

(1) Page 368. — *Engineering*, 6 et 20 mai 1898.

(2) Page 368. — Les lecteurs que cette question intéresse trouveront plus de renseignements sur le principe des feux-éclaires et sur l'historique des phares électriques français, dans deux intéressants articles de M. Eugène Baillet dans le *Génie civil* du 9 octobre 1897, et de M. Jolly, dans les *Annales des Ponts et chaussées* de 1897. Nous donnons ici de préférence un résumé de l'article de M. Du Riche Preller, parce qu'il contient le plus de renseignements intéressants sur la partie électrique qui nous intéresse plus particulièrement.

### **Le nouveau phare électrique d'Eckmühl Penmarch à (Finistère);**

Par M. C. DU RICHE PRELLER (1)

*Remarques générales.* — Dans un précédent article sur l'éclairage des côtes de France, l'auteur, en décrivant les remarquables résultats déjà obtenus par le service des phares français dans l'application du système des feux-éclairs, ou phares à éclats instantanés (2), a signalé les projets en préparation pour remplacer les anciens appareils électriques des phares de Gris-Nez, La Canche, Ouessant et le feu à huile de Penmarch par de puissants feux-éclairs électriques à appareils à optique double. Ces améliorations sont en cours d'exécution et déjà le phare d'Eckmühl a été mis en service le 23 octobre 1897; l'auteur se propose d'en décrire les points caractéristiques.

Fig. 1. — Carte de l'extrémité ouest de la Bretagne.

*Emplacement.* — Le nouveau phare, placé à environ 100 m de l'ancien, est situé à 50 milles nautiques au S.-O. d'Ouessant, à l'extrémité du promontoire de Penmarch, un des points les plus dangereux de cette côte inhospitalière. Sa construction a été décidée à la suite d'un don généreux de 300.000 fr; fait à l'État par la marquise de Bloqueville, en mémoire de son père le maréchal Davout, prince d'Eckmühl, pour servir à la construction d'un phare, de préférence en Bretagne. De là le nom de phare d'Eckmühl et la présence d'une statue du maréchal Davout en bronze dans le vestibule du nouvel édifice.

Fig. 2. — Ancien et nouveau phare de Penmarch.

*Tour et bâtiment.* — La figure 2 représente l'ensemble des deux phares, ancien et nouveau. Le nouveau est représenté avec plus de détails par les dessins des figures 3 et 4. La tour en maçonnerie de granit est de forme octogonale, d'un aspect à la fois robuste et élégant; le vestibule est arrangé lui-même avec beaucoup de goût, ainsi que l'escalier très décoratif qui ne compte pas moins de 272 marches de 0,18 cm. La hauteur totale de la tour est de 63 m au-dessus du sol, et le plan focal est à 64 m au-dessus du niveau des hautes mers, ce qui assure aux feux une portée géographique de 25 milles marins. Le phare de Barfleur (71 m) est seul plus élevé en France. Entre le parapet et la lanterne est placé une sirène à air comprimé; la lanterne qui contient l'appareil optique a 4 m de diamètre et 6 m de haut.

Fig. 3 & 4. — Élévation et coupe du nouveau phare.

Les bâtiments placés près de la tour comprennent une salle de machines pour la machinerie électrique à air comprimé, et des bâtiments pour les gardiens; le phare et ses dépendances sont enfermés dans une enceinte de 80 m sur 60 m (fig. 5).

Fig. 5. — Plan des dépendances des phares.

*Machines.* — Les deux machines motrices à vapeur qui actionnent les dynamos et le compresseur d'air sont du type Rouffet demi-fixe, généralement employé par le service des phares français; chacune donne 12 chevaux effectifs à la pression de 6 atmosphères; la vapeur d'échappement est condensée dans un condensateur du système Monnin formé de tubes métalliques à ailettes et disposé sur le toit, comme l'indique la figure 6; le rendement de cet appareil en eau récupérée est de 75 p. 100. Les deux machines peuvent commander à volonté par courroies une transmission générale qui entraîne également par courroies l'un ou l'autre des alternateurs ou le compresseur (fig. 6, 7 et 8).

