Sur le halo des lames épaisses, ou halo photographique, et les moyens de le faire disparaître

A. Cornu

► To cite this version:

A. Cornu. Sur le halo des lames épaisses, ou halo photographique, et les moyens de le faire disparaître. J. Phys. Theor. Appl., 1890, 9 (1), pp.270-277. 10.1051/jphystap:018900090027000 . jpa-00239097

HAL Id: jpa-00239097

<https://hal.science/jpa-00239097>

Submitted on 1 Jan 1890

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**SUR LE HALO DES LAMES ÉPAISSES, OU HALO PHOTOGRAPHIQUE,
ET LES MOYENS DE LE FAIRE DISPARAITRE;**

PAR M. A. CORNU.

Lorsqu'on prend l'image photographique d'un point lumineux très brillant sur une couche impressionnable fixée à une lame de verre, on obtient généralement autour de cette image une couronne plus ou moins intense, rappelant l'aspect du phénomène météorologique connu sous le nom de *halo* : aussi appelle-t-on cette image secondaire le *halo photographique*.

Ce phénomène produit sur les épreuves artistiques l'effet le plus fâcheux ; car il apparaît non seulement autour de l'image des points exceptionnellement brillants, mais encore autour de toutes les plages fortement éclairées : aussi a-t-on cherché depuis longtemps à faire disparaître un phénomène si gênant. Il semble toutefois que les remèdes proposés jusqu'ici ne soient pas très efficaces, car il n'est guère de recueil photographique qui ne donne chaque année plusieurs recettes nouvelles destinées à combattre le halo.

Le rôle, chaque jour plus important, que joue la photographie dans les sciences d'observation, et particulièrement en astronomie physique, m'a paru exiger l'examen détaillé de ce phénomène qui ne tend rien moins qu'à fausser par des effets secondaires des images qui passent pour être l'expression la plus fidèle de la réalité : je me suis donc proposé d'étudier les conditions dans lesquelles il se produit, afin de trouver un moyen certain de l'éviter.

Observation directe du halo. — Mon premier soin a été de chercher à rendre le phénomène directement visible à l'œil, sans compliquer l'observation d'une manipulation photographique : il suffit pour cela de déposer à la surface d'une lame de verre une couche mince d'une substance *diffusante* quelconque en *contact intime* avec cette surface, et d'y projeter un faisceau lumineux étroit et intense. On aperçoit alors autour de la trace du faisceau le halo en question sous forme d'un cercle lumineux net au bord intérieur, dégradé vers l'extérieur.

Quant à la couche diffusante, on l'obtient par les procédés les plus divers : on peut d'abord utiliser les plaques photographiques

soit à la gélatine, soit au collodion sec, qui peuvent servir longtemps à la lumière sans noircir; si l'on veut une couche inaltérable, on peut prendre un verre émaillé : à défaut de ce verre, on étendra sur une vitre soit une émulsion gélatineuse au sulfate de baryte, soit une feuille de papier mouillé; enfin on obtient un enduit excellent, applicable sur toute lame transparente, en étendant au pinceau du blanc de plomb (blanc d'aquarelle ou de gouache) délayé dans l'eau gommée épaisse.

Voici les principaux résultats qu'on observe :

1° La formation du halo est indépendante du dispositif optique avec lequel on éclaire la couche diffusante : lentille simple, objectif composé, miroir concave, carton percé d'un trou, etc., tous ces dispositifs réussissent également bien, pourvu que le point lumineux formé soit très intense.

2° La forme circulaire et le diamètre du halo sont, avec une lame diffusante donnée, indépendants de l'obliquité de la lame relativement à l'axe du faisceau éclairant; l'enduit diffusant peut être indifféremment tourné vers la source ou du côté opposé : le phénomène s'observe à la fois sur l'une et l'autre face de l'enduit.

3° Le diamètre du halo est proportionnel à l'épaisseur de la lame de verre : il est un peu moindre que le quadruple de l'épaisseur de cette lame. [L'épaisseur du support transparent ⁽¹⁾ de la couche diffusante jouant un rôle principal et indépendant de l'impression photographique, je propose de donner à ce phénomène le nom de *halo des lames épaisses*.]

