

J'aurai l'honneur d'entretenir l'Académie des résultats obtenus par ces diverses missions scientifiques.

OPTIQUE. — *Des divers principes sur lesquels on peut fonder la photographie directe des couleurs. Photographie directe des couleurs fondée sur la dispersion prismatique.* Note de M. G. LIPPMANN.

Pour qu'une épreuve photographique reproduise les couleurs du modèle, deux conditions sont nécessaires :

1° La plaque sensible doit garder la trace des différences qui existent entre les diverses radiations qui sont mélangées dans un même rayon incident; il faut, en d'autres termes, que le système employé *analyse* chaque rayon incident.

2° Pour que la lumière incidente soit reconstituée après coup avec sa couleur, il faut que le système utilisé soit *réversible*, de manière à effectuer la synthèse des couleurs élémentaires.

D'après cette remarque générale, on peut se demander si tout phénomène physique qui permet de distinguer entre deux couleurs élémentaires ne pourrait pas servir de principe à un système de photographie directe des couleurs. La dispersion prismatique, utilisée dans le spectroscope, est dans ce cas.

Et en effet cette dispersion prismatique donne une solution du problème de la photographie directe des couleurs.

Un spectroscope photographique se compose essentiellement d'une fente  $f$ , d'un prisme, d'une lentille et d'une plaque sensible.

Il effectue évidemment l'analyse de la lumière qui tombe sur la fente. Il reste à montrer que l'appareil est par lui-même réversible et qu'il reconstitue après coup la lumière colorée qui a frappé la fente.

Supposons que la plaque sensible ait été développée, puis remise en place et considérons d'abord le cas où l'on aurait ainsi obtenu un positif. Si la fente a été éclairée par des rayons rouges, par exemple, ces rayons ont donné dans le spectre une image  $r$  de la fente. Cette image est transparente sur l'épreuve positive et constitue une sorte de fente qui, lorsque la plaque a été remise en place, est l'image conjuguée de la fente  $f$ . Inversement,  $f$  est l'image conjuguée de  $r$ , d'après le principe de la marche inverse des rayons. Il faut entendre que cette double condition est satisfaite pour les rayons rouges qui ont fourni l'image et pour ceux-là seule-

ment; les rayons d'une autre réfrangibilité auraient une marche différente et ils ne retomberaient ni sur  $f$  ni sur  $r$ .

Il s'ensuit que, si l'on éclaire  $f$  avec de la lumière blanche, la région transparente  $r$  ne reçoit que les rayons qui l'ont formée et ne laisse passer que ceux-là. Si l'on fait marcher la lumière en sens inverse, c'est-à-dire si l'on éclaire l'épreuve par de la lumière blanche, la fente ne reçoit et ne laisse passer que les rayons qui ont marqué leur trace sur  $r$ .

Le raisonnement s'applique à des rayons de réfrangibilités quelconques et coexistants. En résumé, le positif photographique étant remis en place et exposé à de la lumière blanche, la fente reçoit une lumière ayant exactement la même composition spectrale que celle qui l'avait éclairée pendant la pose.

Lorsqu'on remplace l'épreuve positive par son négatif, la fente est éclairée par une lumière exactement complémentaire de celle qui avait agi pendant la pose. Dans ce cas, en effet, la place  $r$  occupée dans le spectre par une radiation déterminée est un trait opaque. Cette radiation ne peut donc plus arriver jusqu'à la fente, car les seules radiations de cette espèce qui auraient pu tomber sur la fente sont celles qui auraient passé par  $r$ .

En résumé, une fois l'épreuve remise en place, un spectroscopie photographique ne se laisse traverser que par les radiations qui ont agi pendant la pose; ces radiations sont remplacées par leurs complémentaires si l'épreuve est négative.

Afin d'appliquer ce principe à la reproduction des couleurs, j'ai installé l'appareil suivant : la fente unique d'un spectroscopie est remplacée par une série de fentes très rapprochées : ce sont les lignes fines transparentes d'une trame lignée de 5 traits au millimètre, comme celles que l'on emploie dans l'industrie photographique. Cette trame est fixée à l'entrée d'un agrandisseur photographique, c'est-à-dire d'une boîte munie à sa sortie d'un châssis avec plaque sensible, et portant en son milieu une lentille convergente. Devant cette lentille, j'ai fixé un prisme de petit angle avec son arête parallèle aux lignes transparentes de la trame.

L'image à reproduire est projetée sur la trame; puis la plaque sensible est développée et remise en place. L'appareil étant éclairé en lumière blanche, on revoit l'image qui avait posé, avec ses couleurs. Chaque ligne de la trame fonctionne en effet comme la fente d'un spectroscopie.

A la distance de la vision distincte on ne discerne plus les lignes de la trame, et l'image apparaît continue.

