

BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

LA

PHOTOGRAPHIE DES COULEURS

PAR LA MÉTHODE INTERFÉRENTIELLE DE M. LIPPMAN,

PAR

Alphonse BERGET,

Docteur es Sciences,

Attaché au Laboratoire des Recherches physiques
de la Sorbonne.

DEUXIÈME ÉDITION,
ENTIÈREMENT REFOUDUE.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE,

ÉDITEUR DE LA BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE, 2,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1901

(Tous droits réservés.)

4 11 1

NO 2000

A M. LE COMTE DE MONTAIGU

Je dédie ce petit Livre,
en témoignage de haute estime et de grande amitié.

Alphonse BERGET.

M 1813

8

775.62

B45

91513

35674

AVANT-PROPOS.

Le 2 février 1891, M. Lippmann, membre de l'Institut, présentait à ses collègues de l'Académie des Sciences la première photographie directe du spectre solaire avec toutes ses couleurs, reproduites et fixées d'une façon inaltérable. La méthode suivie par le savant Maître n'a rien de commun avec les essais photochromiques tentés jusqu'à ce jour; elle est tellement ingénieuse, tellement élégante dans sa géniale simplicité, qu'elle constitue certainement une œuvre scientifique plus belle encore que le résultat obtenu. Mais elle s'appuie sur des considérations de Physique supérieure qui supposent des connaissances acquises en ce qui concerne la théorie ondulatoire de la lumière.

Ce petit Livre, écrit pour la première fois quelques semaines après la découverte, avait pour but, en rappelant ces notions, de rendre intelligible le procédé nouveau et de faire apprécier sa valeur en permettant d'en saisir le mécanisme intime.

Mais, depuis ce temps, les choses ont marché vite, les progrès sont venus nombreux : grâce au désintéressement de l'éminent Physicien français, qui a mis sa découverte dans le domaine public, tout le monde a pu se lancer sans entraves dans la voie qu'il avait ouverte, et les plus habiles opérateurs de la Photographie, en France et à l'étranger, ont pu apporter chacun leur pierre à l'édifice dont le savant Professeur de la Sorbonne avait jeté les invariables fondations; ces quelques pages se sont donc vite trouvées en retard : nous les rééditons aujourd'hui en leur ajoutant ce qui est nécessaire pour les mettre au courant des progrès considérables réalisés depuis neuf ans.

ALPHONSE BERGER.

A bord de la *Caroline*, août 1900.

LÀ

PHOTOGRAPHIE DES COULEURS.

CHAPITRE I.

UN MOT D'HISTORIQUE.

Notre intention n'est pas ici de rappeler en détail toutes les tentatives faites en vue de fixer photographiquement les couleurs des objets sur des couches sensibles. Il y aurait un long et intéressant Ouvrage à écrire sur ce sujet. Il est néanmoins impossible de passer sous silence quelques noms illustres qui marquent les étapes de cette difficile carrière.

Déjà en 1810, Seebeck, professeur à Jéna, avait abordé la question et essayé d'impressionner, à l'aide d'un spectre solaire, un papier recouvert d'une couche de chlorure d'argent. Ses expériences eurent peu de retentissement et il faut arriver jusqu'en 1841 pour les voir reprises sérieusement par John Herschel, qui mit en œuvre non seulement le chlorure d'argent, mais encore le

bromure et l'iodure du même métal, ainsi que des produits naturels tels que la racine de gaiac. Certaines couleurs semblèrent, bien que passagèrement, se dessiner sur ses papiers sensibles. C'étaient déjà des résultats de nature à encourager les chercheurs, étant donné que l'on était alors au début de la Photographie; mais ces résultats furent bien dépassés par ceux d'Edmond Becquerel.

En 1848, cet illustre savant réussit, en employant une lame de plaqué d'argent recouverte d'une couche de sous-chlorure d'argent violet; à obtenir sur cette couche l'impression de toutes les couleurs du spectre solaire. Malheureusement, les couleurs ainsi réalisées s'effaçaient si l'on exposait le cliché à la lumière; essayait-on de le fixer dans un bain fixateur quelconque? toute coloration disparaissait.

L'impression de toutes les couleurs spectrales était un grand pas fait en avant et qui suffit à placer le nom de Becquerel en tête de toute histoire de la Photographie des Couleurs; mais les insuccès au point de vue du fixage, insuccès que n'avaient pu surmonter la science et l'habileté expérimentale de ce grand physicien, étaient l'obstacle auquel devait désormais se heurter tous ceux qui abordèrent la Photochromie par la méthode de l'impression directe.

De 1851 à 1866, Niepce de Saint-Victor effectua de nombreux et remarquables essais en vue de fixer les couleurs, à l'aide d'une substance chi-

mique; en 1855, Testud de Beauregard arriva aussi à des résultats intéressants; enfin, en 1865, Poitevin indiqua un procédé photochromique sur papier, dont nous avons encore pu voir pendant quelques instants des épreuves soigneusement conservées à l'abri de la lumière; car, comme tous ses prédécesseurs, Poitevin n'a jamais pu arriver à fixer définitivement ses épreuves.

Tous les essais précédents, et beaucoup d'autres encore, étaient faits par la *méthode chimique*; on cherchait toujours des substances susceptibles de s'impressionner chromatiquement sous l'influence directe des couleurs correspondantes; dans l'état actuel de la Science, ce problème semble irréalisable.

Les procédés analogues à celui de Ch. Cros et de L. Ducos du Hauron, reproduisant les couleurs par des tirages monochromatiques superposés, ne sont pas des méthodes directes, aussi n'ai-je pas à m'y étendre dans cet opuscule consacré à la Photographie directe des couleurs.

En somme, si les essais antérieurs ont été suivis d'insuccès au point de vue de la fixation des épreuves obtenues, c'est que la question n'avait pas été abordée sous son véritable aspect.

La Physique nous enseigne, en effet, que les couleurs sont le résultat d'un mouvement vibratoire. La preuve en est dans les magnifiques teintes des bulles de savon, produites dans l'épaisseur

d'une lamelle liquide parfaitement incolore par elle-même, grâce à un mécanisme que nous verrons plus loin. La solution la plus rationnelle consistait donc à chercher si, dans les propriétés des mouvements vibratoires que l'on étudie en Optique, il ne serait pas possible de retrouver celle qui produit sur notre rétine la sensation de la couleur.

C'est ce qu'a fait M. Lippmann.

Nous allons, avant d'exposer ses expériences décisives, rappeler dans les Chapitres suivants les points essentiels de la théorie des ondulations lumineuses qu'il est indispensable de connaître pour l'intelligence de la nouvelle découverte.

CHAPITRE II.

LES ONDULATIONS.

Vitesse de propagation.

Tout le monde a remarqué ces stries circulaires concentriques qui se forment à la surface d'une eau tranquille dans laquelle on a laissé tomber un caillou : elles semblent sortir d'un centre commun et se propagent lentement en produisant des rides sur le contour desquelles l'eau est alternativement soulevée et déprimée. La distance parcourue par ces *ondes liquides* pendant l'unité de temps se nomme la *vitesse de propagation* du mouvement ondulatoire. Cette vitesse, d'ailleurs, dépend uniquement de la nature du milieu.

Il ne faut pas croire que l'eau soit *transportée* dans le sens de la propagation des ondes : il est facile de s'en rendre compte en faisant flotter à la surface une petite parcelle de bois, qui s'abaisse et s'élève alternativement, mais n'est animée d'aucun mouvement de translation.

Il faut donc admettre, pour expliquer ces ondulations, que les molécules susceptibles de les trans-

mettre sont pourvues d'élasticité comme les billes d'ivoire de l'appareil représenté sur la *fig. 1*. Si l'une de ces billes, parfaitement élastique, reçoit un choc de la précédente, elle transmet à la suivante la totalité du mouvement reçu; de sorte que,

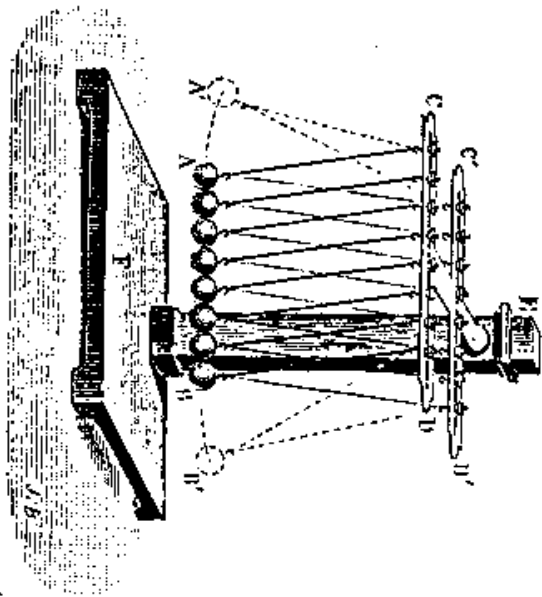


Fig. 1.

si l'on écarte la première bille A jusqu'en A' et qu'on la laisse retomber, on ne verra pas, comme on pourrait tout d'abord s'y attendre, l'ensemble des billes en repos poussé vers la droite; ce sera la dernière bille B qui sera seule poussée jusqu'en B'. Le mouvement s'est donc propagé de proche en proche de la première à la dernière, sans que les billes intermédiaires aient fait autre chose que transmettre ce mouvement.

Les molécules d'un corps quelconque se comportent comme les billes d'ivoire de notre expérience: elles reçoivent un mouvement de la molécule précédente et le transmettent intégralement à la molécule suivante, tout en restant individuellement immobiles; de sorte que tout ébranlement affectant une molécule d'un milieu élastique se transmettra aux molécules contiguës à la première; celles-ci le transmettront à celles qui les suivent, et ainsi de suite.

Mouvements vibratoires.

Parmi les divers ébranlements qui peuvent être produits dans un milieu donné, il en est qui sont plus intéressants que les autres: ce sont ceux qui sont périodiques, c'est-à-dire qui se reproduisent dans les mêmes conditions après des intervalles de temps égaux.

Une lame d'acier pincée dans un étau par une de ses extrémités en offre un exemple: quand on écarte l'extrémité libre de la position qu'elle occupe au repos, elle tend à y revenir en exécutant une série d'oscillations qui durent sensiblement le même temps. En un mot, la lame *vibre*.

On conçoit que si une pareille lame est placée au-dessus de la surface d'un liquide de façon qu'elle vienne en toucher un point, toujours le même, à chacune de ses oscillations, les ondes se produiront

autour de ce point sans interruption, et le mouvement ondulatoire sera continu comme dans le premier cas, avec cette différence que, dans le cas d'un seul ébranlement comme celui que produit la chute d'un caillou dans l'eau, les vibrations d'un point du milieu, tout en gardant la même durée, ont des *amplitudes* qui vont en décroissant sans cesse, tandis que, si l'ébranlement se répète périodiquement, elles conservent toujours leur amplitude première : le mouvement ondulatoire représente alors un phénomène dont *l'intensité* reste constante.

Longueur d'onde. Durée de la vibration.

Nous avons vu que tout mouvement ondulatoire se transmettait dans un milieu déterminé avec une vitesse constante que l'on appelle sa *vitesse de propagation* : c'est l'espace parcouru par l'onde pendant l'unité de temps.

Quand les ondes proviennent d'un mouvement vibratoire, il y a une longueur encore plus intéressante à considérer : c'est la longueur du chemin parcouru par l'onde, non plus pendant l'unité de temps, mais pendant la durée d'une vibration : cette longueur se nomme la *longueur d'onde*, et c'est elle qui joue dans l'étude des phénomènes physiques le rôle le plus important.

Il résulte de là que la vitesse de propagation peut être envisagée à deux points de vue : ou bien ce

sera le chemin parcouru par l'onde pendant l'unité de temps, pendant une seconde, par exemple ; ou bien ce sera l'espace parcouru par cette même onde pendant le temps que met une oscillation du corps vibrant à s'effectuer complètement.

Ondes sonores.

C'est en obéissant aux lois qui régissent le mécanisme précédent que se transmet le son, résultat d'un mouvement vibratoire.

Tout corps vibrant émet un son, que ce corps soit un solide comme l'acier, un liquide comme le mercure, un gaz comme l'air ; et réciproquement, à tout son correspond un mouvement vibratoire à tout son correspond un mouvement vibratoire situé quelque part dans l'espace. Aussi l'étude des propriétés des sons constitue-t-elle la manière la plus simple et la plus démonstrative d'étudier les ondulations.

Le corps sonore M (*fig. 2*) étant un centre de vibrations, devient aussi un centre de propagation des ondes auxquelles il donne naissance. Si le milieu propagateur est homogène, les ondes sont sphériques, c'est-à-dire qu'au bout d'un certain temps le mouvement vibratoire s'est propagé jusqu'en tous les points de la surface d'une sphère ABC. Chacun de ces points devient à son tour, à chaque instant, un centre d'oscillations, et émet une onde également sphérique. Ces nouvelles ondes, A', B', C',

sont égales entre elles, et ont pour *enveloppe* une sphère plus grande que l'on voit dessinée sur la

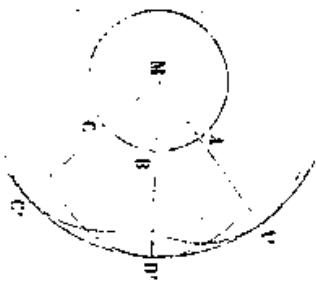


Fig. 2.

figure : c'est sur cette sphère que le son arrive au bout d'un temps donné.

Mais nous n'aurons pas toujours à considérer comme source vibrante un point unique. Ce cas, qui n'existe qu'à l'état d'hypothèse, n'est même jamais réalisé dans la pratique, les points maté-

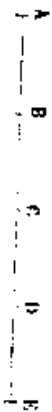
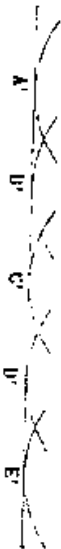


Fig. 3.



riels ayant toujours des dimensions appréciables. Supposons donc que le corps vibrant soit un *plan*, c'est-à-dire que l'on ébranle à la fois une série de

points A, B, C, D, E (Fig. 3), situés sur une même surface plane et en ligne droite. Chacun d'eux étant un centre d'ébranlement devient le centre d'une onde sphérique, mais toutes ces ondes sphériques, étant égales et très rapprochées, auront le même rayon au bout du même temps; elles auront donc pour *enveloppe* le plan A'B'C'D'E' qui touche toutes les sphères d'onde. En un mot, l'onde se propage comme si sa surface était elle-même un plan, c'est-à-dire comme si le plan ABCDE se déplaçait parallèlement à lui-même avec une vitesse égale à la vitesse de propagation du mouvement ondulatoire original.

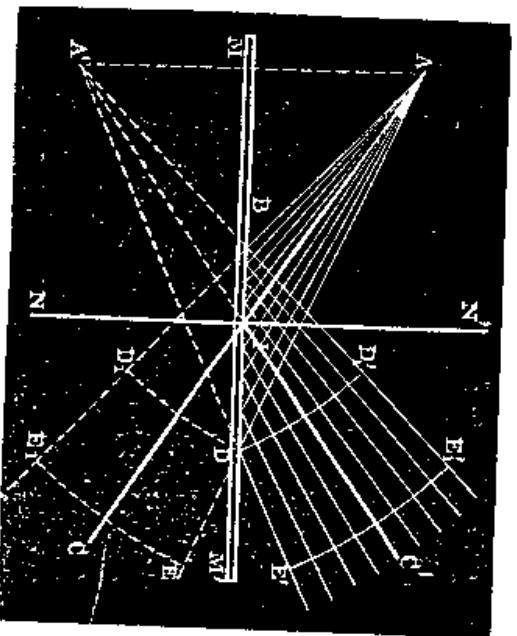
CHAPITRE III.

LES INTERFÉRENCES.

Réflexion du mouvement ondulatoire.

Imaginons une onde, ayant pour origine un centre d'ébranlement A (fig. 4). Si cette onde se propa-

Fig. 4.



seait librement, le mouvement vibratoire, au bout d'un certain temps, serait arrivé à la surface d'une

sphère DD_1 ; plus tard il serait sur une sphère de rayon plus grand EE_1 , et ainsi de suite; mais il n'en est plus de même si l'onde, en se propageant, n'en est plus de même si l'onde, en se propageant, vient à rencontrer un obstacle fixe MM' (une surface plane, par exemple, comme la face réfléchissante d'un miroir poli). Dans ce cas, l'onde change sa direction de propagation : elle se *réfléchit*, et au bout du temps où le mouvement serait primitivement arrivé en DD_1 , il arrive en tous les points d'une sphère DD'_1 , symétrique de la première par rapport au plan du miroir; en d'autres termes, tout se passe comme si le centre d'ébranlement, au lieu d'être en A, était situé en un point A' , situé de l'autre côté du plan MM' à la même distance que le point A. Cette nouvelle onde n'existe pas tout entière réellement : il n'y a que la portion déviée par le miroir qui ait une existence réelle; on la nomme l'*onde réfléchie*, tandis que la première se nomme l'*onde directe*.

En particulier, on peut faire réfléchir une onde plane sur un obstacle plan. Dans ce cas, la direction de propagation de l'onde directe et la direction de propagation de l'onde réfléchie font avec le miroir des angles égaux, absolument comme la bille de billard, après avoir frappé la bande, se réfléchit en faisant un *angle de réflexion égal à l'angle d'incidence*.

Interférence de l'onde directe et de l'onde réfléchie.

Nous pouvons, en particulier, faire tomber l'onde incidente, une onde sonore, par exemple, perpendiculairement à la surface réfléchissante. Dans ce cas, l'onde réfléchie suit exactement la route inverse, et croise, en revenant, l'onde incidente qui continue à arriver sur le miroir. Que va-t-il alors se passer ?

N'oublions pas que chaque point du milieu situé en avant du miroir participe au mouvement ondulateur et vibre en exécutant des oscillations autour de sa position d'équilibre. Dès lors, un point quelconque se trouvera sollicité à la fois par deux mouvements ondulatoires : le mouvement direct et le mouvement réfléchi. Si ce point est dans des conditions telles que les deux vitesses qui le sollicitent du fait de ces deux mouvements aient, à un instant donné, la même direction, ces vitesses s'ajouteront l'une à l'autre et il en résultera un accroissement dans la vibration propre du point considéré; mais si ces deux vitesses sont, au même instant, égales et de sens contraires, les deux mouvements s'annuleront, et le point considéré restera en repos. Si c'est d'une onde sonore qu'il s'agit, il y aura en ce point extinction de tout bruit : il y aura silence.

L'étude des mouvements vibratoires conduit donc à cette conséquence remarquable que du son ajouté à du son peut produire, tantôt une duplication du mouvement sonore, tantôt une annulation de ce mouvement. Une expérience célèbre, faite par le colonel Napoléon Savart en 1839, a apporté à cet énoncé une éclatante confirmation expérimentale. En avant d'un grand mur de la citadelle d'Alger, cet officier avait placé un timbre qu'il faisait vibrer en le frappant avec un marteau. Le timbre devenait le centre d'une onde directe qui se propageait jusqu'au mur et s'y réfléchissait. Or, en promenant l'oreille sur la ligne droite allant du timbre à la muraille, il constata l'existence de points équidistants auxquels le son s'éteignait complètement; ces points étant séparés par d'autres, également équidistants, où le son était énergiquement renforcé. L'existence des interférences était donc démontrée d'une façon matérielle.

L'étude des tuyaux sonores, comme les tuyaux d'orgue, et celle de la vibration des cordes de violon, montrent bien aussi qu'il y a des points où la vibration est nulle, où le mouvement est éteint, tandis qu'en d'autres points il est renforcé. Les premiers s'appellent des *nœuds* et les seconds des *ventres*.

Nous dirons donc qu'en avant d'une surface plane sur laquelle vient tomber une onde plane, il y a une série de plans équidistants, dans lesquels

tout mouvement est éteint : ce sont les plans *nodaux*, ces plans sont séparés par des plans parallèles où le mouvement est renforcé : ce sont les plans *ventraux*. La distance entre deux plans *nodaux consécutifs* ou entre deux plans *ventraux consécutifs* est toujours égale à une demi-longueur d'onde.

CHAPITRE IV.

LES ONDES LUMINEUSES.

L'éther lumineux.

Les principes précédents ont une vérification continuelle dans l'étude des phénomènes sonores qui constitue la partie de la Physique appelée *Acoustique*. L'honneur de donner la première théorie rationnelle de la lumière, en la considérant comme résultat d'un mouvement ondulatoire, était réservé à un savant français : j'ai nommé Augustin Fresnel.

Par une conception de génie, l'illustre physicien imagina qu'un point n'était lumineux que parce qu'il était un centre de vibrations très rapides, et que ces vibrations se transmettaient à travers un milieu spécial. Ce milieu hypothétique ne devait pas être un gaz, puisque la lumière se transmet dans le vide. Fresnel lui a donné le nom d'*éther*, et a admis qu'il remplissait tout, même les espaces interplanétaires. Les molécules de ce milieu, douées d'une élasticité parfaite, jouent dans cette hypothèse le rôle des billes d'ivoire de l'expérience que

nous avons faite en commençant cet exposé; elles se transmettent de l'une à l'autre, sans néanmoins quitter leurs places respectives, l'impulsion reçue par la première d'entre elles.

Vitesse de la lumière.

Cette transmission du mouvement vibratoire, de molécule à molécule, se fait dans l'éther avec une vitesse considérable.

On a pu mesurer par des expériences directes, les unes inspirées par l'Astronomie, les autres du domaine de la Physique pure, la vitesse avec laquelle se propage une onde lumineuse; toutes les expériences ont été sensiblement d'accord et ont donné le résultat suivant :

La lumière se propage avec une vitesse de trois cent mille kilomètres par seconde.

Ainsi, pour donner une idée de la rapidité de cette transmission, nous dirons qu'un rayon lumineux met huit minutes à franchir la distance qui sépare la Terre du Soleil. Puisque, d'ailleurs, nous avons admis que la lumière avait pour origine un mouvement vibratoire, ce mouvement se transmettra dans l'éther, par ondulations, comme le son dans l'air. Chaque onde est une sphère, qui augmente rapidement de diamètre, comme un ballon qui se gonflerait assez vite pour que son rayon s'accrût de 300 000 kilomètres par seconde.

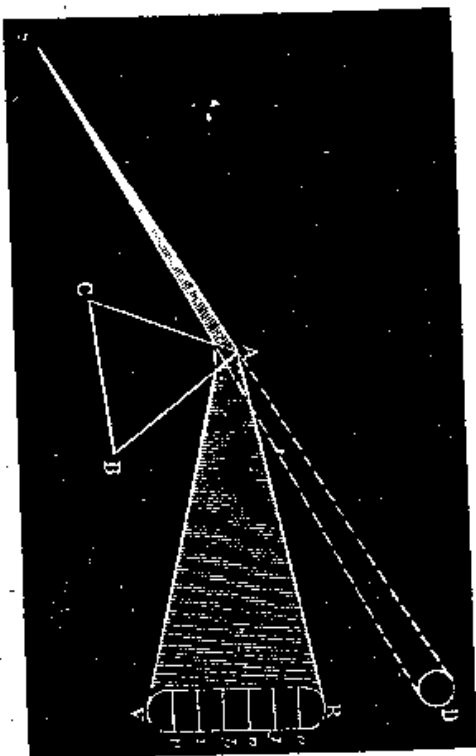
A une distance infinie de son point de départ, une petite portion de cette surface sphérique est sensiblement plane.

Lumière blanche. Couleurs simples.

C'est Newton qui a découvert la complexité de la lumière blanche, en instituant l'expérience classique du spectre solaire.

Par une ouverture très petite, S (fig. 5), il fit

FIG. 5.



pénétrer dans une chambre obscure un rayon horizontal de lumière solaire. Ce rayon, si on l'avait laissé cheminer librement, aurait été dessiner sur un écran une image brillante et ronde, D. Newton plaça sur son chemin un prisme de verre à arêtes verticales, dans la position indiquée par la figure.

Aussitôt le faisceau incident était dévié de sa direction première. En même temps il s'étalait et venait former sur l'écran, non plus une image ronde, mais une bande allongée qui présentait toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, rangées dans l'ordre suivant que résume l'alexandrin célèbre :

Violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge.

Le violet est la couleur la plus déviée, et se trouve à l'une des extrémités de ce *spectre* coloré, tandis que le rouge, moins dévié que les autres, se trouve à l'autre extrémité.

La lumière blanche était donc décomposée par un prisme en *couleurs simples*.

En recevant ce spectre sur un miroir tournant lentement et en regardant ce miroir dans une direction fixe, Newton voyait successivement toutes les couleurs du spectre; mais, si la vitesse du miroir s'accélérait, l'œil voyait toutes les couleurs simultanément, et de cette superposition des impressions résultait la sensation de la lumière blanche. Il avait donc reconstitué, par une expérience inverse, la lumière blanche à l'aide des couleurs simples, démontrant ainsi, par une expérience concluante, la réciproque de sa proposition fondamentale.

Couleurs complémentaires.

Cachons, à l'aide d'un obstacle opaque, une partie des rayons du spectre, et examinons les teintes restantes à l'aide du miroir tournant animé d'un rapide mouvement : il nous manque des couleurs; nous n'aurons donc plus de blanc, mais une certaine couleur A. Faisons la même expérience, mais cette fois en cachant les couleurs précédemment examinées, et en examinant au miroir celles que nous avons cachées tout à l'heure; nous aurons une autre couleur résultante B.

Évidemment les couleurs A et B, mélangées ensemble, reproduiraient de la lumière blanche : on les appelle *couleurs complémentaires*.

Théorie de Fresnel.

Comment expliquer, dans la théorie des ondulations, les différences de coloration des diverses parties du spectre?

Fresnel a réussi à trouver cette explication, en comparant les couleurs simples aux notes musicales de la gamme.

Nous avons vu que tout son était produit par un corps vibrant, engendrant une onde qui arrivait jusqu'à notre oreille pour y produire la sensation sonore. Mais tous les sons ne sont pas identiques,

et nous savons très bien distinguer une note *aiguë* d'une note *grave*. Les physiciens ont étudié ce caractère d'acuité et de gravité des divers sons, et sont arrivés à cette conclusion expérimentale que les sons émis par un même corps vibrant étaient d'autant plus élevés que les vibrations étaient plus rapides, quelle que soit la nature du corps vibrant. A chaque son correspond donc une longueur d'onde qui lui est propre.

Mais alors, direz-vous, les sons aigus se transmettent plus vite, dans l'air, que les sons graves?

Point du tout, ils parcourent plus vite la distance qui sépare un nœud d'un autre nœud; mais comme ces nœuds sont plus nombreux, l'espace total parcouru par un son, quelle que soit sa hauteur, pendant une seconde, est toujours le même; la vitesse du son dans l'air est 330 mètres par seconde.

Nous en avons, du reste, une preuve matérielle toutes les fois que nous écoutons un orchestre à distance : la mélodie et l'harmonie nous arrivent et nous donnent, à l'intensité près, la sensation exacte du morceau exécuté. Cela n'aurait pas lieu si les sons aigus des violons et des flûtes cheminaient plus vite que les sons graves des trombones et des contrebasses, et, au bout d'une sensation égale, nous n'entendrions plus qu'une étonnante cacophonie dont les désagréments croîtraient avec la distance.

Fresnel a comparé les couleurs simples aux sons simples.

Il a admis que le nombre des vibrations effectuées pendant une seconde par un point lumineux qui émet de la lumière *rouge* n'était pas le même que celui qui correspond à la lumière *jaune*. Il en résulte, inversement, que la *longueur d'onde* sera différente pour ces différentes couleurs. Le Tableau suivant donne les nombres de vibrations effectuées en une seconde par un point lumineux émettant les diverses couleurs. Cette comparaison des sons aux notes de la gamme musicale n'est, d'ailleurs, qu'un moyen d'explication, et il n'y a pas de *gamme* de couleurs dont les éléments soient susceptibles, en se combinant, de former des *accords*.

1. *Nombres de vibrations correspondant aux diverses couleurs.* — On a, du reste, pu déterminer, par des expériences précises autant que délicates, les nombres de vibrations correspondant aux diverses couleurs simples. Voici quelques-uns de ces nombres :

Rouge.....	497 milliards, par seconde.
Orange.....	524
Jaune.....	570
Vert.....	604
Bleu.....	648
Indigo.....	685
Violet.....	728

2. Longueurs d'onde des couleurs simples.

— Voici maintenant le Tableau qui donne les longueurs d'onde correspondant aux diverses couleurs simples :

Rouge.....	6,20	dix-millimètres de millimètre.
Orangé....	5,83	"
Jaune.....	5,51	"
Vert.....	5,12	"
Bleu.....	4,75	"
Indigo....	4,49	"
Violet....	4,23	"

Le rouge a donc de l'analogie avec les notes graves de l'échelle musicale, et le violet avec les notes aiguës.

Les couleurs complexes.

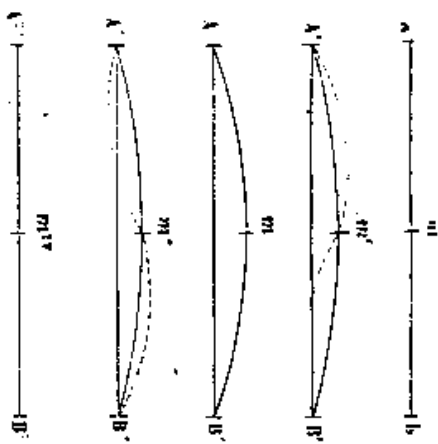
Comment expliquer maintenant les couleurs complexes, non plus celles du spectre qui sont simples, mais celles des corps naturels?

Nous aurons encore recours aux propriétés des mouvements vibratoires, et une comparaison avec les phénomènes sonores nous rendra plus facile à saisir la théorie des couleurs.

Plusieurs mouvements vibratoires peuvent se superposer l'un à l'autre. Ainsi, quand une corde est tendue sur une caisse sonore, comme la corde d'un violoncelle, on peut la faire vibrer tout en-

tière. Ses deux extrémités seront immobiles, seront deux nœuds, tandis que son milieu vibrera avec l'amplitude maxima : ce sera un ventre. Mais on peut attaquer cette corde avec l'archet de manière que, tout en vibrant dans son ensemble, chacune de ses moitiés vibre individuellement, suivant les contours ponctués représentés par la *fig. 6*.

Fig. 6.



Dans ces conditions, nous réalisons la superposition de deux mouvements vibratoires : celui de la corde entière et celui de ses deux moitiés vibrant isolément. Il en résulte un son complexe, formé du son fondamental et de son harmonique superposé; c'est cette superposition qui donne à l'oreille les sensations du *timbre* des différents sons, c'est-à-dire celles qui différencient une note jouée par une clarinette de la même note jouée par un violon.

La *phonographie* est un instrument basé sur ce principe : les vibrations d'une seule membrane peuvent reproduire plusieurs mouvements vibratoires superposés, rendre la parole humaine et l'enregistrer par un gaufrage piqué sur un cylindre malléable. De même, quand nous sommes dans une chambre dont les fenêtres sont fermées, nous entendons parfaitement une musique militaire qui passe dans la rue, et cependant c'est la seule surface du verre vibrant sous l'influence des sons émis au dehors, qui nous transmet les sons si complexes des instruments à vent.

Les couleurs complexes, telles que le marron, les différentes nuances de vert, etc., s'expliquent par un mécanisme analogue. Elles résultent de la superposition de plusieurs mouvements vibratoires simples.

Coloration des corps.

Disons à ce propos ce qu'on entend par *couleur* des corps.

La couleur résulte de la diffusion des rayons qui éclairent un corps. Ce corps en absorbe quelques-uns et en réfléchit d'autres dont le mélange produit sur l'œil l'impression d'une teinte déterminée. Une tapisserie nous paraît rouge parce qu'elle réfléchit surtout la lumière rouge et qu'elle absorbe les autres couleurs.

Les corps qui réfléchissent tous les rayons solaires, quels qu'ils soient, nous paraissent blancs ; ceux qui les absorbent tous, au contraire, nous semblent noirs.

Il est évident, d'après cela, que la couleur apparente d'un corps pour notre œil doit varier avec la nature de la lumière qui l'éclaire ; elle n'est pas la même au jour ou à la lumière électrique, ou à celle de l'acétylène, qui sont des lumières blanches contenant tous les rayons, qu'à la lumière exclusivement jaune du gaz. Avec une lumière monochromatique, elle participe forcément à la teinte même de cette lumière.

CHAPITRE V.

INTERFÉRENCES DE LA LUMIÈRE.

Expérience des deux miroirs.

Fresnel avait envisagé les phénomènes lumineux comme étant produits par des vibrations. La lumière doit donc présenter les particularités de tous les mouvements ondulatoires, et il doit être possible de produire des interférences avec deux ondes lumineuses.

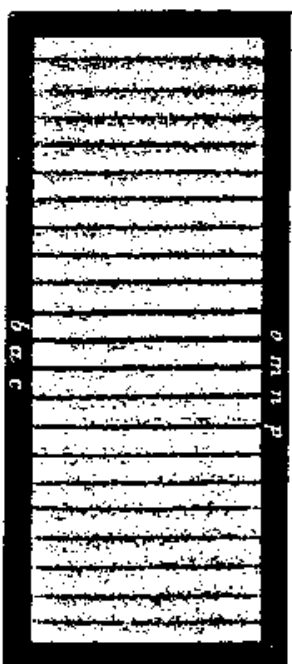
A cet effet, on prend deux miroirs faisant entre eux un très petit angle : un point lumineux placé en avant donne, en arrière de ces miroirs, deux images très rapprochées, qui peuvent être considérées chacune comme le centre d'une onde distincte.

Si ces ondes, arrivant en un point, sont telles qu'elles aient parcouru des chemins différents et que leur différence de marche soit, ou une demi-longueur d'onde, ou un nombre impair de demi-longueurs d'onde, ce point aura au même instant deux vitesses égales et de signes contraires : il y aura donc annulation du mouvement vibratoire, c'est-

à-dire obscurité. Il y aura, au contraire, redoublement de lumière en tous les points où les deux ondes auront, ou parcouru le même chemin, ou parcouru des chemins dont la différence est un nombre entier de longueurs d'onde.

Si l'on a eu soin d'opérer avec une lumière parfaitement monochromatique, on aura donc, sur

Fig. 7.

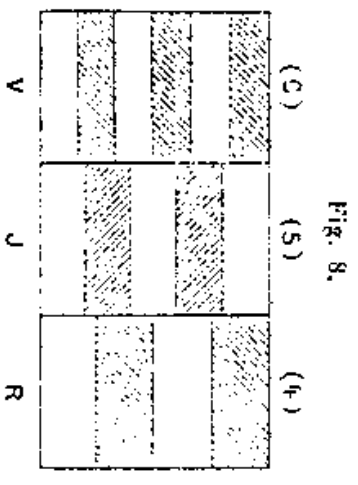


un écran placé en face des deux miroirs, une série de franges, alternativement brillantes et obscures, parallèles à l'intersection des deux miroirs, comme le représente la Fig. 7.