4° Contrairement à ce qu'on observe dans le halo solaire, où le bord intérieur est rouge, le halo des lames épaisses est bordé intérieurement de bleu : l'observation exige, pour être bien nette, une lame de grande épaisseur (10^{mm} à 20^{mm}) et un point lumineux très petit.

5° Le faisceau lumineux restant le même, l'éclat des halos ob-

(¹) Le support transparent peut être autre que le verre, comme on le verra plus loin : ainsi l'on emploie maintenant des *plaques souples*, où l'émulsion photographique est déposée sur gélatine; ces plaques, quoique très minces, donnent aussi des halos difficilement perceptibles sur le cliché à cause de leur faible diamètre, mais qu'on observe directement avec facilité; leur diamètre correspond exactement à leur *épaisseur optique*.

servés avec des lames d'épaisseur différentes décroît rapidement lorsque leur diamètre grandit : les halos étroits des lames peu épaisses (1^{mm}) sont très brillants; ceux des lames de grande épaisseur sont larges et pâles, toutes choses égales d'ailleurs.

Explication du phénomène. — Le point illuminé O (fig. 1)

Fig. 1.

de la couche diffusante OCHN, en contact intime avec le verre, joue le rôle d'une véritable source lumineuse rayonnant dans tous les sens; tous les rayons émis à l'intérieur de la lame en atteignent la seconde surface EBLM et s'y réfléchissent : les uns, tels que OB, par *réflexion vitreuse*; les autres, tels que OM, par *réflexion totale*. Les premiers OB, compris entre la normale OE et l'angle limite EOL, donnent naissance à des rayons réfléchis peu intenses BC, parce qu'ils correspondent à des rayons émergents BS qui emportent la majeure partie de l'intensité lumineuse; les autres, au contraire, comme OM, situés au delà de l'angle limite, fournissent des rayons réfléchis très brillants, la réflexion totale ne leur faisant rien perdre de leur intensité ⁽¹⁾.

Tous ces rayons réfléchis viennent éclairer la face interne de la couche diffusante et y produisent deux plages contiguës, d'inégal éclat, dont il est facile de tracer la limite. En effet, ces rayons

(¹) On voit la nécessité du contact intime de la couche diffusante avec la surface du verre, dont elle doit, en quelque sorte, faire partie optiquement; si les particules diffusantes étaient séparées de cette surface par une couche d'air, si mince qu'elle fût, les rayons transmis à l'intérieur du verre resteraient compris dans l'angle limite EOL et ne pourraient pas le dépasser

émanent tous du point O' , image virtuelle de la source, symétrique du point O par rapport à la surface de la lame : les rayons réfléchis vitreusement sont compris dans le cône de révolution autour de la normale $O'E$, ayant pour sommet O' et pour demi-angle au sommet l'angle limite $EO'L = EOL$: ils donnent une plage peu éclairée, limitée au cercle, section droite de ce cône par le plan diffusant. Les rayons réfléchis, totalement situés à l'extérieur de ce cône, formeront une plage brillante commençant brusquement au même cercle et illimitée à l'extérieur. On reconnaît le halo décrit ci-dessus.

La diffusion au point O ayant lieu quelle que soit la direction du faisceau éclairant, on voit que le phénomène doit être, comme forme, sinon comme intensité, indépendant de l'obliquité de la lame sur le faisceau incident : c'est ce que montre l'expérience.

Le demi-diamètre $\rho = OH$ du halo est celui du cercle de base du cône précité. Soit $R = OO'L$ l'angle limite (tel que $n \sin R = 1$, n étant l'indice de réfraction de l'air au verre), on a évidemment, en appelant e l'épaisseur de la lame,

$$\rho = 2e \tan R \quad \text{ou} \quad \rho = \frac{2e}{\sqrt{n^2 - 1}}.$$

Le diamètre du halo est donc proportionnel à l'épaisseur de la lame : il diminue avec la réfrangibilité de la lumière employée, puisque n grandit avec elle : le bord intérieur doit donc être bleu. L'indice moyen du verre étant voisin de $n = \frac{3}{2}$, on en tire

$$2\rho = 8e : \sqrt{5} = 3,578e;$$

le diamètre moyen du halo est donc un peu moindre que le quadruple de l'épaisseur de la lame : tous ces résultats sont conformes à l'expérience.

