

Titre : La photographie des couleurs

Auteur : Thovert, J.

Mots-clés : Photographie en couleurs -- France -- 19e siècle

Description : 1 vol. (VI-[2]-300-IV-24 p.) ; 19 cm

Adresse : Paris : Gaston Doin : Librairie Octave Doin, 1924

Cote de l'exemplaire : CNAM-BIB 12 Ke 313

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?12KE313>

12<sup>e</sup> Ké 313

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DU DR TOULOUSE

BIBLIOTHÈQUE  
DE PHOTOGRAPHIE

DIRECTEUR  
A. SEYEWETZ

## Photographie des couleurs

PAR  
J. THOVERT



LIBRAIRIE OCTAVE DOIN  
GASTON DOIN, ÉDITEUR - PARIS



Gaston DOIN, Éditeur, 8, place de l'Odéon, Paris, 6<sup>e</sup>

---

**ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE**  
Publiée sous la direction du Dr TOULOUSE

---

**BIBLIOTHÈQUE**  
**DÉ PHOTOGRAPHIE**

Directeur : **A. SEYEWETZ**

Sous-Directeur de l'Ecole de chimie industrielle de Lyon

---

Les sciences photographiques qui sont de création récente, ont pris un essor considérable dans ces dernières années. Les procédés photographiques qui étaient restés, en effet, pendant longtemps des procédés purement empiriques relèvent pour la plupart aujourd'hui de la science pure, et la mise en œuvre de réactions chimiques pour expliquer un grand nombre de phénomènes photographiques n'a pas contribué pour une faible part à cette transformation rapide.

A la suite de cette évolution si prompte, les applications photographiques se sont multipliées avec une inconcevable rapidité et la plaque photographique est devenue la véritable rétine du savant, comme Janssen l'a si humoristiquement définie.

Elle est, en effet, aujourd'hui, l'auxiliaire de toutes les sciences. Ses applications se sont étendues à toutes les branches de l'activité humaine et aucune d'elles n'a sollicité vainement son concours.

On peut même dire que la photographie a fait la conquête du monde entier, car elle a pénétré, avec les explorateurs, dans les parties du globe les plus difficilement accessibles.

De même que la presse propage la pensée, de même la photographie sert les intérêts de la civilisation, en multipliant l'image des objets et en perpétuant le souvenir des phénomènes les plus subtils.

Dans le domaine des sciences physiques, elle a permis de suppléer dans une large mesure, à l'imperfection de nos sens et a pu fournir des documents précis sur des phénomènes physiques que l'œil ne peut percevoir.

La microphotographie a permis de faire une étude approfondie de la structure intime de la matière dont on parviendra sans doute, dans un avenir peu éloigné, à étudier plus complètement les atomes et les molécules. Appliquée à l'étude des métaux, la microphotographie a donné naissance à la métallographie qui est utilisée pour suivre la fabrication de l'acier et de la fonte.

La cinématique a mis à profit la rapidité de l'impression de la plaque photographique, pour déterminer la vitesse des projectiles et la forme de la veine gazeuse qu'entraînent ces projectiles.

L'astronomie a trouvé également une collaboration puissante dans la photographie qui a permis de réaliser la carte du ciel et de découvrir de nombreuses comètes et de petites planètes.

C'est également grâce à elle que la radioactivité a été découverte et a facilité l'étude intime de la matière et de l'énergie qui la dirige.

En météorologie, la photographie a reçu des applications multiples dans l'enregistrement de la température, de la pression et de l'état hygrométrique.

Les sciences biologiques, les sciences médicales et la microbiologie lui sont redevables de progrès importants.

La chirurgie a tiré un parti très avantageux de la propriété que possèdent les rayons X de traverser facilement certains corps opaques à la lumière et d'être arrêtés par d'autres corps. Cette propriété a été l'origine d'une science nouvelle, la radiographie qui permet de photographier les masses osseuses des corps à l'exclusion des masses musculaires et de déterminer dans ces dernières l'emplacement exact des corps étrangers qui s'y sont introduits.

En physiologie, la chronophotographie a permis de faire l'analyse du mouvement en prenant à des intervalles de temps égaux et connus, des images successives d'un même objet. La cinématographie a utilisé ces images pour reconstituer ce mouvement et le reproduire à un moment et en un lieu quelconques.

Enfin les sciences géographiques, historiques, archéologiques, psychiques même, font un appel continu aux ressources que leur offre la photographie.

La source déjà si féconde des applications photographiques que l'on pouvait croire tarie, vient d'être revivifiée par la merveilleuse découverte des plaques autochromes, due aux frères Lumière.

La photochromie avait été jusqu'ici l'objet de recherches nombreuses. Le procédé de Cros et Ducos du Hauron pour la reproduction indirecte des couleurs, avait été appliqué après des perfectionnements importants à l'impression chromophotographique, mais il ne put se répandre dans la pratique photographique à cause des difficultés d'exécution qu'il présentait.

L'ingénieuse méthode interférentielle de Lippmann avec laquelle on peut reproduire directement les couleurs, constitue une merveilleuse expérience de laboratoire qui confirme brillamment la théorie physique de la lumière ; mais son introduction dans la pratique s'est heurtée jusqu'ici à des difficultés qui paraissent insurmontables.

La reproduction photographique des couleurs vient de faire un pas de géant avec l'apparition de la plaque auto-chrome qui permet d'obtenir l'image des objets avec leurs couleurs naturelles aussi facilement que des images en noir.

Nous allons sans doute assister, dans cette nouvelle phase, à des perfectionnements comparables à ceux qu'a subis la photographie en noir depuis Daguerre.

Toutes les applications dont nous venons de faire l'énumération sommaire, ne peuvent être utilisées avec fruit que si l'on connaît la pratique photographique, qui elle-même ne peut être conduite d'une façon judicieuse qu'en étudiant la théorie des procédés photographiques.

C'est pour réaliser ce double but qu'a été créée la bibliothèque photographique de l'Encyclopédie scientifique.

Le savant, de même que l'industriel, le novice aussi bien que le photographe professionnel, pourront y puiser toutes les connaissances nécessaires pour arriver au résultat qu'ils poursuivent.

Dans les divers ouvrages qui composent notre bibliothèque, sont traitées séparément les grandes divisions que l'on peut concevoir dans l'étude de la science photographique et de ses applications; on peut donc facilement tenir chacun de ces volumes au courant des plus récents progrès modernes par une réimpression faite en temps opportun.

Les volumes sont publiés dans le format in-18 jésus cartonné ; ils forment chacun 350 pages environ avec ou sans figures dans le texte. Chaque ouvrage se vend séparément.

Voir, à la fin du volume, la liste des Bibliothèques de l'ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE, et celle des volumes publiés.

## TABLE DES VOLUMES ET LISTE DES COLLABORATEURS

---

1. **La photographie**, par G. CHICANDARD, Licencié ès sciences physiques.
2. **Physique photographique**, par L. CHAVANON, Ingénieur, Licencié ès sciences physiques et ès sciences mathématiques.
3. **Chimie photographique**, par H. BARBIER et J. PARIS, Ingénieurs-chimistes aux Etablissements Lumière.
4. **Le négatif en photographie**, 2<sup>e</sup> édition, par A. SEYEWETZ, Sous-Directeur de l'Ecole de chimie industrielle de Lyon.
5. **Les positifs en photographie**, par E. TRUTAT, Docteur ès sciences, Directeur du Musée d'histoire naturelle de Toulouse
6. **Manipulations photographiques**, par A. SEYEWETZ, Sous-Directeur de l'Ecole de chimie industrielle de Lyon.
7. **La photographie des couleurs**, par J. THOVERT, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.
8. **La photographie à la lumière artificielle**, par A. LONDE, Directeur honoraire des services de photographie et de radiographie de la Salpêtrière.
9. **Microphotographie et Macrophotographie**, par F. Mox-PILLARD.

10. **La Photographie des radiations invisibles** (*Rayons cathodiques, anodiques, de Röntgen, du tube de Crookes et de l'ampoule de Coolidge, rayons des substances radioactives, rayons spectraux infra-rouges et ultra-violets*), par Dr M. CHANOZ, Docteur ès-sciences, Chef des travaux de physique à la Faculté de médecine de Lyon.
  11. **Reproductions photographiques monochromes** (*Photogravure, Similigravure, Phototypie, Héliogravure, etc.*), par L.-P. CLERC, préparateur à la Faculté des sciences de l'Université de Paris.
  12. **Reproductions photographiques polychromes** (*Sélections trichromes, Orthochromatisme, Procédés d'interprétation*), par L.-P. CLERC, préparateur à la Faculté des sciences de l'Université de Paris.
  13. **La Stéréophotographie**, par Dr G. H. NIEWENGLOWSKI, Professeur au lycée Carnot à Tunis.
  14. **La Technique de la Photographie aérienne**, par L.-P. CLERC, Ancien Commandant d'une Section de Photographie aérienne aux Armées.
  15. **Les Applications de la Photographie Aérienne** (*Lecture, Stéréoscopie, Métrophotographie*), par L.-P. CLERC.
-

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

du Dr TOULOUSE, Directeur de Laboratoire à l'École  
des Hautes-Études,

Secrétaire général : H. PIÉRON,

---

## BIBLIOTHÈQUE DE PHOTOGRAPHIE

Directeur : A. SEYEWETZ

Sous directeur de l'Ecole de chimie industrielle de Lyon

---

LA

## PHOTOGRAPHIE DES COULEURS



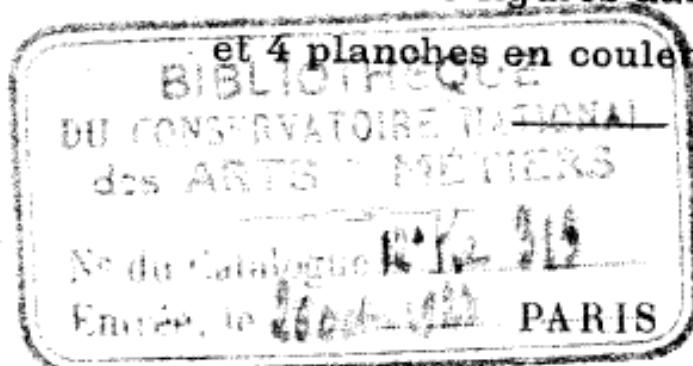
LA  
PHOTOGRAPHIE  
DES COULEURS

PAR

J. THOVERT

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE LYON

Avec 93 figures dans le texte



LIBRAIRIE OCTAVE DOIN

GASTON DOIN, ÉDITEUR

8, PLACE DE L'ODÉON, 8

1924

Tous droits réservés

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

## AVANT-PROPOS

---

On ne cherchera pas dans ce petit livre le détail infini de tous les procédés imaginés pour essayer la reproduction des couleurs. Nous avons décrit seulement, avec l'ampleur suffisante les opérations relatives aux méthodes types.

Le but cherché est plutôt d'exposer nos connaissances objectives sur la vision colorée et leur application dans l'utilisation de la technique photographique à la reproduction des couleurs. Nous nous sommes placé surtout au point de vue de l'amateur photographe, l'application à l'impression étant l'objet d'un autre volume de cette collection (*Reproductions photomécaniques polychromes*, par L. P. CLERC).

L'Autochrome LUMIÈRE tient naturellement la plus large place dans ce livre ; c'est qu'elle est encore le seul instrument universellement répandu et employé pour photographier les couleurs, et aussi qu'elle a constitué pour nous un précieux instrument d'étude méthodique de la reproduction colorée.

Aux sentiments admiratifs qu'avec tout le public  
La Photographie des couleurs.

photographique nous éprouvons pour ses inventeurs nous joignons ici notre gratitude personnelle pour l'amicale obligeance qu'ils ont apporté à nous faciliter la documentation et les observations nécessaires à l'élaboration de ce travail.

---

LA

# PHOTOGRAPHIE DES COULEURS

---

## CHAPITRE PREMIER

### LUMIÈRE ET COULEURS

**Sources de lumière.** — Tout objet visible est une source de lumière pour l'œil qui le regarde. On fait cependant une distinction entre les corps qui sont lumineux intrinsèquement et que nous disons *émettre* la lumière, et ceux qui ne sont visibles que s'ils ont reçu la lumière émise par un corps de la première catégorie ; les corps émetteurs sont les *sources lumineuses* proprement dites ; les autres sont des corps éclairés, mais ils fonctionnent pour l'œil qui les regarde comme des sources secondaires.

Les sources lumineuses sont dites, pour la plupart, émettre de la lumière blanche. Cependant en regardant successivement dans un intervalle de temps assez court, des sources différentes, l'œil perçoit des sensations colorées différentes. Une lampe à incandescence à filament métallique paraît moins rouge qu'une lampe à filament de carbone ; un manchon Auer paraît encore plus blanc

ou verdâtre ; toute source éclairante usuelle, pendant la journée, semble plus rougeâtre que le ciel nuageux. Quelquefois les sources lumineuses donnent une sensation colorée nette, telles certaines étoiles, les flammes de Bengale, les tubes de Geissler.

Les sensations colorées sont cependant le plus souvent fournies par les sources secondaires, les corps éclairés, et peuvent être alors extrêmement variées ; la plupart des objets éclairés paraissent colorés ; nous appelons blancs ceux qui rappellent l'aspect de la lumière éclairante ; les gris sont les corps qui sans nous donner des sensations colorées particulières, nous paraissent moins éclairés que les blancs.

**Comparaison des éclairements.** — La différenciation des éclairements ou des éclats de deux surfaces éclairées peut être l'objet d'un jugement précis lorsque ces surfaces sont vues simultanément. Les observations de cette sorte sont à la base des mesures *photométriques* dont l'objet est l'évaluation numérique des éclairements, ou des intensités relatives des sources lumineuses. L'appareillage de mesure, le *photomètre* est un arrangement optique qui fait voir contigues dans le champ d'observation les deux surfaces à comparer. Une source étalon pour éclairer l'une des plages, un dispositif de graduation suivant une loi connue pour régler cet éclairement jusqu'à l'égalisation avec celui de la plage voisine, constituent les éléments de l'évaluation numérique.

Dans ces observations on est frappé par la sensibilité de l'œil à déceler les différences de coloration ; qu'il s'agisse de corps différents éclairés par une même source, ou de plages contigues dans une même surface recevant

des éclairements de sources distinctes, on a rarement la sensation de colorations identiques<sup>1</sup>.

Les mots blanc, gris, et toutes les dénominations de couleur, s'appliquent donc à des aspects moyens, dans lesquels une observation photométrique peut mettre en évidence une infinité de nuances différencierées.

**Transmission et coloration de la lumière.** — La lumière émise par les sources nous arrive après avoir été réfléchie ou diffusée par la surface des objets que nous regardons ou après avoir traversé les substances que nous appelons transparentes. Les substances qui arrêtent la transmission sont dites opaques ; mais ce n'est là qu'une propriété relative de la masse de matière ; toute substance peut être rendue transparente si on la réduit sous une épaisseur suffisamment faible, tel l'or battu en feuilles. On appelle translucides des milieux hétérogènes formés de substances transparentes et de granules de substance plus opaques diffusant la lumière au cours même de la traversée.

La traversée des corps transparents s'accompagne généralement d'une différenciation colorée entre la lumière transmise et la lumière incidente.

La réflexion de la lumière se produit sur les surfaces polies.

Si le corps poli est de nature métallique, la lumière

<sup>1</sup> L'expérience montre d'ailleurs que le jugement sur l'égalisation d'éclairement est géné par la différence des couleurs ; cette égalité n'est vraiment définie objectivement que si le champ de vision est uniformément coloré ; dans le cas où les surfaces comparées ont des couleurs très différentes, l'appréciation de leur égalité d'éclat prend un caractère subjectif extrêmement marqué.

incidente est presque entièrement réfléchie, et cette réflexion s'accompagne d'un effet de coloration ; on distingue ainsi l'or, le cuivre, l'argent polis, par la couleur de la lumière qu'ils renvoient. Cette propriété se rencontre rarement sur des corps non métalliques. Pour les autres substances en effet, opaques ou transparentes, la surface polie ne réfléchit qu'une fraction de la lumière incidente ; cette fraction, faible pour de la lumière tombant normalement sur la surface croît avec l'inclinaison du faisceau et ne devient importante que pour l'incidence rasante ; en tout cas la coloration de la lumière réfléchie est sensiblement la même que celle de la lumière reçue directement.

Une surface non polie diffuse la lumière ; c'est le plus généralement cette lumière diffusée qui nous donne la sensation colorée de chaque objet ; mais, à moins que la substance ne soit métallique, cette couleur est celle même de l'objet rendu transparent et employé comme milieu de transmission.