Si nous avons opéré avec de la lumière jaune et que nous la remplacions par de la lumière plus réfrangible, de la lumière violette par exemple, les franges sembleront se resserrer les unes vers les autres. La Fig. 8 montre l'écartement relatif des franges dans le rouge (R), dans le jaune (J) et dans le violet (V).

Si enfin nous employons de la lumière blanche,

l'effet produit sera la résultante des effets partiels que l'on obtiendrait avec chacune des couleurs



simples séparément : on aura donc des franges irisées, présentant les différentes couleurs du spectre.

Interférences dans la réflexion normale.

L'expérience précédente, imaginée et réalisée pour la première fois par Fresnel, est très brillante et relativement facile à répéter : elle nous prouve nettement l'existence des interférences lumineuses. Nous pourrions donc être certains que, quand une onde directe et une onde réfléchie se rencontrent, elles pourront et devront interférer.

En particulier — et ceci est d'une importance capitale pour le sujet qui nous occupe, — quand on fait tomber de la lumière perpendiculairement à la surface d'un miroir plan, l'onde réfléchie inter-

férera avec l'onde directe, en donnant naissance, en avant du miroir, à une série de plans parallèles, alternativement brillants et obscurs : les plans obscurs correspondent aux interférences, et la vibration lumineuse y est éteinte; elle est, au contraire, doublée dans les plans lumineux, et l'on réalise ainsi en Optique l'expérience faite avec les sons par le colonel Savart. Deux plans obscurs consécutifs (deux plans *nodaux*, comme on dit en Physique) sont séparés l'un de l'autre par un intervalle d'une demi-longueur d'onde. Il en est de même de deux plans *ventraux* consécutifs.

Ce phénomène se produit toutes les fois qu'une onde se réfléchit sur un miroir, nous allons voir ce qui a lieu quand la lumière rencontre une lame mince, c'est-à-dire une lame transparente, dont les deux faces parallèles sont séparées par une épaisseur très faible.

Anneaux colorés de Newton.

Les interférences vont nous servir à expliquer l'un des phénomènes naturels les plus intéressants : je veux parler des couleurs que présentent les lames minces.

Tout le monde a remarqué ces teintes merveilleusement pures que présentent les bulles de savon. En les examinant, on y reconnaît aisément les teintes simples du spectre. Malheureusement elles

se prêtent mal à l'étude, à cause de leur caractère fugitif et changeant.

Le génie de Newton avait pressenti la cause du phénomène : l'illustre physicien la voyait dans la minceur même de la lamelle liquide qui forme la bulle. Il imagina alors de reproduire le phénomène avec plus de régularité, et voici le dispositif qu'il a adopté :

Sur une lame de glace rigoureusement plane (*fig. 9*), on pose par sa face sphérique une len-

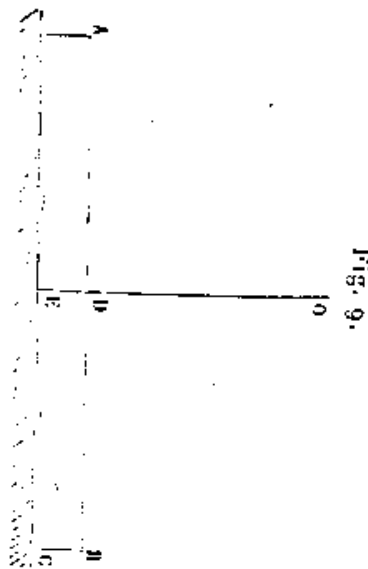


Fig. 9.

ille plan-convexe *ADBE*, qui touche par un seul point, le point *E*, la glace de verre. A partir de ce point, les deux lames sont séparées par une tranche d'air d'autant plus épaisse qu'elle est plus éloignée du point de contact.

Dans ces conditions, voici ce que l'on observe :

Si l'on éclaire ce système des deux verres ainsi superposés par de la lumière monochromatique (telle que la lumière jaune qui résulte de la com-

bustion d'une lampe à alcool salé), on voit *par réflexion* une tache noire centrale entourée d'anneaux concentriques, alternativement brillants et obscurs. Ces anneaux ne sont pas équidistants : ils se resserrent d'autant plus qu'ils sont plus éloignés du centre noir correspondant au point de contact des deux verres.

En employant une lumière de nature différente, on voit le diamètre des anneaux augmenter ou diminuer suivant que la longueur d'onde de la lumière employée est plus grande ou plus petite.

Il résulte de là que, si l'on éclaire l'appareil avec de la lumière blanche, on aura la superposition des effets obtenus avec les diverses lumières simples. Les couleurs ne coïncident pas ; par conséquent on n'aura pas un système d'anneaux alternativement noirs et blancs : on aura des anneaux irisés des couleurs de l'arc-en-ciel, absolument comme le sont les franges d'interférences dans les miroirs de Fresnel quand on emploie la lumière blanche.

Mais ce n'est pas tout. Au lieu de regarder le système de nos deux verres *par réflexion*, nous pouvons le regarder *par transparence*, c'est-à-dire l'interposer entre notre œil et la lumière diffuse. Dans ce cas, on observe encore des anneaux, seulement ils sont inverses des précédents : là où il y avait un anneau blanc nous observons un anneau obscur et réciproquement. Par exemple, le centre qui était obscur et formait une tache

noire quand on regardait le système par réflexion devient brillant quand on l'observe par transparence, et, si l'on se sert de lumière blanche, les anneaux que l'on observe de la seconde manière ont exactement les couleurs complémentaires de ceux que l'on avait observés en premier lieu.

Lois du phénomène.

Newton a étudié de plus près cette admirable expérience.

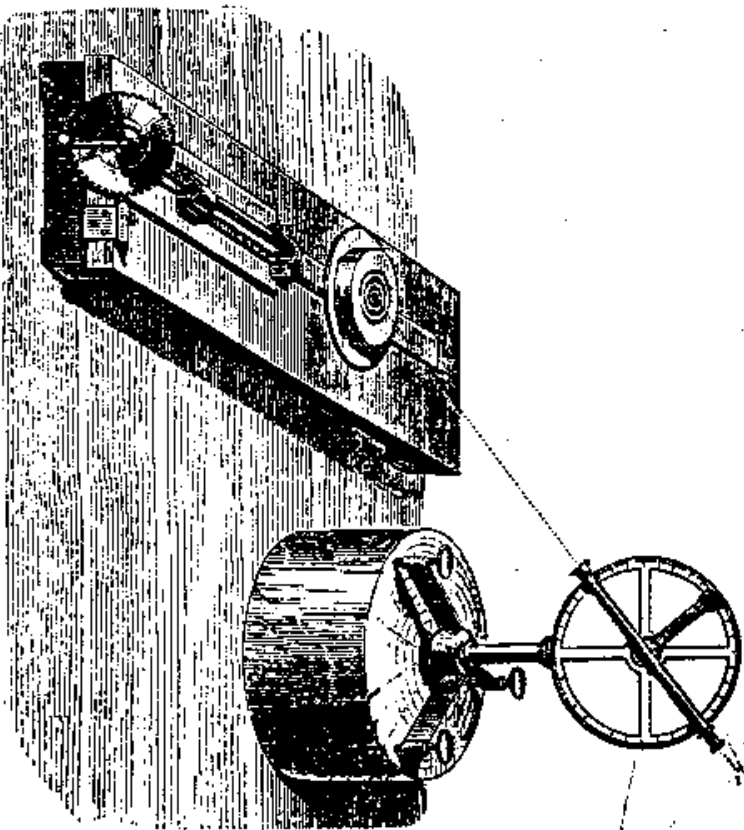
Il plaçait son œil en O, sur la verticale OMM (fig. 9) et prenait avec un compas les diamètres successifs des divers anneaux : l'écartement des branches du compas était ensuite mesuré à l'aide d'une règle divisée.

Deux savants français, de la Provostaye et Desains, ont réalisé, pour étudier les anneaux de Newton, un appareil très précis que représente la fig. 10.

Le système des deux verres, lentille et glace, se voit sur la figure avec les anneaux qui s'y produisent et que l'on peut observer plus commodément à l'aide d'une lunette. Les deux verres sont portés sur un chariot mobile que l'on peut faire mouvoir le long d'une règle divisée à l'aide d'une vis micrométrique qui lui imprime des déplacements aussi petits que l'on veut, et connus très exactement. On éclaire le tout avec de la lumière jaune.

En mesurant ainsi avec le plus grand soin les

Fig. 10.



diamètres successifs des divers anneaux, on a pu énoncer la loi suivante :

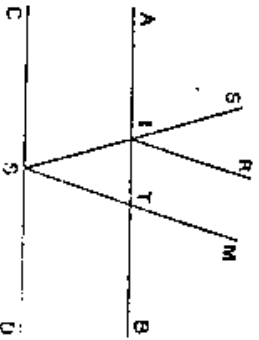
Les épaisseurs des anneaux obscurs sont égales aux multiples pairs successifs du quart de la longueur d'onde de la lumière employée. — Les épaisseurs des anneaux brillants sont égales aux multiples impairs de la même quantité.

Théorie des anneaux de Newton.

Il y a donc une relation entre les dimensions des anneaux et la longueur d'onde. Les propriétés des interférences vont maintenant nous permettre d'expliquer le phénomène.

Représentons-nous une lame mince transparente, ABCD (fig. 11), limitée par deux surfaces très

Fig. 11.



voisines AB et CD : par exemple une tranche d'air comprise entre deux lames de verre. Laçons sur l'appareil un rayon lumineux SI : avant de continuer son chemin à travers la tranche d'air, une portion de ce rayon se réfléchira sur la première lame de verre, suivant IR; l'autre portion arrivera jusqu'à la seconde lame, CD, sur laquelle elle se réfléchira suivant STM.

Les deux rayons réfléchis IR et TM vont donc avoir parcouru des rayons différents : le second aura parcouru, en plus du chemin parcouru par le

premier, la ligne brisée IST; il sera donc *en retard sur le premier*.

Suivant que ce retard sera un multiple impair ou pair de la demi-longueur d'onde, les deux rayons réfléchis interféreront ou donneront un redoublement de la couleur ayant la même longueur d'onde. Les lames minces permettent donc d'avoir la sensation des couleurs, quoiqu'elles soient elles-mêmes formées d'une substance parfaitement transparente. Les couleurs des lames minces ne prennent d'ailleurs la forme d'anneaux que par suite de la disposition de la lentille au-dessus de la glace de verre. Dans le cas où les deux faces réfléchissantes sont parallèles, on a des franges rectilignes ou peu courbées, qui ressemblent aux franges de l'expérience des deux miroirs. Si l'épaisseur était rigoureusement constante, on aurait une couleur uniforme.

CHAPITRE VI.

LA PHOTOGRAPHIE DES COULEURS.

Principe de l'expérience de M. Lippmann.

Ces notions nécessaires étant acquises, voici maintenant le principe de l'expérience de M. Lippmann :

Considérons un miroir plan métallique, et supposons que sa face réfléchissante ait été recouverte, par les procédés ordinaires de sensibilisation, d'une couche impressionnable formée d'albumine ou de collodion au chlorure ou bromure d'argent. Supposons en outre que cette couche soit *transparente, continue et sans grains*. Faisons tomber sur elle un rayon d'une lumière quelconque, colorée, ayant une longueur d'onde déterminée, et occupant par conséquent une place déterminée dans le spectre : Les rayons incidents traverseront la couche sensible et transparente, se réfléchiront sur la surface polie, et reviendront sur leurs pas; mais ils rencontreront en revenant les rayons qui arrivent. Nous aurons alors deux ondes lumineuses : une onde directe et une onde réfléchie,

qui vont produire des interférences et donner naissance à des plans *nodaux et ventraux*. L'espace en avant du miroir sera donc rempli de plans parallèles, alternativement brillants et obscurs, deux plans consécutifs de même nature étant séparés par une distance égale à une demi-longueur d'onde, c'est-à-dire, dans le cas de la lumière jaune, à la *quatre-millième partie d'un millimètre*. Il y aura, par conséquent, plusieurs de ces plans situés dans l'épaisseur même de la couche sensible, qui est de l'ordre du dixième de millimètre.

Les plans brillants seuls impressionneront cette couche, et cette impression viendra en noir au développement, tandis que les tranches correspondant aux plans obscurs ne seront pas impressionnées. Si donc nous mettons la plaque développée dans l'hyposulfite de soude, toute la matière sensible à la lumière et non altérée va se dissoudre, et il ne restera que des tranches infiniment minces d'argent réduit, là où il y avait les plans brillants. Il en résulte que toute l'épaisseur de la couche photographique sera partagée en tranches par des plans d'argent métallique, parallèles entre eux et séparés l'un de l'autre par une distance égale à la demi-longueur d'onde de la lumière qui a impressionné la plaque.

Mais deux de ces plans constituent, avec la matière transparente qu'ils comprennent entre eux,

une lame mince, et précisément une lame mince d'épaisseur telle que, d'après la théorie des anneaux de Newton, les rayons réfléchis sur ses deux faces donnent, en interférant entre eux, la sensation de la couleur correspondante.

Donc, quand on regardera par réflexion la plaque fixée et séchée, on verra reproduite la couleur même de la lumière que l'on a fait tomber sur la plaque. On ne verra d'ailleurs que celle-là; en effet, ce système de lames parallèles à écartement réglé par la lumière elle-même constitue un véritable *filtre* pour tous les rayons dont la lumière blanche est composée; il ne renvoie à l'œil que ceux dont la longueur d'onde correspond à l'écart des plans d'argent réduit, c'est-à-dire ceux de la lumière qui a impressionné la plaque, absolument comme un pignon denté ne peut engrainer qu'avec une crémaillère dont les dents ont le même écartement que les siennes.

Choix des plaques sensibles.

Tel est le principe de cette merveilleuse expérience, si simple et si scientifique dans son essence. Mais cette simplicité de conception exige une grande précision dans la réalisation expérimentale.

Tout d'abord, il faudra exclure les plaques au gélatinobromure ou au gélatinoclorure que l'on trouve dans le commerce, et dont la couche sen-

sible est une émulsion. Vu au microscope, une telle couche présente un *grain* très grossier, provenant des parcelles solides de la matière sensible. Les particules de ce grain ont des dimensions considérables par rapport à la demi-longueur d'onde : elles obstrueraient donc complètement la couche, déformeraient les plans réfléchissants et empêcheraient toute manifestation du phénomène chromatique. Les plaques du commerce sont, en outre, le plus souvent opaques, et ne seraient pas susceptibles d'être traversées par l'onde directe et l'onde réfléchie, ce qui est un second motif d'exclusion.

Il sera donc naturel de s'adresser de préférence aux couches sensibles de collodion ou d'albumine, qui ont l'avantage d'être continues et transparentes. Ces couches seront préparées par la méthode ordinaire, et ne contiendront pas d'émulsion, mais seront sensibilisées au bain d'argent, comme dans les anciens procédés au collodion. Les couches mixtes d'albumine et de collodion qui constituent le procédé *Taeyenot* ont donné d'excellents résultats. M. Lippmann a aussi fait usage de plaques gélatinées, sensibilisées au bain d'argent, comme la glace collodionnée.

En somme, pourvu que la couche n'ait pas de grains, ou du moins, pourvu que son grain soit de dimensions négligeables vis-à-vis de la demi-longueur d'onde, toutes les préparations sensibles pourront être employées. C'est ainsi que MM. Lu-

mière ont fait usage d'une émulsion très légère au gélatinobromure, ne contenant pas de grains et dont on trouvera la formule plus loin.

Premiers dispositifs de M. Lippmann. Exposition de la plaque.

Il restait à réaliser la juxtaposition de la couche sensible à un miroir plan.

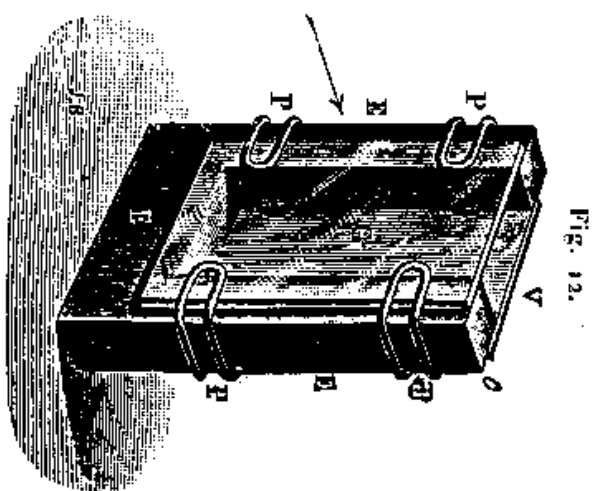
L'idée qui se présente naturellement à l'esprit est d'argenter une glace à faces parallèles, de polir le dépôt d'argent et d'appliquer directement la couche sensible sur le miroir métallique ainsi obtenu.

Malheureusement cette idée n'est pas utilement réalisable. Quelle que soit la variété des formules d'albume et de colloidion sensibles, elles ont ceci de commun qu'elles contiennent toutes de l'iode libre : il résulte de là que la couche d'argent serait altérée rapidement et ternie par la couche d'iode d'argent qui se formerait à sa surface.

Voici la disposition ingénieuse à laquelle s'est arrêté tout d'abord M. Lippmann :

Il sensibilise une glace ordinaire, et forme avec cette glace G la paroi antérieure d'une petite auge rectangulaire (Fig. 12) dont les parois latérales sont constituées par un cadre d'ébonite B et dont le fond est une plaque de verre V. Les deux glaces G et V sont serrées contre le cadre par des pinces en laiton P, P. On verse alors du mercure dans

l'auge. Comme la couche sensibilisée de la glace est tournée vers l'intérieur, elle est directement en contact avec le mercure qui, s'il a été versé à l'aide d'un entonnoir long et fin descendant jusqu'au fond de la petite auge, la remplit sans laisser de bulles



d'air et forme, derrière la couche impressionnable, un miroir parfait : ce petit appareil, que tout le monde peut facilement construire en quelques instants, réalise pratiquement toutes les conditions imposées par la théorie, et permet la réalisation des photographies du spectre.

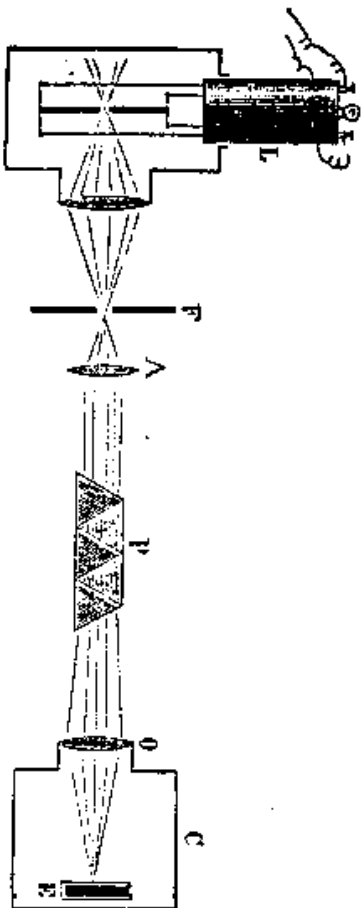
Pour faire la mise au point, on saisit l'auge dans un support à pinces, analogue à ceux que l'on trouve dans les laboratoires de Chimie, et que l'on

cale contre le fond ouvert d'une chambre photographique ordinaire : on met à la place de la glace sensible un petit carré de dépôt dont le côté mat est tourné vers l'intérieur de la petite cuve, et l'on met au point avec la crémaillère dont nous supprimons la chambre noire. (Toute chambre 13 \times 18 a des dimensions suffisantes pour cette opération.)

La mise au point étant faite, on desserre les pinces P, on enlève la petite glace dépolie qu'on remplace par la glace sensibilisée; on installe cette dernière *la couche sensible tournée vers l'intérieur* de la cuve; on fait le remplissage et l'on peut commencer la pose.

La fig. 13 représente la façon dont M. le Profes-

Fig. 13.



seur Lippmann a disposé, dans son laboratoire des Recherches physiques de la Sorbonne, la première et célèbre expérience de la Photographie des couleurs du spectre. Dans cette figure, L représente

la lampe électrique, F une fente sur laquelle la lumière est concentrée à l'aide d'une lentille; à la suite de cette fente est une seconde lentille qui reprend la lumière et en forme un faisceau parallèle; P est le prisme à vision directe qui décompose la lumière blanche et produit le spectre; O est l'objectif de la chambre photographique C, et enfin E représente la cuve à mercure précédemment décrite et supportant la plaque sensibilisée.

Temps de pose. Interposition des écrans colorés.

La question du temps de pose est capitale pour la bonne réussite de l'expérience; elle exige toujours quelques tâtonnements.

M. Lippmann s'est servi, comme source lumineuse, pour remplacer le soleil, d'une lampe électrique à arc, système Cance, d'une puissance de 800 bougies. Il obtenait ainsi un spectre très brillant.

Ce spectre contient une extrémité rouge qu'il s'agit de photographier en même temps que les autres couleurs. Or on connaît le peu d'activité chimique des rayons rouges : ils impressionnent les plaques assez lentement pour qu'on puisse se servir de lumière rouge pour développer sans danger les glaces au gélatinobromure d'argent. Tous les photographes savent d'ailleurs fort bien que les objets rouges viennent en noir sur les positifs : ils n'ont donc pas impressionné la plaque négative expo-

sée dans la chambre, quelque sensible qu'elle fût. Aussi, malgré l'éclat du spectre solaire, la pose qui devra reproduire le rouge devra être forcément très longue : elle a varié, suivant que l'on employait du collodion ou de l'albumine, d'une demi-heure à deux heures.

Mais, ici, une difficulté se présente. Si le rouge vient lentement, en revanche le bleu et le violet sont des couleurs actives par excellence, et *solariseront* complètement la plaque si on les laisse poser pendant tout le temps nécessaire à la bonne impression du rouge. Il faudra donc trouver un moyen de laisser poser les rayons de la région rouge *seuls* pendant longtemps, ne permettre au vert, plus actif, qu'une durée d'impression de quelques minutes, que l'on réduira à quelques secondes pour la région bleue et la violette.

M. Lippmann, dans le début de ses expériences, est arrivé à ce résultat en interposant sur le trajet du faisceau lumineux, pendant toute la pose du rouge, une petite cuve de glace pleine d'une dissolution d'hélianthine rouge. Cette substance absorbe complètement les radiations vertes, bleues et violettes et ne laisse passer que les rayons rouges et jaunes. On peut donc, grâce à cet écran coloré, laisser poser le rouge pendant tout le temps nécessaire sans risque de solariser les régions verte et bleue.

Quand le rouge a suffisamment posé, on ren-

place la cuve à hélianthine par une cuve contenant une solution de bichromate de potasse, qui laisse passer le vert et le rouge, mais arrête les rayons bleus ; dans ces conditions, on impressionne à loisir la partie de la plaque qui correspond au vert du spectre ; le rouge continue à poser pendant ce temps.

Enfin, pour obtenir le bleu, on découvre complètement l'objectif pendant quelques secondes, sans interposition d'aucune cuve ; le bleu et le violet agissent à leur tour, et l'exposition est terminée, la pose *sur la même plaque* ayant ainsi été fractionnée en trois durées élémentaires. Nous verrons plus loin que, grâce à une étude approfondie de l'isochromatisme, M. Lippmann a pu supprimer cette complication et obtenir en *une seule pose* la venue de toutes les radiations spectrales avec des intensités sensiblement pareilles.

Développement.

Si l'on a employé une glace albuminée, on peut la développer, comme on sait, par deux procédés distincts : par un développement acide ou un développement alcalin.

Si l'on emploie le développement acide (acide gallique, par exemple), il faudra poser un peu plus longtemps, et pousser le développement à fond ; si l'on se sert du développement alcalin, il sera pré-

férable de poser un peu moins longtemps, à cause de la plus grande activité du développement.

Dans tous les cas, l'opération devra être conduite avec l'idée que l'on doit produire de l'argent réfléchissant dans l'épaisseur même de la plaque. Si l'on juge l'épreuve insuffisante, on peut, avant le fixage, la renforcer à l'acide. Il faut éviter toutefois de trop insister sur ce renforcement, à cause des *empâtements* qui pourraient se produire dans la couche et masquer les phénomènes de réflexion métallique sur les lames d'argent, si voisines les unes des autres, destinées à reproduire les couleurs.

Fixage. Apparition des couleurs.

Le fixateur employé a toujours été l'hyposulfite de soude à la dose de 150^{gr} par litre. Le fixage est très rapide à cause du peu d'épaisseur des couches de collodion ou d'albumine employées.

Pendant le développement et le fixage, les couleurs ne sont pas visibles; mais elles commencent à apparaître au séchage, les couches d'argent se plaçant alors à la distance qu'elles avaient lorsqu'elles ont été produites par l'action des interférences de la lumière sur la plaque sensible qui était sèche lors de son exposition.

Pour les voir dans les conditions les plus avantageuses, il faut regarder par réflexion la glace éclairée par de la lumière diffuse; soit celle du

jour, soit celle qui provient de la face interne d'un abat-jour blanc. En aucun cas, on ne doit, si l'on veut jouir de la vue complète du phénomène, regarder la plaque éclairée directement par une source lumineuse.

Les couleurs ont un aspect dont on ne peut se faire une idée si on ne les a pas vues : elles ont une sorte d'éclat métallique qui leur donne une vivacité extraordinaire. Il est presque inutile d'insister sur l'inaltérabilité absolue de l'épreuve ainsi obtenue : la couleur, en effet, n'y est pas produite par un pigment quelconque susceptible de s'altérer à la lumière : elle résulte de la réalisation d'une propriété mécanique du mouvement vibratoire qui constitue la lumière. Cette inaltérabilité est telle que l'on peut projeter sur un écran les images de ces spectres vivement éclairés par une lumière électrique intense sans altérer leurs couleurs en quoi que ce soit.

La réussite de ces épreuves démontre même d'une façon irréfutable la délicatesse de l'impression photographique; au moment de l'impression, la glace est sèche, et le support de gélatine, d'albumine ou de collodion a une certaine consistance, bien déterminée dans chaque cas. Pendant les opérations du développement, du fixage et du lavage, la couche est plongée dans des bains de nature diverse, qui la gonflent et modifient sa structure, laquelle ne redevient normale qu'après le séchage. Puisque,

dans ces conditions, les couleurs viennent à leurs places respectives, cela prouve que les plans d'argent réfléchissants sont revenus rigoureusement à leur place; et comme la distance de deux de ces plans est, en moyenne, d'un quatre-millième de millimètre, on peut juger par là de la précision vraiment surprenante réalisée par la Photographie.

Reproduction des couleurs complexes.

L'expérience de la Photographie des couleurs du spectre est décisive, car, comme toutes les teintes simples s'y trouvent, le problème de la reproduction d'une couleur simple quelconque est résolu d'une façon définitive.

On peut se demander ce qu'il adviendra quand on voudra reproduire une couleur complexe, comme celles des objets naturels?

On peut prévoir *a priori* que le problème soit résoluble de la même manière, car si l'on étudie algébriquement les propriétés d'un mouvement vibratoire, on peut, en appliquant un remarquable théorème dû à Fourier, démontrer que les mouvements périodiques élémentaires peuvent se superposer en donnant naissance à un mouvement périodique résultant, unique.

M. Lippmann, quand il a cherché pour la première fois à réaliser la reproduction des couleurs composées, a fait poser devant son appareil deux

verres de couleur, l'un bleu et l'autre vert, éclairés par transparence à l'aide de la lumière électrique. Ces verres, provenant des ateliers de vitraux de M. Ch. Champigneulle, y avaient été pris au hasard et étaient loin d'être des couleurs simples, puisque, vus au spectroscopie, ils laissaient passer sensiblement toutes les couleurs, en proportions variables: ils contenaient donc toutes les longueurs d'onde, et réalisaient à merveille deux couleurs complexes.

L'épreuve obtenue a été très satisfaisante et a rendu les deux couleurs d'une manière très nette. Depuis lors, comme nous le verrons plus loin, ce résultat si encourageant a été bien dépassé et l'illustre physicien a pu montrer, aux visiteurs de l'Exposition de 1900, des photographies de tableaux, des paysages d'après nature et des portraits obtenus en quelques secondes *d'une seule pose, sur une seule plaque, et développés dans un seul bain.*

Causes de l'insuccès des recherches antérieures.

On peut se demander pourquoi la remarquable expérience d'Edmond Becquerel n'avait pas donné de résultats définitifs; en un mot, pourquoi l'épreuve du spectre qu'il avait obtenue n'était pas susceptible d'être fixée: l'explication suivante a été proposée pour expliquer cet insuccès:

Ce savant avait constitué sa couche sensible par une couche de sous-chlorure d'argent violet, étendue

sur la face polie d'une lame réfléchissante de plaqué d'argent. Dans ces conditions, les plans nodaux et les plans ventraux, qui sont l'organe même de la reproduction physique des couleurs, se produiraient dans l'épaisseur de cette couche, et l'œil avait bien la sensation des couleurs spectrales. Mais, si l'on place la plaque impressionnée dans l'hyposulfite de soude, destiné à fixer l'image obtenue, les parties comprises entre les plans ventraux qui étaient seuls actifs, seront dissoutes. Comme ces particules constituaient le seul support qui maintenait les plans réfléchissants à la distance d'une demi-longueur d'onde, ce support venant à manquer, les plans réfléchissants *s'effondraient* les uns sur les autres, et toute coloration devait disparaître : c'est ce qui arrivait. Si maintenant, au lieu de fixer la plaque, on l'expose de nouveau à la lumière du jour, celle-ci agira sur les parties encore sensibles qui sont situées dans l'intervalle des plans ventraux et les impressionnera à leur tour : toute la matière sera donc altérée d'une façon uniforme et l'image disparaît encore.

Dans l'expérience de M. Lippmann, au contraire, la matière sensible est impressionnée dans la masse d'une substance transparente : collodion, gélatine, albumine, qui lui sert de support. Cette substance n'est point dissoute par le fixatif qui ne dissout que le chlorure non impressionné qu'elle emprisonne : elle sert donc de charpente à l'édi-

fice des plans parallèles réfléchissants, pour maintenir invariable la distance qui les sépare et qui est nécessaire à la production des couleurs par les interférences.

Les progrès.

Telles sont les premières étapes de la découverte de M. Lippmann, tel était l'état de la question en 1891. Que restait-il à faire pour aller plus loin ?

Disposer d'abord des appareils permettant l'exposition facile, dans la chambre noire, de plaques de grandes dimensions : c'est là une question matérielle qui n'était pas pour embarrasser nos habiles constructeurs. Trouver des substances plus sensibles que celles connues jusqu'ici, et permettant par conséquent de réduire dans de grandes proportions les durées de pose, surtout pour le rouge : c'est une question difficile à résoudre, mais le problème n'est pas insoluble. Il suffit de se reporter à l'histoire de la Photographie ordinaire pour voir une véritable révolution opérée par le gélatinobromure, qui permet d'obtenir en un centième de seconde le cliché qui aurait demandé, avec le collodion sec, dix minutes d'exposition : c'est donc une augmentation de sensibilité dans le rapport de 60000 à 1.

D'ailleurs, il faut bien remarquer que, même avec les plaques albuminées ou collodionnées em-

ployées au début par M. Lippmann, la venue du rouge exige seule des temps de pose aussi longs; les autres parties du spectre viennent en quelques minutes; le violet et le bleu même, en quelques secondes. Quelques variétés de plaques employées dans des essais plus récents avaient même permis de réduire à cinq minutes la pose du rouge : c'étaient déjà presque des temps de pose normaux.

Du reste, la sensibilité, si grande en apparence, du gélatinobromure d'argent des *glaces ordinaires* n'existe que pour les objets bleus ou violets : *la Photographie ordinaire ne rend que les parties bleues et violettes* des objets qu'elle reproduit. L'expérience journalière est là pour le prouver : les arbres viennent toujours, dans tous les clichés ordinaires, en noir sombre, ainsi que les prairies; les jaunes, qui sont pourtant des teintes claires dans la nature, viennent en noir; les rouges, les vermillons, quelque écarlates qu'ils soient, donnent toujours des images sombres, absolument comme s'ils étaient noirs. Au contraire, les couleurs violettes et bleues, naturellement foncées, sombres et peu visibles, impressionnent vigoureusement les plaques, et produisent, sur les clichés, des parties blanches qui donnent une sensation contraire à celle de l'objet.

Pour aller plus loin, il fallait trouver des plaques vraiment *isochromatiques*, s'impressionnant sensiblement pendant la même durée de pose, sous

l'influence des deux extrémités du spectre, et supprimer ainsi cette division de la pose en trois périodes, division qui enlevait un peu d'élégance et de précision à la méthode en y laissant subsister un peu d'arbitraire. M. Lippmann a résolu victorieusement le problème, et il nous reste à dire maintenant comment, grâce à ses derniers progrès, on peut faire aujourd'hui de la Photographie en couleurs, avec certitude de réussir.

Les procédés actuels de Photographie en couleurs.

Dans les pages précédentes, nous avons tenu à indiquer la manière dont M. Lippmann a fait ses premières épreuves et réalisé ces photochromies qui marquent une étape dans l'histoire de la Science. Il nous reste à dire en quelques mots les progrès effectués depuis lors.

Donnant un nouvel exemple de ce beau désintéressement scientifique dont nos savants français semblent avoir le noble privilège, M. Lippmann a voulu que tout le monde pût s'engager librement et sans contrainte dans la voie qu'il avait ouverte, et, refusant de couvrir par des brevets sa découverte pourtant bien personnelle, il a mis la Photographie des couleurs dans le domaine public.

Aussi de nombreux travailleurs se sont-ils acharnés à perfectionner la méthode interférentielle. Au premier rang MM. Lumière frères, en France,

puis MM. Valenta en Autriche et Neuhauss en Allemagne, pour ne citer que ceux-là, ont obtenu d'admirables épreuves par la méthode Lippmann. De leur côté, les constructeurs s'ingénierent à réaliser un matériel pratique et peu encombrant; de sorte qu'aujourd'hui la Photographie en couleurs est chose pratique et accessible à tous les photographes, amateurs ou professionnels. Nous allons exposer maintenant les conditions *actuelles* dans lesquelles on peut mettre en œuvre la méthode des interférences.

Le matériel. — Aujourd'hui, on peut partir en voyage avec une chambre 9×12 , pour faire de la Photographie en couleurs, comme on le ferait pour la Photographie ordinaire : seuls les châssis négatifs à emporter sont différents.