La dégradation de l'intensité lumineuse du halo vers l'extérieur s'explique aisément : l'éclairement en un point N , de plus en plus éloigné du centre O , décroît rapidement pour deux motifs : la source virtuelle O' est à une distance de plus en plus grande, et les rayons qui en arrivent sont de plus en plus obliques sur le plan diffusant ON .

D'autre part, on établit aisément la loi qui lie l'intensité des halos avec leur diamètre : considérons deux lames de même verre,

d'épaisseur différente, éclairées par des faisceaux identiques; appelons *points homologues* N, N_1 les points correspondant à des rayons réfléchis, également inclinés sur la normale $EO', E_1O'_1$: ces points seront à des distances $O'N, O'_1N_1$ de leurs sources respectives, proportionnelles à l'épaisseur de la lame; les intensités aux points homologues seront donc en raison inverse du carré de ces épaisseurs ou du carré du diamètre des halos : telle est la cause de l'affaiblissement rapide de l'éclat des halos avec l'accroissement de leur diamètre.

Expériences directes de vérification. — *a.* L'analyse précédente fait prévoir :

1° Que le demi-diamètre EL de la base du cône des rayons susceptibles d'émerger est moitié de celui du halo;

2° Qu'avec la lumière blanche, la bordure de ce cercle doit être complémentaire de celle du halo, c'est-à-dire offrir une teinte rouge.

C'est ce qu'on vérifie en saupoudrant d'une poussière légère la seconde face de la lame qui s'illumine alors sur une surface présentant la forme circulaire, le bord rouge et le diamètre prévus.

b. Le halo est la section droite du cône de l'angle limite : cette section est circulaire, parce que l'axe de révolution OO' , normal au plan réfléchissant, est aussi normal au plan diffusant, les deux faces de la lame étant parallèles; mais, si les deux faces sont inclinées l'une sur l'autre, l'axe du cône de révolution, toujours normal au plan réfléchissant, s'incline du même angle : le halo devient alors une section oblique de ce cône : de *cercle concentrique* qu'il était dans le premier cas, il devient *ellipse excentrique*.

C'est ce qu'on observe avec un prisme de verre de 12° à 15° d'angle au sommet, dont une face est rendue diffusante. L'expérience est plus instructive en collant ce prisme avec une goutte d'eau ⁽¹⁾ derrière une lame parallèle dont la face extérieure est diffusante. On observe alors :

(1) Si le milieu extérieur, au lieu d'être l'air, dont l'indice est 1, est un fluide d'indice n' , l'indice relatif devient $n : n'$ et le demi-diamètre du halo a pour valeur

$$\rho = \frac{2en'}{\sqrt{n^2 - n'^2}}.$$

On en conclut que le diamètre du halo grandit à mesure que l'indice extérieur n' croît de 1 à n : lorsque l'égalité est atteinte, le halo devient infiniment grand, par suite pâle, et disparaît. La valeur imaginaire pour $n' > n$ correspond à l'impossibilité de la réflexion totale.

1° Un halo circulaire concentrique produit par réflexion totale (verre sur eau) sur la face mouillée de la lame;

2° Le halo elliptique excentrique dû à la réflexion totale (verre sur air) sur la face extérieure du prisme;

3° Un arc d'un second halo elliptique excentrique provenant de réflexions multiples faciles à analyser.

Le phénomène se réduit au premier halo elliptique, si l'on remplace l'eau par un mélange d'essences (térébenthine, girofle, cannelle) ayant le même indice que la lame et le prisme.

c. La vérification simultanée du diamètre et de l'intensité correspondante des halos avec l'épaisseur de la lame s'obtient en collant avec une essence convenable derrière la lame diffusante un fragment de la même lame. Si l'on dirige le faisceau sur la ligne de séparation des régions d'épaisseur différente, on obtient deux demi-halos, situés de part et d'autre de cette ligne : le plus petit étant le plus brillant, le plus grand, le plus pâle. Le mica et le gypse, par leur facile clivage, ainsi que des feuilles de gélatine, permettent d'autres formes de la même vérification.

d. On peut varier à l'infini les vérifications indirectes : je me bornerai à citer deux séries d'expériences curieuses : l'une qui consiste à graver sur la face non diffusante d'une lame de verre des divisions ou des dessins qui portent une ombre de dimensions doubles sur la plage illuminée de l'extérieur du halo ; l'autre qui consiste à coller avec un liquide approprié derrière une lame diffusante une lame de spath d'Islande ou d'azotate de soude : la réflexion totale donne un double halo assez complexe correspondant aux rayons doublement réfractés ; on y reconnaît des arcs de cercle et d'ellipse discontinus qui se réduisent à deux cercles concentriques, si le cristal est taillé perpendiculairement à l'axe.

