air sur la face qu'il vient frapper, l'autre due à la raréfaction de ce fluide sur la face opposée.

L'auteur du projet du phare de Belle-Ile (M. Augustin Fresnel) prenant pour limite la plus grande vitesse du vent, celle de 50 mètres par seconde, qui excède d'un neuvième la vitesse des plus forts ouragans mentionnés dans l'annuaire du bureau des longitudes, et en supposant les pres-

sions totales proportionnelles aux carrés des vitesses, a été conduit à évaluer à 275 kilogrammes par mètre superficiel, la pression correspondante à la vitesse ci-dessus mentionnée. Pour appliquer cette donnée à la détermination de la stabilité d'une tour monolithe, ayant la forme d'un prisme droit à base carrée, on multipliera la superficie d'une de ses faces par 275 kilogrammes, et ce premier produit multiplié lui-même par la demi-hauteur du prisme, donnera le moment de l'effort du vent.

On obtiendra d'ailleurs le moment de la résistance en multipliant le poids total de la tour par la demi-largeur de sa base; divisant enfin ce second moment par le premier, on obtiendra l'expression de la stabilité absolue de l'édifice par rapport à l'action du vent.

Pour appliquer ces principes au calcul de la stabilité d'une tour ronde, et à défaut de formules empiriques basées sur des expériences assez multipliées, M. Léonor Fresnel a considéré isolément l'une des pressions élémentaires agissant sur la face antérieure du cylindre, et a déterminé par une double décomposition suivant la tangente à la section circulaire, au point d'application de cette pression, et suivant le diamètre perpendiculaire à la direction du vent, la valeur de la composante, tendant à renverser l'obstacle.

Cet ingénieur a été conduit ainsi à admettre que l'action du vent sur un cylindre vertical se réduisait aux $\frac{2}{3}$ de celle qu'il exercerait sur la section méridienne de ce même cylindre.

La section de plus grande fatigue du phare d'Ostende, sous le rapport de la résistance à l'effort du vent, correspond évidemment à la naissance du fût, où commence la maçonnerie de briques de la tour; cette naissance est à 1^m,50 au-dessus du couronnement du soubassement.

En calculant le poids de toute la construction au-dessus de la section considérée, on trouve, y compris le poids de l'appareil d'éclairage, 1,897,087 kilogrammes. Pour cal-

culer la pression par centimètre carré sur la section considérée, en ne tenant compte que de la charge constante provenant du poids, nous prendrons la surface annulaire de la section. Les rayons R et r , extérieur et intérieur, étant respectivement de $3^m,70$ et de $1^m,85$, nous avons

$$\pi (R^2 - r^2) = 322564 \text{ cent. carrés, d'où}$$

$$P = \frac{1897087}{322564} = 5^k.88.$$

En appréciant la surface totale méridienne de la tour, y compris la lanterne, on trouve une surface de $279^m^2,831$, et pour la distance du centre de gravité à la section de la base $20^m,408$; on aura donc pour le moment de pression exercée par le vent :

$$\begin{aligned} \text{moment de la pression} &= \frac{2}{3} \times 279^m^2.831 \times 275^k \times 20^m.408 \\ &= 1,046,902^k.19; \end{aligned}$$

$$\text{le moment de la résistance} = 1.897.087^k \times 3^m.70 = 70,192,219^k,$$

$$\text{d'où stabilité} = \frac{70192219}{1046902} = 6,8.$$

Les coefficients de stabilité des phares dont s'occupe M. Léonor Fresnel, varient entre 3,5 et 7,4.

La stabilité absolue du phare de Belle-Ile est 5.80.

La stabilité relative du phare d'Ostende, en prenant celle de la tour de Belle-Ile pour unité est donc 1.17.

La pression par centimètre carré due à la charge constante du poids de la tour sur sa base est, comme on l'a vu ci-dessus $5^k.88$.

Si on considère la pression due à l'action du vent, en supposant la tour encadrée à sa base, on voit que cette action du vent tend à augmenter la pression en certains points et à la diminuer en d'autres, de telle sorte que le moment des forces intérieures dans la section d'encastre-

ment produisant cette augmentation ou cette diminution soit égal au moment de la force provenant du vent.

On trouve que la charge par centimètre carré des fibres les plus fatiguées par extension et par compression est égale à 2^k.80.

Donc, en tenant compte à la fois de la charge permanente et de l'action du vent, on trouve que les fibres les plus fatiguées par compression supportent une charge de 8^k.68 par centimètre carré, et les fibres les moins fatiguées une charge de 3^k.08 par centimètre carré.

On voit que sous le rapport de la stabilité, le phare d'Ostende se trouve dans d'excellentes conditions.

La dépense totale du phare de premier ordre d'Ostende s'élève à la somme de fr. 245,144.60.

Construction de la tour, adjudgée publiquement pour la somme de.	fr. 178,500 »
Travaux supplémentaires et imprévus. . . »	5,007.71
Appareil d'éclairage, lanterne et accessoires, payé à Paris. »	50,984.20
Transport et placement. »	2,927.13
Glaces de vitrage de la lanterne (établissement de Floreffe). »	981.45
Mobilier des gardiens et du phare. . . »	4,144.11
Somme portée au budget de 1863 pour meubler le premier étage. »	2,600 »
Total.	<u>fr. 245,144.60</u>

Ostende, le 10 novembre 1863.