Fig. 6 & 7. — Coupe et vue en plan du bâtiment des machines.

Fig. 8. — Coupe du bâtiment des machines montrant les compresseurs.

*Compresseur d'air et sirène.* — Le compresseur est du type Gentil, formé de quatre petits cylindres à simple effet formant deux groupes en tandem qui peuvent être actionnés séparément ou simultanément ou simultanément. le groupe à basse pression comprime l'air jusqu'à 4 atmosphères, et le groupe à haute pression jusqu'à 15 atmosphères, quoique cette pression puisse être modifiée suivant le volume d'air demandé. L'air à 15 atmosphères est emmagasiné à sa sortie du compresseur dans trois réservoirs accumulateurs d'une capacité de 5 m<sup>3</sup> chacun; en outre, un petit réservoir de 500 litres est placé au sommet de la tour, immédiatement au-dessous de la sirène. Cette dernière émet des groupes de deux sons en mi mineur de 3 secondes chacun, séparés par un intervalle de 3 secondes et alternant avec un son unique de même durée. Ce caractère du signal est assuré par un mouvement d'horlogerie. Sous une pression de 2 atmosphères dans le tambour de la sirène, dont le diamètre extérieur est de 15 centimètres, la dépense d'air est environ de 400 litres par série de sons, la puissance dépensée pendant le signal étant d'environ 160 chevaux; la portée est de 5 à 6 milles nautiques, mais se réduit à 2 et même moins en cas de brouillard très épais.

Fig. 9 & 10. — Alternateur Labour à courants diphasés.

*Alternateurs.* — Les alternateurs (fig. 9 et 10) sont du même type Labour que ceux des phares de l'île d'Yeu et de la Courbe, déjà décrits par l'auteur (1. — Voir *Engineering*, 26 juin 1896.), mais avec une innovation intéressante qui consiste à leur faire débiter des courants triphasés au lieu de courants monophasés. Cette disposition, qui est nouvelle dans les phares, et surtout pour des machines d'aussi petite puissance, a été motivée par les raisons suivantes : 1° les alternateurs doivent alimenter deux arcs séparés dans l'appareil optique double, et les nécessités du service exigent que ces deux arcs soient indépendants l'un de l'autre, de façon que l'allumage ou l'extinction de l'un n'influe pas sensiblement sur l'intensité ni sur la stabilité de l'autre.

Fig. 11. — Caractéristiques d'un circuit de l'alternateur.

Grâce à l'emploi de l'enroulement diphasé et à l'emploi de self-inductions séparées pour les deux circuits sur le tableau de distribution en dehors des machines, la réaction des deux courants l'un sur l'autre, qui serait excessive dans une machine monophasée, se trouve extrêmement réduite. La figure 11 indique les résultats obtenus qui sont très satisfaisants; elle donne les caractéristiques d'un circuit, c'est-à-dire les volts aux bornes en fonction du débit en ampères lorsque l'un des circuits fonctionne seul, ou au contraire lorsque tous deux sont également chargés. On voit qu'il y a très peu de différence entre les deux courbes; le voltage à circuit ouvert (69 volts) de la courbe B suffit à assurer la même stabilité dans l'arc électrique que les machines de Mériten; ces courbes réalisent sensiblement le maximum de puissance au régime normal de 25 ampères 45 volts par circuit, condition reconnue nécessaire par le service des phares pour la stabilité de l'arc. Enfin, on trouve que quand le courant d'une lampe est coupé soudainement, le courant de l'autre n'augmente pas de plus de 1 ampère sur 25, ce qui est négligeable. En définitive, ces alternateurs diphasés présentent l'avantage, dans le cas de l'appareil optique double, qu'il est possible de changer les charbons d'une lampe sans éteindre ou faire varier sensiblement sa compagne.

Fig. 12. — Schéma de la distribution de l'éclairage électrique.

