



OLIVIER BALAGNA

# Pourquoi une lentille Fresnel est-elle diffusante ?

**Nous savons qu'un projecteur doté d'une lentille Fresnel produit une lumière diffuse assez proche de celle d'un PC équipé d'un #114 et légèrement plus homogène que celle d'une CP61. Mais est-ce vraiment une propriété du système optique développé par Augustin Fresnel ?**



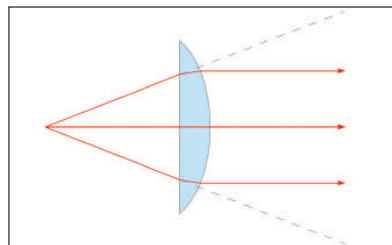
© DR

Son aspect est très caractéristique : ses sections annulaires concentriques la distinguent immédiatement des autres lentilles, qu'il s'agisse de la très classique plan-convexe ou de la lentille martelée qui tend aujourd'hui à se raréfier. Ce système optique original – dont on attribue la paternité à Augustin Fresnel alors que lui-même l'attribuait à Buffon – est ce qu'on appelle une lentille à échelons. Mais à quoi sert-il exactement ? Quelle est l'incidence de ces étranges anneaux concentriques sur le faisceau lumineux ? Et surtout : l'effet diffusant est-il inhérent à la conception de cette lentille ?

### UNE LENTILLE PLAN-CONVEXE RÉDUITE À L'ESSENTIEL

Une lentille, quelle qu'elle soit, utilise les propriétés réfringentes du matériau transparent – généralement le verre – qui la constitue. Dès qu'il s'écarte de la normale au point d'incidence, chaque rayonnement lumineux qui la traverse se trouve deux fois dévié : lorsqu'il pénètre dans la lentille puis lorsqu'il en ressort pour pénétrer dans l'air. Cette double déviation, liée à la différence de masse volumique des milieux traversés, c'est le phénomène de réfraction.

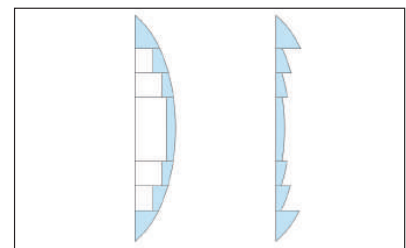
Mais l'importance de la déviation ne dépend absolument pas de l'épaisseur de la lentille. Elle dépend tout d'abord du matériau transparent lui-même qui, selon sa composition, possède un pouvoir de déviation plus ou moins grand qu'on nomme indice de réfraction. Elle dépend ensuite de l'angle d'incidence que dessinent les rayons lumineux avec chaque surface de la lentille. Dans le cas d'une lentille plan-convexe, la distance qui sépare la lampe de la face plane et le degré de courbure de la face convexe vont déterminer la plus ou moins grande convergence ou divergence des rayons sortants.



© OB

La réfraction dans une lentille plan-convexe : une double déviation qui concentre les rayonnements. Comme la lentille Fresnel, ce type d'optique appartient à la famille des condensateurs.

Conscient de ce phénomène, l'ingénieur des ponts-et-chaussées Augustin Fresnel, membre de la Commission des Phares depuis 1819, en conclut tout simplement qu'une lentille plan-convexe comporte finalement beaucoup de verre inutile. L'affaire lui importe car il est impossible de fabriquer et installer dans un phare des lentilles de grande taille dont le poids serait considérable. Mais il sait que, selon le modèle des « verres ardents », on peut obtenir un résultat identique en créant un système optique qui ne conserve que les plans et les courbures indispensables. Imaginons alors une lentille plan-convexe découpée en cercles concentriques dont on aura retiré la majeure partie du verre pour n'en garder que le minimum entre la surface plane et la surface courbe de chaque segment. La lentille dite de Fresnel n'est ainsi rien d'autre qu'une lentille plan-convexe redessinée en vue de réduire à l'essentiel la quantité de matière utilisée. Ce qui en diminue à la fois le volume, le poids et le coût.



© OB

Schéma simplifié de la lentille Fresnel : c'est comme si l'on avait réduit l'épaisseur d'une lentille plan-convexe et aligné la surface plane des segments. Toutes les propriétés réfringentes sont préservées.

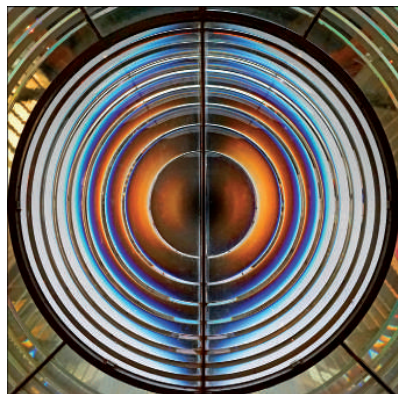
Cette lentille ne possède donc, en elle-même, aucune propriété diffusante. Mais alors pourquoi celles qui équipent nos projecteurs halogènes traditionnels, nos HMI ou bien nos machines asservies diffusent-elles la lumière ?