L'expérience a été faite d'abord avec le spectre de la lumière électrique : il a été reproduit avec ses couleurs à l'aide d'un positif. Avec un négatif le rouge a été remplacé par son complémentaire, le vert bleu, et le vert par du pourpre. Un vitrail rouge et vert, appliqué sur la trame, a de même été reproduit successivement avec ses couleurs, puis avec les couleurs complémentaires.

Il est nécessaire que le prisme fixé dans l'appareil ait un angle assez petit pour que chaque spectre ait une longueur moindre qu'une interligne : autrement les spectres empièteraient les uns sur les autres. Il faut également que la plaque photométrique reprenne exactement la position qu'elle avait pendant la pose : cette condition est remplie automatiquement si l'appareil est solide et le calage soigné. Quand on déplace l'épreuve dans son plan les couleurs observées changent rapidement ; si on la fait tourner, on observe un moirage coloré. Inversement on la ramène à sa position normale par un petit déplacement qui lui rend son aspect naturel.

On peut employer des plaques orthochromatiques très sensibles, comme celles du commerce ; la pose est beaucoup plus courte qu'avec le procédé interférentiel.

Par contre, il est peu commode d'avoir à remettre l'épreuve dans l'appareil même qui l'a fournie, toutes les fois que l'on veut revoir les couleurs. L'épreuve vue à la main est noire et blanche ; elle a l'aspect d'une épreuve ordinaire. Vue à la loupe, elle apparaît lignée et chaque ligne est divisée en petites zones qui sont les parties d'un spectre élémentaire.

Il serait peut-être possible de perfectionner ce procédé de manière à éviter l'emploi d'un appareil pour revoir les couleurs et de constituer la plaque de telle façon qu'elle se suffise à elle-même.

Supposons qu'on place une plaque sensible dans une chambre noire ordinaire, sans prisme, mais en interposant une trame, comme on le fait dans l'industrie de la reproduction photomécanique ; supposons qu'on ait superposé à la trame, qui a, par exemple, 5 traits au millimètre, un réseau de 500 traits au millimètre. Chaque point lumineux projeté sur la plaque s'étale alors sous forme de spectre qui se photographie. En appliquant la trame avec son réseau sur l'épreuve développée, on doit revoir les couleurs de l'original, à condition de mettre l'œil à peu près à la place qu'occupait l'objectif. Le système est en effet réversible, en vertu du raisonnement donné plus haut.

OPTIQUE. — *Remarques générales sur la photographie interférentielle des couleurs.* Note de M. G. LIPPMANN.

1. Dans la théorie que j'ai donnée de la photographie des couleurs simples et composées, je me suis borné au cas particulier des ondes planes. Or, dans la pratique, les ondes ne sont pas planes; elles sont sensiblement sphériques, puisque l'on projette sur la plaque des images de points. Il est donc bon de généraliser le raisonnement. La théorie ainsi généralisée suggère l'idée d'une série de dispositifs qui pourraient, théoriquement du moins, remplacer le miroir de mercure.

2. Je supposerai d'abord l'objectif parfait et donnant d'un point extérieur une image P réduite à un point. Le point P et son image P' fournies par le miroir de mercure se comportent comme deux sources synchrones. Les franges d'interférences obtenues ne sont pas planes (sauf l'une d'elles); elles ont la forme d'hyperboloïdes de révolution qui ont P et P' pour foyers. Ce sont ces franges qui se fixent dans l'intérieur de la couche sensible, sous forme de dépôts photographiques doués d'un faible pouvoir réflecteur.

Supposons les franges formées par de la lumière de longueur d'onde  $\lambda$  et faisons tomber sur la plaque de la lumière blanche diffuse. Un rayon incident quelconque qui passe par P coupe la série des hyperboloïdes qui correspond à des maxima de lumière en une série de points M, M', M'', ..., et les droites MP, M'P sont également inclinées sur la surface de la frange hyperbolique; donc les rayons réfléchis correspondants font partie d'un faisceau conique qui a son sommet en P'. De plus, la réflexion est sélective, c'est-à-dire qu'elle n'est efficace que pour la radiation  $\lambda$  qui a formé le système des franges.

En effet, lorsqu'on passe d'un point M au point suivant de la série, la différence de marche entre les deux rayons réfléchis croît de  $\lambda$ ; la différence de phase correspondante est égale à zéro si la radiation incidente a pour longueur d'onde  $\lambda$  et seulement dans ce cas. Les seules vibrations réfléchies en proportion appréciable sont donc celles qui avaient formé le faisceau des franges d'interférence.

Dans la démonstration précédente, P et P' sont deux sources synchrones, images d'un même point éloigné et rien n'implique que le point P' ait été obtenu par réflexion sur un miroir. On peut donc généraliser et supposer que le système de ces deux sources ait été obtenu à l'aide de l'un quelconque des dispositifs employés pour faire des franges d'interférence.