**LÉGENDE :** B, B, bagues de prise de courant des deux alternateurs. — 1, 2, 3, 10, 11, 12, bornes d'amenée au tableau des courants alternatifs. — I, I, inducteurs des alternateurs. — E, E, excitatrices des alternateurs. — 5, 6, 7, 8, bornes d'amenée au tableau des courants d'excitation. — R, R, rhéostats d'excitation. — C, coupleur ou interrupteur de couplage. — 4, 9, bornes de jonction correspondantes. — *b*, borne de départ correspondant à la lampe n° 1. — *c*, borne de départ correspondant à la lampe n° 2. — *a*, borne de retour commune aux deux lampes. — V, V, voltmètres intercalés chacun dans un circuit des lampes. — A, A, ampèremètres traversés chacun par le courant aboutissant à la lampe correspondante. — M, M, barre communiquant avec la borne *b* et pouvant être reliée avec un des circuits de chacun des alternateurs. — N, N, barre analogue communiquant avec la borne *c*. — J, J', K, K', interrupteurs servant à mettre les barres en communication avec les circuits correspondants. — S, S, S, S,

réducteurs de courant des quatre circuits des alternateurs. — Q, Q, barre commune à tous les régimes et communiquant aux deux circuits de chaque alternateur. —  $r, r$ , électro-aimant régulateur de chaque lampe, monté en dérivation entre les bornes  $m$  et  $n$ .

Les deux alternateurs peuvent être accouplés mécaniquement, ce qui permet d'en employer un seulement, ou deux au contraire pour le régime de 50 ampères, suivant l'intensité du faisceau qu'on désire; le tableau de distribution (fig. 12) est disposé de manière que chaque lampe peut être alimentée par les deux circuits de même phase des deux machines couplés en parallèle par les interrupteurs; chacune est munie d'un voltmètre et d'un ampèremètre séparés. En outre dans la lanterne un ampèremètre est placé dans le circuit de chaque lampe pour permettre d'en surveiller le régime; Les alternateurs représentés par les figures 9 et 10 sont excités chacun par une petite machine à courant continu calée sur leur arbre. Les indicateurs de chaque alternateur ont huit pôles, l'intensité de leur champ magnétique est d'environ 4.000 unités C. G. S.; la résistance de chaque circuit d'induit est de 0,213 ohm, la vitesse est de 810 à 820 tours par minute, et le rendement de 70 à 75 p. 100 suivant la charge. Ce chiffre est relativement à la faible puissance des alternateurs (2,2 kilowatts chacun), et à la faible vitesse, adoptée par raison de sécurité. Chacune des bobines de self-induction du tableau absorbe 20 à 25 watts sous un courant de 25 ampères, ce qui est insignifiant par rapport au débit total.

D'après ce qui précède, on voit que le résultat principal obtenu par l'introduction des nouveaux alternateurs dans les phares c'est d'avoir, en proportionnant convenablement leurs constantes, tous les avantages d'élasticité et de stabilité de courant et par suite de lumière des vieilles machines de Mériten, tout en réduisant, à puissance égale, leur poids à 1/5 et leur prix à mois de moitié de ceux de ces dernières (1 tonne au lieu de 5, et 8.000 fr. au lieu de 18.000 fr).

*Appareil optique.* — Dans l'article déjà cité l'auteur a indiqué les raisons qui ont conduit le service des phares à adopter à l'avenir des appareils optiques doubles au lieu d'appareils simple pour les feux-éclairs les plus puissants; à savoir que dans les appareils simples tels que ceux de la Hève, de l'île d'Yeu et de la Courbe, la proportion suivant laquelle croît l'intensité lumineuse lorsqu'on augmente le régime est beaucoup plus faible que celle suivant laquelle croît l'énergie, ainsi que le montre le tableau suivant :

d'où il suit qu'un appareil double muni de deux lampes à 50 ampères chacune doit être plus économique et donner un faisceau lumineux plus puissant qu'un appareil unique à 100 ampères. Ce principe a été pour la première fois appliqué au phare d'Eckmühl. En outre, différentes modifications notables ont été apportées à la construction de l'appareil optique aussi bien qu'à l'exécution des lentilles.