Chambre noire. — Toutes les chambres noires sont utilisables pour la Photographie interférentielle; M. Lippmann se sert constamment d'une petite chambre 9×12 pliante en acier, à queue rentrante et à crémaillère, extrêmement portative.

Châssis. — Plusieurs dispositifs ont été imaginés pour réaliser l'installation d'une lamelle de mercure adossée à la couche sensible.

Le châssis à pinces métalliques, que nous avons décrit en parlant des premières expériences de

Photographie en couleurs destinées à reproduire le spectre solaire, est un instrument de laboratoire et ne saurait s'appliquer à un appareil transportable.

MM. Lumière ont imaginé un châssis fermé dans lequel le mercure n'est introduit qu'au moment même de la pose. À cet effet, le métal liquide est contenu dans une poire de caoutchouc commu-

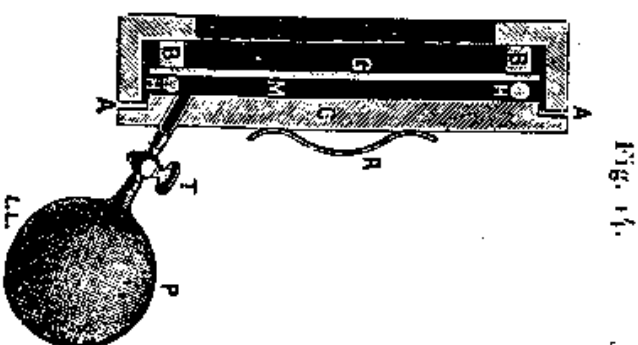


Fig. 14.

niquant avec l'arrière de la plaque sensible par un tube à robinet T (Fig. 14). La plaque sensible G est appliquée contre le fond du châssis par l'intermédiaire de lamelles de caoutchouc H, H qui constituent les parois latérales d'une cuve étanche dont la plaque sensible G et une plaque de fer C

forment les deux fonds. Au moment d'exposer, on presse la poire : le mercure remplit le compartiment étanche, on ferme le robinet. La pose une fois terminée, on ouvre le robinet : le mercure redescend dans la poire, on ouvre le châssis et l'on développe comme nous le verrons plus loin.

M. Valenta a adopté un dispositif très simple et peu volumineux : c'est à peu près le châssis-presse en usage pour le fixage des épreuves positives sur papier. Ce châssis est représenté ouvert sur la

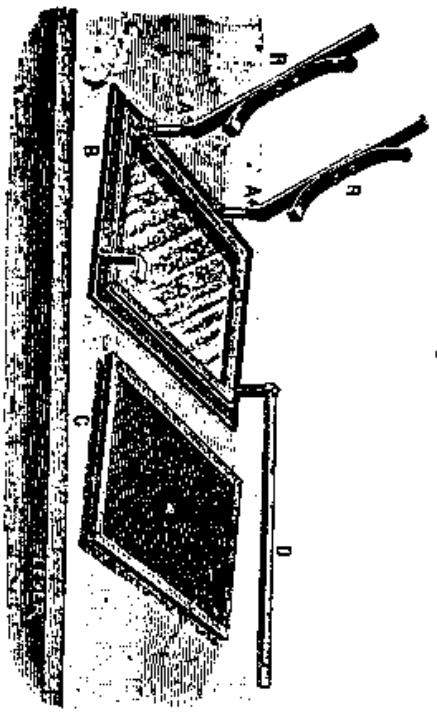


Fig. 15.

Fig. 15, et fermé, tout monté, sur la Fig. 16. C'est un cadre au fond duquel on met la glace sensible, face en dessus F; sur cette glace on applique un couvercle de fer C, bordé d'un ruban de caoutchouc en contact avec la face gélatinée. Quand on l'a mis en place, on verse du mercure par les deux trous que l'on voit dessinés sur le fond en fer C,

et l'on assujettit le tout à l'aide des ressorts R, de la barre D et de l'arrêt E; on ferme par des boutons à vis les orifices de remplissage, et le châssis,

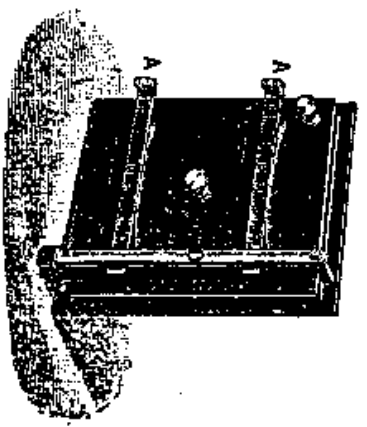


Fig. 16.

que l'on peut alors relever, est tout prêt à être exposé dans la chambre.

M. Contamine, de Lille, a imaginé un châssis ingénieux dans lequel il y a un réservoir automatique à mercure : c'est la cavité A, creusée dans l'épaisseur du bois. Quand on relève le châssis, le mercure descend naturellement derrière la plaque; quand on remet le châssis à plat, il retombe en A par les lois de l'équilibre des liquides pesants (Fig. 17 et 18).

M. Lippmann emploie un châssis qui a quelque analogie avec le châssis simple des anciennes chambres noires : le fond contient une plaque bordée de peau de chamois qu'un ressort appuie

contre la glace, par le jeu même de la fermeture du châssis ; au lieu d'une poire, comme dans le dispositif de MM. Lippmann, il emploie un petit récipient de fer nickelé contenant le mercure ; en montant ou en descendant ce récipient derrière

Fig. 17.

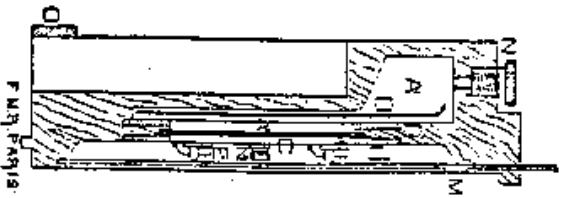
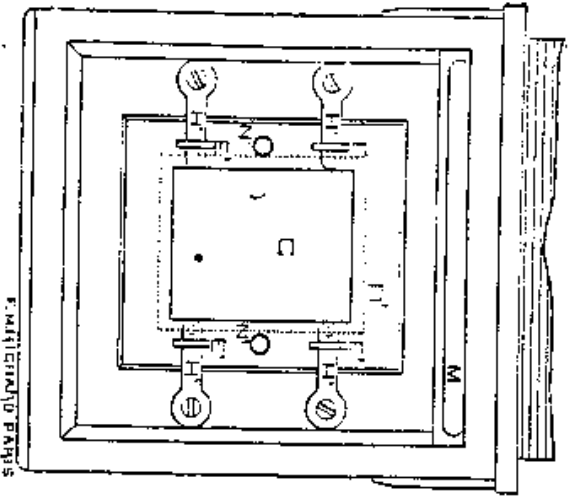


Fig. 18.



le châssis fermé, on fait monter ou descendre le mercure derrière la plaque.

Les fig. 19, 20 et 21 représentent la petite chambre de M. Lippmann montée sur son pied, avec son châssis, son réservoir à mercure et une cuve C, en avant de l'objectif, destinée à arrêter, pendant toute la durée de la pose, les rayons ultra-violet. Le volet V du châssis est relevé et la plaque pose.

Le châssis de M. Lippmann, d'un maniement

Fig. 19.

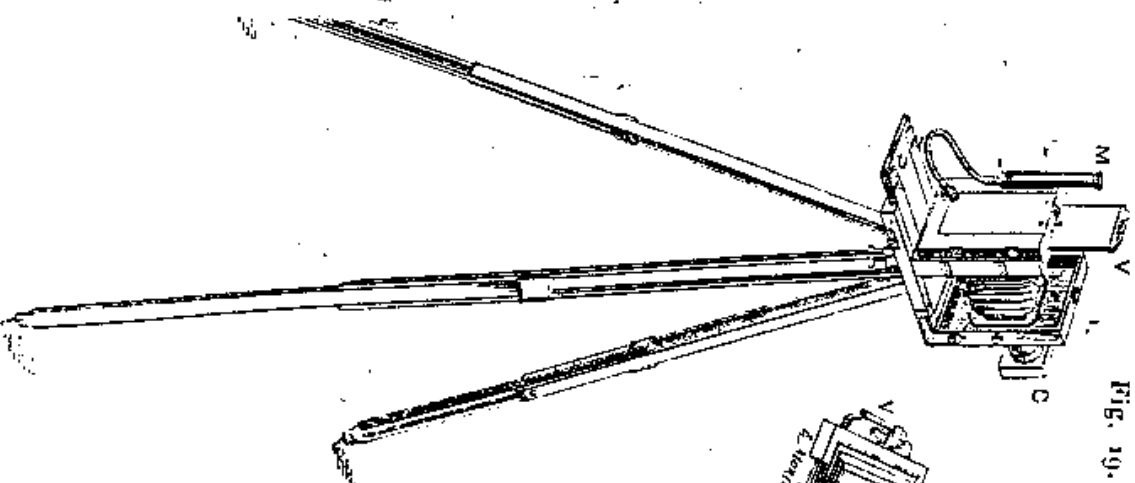


Fig. 20.

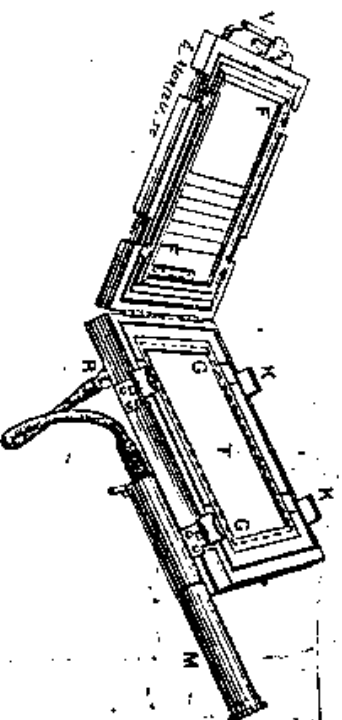
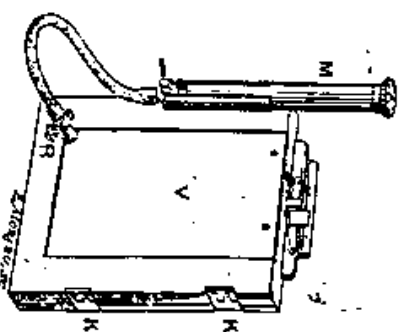


Fig. 21.



très simple et très sûr, est construit chez M. Mackenstein.

Objectifs. — Les plaques employées pour la Photographie interférentielle étant à grains de dimension nulle ou au moins inobservable, leur sensibilité est moindre que celle des plaques du commerce, dont l'émission mûrie est à gros grains. Il est donc indispensable d'employer des objectifs aussi lumineux que possible.

Les anciens objectifs à portraits, à part leurs dimensions et leur encombrement, peuvent rendre des services; mais les objectifs les plus avantageux sont les *Planars* de Zeiss, travaillant à l'ouverture $f : 3,6$.

Cuve. — Enfin, il y a une dernière pièce du matériel photochromique, c'est la cuve que l'on voit en C (fig. 19) devant l'objectif: elle contient une solution étendue et très claire d'une substance susceptible d'arrêter, pendant toute la pose, les rayons ultra-violet qui donneraient sur la plaque une impression ne correspondant à aucune couleur perceptible à l'œil. Ces petites cuves, montées sur une bonnette, se coiffent sur le parasoleil de l'objectif comme un obturateur: M. Verlein les construit avec habileté.

Format des plaques. — M. Lippmann a adopté le format unique $6\frac{1}{2} \times 9$, pour plusieurs raisons: D'abord, la surface de l'épreuve n'étant pas très considérable, la pression du mercure sur la plaque

ne sera pas exagérée et ne déformera pas la surface de celle-ci par flexion élastique.

En second lieu, le format $6\frac{1}{2} \times 9$ est, à très peu de chose près, le format des épreuves de projection: on aura donc des clichés faciles à montrer en public, et dont les dimensions s'accordent avec celles des condensateurs de lanternes à projections ordinaires.

Enfin, la plaque $6\frac{1}{2} \times 9$ correspond à une surface égale au quart de la demi-plaque 13×18 : on obtient donc exactement quatre plaques $6\frac{1}{2} \times 9$ avec une plaque 13×18 . C'est un avantage surtout quand (et c'est le cas de la méthode interférentielle) il faut préparer ses glaces soi-même: on est sûr d'avoir ainsi des plaques comparables, puisqu'elles seront des fractions d'une même glace coupée en quatre.

Mode opératoire actuel.

Préparation des glaces destinées à la Photographie interférentielle. — Comme nous l'avons indiqué en rappelant l'histoire des premiers essais de M. Lippmann, les procédés où l'on sensibilise au bain d'argent un support transparent contenant un chlorure ou un bromure alcalin, comme le collodion ou l'albumine, se prêtent à la reproduction des couleurs par le mécanisme des interférences; cependant, ces procédés trop lents ont

été vite abandonnés par l'auteur de la méthode lui-même, et l'on ne se sert plus aujourd'hui que de plaques au gélatinobromure ou au gélatinoclorure, dont l'émission est préparée d'une manière spéciale qui permet d'éviter toute précipitation d'argent. Différents opérateurs, MM. Valenta, Neuhauss, mais surtout MM. Auguste et Louis Lumière, qui parmi tous ces chercheurs sont les premiers en date, ont fait avancer cette question.

Ce petit Volume n'est pas une Encyclopédie de Photochromie interférentielle : c'est un guide destiné à conduire dans la voie nouvelle ceux qui voudraient s'y engager; aussi ne chargerons-nous pas cet exposé d'une foule de formules différentes, mais en donnerons-nous une seule, qui conduit sûrement à de bons résultats.

La plaque de verre est d'abord lavée et séchée avec soin par les procédés qu'indiquent les anciens traités de Photographie au collodion. Cela fait, on prépare les trois dissolutions suivantes :

A	{ Eau distillée.....	100 ^{cc}
	{ Cellatine.....	20 ^{gr}
B	{ Eau distillée.....	25 ^{cc}
	{ Bromure de potassium.....	25 ^{gr} , 3
C	{ Eau distillée.....	25 ^{cc}
	{ Azotate d'argent.....	3 ^{gr}

On partage la solution A en deux moitiés.

L'une de ces moitiés est ajoutée à B, l'autre moitié est ajoutée à C. On a ainsi deux solutions nouvelles que nous désignerons par B' et C', l'une, B', contenant le bromure, l'autre, C', contenant l'argent.

On mélange alors B' et C' en versant lentement C' qui contient l'argent dans B' qui contient le bromure de potassium; pendant ce temps, la température ne doit pas dépasser 40 degrés centigrades.

On ajoute ensuite un peu d'une substance isochromatisante (la cyanine, le violet de méthyle, sont excellents pour cet usage) de façon à donner à la masse une coloration légère et uniforme sans altérer sa transparence; comme dosage et à titre de renseignement pratique, nous indiquerons la formule suivante; on mélange :

Solution de cyanine à $\frac{1}{500}$	4 ^{cc}
Solution d'érythrosine à $\frac{1}{500}$	2

On prend 1^{cc}, 5 de ce mélange pour 100^{cc} d'émulsion.

Nous avons maintenant une émulsion maintenue au-dessous de 40°, prête à être coulée sur les plaques.

Cette opération se fait comme l'ancien coulage du collodion, dont on trouvera la description et le mode opératoire dans tous les Traités classiques de Photographie. Il est à observer, cependant, que

Développement. — Un développeur très sûr est le suivant, que MM. Lumière ont indiqué à la Société française de Photographie dans une de leurs communications :

On prépare les trois solutions suivantes :

A	{ Eau.....	200 ^{gr}
	{ Acide pyrogallique.....	1
B	{ Eau.....	100 ^{gr}
	{ Bromure de potassium.....	10
C	Ammoniaque (D = 0,960, à + 18° C).	

On fait alors la liqueur suivante :

Eau distillée.....	70 ^{cc}
Solution A.....	10
Solution B.....	15
Solution C.....	5

Pendant le développement, l'apparence du cliché est celle d'une épreuve négative ordinaire, un peu légère. *Les couleurs ne sont pas visibles dans le bain.*

Quand on juge le cliché suffisamment poussé, on le retire, on le laisse quelques secondes sous le robinet et on le plonge dans le bain de fixation.

Fixage. — Le bain de fixation est une dissolution d'hyposulfite de soude à 150^{gr} par litre. Comme les couches sont très minces, le fixation a lieu très vite.

On peut, d'ailleurs, fixer au cyanure de potassium ; mais le danger que comporte la manipulation de ce produit, surtout dans des opérations où, maniant des plaques de verre, on est exposé à des écorchures et à des coupures, fera toujours préférer l'hyposulfite, absolument inoffensif et, au fond, donnant d'aussi bons résultats.

Séchage. Apparition des couleurs. — Au sortir du bain de fixation, les épreuves sont lavées sous le jet d'une pomme d'arrosoir pendant cinq à six minutes : la minceur de la couche fait que ce lavage est suffisant ; on les plonge alors dans l'alcool absolu pendant une minute, puis on laisse sécher. Le séchage a lieu très rapidement, et, à mesure qu'il se parfait, on jouit du spectacle, magnifique et vraiment impressionnant quand on le voit pour la première fois, de la genèse des couleurs, que l'on voit naître sous ses yeux.

Quand toutes les couleurs sont apparues, l'épreuve est sèche et prête à être montée. Il faut alors la conserver à l'abri de l'humidité, car cette dernière cause, en gonflant la gélatine, augmente la distance des lames d'argent réfléchissantes et, par suite, change les valeurs des teintes observées.

Montage des épreuves. — On place alors l'épreuve, à l'aide de baume du Canada, entre un verre noir et un prisme de verre d'un très petit

la couche déposée doit être très mince, puisqu'elle doit, tout en étant légèrement colorée par la substance isochromatisante, laisser libre passage, et à l'onde directe, et à l'onde réfléchie.

Pour arriver à étendre la gélatine émulsionnée en couche mince et d'épaisseur régulière, on peut employer un appareil centrifuge du genre de celui

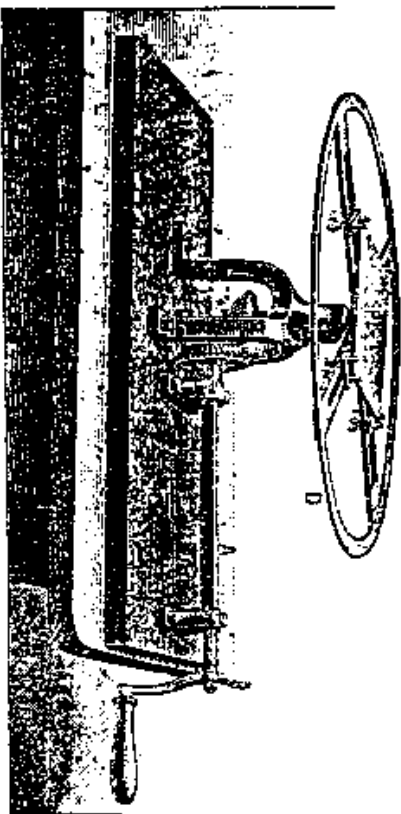


Fig. 23.

qui est représenté *fig. 22*, et au centre duquel on fixe la plaque par des pinces à vis.

La condition que la température ne dépasse pas 40° C. est *absolue* : moins la température sera élevée, plus les couleurs viendront avec perfection ; il est vrai que la rapidité diminue avec la température de l'opération. Il y a donc là un juste milieu à établir ; l'expérience personnelle de chaque opérateur le fixera vite sur ce point.

Après passage sur la tournette centrifuge, nos

glaces sont donc recouvertes d'une couche mince et homogène d'émulsion orthochromatique, sans grains, propre à la Photographie interférentielle.

Nous laisserons prendre cette couche en gelée, puis nous immergerons les plaques dans l'alcool pendant un *temps très court*, après quoi nous laverons dans un courant d'eau pendant quelques minutes.

Nous découperons alors nos plaques 13 × 18 respectivement en 4 plaques 6 $\frac{1}{2}$ × 9 que nous conserverons dans des boîtes étanches à la lumière jusqu'au moment où nous voudrons les faire poser.

Sensibilisation. — Quand nous voudrons nous servir de nos plaques, nous les plongerons pendant 100 à 150 secondes dans le *bain sensibilisateur* suivant :

Eau distillée.....	200 ^{cc}
Azotate d'argent.....	1 ^{gr}
Acide acétique.....	1

(formule de MM. Lamière).

Nous laissons sécher et exposons à la chambre noire ; il faut remarquer que, si cette solution augmente la sensibilité, elle comporte une altération rapide des plaques : on ne *sensibilisera* donc les plaques que *quelques heures* avant leur exposition.

angle (à vrai dire, une lame un peu épaisse de verre $6\frac{1}{2} \times 9$ taillée en biseau). Les couleurs sont alors plus nettes, et, de plus, la lumière réfléchie par le protecteur de verre étant renvoyée de côté grâce à son obliquité, l'épreuve est dans d'excellentes conditions de visibilité. Inutile de dire que les clichés en couleurs doivent être regardés *par réflexion*, comme aussi ce sera par réflexion qu'il faudra les projeter si l'on veut les montrer à une assistance nombreuse : on utilisera pour cela le dispositif classique connu sous le nom de *Mégascope*.

CONCLUSION.

On peut dire que maintenant la Photographie a franchi la dernière étape qui lui restait à fournir : la solution générale du seul problème qui fût encore à résoudre est trouvée et elle est définitive parce qu'elle est scientifique et rationnelle. Rien dans ces recherches, poursuivies pendant neuf années, n'a été laissé au hasard : tout, au contraire, a été cherché dans la voie de l'expérience par une méthode essentiellement physique. Aussi le succès éclatant obtenu par M. Kippmann est-il un triomphe pour la Science pure.

C'est aussi un triomphe pour la Science française, car ce mode de reproduction des couleurs du spectre à l'aide des lames minces limitées par des plans d'argent constitue une matérialisation, réalisée par un savant français, de ces ondes lumineuses conçues pour la première fois par le puissant génie d'un autre Français illustre : j'ai nommé Augustin Fresnel.

TABIE DES MATIÈRES.

AVANT-PROPOS..... Pages. VII

CHAPITRE I.

Un mot d'historique..... 1

CHAPITRE II.

Les ondulations..... 5

Vitesse de propagation..... 5

Mouvements vibratoires..... 7

Longueur d'onde. Durée de la vibration..... 8

Ondes sonores..... 9

CHAPITRE III.

Les interférences..... 12

Réflexion du mouvement ondulatoire..... 13

Interférence de l'onde directe et de l'onde réfléchie..... 14

CHAPITRE IV.

Les ondes lumineuses..... 17

L'éther lumineux..... 17

Vitesse de la lumière..... 18

Lumière blanche. Couleurs simples..... 19

Couleurs complémentaires..... 21

Théorie de fresnel..... 21

Pages.

Les couleurs complexes.....	27
Coloration des corps.....	26

CHAPITRE V.

Interférences de la lumière.....	28
Expérience des deux miroirs.....	28
Interférences dans la réflexion normale.....	30
Anneaux colorés de Newton.....	31
Lois du phénomène.....	34
Théorie des anneaux de Newton.....	36

CHAPITRE VI.

La Photographie des couleurs.....	38
Principe de l'expérience de M. Lippmann.....	38
Choix des plaques sensibles.....	40
Premiers dispositifs de M. Lippmann. Exposition de la plaque.....	43
Temps de pose. Interposition des écrans colorés.....	45
Développement.....	47
Fixage. Apparition des couleurs.....	48
Reproduction des couleurs complexes.....	50
Causes de l'insuccès des recherches anciennes.....	51
Les progrès.....	53
Les procédés actuels de l'héliographie en couleurs.....	55
Mode opératoire actuel.....	63
CONCLUSION.....	71

BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

LA

PHOTOGRAPHIE DES COULEURS

PAR LA MÉTHODE INTERFÉRENTIELLE DE M. LIPPMAN,

PAR

Alphonse BERGET,

Docteur es Sciences,

Attaché au Laboratoire des Recherches physiques
de la Sorbonne.

DEUXIÈME ÉDITION,
ENTIÈREMENT REFOUDUE.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE,

ÉDITEUR DE LA BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE, 2,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1901

(Tous droits réservés.)

4 11 1

NO 2000

A M. LE COMTE DE MONTAIGU

Je dédie ce petit Livre,
en témoignage de haute estime et de grande amitié.

Alphonse BERGET.

M 1813

775.62

B45

91513

35674

8

AVANT-PROPOS.

Le 2 février 1891, M. Lippmann, membre de l'Institut, présentait à ses collègues de l'Académie des Sciences la première photographie directe du spectre solaire avec toutes ses couleurs, reproduites et fixées d'une façon inaltérable. La méthode suivie par le savant Maître n'a rien de commun avec les essais photochromiques tentés jusqu'à ce jour; elle est tellement ingénieuse, tellement élégante dans sa géniale simplicité, qu'elle constitue certainement une œuvre scientifique plus belle encore que le résultat obtenu. Mais elle s'appuie sur des considérations de Physique supérieure qui supposent des connaissances acquises en ce qui concerne la théorie ondulatoire de la lumière.

Ce petit Livre, écrit pour la première fois quelques semaines après la découverte, avait pour but, en rappelant ces notions, de rendre intelligible le procédé nouveau et de faire apprécier sa valeur en permettant d'en saisir le mécanisme intime.

Mais, depuis ce temps, les choses ont marché vite, les progrès sont venus nombreux : grâce au désintéressement de l'éminent Physicien français, qui a mis sa découverte dans le domaine public, tout le monde a pu se lancer sans entraves dans la voie qu'il avait ouverte, et les plus habiles opérateurs de la Photographie, en France et à l'étranger, ont pu apporter chacun leur pierre à l'édifice dont le savant Professeur de la Sorbonne avait jeté les invariables fondations ; ces quelques pages se sont donc vite trouvées en retard : nous les rééditons aujourd'hui en leur ajoutant ce qui est nécessaire pour les mettre au courant des progrès considérables réalisés depuis neuf ans.

ALPHONSE BERGER.

A bord de la *Caroline*, août 1900.

LÀ

PHOTOGRAPHIE DES COULEURS.

CHAPITRE I.

UN MOT D'HISTORIQUE.

Notre intention n'est pas ici de rappeler en détail toutes les tentatives faites en vue de fixer photographiquement les couleurs des objets sur des couches sensibles. Il y aurait un long et intéressant Ouvrage à écrire sur ce sujet. Il est néanmoins impossible de passer sous silence quelques noms illustres qui marquent les étapes de cette difficile carrière.

Déjà en 1810, Seebeck, professeur à Léna, avait abordé la question et essayé d'impressionner, à l'aide d'un spectre solaire, un papier recouvert d'une couche de chlorure d'argent. Ses expériences eurent peu de retentissement et il faut arriver jusqu'en 1841 pour les voir reprises sérieusement par John Herschel, qui mit en œuvre non seulement le chlorure d'argent, mais encore le

bromure et l'iodure du même métal, ainsi que des produits naturels tels que la racine de gaiac. Certaines couleurs semblèrent, bien que passagèrement, se dessiner sur ses papiers sensibles. C'étaient déjà des résultats de nature à encourager les chercheurs, étant donné que l'on était alors au début de la Photographie; mais ces résultats furent bien dépassés par ceux d'Edmond Becquerel.

En 1848, cet illustre savant réussit, en employant une lame de plaqué d'argent recouverte d'une couche de sous-chlorure d'argent violet; à obtenir sur cette couche l'impression de toutes les couleurs du spectre solaire. Malheureusement, les couleurs ainsi réalisées s'effaçaient si l'on exposait le cliché à la lumière; essayait-on de le fixer dans un bain fixateur quelconque? toute coloration disparaissait.

L'impression de toutes les couleurs spectrales était un grand pas fait en avant et qui suffit à placer le nom de Becquerel en tête de toute histoire de la Photographie des Couleurs; mais les insuccès au point de vue du fixage, insuccès que n'avaient pu surmonter la science et l'habileté expérimentale de ce grand physicien, étaient l'obstacle auquel devait désormais se heurter tous ceux qui abordèrent la Photochromie par la méthode de l'impression directe.

De 1851 à 1866, Niepce de Saint-Victor effectua de nombreux et remarquables essais en vue de fixer les couleurs, à l'aide d'une substance chi-

mique; en 1855, Testud de Beauregard arriva aussi à des résultats intéressants; enfin, en 1865, Poitevin indiqua un procédé photochromique sur papier, dont nous avons encore pu voir pendant quelques instants des épreuves soigneusement conservées à l'abri de la lumière; car, comme tous ses prédécesseurs, Poitevin n'a jamais pu arriver à fixer définitivement ses épreuves.

Tous les essais précédents, et beaucoup d'autres encore, étaient faits par la *méthode chimique*; on cherchait toujours des substances susceptibles de s'impressionner chromatiquement sous l'influence directe des couleurs correspondantes; dans l'état actuel de la Science, ce problème semble irréalisable.

Les procédés analogues à celui de Ch. Cros et de L. Ducos du Hauron, reproduisant les couleurs par des tirages monochromatiques superposés, ne sont pas des méthodes directes, aussi n'ai-je pas à m'y étendre dans cet opuscule consacré à la Photographie directe des couleurs.

En somme, si les essais antérieurs ont été suivis d'insuccès au point de vue de la fixation des épreuves obtenues, c'est que la question n'avait pas été abordée sous son véritable aspect.

La Physique nous enseigne, en effet, que les couleurs sont le résultat d'un mouvement vibratoire. La preuve en est dans les magnifiques teintes des bulles de savon, produites dans l'épaisseur

d'une lamelle liquide parfaitement incolore par elle-même, grâce à un mécanisme que nous verrons plus loin. La solution la plus rationnelle consistait donc à chercher si, dans les propriétés des mouvements vibratoires que l'on étudie en Optique, il ne serait pas possible de retrouver celle qui produit sur notre rétine la sensation de la couleur.

C'est ce qu'a fait M. Lippmann.

Nous allons, avant d'exposer ses expériences décisives, rappeler dans les Chapitres suivants les points essentiels de la théorie des ondulations lumineuses qu'il est indispensable de connaître pour l'intelligence de la nouvelle découverte.

CHAPITRE II.

LES ONDULATIONS.

Vitesse de propagation.

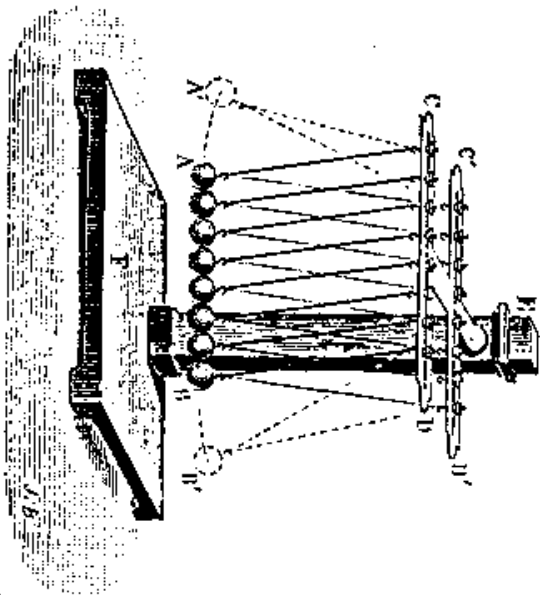
Tout le monde a remarqué ces stries circulaires concentriques qui se forment à la surface d'une eau tranquille dans laquelle on a laissé tomber un caillou : elles semblent sortir d'un centre commun et se propagent lentement en produisant des rides sur le contour desquelles l'eau est alternativement soulevée et déprimée. La distance parcourue par ces *ondes liquides* pendant l'unité de temps se nomme la *vitesse de propagation* du mouvement ondulatoire. Cette vitesse, d'ailleurs, dépend uniquement de la nature du milieu.

Il ne faut pas croire que l'eau soit *transportée* dans le sens de la propagation des ondes : il est facile de s'en rendre compte en faisant flotter à la surface une petite parcelle de bois, qui s'abaisse et s'élève alternativement, mais n'est animée d'aucun mouvement de translation.

Il faut donc admettre, pour expliquer ces ondulations, que les molécules susceptibles de les trans-

mettre sont pourvues d'élasticité comme les billes d'ivoire de l'appareil représenté sur la *fig. 1*. Si l'une de ces billes, parfaitement élastique, reçoit un choc de la précédente, elle transmet à la suivante la totalité du mouvement reçu; de sorte que,

Fig. 1.



si l'on écarte la première bille *A* jusqu'en *A'* et qu'on la laisse retomber, on ne verra pas, comme on pourrait tout d'abord s'y attendre, l'ensemble des billes en repos poussé vers la droite; ce sera la dernière bille *B* qui sera seule poussée jusqu'en *B'*. Le mouvement s'est donc propagé de proche en proche de la première à la dernière, sans que les billes intermédiaires aient fait autre chose que transmettre ce mouvement.

Les molécules d'un corps quelconque se comportent comme les billes d'ivoire de notre expérience: elles reçoivent un mouvement de la molécule précédente et le transmettent intégralement à la molécule suivante, tout en restant individuellement immobiles; de sorte que tout ébranlement affectant une molécule d'un milieu élastique se transmettra aux molécules contiguës à la première; celles-ci le transmettront à celles qui les suivent, et ainsi de suite.

Mouvements vibratoires.

Parmi les divers ébranlements qui peuvent être produits dans un milieu donné, il en est qui sont plus intéressants que les autres: ce sont ceux qui sont périodiques, c'est-à-dire qui se reproduisent dans les mêmes conditions après des intervalles de temps égaux.

Une lame d'acier pincée dans un étau par une de ses extrémités en offre un exemple: quand on écarte l'extrémité libre de la position qu'elle occupe au repos, elle tend à y revenir en exécutant une série d'oscillations qui durent sensiblement le même temps. En un mot, la lame *vibre*.

On conçoit que si une pareille lame est placée au-dessus de la surface d'un liquide de façon qu'elle vienne en toucher un point, toujours le même, à chacune de ses oscillations, les ondes se produiront

autour de ce point sans interruption, et le mouvement ondulatoire sera continu comme dans le premier cas, avec cette différence que, dans le cas d'un seul ébranlement comme celui que produit la chute d'un caillou dans l'eau, les vibrations d'un point du milieu, tout en gardant la même durée, ont des *amplitudes* qui vont en décroissant sans cesse, tandis que, si l'ébranlement se répète périodiquement, elles conservent toujours leur amplitude première : le mouvement ondulatoire représente alors un phénomène dont *l'intensité* reste constante.

Longueur d'onde. Durée de la vibration.

Nous avons vu que tout mouvement ondulatoire se transmettait dans un milieu déterminé avec une vitesse constante que l'on appelle sa *vitesse de propagation* : c'est l'espace parcouru par l'onde pendant l'unité de temps.

