

MÉMOIRE

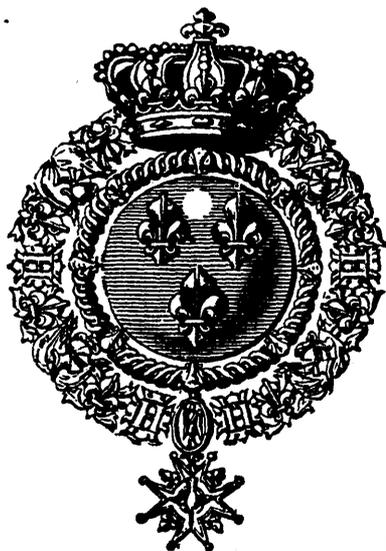
SUR

UN NOUVEAU SYSTÈME D'ÉCLAIRAGE DES PHARES;

PAR M. A. FRESNEL,

INGÉNIEUR AU CORPS ROYAL DES PONTS ET CHAUSSÉES, ANCIEN ÉLÈVE
DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE;

LU À L'ACADÉMIE DES SCIENCES, LE 29 JUILLET 1822.



16.4.1.23.
B.B.3.3.
25
C.1.2.10

A PARIS,
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.

1822.



MÉMOIRE

SUR

UN NOUVEAU SYSTÈME D'ÉCLAIRAGE DES PHARES.

IL existe, depuis plusieurs années, une commission des phares, dont les membres ont été choisis parmi les savans les plus distingués et les inspecteurs du corps royal des ponts et chaussées. Chargés de présenter un projet général de la distribution des phares sur les côtes de France, ils avaient dû chercher d'abord si le système d'éclairage adopté n'était pas susceptible de quelques perfectionnemens; ils avaient déjà fait plusieurs observations intéressantes sur la vivacité de la lumière que produisent de petites mèches placées dans les grands réflecteurs de *M. Lenoir*: mais les fonctions que la plupart d'entre eux ont à remplir ne leur permettant pas de donner à ces recherches le temps qu'elles exigeaient, en 1819 *M. Arago* leur offrit de se charger des expériences, en demandant que *M. Mathieu* et moi lui fussions adjoints. Cette proposition, adoptée par la commission, fut soumise à *M. Becquey*, directeur général des ponts et chaussées et des mines, qui l'approuva également, et me recommanda d'apporter tous mes soins à ces recherches. Le desir de justifier sa confiance et celle de la commission des phares, contribua, autant que l'importance même de l'objet, à diriger toutes mes pensées de ce côté.

Je songeai , dès le commencement , à substituer de grandes lentilles de verre aux réflecteurs paraboliques. On sait qu'une lentille, comme un miroir parabolique, a la propriété de rendre parallèles les rayons partis de son foyer ; elle produit par réfraction l'effet que le miroir parabolique produit par réflexion. Cette application des lentilles à l'éclairage des phares ne pouvait être une idée nouvelle , car elle vient trop aisément à la pensée , et il existe , en effet , un phare lenticulaire en Angleterre ; mais il paraît qu'il a peu d'éclat , ce qui tient probablement à la grande épaisseur des lentilles employées , qui est de 0^m,20 , et peut-être aussi à la disposition générale de l'appareil , sur laquelle je n'ai pas de renseignemens précis.

Si l'épaisseur des lentilles n'excédait pas l'épaisseur ordinaire des glaces , la lumière absorbée par le verre ne serait qu'une très-petite partie de celle qui le traverse : la perte résultant de la réflexion partielle des rayons aux deux surfaces n'est que d'un vingtième , d'après les expériences de *Bouguer* ; et en la supposant même d'un douzième , on voit combien peu la lumière serait affaiblie par son passage au travers de ces lentilles , et quels avantages elles auraient à cet égard sur les meilleurs réflecteurs métalliques , qui absorbent la moitié de la lumière sous des incidences peu obliques , telles que celles de la majeure partie des rayons dans les miroirs paraboliques. C'est cette réflexion qui m'avait donné l'espoir d'apporter une économie notable dans l'emploi de la lumière , en substituant des lentilles aux miroirs paraboliques.

Des liquides bien transparens , tels que l'eau et l'esprit de vin , n'absorbent qu'une faible partie de la lumière qui les traverse , même sur une longueur de vingt à trente centimètres ; et l'on aurait pu songer à appliquer aux phares les grandes lentilles que l'on fait avec deux verres bombés entre lesquels on

introduit un liquide; mais outre que le poids énorme de ces lentilles aurait beaucoup fatigué le mécanisme qui fait tourner l'appareil dans les phares à éclipses, le séjour prolongé des liquides entre ces verres bombés auroit fini par les salir intérieurement, et il aurait été très-difficile de les nettoyer. Le mastic servant à luter leurs bords aurait pu d'ailleurs se dégrader en quelques points et donner passage au liquide. Il était donc beaucoup plus sûr de n'employer que des matières solides.

Il était nécessaire aussi, pour ne pas perdre une trop grande partie des rayons émis par la lumière placée au foyer, que chaque lentille embrassât tous ceux qui sont compris dans un angle de 45° , ce qui exige que l'angle prismatique du verre au bord de la lentille, ait 40° . On voit quelle épaisseur en résulterait au centre, si la lentille était terminée par une surface sphérique continue: cette grande épaisseur aurait le double inconvénient d'affaiblir beaucoup la lumière qui la traverserait, et de donner à la lentille un poids trop considérable.

Mais si l'on divise celle-ci en anneaux concentriques, et qu'on ôte à la petite lentille du centre et aux anneaux qui l'entourent toute la partie inutile de leur épaisseur, en leur en laissant seulement assez pour qu'ils puissent être solidement unis par leurs bords les plus minces, on conçoit qu'on peut également obtenir le parallélisme des rayons émergens partis du foyer, ou, ce qui revient au même, la réunion au foyer des rayons incidens parallèles à l'axe de la lentille, en donnant à la surface de chaque anneau la courbure et l'inclinaison convenables.

C'est *Buffon* qui a imaginé le premier les lentilles à échelons, pour augmenter la puissance des verres ardents en diminuant leur épaisseur; mais d'après ce qu'il dit sur ce sujet, il est évident qu'il proposait de les faire d'un seul morceau de verre, ce qui rend leur exécution presque impossible, sur-tout dans de grandes

dimensions, à cause de la difficulté d'user le verre et d'en doucir et polir la surface, lorsqu'elle présente de pareils ressauts. Voici comme il s'exprime :

« J'ai donc cherché les moyens de parer à cet inconvénient »
 » (celui de la trop grande épaisseur), et j'ai trouvé une manière »
 » simple et assez aisée de diminuer réellement les épaisseurs »
 » des lentilles, autant qu'il me plaît, sans pour cela diminuer »
 » sensiblement leur diamètre et sans allonger leur foyer.

» Ce moyen consiste à travailler ma pièce de verre par »
 » échelons. Supposons, pour me faire mieux entendre, que je »
 » veuille diminuer de 2 pouces l'épaisseur d'une lentille de verre »
 » qui a 26 pouces de diamètre, 5 pieds de foyer et 3 pouces »
 » d'épaisseur au centre; je divise l'arc de cette lentille en trois »
 » parties, et je *rapproche concentriquement* chacune de ces portions »
 » d'arc, en sorte qu'il ne reste qu'un pouce d'épaisseur au »
 » centre; et je forme de chaque côté un échelon d'un demi- »
 » pouce, pour rapprocher de même les parties correspondantes; »
 » par ce moyen, en faisant un second échelon, j'arrive à l'ex- »
 » trémité du diamètre, et j'ai une lentille à échelons, qui est »
 » à-peu-près du même foyer, et qui a le même diamètre, et près »
 » de deux fois moins d'épaisseur que la première, ce qui est un »
 » très-grand avantage.