La diffusion de la lumière n'est autre chose qu'une réflexion sur les aspérités de la surface, réflexion irrégulièrement dirigée, accompagnée de transmission à travers ces aspérités qui forment le grain superficiel ; la réflexion peut bien colorer la lumière si la substance est métallique ; mais pour les autres substances la traversée d'une certaine épaisseur a pu seule produire cet effet. Une très faible pénétration suffit ainsi à colorer la lumière diffusée par les corps opaques.

Pour les substances transparentes dont la coloration de transmission n'est marquée souvent que par la traversée d'une épaisseur sensible, la lumière diffusée superficiellement est beaucoup moins colorée ; des verres

de couleur pulvérisés, donnent une poussière peu colorée, d'autant plus blanche que le grain est plus fin.

**Formation des couleurs simples.** — Dans les circonstances qui viennent d'être décrites la coloration de la lumière est en dépendance si étroite avec la nature des substances, que nous attribuons la couleur au corps matériel lui-même ; nous disons le cuivre est rouge, le saphir est bleu, etc.

D'autres mécanismes de transmission peuvent faire apparaître des couleurs sans que l'intervention spécifique de la substance soit aussi marquée, et même sans aucune intervention de cette sorte. Tels sont ceux qui ont pour effet de *disperser* un faisceau de lumière blanche en rayons de *couleurs simples*.

Prenons par exemple une masse de verre incolore, taillée en forme de prisme triangulaire ; isolons un pinceau lumineux étroit qui sera dirigé sur une face de ce prisme ; il le traversera et en sortira dans une direction fortement inclinée sur la direction d'entrée ; on dit qu'il y a eu *réfraction*. Le faisceau émergent se propage en divergeant ; on peut reconnaître que les rayons en sont diversement colorés ; si on les arrête à une certaine distance sur une surface diffusante blanche on observe une tache colorée où la couleur varie d'une façon continue comme dans l'arc en ciel ; on dit que la réfraction dans le prisme est accompagnée de *dispersion chromatique* ; l'ensemble du faisceau coloré est appelé le *spectre* de la lumière incidente.

Newton a montré que toute portion étroite des rayons colorés issus du prisme ne peut plus être dispersée à nouveau par un autre effet de réfringence prismatique ;

de plus en arrangeant un dispositif pour recueillir séparément les rayons diversement colorés et les rassembler ensuite sur le même point d'un écran blanc, on reproduit le même effet d'éclairurement blanc que donne la lumière initiale. Newton en a conclu que chaque sensation colorée, dans le faisceau dispersé par un prisme, correspond à une lumière *simple* et que la lumière blanche des sources lumineuses contient essentiellement l'ensemble des lumières simples colorées dispersées par le prisme.

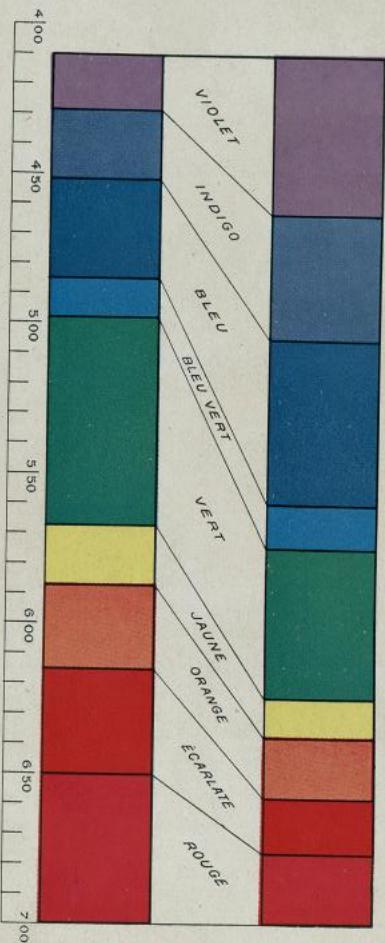
Le prisme réfringent est ainsi envisagé seulement comme un séparateur mécanique des radiations simples constituant la lumière incidente. En réalité si on observe des prismes de diverses substances dans des conditions géométriques identiques de propagation, les spectres obtenus avec une même lumière ne sont pas géométriquement identiques ; mais cette influence spécifique de la substance du prisme n'enlève rien au caractère de simplicité des rayons colorés établi par Newton, et quelle que soit la substance d'ailleurs, l'ordre des couleurs dans le spectre de dispersion reste invariable, et les différences restent faibles quant à leur étendue relative. C'est ainsi que l'arc-en-ciel, phénomène qui résulte d'une réfraction suivie de réflexion des rayons solaires à l'intérieur des gouttelettes d'eau d'un nuage, présente le même aspect coloré que le spectre issu d'un prisme de verre incolore.

On peut former encore la suite des couleurs spectrales simples en employant les *réseaux de diffraction*. On désigne ainsi le dispositif constitué par une surface striée en y gravant une suite de traits parallèles, également espacés, mais très serrés ; on en trace 100 à 500 et même plus, par millimètre ; un réseau comprend ainsi plusieurs milliers de traits, on en a tracé jusqu'à deux cent

J. THOVERT

PHOTOGRAPHIE DES COULEURS

Spectre donné par un prisme



Spectre obtenu par diffraction  
avec échelle de longueurs d'onde en millionièmes de millimètre.

Page 8

PLANCHE I — FIG. I



mille. Si on a gravé la surface d'une lame de verre incolore on examine les phénomènes après traversée de la lame par la lumière ; on grave aussi des surfaces polies métalliques, et l'observation en ce cas se fait par réflexion.

Si un pinceau de lumière blanche tombe sur un tel réseau, on retrouve une partie importante de la lumière dans un pinceau également blanc transmis ou réfléchi régulièrement. Mais de part et d'autre de ce faisceau central on en observe d'autres régulièrement espacés d'intensité décroissante en général à mesure qu'on s'écarte du centre ; ce sont des pinceaux de lumière diffractée, et chacun d'eux constitue un *spectre*, c'est-à-dire contient l'ensemble des rayons de couleurs simples, se succédant dans l'ordre du spectre prismatique. Les spectres formés dans ces conditions sont absolument indépendants de la substance sur laquelle est gravé le réseau ; ils ne dépendent que des conditions géométriques de l'expérience et restent toujours semblables entre eux ; aussi a-t-on donné le nom de *spectre normal* aux spectres de réseaux. La figure 1 (planche I en couleurs) montre comment l'étendue relative des couleurs se différencie en passant d'un spectre prismatique au spectre normal étalé sur une même longueur ; les colorations rouge, verte et bleue qui occupent des longueurs presque égales dans le spectre normal, s'étendent au contraire sur des dimensions croissantes du rouge au bleu dans le spectre prismatique.

Les colorations indiquées sur cette figure et leur étendue correspondent aux observations de Maxwell dont il sera parlé plus loin ; la dénomination et l'emplacement peuvent varier d'un observateur à l'autre. Velborne Piper (*Bristish journal of Photography* 1916) distinguait 10 sensations colorées le long du spectre ; personnelle-

ment nous appellerions plutôt jaune-vert la région marquée jaune par Maxwell, le jaune vrai nous paraissant extrêmement réduit dans le spectre, sur la limite de l'orangé.

Les dispositifs de dispersion permettent d'isoler ainsi des radiations simples différenciées par la couleur. On peut aussi utiliser avec avantage pour obtenir une radiation colorée simple, certaines sources de lumière colorées ; le spectre de ces sources ne contient quelquefois qu'un nombre limité de raies brillantes, faciles à séparer avec l'appareil dispersif. Une flamme d'alcool, ou de bec Bunsen, dans laquelle on maintient un peu de sel de cuivre fournit une lumière jaune dont le spectre ne comprend qu'une étroite radiation jaune ; sans appareil particulier elle fournit ainsi directement une lumière simple, ou monochromatique.

Certaines substances colorées transparentes possèdent la qualité de ne se laisser traverser que par d'étroites bandes spectrales ; elles permettent de constituer des *filtres colorés* approximativement monochromatiques.

**Péridicité des phénomènes lumineux.** — La considération de rayons simples, propagés rectilignement, dont le mélange donne une sensation plus ou moins blanche, est insuffisante pour une compréhension de l'ensemble des phénomènes lumineux ; une qualité importante doit encore être introduite dans notre conception du mécanisme de la lumière ; c'est le caractère périodique de l'action d'un rayon, caractère spécialement décelé par des phénomènes observés au cours de la propagation de la lumière dans des circonstances où la nature de la substance des appareils ne joue aucun rôle.

Si on place par exemple à la suite l'un de l'autre (fig. 2) deux écrans opaques A, B, dans lesquels on a réservé deux fines ouvertures, en forme de fentes orientées parallèlement par exemple, un faisceau de lumière tombant sur le premier écran semble devoir être ensuite limité en forme de bande extrêmement mince, surtout après le second écran, en conséquence de la propagation rectiligne. En réalité derrière le second écran on observe un élargissement progressif du faisceau. L'effet lumineux sur une surface blanche placée en C se traduit par une bande centrale claire de largeur beaucoup plus grande que celle des ouvertures en A et B ; cette largeur apparaît même d'autant plus forte que l'on emploie en B une ouverture plus étroite et ceci est déjà d'interprétation difficile avec la simple notion de rayons lumineux. En plus de part et d'autre de cette bande centrale on aperçoit quelques alternances d'ombre franche et de lumière. La figure 3 en montre la photographie en négatif ; les bandes latérales lumineuses sont d'ailleurs colorées<sup>1</sup>.

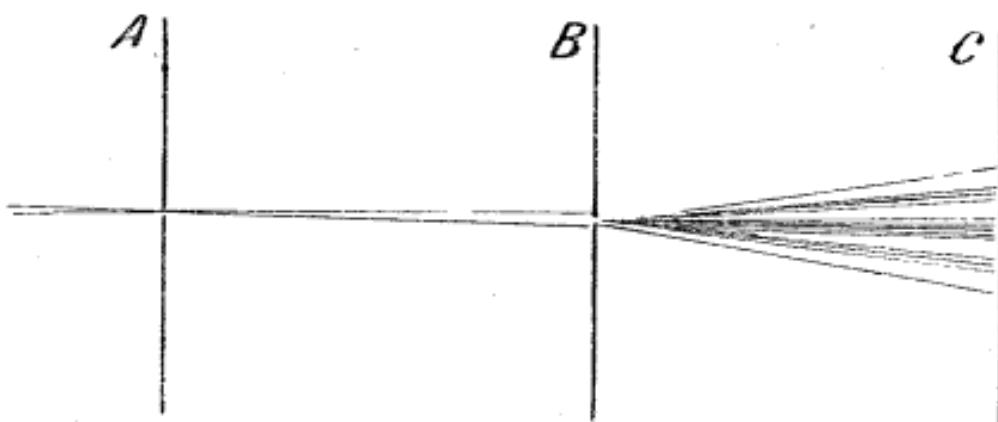


Fig. 2. — Diffraction par une fente étroite.

segment progressif du faisceau. L'effet lumineux sur une surface blanche placée en C se traduit par une bande centrale claire de largeur beaucoup plus grande que celle des ouvertures en A et B ; cette largeur apparaît même d'autant plus forte que l'on emploie en B une ouverture plus étroite et ceci est déjà d'interprétation difficile avec la simple notion de rayons lumineux. En plus de part et d'autre de cette bande centrale on aperçoit quelques alternances d'ombre franche et de lumière. La figure 3 en montre la photographie en négatif ; les bandes latérales lumineuses sont d'ailleurs colorées<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> La distance entre A et B était environ d'un mètre et la photographie a été prise à 3 mètres au delà de B.

Ces alternances d'activité et d'inactivité de la lumière diffractée par une fine ouverture sont mises en évidence d'une façon plus frappante encore dans le dispositif expé-

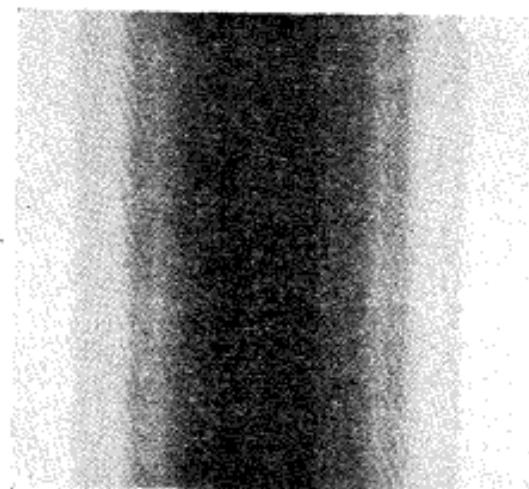


Fig. 3. — Photographie de la lumière diffractée par une fente étroite.

perimental suivant, dit des *interférences de Young*. A la suite de l'écran A (fig. 4), percé d'une fente fine, on ré-

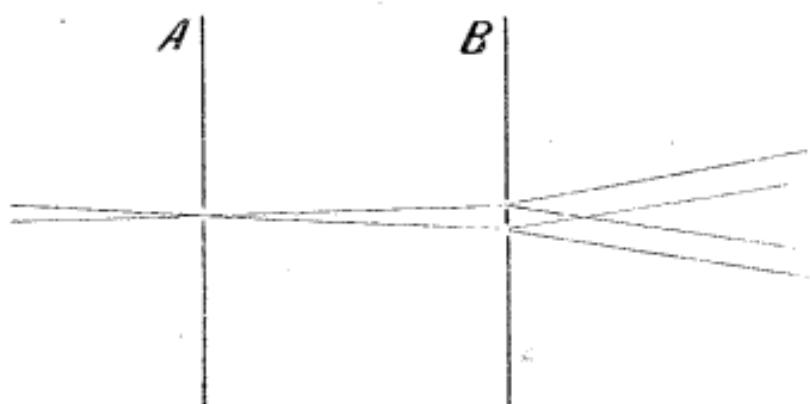


Fig. 4. — Interférences de la lumière diffractée par deux sources.

serve dans l'écran B, deux fentes très fines, et très rapprochées, à peine écartées d'un millimètre.

Les taches centrales lumineuses que fournirait chacune



FIG. 5. — Franges d'interférence sur Autochrome

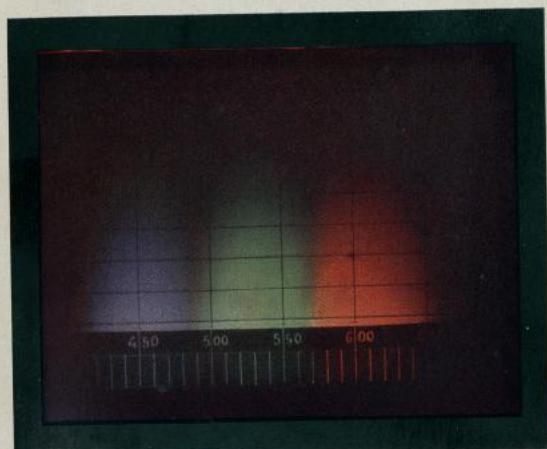


FIG. 96. — Spectre de la lumière solaire  
sur Autochrome Lumière

PLANCHE II

Page 12



de ces fentes au delà de l'écran B, empiètent largement l'une sur l'autre si on s'éloigne suffisamment ; mais le champ de confusion de ces taches paraît strié par des bandes alternativement sombres et lumineuses. Quand on éclaire avec la lumière blanche d'une source usuelle, l'aspect du phénomène est montré avec ses colorations par la figure 5 (planche II en couleur). On y voit la distribution symétrique des variations d'intensité lumineuse autour d'une bande centrale blanche. Si on éclaire avec une lumière à peu près monochromatique, le système de franges comprend un bien plus grand nombre

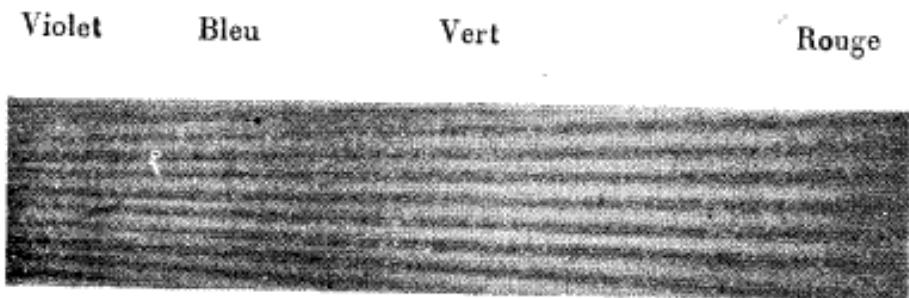


Fig. 6. — Franges d'interférences étalées transversalement dans un spectre.

d'alternances sombres et claires ; en utilisant des lumières de différentes couleurs on établit la dépendance de la largeur de ces franges vis-à-vis de la couleur.