1° L'appareil à quatre panneaux de la Hève et de l'île d'Yeu a seulement cinq éléments dioptriques et dix éléments catadioptriques, tandis que l'appareil double à quatre panneaux d'Eckmühl a six éléments dioptriques et dix éléments catadioptriques. Cette augmentation de la partie dioptrique qui augmente l'angle sous-tendu par celle-ci à  $86^\circ$  a été motivée par la précision plus grande avec laquelle on peut exécuter les parties dioptriques que les anneaux catadioptriques. Par suite de cette augmentation de la partie dioptrique, l'appareil d'Eckmühl, bien qu'ayant exactement la même longueur focale (300 mm) que celui de la Hève, est sensiblement plus haut; comme les anneaux ont été faits un peu plus gros, ce qui n'entraîne pas une augmentation sensible dans l'absorption de lumière, leur nombre n'est pas beaucoup augmenté.

Fig. 13. — Éléments de l'appareil optique du phare d'Eckmühl.

2° On remarquera (fig. 13) que pour éviter les fuites de lumière entre les anneaux catadioptriques, ces derniers ont été disposés de façon à se recouvrir légèrement les uns les autres d'environ 5 mm, aussi bien dans le sens vertical que dans le sens horizontal, c'est-à-dire que les anneaux sont placés de telle manière que le prolongement du rayon de l'angle extérieur (à droite) de l'un d'eux ne passe pas par le sommet de l'angle intérieur (à gauche) de l'anneau placé au-dessous, mais à 5 mm de ce sommet; de même l'horizontale qui passe par l'angle inférieur d'une lentille ne passe pas par le sommet de l'angle supérieur, mais à 5 mm plus bas, comme le montre la figure 13. De cette façon, on peut sans créer de fuite de lumière, déplacer les lentilles pour compenser les défauts inévitables de fabrication.

3° La plus grande attention a été apportée dans l'exécution de la taille et dans les essais des éléments catadioptriques, qui sont à ce point de vue supérieurs à ceux des feux-éclairs construits antérieurement. Le procédé de taille a été amélioré par des dispositifs mécaniques, et MM. Sautter Harlé et Cie ont effectué séparément l'essai de chaque anneau au moyen d'une lampe à arc à courant continu ayant un cratère extrêmement petit (3 mm), dont on mesure l'image à une distance connue, ce qui donne la divergence de l'anneau. De cette manière il a été possible de perfectionner ces lentilles annulaires assez pour que la divergence constatée ne dépasse que légèrement la divergence calculée. D'ailleurs toute lentille qui a été reconnue présenter un faible défaut de dimension ou de fabrication a été rebutée ou remplacée jusqu'à ce qu'on ait atteint le degré maximum de perfection; il en résulte une

plus grande concentration de lumière.

Comme le montrent les figures 14 et 15, l'appareil double, pesant environ 2 tonnes, est monté sur une plateforme à arbre vertical équilibrée par un tambour annulaire plongeant dans un bain de mercure, ce qui réduit au minimum le frottement dû à la rotation et dispense d'appareils de roulement pour tous les feux-éclairs. Le mercure ne pèse qu'environ 100 kgr; le mécanisme de rotation et son régulateur sont les mêmes que dans l'installation de la Hève, précédemment décrite par l'auteur (Voir *Engineering*, 14 juillet 1893).

Fig. 14 & 15. — Appareil optique double du phare de Penmarch. Élévation, coupe verticale et vue en plan.

Fig. 16 & 17. — Régulateur électrique du phare de la Hève.