« Si l'on vient à bout de fondre une pièce de verre de 4 pieds de »
 » diamètre sur 2 pouces et $1/2$ d'épaisseur, et de la travailler par »
 » échelons sur un foyer de 8 pieds, j'ai supputé qu'en laissant »
 » même 1 pouce et $1/2$ d'épaisseur au centre de cette lentille »
 » et à la couronne intérieure des échelons, la chaleur de cette »
 » lentille sera à celle de la lentille du Palais-Royal, comme »
 » 28 sont à 6, sans compter l'effet de la différence des épais- »
 » seurs, qui est très-considérable et que je ne puis estimer »
 » d'avance.

» Cette dernière espèce de miroir réfringent est tout ce qu'on
 » peut faire de plus parfait en ce genre ; et quand même nous
 » le réduirions à 3 pieds de diamètre sur 15 lignes d'épaisseur
 » au centre et 6 pieds de foyer, ce qui en rendra l'exécution
 » moins difficile, on aurait toujours un degré de chaleur quatre
 » fois au moins plus grand que celui des fortes lentilles que
 » l'on connait. J'ose dire que ce miroir à échelons serait un
 » des plus utiles instrumens de physique; *je l'ai imaginé il y a plus*
 » *de vingt-cinq ans*, et tous les savans auxquels j'en ai parlé desi-
 » reraient qu'il fût exécuté. On en tirerait de grands avantages
 » pour l'avancement des sciences: et y adaptant un héliomètre,
 » on pourrait faire à son foyer toutes les opérations de la chimie
 » aussi commodément qu'on le fait au feu des fourneaux, &c. »

Cette citation prouve suffisamment que Buffon n'avait pas songé à composer les lentilles à échelons de plusieurs morceaux, puisqu'il fait dépendre leur construction de la fonte *d'une pièce de verre de 4 pieds de diamètre sur 2 pouces et 1/2 d'épaisseur*, qu'il suppose ensuite réduite à *3 pieds de diamètre sur 15 lignes d'épaisseur*, pour rendre l'exécution plus facile. Or, en faisant ces lentilles de plusieurs morceaux, il est aussi facile d'en construire une de 4 pieds de diamètre qu'une de 3, et même en leur donnant un foyer beaucoup plus court que ne le supposait Buffon. On conçoit aisément pourquoi, *vingt-cinq ans après* avoir inventé ces lentilles et malgré son vif desir d'en posséder une, le même savant qui avait créé ce beau miroir d'Archimède dont la construction était plus compliquée et plus dispendieuse, n'avait pu faire exécuter une lentille à échelons de trois pieds de diamètre; c'est qu'il n'avait pas pensé à la faire de plusieurs morceaux (1).

(1) M. Charles a entendu dire à Rochon qu'il avait vu une petite lentille à échelons de 12 à 15 pouces de diamètre et d'un seul morceau de verre, provenant du cabinet de Buffon.

Il n'avait pas fait attention non plus, à ce qu'il paraît, à un grand avantage que présente l'exécution séparée de la surface de chaque anneau, qui est de corriger presque entièrement l'aberration de sphéricité, quand les anneaux sont suffisamment multipliés, en déterminant par le calcul le centre et le rayon de courbure de chacun des arcs générateurs; car après avoir conçu d'abord la lentille terminée par une même surface sphérique, il suppose qu'on déprime celle-ci par échelons, mais de manière que les nouvelles portions de surfaces sphériques soient *concentriques* à la première; ce qui n'est point le véritable moyen de corriger l'aberration de sphéricité. Le calcul apprend que les arcs générateurs des anneaux, non-seulement ne doivent pas avoir le même centre, mais encore que ces différens centres ne sont pas situés sur l'axe de la lentille, et qu'ils s'en éloignent d'autant plus que les arcs auxquels ils appartiennent sont eux-mêmes plus éloignés du centre de la lentille; en sorte que ces arcs, en tournant autour de l'axe, n'engendrent pas des portions de surfaces sphériques concentriques, mais des surfaces du genre de celles que les géomètres appellent *annulaires*.

On s'étonnera peut-être que j'insiste autant sur des réflexions si simples. Il était sans doute bien aisé de songer à composer les grandes lentilles de plusieurs morceaux, et de déduire des lois ordinaires de la réfraction la forme la plus convenable à donner à la surface de chaque anneau. Mais il était tout aussi facile d'imaginer les lentilles à échelons, comme je le sais par ma propre expérience; car je ne connaissais pas ce que *Buffon* avait publié sur ce sujet, lorsque je proposai pour la première fois à la commission des phares la construction de pareilles lentilles; c'est *M. Charles* qui m'avertit que cette invention n'était pas nouvelle, et qui me montra le chapitre du supplément à l'*Histoire naturelle* où il en est question. Ayant ainsi perdu une partie

de ce que j'avais imaginé , on m'excusera d'apporter quelque soin à conserver le peu qui me reste , sur-tout quand c'est précisément ce qui rend l'invention exécutable en grand.

Il ne m'a pas fallu de longues réflexions pour songer à faire des lentilles à échelons et à les composer de plusieurs morceaux ; ces idées sont si simples qu'elles viennent promptement à la pensée. Ce qui m'a le plus occupé , ce sont les moyens d'exécution , pour lesquels j'ai été parfaitement secondé par le zèle et l'intelligence de *M. Soleil*, opticien, qui a courageusement entrepris la construction de ces grandes lentilles.

Les surfaces sphériques étant les seules qu'on puisse exécuter dans des bassins, par les procédés ordinaires, j'ai d'abord divisé chaque anneau en un assez grand nombre de morceaux, et j'ai calculé la courbure et l'inclinaison de la petite portion de surface sphérique que je substituais à la partie correspondante de la surface annulaire, de manière que l'aberration de sphéricité fût la moindre possible dans tous les sens ; calculs plus longs et plus fastidieux encore que ceux qu'il faut faire pour déterminer les élémens des surfaces annulaires. J'espérais dès-lors arriver à l'exécution de celles-ci ; mais pour avoir plutôt une grande lentille qui pût servir à nos expériences sur l'éclairage des phares, il fallait employer les moyens d'exécution que *M. Soleil* avait à sa disposition. C'est ce qui me décida à substituer pour le moment à chaque surface annulaire un assemblage de petites portions de surfaces sphériques, et même à donner aux contours des anneaux une forme polygonale et non pas circulaire, parce qu'il était plus commode de travailler les morceaux de verre en lignes droites qu'en arcs de cercle.

Pour réunir toutes les pièces qui devaient composer une lentille, j'avais songé d'abord à les fixer sur une glace, au moyen de la térébenthine de Venise épaisse, que *M. Cauchois*

a employée avec succès au collage de ses objectifs de lunette; et qui n'est pas sujette à se piquer à la longue comme le mastic en larmes. Mais l'expérience m'a appris que la chaleur du soleil la ramollissait au point de la faire couler par les joints. J'aurais pu, à la rigueur, empêcher son écoulement en fermant les joints avec du mastic. Néanmoins, il m'a paru préférable de coller les morceaux de verre les uns aux autres par les bords avec de la colle forte; parce que, de cette manière, la transparence de la lentille devenait indépendante des altérations ultérieures de la matière qui les soudait. Au lieu de colle de Flandre, nous avons employé, d'après le conseil de *M. Arago*, la colle de poisson, dont il avait eu occasion de remarquer la forte adhérence au verre en essayant inutilement de séparer dans l'eau bouillante deux prismes qu'elle tenait réunis. Ce n'est pas que la colle forte ordinaire n'adhère aussi beaucoup au verre, et il arrive même souvent, lorsqu'on l'enlève sans précaution, qu'on emporte avec elle de petits éclats de verre; mais la colle de poisson, qui probablement possède cette qualité à un plus haut degré encore, a en outre l'avantage d'être plus belle et sur-tout moins cassante.