La figure 6 dans laquelle une bande transversale étroite du système de franges a été photographiée après étalement de la lumière blanche initiale en un spectre, montre l'élargissement continu des franges en passant de l'extrême violette à l'extrême rouge.

**Ondes lumineuses et longueurs d'ondes.** — Ces phénomènes s'expliquent complètement par le mécanisme imaginé par Fresnel en 1816, pour rendre compte de

l'ensemble des propriétés de la lumière. Dans ce mécanisme le phénomène lumineux consiste en déformations rapides et périodiques d'un milieu universel, l'éther, déformations propagées par ondulations. On se fait une image convenable de ce mécanisme sur un rayon en considérant une corde infiniment longue qui serait agitée transversalement en un point. Sur un plan étendu, l'image en sera donnée par les rides circulaires irradiées autour d'un point frappé sur la surface de l'eau par exemple. Si le choc est entretenu périodiquement la surface se couvre d'un système d'ondes progressives. Dans l'espace indéfini on ne peut guère se représenter entièrement des ondes sphériques de même caractère ; mais l'expérience ne met jamais en jeu des phénomènes intéressant simultanément un espace sphérique complet et la représentation limitée aux deux cas précédents est suffisante pour illustrer la conception du mécanisme lumineux. Aujourd'hui, à l'idée de déformation élastique de l'éther on préfère celle des modifications périodiques dans les propriétés électriques et magnétiques ; nous n'avons d'ailleurs aucune image représentative de ces modifications, et comme le détail analytique de leur transmission est en tout point semblable à celui qui correspond aux ondes de déformation, il n'y a aucun inconvénient à conserver pour nos explications la conception de Fresnel plus facile à concrétiser.

Le caractère ondulatoire de la lumière s'est trouvé démontré essentiellement par le fait que la vitesse de propagation est plus faible dans les milieux réfringents, eau, verre etc., que dans l'air ; ceci est incompatible avec l'idée d'un rayonnement substantiel en ligne droite, dont le sens de réfringence usuel dans les milieux denses ne se

concevrait que par un accroissement de vitesse. Cette vitesse de propagation mesurée atteint près de 300 000 kilomètres à la seconde dans l'espace vide.

Le caractère périodique de la déformation lumineuse est marqué par les apparences alternativement claires et obscures en des points où sont superposées les actions provenant de deux sources différentes ; la relation peut s'établir par un raisonnement assez simple. Tout point de l'éther ébranlé périodiquement devient un centre de production d'ondes progressives analogues aux rides superficielles liquides. Les rayons de ces ondes grandissent avec la même vitesse, c'est la vitesse de propagation, et entre deux creux, ou deux sommets successifs de ces ondes, il y a toujours la même distance : c'est l'intervalle sur lequel la déformation se propage pendant la durée d'une période de l'ébranlement. Cette distance s'appelle la *longueur d'onde*. Si maintenant nous considérons deux centres d'ébranlements voisins, avec des mouvements périodiques synchrones ; ils engendrent deux systèmes d'ondes qui se superposent ; cette superposition a pour résultat de maintenir *immobiles*, les régions où les ondes se superposent en *phases opposées*, c'est-à-dire l'une en crête pendant que l'autre est en creux ; ces points immobiles sont fixés dans l'espace, car leur position est définie uniquement par la durée de propagation de chacun de ces ébranlements jusqu'en ce point c'est-à-dire seulement par la longueur du chemin rectiligne séparant ce point des centres d'ébranlement. En dehors de ces régions immobiles qu'on appelle des *ondes stationnaires*, les deux systèmes d'ondes élémentaires ajoutent plus ou moins complètement leurs effets.

La figure 7 représente la photographie de l'aspect sta-

tionnaire de l'interférence des ondes issues de deux points ébranlés synchroniquement à la surface de l'eau par deux pointes liées à la même branche d'un diapason.

On conçoit maintenant sans peine la production des franges d'interférence d'Young, du moins quand le dispositif est éclairé par de la lumière monochromatique, si on admet que cette lumière consiste en ondulations périodiques émises synchroniquement par les deux ouvertures voisines du second écran.

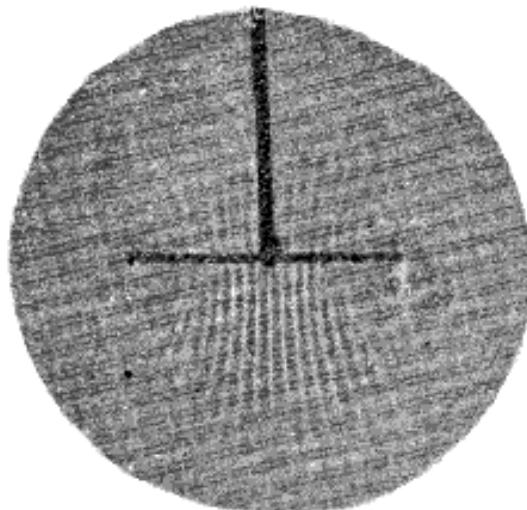


Fig. 7. — Ondes stationnaires par interférences des vibrations de deux sources à la surface de l'eau.

On établit facilement une relation mathématique entre la longueur d'onde des ondulations, l'écartement des deux sources et la largeur des franges d'interférence en un point donné.

Cette relation permet de déterminer la longueur d'onde dans chaque expérience où les autres éléments peuvent être mesurés ; elle marque que cette largeur de franges croît d'ailleurs proportionnellement à la longueur d'onde, toute autre condition restant invariable.

Appliquant ce résultat à la traduction de l'expérience faite avec les fentes lumineuses d'Young on en conclut que les couleurs spectrales simples correspondent à des longueurs d'onde différentes croissant d'une façon continue en passant du violet au rouge. Des mesures faites en premier lieu par Fresnel et répétées depuis par bien

d'autres procédés font connaître que ces longueurs d'ondes ont des valeurs comprises entre 400 et 700 millionièmes de millimètre (millimicrons, qu'on désignera par  $m\mu$ ) ; elles sont indiquées pour les différentes couleurs spectrales sur la figure 1.

Remarquons ici que si la longueur d'onde d'une lumière monochromatique est si faible bien que la vitesse de propagation ondulatoire soit si grande, c'est que la fréquence des périodes de déformation de l'éther s'exprime par des nombres énormes ; il faut compter par centaines de millions de millions les vibrations dans le mouvement lumineux.

La largeur du faisceau diffracté par une fine ouverture dans la première expérience du paragraphe précédent s'explique également par intervention des interférences ; si la seconde ouverture était infiniment étroite on pourrait envisager le mouvement de ce point irradié ensuite également dans toutes les directions ; mais la largeur réelle de l'ouverture est toujours grande par rapport aux longueurs d'onde lumineuse, et c'est l'interférence des mouvements envoyés par les différents points ébranlés dans cette ouverture qui explique la limitation de l'effet principal à une tache centrale dont la largeur dépasse d'autant plus la dimension de l'ouverture même que celle-ci est plus petite ; les alternances latérales en relation avec la périodicité du mouvement deviennent rapidement insensibles.

Quand on a une surface striée régulièrement comme les réseaux la régularité de ces stries intervient pour créer des directions privilégiées pour la lumière diffractée ; alors que le mouvement diffracté par un seul trait serait insensible dans une direction inclinée sur la direction de

propagation régulière, le mouvement diffracté par le trait voisin, dans la même direction peut renforcer celui envoyé par le premier trait si l'inclinaison est telle que ces deux mouvements se trouvent en phase exactement concordante sur le front normal à cette direction.

Cette concordance se maintiendra d'un trait à l'autre par suite de l'équidistance de ces traits, car elle sera liée au fait que, provenant de l'un ou de l'autre, le mouvement diffracté sur le rayon incliné doit parcourir exactement, une, deux, trois, etc., longueurs d'onde en plus ou en moins. On recueille donc dans ces directions privilégiées l'effet superposé des mouvements diffractés par tous les traits, d'où un effet lumineux sensible. La direction de concordance varie régulièrement avec la longueur d'onde ce qui explique la dispersion colorée de ces effets de diffraction ; l'étalement des couleurs dans le spectre normal se fait sur des étendues sensiblement proportionnelles aux variations de longueur d'onde comme le marque l'échelle de la figure 1.

#### **Mouvement lumineux et vibrations matérielles.**

— Pour mettre en évidence le caractère ondulatoire de la transmission et la périodicité dans les phénomènes lumineux on a obtenu des centres d'ébranlement en découplant par des ouvertures fines, des portions très étroites du mouvement irradié d'une source proprement dite.

La condition est nécessaire pour assurer un synchronisme convenable au centre d'ébranlement ; on conçoit facilement que le mouvement global de la source ne conduise pas à des ondes régulières et uniformes, si on envisage que la cause des ébranlements transmis dans l'éther est nécessairement un mouvement d'ordre ato-

mique dans la substance qui constitue la source. La multiplicité des centres d'ébranlement et leur indépendance probable ne peuvent que donner un résultat global à peu près inorganisé pour toute durée et étendue sensibles.

Nous ne savons donc rien de précis sur la nature du mouvement atomique matériel créateur de la lumière ; mais tout se passe comme si le mouvement lumineux engendré contenait superposés, un ensemble de trains d'onde de durées limitées, de fréquences variées, caractérisés par une amplitude, c'est-à dire une certaine intensité d'actions. Quand la substance est très dense, cas de l'excitation lumineuse par échauffement, incandescence du charbon, des métaux, etc., l'extrême voisinage des molécules de la source ne permet guère une caractérisation des propriétés individuelles de l'atome, et le mouvement lumineux paraît posséder des trains d'onde dont la fréquence varie d'une façon continue ; la lumière est blanche et le spectre de diffraction l'étale en lumières colorées ininterrompues. Si la substance luminescente est raréfiée, vaporisée dans une flamme, rendue lumineuse par action électrique dans un tube de Geissler, les propriétés atomiques propres sont prépondérantes, et dans le mouvement lumineux résultant on ne trouve qu'un nombre limité de fréquences dans les trains d'onde superposés ; la lumière générale est colorée, dans un appareil dispersif elle donne un spectre discontinu de lignes brillantes.

Lorsque le mouvement lumineux complexe d'une source atteint l'éther qui remplit l'espace inter-atomique dans la matière pondérable, il réagit sur les atomes matériels. Si la matière est peu dense (état gazeux) la réaction

est peu sensible ; il en est tout autrement dans les substances liquides ou solides. Cette réaction peut se comprendre à la façon de la mise en vibration des cordes d'un piano par un bruit qui passe ; les atomes susceptibles de vibrer pourront absorber une part de l'énergie du mouvement lumineux ; en tout cas ils ralentissent la propagation et d'autant plus que la fréquence vibratoire est plus grande. De là résulte la dispersion par inégale réfringence des mouvements de fréquences variées existant dans la lumière qui tombe sur un prisme transparent ; la substance du prisme n'est pas sans influence sur l'étendue de la dispersion, mais l'ordre de succession des couleurs dispersées est invariable, la réfringence croissant du rouge au violet.

Quand les atomes de la substance pondérable peuvent vibrer synchroniquement avec certaines fréquences comprises dans la lumière incidente, ils absorbent une part importante de l'énergie de cette sorte et dans la lumière transmise ou réfléchie il y a déficit de l'action correspondant à ces fréquences ; cette lumière transmise ou réfléchie est alors colorée ; cette coloration étant une propriété vraiment spécifique de la substance, ou du moins de certains composants atomiques qu'elle contient.

#### **Couleur objective. Spectroscopes, spectrographes.**

— Si complexe que puisse être le mécanisme lumineux on est conduit à une définition objective de la couleur en déterminant simplement pour toute lumière sa composition spectrale caractérisée par l'ensemble des fréquences vibratoires que fait apparaître l'appareil dispersif, et l'intensité relative d'action de chaque radiation simple. Dans l'expression des résultats de cette analyse on rem-

place généralement la fréquence par la valeur de la longueur d'onde correspondante ; il s'agit d'ailleurs du chiffre correspondant à la propagation dans le vide ; il est pratiquement le même pour la propagation dans l'air, mais il ne faut pas oublier que dans les milieux matériels ces valeurs seraient modifiées en même proportion que la vitesse de propagation : le rapport de réduction mesure *l'indice de réfraction* de la substance, et tout chemin par-

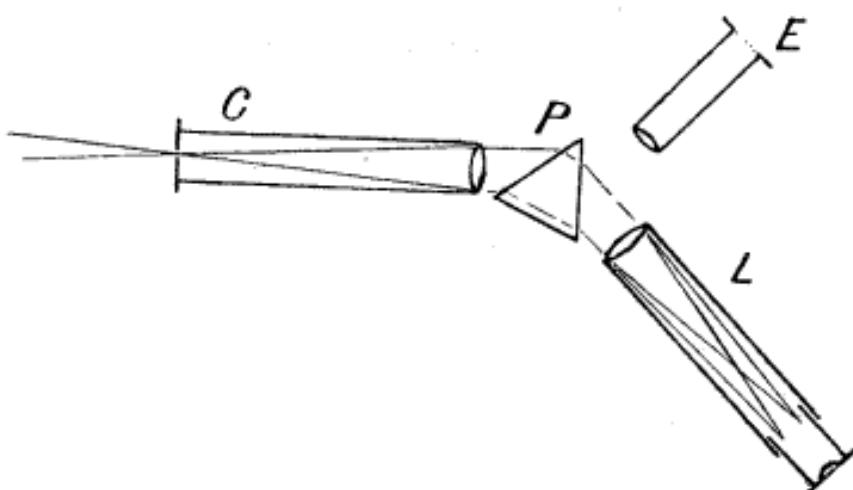


Fig. 8. — Spectroscop à prisme.

couru dans ce milieu doit être multiplié par ce nombre pour évaluer un parcours équivalent, quant à la durée, dans le vide.

L'appareil dispersif servant à l'analyse du mouvement lumineux est un spectroscop. Sa constitution générale comprend (fig. 8) 1<sup>o</sup> un collimateur C, formé d'une fente par laquelle est admise la lumière étudiée, et une lentille placée de telle manière que la lumière forme à sa sortie un faisceau de rayons parallèles ; 2<sup>o</sup> l'appareil dispersif P, représenté par un prisme sur la figure ; ce peut être un réseau ; 3<sup>o</sup> une lunette L pour l'observation

des radiations dispersées qui forment des images colorées de la fente collimatrice dans le plan focal de l'objectif. On ajoute encore à cet ensemble un dispositif permettant le repérage des radiations simples en faisant voir dans le plan focal de la lunette simultanément avec les radiations spectrales, une échelle graduée  $E$ ; pour chacune des radiations le chiffre correspondant de cette échelle peut toujours être traduit par l'énoncé de la longueur d'onde, soit que cette échelle ait été tracée et numérotée pour faire connaître directement cette valeur, soit qu'on établisse une fois pour toutes, et pour chaque appareil la correspondance nécessaire entre la longueur d'onde et la graduation arbitraire.

Cet appareil doit être complété par un dispositif photométrique pour l'évaluation des intensités relatives; en principe on peut concevoir que la lumière d'une source étalon, est amenée à former son spectre dans le même appareil à côté de celui de la lumière étudiée; un moyen de gradation d'intensité étant réservé sur cette lumière pour régler l'égalité des éclairements on aura l'élément nécessaire pour exprimer l'intensité de chaque radiation d'une lumière relativement à celle de la même radiation existant dans la source étalon.

L'action photographique est utilisée également pour obtenir rapidement une traduction de l'analyse colorée. Si on imagine la lunette du spectroscope dépourvue d'oculaire, faisant office de chambre noire, la plaque sensible placée dans le plan focal de l'objectif, on réalise un spectrographe, enregistrant photographiquement l'image spectrale.