La justesse de l'explication proposée est donc surabondamment démontrée ; on peut d'ailleurs conserver l'image exacte de tous les phénomènes ci-dessus décrits et effectuer à loisir les vérifications quantitatives, en opérant avec des plaques photographiques au lieu de lames simplement diffusantes : j'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie une collection de ces clichés.

Moyens d'atténuer et de faire disparaître le halo photographique. — Dans un grand nombre de cas, on atténuerait le halo d'une manière satisfaisante en employant comme support de la couche impressionnable des lames suffisamment épaisses. Mais le véritable remède ressort de l'étude précédente : il consiste à empêcher le retour à la surface sensible des rayons provenant non seulement de la réflexion totale, mais même de la réflexion vitreuse. Le moyen le plus simple d'y parvenir est, d'abord, d'annuler le pouvoir réfléchissant de la seconde surface par le contact

intime d'une substance de même indice; en second lieu, d'éteindre les rayons transmis à cette substance, en lui donnant un pouvoir absorbant suffisant pour empêcher que la réflexion ne se produise à la face d'émergence. On est donc conduit à enduire le revers des plaques photographiques d'un vernis opaque convenable, moyen déjà préconisé plusieurs fois. Comment se fait-il que cet artifice ait été considéré jusqu'ici comme insuffisant? C'est qu'on n'a pas signalé la condition essentielle qui en assure l'efficacité, à savoir l'égalité des indices de réfraction : toute différence notable d'indice, par excès aussi bien que par défaut, maintient la réflexion appelée ci-dessus *vitreuse*, quelle que soit l'opacité de l'enduit : c'est cette réflexion qui produit, sinon les halos circulaires, du moins ces nébulosités si gênantes autour des objets vivement éclairés.

Comme preuve de l'efficacité de cette condition, j'ai mis sous les yeux de l'Académie des clichés offrant sur la même plaque deux images du même point brillant obtenues successivement avec la même durée d'exposition. Celle du haut offre un halo extrêmement intense, celle du bas en est absolument dépourvue : pour obtenir ce résultat, chacune de ces plaques (gélatine ou collodion) avait été enduite par derrière, sur sa moitié inférieure, d'une pâte formée de noir de fumée et d'un mélange d'essences ⁽¹⁾ ayant exactement le même indice que le verre. Cet enduit a suffi pour

(¹) Ce mélange d'essence de girofle ($n = 1,520$), d'essence de térébenthine ($n = 1,480$), ou suivant les cas, d'essence de cannelle ($n = 1,610$) est très commode pour les opérations de laboratoire; il a l'avantage de ne pas sécher rapidement; on étend la pâte avec un pinceau sur le revers de la plaque, au moment de l'employer, et on l'essuie avant le développement.

Pour obtenir un mélange ayant l'indice d'un verre donné, on détache au diamant une bande de ce verre qu'on adoucit au besoin sur les tranches, de manière à obtenir une baguette à quatre arêtes réfringentes : on plonge cette baguette dans le mélange contenu dans une cuve à faces parallèles, et l'on observe le sens de la déviation d'une ligne brillante à travers un angle réfringent; si l'on part du liquide ayant l'indice plus faible que celui du verre et qu'on ajoute progressivement le liquide ou la substance plus réfringente, on diminue, puis finalement on annule cette déviation : l'égalité d'indice est alors atteinte. L'emploi d'une lumière monochromatique et l'utilisation simultanée de deux angles réfringents opposés facilite beaucoup le réglage.

Je me propose de faire connaître ultérieurement un vernis ayant, après dessiccation, le même indice que le verre à vitre ordinairement employé; on pourra ainsi préparer à l'avance l'enduit noir *sec* des plaques photographiques destinées à servir loin du laboratoire obscur.

empêcher toute trace de halo. L'expérience sous cette forme est tout à fait décisive : elle permet de conclure que le problème de l'annulation du halo photographique est définitivement résolu.