Au lieu de donner deux surfaces courbes aux morceaux de verre dans l'épure de la lentille, je les fis plans-convexes, pour en simplifier l'exécution et rendre leur collage plus facile; on pouvait alors les poser par le côté plan sur une table de marbre recouverte d'une feuille de papier, et les y laisser pendant tout le temps nécessaire pour sécher la colle : il serait au contraire assez embarrassant de coller bord-à-bord à la fois un grand nombre de verres bi-convexes.

En suivant le procédé que je viens d'indiquer, *M. Soleil* parvint assez facilement à construire une grande lentille carrée de 0,^m76 de côté; sa forme et ses dimensions avaient été déterminées

de manière qu'elle pût faire partie de l'appareil d'éclairage que j'avais conçu, lequel devait surpasser de beaucoup l'éclat des phares les plus brillans, comme nous nous en étions assurés, M. Arago, M. Mathieu et moi, par des expériences préliminaires sur une lentille plus petite ayant seulement 0,^m55 en carré.

Aussitôt que l'expérience eut démontré à la commission des phares les avantages de ce nouveau système d'éclairage, M. Becquoy, après s'être assuré par lui-même de l'extrême supériorité d'éclat que la grande lentille avait sur les miroirs paraboliques, ordonna la construction d'un appareil composé de huit lentilles pareilles. J'engageai M. Soleil à essayer d'en faire une à surfaces annulaires, au lieu de composer chaque anneau de petites portions de surfaces sphériques. J'attachais beaucoup d'importance à ce perfectionnement, non-seulement pour les phares, mais sur-tout pour les verres ardents, dans lesquels il est encore plus essentiel de corriger complètement l'aberration de sphéricité. J'indiquai dès-lors à M. Soleil le procédé mécanique auquel il s'est depuis arrêté définitivement, et qu'il emploie maintenant avec beaucoup de succès.

Dans l'exécution des lentilles destinées à l'éclairage des phares, il ne s'agit pas d'atteindre à une grande perfection; mais néanmoins la substitution des surfaces annulaires à un assemblage de petites portions de surfaces sphériques produit une augmentation sensible de l'intensité de la lumière reçue dans la direction de l'axe de la lentille. D'ailleurs les procédés mécaniques par lesquels on exécute les surfaces annulaires, permettent d'apporter beaucoup plus de célérité dans la confection de ces grandes lentilles, que lorsqu'on était obligé de travailler séparément dans des bassins les quatre-vingt-dix-sept morceaux dont chaque lentille polygonale était composée. Le nombre n'en aurait pu être diminué sans augmenter en même

empêcher l'aberration de sphéricité; tandis que, dans les lentilles annulaires, il n'y a aucun inconvénient à diminuer le nombre des morceaux qui composent chaque anneau; et il y aurait même de l'avantage à le faire d'une seule pièce, si on le pouvait; car la multiplicité de ces divisions occasionne toujours une légère perte de lumière et doit être moins favorable à la solidité du système. C'est d'après ces considérations, présentées par M. de Rossel et M. Arago, que M. Becquey commanda l'année dernière la construction de huit lentilles annulaires destinées à l'éclairage du phare de Cordouan, pour encourager ce nouveau genre de fabrication et engager M. Soleil à faire construire les machines nécessaires.

Le dégrossissage des anneaux est devenu beaucoup moins long, depuis que cet opticien, au lieu d'être obligé de refouler des morceaux de glaces, reçoit de la manufacture de Saint-Gobin de grands arcs coulés dans des moules, et dont la forme approche bien plus de celle qu'ils doivent avoir définitivement que les morceaux de verre refoulés. MM. les administrateurs ont obligeamment accordé cette faveur à M. Soleil, sur la demande de la commission des phares; et le savant directeur de cette manufacture, M. Tassaert, a mis beaucoup d'intérêt au succès de la fonte de nos prismes courbes. Néanmoins ils ne sont pas aussi exempts de stries et sur-tout de bulles que le verre de glace refoulé avec soin. Il paraît que dès que les pièces à couler ont dix-huit pouces de longueur et deux ou trois pouces d'épaisseur, il devient difficile de les préserver des bulles et des bouillons. Le cristal ou verre de plomb est moins sujet aux bulles, mais il l'est davantage aux stries; d'ailleurs il est beaucoup plus lourd que le crown de Saint-Gobin: c'est principalement pour cette dernière raison que nous avons préféré celui-ci, malgré sa teinte un peu verdâtre, et en

outre parce qu'il est plus dur et plus inaltérable à l'air que le verre dans lequel il entre beaucoup d'oxide de plomb.

Nos grandes lentilles de 0^m,76 en carré, qui embrassent dans les deux sens un angle de 45°, présentent, depuis le centre jusqu'au milieu de chaque côté, six échelons, y compris la lentille du centre, et dix échelons du centre aux angles, de façon que l'anneau le plus saillant n'a que trente-sept millimètres dans sa plus grande épaisseur (1), et que le poids de la lentille, y compris un fort cadre en cuivre, n'excède pas soixante-quinze livres. Pour ne point fatiguer la machine de rotation qui doit faire tourner l'appareil composé de huit lentilles, il était nécessaire de les réduire au moindre poids possible, en multipliant beaucoup les échelons. Les largeurs des anneaux ont été déterminées de manière que leurs saillies fussent peu différentes.

Après avoir décrit la construction de ces grandes lentilles, je vais expliquer maintenant comment elles sont disposées dans l'appareil qui doit servir à l'éclairage des phares. De toutes les combinaisons de lumières, de lentilles et de réflecteurs que j'ai imaginées, voici celle qui m'a paru la plus avantageuse : toutes les lumières destinées à l'éclairage du phare, réunies en une seule, sont entourées de huit lentilles carrées verticales et dont les centres sont situés dans le même plan horizontal que la lumière unique et à la distance du foyer des rayons parallèles ; elles forment ainsi, autour de l'objet éclairant, un prisme vertical ayant pour base un octogone régulier ; et comme elles embrassent chacune un angle de 45° dans les deux sens, elles reçoivent et emploient tous les rayons lumineux compris dans la zone équatoriale de 45° appartenant à la sphère qui aurait son centre au

(1) Les morceaux d'angle, qui sont les plus épais, n'ont que 4 centimètres.

foyer commun : or , cette zone comprend les 0,383 de la surface de la sphère ou les $\frac{2}{5}$ environ ; et si l'on suppose que l'intensité de la lumière est diminuée d'un dixième par son passage au travers de ces lentilles , il reste encore 0,34 , c'est-à-dire , un tiers. Il est probable que la perte de lumière doit être un peu plus considérable ; mais d'un autre côté , la partie inférieure de la sphère lumineuse recevant beaucoup moins de lumière que le reste , à cause de l'opacité du bec de lampe qui porte les mèches , la zone équatoriale de 45° doit contenir plus des $\frac{2}{5}$ de la totalité de la lumière émise ; ainsi il n'y a sans doute rien d'exagéré en estimant au tiers la partie de la lumière totale réfractée par les huit lentilles.

Les réflecteurs ont l'avantage d'envelopper , pour ainsi dire , l'objet éclairant , et de recevoir une plus grande quantité de rayons ; mais ils absorbent au moins la moitié des rayons incidents. Les réflecteurs paraboliques embrassent ordinairement les sept dixièmes de la surface totale de la sphère lumineuse , et l'on peut même réduire cette fraction à $0^m,6$, à cause du bec , qui intercepte beaucoup plus de rayons dans la partie inférieure du réflecteur que dans le reste de la sphère lumineuse. De plus , la moitié de la lumière étant absorbée par le miroir , on voit que la somme des rayons qu'il réfléchit est égale aux trois dixièmes de ceux qui émanent du foyer , c'est-à-dire , un peu moindre que la somme des rayons transmis par les lentilles.