Voici en exemple l'agencement qui a servi à établir un certain nombre de documents illustrant cet ouvrage

(fig. 9). Une fente F et une lentille C forment ensemble un collimateur de 10 centimètres environ de distance focale ; les rayons qui en sortent sont reçus par un réseau transparent R à 10 centimètres plus loin ; le réseau est incliné sur les rayons issus du collimateur de façon que le faisceau diffracté et dispersé qu'on se propose d'utiliser soit dirigé en moyenne sur l'axe optique de l'objectif o placé contre ce réseau ; cet objectif a environ 40 centimètres de distance focale ; une caisse en bois M, sert de chambre noire et le fond reçoit le chassis

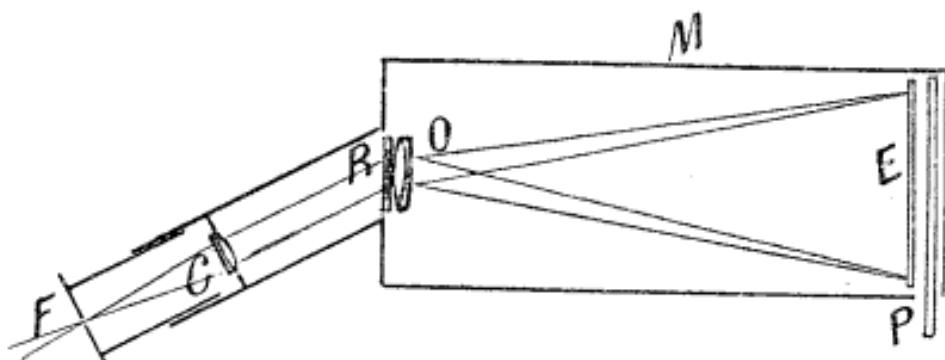


Fig. 9. — Spectrographe à réseau.

porte-plaque en P, de façon que l'image nette du spectre soit reçue par l'émulsion ; cette image s'étend sur 9 centimètres de longueur et 4 à 5 centimètres de hauteur. On a fixé dans la chambre M, et immédiatement en avant de la plaque photographique un écran E obtenu en couchant sur une lame de verre de la gélatine teintée par du noir de fumée, de façon à former un prisme très mince et d'angle très faible ; on réalise ainsi dans le sens de la hauteur du spectre une gradation de l'éclairement : il décroît suivant une progression géométrique. Dans les images spectrales des figures 10 et 11 on verra ainsi des traits repérant les réductions pro-

gressives de l'éclairement dans les proportions 1, 1 : 2,15 : 1 : 4,6 ; 1 : 10, etc., à partir du trait limitant la graduation chiffrée inscrite en dessous. Cette graduation est chiffrée

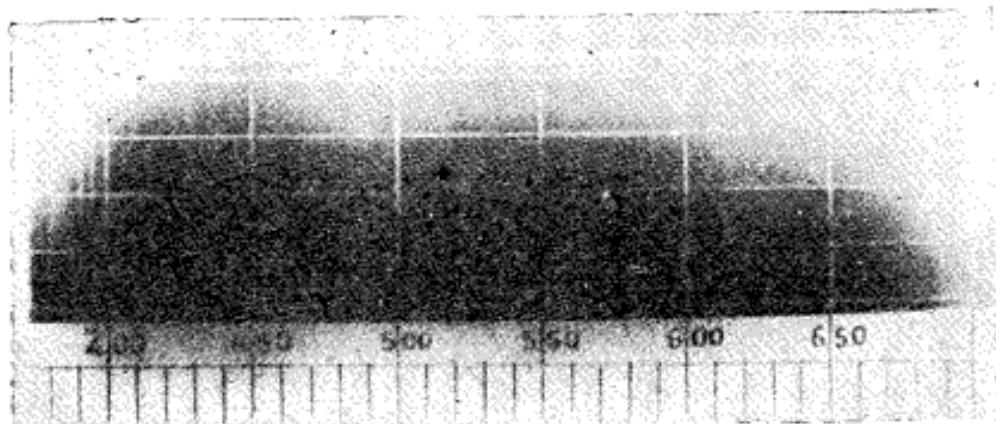


Fig. 10. — Spectrogramme de la lumière solaire.

directement en valeurs de longueur d'onde et s'inscrit automatiquement sur l'image spectrale.

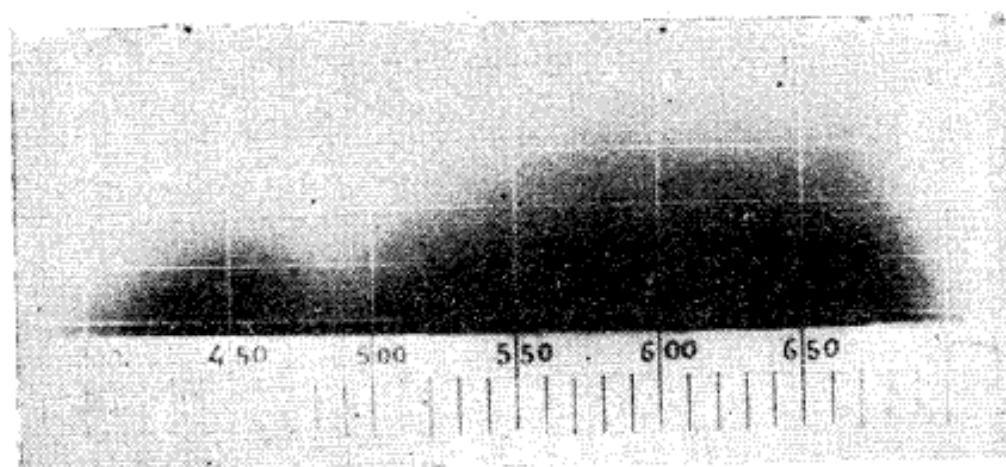


Fig. 11. — Spectrogramme de la lumière d'une lampe à incandescence (filament de carbone).

La gradation de l'éclairement est réalisée dans certains appareils par un prisme gris placé contre la fente collima-

trice, et non devant la plaque photographique ; l'aspect des photogrammes est d'ailleurs semblable.

Ces enregistrements photographiques avec éclairements gradués fournissent un renseignement immédiat sur le degré d'action des différentes radiations et se prêtent à des comparaisons faciles.

Cependant on ne les utilise pas couramment pour les mesures exactes d'intensité relative des radiations ; la complexité de la loi de noircissement des émulsions rend difficile l'interprétation photométrique des phototypes.

**Synthèse des couleurs subjectives.** — L'œil ne sait percevoir, sans le secours d'un appareil dispersif, les radiations simples, constituant la lumière qu'il reçoit ; la sensation colorée est un effet global dans lequel les éléments que nous imaginons superposés ne peuvent être distingués directement ; la constitution de l'œil se différencie nettement à cet égard de celle de l'oreille qui peut dans un bruit confus, et même dans le son bien défini d'un instrument de musique, distinguer directement les sons simples qui caractérisent le timbre de l'ensemble.

Les sensations colorées varient d'une façon continue le long d'un spectre, et il en existe d'ailleurs une infinité d'autres en dehors de celles-là ; mais toutes doivent pouvoir se réaliser par une superposition convenable de radiations spectrales. Même dans le spectre, malgré la variation continue de la sensation colorée on peut croire qu'un nombre limité de sensations élémentaires doit suffire à réaliser une synthèse générale car à chaque radiation spectrale correspond une sensation pouvant être considérée comme le mélange des sensations des radiations voisines.

Newton avait distingué ainsi sept couleurs fondamentales en découplant le spectre à la façon d'une gamme musicale ; il avait indiqué en conséquence une façon de caractériser toute sensation colorée comme une somme de ces sept sensations élémentaires, chacune étant envisagée avec une intensité définie. Ce découpage du spectre est arbitraire mais la représentation de la couleur subjective par un nombre limité de sensations simples est un sujet d'étude intéressant. Pour expérimenter dans cette voie il faut agencer un appareil de synthèse par addition de sensations ; on peut le réaliser par deux procédés différents.

Le plus simple utilise la persistance des sensations pour en réaliser l'addition en les faisant succéder rapidement sur la rétine. On agencera par exemple un disque pour être mis en rotation rapide autour d'un axe. On pourra fixer sur ce disque des couronnes en papier subdivisées en secteurs de colorations différentes. Pendant la rotation les sensations relatives à ces colorations seront confondues en une seule résultante. On peut ainsi comparer facilement une teinte quelconque établie seule sur une couronne avec la combinaison des tons colorés subdivisant une couronne voisine, et par tâtonnement réaliser une similitude des sensations colorées pendant la rotation : on établit ainsi par synthèse une certaine composition colorée de la sensation étudiée.

Avec des systèmes optiques il est facile de réaliser la superposition stationnaire de divers faisceaux de lumière dans un même champ de vision. Voici le schéma d'un dispositif employé par Maxwell dans ses études de compositions colorées (fig. 12). Un appareil dispersif comprenant deux prismes  $P_1$ ,  $P_2$ , peut recevoir la lumière

émanée d'une fente éclairée, placée en O et réfléchie sur le miroir  $m$ ; cette lumière réfléchie à peu près normalement par un miroir M traverse à nouveau les prismes et forme un faisceau très dispersé; les images colorées de la source O pourront venir former son spectre en VR. Si, inversement on découpe dans un écran occupant la position VR une fente, en J par exemple et qu'on l'éclaire avec la source blanche, les rayons suivant le même chemin en sens inverse reviendront en O, mais avec la seule radiation colorée correspondant à la position de J dans le

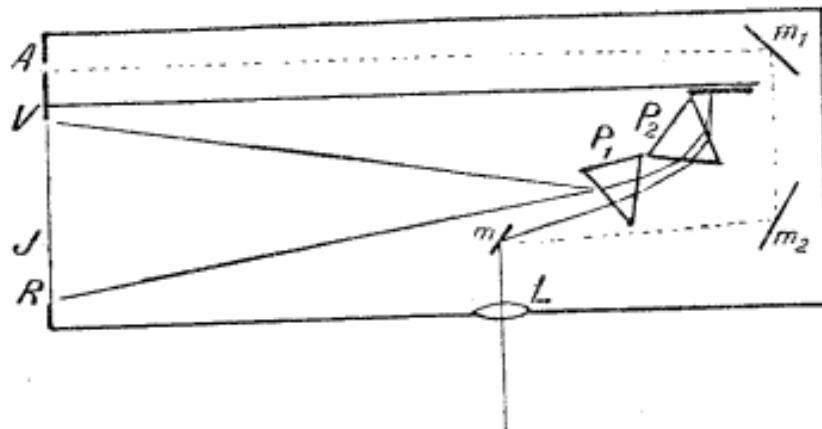


Fig. 12. — Appareil de Maxwell pour analyse des couleurs.

spectre RV. L'œil placé en O; recevra ainsi une radiation simple de couleur connue et dont l'intensité pourra être réglée. En disposant non pas une seule fente, mais plusieurs le long du spectre on superposera en O l'effet d'autant de couleurs simples. Un dispositif additionnel permet de comparer à cet effet résultant un éclairage particulier d'une fente A transmis par des miroirs  $m_1$ ,  $m_2$  la lentille L et le miroir  $m$ . L'ensemble de cet appareil permet ainsi d'établir l'équi-

valence entre une sensation colorée et la somme de sensations de couleurs simples spectrales d'intensités connues.

**Blanc subjectif. Couleurs complémentaires.** — Les procédés de synthèse permettent de se rendre compte qu'on peut réaliser une sensation colorée avec des moyens très variés. Le blanc subjectif par exemple s'obtient non seulement par l'addition de toutes les radiations spectrales, mais aussi par addition seulement d'un nombre très limité de sensations ; on peut les réduire à deux. On écarte d'ailleurs les procédés de décomposition du spectre en un certain nombre de groupes caractérisés par une sensation globale et dont l'addition rassemblerait en tout cas l'ensemble des radiations et reconstitueraient objectivement la lumière blanche ; c'est ainsi que les deux tons résultants d'un partage du spectre en deux faisceaux de radiation sont dits *complémentaires* et le sont objectivement. Mais la sensation blanche se retrouve à coup sûr par interposition d'un grillage devant l'appareil de Maxwell précédemment décrit, c'est-à-dire par l'utilisation d'un nombre de fentes un peu élevé dans le spectre, et cette sensation se retrouve encore pour des déplacements faibles et simultanés de l'ensemble de ces fentes. Un blanc de cette sorte est dit d'ordre supérieur, par opposition avec le blanc réalisé par un petit nombre de radiations convenablement choisies. L'expérience montre qu'on l'obtient facilement avec 3 radiations dont une au moins peut varier beaucoup de nature ; par contre on ne peut affirmer qu'il y ait des couples de radiations spectrales qui deux à deux combinées donnent le blanc, c'est-à-dire qu'il n'est pas sûr qu'on puisse trouver dans

le spectre deux sensations simples complémentaires subjectivement.

**Dépendance de la sensation colorée et de l'éclairement.** — Des sensations colorées identiques peuvent donc être différenciées objectivement; le spectroscope sera l'instrument de l'analyse immédiate; mais on pourra aussi déceler cette différence de constitution objective des sensations, lorsqu'elles sont procurées par la vue des objets éclairés, en changeant la nature de l'éclairage. La lumière du jour, celle d'une lampe à pétrole, ne donnent pas les mêmes relations de tons colorés entre un jaune pur, dépendant de l'absorption totale du rouge, du vert et du violet, et un jaune résultant seulement de l'absorption du violet; ce dernier sera relativement plus rouge par rapport au premier dans la lumière de la lampe que sous la lumière du jour.

L'action supplémentaire d'un filtre coloré permet un changement facile de coloration de la lumière et peut aider ces différenciations de couleurs objectives; la vision à travers un verre jaune par exemple différencie fortement les verdures d'un paysage qui pouvaient apparaître très semblables à la pleine lumière du soleil. On peut combiner un filtre coloré en gris par mélange de substances colorantes ne laissant passer du spectre solaire que trois bandes étroites bleue, verte et rouge, en telle proportion que la sensation résultante en lumière solaire soit la même que si on réalise une certaine absorption générale de toutes les radiations, par certain noir de fumée par exemple; ce filtre colorera nettement toute autre lumière et décelera facilement, sans autre élément de comparaison que la sensation affaiblie par le noir de fumée,

la prépondérance de quelques groupes de radiations dans toute lumière autre que celle du soleil<sup>1</sup>.

Ainsi la dépendance de la couleur subjective vis-à-vis de la composition objective des éclaircements peut être utilisée à leur différenciation ; mais elle entraîne une complication certaine dans la caractérisation de cette couleur subjective.

Une autre difficulté dans l'expression de la couleur subjective est introduite par le fait que la sensation change avec l'intensité de l'éclaircement sans que la proportion relative des radiations élémentaires soit modifiée. C'est le phénomène de Purkinje, manifesté généralement par le virage au bleu d'un éclaircement blanc dont l'intensité diminue. Ainsi l'éclaircement de la lune paraît plus bleu que celui du soleil ; sa composition objective se traduit au contraire par une plus grande proportion de rayons rouges, c'est seulement la très grande disproportion des intensités d'éclaircement qui cause ce déplacement de sensation.

Dans une opération photométrique, si on a réalisé une pseudo égalité d'éclaircement entre des plages de colorations différentes, verte et rouge par exemple, en réduisant simultanément l'intensité pour l'ensemble de la vision l'éclat de la plage verte paraît diminuer moins vite que celui de la plage rouge, la sensation vire au bleu.

Ainsi la composition objective de la couleur ne suffit pas à préciser une sensation colorée définie : les blancs définis objectivement ne sont pas classés subjectivement, comme on l'a vu par l'exemple de l'éclaircement du soleil

<sup>1</sup> Ce dispositif a été décrit sous le nom de *coloriscope* par le baron von HÜBL (*Wiener Mittellungen*, 1912).

direct et diffusé par la lune. Le problème de la reproduction des couleurs subjectives, qui intéresse l'amateur photographe, ne pourra pas être défini rigoureusement avec des mesures objectives. Mais dans la pratique, l'œil est très complaisant dans ce domaine de la reproduction colorée et on le satisfait sans introduire dans le mécanisme de reproduction une exactitude dont la rigueur est irréalisable. Cette tolérance doit être prise en considération pour établir les théories de sensations colorées que nous voulons appliquer au jugement de leur reproduction.

**Théorie de Young-Helmoltz.** — Parmi les modes variés de synthèse des sensations colorées qui ont été proposés, le plus ancien, après la décomposition de Newton en 7 couleurs, est celui proposé par Young, qui conserve encore le plus de faveur actuellement. D'après Young les sensations colorées résultent de l'excitation de seulement trois sensations différentes, rouge, verte et bleue ; ce point de vue fut également adopté et développé par Helmholtz. Il y a dans cet énoncé une théorie physiologique dont l'exactitude peut être discutable ; mais on s'est basé sur cette vue pour essayer de reproduire les sensations colorées à partir de trois sensations de cette sorte. C'est Maxwell qui fournit la première analyse objective des sensations d'après ce mode en établissant, au moyen de l'appareillage décrit précédemment, la composition de toutes les sensations colorées du spectre en fonction de ces trois sensations fondamentales ; toute autre sensation peut être ensuite exprimée si l'on connaît sa composition objective en radiations spectrales. Maxwell choisit pour sensations fondamentales celles des couleurs spectrales correspondant aux longueurs d'onde 630 millimicrons pour

le rouge, 528 pour le vert et 457 pour le bleu indigo. Le choix est arbitraire ; la raison donnée est que la sensation dans le spectre varie peu au voisinage des radiations choisies : Ces composantes colorées étaient réalisées par 3 fentes de largeur réglable pour en faire varier l'intensité, placées aux positions convenables dans l'étendue spectrale VR (fig. 12). L'expérience consiste à déterminer la composition de la lumière blanche éclairant l'appareil et reçue par A en fonction de ces composantes R, V, B, triées dans cette même lumière. On reproduit ensuite ce même blanc en ne gardant que deux de ces composantes et y ajoutant une 3<sup>e</sup> radiation X, en position variable dans le spectre ; en comparant le résultat obtenu avec celui du blanc en fonction de R, V, B on peut établir numériquement la composition de X en fonction de R, V et B. Nous donnons ici (fig. 13) des courbes qui traduisent en ordonnées la proportion relative de chaque couleur fondamentale intervenant dans la sensation colorée correspondant aux différentes longueurs d'ondes ; l'unité d'intensité pour chaque radiation correspond à une même étendue spectrale (comptée en variation de longueur d'onde) ; ces résultats sont relatifs à la lumière solaire.