Quand les ondes proviennent d'un mouvement vibratoire, il y a une longueur encore plus intéressante à considérer : c'est la longueur du chemin parcouru par l'onde, non plus pendant l'unité de temps, mais pendant la durée d'une vibration : cette longueur se nomme la *longueur d'onde*, et c'est elle qui joue dans l'étude des phénomènes physiques le rôle le plus important.

Il résulte de là que la vitesse de propagation peut être envisagée à deux points de vue : ou bien ce

sera le chemin parcouru par l'onde pendant l'unité de temps, pendant une seconde, par exemple ; ou bien ce sera l'espace parcouru par cette même onde pendant le temps que met une oscillation du corps vibrant à s'effectuer complètement.

Ondes sonores.

C'est en obéissant aux lois qui régissent le mécanisme précédent que se transmet le son, résultat d'un mouvement vibratoire.

Tout corps vibrant émet un son, que ce corps soit un solide comme l'acier, un liquide comme le mercure, un gaz comme l'air ; et réciproquement, à tout son correspond un mouvement vibratoire à tout son correspond un mouvement vibratoire situé quelque part dans l'espace. Aussi l'étude des propriétés des sons constitue-t-elle la manière la plus simple et la plus démonstrative d'étudier les ondulations.

Le corps sonore M (*fig. 2*) étant un centre de vibrations, devient aussi un centre de propagation des ondes auxquelles il donne naissance. Si le milieu propagateur est homogène, les ondes sont sphériques, c'est-à-dire qu'au bout d'un certain temps le mouvement vibratoire s'est propagé jusqu'en tous les points de la surface d'une sphère ABC. Chacun de ces points devient à son tour, à chaque instant, un centre d'oscillations, et émet une onde également sphérique. Ces nouvelles ondes, A', B', C',

sont égales entre elles, et ont pour *enveloppe* une sphère plus grande que l'on voit dessinée sur la

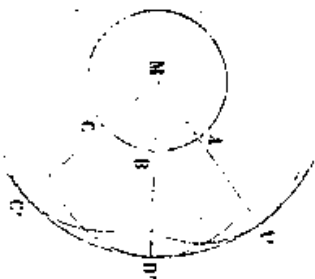


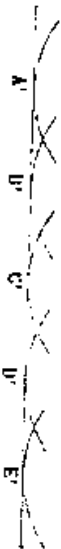
Fig. 2.

figure : c'est sur cette sphère que le son arrive au bout d'un temps donné.

Mais nous n'aurons pas toujours à considérer comme source vibrante un point unique. Ce cas, qui n'existe qu'à l'état d'hypothèse, n'est même jamais réalisé dans la pratique, les points maté-



Fig. 3.



riels ayant toujours des dimensions appréciables. Supposons donc que le corps vibrant soit un *plan*, c'est-à-dire que l'on ébranle à la fois une série de

points A, B, C, D, E (Fig. 3), situés sur une même surface plane et en ligne droite. Chacun d'eux étant un centre d'ébranlement devient le centre d'une onde sphérique, mais toutes ces ondes sphériques, étant égales et très rapprochées, auront le même rayon au bout du même temps; elles auront donc pour *enveloppe* le plan A'B'C'D'E' qui touche toutes les sphères d'onde. En un mot, l'onde se propage comme si sa surface était elle-même un plan, c'est-à-dire comme si le plan ABCDE se déplaçait parallèlement à lui-même avec une vitesse égale à la vitesse de propagation du mouvement ondulatoire original.

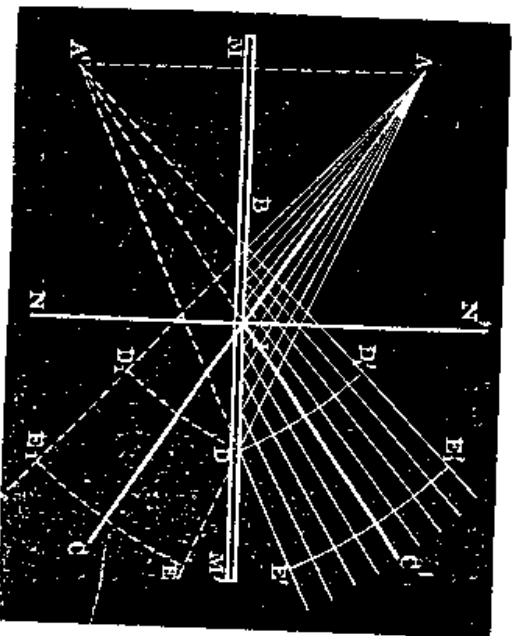
CHAPITRE III.

LES INTERFÉRENCES.

Réflexion du mouvement ondulatoire.

Imaginons une onde, ayant pour origine un centre d'ébranlement A (fig. 4). Si cette onde se propa-

Fig. 4.



seait librement, le mouvement vibratoire, au bout d'un certain temps, serait arrivé à la surface d'une

sphère DD_1 ; plus tard il serait sur une sphère de rayon plus grand EE_1 , et ainsi de suite; mais il n'en est plus de même si l'onde, en se propageant, n'en est plus de même si l'onde, en se propageant, vient à rencontrer un obstacle fixe MM' (une surface plane, par exemple, comme la face réfléchissante d'un miroir poli). Dans ce cas, l'onde change sa direction de propagation : elle se *réfléchit*, et au bout du temps où le mouvement serait primitivement arrivé en DD_1 , il arrive en tous les points d'une sphère DD'_1 , symétrique de la première par rapport au plan du miroir; en d'autres termes, tout se passe comme si le centre d'ébranlement, au lieu d'être en A , était situé en un point A' , situé de l'autre côté du plan MM' à la même distance que le point A . Cette nouvelle onde n'existe pas tout entière réellement : il n'y a que la portion déviée par le miroir qui ait une existence réelle; on la nomme *l'onde réfléchie*, tandis que la première se nomme *l'onde directe*.

En particulier, on peut faire réfléchir une onde plane sur un obstacle plan. Dans ce cas, la direction de propagation de l'onde directe et la direction de propagation de l'onde réfléchie font avec le miroir des angles égaux, absolument comme la bille de billard, après avoir frappé la bande, se réfléchit en faisant un *angle de réflexion égal à l'angle d'incidence*.

Interférence de l'onde directe et de l'onde réfléchie.

Nous pouvons, en particulier, faire tomber l'onde incidente, une onde sonore, par exemple, perpendiculairement à la surface réfléchissante. Dans ce cas, l'onde réfléchie suit exactement la route inverse, et croise, en revenant, l'onde incidente qui continue à arriver sur le miroir. Que va-t-il alors se passer ?

N'oublions pas que chaque point du milieu situé en avant du miroir participe au mouvement ondulateur et vibre en exécutant des oscillations autour de sa position d'équilibre. Dès lors, un point quelconque se trouvera sollicité à la fois par deux mouvements ondulatoires : le mouvement direct et le mouvement réfléchi. Si ce point est dans des conditions telles que les deux vitesses qui le sollicitent du fait de ces deux mouvements aient, à un instant donné, la même direction, ces vitesses s'ajouteront l'une à l'autre et il en résultera un accroissement dans la vibration propre du point considéré; mais si ces deux vitesses sont, au même instant, égales et de sens contraires, les deux mouvements s'annuleront, et le point considéré restera en repos. Si c'est d'une onde sonore qu'il s'agit, il y aura en ce point extinction de tout bruit : il y aura silence.

L'étude des mouvements vibratoires conduit donc à cette conséquence remarquable que du son ajouté à du son peut produire, tantôt une duplication du mouvement sonore, tantôt une annulation de ce mouvement. Une expérience célèbre, faite par le colonel Napoléon Savart en 1839, a apporté à cet énoncé une éclatante confirmation expérimentale. En avant d'un grand mur de la citadelle d'Alger, cet officier avait placé un timbre qu'il faisait vibrer en le frappant avec un marteau. Le timbre devenait le centre d'une onde directe qui se propageait jusqu'au mur et s'y réfléchissait. Or, en promenant l'oreille sur la ligne droite allant du timbre à la muraille, il constata l'existence de points équidistants auxquels le son s'éteignait complètement; ces points étant séparés par d'autres, également équidistants, où le son était énergiquement renforcé. L'existence des interférences était donc démontrée d'une façon matérielle.

L'étude des tuyaux sonores, comme les tuyaux d'orgue, et celle de la vibration des cordes de violon, montrent bien aussi qu'il y a des points où la vibration est nulle, où le mouvement est éteint, tandis qu'en d'autres points il est renforcé. Les premiers s'appellent des *nœuds* et les seconds des *ventres*.

Nous dirons donc qu'en avant d'une surface plane sur laquelle vient tomber une onde plane, il y a une série de plans équidistants, dans lesquels

lout mouvement est éteint : ce sont les plans *nodaux*, ces plans sont séparés par des plans parallèles où le mouvement est renforcé : ce sont les plans *ventraux*. La distance entre deux plans *nodaux consécutifs* ou entre deux plans *ventraux consécutifs* est toujours égale à une demi-longueur d'onde.

CHAPITRE IV.

LES ONDES LUMINEUSES.

L'éther lumineux.

Les principes précédents ont une vérification continuelle dans l'étude des phénomènes sonores qui constitue la partie de la Physique appelée *Acoustique*. L'honneur de donner la première théorie rationnelle de la lumière, en la considérant comme résultat d'un mouvement ondulatoire, était réservé à un savant français : j'ai nommé Augustin Fresnel.

Par une conception de génie, l'illustre physicien imagina qu'un point n'était lumineux que parce qu'il était un centre de vibrations très rapides, et que ces vibrations se transmettaient à travers un milieu spécial. Ce milieu hypothétique ne devait pas être un gaz, puisque la lumière se transmet dans le vide. Fresnel lui a donné le nom d'*éther*, et a admis qu'il remplissait tout, même les espaces interplanétaires. Les molécules de ce milieu, douées d'une élasticité parfaite, jouent dans cette hypothèse le rôle des billes d'ivoire de l'expérience que

nous avons faite en commençant cet exposé; elles se transmettent de l'une à l'autre, sans néanmoins quitter leurs places respectives, l'impulsion reçue par la première d'entre elles.

Vitesse de la lumière.

Cette transmission du mouvement vibratoire, de molécule à molécule, se fait dans l'éther avec une vitesse considérable.

On a pu mesurer par des expériences directes, les unes inspirées par l'Astronomie, les autres du domaine de la Physique pure, la vitesse avec laquelle se propage une onde lumineuse; toutes les expériences ont été sensiblement d'accord et ont donné le résultat suivant :

La lumière se propage avec une vitesse de trois cent mille kilomètres par seconde.

Ainsi, pour donner une idée de la rapidité de cette transmission, nous dirons qu'un rayon lumineux met huit minutes à franchir la distance qui sépare la Terre du Soleil. Puisque, d'ailleurs, nous avons admis que la lumière avait pour origine un mouvement vibratoire, ce mouvement se transmettra dans l'éther, par ondulations, comme le son dans l'air. Chaque onde est une sphère, qui augmente rapidement de diamètre, comme un ballon qui se gonflerait assez vite pour que son rayon s'accrût de 300 000 kilomètres par seconde.

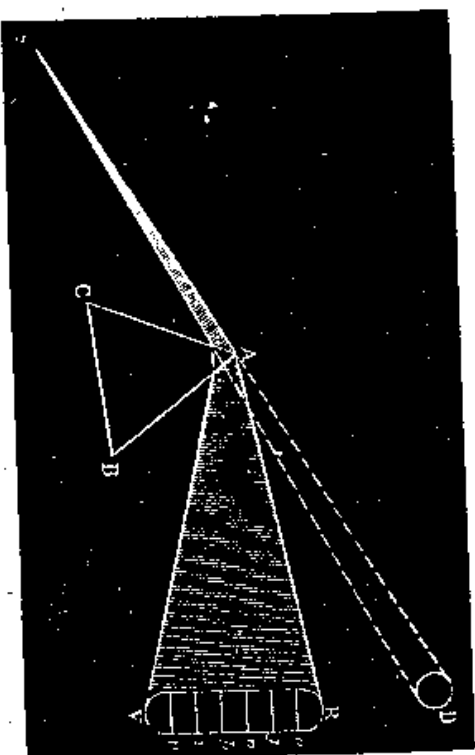
A une distance infinie de son point de départ, une petite portion de cette surface sphérique est sensiblement plane.

Lumière blanche. Couleurs simples.

C'est Newton qui a découvert la complexité de la lumière blanche, en instituant l'expérience classique du spectre solaire.

Par une ouverture très petite, S (fig. 5), il fit

FIG. 5.



pénétrer dans une chambre obscure un rayon horizontal de lumière solaire. Ce rayon, si on l'avait laissé cheminer librement, aurait été dessiner sur un écran une image brillante et ronde, D. Newton plaça sur son chemin un prisme de verre à arêtes verticales, dans la position indiquée par la figure.

Aussitôt le faisceau incident était dévié de sa direction première. En même temps il s'étalait et venait former sur l'écran, non plus une image ronde, mais une bande allongée qui présentait toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, rangées dans l'ordre suivant que résume l'alexandrin célèbre :

Violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge.

Le violet est la couleur la plus déviée, et se trouve à l'une des extrémités de ce *spectre* coloré, tandis que le rouge, moins dévié que les autres, se trouve à l'autre extrémité.

La lumière blanche était donc décomposée par un prisme en *couleurs simples*.

En recevant ce spectre sur un miroir tournant lentement et en regardant ce miroir dans une direction fixe, Newton voyait successivement toutes les couleurs du spectre; mais, si la vitesse du miroir s'accélérait, l'œil voyait toutes les couleurs simultanément, et de cette superposition des impressions résultait la sensation de la lumière blanche. Il avait donc reconstitué, par une expérience inverse, la lumière blanche à l'aide des couleurs simples, démontrant ainsi, par une expérience concluante, la réciproque de sa proposition fondamentale.

Couleurs complémentaires.

Cachons, à l'aide d'un obstacle opaque, une partie des rayons du spectre, et examinons les teintes restantes à l'aide du miroir tournant animé d'un rapide mouvement : il nous manque des couleurs; nous n'aurons donc plus de blanc, mais une certaine couleur A. Faisons la même expérience, mais cette fois en cachant les couleurs précédemment examinées, et en examinant au miroir celles que nous avons cachées tout à l'heure; nous aurons une autre couleur résultante B.

Évidemment les couleurs A et B, mélangées ensemble, reproduiraient de la lumière blanche : on les appelle *couleurs complémentaires*.

Théorie de Fresnel.

Comment expliquer, dans la théorie des ondulations, les différences de coloration des diverses parties du spectre?

Fresnel a réussi à trouver cette explication, en comparant les couleurs simples aux notes musicales de la gamme.

Nous avons vu que tout son était produit par un corps vibrant, engendrant une onde qui arrivait jusqu'à notre oreille pour y produire la sensation sonore. Mais tous les sons ne sont pas identiques,

et nous savons très bien distinguer une note *aiguë* d'une note *grave*. Les physiciens ont étudié ce caractère d'acuité et de gravité des divers sons, et sont arrivés à cette conclusion expérimentale que les sons émis par un même corps vibrant étaient d'autant plus élevés que les vibrations étaient plus rapides, quelle que soit la nature du corps vibrant. A chaque son correspond donc une longueur d'onde qui lui est propre.

Mais alors, direz-vous, les sons aigus se transmettent plus vite, dans l'air, que les sons graves?

Point du tout, ils parcourent plus vite la distance qui sépare un nœud d'un autre nœud; mais comme ces nœuds sont plus nombreux, l'espace total parcouru par un son, quelle que soit sa hauteur, pendant une seconde, est toujours le même; la vitesse du son dans l'air est 330 mètres par seconde.

Nous en avons, du reste, une preuve matérielle toutes les fois que nous écoutons un orchestre à distance : la mélodie et l'harmonie nous arrivent et nous donnent, à l'intensité près, la sensation exacte du morceau exécuté. Cela n'aurait pas lieu si les sons aigus des violons et des flûtes cheminaient plus vite que les sons graves des trombones, des contrebasses, etc., et font l'impression que nous n'entendons plus qu'une étonnante caraphonie dont les désagréments croîtraient avec la distance.

Fresnel a comparé les couleurs simples aux sons simples.

Il a admis que le nombre des vibrations effectuées pendant une seconde par un point lumineux qui émet de la lumière *rouge* n'était pas le même que celui qui correspond à la lumière *jaune*. Il en résulte, inversement, que la *longueur d'onde* sera différente pour ces différentes couleurs. Le Tableau suivant donne les nombres de vibrations effectuées en une seconde par un point lumineux émettant les diverses couleurs. Cette comparaison des sons aux notes de la gamme musicale n'est, d'ailleurs, qu'un moyen d'explication, et il n'y a pas de *gamme* de couleurs dont les éléments soient susceptibles, en se combinant, de former des *accords*.

1. *Nombres de vibrations correspondant aux diverses couleurs.* — On a, du reste, pu déterminer, par des expériences précises autant que délicates, les nombres de vibrations correspondant aux diverses couleurs simples. Voici quelques-uns de ces nombres :

Rouge.....	497 milliards, par seconde.
Orange.....	524 "
Jaune.....	570 "
Vert.....	604 "
Bleu.....	648 "
Indigo.....	685 "
Violet.....	728 "

2. Longueurs d'onde des couleurs simples.

— Voici maintenant le Tableau qui donne les longueurs d'onde correspondant aux diverses couleurs simples :

Rouge.....	6,20	dix-millimètres de millimètre.
Orangé....	5,83	"
Jaune.....	5,51	"
Vert.....	5,12	"
Bleu.....	4,75	"
Indigo....	4,49	"
Violet....	4,23	"

Le rouge a donc de l'analogie avec les notes graves de l'échelle musicale, et le violet avec les notes aiguës.

Les couleurs complexes.

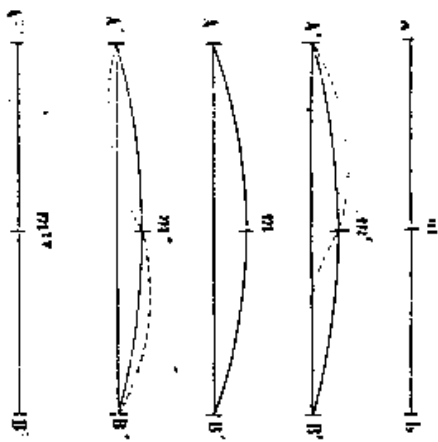
Comment expliquer maintenant les couleurs complexes, non plus celles du spectre qui sont simples, mais celles des corps naturels?

Nous aurons encore recours aux propriétés des mouvements vibratoires, et une comparaison avec les phénomènes sonores nous rendra plus facile à saisir la théorie des couleurs.

Plusieurs mouvements vibratoires peuvent se superposer l'un à l'autre. Ainsi, quand une corde est tendue sur une caisse sonore, comme la corde d'un violoncelle, on peut la faire vibrer tout en-

tière. Ses deux extrémités seront immobiles, seront deux nœuds, tandis que son milieu vibrera avec l'amplitude maxima : ce sera un ventre. Mais on peut attaquer cette corde avec l'archet de manière que, tout en vibrant dans son ensemble, chacune de ses moitiés vibre individuellement, suivant les contours ponctués représentés par la *fig. 6*.

Fig. 6.



Dans ces conditions, nous réalisons la superposition de deux mouvements vibratoires : celui de la corde entière et celui de ses deux moitiés vibrant isolément. Il en résulte un son complexe, formé du son fondamental et de son harmonique superposé; c'est cette superposition qui donne à l'oreille les sensations du *timbre* des différents sons, c'est-à-dire celles qui différencient une note jouée par une clarinette de la même note jouée par un violon.

La *phonographe* est un instrument basé sur ce principe : les vibrations d'une seule membrane peuvent reproduire plusieurs mouvements vibratoires superposés, rendre la parole humaine et l'enregistrer par un gaufrage piqué sur un cylindre malléable. De même, quand nous sommes dans une chambre dont les fenêtres sont fermées, nous entendons parfaitement une musique militaire qui passe dans la rue, et cependant c'est la seule surface du verre vibrant sous l'influence des sons émis au dehors, qui nous transmet les sons si complexes des instruments à vent.

Les couleurs complexes, telles que le marron, les différentes nuances de vert, etc., s'expliquent par un mécanisme analogue. Elles résultent de la superposition de plusieurs mouvements vibratoires simples.

Coloration des corps.

Disons à ce propos ce qu'on entend par *couleur* des corps.

La couleur résulte de la diffusion des rayons qui éclairent un corps. Ce corps en absorbe quelques-uns et en réfléchit d'autres dont le mélange produit sur l'œil l'impression d'une teinte déterminée. Une tapisserie nous paraît rouge parce qu'elle réfléchit surtout la lumière rouge et qu'elle absorbe les autres couleurs.

Les corps qui réfléchissent tous les rayons solaires, quels qu'ils soient, nous paraissent blancs ; ceux qui les absorbent tous, au contraire, nous semblent noirs.

Il est évident, d'après cela, que la couleur apparente d'un corps pour notre œil doit varier avec la nature de la lumière qui l'éclaire ; elle n'est pas la même au jour ou à la lumière électrique, ou à celle de l'acétylène, qui sont des lumières blanches contenant tous les rayons, qu'à la lumière exclusivement jaune du gaz. Avec une lumière monochromatique, elle participe forcément à la teinte même de cette lumière.

CHAPITRE V.

INTERFÉRENCES DE LA LUMIÈRE.

Expérience des deux miroirs.

Fresnel avait envisagé les phénomènes lumineux comme étant produits par des vibrations. La lumière doit donc présenter les particularités de tous les mouvements ondulatoires, et il doit être possible de produire des interférences avec deux ondes lumineuses.

A cet effet, on prend deux miroirs faisant entre eux un très petit angle : un point lumineux placé en avant donne, en arrière de ces miroirs, deux images très rapprochées, qui peuvent être considérées chacune comme le centre d'une onde distincte.

Si ces ondes, arrivant en un point, sont telles qu'elles aient parcouru des chemins différents et que leur différence de marche soit, ou une demi-longueur d'onde, ou un nombre impair de demi-longueurs d'onde, ce point aura au même instant deux vitesses égales et de signes contraires : il y aura donc annulation du mouvement vibratoire, c'est-

à-dire obscurité. Il y aura, au contraire, redoublement de lumière en tous les points où les deux ondes auront, ou parcouru le même chemin, ou parcouru des chemins dont la différence est un nombre entier de longueurs d'onde.

Si l'on a eu soin d'opérer avec une lumière parfaitement monochromatique, on aura donc, sur

Fig. 7.

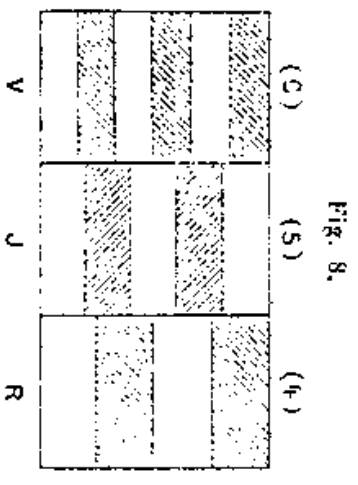


un écran placé en face des deux miroirs, une série de franges, alternativement brillantes et obscures, parallèles à l'intersection des deux miroirs, comme le représente la Fig. 7.

Si nous avons opéré avec de la lumière jaune et que nous la remplacions par de la lumière plus réfrangible, de la lumière violette par exemple, les franges sembleront se resserrer les unes vers les autres. La Fig. 8 montre l'écartement relatif des franges dans le rouge (R), dans le jaune (J) et dans le violet (V).

Si enfin nous employons de la lumière blanche,

l'effet produit sera la résultante des effets partiels que l'on obtiendrait avec chacune des couleurs



simples séparément : on aura donc des franges irisées, présentant les différentes couleurs du spectre.

Interférences dans la réflexion normale.

L'expérience précédente, imaginée et réalisée pour la première fois par Fresnel, est très brillante et relativement facile à répéter : elle nous prouve nettement l'existence des interférences lumineuses. Nous pourrions donc être certains que, quand une onde directe et une onde réfléchie se rencontrent, elles pourront et devront interférer.

En particulier — et ceci est d'une importance capitale pour le sujet qui nous occupe, — quand on fait tomber de la lumière perpendiculairement à la surface d'un miroir plan, l'onde réfléchie inter-

férera avec l'onde directe, en donnant naissance, en avant du miroir, à une série de plans parallèles, alternativement brillants et obscurs : les plans obscurs correspondent aux interférences, et la vibration lumineuse y est éteinte; elle est, au contraire, doublée dans les plans lumineux, et l'on réalise ainsi en Optique l'expérience faite avec les sons par le colonel Savart. Deux plans obscurs consécutifs (deux plans *nodaux*, comme on dit en Physique) sont séparés l'un de l'autre par un intervalle d'une demi-longueur d'onde. Il en est de même de deux plans *ventraux* consécutifs.

Ce phénomène se produit toutes les fois qu'une onde se réfléchit sur un miroir, nous allons voir ce qui a lieu quand la lumière rencontre une lame mince, c'est-à-dire une lame transparente, dont les deux faces parallèles sont séparées par une épaisseur très faible.

Anneaux colorés de Newton.

Les interférences vont nous servir à expliquer l'un des phénomènes naturels les plus intéressants : je veux parler des couleurs que présentent les lames minces.

Tout le monde a remarqué ces teintes merveilleusement pures que présentent les bulles de savon. En les examinant, on y reconnaît aisément les teintes simples du spectre. Malheureusement elles

se prêtent mal à l'étude, à cause de leur caractère fugitif et changeant.

Le génie de Newton avait pressenti la cause du phénomène : l'illustre physicien la voyait dans la minceur même de la lamelle liquide qui forme la bulle. Il imagina alors de reproduire le phénomène avec plus de régularité, et voici le dispositif qu'il a adopté :

Sur une lame de glace rigoureusement plane (fig. 9), on pose par sa face sphérique une len-

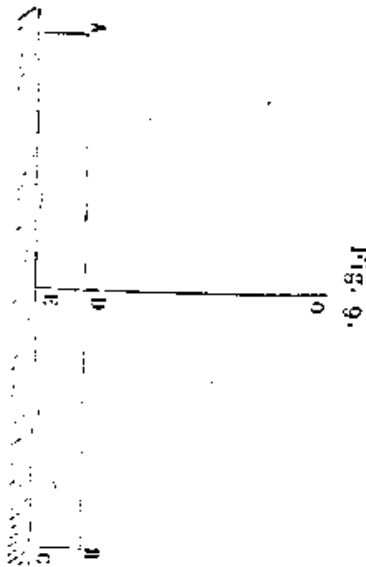


Fig. 9.

ille plan-convexe ADBE, qui touche par un seul point, le point E, la glace de verre. A partir de ce point, les deux lames sont séparées par une tranche d'air d'autant plus épaisse qu'elle est plus éloignée du point de contact.

Dans ces conditions, voici ce que l'on observe :

Si l'on éclaire ce système des deux verres ainsi superposés par de la lumière monochromatique (telle que la lumière jaune qui résulte de la com-

bustion d'une lampe à alcool salé), on voit par réflexion une tache noire centrale entourée d'anneaux concentriques, alternativement brillants et obscurs. Ces anneaux ne sont pas équidistants : ils se resserrent d'autant plus qu'ils sont plus éloignés du centre noir correspondant au point de contact des deux verres.

En employant une lumière de nature différente, on voit le diamètre des anneaux augmenter ou diminuer suivant que la longueur d'onde de la lumière employée est plus grande ou plus petite.

Il résulte de là que, si l'on éclaire l'appareil avec de la lumière blanche, on aura la superposition des effets obtenus avec les diverses lumières simples. Les couleurs ne coïncident pas ; par conséquent on n'aura pas un système d'anneaux alternativement noirs et blancs : on aura des anneaux irisés des couleurs de l'arc-en-ciel, absolument comme le sont les franges d'interférences dans les miroirs de Fresnel quand on emploie la lumière blanche.

Mais ce n'est pas tout. Au lieu de regarder le système de nos deux verres par réflexion, nous pouvons le regarder par transparence, c'est-à-dire l'interposer entre notre œil et la lumière diffuse. Dans ce cas, on observe encore des anneaux, seulement ils sont inverses des précédents : là où il y avait un anneau blanc nous observons un anneau obscur et réciproquement. Par exemple, le centre qui était obscur et formait une tache

noire quand on regardait le système par réflexion devient brillant quand on l'observe par transparence, et, si l'on se sert de lumière blanche, les anneaux que l'on observe de la seconde manière ont exactement les couleurs complémentaires de ceux que l'on avait observés en premier lieu.

Lois du phénomène.

Newton a étudié de plus près cette admirable expérience.

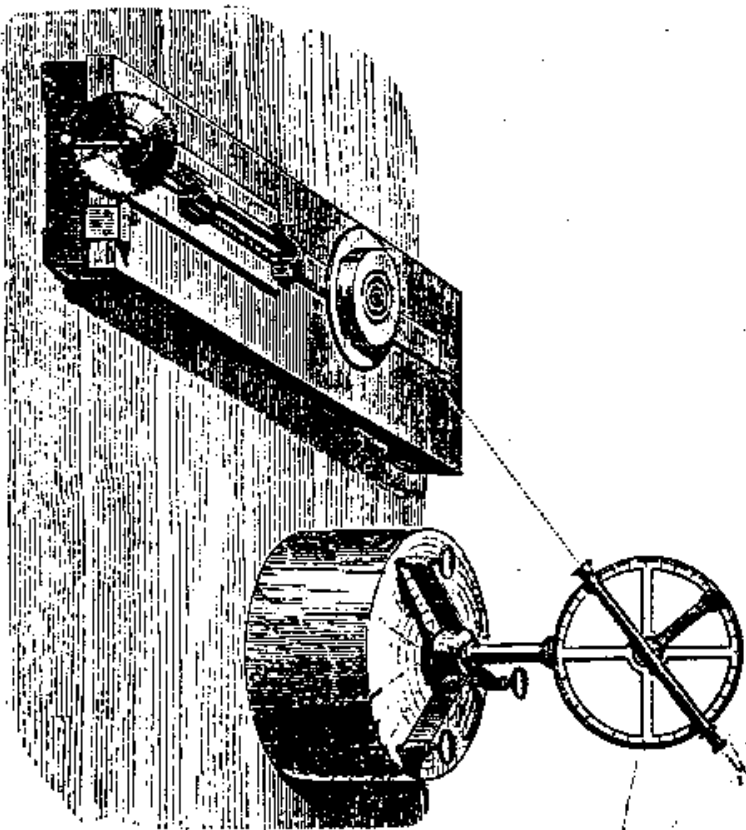
Il plaçait son œil en O, sur la verticale OMM (fig. 9) et prenait avec un compas les diamètres successifs des divers anneaux : l'écartement des branches du compas était ensuite mesuré à l'aide d'une règle divisée.

Deux savants français, de la Provostaye et Desains, ont réalisé, pour étudier les anneaux de Newton, un appareil très précis que représente la fig. 10.

Le système des deux verres, lentille et glace, se voit sur la figure avec les anneaux qui s'y produisent et que l'on peut observer plus commodément à l'aide d'une lunette. Les deux verres sont portés sur un chariot mobile que l'on peut faire mouvoir le long d'une règle divisée à l'aide d'une vis micrométrique qui lui imprime des déplacements aussi petits que l'on veut, et connus très exactement. On éclaire le tout avec de la lumière jaune.

En mesurant ainsi avec le plus grand soin les

Fig. 10.



diamètres successifs des divers anneaux, on a pu énoncer la loi suivante :

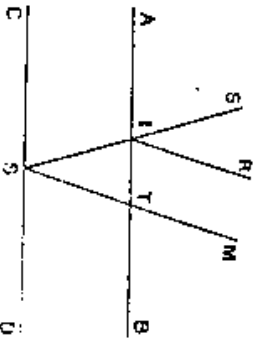
Les épaisseurs des anneaux obscurs sont égales aux multiples pairs successifs du quart de la longueur d'onde de la lumière employée. — Les épaisseurs des anneaux brillants sont égales aux multiples impairs de la même quantité.

Théorie des anneaux de Newton.

Il y a donc une relation entre les dimensions des anneaux et la longueur d'onde. Les propriétés des interférences vont maintenant nous permettre d'expliquer le phénomène.

Représentons-nous une lame mince transparente, ABCD (fig. 11), limitée par deux surfaces très

Fig. 11.



voisines AB et CD : par exemple une tranche d'air comprise entre deux lames de verre. Laçons sur l'appareil un rayon lumineux SI : avant de continuer son chemin à travers la tranche d'air, une portion de ce rayon se réfléchira sur la première lame de verre, suivant IR; l'autre portion arrivera jusqu'à la seconde lame, CD, sur laquelle elle se réfléchira suivant STM.

Les deux rayons réfléchis IR et TM vont donc avoir parcouru des rayons différents : le second aura parcouru, en plus du chemin parcouru par le

premier, la ligne brisée IST; il sera donc *en retard sur le premier*.

Suivant que ce retard sera un multiple impair ou pair de la demi-longueur d'onde, les deux rayons réfléchis interféreront ou donneront un redoublement de la couleur ayant la même longueur d'onde. Les lames minces permettent donc d'avoir la sensation des couleurs, quoiqu'elles soient elles-mêmes formées d'une substance parfaitement transparente. Les couleurs des lames minces ne prennent d'ailleurs la forme d'anneaux que par suite de la disposition de la lentille au-dessus de la glace de verre. Dans le cas où les deux faces réfléchissantes sont parallèles, on a des franges rectilignes ou peu courbées, qui ressemblent aux franges de l'expérience des deux miroirs. Si l'épaisseur était rigoureusement constante, on aurait une couleur uniforme.

CHAPITRE VI.

LA PHOTOGRAPHIE DES COULEURS.

Principe de l'expérience de M. Lippmann.

Ces notions nécessaires étant acquises, voici maintenant le principe de l'expérience de M. Lippmann :

Considérons un miroir plan métallique, et supposons que sa face réfléchissante ait été recouverte, par les procédés ordinaires de sensibilisation, d'une couche impressionnable formée d'albumine ou de collodion au chlorure ou bromure d'argent. Supposons en outre que cette couche soit *transparente, continue et sans grains*. Faisons tomber sur elle un rayon d'une lumière quelconque, colorée, ayant une longueur d'onde déterminée, et occupant par conséquent une place déterminée dans le spectre : Les rayons incidents traverseront la couche sensible et transparente, se réfléchiront sur la surface polie, et reviendront sur leurs pas; mais ils rencontreront en revenant les rayons qui arrivent. Nous aurons alors deux ondes lumineuses : une onde directe et une onde réfléchie,

qui vont produire des interférences et donner naissance à des plans *nodaux* et *ventraux*. L'espace en avant du miroir sera donc rempli de plans parallèles, alternativement brillants et obscurs, deux plans consécutifs de même nature étant séparés par une distance égale à une demi-longueur d'onde, c'est-à-dire, dans le cas de la lumière jaune, à la *quatre-millième partie d'un millimètre*. Il y aura, par conséquent, plusieurs de ces plans situés dans l'épaisseur même de la couche sensible, qui est de l'ordre du dixième de millimètre.