L'effet utile des lentilles et des réflecteurs ne dépend pas seulement de la proportion des rayons réfléchis ou réfractés , mais encore de leur concentration plus ou moins grande dans le plan horizontal où ils doivent éclairer les navigateurs , laquelle dépend des dimensions de l'objet éclairant relativement à la distance de ce foyer à la surface du miroir ou de la lentille. Dans l'appareil lenticulaire que je viens de décrire , cette dis-

tance varie peu; elle est de 0^m,92 aux centres des lentilles, de 1^m au milieu de leurs bords et de 1^m,07 à leurs angles. Dans un réflecteur parabolique, au contraire, la distance du foyer aux divers points de la surface varie depuis un jusqu'à trois et demi; et à l'extrémité du paramètre, elle est déjà le double de ce qu'elle est au sommet du paraboloidé. Dans les plus grands réflecteurs employés jusqu'à présent, qui ont trente-un pouces d'ouverture et pèsent près de cent livres, la distance du foyer au sommet du paraboloidé n'est que de cinq pouces. On voit quelle doit être la divergence verticale des rayons voisins du sommet, je dirai même de la moitié de tous ceux que réfléchit le miroir, dès que la flamme qui l'éclaire a seulement un pouce et demi de hauteur. Une partie de ces rayons divergens est sans doute utilement employée à éclairer les abords du phare; mais les rayons qui, par l'effet de la même divergence, s'élèvent au-dessus du plan horizontal, sont perdus pour les navigateurs. Comme l'intensité de la lumière décroît proportionnellement au carré de la distance, c'est vers les points les plus éloignés de l'horizon qu'on doit diriger la majeure partie des rayons; et il n'est pas nécessaire d'en réserver beaucoup pour les feux plongeurs destinés à faire voir le phare aux navigateurs très-rapprochés.

C'est donc par la somme des rayons dirigés dans le plan horizontal qu'il faut comparer les effets des appareils destinés à l'éclairage des phares. C'est aussi sous ce rapport que nous avons comparé, *M. Arago*, *M. Mathieu* et moi, les effets utiles des divers réflecteurs et des grandes lentilles.

Il y aurait beaucoup d'inconvénient à former la lumière centrale de l'appareil lenticulaire par l'assemblage d'un grand nombre de becs ordinaires d'*Argant*; car s'ils étaient seulement au nombre de dix, la perte des rayons de chaque bec interceptés par les

autres becs deviendrait considérable. La vivacité de la lumière étant la qualité la plus essentielle d'un phare, il était nécessaire, pour tirer le parti le plus avantageux de l'appareil lenticulaire, que le feu central présentât beaucoup de lumière sous un volume peu considérable. Nous sommes parvenus, M. Arago et moi, à résoudre ce problème d'une manière satisfaisante, en suivant l'idée de M. de Rumford sur les becs à mèches multiples, et nous avons même été plus heureux que lui dans nos essais. Nous avons fait construire des becs à mèches concentriques, qui portent deux mèches, trois mèches et jusqu'à quatre mèches, et qu'on peut gouverner presque aussi aisément qu'un bec ordinaire. Nous avons réussi complètement à mettre le bec à l'abri de la grande ardeur de ces foyers, en y faisant arriver l'huile en surabondance, comme dans les lampes de *Carcel*; et ce moyen a si bien réussi, que, malgré le grand nombre et la durée des expériences auxquelles ces becs ont été soumis, nous n'avons pas encore été obligés de les nettoyer. Ces gros becs n'ont pas, comme ceux qu'on a faits jusqu'à présent avec une seule mèche circulaire, l'inconvénient de donner une flamme rougeâtre et de peu de hauteur. Leur lumière est aussi blanche que brillante; et les flammes concentriques, s'échauffant mutuellement, s'allongent avec facilité: il est même nécessaire alors de tenir les cheminées un peu hautes, pour que l'air, se renouvelant rapidement, puisse suffire à la combustion du gaz qui se dégage, et, rafraîchissant le bec, empêcher la distillation trop abondante de l'huile.

On pouvait craindre que la vivacité de la combustion ne charbonnât les mèches concentriques (sur-tout dans le bec qui en porte quatre) plus rapidement que cela n'a lieu dans les becs des lampes ordinaires; mais nous nous sommes assurés du contraire par l'expérience, et nous avons reconnu en outre qu'au même degré de carbonisation, les mèches du bec quadruple

éprouvent moins de diminution dans l'effet qu'elles produisent; ce qui tient sans doute à ce que la grande chaleur du foyer facilite l'ascension de l'huile dans les mèches. Nous avons tenu le bec quadruple allumé pendant quatorze heures sans les moucher, et la vivacité de la lumière donnée par la lentille qu'il illuminait n'avait guère diminué que du sixième de son intensité primitive. Ainsi, ces becs quadruples peuvent brûler pendant les longues nuits d'hiver, sans qu'il soit nécessaire de les moucher; il suffit de relever un peu les mèches dans les dernières heures de la combustion, pour conserver aux flammes leur hauteur primitive.

Le bec quadruple, ayant 9 centimètres de diamètre, brûle à-peu-près une livre et demie d'huile par heure dans les moments où la combustion a le plus d'activité, et donne de la lumière en proportion de la quantité d'huile qu'il consume: il équivaut, pour la dépense et la lumière produite, à dix-sept lampes de *Carcel*. C'est avec ce bec, placé au centre, qu'est éclairé l'appareil, composé de huit grandes lentilles carrées de 0^m, 76. La lampe est fixée sur une table reposant sur une colonne de fonte, qui supporte en même temps le poids de l'appareil lenticulaire. Cet appareil peut tourner aisément autour de la colonne, au moyen de galets qui roulent sur la saillie du chapiteau, et il est mis en mouvement par une horloge, qui règle la durée de ses révolutions. En tournant ainsi autour de la lumière centrale, qui reste fixe, l'appareil lenticulaire promène successivement sur tous les points de l'horizon les huit cônes lumineux des lentilles et les intervalles obscurs qui les séparent; d'où résulte, pour les observateurs, une succession régulière d'éclats et d'éclipses. La largeur des angles éclairés d'une lumière assez vive pour être aperçue à six lieues, c'est-à-dire, l'étendue angulaire des éclats, n'étant que de 6° 1/2, tandis que celle des

intervalles obscurs est de $38^{\circ} \frac{1}{2}$, la durée des éclats ne serait que le sixième de celle des éclipses ; elle serait suffisante à la rigueur, puisqu'elle est plus petite encore dans la plupart de nos phares à feux tournans éclairés par de grands réflecteurs, et qu'il en est même quelques-uns où les éclats sont à peine le dixième des éclipses. Néanmoins, il était à désirer qu'on pût augmenter la durée relative des éclats dans l'appareil lenticulaire, pour satisfaire les marins, qui trouvent toujours les éclipses trop longues.

Il est aisé d'augmenter autant qu'on le veut la divergence des rayons émergens, en rapprochant ou éloignant les lentilles de la lumière centrale ; mais comme alors la divergence croît autant dans le sens vertical que dans le sens horizontal, on perd beaucoup de rayons, et l'intensité de la lumière diminue suivant un rapport bien plus grand que celui de l'accroissement de sa durée ; car le premier rapport est le carré du second ; c'est-à-dire que si l'on double par ce moyen la durée des éclats, leur intensité est réduite au quart de ce qu'elle était d'abord. En employant des lentilles d'un foyer plus court, on tomberait encore dans le même inconvénient ; mais au moins on diminuerait à-la-fois le poids de l'appareil et les frais de sa construction.