On voit sur ces courbes que toute sensation de couleur spectrale est approximativement reproduite par addition de *deux* sensations fondamentales ; cependant les parties de courbes tracées en dessous de l'échelle des longueurs d'onde, d'importance relativement faible d'ailleurs, traduisent le fait que la sensation reproduite par superposition de deux composantes est moins *saturée* que la sensation spectrale, c'est-à-dire que cette dernière apparaît comme accrue par une certaine proportion de blanc.

Toutes les couleurs complexes — et les sensations co-

lorées correspondantes — peuvent être envisagées comme une somme de trois intensités convenables des sensations fondamentales. La composition peut recevoir une interprétation graphique, en considérant les sensations fondamentales placées aux sommets d'un triangle équila-

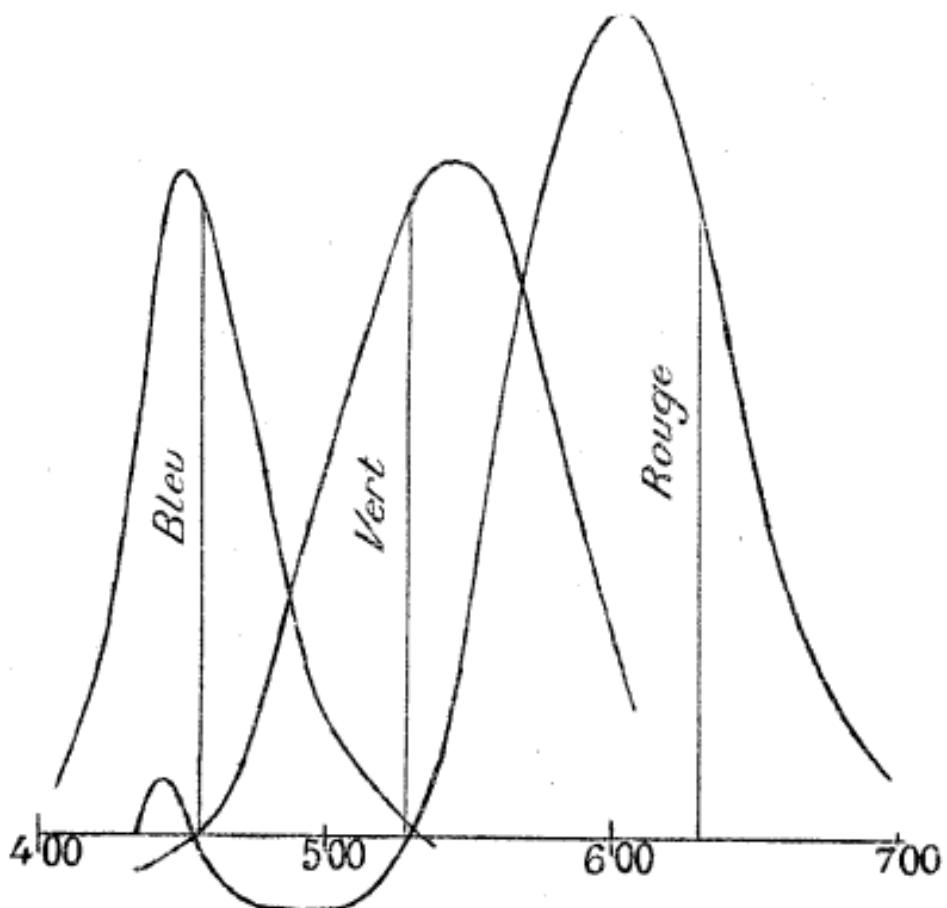


Fig. 13. — Courbes de Maxwell. Évaluation des sensations trichromes pour les radiations de la lumière du soleil.

téral, et agissant comme des forces en raison de leur intensité : la position du point d'application de la résultante de ces forces traduit leurs intensités respectives, et par suite la sensation colorée résultante.

Quand on place aux sommets du triangle, des composantes en sensations R, V, B, choisies par Maxwell, il y a

des sensations, telles les sensations des couleurs spectrales, qui se placent légèrement en dehors du triangle ; mais si la théorie de Young était physiologiquement exacte on pourrait trouver 3 sensations fondamentales dont le triangle enfermerait toutes les sensations possibles. Cette théorie manque de base anatomique dans la constitution de l'œil ; les organes de la vision ne paraissent pas comporter de système récepteur triplement différenciés<sup>1</sup> ; aussi a-t-on imaginé beaucoup d'autres théories de la vision colorée sur lesquelles on pourrait appuyer des systèmes de reproduction des couleurs. Dans la pratique cependant la trichromie par addition de sensations bleu, vert et rouge, s'est montrée assez satisfaisante et la plus simple ; c'est en fait la seule qu'on réalise, avec des variantes peu importantes dans la tonalité des sensations choisies comme fondamentales.

D'ailleurs les circonstances de variation des sensations colorées que nous avons signalées écartent, il ne faut pas l'oublier, toute possibilité de précision générale, et nous n'aurons à utiliser les données objectives de la composition trichrome des sensations que pour guider un sens rationnel de recherches ou d'opérations plutôt que pour en déduire des règles exactes et formelles.

**Premières reproductions des couleurs.** — Les premières observations de reproduction des couleurs semblent être celles de Seebeck en 1810 ; en examinant

<sup>1</sup> On a reconnu dans l'anatomie de l'œil de certains animaux des éléments colorés pouvant se rapporter à une telle constitution, mais il ne semble pas acquis que ces éléments soient en rapport avec une perception visuelle colorée.

l'action des couleurs spectrales sur le chlorure d'argent il reconnut une modification de la substance reproduisant les couleurs du spectre.

En 1848, E. Becquerel réussit une reproduction systématique de ces couleurs. Il emploie une plaque métallique argentée comme pour la daguerréotypie ; il forme à la surface une couche de sous chlorure d'argent soit par action de chlore, d'eau chlorée ou de chlorure cuivreux, soit aussi par électrolyse de l'acide chlorhydrique ; il recommande ce dernier procédé comme préférable ; l'épaisseur de la couche est déterminée par son aspect coloré : après lavage, séchage et polissage elle doit présenter une teinte *bois* correspondant à une épaisseur de l'ordre du millième de millimètre. Cette couche recevant la lumière dispersée d'un spectre, en garde l'empreinte colorée très vive et régulière ; malheureusement on ne connaît pas le moyen d'assurer la conservation de cet aspect autrement qu'en gardant l'épreuve dans l'obscurité.

En 1851, Niepce de Saint-Victor essaya des procédés de chloruration très variés, utilisant des mélanges de chlorures métalliques. Il put obtenir des calques de vitraux colorés et même des couleurs à la chambre noire ; mais la régularité de ces reproductions était moins bonne que pour les couleurs spectrales ; d'autre part le défaut de fixité n'a jamais été surmonté.

Poitevin, vers 1865 obtint également des épreuves colorées sur du chlorure d'argent rendu violet par exposition préalable à la lumière ; comme celles de Becquerel et de Niepce de Saint-Victor, ces couleurs ne purent être fixées. Des observations sur la constitution de ces couches colorées semblèrent apporter une distinction entre les

mécanismes de reproduction des couleurs qu'elles mettent en jeu. Les épreuves obtenues par la méthode de Bequerel et Niepce de Saint-Victor ont une structure lamellaire régulière et la couleur résulte d'une périodicité de la structure analogue à celle d'un réseau ; dans les épreuves de Poitevin on a vu plutôt une propriété spécifique de la substance changeant sa coloration sous l'influence d'une excitation colorée. Sans préciser les détails on peut rapprocher ce dernier genre d'action d'une vue émise par Daguerre envisageant la possibilité de reproduire les tons colorés avec un mélange de poudres phosphorescentes, chacune ayant comme propriété la réémission d'une lumière colorée identique à celle qui exciterait cette émission ; un mécanisme de cette sorte apparaît comme une adaptation de la substance à la lumière qui la frappe, jusqu'à ne transmettre plus que cette seule lumière.

Après avoir exposé les résultats de ses expériences sur la composition des couleurs d'après la théorie de Young, Maxwell essaya en 1861, la superposition des lumières fondamentales traversant trois photographies de rubans colorés, prises avec l'intermédiaire de filtres colorés rouge, vert et bleu ; cette expérience de contrôle de la théorie ne donna qu'un résultat très imparfait parce qu'à cette époque on ignorait les procédés permettant de rendre les émulsions photographiques sensibles aux rayons rouges.

Peu après L. Ducos de Hauron, et Ch. Cros formulèrent l'énoncé général de dispositifs photographiques devant conduire à une reproduction des couleurs par trichromie, et Ducos de Hauron présenta les premiers résultats effectifs en 1869.

Dans les pages suivantes nous décrivons les principaux procédés qui ont été mis en œuvre pour obtenir effectivement des reproductions colorées satisfaisantes ; ils se rattachent plus ou moins bien aux divers mécanismes des expériences anciennes que nous venons de rappeler. D'ailleurs c'est le développement des recherches en trichromie qui a conduit à l'établissement de la seule méthode réellement praticable par la généralité des photographes, et on consacrera une partie importante de cette étude à la plaque Autochrome Lumière qui, la première, permit une photographie des couleurs aussi facile que la photographie ordinaire.

---

## CHAPITRE II

### PHOTOGRAPHIE INTERFERENTIELLE METHODE DE LIPPMANN

**Ondes stationnaires par réflexion de la lumière.** — La photographie des couleurs par la méthode de Lippmann utilise le phénomène d'interférence entre les ondes lumineuses tombant normalement sur un miroir et les ondes réfléchies par celui-ci. On se rend facilement compte du résultat d'une telle superposition d'onde. Si le phénomène propagé est caractérisé par une certaine pé-

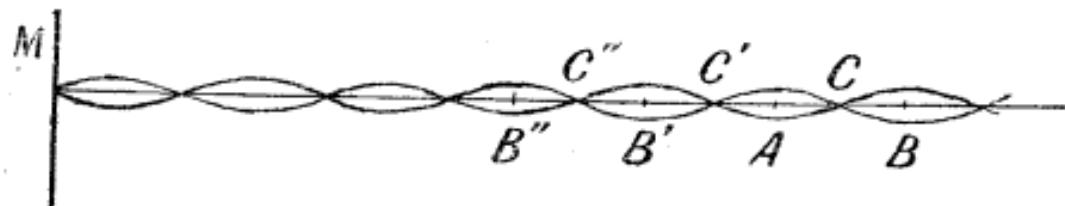


Fig. 14. — Ondes stationnaires par réflexion.

riodicité conservée après réflexion, on trouvera à un instant donné sur une ligne normale à la surface réfléchissante M (fig. 14) la succession des phases dans le sens A M pour le phénomène incident dans le sens M A pour le phénomène réfléchi. Les phases respectives des deux phénomènes en un point A de l'espace seront dépendantes de l'instant considéré et du chemin parcouru par les ondes depuis A, c'est-à-dire de l'espace AM + MA. Ces phases peuvent-être par exemple concordantes dans la période et le resteront à tout instant, les variations de

phase se faisant simultanément dans le temps pour les deux phénomènes. Si on considère un point B distant de A, d'une demi longueur d'onde, les phases respectives à l'incidence et à la réflexion se différencieront de celles existant en A, par un retard d'une demi-période pour le phénomène incident et une avance d'une demi période pour le phénomène réfléchi; si les phases sont d'accord en A, elles le sont donc également en B, et d'une façon générale en tous les points B', B'', que l'on peut marquer sur la ligne normale MA, successivement distants les uns des autres d'une longueur  $\frac{\lambda}{2}$  égale à la moitié de la longueur d'onde  $\lambda$ .

En un point C distant de  $\frac{\lambda}{4}$  à partir de A on trouve au contraire un retard d'un quart de période à l'incidence, une avance d'un quart de période à la réflexion, sur les mouvements existant en A; s'il y a accord de phases en A, il y a écart d'une demi période dans les phases en C, donc discordance dans les phénomènes qui se superposent. Cette discordance se retrouve d'ailleurs en tous les points C', C''... qui pourront être marqués en comptant des longueurs égales à  $\frac{\lambda}{2}$  à partir de C... Les phénomènes superposés en accord de phases aux point A, B, B', donnent un phénomène résultant d'intensité maxima; lorsqu'ils sont superposés en discordance en C, C', etc., le résultat peut-être d'intensité inapprévisible.

On nomme *vents* les points de superposition en accord; et *nœuds* les points de superposition en discordance. Devant un miroir plan, l'arrivée d'un système d'ondes vibratoires planes, parallèles au miroir et réfléchies par celui-ci, doit établir dans l'espace un régime

vibratoire marqué par une quasi-immobilité sur certains plans parallèles distants les uns des autres de  $\frac{\lambda}{2}$ , qui sont les plans nodaux. Entre ces plans il y a vibration, et l'intensité est maxima sur des plans intermédiaires : plans *ventraux*. L'ensemble est un système d'ondes stationnaires par réflexion.

Il est assez facile d'observer ces apparences si on met en jeu des phénomènes à longueurs d'onde assez grandes. Lorsqu'on fait vibrer une corde fixée en ses extrémités on peut en réglant convenablement la périodicité et la tension, obtenir la division de la corde en fuseaux analogues à ceux dessinés sur la figure 14 manifestant les nœuds

caractéristiques des ondes stationnaires. En ébranlant la surface de l'eau avec une pointe fixée à l'extrémité d'un diapason on formera un système d'ondes stationnaires visible, en disposant assez loin du point ébranlé une lame métallique qui arrête les ondes et les renvoie ; la photographie d'un tel système est re-

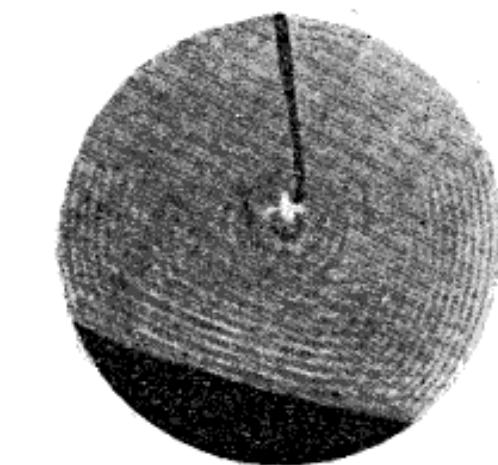


Fig. 15. — Ondes stationnaires par réflexion, à la surface de l'eau.

présenté sur la figure 15.

Dans le cas des ondes lumineuses une grande difficulté se présente à l'observation en conséquence de la très faible longueur d'onde mise en jeu. Les internœuds, qui sont des espaces égaux à la demi-longueur d'onde mesureront de 2 à 4 dix millièmes de millimètre. De tels es-

paces ne sont visibles qu'à l'aide des meilleurs microscopes ; Cotton a pu d'ailleurs observer en effet les ondes stationnaires avec un microscope ; mais on facilitera la vision en s'arrangeant pour observer le système d'ondes stationnaires planes suivant une coupe inclinée ; l'espacement des nœuds sera amplifié par cette inclinaison.

C'est par la photographie qu'on a obtenu la première observation du phénomène. Wiener disposa au dessus d'un miroir une glace supportant une émulsion extrêmement mince, de gélatino-bromure d'argent à grains invisibles ; l'émulsion reste ainsi parfaitement transpa-



Fig. 16. — Coupe inclinée d'ondes stationnaires.

rente ; une légère inclinaison de la surface sensible par rapport au miroir fait qu'elle coupe les ondes stationnaires avec un espacement relativement grand entre les nœuds ou les ventres (fig. 16). Après développement on trouve sur la plaque des lignes parallèles non impressionnées marquant les plans nodaux.

Drude et Nernst se sont servi de pellicules fluorescentes pour observer directement les ondes stationnaires dans des conditions analogues.