*Puissance lumineuse.* — Le faisceau de l'appareil à quatre panneaux simples de la Hève et de l'île d'Yeu a donné les résultats suivants :

Les essais provisoires de l'appareil double d'Eckmühl, fait à la tour Eiffel, à 600 m du dépôt des phares où l'appareil était placé, ont donné avec des crayons de 16 mm et 50 ampères dans chaque lampe, dans certains cas 40 millions et dans d'autres 50 millions de bougies. La raison de cette différence doit être cherchée dans la disposition du régulateur employé. Celui de la Hève, représenté par la figure 16 est à deux tiges latérales; les courants qui arrivent par ces tiges au crayon supérieur neutralisent leurs effets sur l'arc, tandis que dans l'appareil d'Eckmühl on emploie des lampes plus légères à une seule tige, dans lesquelles le champ magnétique produit par le courant de cette tige repousse l'arc légèrement en produisant une taille oblique des cratères; il en résulte qu'il y a plus de lumière envoyée dans une direction que dans l'autre et que les deux panneaux placés en avant de la lampe sont plus vivement éclairés que des panneaux placés en arrière. Pour compenser cette dissymétrie, les appareils sont disposés de manière que les deux lampes soient orientées en sens opposé. De sorte que chacun des faisceaux totaux est composé d'un faisceau émis par l'un des panneaux les plus éclairés d'un appareil et d'un faisceau émis par un des panneaux les moins éclairés d'un autre appareil.

Les puissances lumineuses minimum, maximum et moyenne des faisceaux totaux peuvent ainsi être évaluées avec une approximation suffisante comme il suit :

<i>Appareil double d'Eckmühl.</i>			
Avec crayon de 10 mm	20.000.000	26.600.000	23.200.000
" 16 mm	30.000.000	40.000.000	36.000.000
<i>Appareil simple de la Hève.</i>			
Avec crayon de 10 mm	9.000.000	12.000.000	10.500.000
" 16 mm	13.500.000	18.000.000	15.750.000
" 23 mm	17.250.000	23.000.000	20.150.000

On voit que l'appareil double à 50 ampères par lampe donne 35.000.000 de bougies tandis que l'appareil simple de la Hève à 100 ampères ne donne que 20.150.000, soit le 1/1,7, et qu'avec deux lampes de 25 ampères le nouvel appareil donne autant que le maximum obtenu pour la Hève. L'avantage de la combinaison double est donc amplement démontré, et sera sans doute amplement confirmé par l'expérience pratique à Penmarch même, dans des conditions atmosphériques plus adéquates qu'à Paris. Il faut ajouter un avantage supplémentaire qui est la suppression des gros crayons de 23 mm dont la fabrication est difficile et qui donnent lieu à beaucoup d'irrégularité de lumière. On a rencontré quelques difficultés mécaniques pour réaliser le parallélisme des deux faisceaux, mais on en a triomphé à l'aide de disposition spéciales de l'armature des appareils grâce auxquelles les deux faisceaux résultants sont parallèles et superposés.

A tous les autres points de vue les appareils optiques, électriques, les dispositions mécaniques et les appareils de sûreté sont les mêmes qu'à la Hève, etc., et ont été précédemment décrits par l'auteur; en particulier on a conservé la disposition bifocale des lentilles qui assure la meilleure distribution de la lumière et l'intensité maximum du faisceau à la surface de la mer. L'arc est réglé normalement à 45 volts, ce qui correspond à un écart de 5 mm de longueur. Le gardien règle cet écart ainsi que la focalité des deux lampes en projetant les images de l'arc et de ses charbons en deux points différents au moyen d'un prisme sur une petite plaque d'ivoire portant un repère. Quand l'image s'écarte du repère, il règle la disposition des charbons à l'aide de vis de manœuvre.

*Caractère et portée du feu.* — Comme tous les feux-éclairs des côtes de France, l'appareil double de Penmarch produit des éclats d'un dixième de seconde de durée; à Penmarch ces éclats se reproduisent toutes les 5 secondes,

l'appareil fait un tour en 20 secondes. La portée lumineuse excède de beaucoup naturellement la distance de visibilité directe du feu et peut atteindre 60 milles nautiques en temps clair, 30 milles en temps de brume, et en temps de brouillard très épais seulement peut être réduite à 1 ou 2 milles. Deux lampes à pétrole pouvant donner des faisceaux de 12.000 bougies dans chaque appareil sont tenues en réserve en vue de l'éventualité d'un accident au service électrique.