Je me suis proposé d'augmenter la durée des éclats sans diminuer leur vivacité, et sans accroître néanmoins le volume de l'objet éclairant ou la dépense d'huile. J'y suis parvenu facilement, sans rien changer à la disposition des huit grandes lentilles, en me servant des rayons lumineux qui passent par-dessus, et qui autrement seraient perdus. J'emploie à cet effet huit petites lentilles additionnelles trapézoïdales, de $0^m,50$ de foyer, dont la réunion forme au-dessus du bec quadruple comme une espèce de toit en pyramide octogonale tronquée, qui laisse passer la cheminée de la lampe par son ouverture supérieure. Ces lentilles embrassent un

quart de la surface de la sphère qui a son centre au foyer commun , et reçoivent ainsi plus du quart de la totalité des rayons qui émanent du bec , puisque l'hémisphère supérieur, ainsi que nous l'avons déjà observé, en contient plus que l'hémisphère inférieur. Mais comme on est obligé d'employer des glaces étamées pour ramener dans une direction horizontale les faisceaux lumineux qui sortent de ces lentilles , une grande partie de la lumière incidente est absorbée par les miroirs, malgré leur inclinaison prononcée , qui est de 25° ; et j'estime que la lumière incidente doit être réduite à moitié par son passage au travers des lentilles et sa réflexion sur ces glaces étamées. Ainsi la quantité de rayons fournis par ce moyen n'est guère, en définitive, que la huitième partie de la totalité de ceux qui émanent du bec quadruple. Cependant, on double au moins la durée des éclats avec ces lentilles additionnelles, en laissant 7° d'intervalle entre la projection horizontale de l'axe de chacune d'elles et l'axe de la grande lentille correspondante. Il faut que le feu de la petite lentille précède celui de la grande ; car s'il le suivait, l'œil du spectateur, fatigué par la vivacité du grand éclat, perdrait une partie de l'autre.

La lumière des petites lentilles est sans doute bien inférieure à celle qu'envoient les grandes ; premièrement, parce que leur superficie n'est que le cinquième de celles-ci, et, en second lieu, parce que les rayons qui en sortent sont ensuite affaiblis par une réflexion. Néanmoins, ils ont encore assez d'intensité pour être vus très-loin ; car il résulte d'observations faites à 25000^m de distance et par un clair de lune, que les lentilles additionnelles doubleraient la durée de l'apparition du feu ; et il est probable qu'une bonne partie de cet effet serait encore sensible à des distances plus considérables. Ces petites lentilles, qui, avec leurs glaces, n'augmentent le prix de l'appareil que de $2,700^f$, et son poids que de 128 kil. ou 256 livres, sont donc une

addition avantageuse et même économique , puisqu'elles recueillent et emploient utilement une partie notable de la lumière produite , qui sans elles aurait été perdue.

On pourrait , à la rigueur , diriger aussi vers l'horizon les rayons qui passent par-dessous les grandes lentilles ; mais il serait difficile de le faire sans gêner beaucoup le service de la lampe ; c'est ce qui m'a décidé à les laisser tomber directement dans la mer , où ils ne seront pas tout-à-fait sans utilité , en formant des feux très-plongeans qui éclaireront les abords du phare.

Nous avons comparé par de nombreuses expériences , M. Arago , M. Mathieu et moi , l'intensité de lumière des grandes lentilles de 0^m,76 avec celles des réflecteurs de M. Lenoir , de 31 pouces d'ouverture , et des réflecteurs à double paraboloïde de M. Bordier-Marcet , de 28 à 29 pouces de diamètre , les plus grands qu'on ait employés jusqu'à présent dans les phares. Nous avons trouvé que la lentille éclairée par le bec quadruple , donnait , suivant l'axe , une lumière trois fois et un quart aussi vive que celle du grand réflecteur de M. Lenoir , et quatre fois et demie plus intense que celle du réflecteur à double effet de M. Bordier-Marcet. Or , dans les phares à feux tournans les mieux éclairés , on ne réunit ordinairement , dans la même direction , que deux grands réflecteurs (1) , et l'appareil se compose de quatre couples semblables disposés en carré : ainsi les éclats produits par les lentilles sont deux fois plus brillans dans l'axe que ceux des phares à feux tournans de M. Bordier , et même de M. Lenoir ; car il est difficile d'établir un parallélisme assez exact entre les axes des réflecteurs accouplés , pour que leurs *maxima* de lumière se super-

(1) Dans le phare de Cordouan , il y a quatre grands réflecteurs sur chacune des trois faces de l'appareil , qui forme , au lieu d'un carré , un prisme triangulaire : mais il paraît qu'on a donné à leurs axes des divergences très-sensibles , pour prolonger la durée des éclats ; car ce phare n'est pas plus brillant que les autres.

posent rigoureusement, et produisent une intensité double de celle qu'ils donnent séparément, sur-tout quand des réflecteurs aussi grands sont éclairés, comme ceux de *M. Lenoir*, par un petit bec de 6 lignes de diamètre. Il est d'ailleurs nécessaire alors, à cause du peu de largeur des cônes lumineux qu'ils projettent, de donner à leurs axes une légère divergence pour prolonger la durée des éclats. Donc, en définitive, les éclats produits par les grandes lentilles doivent avoir deux fois plus d'intensité que ceux des phares de France les mieux éclairés.

Pour estimer et comparer les sommes de rayons qui composent les éclats produits par la lentille et les réflecteurs, nous avons mesuré l'intensité de la lumière dans un assez grand nombre de directions différentes, depuis l'axe jusqu'aux limites de l'éclat, en faisant successivement pivoter sur une table tournante la lentille et les réflecteurs, dont nous comparions la lumière à celle d'une lampe ordinaire prise pour unité, au moyen des ombres portées; ensuite, multipliant chaque intensité partielle par le petit angle décrit correspondant, nous avons obtenu ainsi des nombres proportionnels aux effets utiles de la lentille et des réflecteurs : nous avons trouvé, de cette manière, que la somme des rayons compris dans toute l'étendue de l'éclat de chaque réflecteur n'était pas le tiers de la somme des rayons qui composaient l'éclat de la lentille armée du bec quadruple. Ainsi, pour l'effet total, chaque lentille du nouvel appareil équivaut à trois grands réflecteurs de *M. Lenoir* ou de *M. Bordier-Marcet*.

Maintenant, en tenant compte des quantités d'huile dépensées, on trouve que l'appareil composé de huit grandes lentilles éclairées par le bec quadruple est presque aussi économique (1) que

(1) Il y aurait encore plus d'économie dans l'emploi de la lumière, si l'on substituait un bec triple au bec quadruple, parce que plus l'objet éclairant est petit

les grands réflecteurs de *M. Lenoir*, armés d'un petit bec, et deux fois plus que les grands réflecteurs de *M. Bordier-Marcet*, qui portent chacun deux becs de dix lignes de diamètre. Or nous n'avons pas compris jusqu'à présent dans nos calculs l'effet produit par les petites lentilles additionnelles, qui accroît la durée des éclats sans augmentation dans la dépense d'huile. On voit donc combien les résultats de l'appareil lenticulaire sont satisfaisants, puisque, avec autant d'économie dans l'emploi de la lumière qu'en présentent les plus grands réflecteurs éclairés par les plus petits becs, il donne un effet trois fois aussi puissant que celui d'un phare composé de huit réflecteurs semblables, sans que le poids et le prix de l'appareil soient beaucoup plus considérables; le poids est augmenté d'un huitième, et le prix environ des trois cinquièmes.

Mais un autre avantage bien important, et qui suffirait pour faire donner la préférence aux lentilles, lors même que leurs effets ne seraient pas supérieurs à ceux des réflecteurs, c'est l'inaltérabilité du verre et la durée de son poli. Les frais d'entretien des lentilles seront presque nuls, et leur nettoyage donnera beaucoup moins de peine aux gardiens que celui des réflecteurs, qu'il faut frotter souvent avec de l'oxide rouge de fer pour entretenir leur brillant. Il résulte de la position de la lampe, située au centre de l'octogone lenticulaire, dont le cercle inscrit a $0^m,93$ de rayon, que les lentilles ne seront point exposées aux taches d'huile comme les réflecteurs, qui portent les becs de lampe dans leur intérieur; en sorte que le plus souvent il suffira de les épousseter légè-

relativement à la distance focale, et moins il y a de rayons perdus; mais on diminuerait ainsi la vivacité des éclats, et sur-tout leur durée, et peut-être n'aurait-on plus assez de feux plongeans. Je crois qu'il ne faut employer le bec triple que pour les phares du second ordre, et diminuer alors la longueur focale et les dimensions des lentilles.

rement avec un plumeau, et l'on aura rarement besoin de les essuyer; mais alors, pour les nettoyer complètement, il sera bon de saupoudrer de rouge à polir le linge ou la peau avec lesquels on les essuiera. De cette manière elles conserveront presque indéfiniment toute la puissance d'effet qu'elles ont en sortant de l'atelier de l'opticien; tandis que des miroirs argentés ne tardent pas à perdre une partie de leur poli; et le nettoyage de huit grands réflecteurs étant assez pénible, il doit arriver souvent que, par la négligence des gardiens, ils n'ont pas tout le brillant dont ils sont encore susceptibles. Enfin il est nécessaire de les argenter de temps en temps, quand le frottement a usé la feuille qui recouvre leur surface intérieure; et les lentilles n'exigent point un pareil entretien.