**Matérialisation photographique des ondes stationnaires.** — Lippmann imagina d'employer une couche sensible assez épaisse pour comprendre un certain nombre

de plans d'ondes stationnaires, et de matérialiser en quelque sorte les ventres sous forme de lamelles d'argent réduit restant dans la gélatine après développement ; les plans nodaux resteront au contraire libres de toute réduction et créeront un espace libre entre les lamelles.

Pour assurer cette production des ondes stationnaires dans la masse même de l'émulsion il faut disposer la couche sensible parallèlement au miroir réflecteur. Lippman obtient un miroir sur la face sensible elle-même en plaçant l'émulsion au contact d'un bain de mercure propre. En éclairant l'émulsion avec de la lumière d'une couleur simple, on a dans l'épaisseur de la couche sensible des actions lumineuses d'intensité périodiquement variable, correspondant aux plans ventraux et nodaux. Après développement l'examen microscopique des coupes transversales faites dans la gélatine révèle l'aspect stratifié de l'argent réduit, conformément à l'existence prévue des ondes stationnaires. On fait toutefois gonfler la gélatine dans l'eau pour agrandir l'espacement des lamelles et faciliter l'observation. Ces lamelles sont dites lamelles de Zenker, parce que ce physicien avait prévu la même stratification sur les images colorées obtenues par Seebeck ou Becquerel avec le sous chlorure d'argent. La figure 17 représente la microphotographie de coupes ainsi observées ; on y verra que la première lamelle d'argent réduit, marquant le premier ventre

Bleu.



Rouge.



Fig. 17. — Lamelles de Zenker.

l'argent réduit, conformément à l'existence prévue des ondes stationnaires. On fait toutefois gonfler la gélatine dans l'eau pour agrandir l'espacement des lamelles et faciliter l'observation. Ces lamelles sont dites lamelles de Zenker, parce que ce physicien avait prévu la même stratification sur les images colorées obtenues par Seebeck ou Becquerel avec le sous chlorure d'argent. La figure 17 représente la microphotographie de coupes ainsi observées ; on y verra que la première lamelle d'argent réduit, marquant le premier ventre

n'est pas exactement sur la surface sensible mais un peu en retrait. Cette circonstance confirme les conclusions tirées d'autres expériences d'interférences, relativement aux conditions de la réflexion de la lumière sur une substance plus dense que le milieu où elle se propage ; le mouvement réfléchi est en discordance quant à l'action photographique avec le mouvement incident, sur le plan même de la réflexion. Il n'en est pas de même si la lumière se réfléchit sur la surface de séparation avec un milieu moins réfringent que le milieu de propagation.

On a essayé de supprimer le mercure servant de miroir réflecteur ; son remplacement par d'autres substances n'a pu être accompagné de succès ; mais Rothé a réussi des photographies en n'employant aucun système réflecteur ; les ondes stationnaires se font en utilisant la réflexion sur la face de séparation de la gélatine et de l'air. Dans ces conditions un peu différentes du procédé Lippmann, il est difficile d'avoir des stratifications aussi intenses et aussi nombreuses.

**Restitution des couleurs.** — L'épreuve photographique obtenue avec le dispositif de Lippmann reproduit la sensation colorée de la lumière qui a servi à l'obtenir, lorsqu'on regarde cette épreuve par réflexion, la couche impressionnée tournée vers l'œil. C'est là le résultat essentiel, qui fait de cette expérience la base d'un procédé de photographie des couleurs.

Le dispositif peut-être considéré comme un procédé de formation des couleurs objectives. Le système lamellaire obtenu photographiquement est en effet un véritable créateur de couleur, et la couleur fabriquée ainsi est parfaitement définie par la constitution du système ; cette

constitution est déterminée automatiquement par la couleur de la lumière incidente.

En photographiant le spectre dispersé d'une lumière qui a traversé un prisme ou un réseau, on a une épreuve qui reproduit tout l'aspect coloré du spectre avec une surprenante fidélité. C'est le seul mécanisme qui d'ailleurs encore à l'heure actuelle, nous permette de fixer d'une façon permanente et exacte l'image colorée du spectre.

L'étude microscopique de la couche impressionnée peut montrer nettement la variation de la section lamellaire avec la suite des couleurs spectrales. L'épaisseur interne-dale va en diminuant d'une façon constante du rouge au violet. Les deux coupes représentées sur la figure 17 correspondent aux régions rouge et bleue du spectre. Le gonflement des couches dans l'eau, pour l'examen microscopique, peut altérer les relations d'espace dans ces coupes ; mais la traduction de la différence des longueurs d'onde des deux lumières reste saisissante.

Lorsque la lumière blanche tombe sur un tel système de lamelles, également espacées, il se produit une organisation du phénomène lumineux réfléchi en relation avec la périodicité des réflexions sur l'argent de chacune de ces lamelles. On conçoit, sinon dans son détail exact, mais dans son mécanisme général, la possibilité d'une reproduction de la couleur semblable à celle qui a produit la photographie. Avant de présenter les intéressantes observations qui ont été faites sur les rapports de la constitution des plaques de Lippmann avec les restitutions colorées qu'on en tire nous décrirons les manipulations qui permettent d'obtenir une photographie interférentielle. Les parties les plus essentielles en ont été

fixées par MM. Lumière qui dès l'exposé de la découverte de Lippmann travaillèrent à l'établissement des conditions de production régulière de ces photographies.

**Préparation des plaques.** — On fait au bain-marie une solution de gélatine à 5 %.

On a recommandé les gélatines Coignet, Dresher ou Lautenschlagen ; il est toujours bon de ne prendre dans les feuilles que les parties centrales, les bords ayant souvent une consistance différente.

Quand la température atteint 30 à 35 degrés on ajoute 0,5 % de bromure de potassium, puis *dans l'obscurité* 0,75 % de nitrate d'argent pulvérisé et sec. On agite et on ajoute alors les colorants destinés à donner la sensibilité chromatique. Les formules de colorants usités par les différents expérimentateurs utilisent l'érythrosine, la cyanine, le rouge glycin. On a aussi employé du vert malachite et du violet de méthyle. L'importance d'une bonne formule de sensibilisation n'est pas douteuse, mais comme nous le verrons plus loin en discutant les procédés, la sensibilisation de l'émulsion peut toujours être complétée par l'adjonction d'un écran compensateur interposé devant l'objectif au moment de la prise de vue de façon à obtenir l'impression photographique voulue.

A titre documentaire voici la formule sensibilisatrice publiée en 1906 par M. Jeuffrain.

Alcool à 90° . . . . .	250 cc.	3 cc.	Pour 100 cc.
Cyanine de Hoechst . . . .	0 g. 50		
Alcool à 90° . . . . .	250 cc.	8 cc.	d'émulsion
Glycinroth (Kinzlberger) .	0 g. 50		

Ramon y Cajal mélange les colorants sensibilisateurs

avec l'émulsion avant l'addition du nitrate d'argent. D'après ce même savant, l'agitation de l'émulsion pendant l'addition du nitrate d'argent n'est pas sans importance quant à la grosseur du grain de bromure d'argent ; une agitation très vive conduirait à une plus forte dimension des grains et à une sensibilité plus grande que lorsqu'on agite doucement ; le rapport des sensibilités obtenues pourrait varier de 1 à 3.

On augmente aussi la sensibilité si on maintient l'émulsion à la température de 40 degrés pendant une demi-heure ; un autre procédé pour accroître la sensibilité au moment de la préparation de l'émulsion consisterait, d'après Rothé, à doubler ou tripler la concentration de l'émulsion en sels et colorants. Il convient d'ailleurs de noter qu'à cet accroissement de sensibilité correspond toujours une moins grande pureté des couleurs reproduites.

L'émulsion préparée est filtrée sur coton de verre en prenant les plus grandes précautions contre les poussières. On l'étend ensuite en couches minces sur glaces ; en été on peut opérer à la température ordinaire, en hiver il convient de réchauffer les glaces à une température voisine de 40 degrés. On peut placer les glaces sur une tournette, de façon à égaliser l'épaisseur de l'émulsion, mais on risque alors d'avoir des couches trop minces ; il suffit d'égoutter les plaques après étendage et de les maintenir ensuite 15 à 20 minutes sur un marbre bien horizontal, jusqu'à prise complète de l'émulsion. On passe alors les plaques pendant quelques secondes dans un bain d'alcool à 90°, puis on les lave 20 minutes dans l'eau courante ; enfin on les met à sécher.

Le bain d'alcool avant lavage a pour but de faciliter le

séchage et d'en réduire la durée ; Ramon y Cajal a remarqué toutefois que l'importance de cette durée ne se manifeste que pour des valeurs exagérées ; les résultats sont encore bons avec un séchage effectué en chambre noire à l'air libre, qu'il convient de laisser prolonger une douzaine d'heures en évitant naturellement d'opérer par journée trop humide. Avec une étuve où la température sera maintenue vers 20 degrés les plaques sécheront en une heure.

Les plaques séchées peuvent être empaquetées et se conserver plusieurs mois.

**Sensibilisation des plaques.** — On aboutit par les manipulations précédentes à une émulsion dont l'impression demande des poses très longues. Pour diminuer le temps de pose on procède à une sensibilisation nouvelle ; trois à quatre heures avant l'emploi, on verse sur la plaque maintenue par une ventouse le mélange suivant :

Alcool absolu. . . . .	7 cc.
Nitrate d'argent fondu (solution aqueuse à	
10 % . . . . .	4 gouttes
Acide acétique cristallisable . . . . .	1 goutte

On maintient le liquide sur la glace 15 à 20 secondes puis on reverse le liquide dans un flacon (il peut servir à nouveau). Si la température extérieure est élevée il convient de n'employer que la moitié de la proportion de nitrate d'argent indiquée ; il peut y avoir quelque avantage aussi à employer une solution aqueuse et non alcoolique. La plaque ainsi traitée doit être employée dans l'espace de quelques heures : elle devient en effet très vite inutilisable par formation d'un voile intense.

La solution sensibilisatrice ne doit jamais être filtrée sur papier mais seulement sur coton de verre.

C'est en tout cas un traitement extrêmement délicat mais qui permet de réduire les durées de pose dans l'ordre de la minute pour les vues extérieures bien éclairées.

Si l'application photographique envisagée permet des poses très longues on pourra toujours s'abstenir du traitement argentique.

A l'instigation de Hans Lehmann collaborateur scientifique de la maison Zeiss, on avait entrepris la fabrication industrielle des plaques pour photographie interférentielle, et depuis 1909 on trouvait dans le commerce des plaques de bonne conservation et de sensibilité convenable pour être employées sans manipulation nouvelle.

**Mise en chassis.** — Les plaques sont employées à la chambre noire en présentant le côté verre à l'arrivée des rayons, l'émulsion en arrière et en contact avec la surface réfléchissante constituée par un bain de mercure.

Il y a quelque difficulté à distinguer les deux surfaces de la plaque, la finesse de l'émulsion laissant une apparence aussi réfléchissante à la face qu'elle recouvre qu'à la face verre : cette dernière aura dû en tout cas être très bien nettoyée.

Le chassis qui doit contenir la plaque et le mercure doit être agencé spécialement ; par le jeu de feuillures et de joints de caoutchouc on ménage entre la glace et le fond du chassis, une cavité de très faible épaisseur où viendra se loger le mercure ; des tubes doivent permettre l'entrée et la sortie commode.

L'amateur photographe peut toujours faire agencer à

son gré un dispositif répondant au but cherché ; mais on a construit industriellement et mis dans le commerce différents modèles de chassis.

La figure 18 représente les détails d'un chassis construit par la maison Zeiss qui en 1910 avait établi un ensemble de matériel fort bien étudié pour la pratique de la photographie interférentielle. On reconnaîtra facilement sans description plus ample les détails de fonctionnement : volet devant la glace, écrou de serrage du fond de chassis sur les joints, tube d'amenée du mercure contenu dans un vase qu'on accroche à des niveaux différents pour jouer le rôle de remplisseur ou de récepteur du mercure.

Il convient avant d'introduire la plaque dans le chassis, de la chauffer légèrement et d'amener ensuite immédiatement dans le chassis le mercure en contact avec la plaque ; cette précaution a pour effet d'éviter toute trace d'humidité entre la couche sensible et le mercure ; cette humidité fait gonfler la gélatine et amène des colorations fausses sur la photographie complètement séchée et terminée ; elle est aussi la cause d'un voile de métallisation superficielle. Le mercure employé doit être naturellement rigoureusement propre.

**Exposition.** — Les plaques étant toujours de faible sensibilité, l'exposition à la chambre noire est d'assez

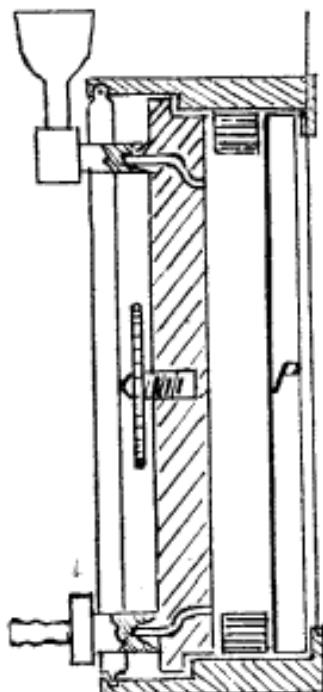


Fig. 18.  
Chassis à mercure.

longue durée. Il y a avantage à employer les objectifs les plus lumineux.

Pour les plaques préparées suivant les indications reproduites plus haut, données par M. Jeuffrain, avec un planar d'ouverture  $f/3,8$  les durées de pose s'établissent à :

30 secondes pour les paysages au soleil,  
1 à 3 minutes pour paysages sans soleil,  
10 à 15 minutes pour vases, fleurs, dans une chambre bien éclairée,  
45 minutes pour des intérieurs.

Les plaques Lehmann demandaient des temps de pose analogues.

Lehmann conseille pour l'exposition l'emploi d'un écran sélecteur de composition appropriée pour assurer l'exactitude de la reproduction des couleurs.

Avec une sensibilisation convenable de l'émulsion on peut se contenter d'un écran incolore à l'esculine pour enlever l'action des radiations dans l'extrême violet ; en tout cas la coloration à donner à l'écran compensateur est toujours faible et délicate à préciser.

On l'établit de la façon suivante. On fait quelques épreuves avec interposition d'un écran d'esculine incolore et l'examen des épreuves contenant des gris et des blancs montre quelles sont les teintes possédant une action prépondérante ; on choisit alors des colorants absorbant ces radiations trop actives, on fait avec leur mélange une solution qui, introduite dans une cuve à faces parallèles, peut être interposée devant l'œil pour l'examen des épreuves ; par tâtonnements on règle les concentrations de colorants de façon que l'examen à travers la solution fasse paraître les couleurs correctes :

on adopte ensuite la couleur de cet écran d'examen pour l'écran de compensation à employer au moment de la prise des vues avec la même émulsion.

Quand la compensation de la sensibilité chromatique n'est pas suffisamment bien réalisée, la durée de la pose influence sensiblement la valeur relative des apparences colorées et les plaques paraissent ainsi d'un emploi plus difficile.

**Développement.** — Avant de plonger la plaque dans le bain révélateur il faut nettoyer soigneusement la couche sensible avec le blaireau ou un tampon de velours afin d'enlever toute trace mercurielle adhérente.

Le bain révélateur employé sera toujours peu énergique et son action limitée à une très courte durée, cela en raison de la très faible épaisseur de la couche et de la tendance au voile très marquée dans cette émulsion. En général on préconise pour développer, une formule à l'acide pyrogallique et à l'ammoniaque.

Par exemple on prendra.

Eau . . . . .	75 cc.
Solution pyrogallique à 1 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> . . . . .	10 "
Solution bromure de potassium à 10 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> . . . . .	10 "
Ammoniaque à 22 <sup>0</sup> B. . . . .	5 "

Le développement sera limité à 15 secondes au maximum.

Jeuffrain et H. Lehmann conseillent le développement au diamidophénol ; on use d'une solution dix à cent fois moins concentrée que celle employée pour les clichés ordinaires et le développement peut durer de 2 à 5 minutes.

Niewegloski recommande le développement à l'oxalate ferreux.

Le développement en tout cas ne doit pas être poussé trop longtemps pour éviter que, la réduction se généralisant dans la masse de l'émulsion, les lamelles marquant les ondes stationnaires ne soient confondues dans une masse continue d'argent réduit (voir fig. 23).

Toutefois pour aviver le pouvoir réflecteur de l'argent obtenu, on pratique généralement le renforcement. Après avoir fixé à l'hyposulfite pendant une minute on lave rapidement à l'eau courante pendant trois minutes, on blanchit dans une solution de bichlorure de mercure à 1 % et on noircit dans une solution révélatrice concentrée de diamidophénol (ou d'oxalate ferreux d'après Niewengloski).