Les plans brillants seuls impressionneront cette couche, et cette impression viendra en noir au développement, tandis que les tranches correspondant aux plans obscurs ne seront pas impressionnées. Si donc nous mettons la plaque développée dans l'hyposulfite de soude, toute la matière sensible à la lumière et non altérée va se dissoudre, et il ne restera que des tranches infiniment minces d'argent réduit, là où il y avait les plans brillants. Il en résulte que toute l'épaisseur de la couche photographique sera partagée en tranches par des plans d'argent métallique, parallèles entre eux et séparés l'un de l'autre par une distance égale à la demi-longueur d'onde de la lumière qui a impressionné la plaque.

Mais deux de ces plans constituent, avec la matière transparente qu'ils comprennent entre eux,

une lame mince, et précisément une lame mince d'épaisseur telle que, d'après la théorie des anneaux de Newton, les rayons réfléchis sur ses deux faces donnent, en interférant entre eux, la sensation de la couleur correspondante.

Donc, quand on regardera par réflexion la plaque fixée et séchée, on verra reproduite la couleur même de la lumière que l'on a fait tomber sur la plaque. On ne verra d'ailleurs que celle-là; en effet, ce système de lames parallèles à écartement réglé par la lumière elle-même constitue un véritable *filtre* pour tous les rayons dont la lumière blanche est composée; il ne renvoie à l'œil que ceux dont la longueur d'onde correspond à l'écart des plans d'argent réduit, c'est-à-dire ceux de la lumière qui a impressionné la plaque, absolument comme un pignon denté ne peut engrainer qu'avec une crémaillère dont les dents ont le même écartement que les siennes.

Choix des plaques sensibles.

Tel est le principe de cette merveilleuse expérience, si simple et si scientifique dans son essence. Mais cette simplicité de conception exige une grande précision dans la réalisation expérimentale.

Tout d'abord, il faudra exclure les plaques au gélatinobromure ou au gélatinoclorure que l'on trouve dans le commerce, et dont la couche sen-

sible est une émulsion. Vu au microscope, une telle couche présente un *grain* très grossier, provenant des parcelles solides de la matière sensible. Les particules de ce grain ont des dimensions considérables par rapport à la demi-longueur d'onde : elles obstrueraient donc complètement la couche, déformeraient les plans réfléchissants et empêcheraient toute manifestation du phénomène chromatique. Les plaques du commerce sont, en outre, le plus souvent opaques, et ne seraient pas susceptibles d'être traversées par l'onde directe et l'onde réfléchie, ce qui est un second motif d'exclusion.

Il sera donc naturel de s'adresser de préférence aux couches sensibles de collodion ou d'albumine, qui ont l'avantage d'être continues et transparentes. Ces couches seront préparées par la méthode ordinaire, et ne contiendront pas d'émulsion, mais seront sensibilisées au bain d'argent, comme dans les anciens procédés au collodion. Les couches mixtes d'albumine et de collodion qui constituent le procédé *Taeyenot* ont donné d'excellents résultats. M. Lippmann a aussi fait usage de plaques gélatinées, sensibilisées au bain d'argent, comme la glace collodionnée.

En somme, pourvu que la couche n'ait pas de grains, ou du moins, pourvu que son grain soit de dimensions négligeables vis-à-vis de la demi-longueur d'onde, toutes les préparations sensibles pourront être employées. C'est ainsi que MM. Lu-

mière ont fait usage d'une émulsion très légère au gélatinobromure, ne contenant pas de grains et dont on trouvera la formule plus loin.

Premiers dispositifs de M. Lippmann. Exposition de la plaque.

Il restait à réaliser la juxtaposition de la couche sensible à un miroir plan.

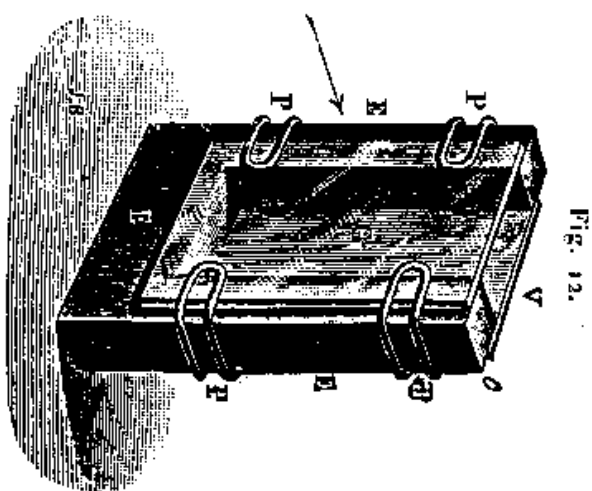
L'idée qui se présente naturellement à l'esprit est d'argenter une glace à faces parallèles, de polir le dépôt d'argent et d'appliquer directement la couche sensible sur le miroir métallique ainsi obtenu.

Malheureusement cette idée n'est pas utilement réalisable. Quelle que soit la variété des formules d'albumeine et de colloidion sensibles, elles ont ceci de commun qu'elles contiennent toutes de l'iode libre : il résulte de là que la couche d'argent serait altérée rapidement et ternie par la couche d'iodeure d'argent qui se formerait à sa surface.

Voici la disposition ingénieuse à laquelle s'est arrêté tout d'abord M. Lippmann :

Il sensibilise une glace ordinaire, et forme avec cette glace G la paroi antérieure d'une petite auge rectangulaire (Fig. 12) dont les parois latérales sont constituées par un cadre d'ébonite B et dont le fond est une plaque de verre V. Les deux glaces G et V sont serrées contre le cadre par des pinces en laiton P, P. On verse alors du mercure dans

l'auge. Comme la couche sensibilisée de la glace est tournée vers l'intérieur, elle est directement en contact avec le mercure qui, s'il a été versé à l'aide d'un entonnoir long et fin descendant jusqu'au fond de la petite auge, la remplit sans laisser de bulles



d'air et forme, derrière la couche impressionnable, un miroir parfait : ce petit appareil, que tout le monde peut facilement construire en quelques instants, réalise pratiquement toutes les conditions imposées par la théorie, et permet la réalisation des photographies du spectre.

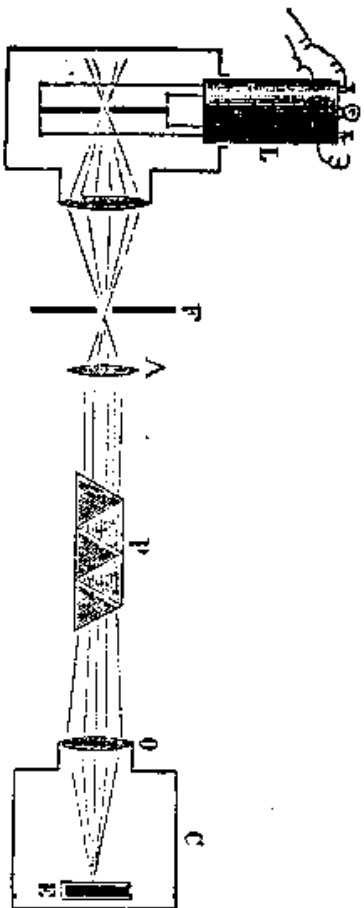
Pour faire la mise au point, on saisit l'auge dans un support à pinces, analogue à ceux que l'on trouve dans les laboratoires de Chimie, et que l'on

cale contre le fond ouvert d'une chambre photographique ordinaire : on met à la place de la glace sensible un petit carré de dépôt dont le côté mat est tourné vers l'intérieur de la petite cuve, et l'on met au point avec la crémaillère dont nous supprimons la chambre noire. (Toute chambre 13 \times 18 a des dimensions suffisantes pour cette opération.)

La mise au point étant faite, on desserre les pinces P, on enlève la petite glace dépolie qu'on remplace par la glace sensibilisée; on installe cette dernière *la couche sensible tournée vers l'intérieur* de la cuve; on fait le remplissage et l'on peut commencer la pose.

La fig. 13 représente la façon dont M. le Profes-

Fig. 13.



seur Lippmann a disposé, dans son laboratoire des Recherches physiques de la Sorbonne, la première et célèbre expérience de la Photographie des couleurs du spectre. Dans cette figure, L représente

la lampe électrique, F une fente sur laquelle la lumière est concentrée à l'aide d'une lentille; à la suite de cette fente est une seconde lentille qui reprend la lumière et en forme un faisceau parallèle; P est le prisme à vision directe qui décompose la lumière blanche et produit le spectre; O est l'objectif de la chambre photographique C, et enfin E représente la cuve à mercure précédemment décrite et supportant la plaque sensibilisée.

Temps de pose. Interposition des écrans colorés.

La question du temps de pose est capitale pour la bonne réussite de l'expérience; elle exige toujours quelques tâtonnements.

M. Lippmann s'est servi, comme source lumineuse, pour remplacer le soleil, d'une lampe électrique à arc, système Cance, d'une puissance de 800 bougies. Il obtenait ainsi un spectre très brillant.

Ce spectre contient une extrémité rouge qu'il s'agit de photographier en même temps que les autres couleurs. Or on connaît le peu d'activité chimique des rayons rouges : ils impressionnent les plaques assez lentement pour qu'on puisse se servir de lumière rouge pour développer sans danger les glaces au gélatinobromure d'argent. Tous les photographes savent d'ailleurs fort bien que les objets rouges viennent en noir sur les positifs : ils n'ont donc pas impressionné la plaque négative expo-

sée dans la chambre, quelque sensible qu'elle fût. Aussi, malgré l'éclat du spectre solaire, la pose qui devra reproduire le rouge devra être forcément très longue : elle a varié, suivant que l'on employait du collodion ou de l'albumine, d'une demi-heure à deux heures.

Mais, ici, une difficulté se présente. Si le rouge vient lentement, en revanche le bleu et le violet sont des couleurs actives par excellence, et *solariseront* complètement la plaque si on les laisse poser pendant tout le temps nécessaire à la bonne impression du rouge. Il faudra donc trouver un moyen de laisser poser les rayons de la région rouge *seuls* pendant longtemps, ne permettre au vert, plus actif, qu'une durée d'impression de quelques minutes, que l'on réduira à quelques secondes pour la région bleue et la violette.

M. Lippmann, dans le début de ses expériences, est arrivé à ce résultat en interposant sur le trajet du faisceau lumineux, pendant toute la pose du rouge, une petite cuve de glace pleine d'une dissolution d'hélianthine rouge. Cette substance absorbe complètement les radiations vertes, bleues et violettes et ne laisse passer que les rayons rouges et jaunes. On peut donc, grâce à cet écran coloré, laisser poser le rouge pendant tout le temps nécessaire sans risque de solariser les régions verte et bleue.

Quand le rouge a suffisamment posé, on ren-

place la cuve à hélianthine par une cuve contenant une solution de bichromate de potasse, qui laisse passer le vert et le rouge, mais arrête les rayons bleus ; dans ces conditions, on impressionne à loisir la partie de la plaque qui correspond au vert du spectre ; le rouge continue à poser pendant ce temps.

Enfin, pour obtenir le bleu, on découvre complètement l'objectif pendant quelques secondes, sans interposition d'aucune cuve ; le bleu et le violet agissent à leur tour, et l'exposition est terminée, la pose *sur la même plaque* ayant ainsi été fractionnée en trois durées élémentaires. Nous verrons plus loin que, grâce à une étude approfondie de l'isochromatisme, M. Lippmann a pu supprimer cette complication et obtenir en *une seule pose* la venue de toutes les radiations spectrales avec des intensités sensiblement pareilles.

Développement.

Si l'on a employé une glace albuminée, on peut la développer, comme on sait, par deux procédés distincts : par un développement acide ou un développement alcalin.

Si l'on emploie le développement acide (acide gallique, par exemple), il faudra poser un peu plus longtemps, et pousser le développement à fond ; si l'on se sert du développement alcalin, il sera pré-

férable de poser un peu moins longtemps, à cause de la plus grande activité du développement.

Dans tous les cas, l'opération devra être conduite avec l'idée que l'on doit produire de l'argent réfléchissant dans l'épaisseur même de la plaque. Si l'on juge l'épreuve insuffisante, on peut, avant le fixage, la renforcer à l'acide. Il faut éviter toutefois de trop insister sur ce renforcement, à cause des *empâtements* qui pourraient se produire dans la couche et masquer les phénomènes de réflexion métallique sur les lames d'argent, si voisines les unes des autres, destinées à reproduire les couleurs.

Fixage. Apparition des couleurs.

Le fixateur employé a toujours été l'hyposulfite de soude à la dose de 150^{gr} par litre. Le fixage est très rapide à cause du peu d'épaisseur des couches de collodion ou d'albumine employées.

Pendant le développement et le fixage, les couleurs ne sont pas visibles; mais elles commencent à apparaître au séchage, les couches d'argent se plaçant alors à la distance qu'elles avaient lorsqu'elles ont été produites par l'action des interférences de la lumière sur la plaque sensible qui était sèche lors de son exposition.

Pour les voir dans les conditions les plus avantageuses, il faut regarder par réflexion la glace éclairée par de la lumière diffuse; soit celle du

jour, soit celle qui provient de la face interne d'un abat-jour blanc. En aucun cas, on ne doit, si l'on veut jouir de la vue complète du phénomène, regarder la plaque éclairée directement par une source lumineuse.

Les couleurs ont un aspect dont on ne peut se faire une idée si on ne les a pas vues : elles ont une sorte d'éclat métallique qui leur donne une vivacité extraordinaire. Il est presque inutile d'insister sur l'inaltérabilité absolue de l'épreuve ainsi obtenue : la couleur, en effet, n'y est pas produite par un pigment quelconque susceptible de s'altérer à la lumière : elle résulte de la réalisation d'une propriété mécanique du mouvement vibratoire qui constitue la lumière. Cette inaltérabilité est telle que l'on peut projeter sur un écran les images de ces spectres vivement éclairés par une lumière électrique intense sans altérer leurs couleurs en quoi que ce soit.

La réussite de ces épreuves démontre même d'une façon irréfutable la délicatesse de l'impression photographique; au moment de l'impression, la glace est sèche, et le support de gélatine, d'albumine ou de collodion a une certaine consistance, bien déterminée dans chaque cas. Pendant les opérations du développement, du fixage et du lavage, la couche est plongée dans des bains de nature diverse, qui la gonflent et modifient sa structure, laquelle ne redevient normale qu'après le séchage. Puisque,

dans ces conditions, les couleurs viennent à leurs places respectives, cela prouve que les plans d'argent réfléchissants sont revenus rigoureusement à leur place; et comme la distance de deux de ces plans est, en moyenne, d'un quatre-millième de millimètre, on peut juger par là de la précision vraiment surprenante réalisée par la Photographie.

Reproduction des couleurs complexes.

L'expérience de la Photographie des couleurs du spectre est décisive, car, comme toutes les teintes simples s'y trouvent, le problème de la reproduction d'une couleur simple quelconque est résolu d'une façon définitive.

On peut se demander ce qu'il adviendra quand on voudra reproduire une couleur complexe, comme celles des objets naturels?

On peut prévoir *a priori* que le problème soit résoluble de la même manière, car si l'on étudie algébriquement les propriétés d'un mouvement vibratoire, on peut, en appliquant un remarquable théorème dû à Fourier, démontrer que les mouvements périodiques élémentaires peuvent se superposer en donnant naissance à un mouvement périodique résultant, unique.

M. Lippmann, quand il a cherché pour la première fois à réaliser la reproduction des couleurs composées, a fait poser devant son appareil deux

verres de couleur, l'un bleu et l'autre vert, éclairés par transparence à l'aide de la lumière électrique. Ces verres, provenant des ateliers de vitraux de M. Ch. Champigneulle, y avaient été pris au hasard et étaient loin d'être des couleurs simples, puisque, vus au spectroscopie, ils laissaient passer sensiblement toutes les couleurs, en proportions variables: ils contenaient donc toutes les longueurs d'onde, et réalisaient à merveille deux couleurs complexes.

L'épreuve obtenue a été très satisfaisante et a rendu les deux couleurs d'une manière très nette. Depuis lors, comme nous le verrons plus loin, ce résultat si encourageant a été bien dépassé et l'illustre physicien a pu montrer, aux visiteurs de l'Exposition de 1900, des photographies de tableaux, des paysages d'après nature et des portraits obtenus en quelques secondes *d'une seule pose, sur une seule plaque, et développés dans un seul bain.*

Causes de l'insuccès des recherches antérieures.

On peut se demander pourquoi la remarquable expérience d'Edmond Becquerel n'avait pas donné de résultats définitifs; en un mot, pourquoi l'épreuve du spectre qu'il avait obtenue n'était pas susceptible d'être fixée: l'explication suivante a été proposée pour expliquer cet insuccès:

Ce savant avait constitué sa couche sensible par une couche de sous-chlorure d'argent violet, étendue

sur la face polie d'une lame réfléchissante de plaqué d'argent. Dans ces conditions, les plans nodaux et les plans ventraux, qui sont l'organe même de la reproduction physique des couleurs, se produiraient dans l'épaisseur de cette couche, et l'œil avait bien la sensation des couleurs spectrales. Mais, si l'on place la plaque impressionnée dans l'hyposulfite de soude, destiné à fixer l'image obtenue, les parties comprises entre les plans ventraux qui étaient seuls actifs, seront dissoutes. Comme ces particules constituaient le seul support qui maintenait les plans réfléchissants à la distance d'une demi-longueur d'onde, ce support venant à manquer, les plans réfléchissants *s'effondraient* les uns sur les autres, et toute coloration devait disparaître : c'est ce qui arrivait. Si maintenant, au lieu de fixer la plaque, on l'expose de nouveau à la lumière du jour, celle-ci agira sur les parties encore sensibles qui sont situées dans l'intervalle des plans ventraux et les impressionnera à leur tour : toute la matière sera donc altérée d'une façon uniforme et l'image disparaît encore.

Dans l'expérience de M. Lippmann, au contraire, la matière sensible est impressionnée dans la masse d'une substance transparente : collodion, gélatine, albumine, qui lui sert de support. Cette substance n'est point dissoute par le fixatif qui ne dissout que le chlorure non impressionné qu'elle emprisonne : elle sert donc de charpente à l'édi-

fice des plans parallèles réfléchissants, pour maintenir invariable la distance qui les sépare et qui est nécessaire à la production des couleurs par les interférences.

Les progrès.

Telles sont les premières étapes de la découverte de M. Lippmann, tel était l'état de la question en 1891. Que restait-il à faire pour aller plus loin ?

Disposer d'abord des appareils permettant l'exposition facile, dans la chambre noire, de plaques de grandes dimensions : c'est là une question matérielle qui n'était pas pour embarrasser nos habiles constructeurs. Trouver des substances plus sensibles que celles connues jusqu'ici, et permettant par conséquent de réduire dans de grandes proportions les durées de pose, surtout pour le rouge : c'est une question difficile à résoudre, mais le problème n'est pas insoluble. Il suffit de se reporter à l'histoire de la Photographie ordinaire pour voir une véritable révolution opérée par le gélatinobromure, qui permet d'obtenir en un centième de seconde le cliché qui aurait demandé, avec le collodion sec, dix minutes d'exposition : c'est donc une augmentation de sensibilité dans le rapport de 60000 à 1.

D'ailleurs, il faut bien remarquer que, même avec les plaques albuminées ou collodionnées em-

ployées au début par M. Lippmann, la venue du rouge exige seule des temps de pose aussi longs; les autres parties du spectre viennent en quelques minutes; le violet et le bleu même, en quelques secondes. Quelques variétés de plaques employées dans des essais plus récents avaient même permis de réduire à cinq minutes la pose du rouge : c'étaient déjà presque des temps de pose normaux.

Du reste, la sensibilité, si grande en apparence, du gélatinobromure d'argent des *glaces ordinaires* n'existe que pour les objets bleus ou violets : *la Photographie ordinaire ne rend que les parties bleues et violettes* des objets qu'elle reproduit. L'expérience journalière est là pour le prouver : les arbres viennent toujours, dans tous les clichés ordinaires, en noir sombre, ainsi que les prairies; les jaunes, qui sont pourtant des teintes claires dans la nature, viennent en noir; les rouges, les vermillons, quelque écarlates qu'ils soient, donnent toujours des images sombres, absolument comme s'ils étaient noirs. Au contraire, les couleurs violettes et bleues, naturellement foncées, sombres et peu visibles, impressionnent vigoureusement les plaques, et produisent, sur les clichés, des parties blanches qui donnent une sensation contraire à celle de l'objet.

Pour aller plus loin, il fallait trouver des plaques vraiment *isochromatiques*, s'impressionnant sensiblement pendant la même durée de pose, sous

l'influence des deux extrémités du spectre, et supprimer ainsi cette division de la pose en trois périodes, division qui enlevait un peu d'élégance et de précision à la méthode en y laissant subsister un peu d'arbitraire. M. Lippmann a résolu victorieusement le problème, et il nous reste à dire maintenant comment, grâce à ses derniers progrès, on peut faire aujourd'hui de la Photographie en couleurs, avec certitude de réussir.

Les procédés actuels de Photographie en couleurs.

Dans les pages précédentes, nous avons tenu à indiquer la manière dont M. Lippmann a fait ses premières épreuves et réalisé ces photochromies qui marquent une étape dans l'histoire de la Science. Il nous reste à dire en quelques mots les progrès effectués depuis lors.

Donnant un nouvel exemple de ce beau désintéressement scientifique dont nos savants français semblent avoir le noble privilège, M. Lippmann a voulu que tout le monde pût s'engager librement et sans contrainte dans la voie qu'il avait ouverte, et, refusant de couvrir par des brevets sa découverte pourtant bien personnelle, il a mis la Photographie des couleurs dans le domaine public.

Aussi de nombreux travailleurs se sont-ils acharnés à perfectionner la méthode interférentielle. Au premier rang MM. Lumière frères, en France,

puis MM. Valenta en Autriche et Neuhauss en Allemagne, pour ne citer que ceux-là, ont obtenu d'admirables épreuves par la méthode Lippmann. De leur côté, les constructeurs s'ingénierent à réaliser un matériel pratique et peu encombrant; de sorte qu'aujourd'hui la Photographie en couleurs est chose pratique et accessible à tous les photographes, amateurs ou professionnels. Nous allons exposer maintenant les conditions *actuelles* dans lesquelles on peut mettre en œuvre la méthode des interférences.

Le matériel. — Aujourd'hui, on peut partir en voyage avec une chambre 9×12 , pour faire de la Photographie en couleurs, comme on le ferait pour la Photographie ordinaire : seuls les châssis négatifs à emporter sont différents.

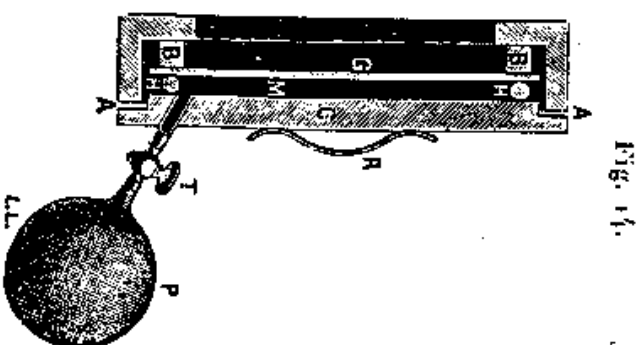
Chambre noire. — Toutes les chambres noires sont utilisables pour la Photographie interférentielle; M. Lippmann se sert constamment d'une petite chambre 9×12 pliante en acier, à queue rentrante et à crémaillère, extrêmement portative.

Châssis. — Plusieurs dispositifs ont été imaginés pour réaliser l'installation d'une lamelle de mercure adossée à la couche sensible.

Le châssis à pinces métalliques, que nous avons décrit en parlant des premières expériences de

Photographie en couleurs destinées à reproduire le spectre solaire, est un instrument de laboratoire et ne saurait s'appliquer à un appareil transportable.

MM. Lumière ont imaginé un châssis fermé dans lequel le mercure n'est introduit qu'au moment même de la pose. À cet effet, le métal liquide est contenu dans une poire de caoutchouc commu-



niquant avec l'arrière de la plaque sensible par un tube à robinet T (Fig. 14). La plaque sensible G est appliquée contre le fond du châssis par l'intermédiaire de lamelles de caoutchouc H, H qui constituent les parois latérales d'une cuve étanche dont la plaque sensible G et une plaque de fer C

forment les deux fonds. Au moment d'exposer, on presse la poire : le mercure remplit le compartiment étanche, on ferme le robinet. La pose une fois terminée, on ouvre le robinet : le mercure redescend dans la poire, on ouvre le châssis et l'on développe comme nous le verrons plus loin.

M. Valenta a adopté un dispositif très simple et peu volumineux : c'est à peu près le châssis-presse en usage pour le fixage des épreuves positives sur papier. Ce châssis est représenté ouvert sur la

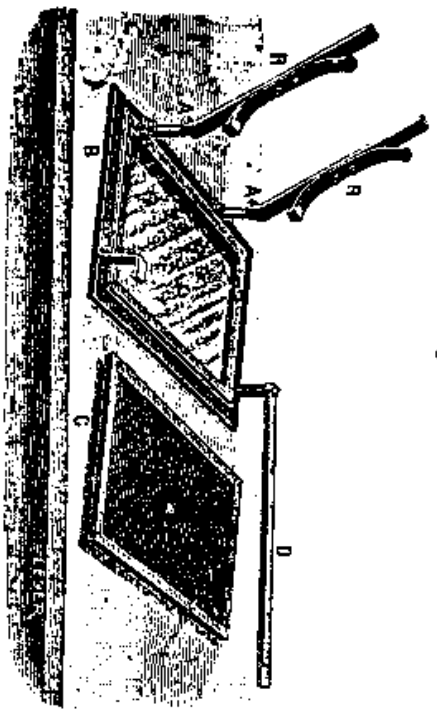


Fig. 15.

fig. 15, et fermé, tout monté, sur la *fig. 16*. C'est un cadre au fond duquel on met la glace sensible, face en dessus F; sur cette glace on applique un couvercle de fer C, bordé d'un ruban de caoutchouc en contact avec la face gélatinée. Quand on l'a mis en place, on verse du mercure par les deux trous que l'on voit dessinés sur le fond en fer C,

et l'on assujettit le tout à l'aide des ressorts R, de la barre D et de l'arrêt E; on ferme par des bouchons à vis les orifices de remplissage, et le châssis,

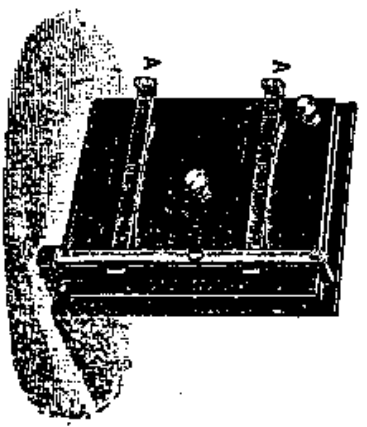


Fig. 16.

que l'on peut alors relever, est tout prêt à être exposé dans la chambre.

M. Contamine, de Lille, a imaginé un châssis ingénieux dans lequel il y a un réservoir automatique à mercure : c'est la cavité A, creusée dans l'épaisseur du bois. Quand on relève le châssis, le mercure descend naturellement derrière la plaque; quand on remet le châssis à plat, il retombe en A par les lois de l'équilibre des liquides pesants (*fig. 17 et 18*).

M. Lippmann emploie un châssis qui a quelque analogie avec le châssis simple des anciennes chambres noires : le fond contient une plaque bordée de peau de chamois qu'un ressort appuie

contre la glace, par le jeu même de la fermeture du châssis ; au lieu d'une poire, comme dans le dispositif de MM. Lippmann, il emploie un petit récipient de fer nickelé contenant le mercure ; en montant ou en descendant ce récipient derrière

Fig. 17.

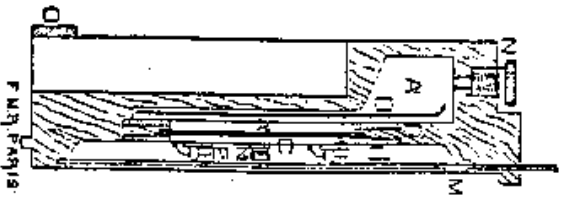
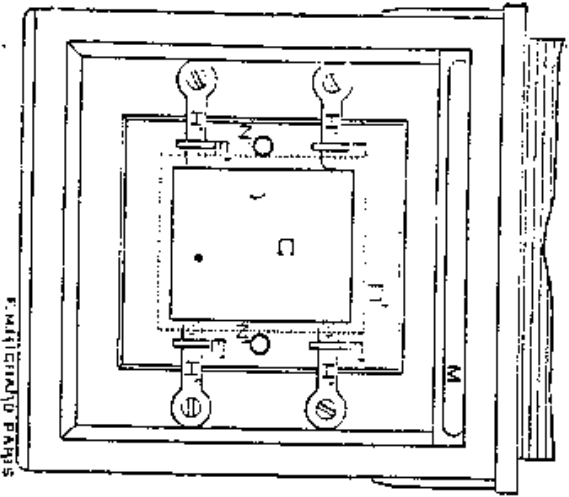


Fig. 18.



le châssis fermé, on fait monter ou descendre le mercure derrière la plaque.

Les *figs.* 19, 20 et 21 représentent la petite chambre de M. Lippmann montée sur son pied, avec son châssis, son réservoir à mercure et une cuve C, en avant de l'objectif, destinée à arrêter, pendant toute la durée de la pose, les rayons ultra-violet. Le volet V du châssis est relevé et la plaque posée.

Le châssis de M. Lippmann, d'un maniement

Fig. 19.

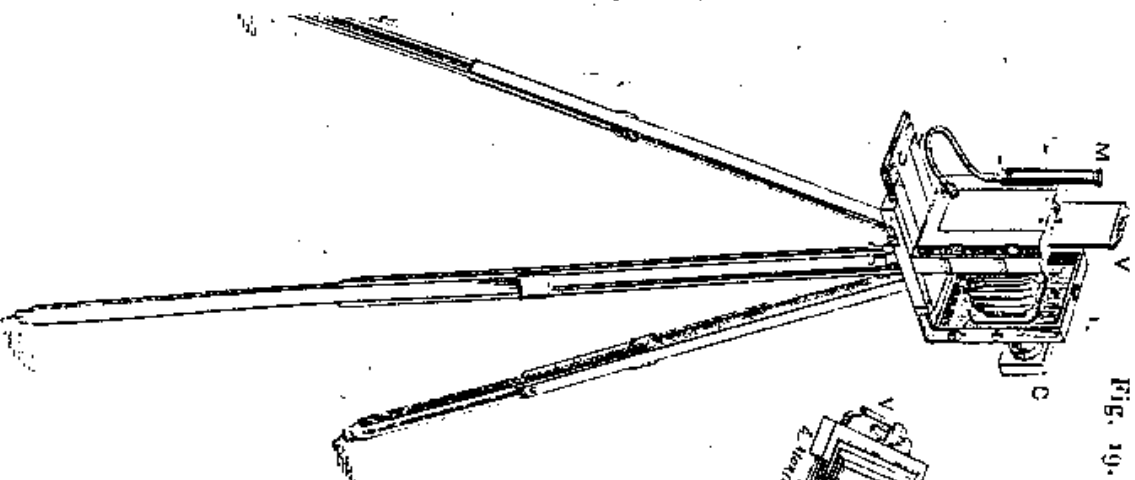


Fig. 20.

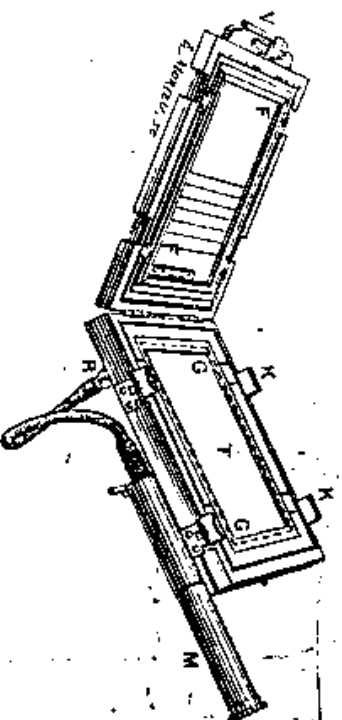
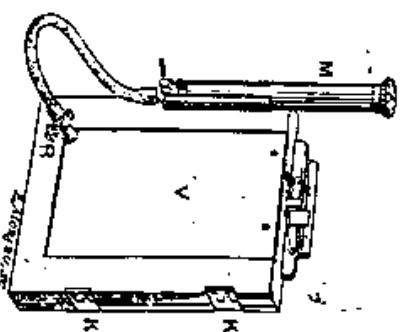


Fig. 21.



très simple et très sûr, est construit chez M. Mackenstein.

Objectifs. — Les plaques employées pour la Photographie interférentielle étant à grains de dimension nulle ou au moins inobservable, leur sensibilité est moindre que celle des plaques du commerce, dont l'émission mûrie est à gros grains. Il est donc indispensable d'employer des objectifs aussi lumineux que possible.

Les anciens objectifs à portraits, à part leurs dimensions et leur encombrement, peuvent rendre des services; mais les objectifs les plus avantageux sont les *Planars* de Zeiss, travaillant à l'ouverture $f : 3,6$.

Cuve. — Enfin, il y a une dernière pièce du matériel photochromique, c'est la cuve que l'on voit en C (fig. 19) devant l'objectif: elle contient une solution étendue et très claire d'une substance susceptible d'arrêter, pendant toute la pose, les rayons ultra-violet qui donneraient sur la plaque une impression ne correspondant à aucune couleur perceptible à l'œil. Ces petites cuves, montées sur une bonnette, se coiffent sur le parasoleil de l'objectif comme un obturateur: M. Verlein les construit avec habileté.

Format des plaques. — M. Lippmann a adopté le format unique $6\frac{1}{2} \times 9$, pour plusieurs raisons: D'abord, la surface de l'épreuve n'étant pas très considérable, la pression du mercure sur la plaque

ne sera pas exagérée et ne déformera pas la surface de celle-ci par flexion élastique.

En second lieu, le format $6\frac{1}{2} \times 9$ est, à très peu de chose près, le format des épreuves de projection: on aura donc des clichés faciles à montrer en public, et dont les dimensions s'accordent avec celles des condensateurs de lanternes à projections ordinaires.