En supprimant le miroir de mercure et en fixant un biprisme, ou bien le double miroir de Fresnel, devant l'objectif, on obtiendrait encore le système des points P et P'.

Ainsi l'on peut théoriquement remplacer le miroir de mercure par l'un quelconque des systèmes inventés pour donner des franges dans l'espace. Pratiquement il n'en est pas de même : il faut que les points P et P' soient très rapprochés, et dans ce cas les défauts de construction du biprisme ou du double miroir de Fresnel font que les faisceaux interférents ne se rencontrent plus. On ne pourrait sans doute réussir l'expérience qu'en utilisant les faisceaux illimités fournis par le système de deux miroirs demi-transparentes.

### CORRESPONDANCE.

M. le **SECRETARE PERPETUEL** annonce à l'Académie l'envoi, par l'*American Philosophical Society* de Philadelphie, d'un exemplaire de la médaille frappée en l'honneur du deux-centième anniversaire de la naissance de Benjamin Franklin.

M. le **SECRETARE PERPETUEL** annonce que le Tome XLIX (Deuxième série) des *Mémoires de l'Académie des Sciences* est en distribution au Secrétariat. Ce Tome renferme la Notice sur Hermite, par M. *Darboux*, un Mémoire de M. *Bertin* et les travaux d'Histoire et d'Archéologie de M. *Berthelot*.

ASTRONOMIE. — *Résultats obtenus pour la détermination de deux constantes instrumentales qui interviennent dans certaines observations méridiennes.*

Note de M. **H. RENAN**, présentée par M. *Lœwy*.

Dans une Communication précédente (1) j'ai indiqué le principe d'une méthode nouvelle, permettant de mesurer avec une grande précision l'angle formé par les deux fils du micromètre d'un cercle méridien, en même temps que la différence des valeurs des deux vis exprimées en secondes d'arc. Du 21 mars au 7 mai de cette année, plusieurs séries d'expériences de ce genre ont été réalisées au cercle méridien du jardin de l'Observatoire de

(1) *Comptes rendus*, 16 juillet 1906.

Paris et elles ont permis de mettre en évidence un fait inattendu et fort important. Nous avons pu constater, en effet, que l'inclinaison mutuelle des deux fils mobiles n'était pas absolument constante, mais que c'était une fonction de la direction donnée à l'axe optique de la lunette. Comme les mesures effectuées au moyen de la plaque de verre ne dépendent que de la position relative des vis, il a fallu conclure de là que les châssis qui portent les fils mobiles sont susceptibles d'un petit ballotement dans les coulisses qui guident leur course. Ce mouvement est extrêmement faible : d'après nos recherches il ne peut dépasser  $0^{\text{mm}},02$ ; il est cependant très intéressant d'en posséder une évaluation exacte, afin de pouvoir corriger les observations de la petite erreur qui en résulte. Nous nous trouvons ici en présence d'un élément qui entre directement dans les mesures de la flexion horizontale de la lunette et nos études fournissent ainsi des indications précieuses pour ce genre de déterminations.

Cette même constatation a encore servi à contrôler et à expliquer une anomalie signalée depuis quelque temps au même instrument. Nous avons dit comment on peut mesurer l'angle appelé  $K$  (inclinaison du fil vertical par rapport au plan instrumental) au moyen d'une mire placée dans le méridien; le cercle étant pourvu de deux mires de ce genre, l'une au Nord et l'autre au Sud, il était facile d'effectuer cette détermination pour les deux positions correspondantes de la lunette.

Appelons  $K_n$  la valeur obtenue par la mire nord et  $K_s$ , celle répondant à la mire sud, de très nombreuses mesures ont montré que la différence  $K_n - K_s$ , au lieu d'être nulle, était une grandeur appréciable, et certainement supérieure à la limite des erreurs des observations. Il est évident que cette différence pouvait être attribuée, soit à un déplacement de l'objectif dans sa monture, soit à une variation réelle de l'inclinaison de ce fil; nos expériences rapportées plus haut ont forcément conduit à admettre cette seconde hypothèse. Le fil de déclinaison devant être affecté de cette même cause d'erreur, il était nécessaire d'en mesurer l'importance, afin d'en tenir compte dans les observations ordinaires des circompolaires.

Un procédé assez simple permet de vérifier l'exactitude de cette conclusion et d'effectuer cette détermination : il est en effet à remarquer que les fils fixes du réticule sont portés par un châssis absolument solidaire du tube de la lunette, et ne pouvant pas par suite changer de position par rapport à lui. Si donc on peut prouver que l'angle d'un fil mobile avec un fil fixe varie en même temps que la direction de la lunette, on sera certain que cela provient bien d'un ballotement de la vis. Or, par une méthode