En raison de l'immobilité de la lumière centrale, l'appareil lenticulaire à feux tournans se prête aussi bien à l'éclairage au gaz qu'à l'éclairage à l'huile. Si l'on trouve de l'économie ou quelque autre avantage à employer le gaz, on n'aura qu'à remplacer la lampe par un tuyau surmonté d'un bec à flammes concentriques et communiquant par son extrémité inférieure avec le gazomètre (1). Enfin, on pourra appliquer avec la plus

(1) Nous devons essayer bientôt, M. *Arago* et moi, un bec de cette espèce, portant six flammes concentriques, avec le gaz produit par la distillation du charbon. Si l'on emploie le gaz provenant de celle de l'huile, qui donne une lumière plus intense, il est probable que quatre ou cinq flammes suffiront.

La distillation des mauvaises huiles et autres matières grasses étant plus simple que celle du charbon de terre, paraît préférable pour l'éclairage des phares; mais avant de l'y appliquer, il est prudent de s'informer pourquoi les Anglais ne l'ont pas encore fait dans leurs phares à feux fixes, et de s'assurer que cette distillation présente en France une économie certaine. Au reste, si l'on emploie le gaz, de quelque manière qu'on le produise, il faudra toujours tenir dans la lanterne une lampe de sûreté toute prête, pour le cas où il viendrait à manquer par un accident quelconque. L'éclairage au gaz aurait l'avantage précieux de donner des flammes d'une hauteur constante pendant la durée des plus longues nuits, sans exiger pour cela aucun soin de la part du gardien.

grande facilité à l'appareil lenticulaire tous les perfectionnemens que le temps et l'expérience apporteront dans la manière de produire la lumière.

Après avoir exposé les principaux avantages de cet appareil, je dois passer en revue les inconvéniens qu'on peut lui trouver. Le premier qui se présente à la pensée est la fragilité du verre : mais j'observerai que les morceaux de verre qui composent les lentilles sont assez épais pour ne pouvoir être brisés ou détachés que par un choc violent, et qu'avec un peu d'attention il est facile d'éviter ces accidens, qui d'ailleurs se répareraient aisément au moyen de la colle de poisson, à moins que la pièce cassée ne le fût en un trop grand nombre de morceaux ; auquel cas il vaudrait mieux la faire remplacer par une autre, et, à cet effet, renvoyer à l'opticien la lentille endommagée. Mais, comme je viens de le dire, un pareil accident ne saurait être que très-rare, avec un peu d'attention de la part des gardiens ; et c'est seulement parce qu'il faut tout prévoir, qu'on a joint aux huit lentilles de chaque espèce qui composent l'appareil, une lentille semblable de rechange, destinée à remplacer celle qui aurait besoin de réparations.

La lampe unique qui éclaire le phare paraît un sujet d'inquiétude ; car si elle venait à s'éteindre, toute la lumière du phare s'évanouirait, et les bâtimens qu'un hasard malheureux aurait conduits en ce moment dans son voisinage, pourraient échouer sur l'écueil qu'il doit indiquer aux navigateurs. Mais d'abord, les coups de vent violens qui ont quelquefois éteint toutes les lampes d'un phare à réflecteurs, ne produiraient sans doute pas le même effet sur les quatre flammes de ce bec, qui en raison de la grandeur du foyer et de l'activité de la combustion, sont bien moins sensibles aux courans d'air que les flammes des becs ordinaires, comme j'ai eu souvent occasion de le remar-

quer : c'est ainsi que le vent qui éteint une chandelle n'éteint pas une torche. A la vérité, le bec quadruple pourrait s'éteindre par une autre cause, le manque d'huile. Mais pour bien peser ce danger, qui m'a le plus occupé, il est nécessaire de connaître la manière dont l'huile est amenée dans le bec.

Afin de rendre le service plus commode et d'arroser continuellement les bords du bec d'une quantité d'huile très-surabondante, je me suis décidé, d'après l'avis de *M. de Rossel* et de plusieurs autres membres de la commission des phares, à appliquer à cette lampe l'ingénieuse idée de *Carcel*, et à faire monter l'huile dans le bec au moyen de pompes mues par une horloge. Cette horloge est à poids, pour plus de sûreté et de régularité dans son mouvement, et le poids descend par l'intérieur de la colonne de fonte sur laquelle reposent la table de service et la lampe qu'elle supporte. Une horloge à poids aussi simple que celle-là n'est pas sujette à s'arrêter; mais enfin si cet accident arrivait, ou si les valvules et les soupapes des pompes venaient à se crever ou à se déranger, une autre lampe à mouvement d'horlogerie, mais dans laquelle le moteur est un ressort, serait allumée sur-le-champ et substituée à la première. Les mécanismes de ces lampes ont été conçus et exécutés par *M. Wagner* jeune, avec son talent ordinaire.

On pourrait craindre encore que le gardien ne fût endormi au moment où la lampe se serait dérangée : c'est ce qui m'a engagé à chercher un moyen de le réveiller lorsque l'huile viendrait à manquer, et j'en ai trouvé un très-simple; il consiste à placer, entre le bec et le réservoir dans lequel retombe l'huile surabondante, un petit vase de fer-blanc attaché à l'extrémité d'un levier et faisant équilibre, lorsqu'il est rempli d'huile, à un contre-poids situé sur l'autre bras du levier. Ce petit vase est percé d'un trou assez large pour qu'il puisse se vider promptement quand

il ne reçoit pas de nouvelle huile , mais pas assez pour en laisser passer autant qu'il en reçoit du bec dans l'état ordinaire des choses ; en sorte qu'il reste toujours plein tant que l'huile qui tombe du bec ne diminue pas ; mais quand il n'en tombe plus , et avant que le bec s'éteigne , le vase se vide , le contre-poids l'emporte , et le mouvement du levier laisse échapper l'extrémité du ressort d'une sonnette qu'il tenait bandé ; le bruit de cette sonnette , dont les oscillations se répètent pendant quelques instans , suffit pour réveiller le gardien.

Il ne serait peut-être pas inutile d'ajouter une autre précaution à celle-ci , en plaçant , près du bec quadruple et à la même hauteur , le bec ordinaire d'une lampe de *Carcel* , qu'on tiendrait allumée toute la nuit ; en sorte que , dans le cas où celui-là viendrait à manquer d'huile par quelque dérangement dans ses pompes , et où le gardien ne se réveillerait pas assez tôt pour allumer à temps la lampe de rechange , le phare se trouverait encore éclairé par le bec ordinaire de la lampe de *Carcel* ; les éclats qu'il produirait seraient sans doute bien moins brillans et sur-tout beaucoup plus courts que ceux du bec quadruple , mais leur lumière pourrait être aperçue de loin et suffirait pour avertir les navigateurs qui se trouveraient en ce moment dans le voisinage du phare. Cette lampe de *Carcel* , que le gardien pourrait enlever à volonté et porter commodément d'une main , lui serait encore utile pour aller et venir la nuit et chercher les choses dont il pourrait avoir besoin.