Enfin, la plaque $6\frac{1}{2} \times 9$ correspond à une surface égale au quart de la demi-plaque 13×18 : on obtient donc exactement quatre plaques $6\frac{1}{2} \times 9$ avec une plaque 13×18 . C'est un avantage surtout quand (et c'est le cas de la méthode interférentielle) il faut préparer ses glaces soi-même: on est sûr d'avoir ainsi des plaques comparables, puisqu'elles seront des fractions d'une même glace coupée en quatre.

Mode opératoire actuel.

Préparation des glaces destinées à la Photographie interférentielle. — Comme nous l'avons indiqué en rappelant l'histoire des premiers essais de M. Lippmann, les procédés où l'on sensibilise au bain d'argent un support transparent contenant un chlorure ou un bromure alcalin, comme le collodion ou l'albumine, se prêtent à la reproduction des couleurs par le mécanisme des interférences; cependant, ces procédés trop lents ont

été vite abandonnés par l'auteur de la méthode lui-même, et l'on ne se sert plus aujourd'hui que de plaques au gélatinobromure ou au gélatinoclorure, dont l'émission est préparée d'une manière spéciale qui permet d'éviter toute précipitation d'argent. Différents opérateurs, MM. Valenta, Neuhauss, mais surtout MM. Auguste et Louis Lumière, qui parmi tous ces chercheurs sont les premiers en date, ont fait avancer cette question.

Ce petit Volume n'est pas une Encyclopédie de Photochromie interférentielle : c'est un guide destiné à conduire dans la voie nouvelle ceux qui voudraient s'y engager; aussi ne chargerons-nous pas cet exposé d'une foule de formules différentes, mais en donnerons-nous une seule, qui conduit sûrement à de bons résultats.

La plaque de verre est d'abord lavée et séchée avec soin par les procédés qu'indiquent les anciens traités de Photographie au collodion. Cela fait, on prépare les trois dissolutions suivantes :

A	{ Eau distillée.....	100 ^{cc}
	{ Gélatine.....	20 ^{gr}
B	{ Eau distillée.....	25 ^{cc}
	{ Bromure de potassium.....	2 ^{gr} , 3
C	{ Eau distillée.....	25 ^{cc}
	{ Azotate d'argent.....	3 ^{gr}

On partage la solution A en deux moitiés.

L'une de ces moitiés est ajoutée à B, l'autre moitié est ajoutée à C. On a ainsi deux solutions nouvelles que nous désignerons par B' et C', l'une, B', contenant le bromure, l'autre, C', contenant l'argent.

On mélange alors B' et C' en versant lentement C' qui contient l'argent dans B' qui contient le bromure de potassium; pendant ce temps, la température ne doit pas dépasser 40 degrés centigrades.

On ajoute ensuite un peu d'une substance isochromatisante (la cyanine, le violet de méthyle, sont excellents pour cet usage) de façon à donner à la masse une coloration légère et uniforme sans altérer sa transparence; comme dosage et à titre de renseignement pratique, nous indiquerons la formule suivante; on mélange :

Solution de cyanine à $\frac{1}{500}$	4 ^{cc}
Solution d'érythrosine à $\frac{1}{500}$	2

On prend 1^{cc}, 5 de ce mélange pour 100^{cc} d'émulsion.

Nous avons maintenant une émulsion maintenue au-dessous de 40°, prête à être coulée sur les plaques.

Cette opération se fait comme l'ancien coulage du collodion, dont on trouvera la description et le mode opératoire dans tous les Traités classiques de Photographie. Il est à observer, cependant, que

la couche déposée doit être très mince, puisqu'elle doit, tout en étant légèrement colorée par la substance isochromatisante, laisser libre passage, et à l'onde directe, et à l'onde réfléchie.

Pour arriver à étendre la gélatine émulsionnée en couche mince et d'épaisseur régulière, on peut employer un appareil centrifuge du genre de celui

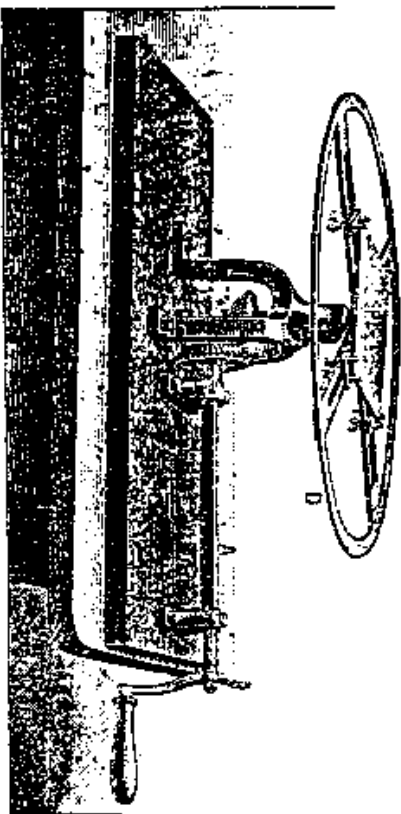


Fig. 23.

qui est représenté *fig. 22*, et au centre duquel on fixe la plaque par des pinces à vis.

La condition que la température ne dépasse pas 40° C. est *absolue* : moins la température sera élevée, plus les couleurs viendront avec perfection ; il est vrai que la rapidité diminue avec la température de l'opération. Il y a donc là un juste milieu à établir ; l'expérience personnelle de chaque opérateur le fixera vite sur ce point.

Après passage sur la tournette centrifuge, nos

glaces sont donc recouvertes d'une couche mince et homogène d'émulsion orthochromatique, sans grains, propre à la Photographie interférentielle.

Nous laisserons prendre cette couche en gelée, puis nous immergerons les plaques dans l'alcool pendant un *temps très court*, après quoi nous laverons dans un courant d'eau pendant quelques minutes.

Nous découperons alors nos plaques 13 × 18 respectivement en 4 plaques 6 $\frac{1}{2}$ × 9 que nous conserverons dans des boîtes étanches à la lumière jusqu'au moment où nous voudrons les faire poser.

Sensibilisation. — Quand nous voudrons nous servir de nos plaques, nous les plongerons pendant 100 à 150 secondes dans le *bain sensibilisateur* suivant :

Eau distillée.....	200 ^{cc}
Azotate d'argent.....	1 ^{gr}
Acide acétique.....	1

(formule de MM. Lamière).

Nous laissons sécher et exposons à la chambre noire ; il faut remarquer que, si cette solution augmente la sensibilité, elle comporte une altération rapide des plaques : on ne *sensibilisera* donc les plaques que *quelques heures* avant leur exposition.

Développement. — Un développeur très sûr est le suivant, que M. M. Lumière ont indiqué à la Société française de Photographie dans une de leurs communications :

On prépare les trois solutions suivantes :

A	{ Eau.....	200 ^{gr}
	{ Acide pyrogallique.....	1
B	{ Eau.....	100 ^{gr}
	{ Bromure de potassium.....	10
C	Ammoniaque (D = 0,960, à + 18° C).	

On fait alors la liqueur suivante :

Eau distillée.....	70 ^{cc}
Solution A.....	10
Solution B.....	15
Solution C.....	5

Pendant le développement, l'apparence du cliché est celle d'une épreuve négative ordinaire, un peu légère. *Les couleurs ne sont pas visibles dans le bain.*

Quand on juge le cliché suffisamment poussé, on le retire, on le laisse quelques secondes sous le robinet et on le plonge dans le bain de fixation.

Fixage. — Le bain de fixation est une dissolution d'hyposulfite de soude à 150^{gr} par litre. Comme les couches sont très minces, le fixation a lieu très vite.

On peut, d'ailleurs, fixer au cyanure de potassium ; mais le danger que comporte la manipulation de ce produit, surtout dans des opérations où, maniant des plaques de verre, on est exposé à des écorchures et à des coupures, fera toujours préférer l'hyposulfite, absolument inoffensif et, au fond, donnant d'aussi bons résultats.

Séchage. Apparition des couleurs. — Au sortir du bain de fixation, les épreuves sont lavées sous le jet d'une pomme d'arrosoir pendant cinq à six minutes : la minceur de la couche fait que ce lavage est suffisant ; on les plonge alors dans l'alcool absolu pendant une minute, puis on laisse sécher. Le séchage a lieu très rapidement, et, à mesure qu'il se parfait, on jouit du spectacle, magnifique et vraiment impressionnant quand on le voit pour la première fois, de la genèse des couleurs, que l'on voit naître sous ses yeux.

Quand toutes les couleurs sont apparues, l'épreuve est sèche et prête à être montée. Il faut alors la conserver à l'abri de l'humidité, car cette dernière cause, en gonflant la gélatine, augmente la distance des lames d'argent réfléchissantes et, par suite, change les valeurs des teintes observées.

Montage des épreuves. — On place alors l'épreuve, à l'aide de baume du Canada, entre un verre noir et un prisme de verre d'un très petit

angle (à vrai dire, une lame un peu épaisse de verre $6\frac{1}{2} \times 9$ taillée en biseau). Les couleurs sont alors plus nettes, et, de plus, la lumière réfléchie par le protecteur de verre étant renvoyée de côté grâce à son obliquité, l'épreuve est dans d'excellentes conditions de visibilité. Inutile de dire que les clichés en couleurs doivent être regardés *par réflexion*, comme aussi ce sera par réflexion qu'il faudra les projeter si l'on veut les montrer à une assistance nombreuse : on utilisera pour cela le dispositif classique connu sous le nom de *Mégascope*.

CONCLUSION.

On peut dire que maintenant la Photographie a franchi la dernière étape qui lui restait à fournir : la solution générale du seul problème qui fût encore à résoudre est trouvée et elle est définitive parce qu'elle est scientifique et rationnelle. Rien dans ces recherches, poursuivies pendant neuf années, n'a été laissé au hasard : tout, au contraire, a été cherché dans la voie de l'expérience par une méthode essentiellement physique. Aussi le succès éclatant obtenu par M. Kippmann est-il un triomphe pour la Science pure.

C'est aussi un triomphe pour la Science française, car ce mode de reproduction des couleurs du spectre à l'aide des lames minces limitées par des plans d'argent constitue une matérialisation, réalisée par un savant français, de ces ondes lumineuses conçues pour la première fois par le puissant génie d'un autre Français illustre : j'ai nommé Augustin Fresnel.

TABIE DES MATIÈRES.

AVANT-PROPOS..... Pages. VII

CHAPITRE I.

Un mot d'historique..... 1

CHAPITRE II.

Les ondulations..... 5

Vitesse de propagation..... 5

Mouvements vibratoires..... 7

Longueur d'onde. Durée de la vibration..... 8

Ondes sonores..... 9

CHAPITRE III.

Les interférences..... 12

Réflexion du mouvement ondulatoire..... 13

Interférence de l'onde directe et de l'onde réfléchie..... 14

CHAPITRE IV.

Les ondes lumineuses..... 17

L'éther lumineux..... 17

Vitesse de la lumière..... 18

Lumière blanche. Couleurs simples..... 19

Couleurs complémentaires..... 21

Théorie de fresnel..... 21

Pages.

Les couleurs complexes.....	27
Coloration des corps.....	26

CHAPITRE V.

Interférences de la lumière.....	28
Expérience des deux miroirs.....	28
Interférences dans la réflexion normale.....	30
Anneaux colorés de Newton.....	31
Lois du phénomène.....	34
Théorie des anneaux de Newton.....	36

CHAPITRE VI.

La Photographie des couleurs.....	38
Principe de l'expérience de M. Lippmann.....	38
Choix des plaques sensibles.....	40
Premiers dispositifs de M. Lippmann. Exposition de la plaque.....	43
Temps de pose. Interposition des écrans colorés.....	45
Développement.....	47
Fixage. Apparition des couleurs.....	48
Reproduction des couleurs complexes.....	50
Causes de l'insuccès des recherches anciennes.....	51
Les progrès.....	53
Les procédés actuels de l'héliographie en couleurs.....	55
Mode opératoire actuel.....	63
CONCLUSION.....	71

BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

LA

PHOTOGRAPHIE DES COULEURS

PAR LA MÉTHODE INTERFÉRENTIELLE DE M. LIPPMAN,

PAR

Alphonse BERGET,

Docteur es Sciences,

Attaché au Laboratoire des Recherches physiques
de la Sorbonne.

DEUXIÈME ÉDITION,
ENTIÈREMENT REFOUDUE.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE,

ÉDITEUR DE LA BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE, 2,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1901

(Tous droits réservés.)

4 11

28331 — Paris, Imp. GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, 55.

NO 2000

A M. LE COMTE DE MONTAIGU

Je dédie ce petit Livre,
en témoignage de haute estime et de grande amitié.

Alphonse BERGET.

M 1819

8

775.62

B45

91513

35674

AVANT-PROPOS.

Le 2 février 1891, M. Lippmann, membre de l'Institut, présentait à ses collègues de l'Académie des Sciences la première photographie directe du spectre solaire avec toutes ses couleurs, reproduites et fixées d'une façon inaltérable. La méthode suivie par le savant Maître n'a rien de commun avec les essais photochromiques tentés jusqu'à ce jour; elle est tellement ingénieuse, tellement élégante dans sa géniale simplicité, qu'elle constitue certainement une œuvre scientifique plus belle encore que le résultat obtenu. Mais elle s'appuie sur des considérations de Physique supérieure qui supposent des connaissances acquises en ce qui concerne la théorie ondulatoire de la lumière.

Ce petit Livre, écrit pour la première fois quelques semaines après la découverte, avait pour but, en rappelant ces notions, de rendre intelligible le procédé nouveau et de faire apprécier sa valeur en permettant d'en saisir le mécanisme intime.

Mais, depuis ce temps, les choses ont marché vite, les progrès sont venus nombreux : grâce au désintéressement de l'éminent Physicien français, qui a mis sa découverte dans le domaine public, tout le monde a pu se lancer sans entraves dans la voie qu'il avait ouverte, et les plus habiles opérateurs de la Photographie, en France et à l'étranger, ont pu apporter chacun leur pierre à l'édifice dont le savant Professeur de la Sorbonne avait jeté les invariables fondations; ces quelques pages se sont donc vite trouvées en retard : nous les rééditons aujourd'hui en leur ajoutant ce qui est nécessaire pour les mettre au courant des progrès considérables réalisés depuis neuf ans.

ALPHONSE BERGER.

A bord de la *Caroline*, août 1900.

LÀ

PHOTOGRAPHIE DES COULEURS.

CHAPITRE I.

UN MOT D'HISTORIQUE.

Notre intention n'est pas ici de rappeler en détail toutes les tentatives faites en vue de fixer photographiquement les couleurs des objets sur des couches sensibles. Il y aurait un long et intéressant Ouvrage à écrire sur ce sujet. Il est néanmoins impossible de passer sous silence quelques noms illustres qui marquent les étapes de cette difficile carrière.

Déjà en 1810, Seebeck, professeur à Léna, avait abordé la question et essayé d'impressionner, à l'aide d'un spectre solaire, un papier recouvert d'une couche de chlorure d'argent. Ses expériences eurent peu de retentissement et il faut arriver jusqu'en 1841 pour les voir reprises sérieusement par John Herschel, qui mit en œuvre non seulement le chlorure d'argent, mais encore le

bromure et l'iodure du même métal, ainsi que des produits naturels tels que la racine de gaiac. Certaines couleurs semblèrent, bien que passagèrement, se dessiner sur ses papiers sensibles. C'étaient déjà des résultats de nature à encourager les chercheurs, étant donné que l'on était alors au début de la Photographie; mais ces résultats furent bien dépassés par ceux d'Edmond Becquerel.

En 1848, cet illustre savant réussit, en employant une lame de plaqué d'argent recouverte d'une couche de sous-chlorure d'argent violet; à obtenir sur cette couche l'impression de toutes les couleurs du spectre solaire. Malheureusement, les couleurs ainsi réalisées s'effaçaient si l'on exposait le cliché à la lumière; essayait-on de le fixer dans un bain fixateur quelconque? toute coloration disparaissait.

L'impression de toutes les couleurs spectrales était un grand pas fait en avant et qui suffit à placer le nom de Becquerel en tête de toute histoire de la Photographie des Couleurs; mais les insuccès au point de vue du fixage, insuccès que n'avaient pu surmonter la science et l'habileté expérimentale de ce grand physicien, étaient l'obstacle auquel devait désormais se heurter tous ceux qui abordèrent la Photochromie par la méthode de l'impression directe.

De 1851 à 1866, Niepce de Saint-Victor effectua de nombreux et remarquables essais en vue de fixer les couleurs, à l'aide d'une substance chi-

mique; en 1855, Testud de Beauregard arriva aussi à des résultats intéressants; enfin, en 1865, Poitevin indiqua un procédé photochromique sur papier, dont nous avons encore pu voir pendant quelques instants des épreuves soigneusement conservées à l'abri de la lumière; car, comme tous ses prédécesseurs, Poitevin n'a jamais pu arriver à fixer définitivement ses épreuves.

Tous les essais précédents, et beaucoup d'autres encore, étaient faits par la *méthode chimique*; on cherchait toujours des substances susceptibles de s'impressionner chromatiquement sous l'influence directe des couleurs correspondantes; dans l'état actuel de la Science, ce problème semble irréalisable.

Les procédés analogues à celui de Ch. Cros et de L. Ducos du Hauron, reproduisant les couleurs par des tirages monochromatiques superposés, ne sont pas des méthodes directes, aussi n'ai-je pas à m'y étendre dans cet opuscule consacré à la Photographie directe des couleurs.

En somme, si les essais antérieurs ont été suivis d'insuccès au point de vue de la fixation des épreuves obtenues, c'est que la question n'avait pas été abordée sous son véritable aspect.

La Physique nous enseigne, en effet, que les couleurs sont le résultat d'un mouvement vibratoire. La preuve en est dans les magnifiques teintes des bulles de savon, produites dans l'épaisseur

d'une lamelle liquide parfaitement incolore par elle-même, grâce à un mécanisme que nous verrons plus loin. La solution la plus rationnelle consistait donc à chercher si, dans les propriétés des mouvements vibratoires que l'on étudie en Optique, il ne serait pas possible de retrouver celle qui produit sur notre rétine la sensation de la couleur.

C'est ce qu'a fait M. Lippmann.

Nous allons, avant d'exposer ses expériences décisives, rappeler dans les Chapitres suivants les points essentiels de la théorie des ondulations lumineuses qu'il est indispensable de connaître pour l'intelligence de la nouvelle découverte.

CHAPITRE II.

LES ONDULATIONS.

Vitesse de propagation.

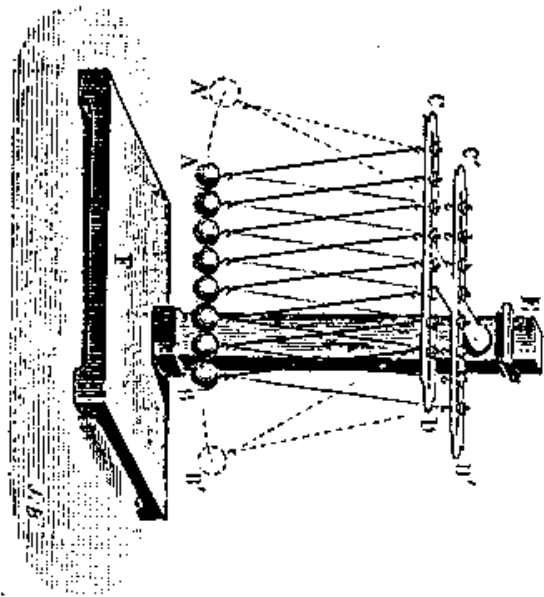
Tout le monde a remarqué ces stries circulaires concentriques qui se forment à la surface d'une eau tranquille dans laquelle on a laissé tomber un caillou : elles semblent sortir d'un centre commun et se propagent lentement en produisant des rides sur le contour desquelles l'eau est alternativement soulevée et déprimée. La distance parcourue par ces *ondes liquides* pendant l'unité de temps se nomme la *vitesse de propagation* du mouvement ondulatoire. Cette vitesse, d'ailleurs, dépend uniquement de la nature du milieu.

Il ne faut pas croire que l'eau soit *transportée* dans le sens de la propagation des ondes : il est facile de s'en rendre compte en faisant flotter à la surface une petite parcelle de bois, qui s'abaisse et s'élève alternativement, mais n'est animée d'aucun mouvement de translation.

Il faut donc admettre, pour expliquer ces ondulations, que les molécules susceptibles de les trans-

mettre sont pourvues d'élasticité comme les billes d'ivoire de l'appareil représenté sur la *fig. 1*. Si l'une de ces billes, parfaitement élastique, reçoit un choc de la précédente, elle transmet à la suivante la totalité du mouvement reçu; de sorte que,

Fig. 1.



si l'on écarte la première bille *A* jusqu'en *A'* et qu'on la laisse retomber, on ne verra pas, comme on pourrait tout d'abord s'y attendre, l'ensemble des billes en repos poussé vers la droite; ce sera la dernière bille *B* qui sera seule poussée jusqu'en *B'*. Le mouvement s'est donc propagé de proche en proche de la première à la dernière, sans que les billes intermédiaires aient fait autre chose que transmettre ce mouvement.

Les molécules d'un corps quelconque se comportent comme les billes d'ivoire de notre expérience: elles reçoivent un mouvement de la molécule précédente et le transmettent intégralement à la molécule suivante, tout en restant individuellement immobiles; de sorte que tout ébranlement affectant une molécule d'un milieu élastique se transmettra aux molécules contiguës à la première; celles-ci le transmettront à celles qui les suivent, et ainsi de suite.

Mouvements vibratoires.

Parmi les divers ébranlements qui peuvent être produits dans un milieu donné, il en est qui sont plus intéressants que les autres: ce sont ceux qui sont périodiques, c'est-à-dire qui se reproduisent dans les mêmes conditions après des intervalles de temps égaux.

Une lame d'acier pincée dans un étau par une de ses extrémités en offre un exemple: quand on écarte l'extrémité libre de la position qu'elle occupe au repos, elle tend à y revenir en exécutant une série d'oscillations qui durent sensiblement le même temps. En un mot, la lame *vibre*.

On conçoit que si une pareille lame est placée au-dessus de la surface d'un liquide de façon qu'elle vienne en toucher un point, toujours le même, à chacune de ses oscillations, les ondes se produiront

autour de ce point sans interruption, et le mouvement ondulatoire sera continu comme dans le premier cas, avec cette différence que, dans le cas d'un seul ébranlement comme celui que produit la chute d'un caillou dans l'eau, les vibrations d'un point du milieu, tout en gardant la même durée, ont des *amplitudes* qui vont en décroissant sans cesse, tandis que, si l'ébranlement se répète périodiquement, elles conserveront toujours leur amplitude première : le mouvement ondulatoire représente alors un phénomène dont *l'intensité* reste constante.

Longueur d'onde. Durée de la vibration.

Nous avons vu que tout mouvement ondulatoire se transmettait dans un milieu déterminé avec une vitesse constante que l'on appelle sa *vitesse de propagation* : c'est l'espace parcouru par l'onde pendant l'unité de temps.

Quand les ondes proviennent d'un mouvement vibratoire, il y a une longueur encore plus intéressante à considérer : c'est la longueur du chemin parcouru par l'onde, non plus pendant l'unité de temps, mais pendant la durée d'une vibration : cette longueur se nomme la *longueur d'onde*, et c'est elle qui joue dans l'étude des phénomènes physiques le rôle le plus important.

Il résulte de là que la vitesse de propagation peut être envisagée à deux points de vue : ou bien ce

sera le chemin parcouru par l'onde pendant l'unité de temps, pendant une seconde, par exemple ; ou bien ce sera l'espace parcouru par cette même onde pendant le temps que met une oscillation du corps vibrant à s'effectuer complètement.

Ondes sonores.

C'est en obéissant aux lois qui régissent le mécanisme précédent que se transmet le son, résultat d'un mouvement vibratoire.

Tout corps vibrant émet un son, que ce corps soit un solide comme l'acier, un liquide comme le mercure, un gaz comme l'air ; et réciproquement, à tout son correspond un mouvement vibratoire à tout son correspond un mouvement vibratoire situé quelque part dans l'espace. Aussi l'étude des propriétés des sons constitue-t-elle la manière la plus simple et la plus démonstrative d'étudier les ondulations.

Le corps sonore M (*fig. 2*) étant un centre de vibrations, devient aussi un centre de propagation des ondes auxquelles il donne naissance. Si le milieu propagateur est homogène, les ondes sont sphériques, c'est-à-dire qu'au bout d'un certain temps le mouvement vibratoire s'est propagé jusqu'en tous les points de la surface d'une sphère ABC. Chacun de ces points devient à son tour, à chaque instant, un centre d'oscillations, et émet une onde également sphérique. Ces nouvelles ondes, A', B', C',

sont égales entre elles, et ont pour *enveloppe* une sphère plus grande que l'on voit dessinée sur la

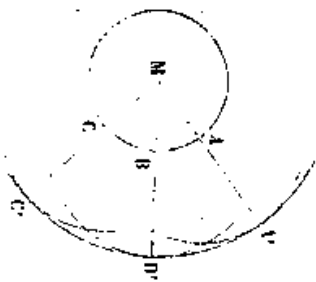


Fig. 2.

figure : c'est sur cette sphère que le son arrive au bout d'un temps donné.

Mais nous n'aurons pas toujours à considérer comme source vibrante un point unique. Ce cas, qui n'existe qu'à l'état d'hypothèse, n'est même jamais réalisé dans la pratique, les points maté-

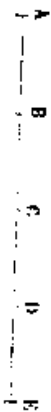
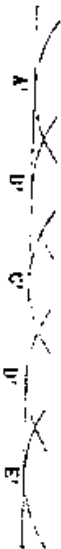


Fig. 3.



riels ayant toujours des dimensions appréciables. Supposons donc que le corps vibrant soit un *plan*, c'est-à-dire que l'on ébranle à la fois une série de

points A, B, C, D, E (Fig. 3), situés sur une même surface plane et en ligne droite. Chacun d'eux étant un centre d'ébranlement devient le centre d'une onde sphérique, mais toutes ces ondes sphériques, étant égales et très rapprochées, auront le même rayon au bout du même temps; elles auront donc pour *enveloppe* le plan A'B'C'D'E' qui touche toutes les sphères d'onde. En un mot, l'onde se propage comme si sa surface était elle-même un plan, c'est-à-dire comme si le plan ABCDE se déplaçait parallèlement à lui-même avec une vitesse égale à la vitesse de propagation du mouvement ondulatoire original.

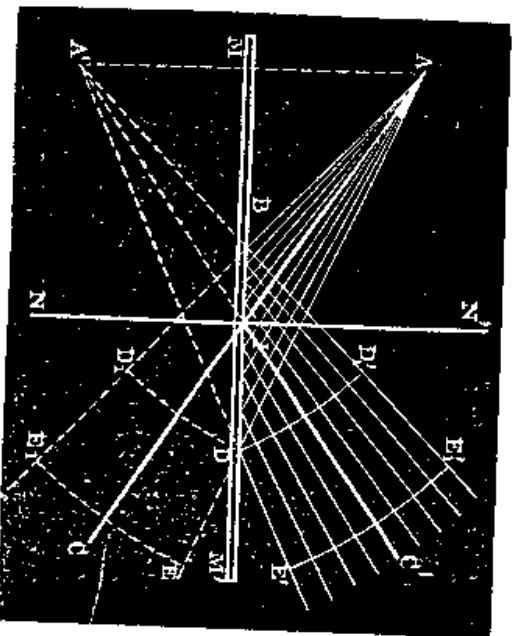
CHAPITRE III.

LES INTERFÉRENCES.

Réflexion du mouvement ondulatoire.

Imaginons une onde, ayant pour origine un centre d'ébranlement A (fig. 4). Si cette onde se propa-

Fig. 4.



seait librement, le mouvement vibratoire, au bout d'un certain temps, serait arrivé à la surface d'une

sphère DD_1 ; plus tard il serait sur une sphère de rayon plus grand EE_1 , et ainsi de suite; mais il n'en est plus de même si l'onde, en se propageant, n'en est plus de même si l'onde, en se propageant, vient à rencontrer un obstacle fixe MM' (une surface plane, par exemple, comme la face réfléchissante d'un miroir poli). Dans ce cas, l'onde change sa direction de propagation : elle se *réfléchit*, et au bout du temps où le mouvement serait primitivement arrivé en DD_1 , il arrive en tous les points d'une sphère DD'_1 , symétrique de la première par rapport au plan du miroir; en d'autres termes, tout se passe comme si le centre d'ébranlement, au lieu d'être en A , était situé en un point A' , situé de l'autre côté du plan MM' à la même distance que le point A . Cette nouvelle onde n'existe pas tout entière réellement : il n'y a que la portion déviée par le miroir qui ait une existence réelle; on la nomme *l'onde réfléchie*, tandis que la première se nomme *l'onde directe*.

En particulier, on peut faire réfléchir une onde plane sur un obstacle plan. Dans ce cas, la direction de propagation de l'onde directe et la direction de propagation de l'onde réfléchie font avec le miroir des angles égaux, absolument comme la bille de billard, après avoir frappé la bande, se réfléchit en faisant un *angle de réflexion égal à l'angle d'incidence*.

Interférence de l'onde directe et de l'onde réfléchie.

Nous pouvons, en particulier, faire tomber l'onde incidente, une onde sonore, par exemple, perpendiculairement à la surface réfléchissante. Dans ce cas, l'onde réfléchie suit exactement la route inverse, et croise, en revenant, l'onde incidente qui continue à arriver sur le miroir. Que va-t-il alors se passer ?

N'oublions pas que chaque point du milieu situé en avant du miroir participe au mouvement ondulateur et vibre en exécutant des oscillations autour de sa position d'équilibre. Dès lors, un point quelconque se trouvera sollicité à la fois par deux mouvements ondulatoires : le mouvement direct et le mouvement réfléchi. Si ce point est dans des conditions telles que les deux vitesses qui le sollicitent du fait de ces deux mouvements aient, à un instant donné, la même direction, ces vitesses s'ajouteront l'une à l'autre et il en résultera un accroissement dans la vibration propre du point considéré; mais si ces deux vitesses sont, au même instant, égales et de sens contraires, les deux mouvements s'annuleront, et le point considéré restera en repos. Si c'est d'une onde sonore qu'il s'agit, il y aura en ce point extinction de tout bruit : il y aura silence.

L'étude des mouvements vibratoires conduit donc à cette conséquence remarquable que du son ajouté à du son peut produire, tantôt une duplication du mouvement sonore, tantôt une annulation de ce mouvement. Une expérience célèbre, faite par le colonel Napoléon Savart en 1839, a apporté à cet énoncé une éclatante confirmation expérimentale. En avant d'un grand mur de la citadelle d'Alger, cet officier avait placé un timbre qu'il faisait vibrer en le frappant avec un marteau. Le timbre devenait le centre d'une onde directe qui se propageait jusqu'au mur et s'y réfléchissait. Or, en promenant l'oreille sur la ligne droite allant du timbre à la muraille, il constata l'existence de points équidistants auxquels le son s'éteignait complètement; ces points étant séparés par d'autres, également équidistants, où le son était énergiquement renforcé. L'existence des interférences était donc démontrée d'une façon matérielle.

L'étude des tuyaux sonores, comme les tuyaux d'orgue, et celle de la vibration des cordes de violon, montrent bien aussi qu'il y a des points où la vibration est nulle, où le mouvement est éteint, tandis qu'en d'autres points il est renforcé. Les premiers s'appellent des *nœuds* et les seconds des *ventres*.

Nous dirons donc qu'en avant d'une surface plane sur laquelle vient tomber une onde plane, il y a une série de plans équidistants, dans lesquels

tout mouvement est éteint : ce sont les plans *nodaux*, ces plans sont séparés par des plans parallèles où le mouvement est renforcé : ce sont les plans *ventraux*. La distance entre deux plans *nodaux consécutifs* ou entre deux plans *ventraux consécutifs* est toujours égale à une demi-longueur d'onde.

CHAPITRE IV.

LES ONDES LUMINEUSES.

L'éther lumineux.

Les principes précédents ont une vérification continuelle dans l'étude des phénomènes sonores qui constitue la partie de la Physique appelée *Acoustique*. L'honneur de donner la première théorie rationnelle de la lumière, en la considérant comme résultat d'un mouvement ondulatoire, était réservé à un savant français : j'ai nommé Augustin Fresnel.

Par une conception de génie, l'illustre physicien imagina qu'un point n'était lumineux que parce qu'il était un centre de vibrations très rapides, et que ces vibrations se transmettaient à travers un milieu spécial. Ce milieu hypothétique ne devait pas être un gaz, puisque la lumière se transmet dans le vide. Fresnel lui a donné le nom d'*éther*, et a admis qu'il remplissait tout, même les espaces interplanétaires. Les molécules de ce milieu, douées d'une élasticité parfaite, jouent dans cette hypothèse le rôle des billes d'ivoire de l'expérience que

nous avons faite en commençant cet exposé; elles se transmettent de l'une à l'autre, sans néanmoins quitter leurs places respectives, l'impulsion reçue par la première d'entre elles.

Vitesse de la lumière.

Cette transmission du mouvement vibratoire, de molécule à molécule, se fait dans l'éther avec une vitesse considérable.

On a pu mesurer par des expériences directes, les unes inspirées par l'Astronomie, les autres du domaine de la Physique pure, la vitesse avec laquelle se propage une onde lumineuse; toutes les expériences ont été sensiblement d'accord et ont donné le résultat suivant :

La lumière se propage avec une vitesse de trois cent mille kilomètres par seconde.

Ainsi, pour donner une idée de la rapidité de cette transmission, nous dirons qu'un rayon lumineux met huit minutes à franchir la distance qui sépare la Terre du Soleil. Puisque, d'ailleurs, nous avons admis que la lumière avait pour origine un mouvement vibratoire, ce mouvement se transmettra dans l'éther, par ondulations, comme le son dans l'air. Chaque onde est une sphère, qui augmente rapidement de diamètre, comme un ballon qui se gonflerait assez vite pour que son rayon s'accrût de 300 000 kilomètres par seconde.

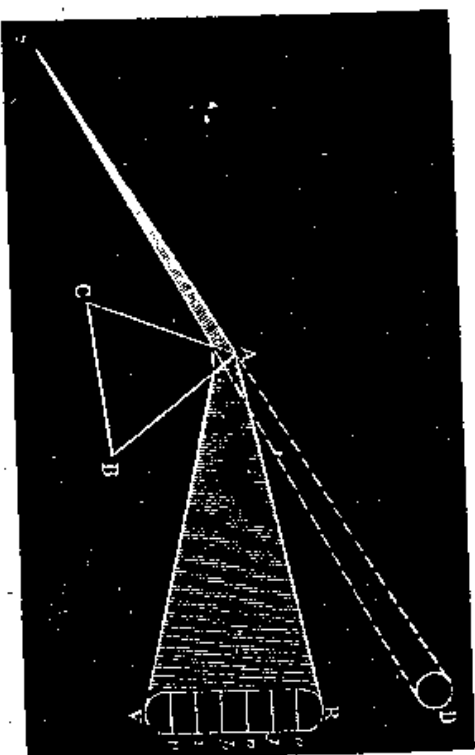
A une distance infinie de son point de départ, une petite portion de cette surface sphérique est sensiblement plane.