Si le renforcement ainsi pratiqué est insuffisant on peut réaliser un renforcement physique. Voici une formule utilisable (Lumière).

Eau . . . . .	500 cc.
Sulfocyanure d'ammonium . . . . .	120 gr.
Nitrate d'argent . . . . .	20 "
Sulfite de soude anhydre . . . . .	60 "
Hyposulfite de soude. . . . .	50 "
Solution bromure de potassium à 10 % . . .	25 cc.

Dissoudre dans l'ordre ; laisser déposer le précipité formé et décanter. La plaque à renforcer sera d'abord passée dans une solution d'alun avant d'être plongée dans le bain renforçateur ; on suit l'effet et on arrête au temps voulu.

Pour la reproduction des couleurs pures et surtout du spectre, il est préférable de ne pas fixer à l'hyposulfite après développement ; le fixage amène généralement un léger décalage de colorations. L'absence de fixage ne pré-

sente aucun inconvénient, l'émulsion étant complètement transparente et très peu sensible.

**Voile mercuriel.** — On observe fréquemment sur l'épreuve développée des métallisations qui semblent devoir être attribuées à une action de mercure sur la couche sensible ; action dépendante de l'humidité, et aussi du traitement de la plaque en solution alcoolique de nitrate d'argent avant l'exposition.

Ramon y Cajal prétend que le voile est rare si on prend la précaution de maintenir la solution sensibilisatrice au nitrate d'argent en parfaite limpidité.

Lippmann recommande l'échauffement des plaques avant la mise au chassis, ainsi que nous l'avons signalé déjà ; cette précaution suffirait à éviter toute métallisation.

Pour enlever la métallisation apparue après développement, Jeuffrain conseille de soumettre la plaque développée pendant 20 à 30 secondes à des vapeurs d'iode ; on fait suivre cette action d'une immersion dans l'hyposulfite ; ce traitement présente d'ailleurs l'inconvénient de modifier un peu les couleurs.

**Montage des épreuves.** — Les épreuves doivent être regardées par réflexion ; le mécanisme de la production des couleurs étant localisé dans une mince couche d'émulsion, il faut supprimer l'action de toute lumière non réfléchie par cette couche ; la face verre de la plaque sera donc noircie pour l'examen. Il convient aussi pour éviter la lumière réfléchie régulièrement de placer sur la gélatine une lame de verre formant prisme d'angle faible (Lumière).

Jeuffrain conseille pour l'examen préalable du cliché de placer celui-ci gélatine en dessus, sur une lame de marbre noir, avec interposition de quelques gouttes de benzine ; on place ensuite le prisme sur la gélatine en interposant aussi une mince couche de benzine.

On peut aussi très simplement plonger le cliché dans

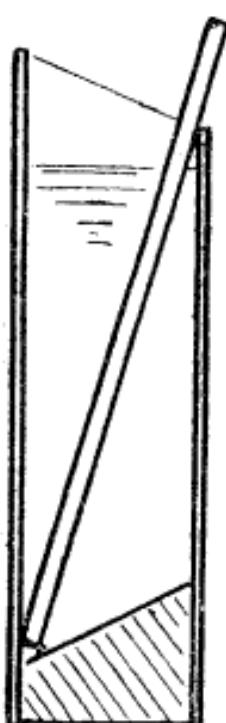


Fig. 19.  
Cuve à benzine.

une cuve à faces parallèles contenant de la benzine ; toutes les faces sauf une en sont noircies ; on maintient le cliché dans la cuve de telle sorte que la direction de réflexion de la surface de l'épreuve soit différente de celle de la face d'entrée de la lumière.

La figure 19 représente la cuve de la maison Zeiss dans laquelle le cliché prend automatiquement une position inclinée réalisant le but indiqué.

Cet examen préalable en cuve ou contre le marbre noir est seulement destiné à se rendre compte de la qualité de l'épreuve, et permet de juger de l'exactitude plus ou moins approchée des couleurs.

Si l'examen est satisfaisant on procède au montage définitif, consistant à coller au baume de Canada froid, une lame de verre faiblement prismatique (angle de 10 degrés environ) contre la gélatine du cliché. Le montage se fera à une température toujours peu élevée, mais qui aura été déterminée dans l'examen préalable pour assurer l'exactitude des couleurs : les variations de température influent en effet sur l'état hygrométrique de la couche de gélatine et par suite sur son épaisseur, d'où la possibilité de faire varier l'aspect coloré et de fixer

définitivement avec le baume de Canada l'état le plus satisfaisant.

Pour le collage on interpose assez de baume pour éviter toute bulle d'air sur les bords ; l'excès de baume est enlevé après compression des deux verres ; on nettoie ensuite les bords à l'alcool et on borde avec du papier noir.

Le dos du cliché est ensuite recouvert d'un vernis noir mat (vernis zapon mat, ou vernis mat à la celloïdine) ; le vernis est lui-même recouvert d'un papier noir pour le protéger contre les éraflures. Wood conseille de dépolir la face de verre qui reçoit le vernis noir.

**Examen et projection.** — L'examen des épreuves peut se faire sans instrument, en les tenant à la main. Il

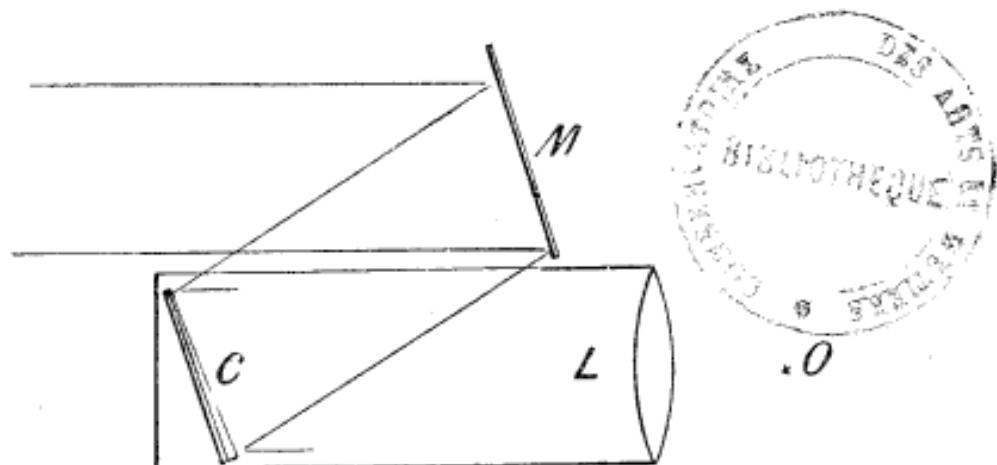


Fig. 20. — Megascope de Lippmann.

faut une certaine habitude pour réussir à voir ainsi le meilleur aspect des couleurs ; il faut aussi une disposition d'éclairage particulier. On aura des conditions favorables si la lumière vient du ciel découvert et seulement par le haut d'une seule fenêtre.

On construit des appareils spéciaux qui règlent auto-

matiquement l'examen visuel dans les meilleures conditions.

La figure 20 représente le schéma du dispositif de Lippmann. Une caisse longue à faces intérieures noircies est fermée en avant par une lentille L de grand diamètre. Le cliché C est placé sur le fond opposé et reçoit par une ouverture supérieure de la caisse la lumière éclairante réfléchie par le miroir M.

L'œil en O perçoit toute la lumière renvoyée par le cliché. Si on ménage un dispositif d'orientation du support du cliché on se donne le moyen d'assurer la plus grande exactitude des couleurs.

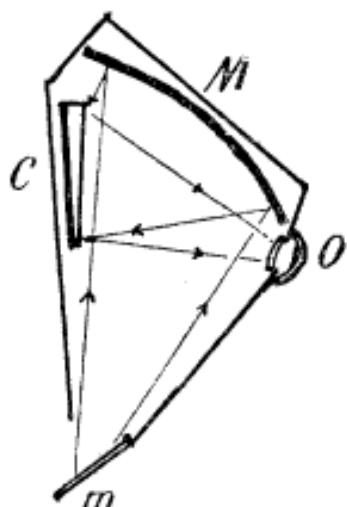


Fig. 21.  
Mégascope de Zeiss.

La figure 21 représente l'appareil de la maison Zeiss en vue du même examen ; on se rend clairement compte de la marche des rayons éclairants reçus d'abord par un miroir plan, puis à travers un verre dépoli par un miroir concave qui

les renvoie sur le cliché.

Les clichés obtenus par la méthode interférentielle fournissent de très belles projections colorées. Le schéma de l'appareil Lippmann représente aussi bien la construction d'un *mégascope* pour la projection, et divers appareils ont été établis par les constructeurs sur des principes analogues.

Mais on peut faire la projection des clichés suivant la méthode ordinaire dans des conditions de netteté satisfaisante ; la figure 22 montre comment la lumière du condenseur, après réflexion sur le cliché à projeter, vient

concentrer l'image du cratère de l'arc dans l'objectif de projection, dont l'axe optique est maintenu perpendiculaire aux surfaces parallèles du cliché et de l'écran sur lequel on projette.

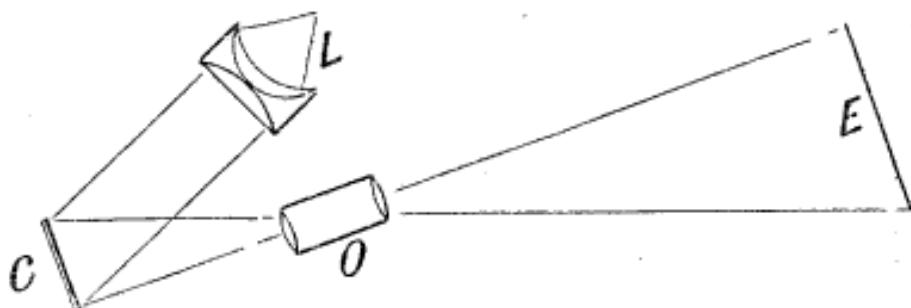


Fig. 22. — Dispositif de projection.

On utilise un miroir peu après l'objectif, pour ramener l'image projetée dans la direction de sortie des rayons de la lanterne.

**Résultats et observations diverses.** — Le détail des opérations décrites dans les derniers paragraphes convient à l'obtention des photographies de tableaux ou de paysages, c'est-à-dire à l'usage général et les résultats sont souvent des plus satisfaisants. La vérité du coloris, son éclat, peuvent être très remarquables.

Cependant l'opérateur doit se familiariser avec les influences multiples de toutes les circonstances de la manipulation, pour obtenir le résultat le plus heureux. Le mécanisme même de cette photographie la rend essentiellement modifiable dans son aspect par l'action de l'opérateur et il convient de bien connaître ce mécanisme et les propriétés de l'émulsion pour en tirer le parti le plus avantageux.

**Restitution des couleurs simples.** — Pour rendre compte de la restitution d'une couleur par une pile de lamelles également espacées on se représente dans le faisceau réfléchi la superposition des différentes portions de lumière renvoyées par les lamelles successives considérées comme semi-transparentes. Les phénomènes réfléchis ne seront concordants, que s'ils affectent une périodicité identique à celle des lamelles.

La pureté de la couleur obtenue, c'est-à-dire la simplicité de la périodicité, n'est grande que si on superpose un très grand nombre de ces réflexions, de même que dans la lumière dispersée par un réseau la séparation des lumières de périodes très voisines se fait avec une finesse dépendant essentiellement du nombre de traits du réseau.

Les exemples de lamelles figurées précédemment ne montrent au contraire qu'un petit nombre de lamelles, 6 à 8 par exemple. Mais la lumière réfléchie est en réalité bien loin d'être simple : la sensation colorée traduit bien la couleur pure, mais la pile de lamelles ne *fabrique* pas cette couleur *pure*.

Ives a étudié systématiquement l'influence du nombre de lamelles sur cette reproduction de couleur simple. Il employait pour impressionner les plaques un éclairage uniforme obtenu avec la lumière verte de l'arc au mercure ( $\lambda = 546 \text{ m}\mu$ ). A cette occasion et pour obtenir le plus grand nombre possible de lamelles, il a marqué l'importance de certaines circonstances de fabrication de l'émulsion ou du développement. Les émulsions les moins riches en argent, et le développement le moins énergique, conviennent à la production de la lumière la plus pure. Pour examiner la lumière produite on recevait sur un

spectrographe la lumière refléchie par la plaque impressionnée et développée, la comparaison du résultat avec la lumière qui a servi à l'impression est ainsi complète.

Avec le développement ordinaire la lumière réfléchie donne presque un spectre continu ; la sensation colorée résulte d'un maximum de renforcement de la lumière verte, mais le résultat est loin de ressembler objectivement à l'éclairage initial. On peut se rapprocher beaucoup de cette similitude si on réussit à créer un grand nombre de lamelles et à les rendre transparentes.

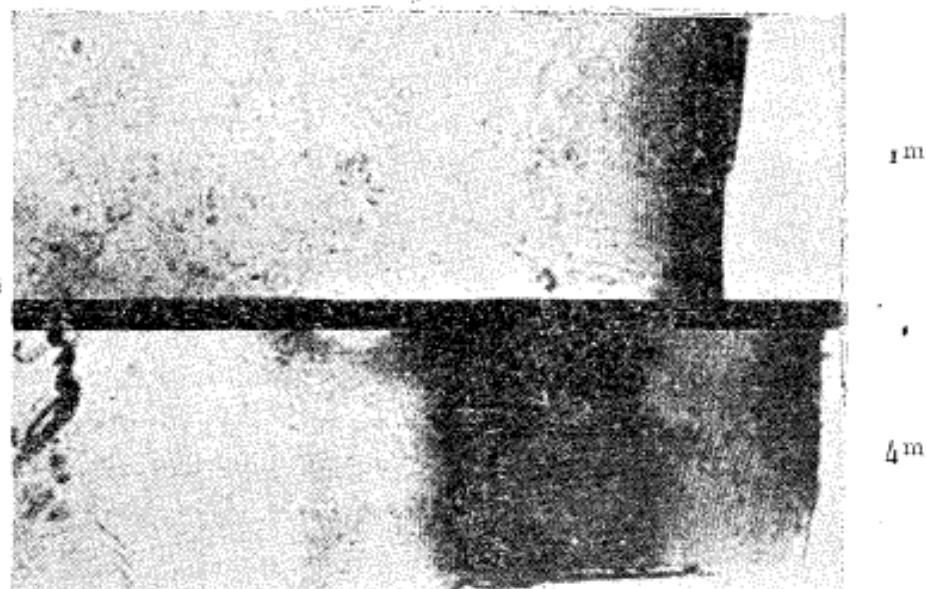


Fig. 23. — Influence de la durée du développement.

Pour cela il convient de poser largement, du moins jusqu'à une certaine limite au delà de laquelle la réduction ne distingue plus de lamelles. Le développement traduit d'autant plus de lamelles qu'il est plus prolongé (fig. 23). Le bain révélateur au pyrogallol a cependant l'inconvénient d'amener un voile progressif. Quand on développe



Fig. 24. — Couche développée sur les deux faces.

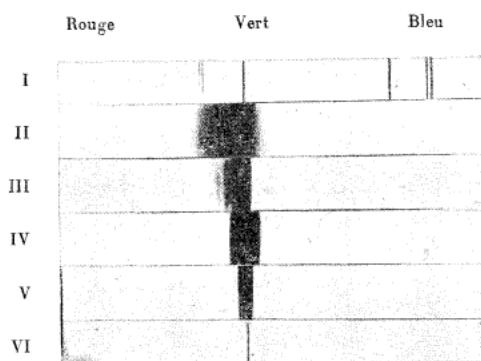


Fig. 25.

- I. Spectre direct et complet de l'arc au mercure ;
- II. Spectre de la lumière restituée par une plaque à grain fin (procédé Lippmann) impressionnée par la lumière verte seule, développement normal ;
- III. Spectre de la lumière renvoyée par l'arrière de la plaque précédente ;
- IV, V, VI. Spectres de la lumière restituée par des plaques développées à l'hydroquinone et présentant successivement 50, 150 et 300 lamelles.

les deux faces de la couche (après détachement et report), on trouve des lamelles dans toute l'épaisseur (fig. 24).

Avec l'oxalate ferreux, le glycin ou l'hydroquinone Ives a pu prolonger beaucoup le développement sans voile et obtenir le développement complet de couches dont l'épaisseur atteint  $\frac{1}{10}$  de millimètre correspondant à plus de 400 lamelles. Toutefois l'opacité de l'argent réduit empêche l'efficacité de l'accroissement du nombre des lamelles ; mais en les blanchissant au bichlorure de mercure on obtient un dispositif qui restitue une lumière très pure.