Nous croyons qu'avec ces précautions le nouvel éclairage sera au moins aussi assuré que celui des appareils en usage. Il ne doit pas même donner autant d'inquiétude que les lampes ordinaires sur la congélation de l'huile pendant les nuits très-froides , puisque l'huile tiède qui retombe sans cesse du bec quadruple dans le réservoir , et le voisinage de ce grand foyer de

chaleur, suffiront toujours pour tenir l'huile du réservoir à l'état liquide. Sans doute le service du bec quadruple est un peu plus compliqué que celui d'un bec ordinaire; mais nous nous sommes assurés, par des expériences très-multipliées, qu'il ne fallait qu'un peu d'attention pour régulariser les flammes et les entretenir à une hauteur convenable. C'est d'ailleurs le seul bec que le gardien ait à soigner et sur lequel il doit porter son attention; elle n'est plus partagée, comme dans les autres appareils, entre huit ou seize ou même vingt-quatre becs de lampes. Il n'y a plus de réflecteur à frotter, plus de becs recouverts d'huile brûlée à décrasser; la seule chose à faire pendant le jour est de moucher les mèches du bec quadruple, de verser de nouvelle huile dans le réservoir de la lampe, et de fermer les rideaux destinés à intercepter les rayons solaires, qui sans cela pourraient enflammer ou fondre les corps placés au foyer des lentilles. C'est une précaution que l'on prend même pour les réflecteurs paraboliques. Ces rideaux serviront en même temps à garantir les lentilles de la poussière, du moins pendant le jour. On voit que le service se réduira à bien peu de chose. Je suis persuadé que les gardiens des phares où l'on placera le nouvel appareil, se féliciteront par la suite de cette simplification, et que leur attention n'étant plus partagée entre plusieurs lampes, l'éclairage de la lampe unique qu'ils auront à soigner y gagnera beaucoup.

Lors même que l'expérience ferait découvrir dans cette lampe quelque inconvénient que nous n'aurions point remarqué, ce ne serait pas une raison pour abandonner l'appareil lenticulaire, qui présente de si grands avantages; car il serait toujours possible de perfectionner le mécanisme de la lampe, et d'obtenir enfin, soit avec l'huile, soit avec le gaz, la lumière centrale nécessaire à l'illumination de cet appareil.

On pourrait faire aussi en lentilles des phares à feux fixes,

D



supérieurs à ceux qui sont composés de réflecteurs paraboliques; mais, comme les feux fixes, qui doivent éclairer simultanément tout l'horizon, ne sauraient avoir une aussi grande portée que les feux tournans, et que d'ailleurs ils peuvent être confondus quelquefois avec des feux allumés sur la côte par accident ou malveillance, la commission des phares a pensé qu'il sera préférable de n'employer que des feux tournans, si l'on parvient à les diversifier suffisamment. On y réussit déjà en partie en variant les durées de leurs révolutions; mais ce moyen est assez borné, parce qu'il faut les rendre très-différentes pour que les marins du petit cabotage ne s'y méprennent pas, et que, d'une autre part, les limites des vitesses de rotation en plus et en moins qu'on peut adopter sans inconvénient, sont peu étendues. Les verres colorés, placés devant les lentilles ou les réflecteurs, sont encore un moyen de diversifier les phares à feux tournans, mais qui n'a pas paru à la commission bien assuré dans ses résultats, et qui d'ailleurs a l'inconvénient très-grave de faire perdre une grande quantité de lumière. C'est pourquoi j'ai cherché à atteindre le but en établissant, entre les intervalles des éclats d'un même phare, des inégalités périodiques, d'après l'idée de M. *Sganziu*, inspecteur général des ponts et chaussées. Le premier appareil lenticulaire exécuté par M. *Soleil* a été construit dans ce système; deux des huit grandes lentilles y sont remplacées chacune par deux lentilles moitié moins larges, qui embrassent toujours un angle de 45° dans le sens vertical, mais seulement de $22^\circ \frac{1}{2}$ dans le sens horizontal: ces deux couples de lentilles moitié moins larges sont diamétralement opposés. Il résulte de cette disposition que les intervalles angulaires entre les milieux des éclats successifs, et par conséquent les intervalles de temps correspondans pendant la rotation du phare, forment la série périodique 1, 1, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1,

$3/4$, $1/2$, $3/4$, &c. (1). Il y a aussi une grande différence dans les intensités des éclats, puisque six d'entre eux sont presque deux fois plus brillans que les quatre autres. Mais la lumière des plus

(1) On aurait une série plus simple par la combinaison de huit demi-lentilles avec quatre grandes, dans laquelle chacune de celles-ci serait suivie de deux demi-lentilles; ce qui donnerait, pour les intervalles de temps entre les milieux ou les fins des éclats successifs, la série périodique 1 , $1, 2/3$, 1 , $1, 2/3$, &c. Alors les marins ne seraient pas obligés d'observer un aussi grand nombre d'éclats pour reconnaître la loi de la période.

Mais une autre combinaison à laquelle nous avons songé M. de Rossel et moi, donnerait au feu tournant un caractère distinctif encore plus facile à saisir : elle consisterait à entourer la lumière centrale de seize demi-lentilles, embrassant toujours chacune 45° dans le sens vertical et $22^\circ 1/2$ dans le sens horizontal, tandis que la pyramide tronquée des lentilles additionnelles, qui forme comme une espèce de toit au-dessus de la lampe, ne serait toujours composée que de huit lentilles, dont les éclats précéderaient de 7° ceux des huit demi-lentilles correspondantes et se renoueraient avec eux. Ainsi, sur deux éclats consécutifs, le premier, composé de celui d'une lentille additionnelle et de celui d'une demi-lentille, serait deux fois plus long au moins que l'éclat suivant, produit seulement par une demi-lentille; d'où résulterait une suite d'éclats alternativement longs et courts. Ce système présenterait encore un autre avantage; c'est qu'en somme, la durée des éclats serait presque égale à celle des éclipses. A la vérité, les demi-lentilles auraient moins de portée que des lentilles entières embrassant 45° dans les deux sens; mais l'intensité de la lumière ne serait sans doute pas réduite à moitié; car les parties qu'on supprime à droite et à gauche de l'axe, dans une lentille entière, pour faire une demi-lentille, doivent fournir moins de lumière que celles qu'on laisse, qui sont plus voisines de l'axe : ces demi-lentilles seraient aussi brillantes au moins que deux grands réflecteurs paraboliques de trente pouces. Ainsi, en sacrifiant dans ce cas une partie de l'intensité des éclats à leur durée, on le ferait d'une manière économique, puisqu'en somme on gagnerait un peu de lumière.

Au lieu de rattacher l'éclat de chaque lentille additionnelle à celui d'une demi-lentille, on pourrait l'intercaler entre les éclats de deux demi-lentilles consécutives; il s'en distinguerait par une différence d'intensité qui serait bien assez prononcée pour frapper les yeux, et l'on aurait en outre une grande différence entre les intervalles de temps qui sépareraient les milieux des éclats successifs, puisqu'il résulterait de cette disposition la série très-simple 1 , $1/2$, $1/2$, 1 , $1/2$, $1/2$, 1 , &c. L'effet particulier de ce feu tournant serait d'offrir des éclats très-brillans qui se succéderaient à intervalles égaux, mais entre lesquels, et de deux en deux intervalles seulement, seraient intercalés des éclats beaucoup moins vifs.

faibles étant encore très-intense , et cette comparaison ne se faisant que de souvenir , il paraît , d'après nos expériences , qu'elle ne pourrait servir à reconnaître le phare que dans le cas où sa lumière serait très-affaiblie par un brouillard ou le grand éloignement de l'observateur ; car , à six lieues de distance et par un clair de lune , il fallait quelque attention pour remarquer la différence d'intensité de ces éclats , tant ceux des demi-lentilles avaient encore de vivacité.