*Service.* — Le personnel du phare comprend six hommes dont les salaires sont en moyenne 1.000 fr par an, soit 3 fr par jour. Le nombre total d'heures d'éclairage est, comme d'habitude dans la Manche et le golfe de Gascogne, d'environ 4.500 par an. Les deux appareils sont toujours éclairés simultanément, mais l'intensité des faisceaux est variée proportionnellement à la transparence de l'atmosphère d'après la visibilité des phares voisins, de l'île de Sein (24 milles), de l'île Penfret (18 milles) et de Menhir (secteur rouge 1 mille), comme l'indique le tableau suivant :

La consommation de charbon, lequel ne revient pas à moins de 40 fr la tonne rendu au phare, est d'environ 100 tonnes par an; la puissance moyenne étant de 8 chevaux, la consommation moyenne est ainsi de 3 kgr par cheval-heure.

Les frais d'exploitation annuelle (non compris la direction, l'inspection et l'intérêt du capital) sont les suivants :

Personnel	6.000	fr.
Combustible, eau, huile, charbon de lampes et accessoires	14.000	"
Entretien des bâtiments et de la machinerie	5.000	"
	25.000	fr
<i>Total</i>		

*Frais d'établissement.* — La construction de la tour seule, par suite de son caractère décoratif et monumental, a absorbé le legs de 300.000 fr de la marquise de Bloqueville, et le prix total de la tour et des bâtiments d'est élevé à 400.000 fr. Le prix des installations pour l'éclairage et la sirène a été le suivant :

*Installation électro-optique.*

Deux machines à vapeur Rouffet demi-fixes avec condensateur	24.000	fr
Transmission et accessoires	10.000	"
Deux alternateur Labour avec excitatrice et tableau	9.000	"
Canalisation électrique. Appareils de mesure de la lanterne et accessoires	2.000	"
	45.000	fr
<i>A reporter</i>		
	45.000	fr
<i>Report</i>		
Appareil optique double de 300 mm de longueur focale avec armature, bain de mercure, mécanisme d'horlogerie et accessoires	42.000	fr
Six régulateurs électriques	6.500	"
Lanternes	31.500	"
	125.000	fr
<i>Total</i>		

*Installation de la sirène.*

Compresseur d'air	7.500	fr
Accumulateurs et canalisation	12.500	"
Sirène et réservoir, mécanisme de rotation, mouvement d'horlogerie et accessoires	10.000	"
	30.000	fr
<i>Total</i>		
Transport et montage	25.000	fr
	180.000	fr
<i>Total général</i>		

*Conclusion.* — Le phare électrique d'Eckmühl (Penmarch) est non seulement en tant que phare le plus monumental et le plus puissant qui existe aujourd'hui, mais il marque un nouveau succès brillant que M. Bourdelles, le directeur du service des phares français dans l'application de son système de feux-éclairs avec lequel son nom restera toujours associé et qu'il n'a cessé de perfectionner dans la voie scientifique. Ce phare qui forme un nouveau chaînon de la ceinture de puissants feux électriques qui entoure les côtes de France, a été commencé à l'automne 1893, terminé et mis en service le 23 octobre 1897, cinq ans après la mort de la marquise de Bloqueville. Les travaux de construction ont été projetés et exécutés sous la direction de M. Bourdelles et de M. Ribière, ingénieur en chef du service; l'architecte a été M. Marbot. Toutes les installations mécaniques et électriques ont été projetées et étudiées par les ingénieurs du service central des phares de Paris, M. Ribière ingénieur attaché au service, MM. Meurs et Sillona, conducteurs.

Les machines à vapeur ont été exécutées par M. Monin, les alternateurs et le tableau par la Société l'Électrique; les appareils optiques armatures et accessoires, par la maison Sautter Harlé, de Paris.