Lumière blanche. Couleurs simples.

C'est Newton qui a découvert la complexité de la lumière blanche, en instituant l'expérience classique du spectre solaire.

Par une ouverture très petite, S (fig. 5), il fit

FIG. 5.



pénétrer dans une chambre obscure un rayon horizontal de lumière solaire. Ce rayon, si on l'avait laissé cheminer librement, aurait été dessiner sur un écran une image brillante et ronde, D. Newton plaça sur son chemin un prisme de verre à arêtes verticales, dans la position indiquée par la figure.

Aussitôt le faisceau incident était dévié de sa direction première. En même temps il s'étalait et venait former sur l'écran, non plus une image ronde, mais une bande allongée qui présentait toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, rangées dans l'ordre suivant que résume l'alexandrin célèbre :

Violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge.

Le violet est la couleur la plus déviée, et se trouve à l'une des extrémités de ce *spectre* coloré, tandis que le rouge, moins dévié que les autres, se trouve à l'autre extrémité.

La lumière blanche était donc décomposée par un prisme en *couleurs simples*.

En recevant ce spectre sur un miroir tournant lentement et en regardant ce miroir dans une direction fixe, Newton voyait successivement toutes les couleurs du spectre; mais, si la vitesse du miroir s'accélérait, l'œil voyait toutes les couleurs simultanément, et de cette superposition des impressions résultait la sensation de la lumière blanche. Il avait donc reconstitué, par une expérience inverse, la lumière blanche à l'aide des couleurs simples, démontrant ainsi, par une expérience concluante, la réciproque de sa proposition fondamentale.

Couleurs complémentaires.

Cachons, à l'aide d'un obstacle opaque, une partie des rayons du spectre, et examinons les teintes restantes à l'aide du miroir tournant animé d'un rapide mouvement : il nous manque des couleurs; nous n'aurons donc plus de blanc, mais une certaine couleur A. Faisons la même expérience, mais cette fois en cachant les couleurs précédemment examinées, et en examinant au miroir celles que nous avons cachées tout à l'heure; nous aurons une autre couleur résultante B.

Évidemment les couleurs A et B, mélangées ensemble, reproduiraient de la lumière blanche : on les appelle *couleurs complémentaires*.

Théorie de Fresnel.

Comment expliquer, dans la théorie des ondulations, les différences de coloration des diverses parties du spectre?

Fresnel a réussi à trouver cette explication, en comparant les couleurs simples aux notes musicales de la gamme.

Nous avons vu que tout son était produit par un corps vibrant, engendrant une onde qui arrivait jusqu'à notre oreille pour y produire la sensation sonore. Mais tous les sons ne sont pas identiques,

et nous savons très bien distinguer une note *aiguë* d'une note *grave*. Les physiciens ont étudié ce caractère d'acuité et de gravité des divers sons, et sont arrivés à cette conclusion expérimentale que les sons émis par un même corps vibrant étaient d'autant plus élevés que les vibrations étaient plus rapides, quelle que soit la nature du corps vibrant. A chaque son correspond donc une longueur d'onde qui lui est propre.

Mais alors, direz-vous, les sons aigus se transmettent plus vite, dans l'air, que les sons graves?

Point du tout, ils parcourent plus vite la distance qui sépare un nœud d'un autre nœud; mais comme ces nœuds sont plus nombreux, l'espace total parcouru par un son, quelle que soit sa hauteur, pendant une seconde, est toujours le même; la vitesse du son dans l'air est 330 mètres par seconde.

Nous en avons, du reste, une preuve matérielle toutes les fois que nous écoutons un orchestre à distance : la mélodie et l'harmonie nous arrivent et nous donnent, à l'intensité près, la sensation exacte du morceau exécuté. Cela n'aurait pas lieu si les sons aigus des violons et des flûtes cheminaient plus vite que les sons graves des trombones, des basses et des contrebasses, et, au bout d'une sensation égale, nous n'entendrions plus qu'une étonnante cacophonie dont les désagréments croîtraient avec la distance.

Fresnel a comparé les couleurs simples aux sons simples.

Il a admis que le nombre des vibrations effectuées pendant une seconde par un point lumineux qui émet de la lumière *rouge* n'était pas le même que celui qui correspond à la lumière *jaune*. Il en résulte, inversement, que la *longueur d'onde* sera différente pour ces différentes couleurs. Le Tableau suivant donne les nombres de vibrations effectuées en une seconde par un point lumineux émettant les diverses couleurs. Cette comparaison des sons aux notes de la gamme musicale n'est, d'ailleurs, qu'un moyen d'explication, et il n'y a pas de *gamme* de couleurs dont les éléments soient susceptibles, en se combinant, de former des *accords*.

1. *Nombres de vibrations correspondant aux diverses couleurs.* — On a, du reste, pu déterminer, par des expériences précises autant que délicates, les nombres de vibrations correspondant aux diverses couleurs simples. Voici quelques-uns de ces nombres :

Rouge.....	497 milliards, par seconde.
Orange.....	524
Jaune.....	570
Vert.....	604
Bleu.....	648
Indigo.....	685
Violet.....	728

2. Longueurs d'onde des couleurs simples.

— Voici maintenant le Tableau qui donne les longueurs d'onde correspondant aux diverses couleurs simples :

Rouge.....	6,20	dix-millimètres de millimètre.
Orangé....	5,83	"
Jaune.....	5,51	"
Vert.....	5,12	"
Bleu.....	4,75	"
Indigo....	4,49	"
Violet....	4,23	"

Le rouge a donc de l'analogie avec les notes graves de l'échelle musicale, et le violet avec les notes aiguës.

Les couleurs complexes.

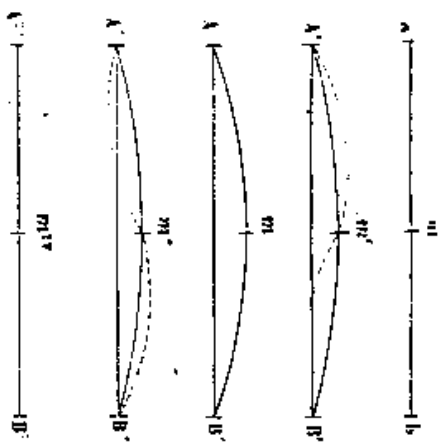
Comment expliquer maintenant les couleurs complexes, non plus celles du spectre qui sont simples, mais celles des corps naturels?

Nous aurons encore recours aux propriétés des mouvements vibratoires, et une comparaison avec les phénomènes sonores nous rendra plus facile à saisir la théorie des couleurs.

Plusieurs mouvements vibratoires peuvent se superposer l'un à l'autre. Ainsi, quand une corde est tendue sur une caisse sonore, comme la corde d'un violoncelle, on peut la faire vibrer tout en-

tière. Ses deux extrémités seront immobiles, seront deux nœuds, tandis que son milieu vibrera avec l'amplitude maxima : ce sera un ventre. Mais on peut attaquer cette corde avec l'archet de manière que, tout en vibrant dans son ensemble, chacune de ses moitiés vibre individuellement, suivant les contours ponctués représentés par la *fig. 6*.

Fig. 6.



Dans ces conditions, nous réalisons la superposition de deux mouvements vibratoires : celui de la corde entière et celui de ses deux moitiés vibrant isolément. Il en résulte un son complexe, formé du son fondamental et de son harmonique superposé; c'est cette superposition qui donne à l'oreille les sensations du *timbre* des différents sons, c'est-à-dire celles qui différencient une note jouée par une clarinette de la même note jouée par un violon.

La *phonographie* est un instrument basé sur ce principe : les vibrations d'une seule membrane peuvent reproduire plusieurs mouvements vibratoires superposés, rendre la parole humaine et l'enregistrer par un gaufrage piqué sur un cylindre malléable. De même, quand nous sommes dans une chambre dont les fenêtres sont fermées, nous entendons parfaitement une musique militaire qui passe dans la rue, et cependant c'est la seule surface du verre vibrant sous l'influence des sons émis au dehors, qui nous transmet les sons si complexes des instruments à vent.

Les couleurs complexes, telles que le marron, les différentes nuances de vert, etc., s'expliquent par un mécanisme analogue. Elles résultent de la superposition de plusieurs mouvements vibratoires simples.

Coloration des corps.

Disons à ce propos ce qu'on entend par *couleur* des corps.

La couleur résulte de la diffusion des rayons qui éclairent un corps. Ce corps en absorbe quelques-uns et en réfléchit d'autres dont le mélange produit sur l'œil l'impression d'une teinte déterminée. Une tapisserie nous paraît rouge parce qu'elle réfléchit surtout la lumière rouge et qu'elle absorbe les autres couleurs.

Les corps qui réfléchissent tous les rayons solaires, quels qu'ils soient, nous paraissent blancs ; ceux qui les absorbent tous, au contraire, nous semblent noirs.

Il est évident, d'après cela, que la couleur apparente d'un corps pour notre œil doit varier avec la nature de la lumière qui l'éclaire ; elle n'est pas la même au jour ou à la lumière électrique, ou à celle de l'acétylène, qui sont des lumières blanches contenant tous les rayons, qu'à la lumière exclusivement jaune du gaz. Avec une lumière monochromatique, elle participe forcément à la teinte même de cette lumière.

CHAPITRE V.

INTERFÉRENCES DE LA LUMIÈRE.

Expérience des deux miroirs.

Fresnel avait envisagé les phénomènes lumineux comme étant produits par des vibrations. La lumière doit donc présenter les particularités de tous les mouvements ondulatoires, et il doit être possible de produire des interférences avec deux ondes lumineuses.

A cet effet, on prend deux miroirs faisant entre eux un très petit angle : un point lumineux placé en avant donne, en arrière de ces miroirs, deux images très rapprochées, qui peuvent être considérées chacune comme le centre d'une onde distincte.

Si ces ondes, arrivant en un point, sont telles qu'elles aient parcouru des chemins différents et que leur différence de marche soit, ou une demi-longueur d'onde, ou un nombre impair de demi-longueurs d'onde, ce point aura au même instant deux vitesses égales et de signes contraires : il y aura donc annulation du mouvement vibratoire, c'est-

à-dire obscurité. Il y aura, au contraire, redoublement de lumière en tous les points où les deux ondes auront, ou parcouru le même chemin, ou parcouru des chemins dont la différence est un nombre entier de longueurs d'onde.

Si l'on a eu soin d'opérer avec une lumière parfaitement monochromatique, on aura donc, sur

Fig. 7.

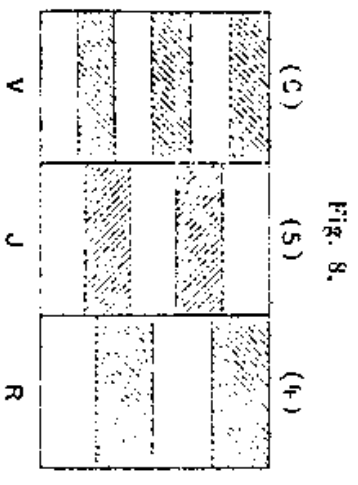


un écran placé en face des deux miroirs, une série de franges, alternativement brillantes et obscures, parallèles à l'intersection des deux miroirs, comme le représente la Fig. 7.

Si nous avons opéré avec de la lumière jaune et que nous la remplacions par de la lumière plus réfrangible, de la lumière violette par exemple, les franges sembleront se resserrer les unes vers les autres. La Fig. 8 montre l'écartement relatif des franges dans le rouge (R), dans le jaune (J) et dans le violet (V).

Si enfin nous employons de la lumière blanche,

l'effet produit sera la résultante des effets partiels que l'on obtiendrait avec chacune des couleurs



simples séparément : on aura donc des franges irisées, présentant les différentes couleurs du spectre.

Interférences dans la réflexion normale.

L'expérience précédente, imaginée et réalisée pour la première fois par Fresnel, est très brillante et relativement facile à répéter : elle nous prouve nettement l'existence des interférences lumineuses. Nous pourrions donc être certains que, quand une onde directe et une onde réfléchie se rencontrent, elles pourront et devront interférer.

En particulier — et ceci est d'une importance capitale pour le sujet qui nous occupe, — quand on fait tomber de la lumière perpendiculairement à la surface d'un miroir plan, l'onde réfléchie inter-

férera avec l'onde directe, en donnant naissance, en avant du miroir, à une série de plans parallèles, alternativement brillants et obscurs : les plans obscurs correspondent aux interférences, et la vibration lumineuse y est éteinte; elle est, au contraire, doublée dans les plans lumineux, et l'on réalise ainsi en Optique l'expérience faite avec les sons par le colonel Savart. Deux plans obscurs consécutifs (deux plans *nodaux*, comme on dit en Physique) sont séparés l'un de l'autre par un intervalle d'une demi-longueur d'onde. Il en est de même de deux plans *ventraux* consécutifs.

Ce phénomène se produit toutes les fois qu'une onde se réfléchit sur un miroir, nous allons voir ce qui a lieu quand la lumière rencontre une lame mince, c'est-à-dire une lame transparente, dont les deux faces parallèles sont séparées par une épaisseur très faible.

Anneaux colorés de Newton.

Les interférences vont nous servir à expliquer l'un des phénomènes naturels les plus intéressants : je veux parler des couleurs que présentent les lames minces.

Tout le monde a remarqué ces teintes merveilleusement pures que présentent les bulles de savon. En les examinant, on y reconnaît aisément les teintes simples du spectre. Malheureusement elles

se prêtent mal à l'étude, à cause de leur caractère fugitif et changeant.

Le génie de Newton avait pressenti la cause du phénomène : l'illustre physicien la voyait dans la minceur même de la lamelle liquide qui forme la bulle. Il imagina alors de reproduire le phénomène avec plus de régularité, et voici le dispositif qu'il a adopté :

Sur une lame de glace rigoureusement plane (fig. 9), on pose par sa face sphérique une len-

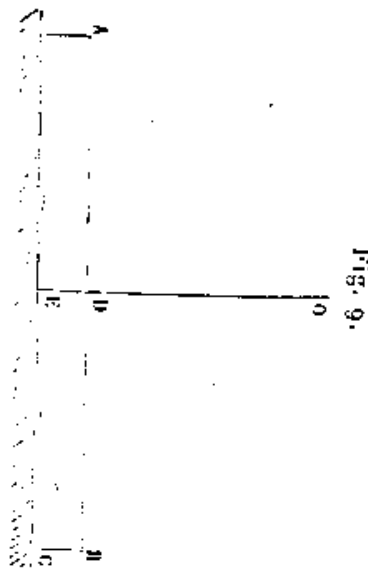


Fig. 9.

ille plan-convexe ADBE, qui touche par un seul point, le point E, la glace de verre. A partir de ce point, les deux lames sont séparées par une tranche d'air d'autant plus épaisse qu'elle est plus éloignée du point de contact.

Dans ces conditions, voici ce que l'on observe :

Si l'on éclaire ce système des deux verres ainsi superposés par de la lumière monochromatique (telle que la lumière jaune qui résulte de la com-

bustion d'une lampe à alcool salé), on voit par réflexion une tache noire centrale entourée d'anneaux concentriques, alternativement brillants et obscurs. Ces anneaux ne sont pas équidistants : ils se resserrent d'autant plus qu'ils sont plus éloignés du centre noir correspondant au point de contact des deux verres.

En employant une lumière de nature différente, on voit le diamètre des anneaux augmenter ou diminuer suivant que la longueur d'onde de la lumière employée est plus grande ou plus petite.

Il résulte de là que, si l'on éclaire l'appareil avec de la lumière blanche, on aura la superposition des effets obtenus avec les diverses lumières simples. Les couleurs ne coïncident pas ; par conséquent on n'aura pas un système d'anneaux alternativement noirs et blancs : on aura des anneaux irisés des couleurs de l'arc-en-ciel, absolument comme le sont les franges d'interférences dans les miroirs de Fresnel quand on emploie la lumière blanche.

Mais ce n'est pas tout. Au lieu de regarder le système de nos deux verres par réflexion, nous pouvons le regarder par transparence, c'est-à-dire l'interposer entre notre œil et la lumière diffuse. Dans ce cas, on observe encore des anneaux, seulement ils sont inverses des précédents : là où il y avait un anneau blanc nous observons un anneau obscur et réciproquement. Par exemple, le centre qui était obscur et formait une tache

noire quand on regardait le système par réflexion devient brillant quand on l'observe par transparence, et, si l'on se sert de lumière blanche, les anneaux que l'on observe de la seconde manière ont exactement les couleurs complémentaires de ceux que l'on avait observés en premier lieu.

Lois du phénomène.

Newton a étudié de plus près cette admirable expérience.

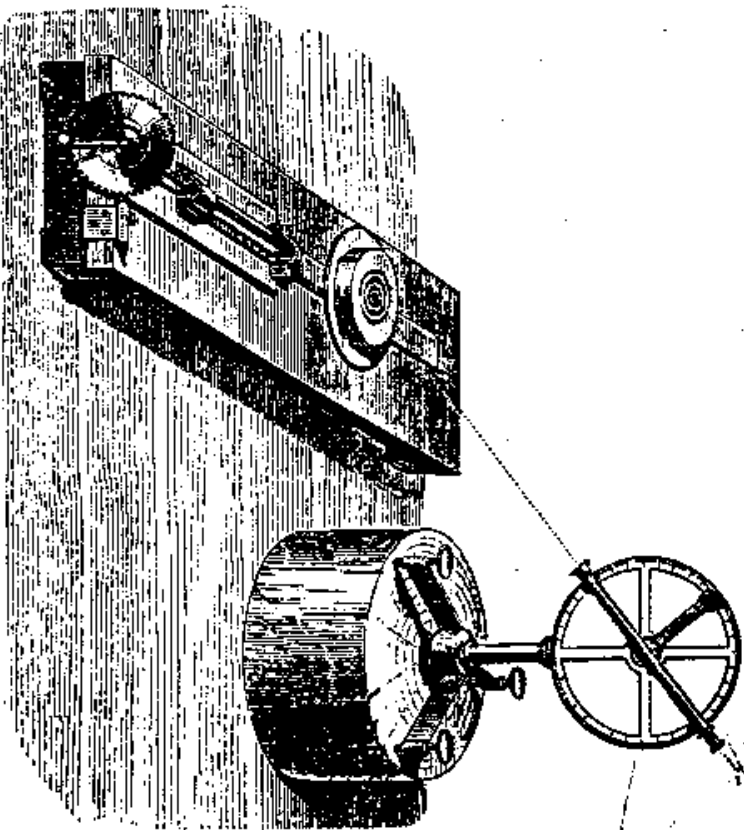
Il plaçait son œil en O, sur la verticale OMM (fig. 9) et prenait avec un compas les diamètres successifs des divers anneaux : l'écartement des branches du compas était ensuite mesuré à l'aide d'une règle divisée.

Deux savants français, de la Provostaye et Desains, ont réalisé, pour étudier les anneaux de Newton, un appareil très précis que représente la fig. 10.

Le système des deux verres, lentille et glace, se voit sur la figure avec les anneaux qui s'y produisent et que l'on peut observer plus commodément à l'aide d'une lunette. Les deux verres sont portés sur un chariot mobile que l'on peut faire mouvoir le long d'une règle divisée à l'aide d'une vis micrométrique qui lui imprime des déplacements aussi petits que l'on veut, et connus très exactement. On éclaire le tout avec de la lumière jaune.

En mesurant ainsi avec le plus grand soin les

Fig. 10.



diamètres successifs des divers anneaux, on a pu énoncer la loi suivante :

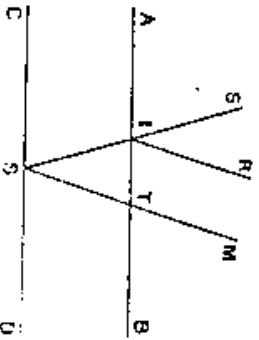
Les épaisseurs des anneaux obscurs sont égales aux multiples pairs successifs du quart de la longueur d'onde de la lumière employée. — Les épaisseurs des anneaux brillants sont égales aux multiples impairs de la même quantité.

Théorie des anneaux de Newton.

Il y a donc une relation entre les dimensions des anneaux et la longueur d'onde. Les propriétés des interférences vont maintenant nous permettre d'expliquer le phénomène.

Représentons-nous une lame mince transparente, ABCD (fig. 11), limitée par deux surfaces très

Fig. 11.



voisines AB et CD : par exemple une tranche d'air comprise entre deux lames de verre. Laçons sur l'appareil un rayon lumineux SI : avant de continuer son chemin à travers la tranche d'air, une portion de ce rayon se réfléchira sur la première lame de verre, suivant IR; l'autre portion arrivera jusqu'à la seconde lame, CD, sur laquelle elle se réfléchira suivant STM.

Les deux rayons réfléchis IR et TM vont donc avoir parcouru des rayons différents : le second aura parcouru, en plus du chemin parcouru par le

premier, la ligne brisée IST; il sera donc *en retard sur le premier*.

Suivant que ce retard sera un multiple impair ou pair de la demi-longueur d'onde, les deux rayons réfléchis interféreront ou donneront un redoublement de la couleur ayant la même longueur d'onde. Les lames minces permettent donc d'avoir la sensation des couleurs, quoiqu'elles soient elles-mêmes formées d'une substance parfaitement transparente. Les couleurs des lames minces ne prennent d'ailleurs la forme d'anneaux que par suite de la disposition de la lentille au-dessus de la glace de verre. Dans le cas où les deux faces réfléchissantes sont parallèles, on a des franges rectilignes ou peu courbées, qui ressemblent aux franges de l'expérience des deux miroirs. Si l'épaisseur était rigoureusement constante, on aurait une couleur uniforme.

CHAPITRE VI.

LA PHOTOGRAPHIE DES COULEURS.

Principe de l'expérience de M. Lippmann.

Ces notions nécessaires étant acquises, voici maintenant le principe de l'expérience de M. Lippmann :

Considérons un miroir plan métallique, et supposons que sa face réfléchissante ait été recouverte, par les procédés ordinaires de sensibilisation, d'une couche impressionnable formée d'albumine ou de collodion au chlorure ou bromure d'argent. Supposons en outre que cette couche soit *transparente, continue et sans grains*. Faisons tomber sur elle un rayon d'une lumière quelconque, colorée, ayant une longueur d'onde déterminée, et occupant par conséquent une place déterminée dans le spectre : Les rayons incidents traverseront la couche sensible et transparente, se réfléchiront sur la surface polie, et reviendront sur leurs pas; mais ils rencontreront en revenant les rayons qui arrivent. Nous aurons alors deux ondes lumineuses : une onde directe et une onde réfléchie,

qui vont produire des interférences et donner naissance à des plans *nodaux et ventraux*. L'espace en avant du miroir sera donc rempli de plans parallèles, alternativement brillants et obscurs, deux plans consécutifs de même nature étant séparés par une distance égale à une demi-longueur d'onde, c'est-à-dire, dans le cas de la lumière jaune, à la *quatre-millième partie d'un millimètre*. Il y aura, par conséquent, plusieurs de ces plans situés dans l'épaisseur même de la couche sensible, qui est de l'ordre du dixième de millimètre.

Les plans brillants seuls impressionneront cette couche, et cette impression viendra en noir au développement, tandis que les tranches correspondant aux plans obscurs ne seront pas impressionnées. Si donc nous mettons la plaque développée dans l'hyposulfite de soude, toute la matière sensible à la lumière et non altérée va se dissoudre, et il ne restera que des tranches infiniment minces d'argent réduit, là où il y avait les plans brillants. Il en résulte que toute l'épaisseur de la couche photographique sera partagée en tranches par des plans d'argent métallique, parallèles entre eux et séparés l'un de l'autre par une distance égale à la demi-longueur d'onde de la lumière qui a impressionné la plaque.

Mais deux de ces plans constituent, avec la matière transparente qu'ils comprennent entre eux,

une lame mince, et précisément une lame mince d'épaisseur telle que, d'après la théorie des anneaux de Newton, les rayons réfléchis sur ses deux faces donnent, en interférant entre eux, la sensation de la couleur correspondante.

Donc, quand on regardera par réflexion la plaque fixée et séchée, on verra reproduite la couleur même de la lumière que l'on a fait tomber sur la plaque. On ne verra d'ailleurs que celle-là; en effet, ce système de lames parallèles à écartement réglé par la lumière elle-même constitue un véritable *filtre* pour tous les rayons dont la lumière blanche est composée; il ne renvoie à l'œil que ceux dont la longueur d'onde correspond à l'écart des plans d'argent réduit, c'est-à-dire ceux de la lumière qui a impressionné la plaque, absolument comme un pignon denté ne peut engrainer qu'avec une crémaillère dont les dents ont le même écartement que les siennes.

Choix des plaques sensibles.

Tel est le principe de cette merveilleuse expérience, si simple et si scientifique dans son essence. Mais cette simplicité de conception exige une grande précision dans la réalisation expérimentale.

Tout d'abord, il faudra exclure les plaques au gélatinobromure ou au gélatinochlorure que l'on trouve dans le commerce, et dont la couche sen-

sible est une émulsion. Vu au microscope, une telle couche présente un *grain* très grossier, provenant des parcelles solides de la matière sensible. Les particules de ce grain ont des dimensions considérables par rapport à la demi-longueur d'onde : elles obstrueraient donc complètement la couche, déformeraient les plans réfléchissants et empêcheraient toute manifestation du phénomène chromatique. Les plaques du commerce sont, en outre, le plus souvent opaques, et ne seraient pas susceptibles d'être traversées par l'onde directe et l'onde réfléchie, ce qui est un second motif d'exclusion.

Il sera donc naturel de s'adresser de préférence aux couches sensibles de collodion ou d'albumine, qui ont l'avantage d'être continues et transparentes. Ces couches seront préparées par la méthode ordinaire, et ne contiendront pas d'émulsion, mais seront sensibilisées au bain d'argent, comme dans les anciens procédés au collodion. Les couches mixtes d'albumine et de collodion qui constituent le procédé *Taupenot* ont donné d'excellents résultats. M. Lippmann a aussi fait usage de plaques gélatinées, sensibilisées au bain d'argent, comme la glace collodionnée.

En somme, pourvu que la couche n'ait pas de grains, ou du moins, pourvu que son grain soit de dimensions négligeables vis-à-vis de la demi-longueur d'onde, toutes les préparations sensibles pourront être employées. C'est ainsi que MM. Lu-

mière ont fait usage d'une émulsion très légère au gélatinobromure, ne contenant pas de grains et dont on trouvera la formule plus loin.

Premiers dispositifs de M. Lippmann. Exposition de la plaque.

Il restait à réaliser la juxtaposition de la couche sensible à un miroir plan.

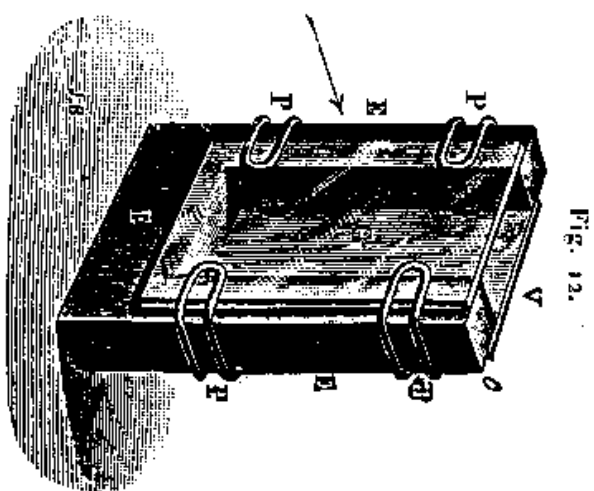
L'idée qui se présente naturellement à l'esprit est d'argenter une glace à faces parallèles, de polir le dépôt d'argent et d'appliquer directement la couche sensible sur le miroir métallique ainsi obtenu.

Malheureusement cette idée n'est pas utilement réalisable. Quelle que soit la variété des formules d'albume et de colloidion sensibles, elles ont ceci de commun qu'elles contiennent toutes de l'iode libre : il résulte de là que la couche d'argent serait altérée rapidement et ternie par la couche d'iode d'argent qui se formerait à sa surface.

Voici la disposition ingénieuse à laquelle s'est arrêté tout d'abord M. Lippmann :

Il sensibilise une glace ordinaire, et forme avec cette glace G la paroi antérieure d'une petite auge rectangulaire (Fig. 12) dont les parois latérales sont constituées par un cadre d'ébonite B et dont le fond est une plaque de verre V. Les deux glaces G et V sont serrées contre le cadre par des pinces en laiton P, P. On verse alors du mercure dans

l'auge. Comme la couche sensibilisée de la glace est tournée vers l'intérieur, elle est directement en contact avec le mercure qui, s'il a été versé à l'aide d'un entonnoir long et fin descendant jusqu'au fond de la petite auge, la remplit sans laisser de bulles



d'air et forme, derrière la couche impressionnable, un miroir parfait : ce petit appareil, que tout le monde peut facilement construire en quelques instants, réalise pratiquement toutes les conditions imposées par la théorie, et permet la réalisation des photographies du spectre.

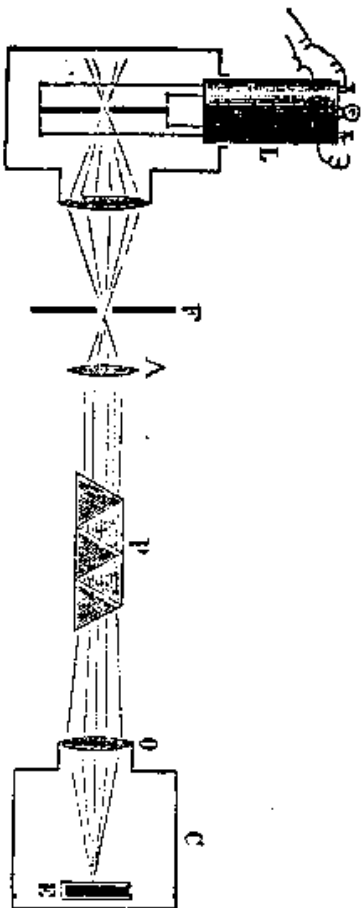
Pour faire la mise au point, on saisit l'auge dans un support à pinces, analogue à ceux que l'on trouve dans les laboratoires de Chimie, et que l'on

cale contre le fond ouvert d'une chambre photographique ordinaire : on met à la place de la glace sensible un petit carré de dépôt dont le côté mat est tourné vers l'intérieur de la petite cuve, et l'on met au point avec la crémaillère dont nous supprimons la chambre noire. (Toute chambre 13 \times 18 a des dimensions suffisantes pour cette opération.)

La mise au point étant faite, on desserre les pinces P, on enlève la petite glace dépolie qu'on remplace par la glace sensibilisée; on installe cette dernière *la couche sensible tournée vers l'intérieur* de la cuve; on fait le remplissage et l'on peut commencer la pose.

La fig. 13 représente la façon dont M. le Profes-

Fig. 13.



seur Lippmann a disposé, dans son laboratoire des Recherches physiques de la Sorbonne, la première et célèbre expérience de la Photographie des couleurs du spectre. Dans cette figure, L représente

la lampe électrique, F une fente sur laquelle la lumière est concentrée à l'aide d'une lentille; à la suite de cette fente est une seconde lentille qui reprend la lumière et en forme un faisceau parallèle; P est le prisme à vision directe qui décompose la lumière blanche et produit le spectre; O est l'objectif de la chambre photographique C, et enfin E représente la cuve à mercure précédemment décrite et supportant la plaque sensibilisée.

Temps de pose. Interposition des écrans colorés.

La question du temps de pose est capitale pour la bonne réussite de l'expérience; elle exige toujours quelques tâtonnements.

M. Lippmann s'est servi, comme source lumineuse, pour remplacer le soleil, d'une lampe électrique à arc, système Cance, d'une puissance de 800 bougies. Il obtenait ainsi un spectre très brillant.

Ce spectre contient une extrémité rouge qu'il s'agit de photographier en même temps que les autres couleurs. Or on connaît le peu d'activité chimique des rayons rouges : ils impressionnent les plaques assez lentement pour qu'on puisse se servir de lumière rouge pour développer sans danger les glaces au gélatinobromure d'argent. Tous les photographes savent d'ailleurs fort bien que les objets rouges viennent en noir sur les positifs : ils n'ont donc pas impressionné la plaque négative expo-

sée dans la chambre, quelque sensible qu'elle fût. Aussi, malgré l'éclat du spectre solaire, la pose qui devra reproduire le rouge devra être forcément très longue : elle a varié, suivant que l'on employait du collodion ou de l'albumine, d'une demi-heure à deux heures.

Mais, ici, une difficulté se présente. Si le rouge vient lentement, en revanche le bleu et le violet sont des couleurs actives par excellence, et *solariseront* complètement la plaque si on les laisse poser pendant tout le temps nécessaire à la bonne impression du rouge. Il faudra donc trouver un moyen de laisser poser les rayons de la région rouge *seuls* pendant longtemps, ne permettre au vert, plus actif, qu'une durée d'impression de quelques minutes, que l'on réduira à quelques secondes pour la région bleue et la violette.

M. Lippmann, dans le début de ses expériences, est arrivé à ce résultat en interposant sur le trajet du faisceau lumineux, pendant toute la pose du rouge, une petite cuve de glace pleine d'une dissolution d'hélianthine rouge. Cette substance absorbe complètement les radiations vertes, bleues et violettes et ne laisse passer que les rayons rouges et jaunes. On peut donc, grâce à cet écran coloré, laisser poser le rouge pendant tout le temps nécessaire sans risque de solariser les régions verte et bleue.

Quand le rouge a suffisamment posé, on ren-

place la cuve à hélianthine par une cuve contenant une solution de bichromate de potasse, qui laisse passer le vert et le rouge, mais arrête les rayons bleus ; dans ces conditions, on impressionne à loisir la partie de la plaque qui correspond au vert du spectre ; le rouge continue à poser pendant ce temps.

Enfin, pour obtenir le bleu, on découvre complètement l'objectif pendant quelques secondes, sans interposition d'aucune cuve ; le bleu et le violet agissent à leur tour, et l'exposition est terminée, la pose *sur la même plaque* ayant ainsi été fractionnée en trois durées élémentaires. Nous verrons plus loin que, grâce à une étude approfondie de l'isochromatisme, M. Lippmann a pu supprimer cette complication et obtenir en *une seule pose* la venue de toutes les radiations spectrales avec des intensités sensiblement pareilles.