### DE QUELQUES DÉSAGRÈMENTS CAUSÉS PAR LES ÉCHELONS

Dans ses premières utilisations pratiques, la lentille à échelons n'était pas destinée à équiper des luminaires de spectacle ou de cinéma mais des systèmes d'éclairage de phares puis, plus tard, de signalisation ferroviaire. Elle ne servait donc pas à éclairer une surface mais à ce que la lumière soit vue à très longue distance. La qualité du faisceau n'avait alors aucune importance. Seule primait son intensité, c'est-à-dire sa concentration. De plus, l'ensemble optique était totalement fixe : la distance entre la source centrale du phare et les différentes lentilles qui l'entouraient demeurait constante. Dans un appareil de ce type, le dessin de chaque échelon est calculé de telle sorte que le chemin optique des rayons lumineux qui traverse le verre franchisse toujours une des courbures de la partie convexe et n'atteigne jamais l'arête d'un des anneaux concentriques. Mais lorsque l'on introduit une lentille Fresnel dans un luminaire de spectacle les choses se passent autrement. La lentille ou la lampe pouvant se déplacer vers l'avant ou l'arrière afin de modifier la distance focale et, par conséquent, le degré de concentration des rayons, leur chemin optique se déplace et ceux-ci peuvent parfois frapper l'arête des anneaux. Il se produit alors un phénomène qui constitue la hantise de tout éclairagiste : un effet d'irisation.

Cette irisation est provoquée par un phénomène de diffraction, caractéristique du comportement ondulatoire de la lumière.



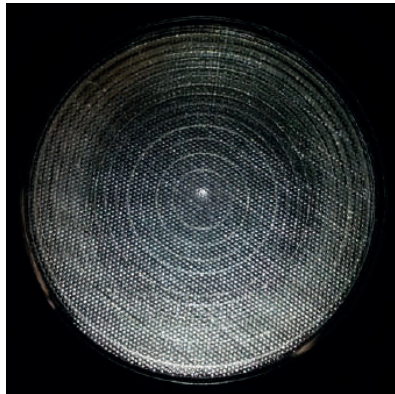
© JEAN-PIERRE DALBERA

Diffraction de la lumière sur l'ancienne lentille de Fresnel claire du phare d'Hourtin. La forte dominante bleutée est une des caractéristiques de la diffraction, également observable avec les couteaux d'une découpe.

Lorsque l'onde lumineuse rencontre un obstacle qui entrave partiellement sa propagation – et tout particulièrement une arête ou un bord saillant – chaque point du bord de cet obstacle atteint par le rayonnement se comporte alors comme une source secondaire. Il réémet une part des rayonnements reçus et cette réémission crée une interférence avec le rayonnement principal dont la frange extrême se voit déviée, contournant partiellement l'obstacle. C'est, par exemple, l'effet de dispersion que l'on peut observer lorsque la lumière frappe la surface striée d'un CD-Rom et qui se traduit par de belles irisations. On atteint alors les limites de ce système optique et, pour tout éclairagiste de spectacle ou de cinéma soucieux de la qualité de l'éclairage, il semblerait a priori impossible d'employer une lentille Fresnel sans échapper à ce désagrément. Sauf si l'on contourne le problème.

### LA RUSE DE LA SURFACE DIFFUSANTE

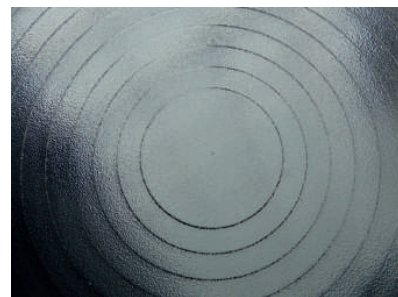
Qu'il s'agisse d'aberration chromatique ou de diffraction, le moyen le plus simple d'éliminer les effets d'irisation est connu de longue date : c'est la diffusion. Elle consiste à dévier légèrement les rayonnements de leur trajectoire et à les orienter dans de multiples directions. Leurs chemins optiques s'entrecroisent alors plus ou moins et les rayonnements se superposent partiellement les uns aux autres. Un tel



© DR

La face alvéolée d'une lentille Fresnel de 14 pouces (355,6 mm) fabriquée par Corning pour équiper les 5 kW et 10 kW de Mole-Richardson.

procédé annule ainsi la dispersion qui est à l'origine de l'irisation en recomposant, sur le mode additif, une lumière blanche homogène. De la même manière que les lentilles martelées sont apparues pour escamoter les défauts chromatiques des luminaires de spectacle, les lentilles Fresnel de ces appareils vont être systématiquement dotées d'une surface diffusante similaire à celle des filtres ayant ce type de fonction. Les premières lentilles Fresnel arrivées dans les studios de cinéma à la fin des années 1920 présentaient une surface légèrement alvéolée que l'on retrouve encore sur certains modèles actuels du catalogue Mole-Richardson. Mais les produits standards possèdent pour la plupart une surface constituée de micro-reliefs hémisphériques. Comme si l'on avait accolé des milliers de lentilles plan-convexes microscopiques aux dimensions et aux courbures irrégulières. Cela produit une sorte de « brouillage » qui élimine tout problème chromatique. La diffusion lumineuse a ainsi sauvé la lentille Fresnel, qu'on aime aujourd'hui précisément pour la douceur de son faisceau et pour son pouvoir de transmission largement supérieur à celui d'une lentille plan-convexe équipée d'un #114 ou d'un #119.



© OB

La surface diffusante d'une lentille Fresnel de 200 mm fabriquée en verre recuit par la firme allemande Schott. C'est notamment le standard pour les séries 310 et 329 de Robert Juliat ou les 2 kW d'ADB. Ce type de lentille ne possède pas de surface plane : c'est ce qu'on appelle un ménisque convexe. Ses courbures sont optimisées pour que la lampe puisse varier entre 75 et 140 mm de distance focale par rapport à la lentille. Lorsque le luminaire est placé à plus de 70 cm de la zone éclairée, l'ombre des anneaux concentriques n'est plus perceptible.