Les grandes lentilles ont été employées avec beaucoup de succès comme signaux , par MM. *Arago* et *Mathieu* , dans les opérations géodésiques qu'ils ont faites vers la fin de l'automne dernier sur les côtes de France et d'Angleterre. Une de ces lentilles , éclairée par un bec quadruple et placée à cinquante mille anglais de l'observateur , était vue aisément avec une lunette , une heure avant le coucher du soleil , et à l'œil nu , une heure après : elle paraissait alors aussi brillante qu'un phare anglais à feu fixe qui se trouvait à-peu-près dans la même direction à quinze mille seulement , c'est-à-dire , trois fois plus près. Cet exemple suffit pour donner une idée de la portée des grandes lentilles.

Leur construction ne sera pas seulement utile à l'éclairage des phares ; elle servira sans doute aussi à l'avancement de la science : elle lui fournit un instrument puissant , avec lequel on pourra soumettre à la plus vive chaleur , dans l'intérieur d'un ballon de verre , des corps qu'on voudra fondre ou volatiliser en les soustrayant à l'action de l'air ou en les mettant en contact avec un autre gaz : beaucoup d'expériences qui ne pourraient être faites ni avec le chalumeau ordinaire , ni avec celui de *Newmann* , le seront facilement de cette manière. Peut-être devra-t-on , par la suite , à ces grands verres ardents , des découvertes aussi surprenantes que celles dont la pile de *Volta* a enrichi la chimie.

S'ils rendent des services importans aux savans, et sur-tout aux navigateurs, on en sera redevable au zèle éclairé avec lequel *M. Becquey* accueille toujours les inventions utiles et sait en hâter les perfectionnemens. Les encouragemens qu'il a donnés à *M. Soleil* ne se sont pas bornés à lui commander deux appareils; l'établissement des machines nécessaires à l'exécution des lentilles annulaires exigeait des avances de fonds considérables; *M. le directeur général des ponts et chaussées* est venu au secours du fabricant, et, en lui faisant délivrer des à-comptes, l'a enhardi dans la spéculation nouvelle à laquelle il se livrait, et a assuré dès le principe le succès de son entreprise.

Je dois ajouter que la chaleur avec laquelle *M. de Rossel* appuya la proposition de ce nouveau système d'éclairage, aussitôt qu'il eut vu les effets de notre première lentille, ainsi que les conseils et les encouragemens qu'il nous a donnés pendant la durée du travail, ont beaucoup contribué à accélérer l'exécution des deux appareils lenticulaires qui sont maintenant terminés.

Le premier, dont les lentilles sont formées de petites portions de surfaces sphériques, a été essayé, l'an dernier, devant *M. le directeur général des ponts et chaussées* et les membres de la commission des phares, qui ont été très-satisfaits de la vivacité de sa lumière.

Le second, composé de huit grandes lentilles annulaires et de huit petites lentilles additionnelles, va être soumis à une série d'expériences semblables et plus complètes encore, en ce qu'on y emploiera la lampe à mouvement d'horlogerie destinée pour l'éclairage du phare de Cordouan.

Il résulte déjà d'une première observation faite de Montmélian, situé à 16400 toises de l'arc de triomphe de la barrière de l'Étoile, sur lequel est placé l'appareil, que la durée de l'apparition de la lumière (à la vérité dans des circonstances

favorables) est la moitié de la durée des éclipses ; qu'on aperçoit un affaiblissement sensible de la lumière (mais sans éclipse absolue) pendant un cinquième de la durée totale de l'apparition , au point de jonction de l'éclat de la grande lentille avec celui de la petite ; et qu'enfin ces deux éclats , sur-tout celui de la grande , sont encore très-beaux à cette distance.

P. S. Depuis la lecture de ce mémoire , j'ai songé à un moyen de prolonger la durée des éclats sans rien changer à la disposition des grandes et des petites lentilles , par l'addition d'un appareil qui ne gênerait pas le service de la lampe et laisserait entièrement libre la table sur laquelle elle repose. Il consisterait en un système de petites glaces étamées , fixées au-dessous des grandes lentilles entre les montans qui les soutiennent , et disposées d'une manière assez analogue aux feuilles d'une jalousie ; mais au lieu d'être parallèles , elles auraient chacune l'inclinaison convenable pour réfléchir les rayons provenant de la lumière centrale suivant des directions horizontales parallèles entre elles , pour chaque système correspondant à une grande lentille , et faisant un angle de 14 ou 15° avec l'axe de cette lentille , en avant , dans le sens du mouvement de rotation , de manière que l'éclat produit par ce système de petits miroirs précéderait l'éclat de la lentille additionnelle de la même quantité dont celui-ci précède l'éclat de la grande lentille. Je pense qu'on parviendrait ainsi , à peu de frais , et sans augmenter le poids total du système de plus de deux cents livres , à donner aux éclats une durée presque égale à celle des éclipses. Au reste , je me propose de faire bientôt l'essai de cet appareil additionnel , et de vérifier par l'expérience ces résultats approximatifs d'un premier aperçu.

PROCÈS-VERBAL

De l'Expérience faite, le 20 Août 1822, par la Commission des Phares, sur l'Appareil lenticulaire à feux tournans destiné à l'éclairage du Phare de Cordouan.

LE 20 août 1822, les membres de la commission des phares soussignés se sont rendus à Notre-Dame de Montmélian, près de Morfontaine, pour observer de ce lieu les effets de l'appareil lenticulaire placé sur l'arc de triomphe de la barrière de l'Étoile, à seize mille quatre cents toises de distance.

Quoiqu'il ne fût pas clair de lune, les circonstances atmosphériques étaient plutôt défavorables qu'avantageuses au phare, à cause des vapeurs que la grande chaleur du jour avait élevées, et qui formaient à l'horizon un brouillard assez sensible.

Néanmoins les éclats ont paru très-brillans, sur-tout dans leurs secondes moitiés, provenant des grandes lentilles. La lumière était sensiblement rougeâtre, même à l'instant de son plus vif éclat : ce qui tenait sans doute au léger brouillard dont l'horizon était couvert ; car la personne qui habite la maison d'où se faisait l'observation, a assuré avoir vu le même feu très-blanc et plus brillant, lors des expériences précédentes.

Pendant la première partie de l'expérience, la vitesse du mouvement de rotation de l'appareil avait été réglée de manière que les éclats se succédoient de minute en minute ; alors la durée moyenne de chaque éclipse étoit de 40", et celle de l'apparition de la lumière de 20". Dans la seconde partie de l'expérience, où les éclats se succédoient de 45" en 45", les éclipses étaient de 30", et les éclats de 15". En un mot, la durée de l'apparition était la moitié de la durée de l'éclipse.

En regardant le phare au travers d'un prisme de cristal de roche achromatisé, qui donnait deux images suffisamment séparées, on a remarqué

que la durée de l'apparition de la lumière n'était presque pas diminuée, quoique son intensité fût ainsi réduite à moitié dans chaque image, et même à un peu moins, vu la perte occasionnée par les réflexions partielles sur les deux faces du cristal. L'instant où l'éclat de la petite lentille finit et se renoue à celui de la grande, qui présentait à l'œil nu un affaiblissement marqué, n'offrait pas encore d'éclipse absolue au travers du prisme de cristal de roche.

Enfin, en regardant le phare à travers deux prismes superposés et tournés de manière à diviser la lumière en quatre faisceaux d'égale intensité, on apercevait à peine la première partie de l'éclat, provenant de la petite lentille; tandis qu'on voyait très-bien la seconde partie, produite par la grande, qui présentait dans chaque image un point lumineux assez brillant: or, chaque image ne contenait que le quart de la lumière totale, diminuée encore par les pertes provenant des quatre réflexions partielles sur les surfaces des deux prismes.

Signé : *Le Contre-amiral,*

E. HALGAN.

DE ROSSEL.

*L'Inspecteur général des travaux
maritimes,*

J. SGANZIN.

*L'Inspecteur général des constructions
navales,*

ROLLAND.