Développement.

Si l'on a employé une glace albuminée, on peut la développer, comme on sait, par deux procédés distincts : par un développement acide ou un développement alcalin.

Si l'on emploie le développement acide (acide gallique, par exemple), il faudra poser un peu plus longtemps, et pousser le développement à fond ; si l'on se sert du développement alcalin, il sera pré-

férable de poser un peu moins longtemps, à cause de la plus grande activité du développement.

Dans tous les cas, l'opération devra être conduite avec l'idée que l'on doit produire de l'argent réfléchissant dans l'épaisseur même de la plaque. Si l'on juge l'épreuve insuffisante, on peut, avant le fixage, la renforcer à l'acide. Il faut éviter toutefois de trop insister sur ce renforcement, à cause des *empâtements* qui pourraient se produire dans la couche et masquer les phénomènes de réflexion métallique sur les lames d'argent, si voisines les unes des autres, destinées à reproduire les couleurs.

Fixage. Apparition des couleurs.

Le fixateur employé a toujours été l'hyposulfite de soude à la dose de 150^{gr} par litre. Le fixage est très rapide à cause du peu d'épaisseur des couches de collodion ou d'albumine employées.

Pendant le développement et le fixage, les couleurs ne sont pas visibles; mais elles commencent à apparaître au séchage, les couches d'argent se plaçant alors à la distance qu'elles avaient lorsqu'elles ont été produites par l'action des interférences de la lumière sur la plaque sensible qui était sèche lors de son exposition.

Pour les voir dans les conditions les plus avantageuses, il faut regarder par réflexion la glace éclairée par de la lumière diffuse; soit celle du

jour, soit celle qui provient de la face interne d'un abat-jour blanc. En aucun cas, on ne doit, si l'on veut jouir de la vue complète du phénomène, regarder la plaque éclairée directement par une source lumineuse.

Les couleurs ont un aspect dont on ne peut se faire une idée si on ne les a pas vues : elles ont une sorte d'éclat métallique qui leur donne une vivacité extraordinaire. Il est presque inutile d'insister sur l'inaltérabilité absolue de l'épreuve ainsi obtenue : la couleur, en effet, n'y est pas produite par un pigment quelconque susceptible de s'altérer à la lumière : elle résulte de la réalisation d'une propriété mécanique du mouvement vibratoire qui constitue la lumière. Cette inaltérabilité est telle que l'on peut projeter sur un écran les images de ces spectres vivement éclairés par une lumière électrique intense sans altérer leurs couleurs en quoi que ce soit.

La réussite de ces épreuves démontre même d'une façon irréfutable la délicatesse de l'impression photographique; au moment de l'impression, la glace est sèche, et le support de gélatine, d'albumine ou de collodion a une certaine consistance, bien déterminée dans chaque cas. Pendant les opérations du développement, du fixage et du lavage, la couche est plongée dans des bains de nature diverse, qui la gonflent et modifient sa structure, laquelle ne redevient normale qu'après le séchage. Puisque,

dans ces conditions, les couleurs viennent à leurs places respectives, cela prouve que les plans d'argent réfléchissants sont revenus rigoureusement à leur place; et comme la distance de deux de ces plans est, en moyenne, d'un quatre-millième de millimètre, on peut juger par là de la précision vraiment surprenante réalisée par la Photographie.

Reproduction des couleurs complexes.

L'expérience de la Photographie des couleurs du spectre est décisive, car, comme toutes les teintes simples s'y trouvent, le problème de la reproduction d'une couleur simple quelconque est résolu d'une façon définitive.

On peut se demander ce qu'il adviendra quand on voudra reproduire une couleur complexe, comme celles des objets naturels?

On peut prévoir *a priori* que le problème soit résoluble de la même manière, car si l'on étudie algébriquement les propriétés d'un mouvement vibratoire, on peut, en appliquant un remarquable théorème dû à Fourier, démontrer que les mouvements périodiques élémentaires peuvent se superposer en donnant naissance à un mouvement périodique résultant, unique.

M. Lippmann, quand il a cherché pour la première fois à réaliser la reproduction des couleurs composées, a fait poser devant son appareil deux

verres de couleur, l'un bleu et l'autre vert, éclairés par transparence à l'aide de la lumière électrique. Ces verres, provenant des ateliers de vitraux de M. Ch. Champigneulle, y avaient été pris au hasard et étaient loin d'être des couleurs simples, puisque, vus au spectroscopé, ils laissaient passer sensiblement toutes les couleurs, en proportions variables: ils contenaient donc toutes les longueurs d'onde, et réalisaient à merveille deux couleurs complexes.

L'épreuve obtenue a été très satisfaisante et a rendu les deux couleurs d'une manière très nette. Depuis lors, comme nous le verrons plus loin, ce résultat si encourageant a été bien dépassé et l'illustre physicien a pu montrer, aux visiteurs de l'Exposition de 1900, des photographies de tableaux, des paysages d'après nature et des portraits obtenus en quelques secondes *d'une seule pose, sur une seule plaque, et développés dans un seul bain.*

Causes de l'insuccès des recherches antérieures.

On peut se demander pourquoi la remarquable expérience d'Edmond Becquerel n'avait pas donné de résultats définitifs; en un mot, pourquoi l'épreuve du spectre qu'il avait obtenue n'était pas susceptible d'être fixée: l'explication suivante a été proposée pour expliquer cet insuccès:

Ce savant avait constitué sa couche sensible par une couche de sous-chlorure d'argent violet, étendue

sur la face polie d'une lame réfléchissante de plaqué d'argent. Dans ces conditions, les plans nodaux et les plans ventraux, qui sont l'organe même de la reproduction physique des couleurs, se produiraient dans l'épaisseur de cette couche, et l'œil avait bien la sensation des couleurs spectrales. Mais, si l'on place la plaque impressionnée dans l'hyposulfite de soude, destiné à fixer l'image obtenue, les parties comprises entre les plans ventraux qui étaient seuls actifs, seront dissoutes. Comme ces particules constituaient le seul support qui maintenait les plans réfléchissants à la distance d'une demi-longueur d'onde, ce support venant à manquer, les plans réfléchissants *s'effondraient* les uns sur les autres, et toute coloration devait disparaître : c'est ce qui arrivait. Si maintenant, au lieu de fixer la plaque, on l'expose de nouveau à la lumière du jour, celle-ci agira sur les parties encore sensibles qui sont situées dans l'intervalle des plans ventraux et les impressionnera à leur tour : toute la matière sera donc altérée d'une façon uniforme et l'image disparaît encore.

Dans l'expérience de M. Lippmann, au contraire, la matière sensible est impressionnée dans la masse d'une substance transparente : collodion, gélatine, albumine, qui lui sert de support. Cette substance n'est point dissoute par le fixatif qui ne dissout que le chlorure non impressionné qu'elle emprisonne : elle sert donc de charpente à l'édi-

fice des plans parallèles réfléchissants, pour maintenir invariable la distance qui les sépare et qui est nécessaire à la production des couleurs par les interférences.

Les progrès.

Telles sont les premières étapes de la découverte de M. Lippmann, tel était l'état de la question en 1891. Que restait-il à faire pour aller plus loin ?

Disposer d'abord des appareils permettant l'exposition facile, dans la chambre noire, de plaques de grandes dimensions : c'est là une question matérielle qui n'était pas pour embarrasser nos habiles constructeurs. Trouver des substances plus sensibles que celles connues jusqu'ici, et permettant par conséquent de réduire dans de grandes proportions les durées de pose, surtout pour le rouge : c'est une question difficile à résoudre, mais le problème n'est pas insoluble. Il suffit de se reporter à l'histoire de la Photographie ordinaire pour voir une véritable révolution opérée par le gélatinobromure, qui permet d'obtenir en un centième de seconde le cliché qui aurait demandé, avec le collodion sec, dix minutes d'exposition : c'est donc une augmentation de sensibilité dans le rapport de 60000 à 1.

D'ailleurs, il faut bien remarquer que, même avec les plaques albuminées ou collodionnées em-

ployées au début par M. Lippmann, la venue du rouge exige seule des temps de pose aussi longs; les autres parties du spectre viennent en quelques minutes; le violet et le bleu même, en quelques secondes. Quelques variétés de plaques employées dans des essais plus récents avaient même permis de réduire à cinq minutes la pose du rouge: c'étaient déjà presque des temps de pose normaux.

Du reste, la sensibilité, si grande en apparence, du gélatinobromure d'argent des *glaces ordinaires* n'existe que pour les objets bleus ou violets: *la Photographie ordinaire ne rend que les parties bleues et violettes* des objets qu'elle reproduit. L'expérience journalière est là pour le prouver: les arbres viennent toujours, dans tous les clichés ordinaires, en noir sombre, ainsi que les prairies; les jaunes, qui sont pourtant des teintes claires dans la nature, viennent en noir; les rouges, les vermillons, quelque écarlates qu'ils soient, donnent toujours des images sombres, absolument comme s'ils étaient noirs. Au contraire, les couleurs violettes et bleues, naturellement foncées, sombres et peu visibles, impressionnent vigoureusement les plaques, et produisent, sur les clichés, des parties blanches qui donnent une sensation contraire à celle de l'objet.

Pour aller plus loin, il fallait trouver des plaques vraiment *isochromatiques*, s'impressionnant sensiblement pendant la même durée de pose, sous

l'influence des deux extrémités du spectre, et supprimer ainsi cette division de la pose en trois périodes, division qui enlevait un peu d'élégance et de précision à la méthode en y laissant subsister un peu d'arbitraire. M. Lippmann a résolu victorieusement le problème, et il nous reste à dire maintenant comment, grâce à ses derniers progrès, on peut faire aujourd'hui de la Photographie en couleurs, avec certitude de réussir.

Les procédés actuels de Photographie en couleurs.

Dans les pages précédentes, nous avons tenu à indiquer la manière dont M. Lippmann a fait ses premières épreuves et réalisé ces photochromies qui marquent une étape dans l'histoire de la Science. Il nous reste à dire en quelques mots les progrès effectués depuis lors.

Donnant un nouvel exemple de ce beau désintéressement scientifique dont nos savants français semblent avoir le noble privilège, M. Lippmann a voulu que tout le monde pût s'engager librement et sans contrainte dans la voie qu'il avait ouverte, et, refusant de couvrir par des brevets sa découverte pourtant bien personnelle, il a mis la Photographie des couleurs dans le domaine public.

Aussi de nombreux travailleurs se sont-ils acharnés à perfectionner la méthode interférentielle. Au premier rang MM. Lumière frères, en France,

puis MM. Valenta en Autriche et Neuhauss en Allemagne, pour ne citer que ceux-là, ont obtenu d'admirables épreuves par la méthode Lippmann. De leur côté, les constructeurs s'ingénierent à réaliser un matériel pratique et peu encombrant; de sorte qu'aujourd'hui la Photographie en couleurs est chose pratique et accessible à tous les photographes, amateurs ou professionnels. Nous allons exposer maintenant les conditions *actuelles* dans lesquelles on peut mettre en œuvre la méthode des interférences.

Le matériel. — Aujourd'hui, on peut partir en voyage avec une chambre 9×12 , pour faire de la Photographie en couleurs, comme on le ferait pour la Photographie ordinaire : seuls les châssis négatifs à emporter sont différents.

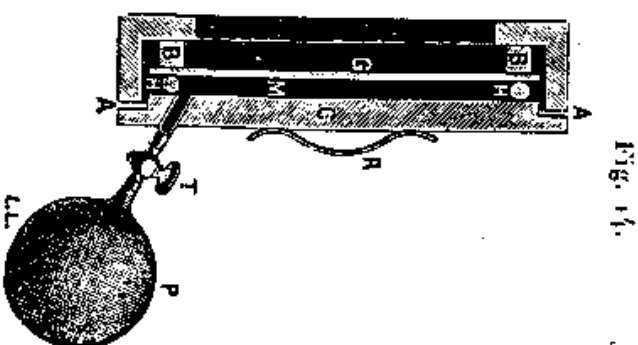
Chambre noire. — Toutes les chambres noires sont utilisables pour la Photographie interférentielle; M. Lippmann se sert constamment d'une petite chambre 9×12 pliante en acier, à queue rentrante et à crémaillère, extrêmement portative.

Châssis. — Plusieurs dispositifs ont été imaginés pour réaliser l'installation d'une lamelle de mercure adossée à la couche sensible.

Le châssis à pinces métalliques, que nous avons décrit en parlant des premières expériences de

Photographie en couleurs destinées à reproduire le spectre solaire, est un instrument de laboratoire et ne saurait s'appliquer à un appareil transportable.

MM. Lumière ont imaginé un châssis fermé dans lequel le mercure n'est introduit qu'au moment même de la pose. À cet effet, le métal liquide est contenu dans une poire de caoutchouc commu-



niquant avec l'arrière de la plaque sensible par un tube à robinet T (Fig. 14). La plaque sensible G est appliquée contre le fond du châssis par l'intermédiaire de lamelles de caoutchouc H, H qui constituent les parois latérales d'une cuve étanche dont la plaque sensible G et une plaque de fer C

forment les deux fonds. Au moment d'exposer, on presse la poire : le mercure remplit le compartiment étanche, on ferme le robinet. La pose une fois terminée, on ouvre le robinet : le mercure redescend dans la poire, on ouvre le châssis et l'on développe comme nous le verrons plus loin.

M. Valenta a adopté un dispositif très simple et peu volumineux : c'est à peu près le châssis-presse en usage pour le fixage des épreuves positives sur papier. Ce châssis est représenté ouvert sur la

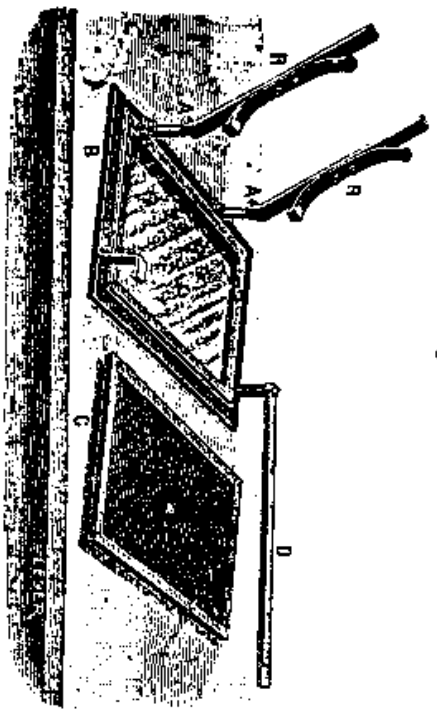


Fig. 15.

Fig. 15, et fermé, tout monté, sur la Fig. 16. C'est un cadre au fond duquel on met la glace sensible, face en dessus F; sur cette glace on applique un couvercle de fer C, bordé d'un ruban de caoutchouc en contact avec la face gélatinée. Quand on l'a mis en place, on verse du mercure par les deux trous que l'on voit dessinés sur le fond en fer C,

et l'on assujettit le tout à l'aide des ressorts R, de la barre D et de l'arrêt E; on ferme par des bouchons à vis les orifices de remplissage, et le châssis,

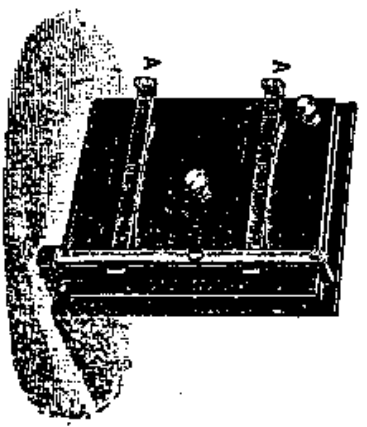


Fig. 16.

que l'on peut alors relever, est tout prêt à être exposé dans la chambre.

M. Contamine, de Lille, a imaginé un châssis ingénieux dans lequel il y a un réservoir automatique à mercure : c'est la cavité A, creusée dans l'épaisseur du bois. Quand on relève le châssis, le mercure descend naturellement derrière la plaque; quand on remet le châssis à plat, il retombe en A par les lois de l'équilibre des liquides pesants (Fig. 17 et 18).

M. Lippmann emploie un châssis qui a quelque analogie avec le châssis simple des anciennes chambres noires : le fond contient une plaque bordée de peau de chamois qu'un ressort appuie

contre la glace, par le jeu même de la fermeture du châssis ; au lieu d'une poire, comme dans le dispositif de MM. Lippmann, il emploie un petit récipient de fer nickelé contenant le mercure ; en montant ou en descendant ce récipient derrière

Fig. 17.

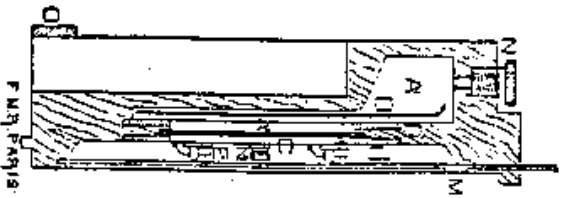
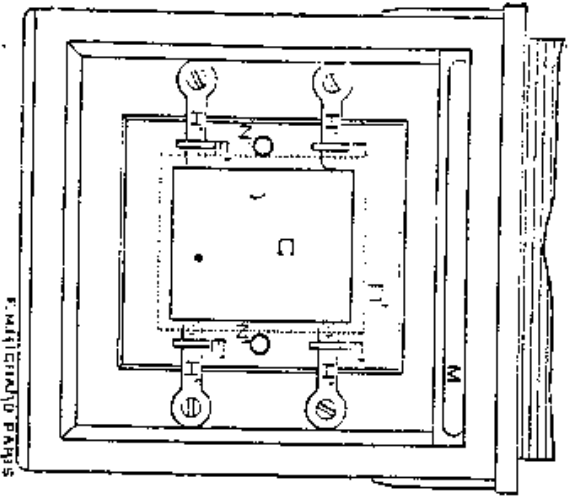


Fig. 18.



le châssis fermé, on fait monter ou descendre le mercure derrière la plaque.

Les fig. 19, 20 et 21 représentent la petite chambre de M. Lippmann montée sur son pied, avec son châssis, son réservoir à mercure et une cuve C, en avant de l'objectif, destinée à arrêter, pendant toute la durée de la pose, les rayons ultra-violet. Le volet V du châssis est relevé et la plaque posée.

Le châssis de M. Lippmann, d'un maniement

Fig. 19.

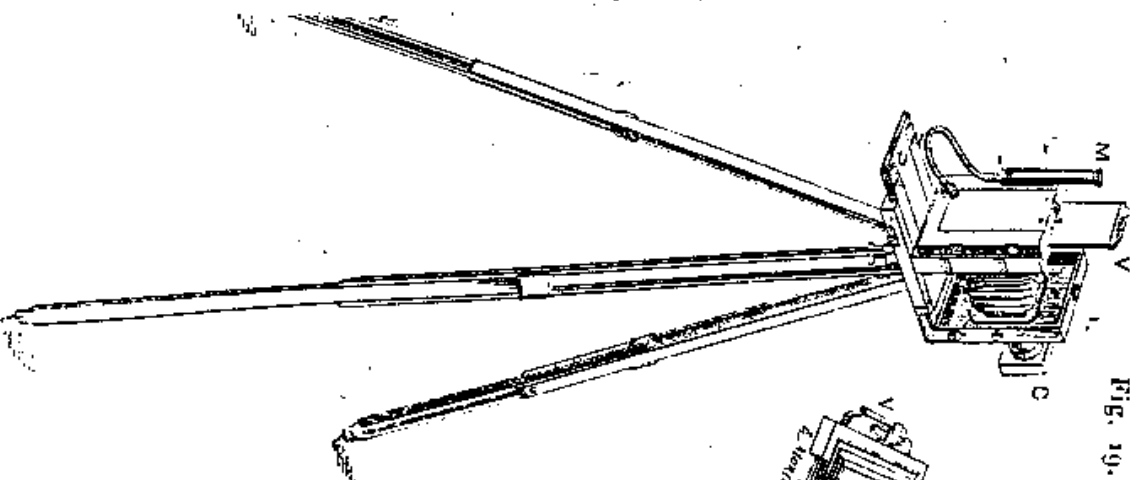


Fig. 20.

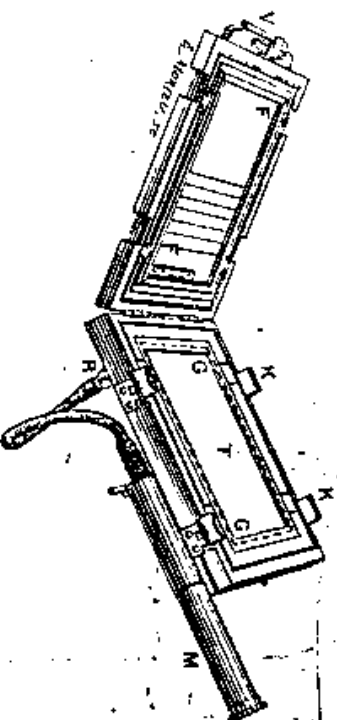
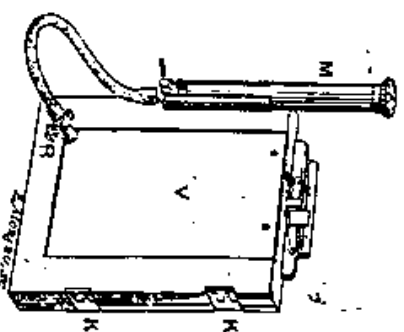


Fig. 21.



très simple et très sûr, est construit chez M. Mackenstein.

Objectifs. — Les plaques employées pour la Photographie interférentielle étant à grains de dimension nulle ou au moins inobservable, leur sensibilité est moindre que celle des plaques du commerce, dont l'émission mûrie est à gros grains. Il est donc indispensable d'employer des objectifs aussi lumineux que possible.

Les anciens objectifs à portraits, à part leurs dimensions et leur encombrement, peuvent rendre des services; mais les objectifs les plus avantageux sont les *Planars* de Zeiss, travaillant à l'ouverture $f : 3,6$.

Cuve. — Enfin, il y a une dernière pièce du matériel photochromique, c'est la cuve que l'on voit en C (fig. 19) devant l'objectif: elle contient une solution étendue et très claire d'une substance susceptible d'arrêter, pendant toute la pose, les rayons ultra-violet qui donneraient sur la plaque une impression ne correspondant à aucune couleur perceptible à l'œil. Ces petites cuves, montées sur une bonnette, se coiffent sur le parasoleil de l'objectif comme un obturateur: M. Verlein les construit avec habileté.

Format des plaques. — M. Lippmann a adopté le format unique $6\frac{1}{2} \times 9$, pour plusieurs raisons:

D'abord, la surface de l'épreuve n'étant pas très considérable, la pression du mercure sur la plaque

ne sera pas exagérée et ne déformera pas la surface de celle-ci par flexion élastique.

En second lieu, le format $6\frac{1}{2} \times 9$ est, à très peu de chose près, le format des épreuves de projection: on aura donc des clichés faciles à montrer en public, et dont les dimensions s'accordent avec celles des condensateurs de lanternes à projections ordinaires.

Enfin, la plaque $6\frac{1}{2} \times 9$ correspond à une surface égale au quart de la demi-plaque 13×18 : on obtient donc exactement quatre plaques $6\frac{1}{2} \times 9$ avec une plaque 13×18 . C'est un avantage surtout quand (et c'est le cas de la méthode interférentielle) il faut préparer ses glaces soi-même: on est sûr d'avoir ainsi des plaques comparables, puisqu'elles seront des fractions d'une même glace coupée en quatre.

Mode opératoire actuel.

Préparation des glaces destinées à la Photographie interférentielle. — Comme nous l'avons indiqué en rappelant l'histoire des premiers essais de M. Lippmann, les procédés où l'on sensibilise au bain d'argent un support transparent contenant un chlorure ou un bromure alcalin, comme le collodion ou l'albumine, se prêtent à la reproduction des couleurs par le mécanisme des interférences; cependant, ces procédés trop lents ont

été vite abandonnés par l'auteur de la méthode lui-même, et l'on ne se sert plus aujourd'hui que de plaques au gélatinobromure ou au gélatinoclorure, dont l'émulsion est préparée d'une manière spéciale qui permet d'éviter toute précipitation d'argent. Différents opérateurs, MM. Valenta, Neuhauss, mais surtout MM. Auguste et Louis Lumière, qui parmi tous ces chercheurs sont les premiers en date, ont fait avancer cette question.

Ce petit Volume n'est pas une Encyclopédie de Photochromie interférentielle : c'est un guide destiné à conduire dans la voie nouvelle ceux qui voudraient s'y engager; aussi ne chargerons-nous pas cet exposé d'une foule de formules différentes, mais en donnerons-nous une seule, qui conduit sûrement à de bons résultats.

La plaque de verre est d'abord lavée et séchée avec soin par les procédés qu'indiquent les anciens traités de Photographie au collodion. Cela fait, on prépare les trois dissolutions suivantes :

A	{ Eau distillée.....	100 ^{cc}
	{ Gélatine.....	20 ^{gr}
B	{ Eau distillée.....	25 ^{cc}
	{ Bromure de potassium.....	2 ^{gr} , 3
C	{ Eau distillée.....	25 ^{cc}
	{ Azotate d'argent.....	3 ^{gr}

On partage la solution A en deux moitiés.

L'une de ces moitiés est ajoutée à B, l'autre moitié est ajoutée à C. On a ainsi deux solutions nouvelles que nous désignerons par B' et C', l'une, B', contenant le bromure, l'autre, C', contenant l'argent.

On mélange alors B' et C' en versant lentement C' qui contient l'argent dans B' qui contient le bromure de potassium; pendant ce temps, la température ne doit pas dépasser 40 degrés centigrades.

On ajoute ensuite un peu d'une substance isochromatisante (la cyanine, le violet de méthyle, sont excellents pour cet usage) de façon à donner à la masse une coloration légère et uniforme sans altérer sa transparence; comme dosage et à titre de renseignement pratique, nous indiquerons la formule suivante; on mélange :

Solution de cyanine à $\frac{1}{500}$	4 ^{cc}
Solution d'érythrosine à $\frac{1}{500}$	2

On prend 1^{cc}, 5 de ce mélange pour 100^{cc} d'émulsion.

Nous avons maintenant une émulsion maintenue au-dessous de 40°, prête à être coulée sur les plaques.

Cette opération se fait comme l'ancien coulage du collodion, dont on trouvera la description et le mode opératoire dans tous les Traités classiques de Photographie. Il est à observer, cependant, que

la couche déposée doit être très mince, puisqu'elle doit, tout en étant légèrement colorée par la substance isochromatisante, laisser libre passage, et à l'onde directe, et à l'onde réfléchie.

Pour arriver à étendre la gélatine émulsionnée en couche mince et d'épaisseur régulière, on peut employer un appareil centrifuge du genre de celui

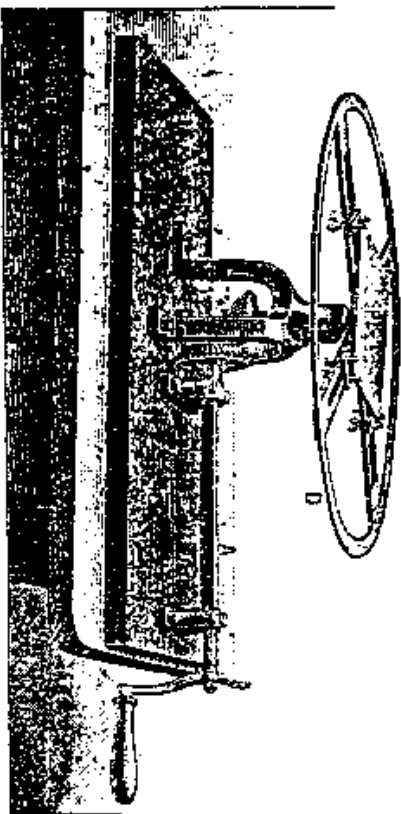


Fig. 23.

qui est représenté *fig. 22*, et au centre duquel on fixe la plaque par des pinces à vis.

La condition que la température ne dépasse pas 40° C. est *absolue* : moins la température sera élevée, plus les couleurs viendront avec perfection ; il est vrai que la rapidité diminue avec la température de l'opération. Il y a donc là un juste milieu à établir ; l'expérience personnelle de chaque opérateur le fixera vite sur ce point.

Après passage sur la tournette centrifuge, nos

glaces sont donc recouvertes d'une couche mince et homogène d'émulsion orthochromatique, sans grains, propre à la Photographie interférentielle.

Nous laisserons prendre cette couche en gelée, puis nous immergerons les plaques dans l'alcool pendant un *temps très court*, après quoi nous laverons dans un courant d'eau pendant quelques minutes.

Nous découperons alors nos plaques 13 × 18 respectivement en 4 plaques 6 $\frac{1}{2}$ × 9 que nous conserverons dans des boîtes étanches à la lumière jusqu'au moment où nous voudrons les faire poser.

Sensibilisation. — Quand nous voudrons nous servir de nos plaques, nous les plongerons pendant 100 à 150 secondes dans le *bain sensibilisateur* suivant :

Eau distillée.....	200 ^{cs}
Azotate d'argent.....	1 ^{gr}
Acide acétique.....	1

(formule de MM. Lamière).

Nous laissons sécher et exposons à la chambre noire ; il faut remarquer que, si cette solution augmente la sensibilité, elle comporte une altération rapide des plaques : on ne *sensibilisera* donc les plaques que *quelques heures* avant leur exposition.

Développement. — Un développeur très sûr est le suivant, que M. M. Lumière ont indiqué à la Société française de Photographie dans une de leurs communications :

On prépare les trois solutions suivantes :

A	{ Eau.....	200 ^{gr}
	{ Acide pyrogallique.....	1
B	{ Eau.....	100 ^{gr}
	{ Bromure de potassium.....	10
C	Ammoniaque (D = 0,960, à + 18° C).	

On fait alors la liqueur suivante :

Eau distillée.....	70 ^{cc}
Solution A.....	10
Solution B.....	15
Solution C.....	5

Pendant le développement, l'apparence du cliché est celle d'une épreuve négative ordinaire, un peu légère. *Les couleurs ne sont pas visibles dans le bain.*

Quand on juge le cliché suffisamment poussé, on le retire, on le laisse quelques secondes sous le robinet et on le plonge dans le bain de fixation.

Fixage. — Le bain de fixation est une dissolution d'hyposulfite de soude à 150^{gr} par litre. Comme les couches sont très minces, le fixation a lieu très vite.

On peut, d'ailleurs, fixer au cyanure de potassium ; mais le danger que comporte la manipulation de ce produit, surtout dans des opérations où, maniant des plaques de verre, on est exposé à des écorchures et à des coupures, fera toujours préférer l'hyposulfite, absolument inoffensif et, au fond, donnant d'aussi bons résultats.

Séchage. Apparition des couleurs. — Au sortir du bain de fixation, les épreuves sont lavées sous le jet d'une pomme d'arrosoir pendant cinq à six minutes : la minceur de la couche fait que ce lavage est suffisant ; on les plonge alors dans l'alcool absolu pendant une minute, puis on laisse sécher. Le séchage a lieu très rapidement, et, à mesure qu'il se parfait, on jouit du spectacle, magnifique et vraiment impressionnant quand on le voit pour la première fois, de la genèse des couleurs, que l'on voit naître sous ses yeux.

Quand toutes les couleurs sont apparues, l'épreuve est sèche et prête à être montée. Il faut alors la conserver à l'abri de l'humidité, car cette dernière cause, en gonflant la gélatine, augmente la distance des lames d'argent réfléchissantes et, par suite, change les valeurs des teintes observées.

Montage des épreuves. — On place alors l'épreuve, à l'aide de baume du Canada, entre un verre noir et un prisme de verre d'un très petit

angle (à vrai dire, une lame un peu épaisse de verre $6\frac{1}{2} \times 9$ taillée en biseau). Les couleurs sont alors plus nettes, et, de plus, la lumière réfléchie par le protecteur de verre étant renvoyée de côté grâce à son obliquité, l'épreuve est dans d'excellentes conditions de visibilité. Inutile de dire que les clichés en couleurs doivent être regardés *par réflexion*, comme aussi ce sera par réflexion qu'il faudra les projeter si l'on veut les montrer à une assistance nombreuse : on utilisera pour cela le dispositif classique connu sous le nom de *Mégascope*.

CONCLUSION.

On peut dire que maintenant la Photographie a franchi la dernière étape qui lui restait à fournir : la solution générale du seul problème qui fût encore à résoudre est trouvée et elle est définitive parce qu'elle est scientifique et rationnelle. Rien dans ces recherches, poursuivies pendant neuf années, n'a été laissé au hasard : tout, au contraire, a été cherché dans la voie de l'expérience par une méthode essentiellement physique. Aussi le succès éclatant obtenu par M. Kippmann est-il un triomphe pour la Science pure.

C'est aussi un triomphe pour la Science française, car ce mode de reproduction des couleurs du spectre à l'aide des lames minces limitées par des plans d'argent constitue une matérialisation, réalisée par un savant français, de ces ondes lumineuses conçues pour la première fois par le puissant génie d'un autre Français illustre : j'ai nommé Augustin Fresnel.

TABIE DES MATIÈRES.

AVANT-PROPOS..... Pages. VII

CHAPITRE I.

Un mot d'historique..... 1

CHAPITRE II.

Les ondulations..... 5

Vitesse de propagation..... 5

Mouvements vibratoires..... 7

Longueur d'onde. Durée de la vibration..... 8

Ondes sonores..... 9

CHAPITRE III.

Les interférences..... 12

Réflexion du mouvement ondulatoire..... 13

Interférence de l'onde directe et de l'onde réfléchie..... 14

CHAPITRE IV.

Les ondes lumineuses..... 17

L'éther lumineux..... 17

Vitesse de la lumière..... 18

Lumière blanche. Couleurs simples..... 19

Couleurs complémentaires..... 21

Théorie de fresnel..... 21

	Pages.
Les couleurs complexes.....	24
Coloration des corps.....	26

CHAPITRE V.

Interférences de la lumière.....	28
Expérience des deux miroirs.....	28
Interférences dans la réflexion normale.....	30
Anneaux colorés de Newton.....	31
Lois du phénomène.....	34
Théorie des anneaux de Newton.....	36

CHAPITRE VI.

La Photographie des couleurs.....	38
Principe de l'expérience de M. Lippmann.....	38
Choix des plaques sensibles.....	40
Premiers dispositifs de M. Lippmann. Exposition de la plaque.....	42
Temps de pose. Interposition des écrans colorés.....	45
Développement.....	47
Fixage. Apparition des couleurs.....	48
Reproduction des couleurs complexes.....	50
Causes de l'insuccès des recherches anciennes.....	51
Les progrès.....	53
Les procédés actuels de Photographie en couleurs.....	55
Mode opératoire actuel.....	61
CONCLUSION.....	71