La figure 25 montre les observations spectrographiques bien démonstratives du mécanisme, que nous venons de décrire pour la fabrication d'une lumière simple.

**Reproduction du blanc et des couleurs complexes.** — Il y a plus de difficulté à s'expliquer la reproduction des couleurs complexes. Si on imagine une lumière comprenant 2, 3, etc ; radiations simples de périodicité nettement différentes, chacune de ces radiations peut créer ~~un~~ système d'ondes stationnaires ; les lamelles correspondantes pourront concorder plus ou moins bien en certaines régions, se confondre au contraire en d'autres. L'apparence d'une telle superposition peut-être calculée pour l'action simultanée d'un petit nombre de radiations ; si on fait l'expérience et qu'on utilise les émulsions épaisses avec développement à l'hydroquinone et blanchiment des lamelles, on retrouve bien les prévisions théoriques, en même temps que la lumière reproduite ressemble à la lumière incidente à la luminosité près toute-

fois. A partir de 4 composantes cependant on ne produit plus de séparation définie.

L'éclairement usuel n'est pas d'ailleurs en général une combinaison de quelques radiations simples distinctes, mais formé plutôt d'une bande spectrale étendue. Une telle composition ne fournit qu'un nombre de franges restreint et il faudra que les lamelles aient un pouvoir réflecteur très fort. C'est plus particulièrement le cas de la lumière blanche.

Si on envisage dans ces cas le nombre considérable de radiations simples de périodes très voisines qui seraient les constituantes de l'éclairement, il semble que la superposition de tous les systèmes d'ondes stationnaires correspondants devraient aboutir à une confusion indistincte. Pour la vision on a en réalité des bandes d'interférence colorées en nombre très limité. On peut s'en faire une idée en examinant le système de franges d'interférence symétrique par rapport à une bande centrale blanche ; les traces d'ondes stationnaires par réflexion sont une moitié d'un tel système, dont la figure 5 en couleurs traduit l'aspect visuel pour un éclairement en lumière blanche. La traduction photographique par réduction d'argent sous l'influence de l'action lumineuse sera essentiellement dépendante de la loi de sensibilité chromatique de l'émulsion.

Les figures 26 et 27 donnent les traductions photographiques en noir du système précédent, d'une part avec une sensibilité égale pour toutes les couleurs du spectre, *isochromatique*, et d'autre part pour une sensibilité réglée à la façon de la sensibilité visuelle, disons *orthochromatique* (voir le chapitre vi). D'après ces exemples, la constitution du système de lamelles à

l'intérieur d'une couche sensible exposée à la lumière blanche dans le dispositif de Lippmann peut-être assez variable avec les conditions de sensibilité chromatique.

La pratique de la photographie interférentielle semble fixée plutôt sur une sensibilité orthochromatique, en ce sens que la sensibilisation reste assez limitée du côté

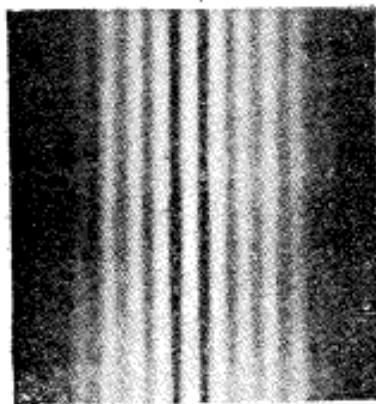


Fig. 26.  
Photographie des franges  
de la figure 5  
avec sensibilité isochromatique.

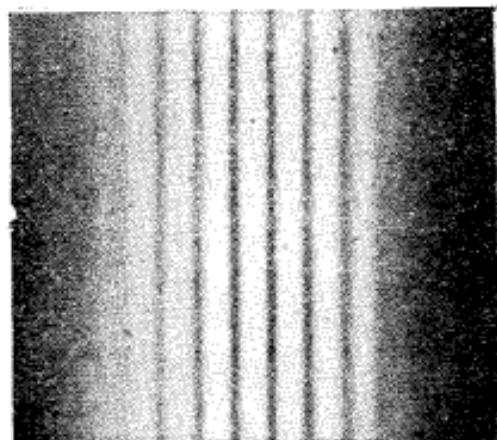


Fig. 27.  
Photographie des franges  
de la figure 5  
avec sensibilité orthochromatique.

rouge du spectre et qu'on arrête les radiations violettes par des écrans appropriés ; c'est du moins le sens des recommandations de H. Lehmann, et le résultat des dispositifs recommandés pour l'opération photographique.

Ives a fait l'étude de ces reproduction de blanc avec des émulsions isochromatiques, sensibilisation à l'isocol qui d'ailleurs ne s'étend pas très loin dans le rouge, et conclut à la restitution du blanc par diffusion de la couche d'argent réduit ne présentant aucune apparence lamellaire

(fig. 28) ; il remarque d'ailleurs que pour avoir une luminosité satisfaisante il faut que l'émulsion soit riche en argent.

D'après Cajal, le blanc est surtout reproduit par réflexion régulière sur une première lamelle très dense ; on est généralement obligé de recourir à un renforcement intense pour avoir un blanc satisfaisant. C'est là probablement le mécanisme qui est réalisé dans la pratique. Les

détails d'exécution que nous avons donné plus haut, comportent une richesse d'argent moyenne dans l'émulsion, une épaisseur faible de la couche et un renforcement facilitant la limitation d'action des premières lamelles ; ces conditions d'après l'étude de Ives sont plus spécialement favorables à la reproduction des couleurs complexes qu'à celle des couleurs pures, ce qui convient en effet à l'utilisation pratique de l'opération photographique.

On conçoit en tout cas, comment le procédé de Lippmann pour la photographie des couleurs est sensible aux moindres détails d'exécution.

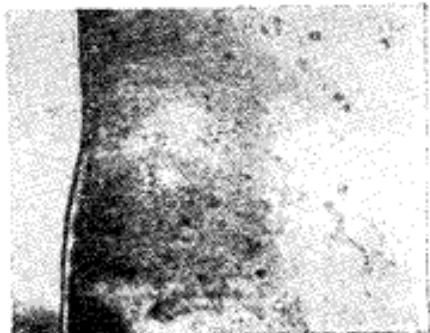


Fig. 28. — Aspect de la couche pour la restitution du blanc.

## CHAPITRE III

### PHOTOGRAPHIE DES COULEURS EN IMAGES DISPERSEES

**Principe général.** — Dans ce procédé de photographie des couleurs on produit une épreuve photographique en noir contenant des transparencies proportionnelles aux composantes de couleurs simples contenues dans la lumière envoyée par l'objet photographié ; l'appareil analyseur de lumière sert également à fournir en même place les radiations simples qu'on superpose en

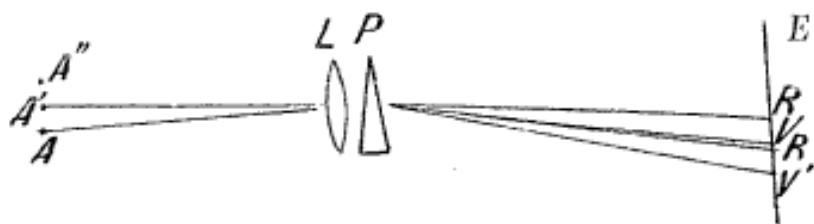


Fig. 29. — Formation des images spectrales.

proportion voulue pour reconstituer dans la vision de l'image la couleur primitive de l'objet. L'ensemble de l'appareil peut donc être considéré comme fournissant une reproduction des couleurs objectives.

Le fonctionnement schématique est des plus simples. Supposons en A (fig. 29) un point source de lumière ; en L un objectif suivi d'un prisme P ; dans le plan E conjugué de A par rapport à la lentille on reçoit non pas une image ponctuelle de A, mais une ligne spectrale RV contenant les radiations dispersées envoyées par A.

Avec une émulsion photographique de sensibilité con-

venable on obtiendra une image positive présentant des transparences en rapport avec l'intensité relative des radiations spectrales reçues ; si on place ensuite en A une source de lumière blanche, cette image placée dans la position RV transmet les radiations simples qui ont servi à la produire dans les rapports d'intensité qui caractérisaient la coloration de la source primitivement placée en A.

Si l'œil peut maintenant recueillir l'ensemble des radiations élémentaires transmises par A, il aura une vision d'image colorée comme le point lumineux photographié. Pour permettre cette vision globale des radiations dispersées, on dépolit simplement la surface de l'épreuve positive de RV et on obtient une diffusion de lumière dans tout l'espace ; l'œil placé à la suite de l'appareil reçoit des rayons provenant de tous les points de l'image : la dimension du spectre RV devra être assez réduite pour en avoir une vision sensiblement ponctuelle. Au lieu de diffuser la lumière transmise par l'image on peut simplement avec une lentille placée contre cette image la concentrer en un point où l'œil sera placé. Enfin on utilisera aussi la marche inverse des rayons. L'image RV sera éclairée directement par la lumière blanche et le dispositif superposera automatiquement en A les radiations composant la couleur de la source primitivement photographiée.

Le mécanisme de la reproduction des couleurs d'une source ponctuelle apparaît ainsi correct et simple ; mais la généralisation de ce mécanisme dans le cas d'une source, objet de dimensions finies, est difficile. L'image d'un point devient, on l'a vu, une ligne spectrale, orientée normalement à l'arête réfringente du prisme P. On obtiendra des lignes spectrales voisines mais distinctes

pour des points sources voisins de A, sur une ligne qui dans l'espace serait parallèle à l'arête réfringente. La reproduction d'une telle ligne lumineuse se fait donc correctement comme celle d'un point isolé : toutefois la vision d'ensemble de la ligne est un peu plus difficile. Si maintenant on considère un autre point A', voisin de A, mais sur une direction normale à l'arête réfringente par exemple, les rayons provenant de ce point A' engendreront une nouvelle ligne spectrale R'V' qui ne sera distincte de RV, sans recouvrement, que si A' est suffisamment éloigné de A. Toute source lumineuse qui serait placé entre A et A' donnerait de la lumière dispersée recouvrant les spectres de A ou de A' et entraînerait par conséquent une confusion de la reproduction colorée.

En définitive le plan conjugué E du plan source peut être entièrement couvert par des bandes spectrales provenant de rayons émis par des lignes parallèles à l'arête réfringente en A, A', A'', et il n'y a plus de place pour l'utilisation de rayons lumineux provenant de sources situées dans les interlignes.

Le mécanisme envisagé ne peut donc reproduire une source de forme continue, mais seulement des formes lignées parallèlement à l'arête réfringente.

Notons en plus que le prisme intervient pour limiter étroitement le champ dans lequel il y a correspondance stigmatique entre source et image à travers la lentille L, et la difficulté particulière de la réception simultanée par l'œil de tous les rayons qui doivent reformer l'image primitive ; on conçoit facilement que ce mode de reproduction des couleurs qui paraît dès l'abord très objectif et comme une simple mise en œuvre des procédés élé-

mentaires d'analyse de radiations, soit en réalité d'une pratique délicate et limitée.

**Premières réalisations.** — C'est F. Williams Lanchester qui a le premier donné les indications pour la mise en pratique du procédé dont le mécanisme vient d'être décrit ; son brevet descriptif est en date du 4 juillet 1896, et passa du reste inaperçu.

Il indique deux dispositions. Pour la photographie d'un objet de faibles dimensions, on place devant cet objet un réseau de lignes opaques parallèles équidistantes et séparées par des espaces transparents de largeur moindre ;

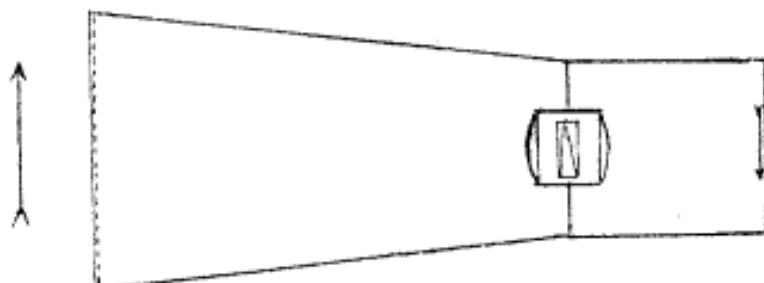


Fig. 30. — Premier dispositif de Lanchester.

le dispositif est complété suivant le schéma de la figure 30 ; la dispersion du prisme est telle que les spectres des lignes transparentes servant de source lumineuse sont successivement juxtaposés sans laisser d'espace inutilisé. Dans un second dispositif pour reproduction d'un paysage, c'est l'image obtenue dans une première chambre noire pourvue d'objectif qui est striée par l'intermédiaire d'un réseau de lignes opaques parallèles ; un condenseur placé contre cette image et ce réseau, assure le passage des rayons à travers le système objectif-prisme (fig. 31).

Le brevet indique également le mode de restitution des

couleurs après l'obtention du positif des images spectrales ; celles-ci remises en position, éclairées par un arc avec condenseur appuyé à l'image positive, rétabliront dans les intervalles clairs du réseau les couleurs analysées dans l'opération antérieure ; si le réseau est couvert d'un écran dépoli, on voit une image de l'objet photographié en couleurs naturelles.

En 1906 M. Julius Rheinberg décrivait schématiquement un processus analogue, sans avoir eu connaissance du brevet Lanchester ; d'une façon tout à fait indépendante vers la même époque M. A. Chéron s'occupait de la même question et en 1906 parurent un brevet des-

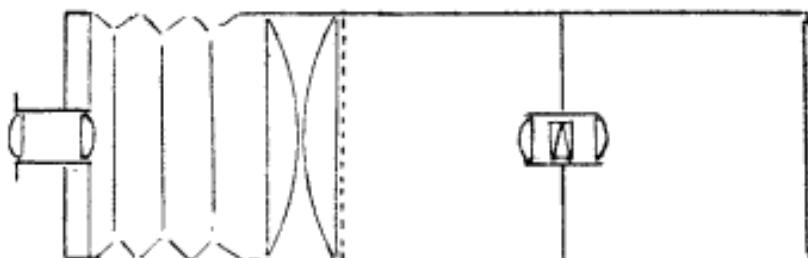


Fig. 31. — Second dispositif de Lanchester.

criptif de ce dernier, un article de M. Raymond dans *Photo-Revue*, et une note de M. G. Lippmann aux *Comptes Rendus* de l'Académie des Sciences, qui attirèrent presque simultanément l'attention sur le procédé décrit par Lanchester, mais resté ignoré jusqu'alors.

M. A. Chéron réalisa des épreuves avec un dispositif analogue au second type de Lanchester, mais constitué par deux chambres distinctes.

L'article de M. Raymond était une description de dispositif notablement simplifié. Il proposait de rapprocher la trame et la plaque sensible jusqu'à être très voisines, et séparées seulement par le prisme dispersif d'angle faible ;

la trame quadrillée était en ce cas dans le plan d'image de l'objectif, et les spectres formés par le prisme pouvaient être considérés comme les images dispersées du diaphragme d'objectif, obtenues par sténopé à travers les ouvertures transparentes de la trame. Cette analyse était évidemment fort grossière et la restitution des couleurs dans un fonctionnement inverse de l'appareil paraissait très problématique.

C'est au contraire dans la voie d'une réalisation plus parfaite du dispositif schématique que s'orientèrent les travaux ultérieurs de MM. Chéron et Rheinberg et en 1912 ce dernier publia de très intéressants détails sur un appareil dont le fonctionnement semble être aussi parfait qu'on peut l'espérer.

**Appareil de E. et J. Rheinberg.** — La difficulté essentielle du procédé réside dans la faible ouverture de champ utilisable avec le prisme pour obtenir des spectres de bonne netteté. M. A. Chéron avait surmonté la difficulté en allongeant le plus possible la distance focale du système analyseur. La caractéristique de l'appareil de M. Rheinberg réside dans l'utilisation d'images lignées de très petites dimensions pouvant fonctionner comme source devant un système prismatique à court foyer. L'ensemble du dispositif optique peut alors tenir dans un tube de dimensions modestes, pourvu des moyens de réglage à vis ou à pignons nécessaires au repérage dont dépend la restitution des couleurs.

On suivra sur la figure 32 l'agencement optique de l'appareil. En A l'objectif de prise de vue, microplanar Zeiss de 75 millimètres de foyer, fournissant une image sur le réseau ligné D.

Celui-ci est monté sur un cadre permettant de l'incliner sur la direction moyenne du faisceau lumineux. Un condenseur C aussi rapproché que possible du réseau concentrera les rayons lumineux sur le système dispersif. Celui-ci comporte un second microplanar de 75 millimètres de foyer suivi immédiatement d'un prisme F, composé de façon à donner une dispersion peu accentuée dans le violet, les spectres obtenus se rapprochant du spectre normal.

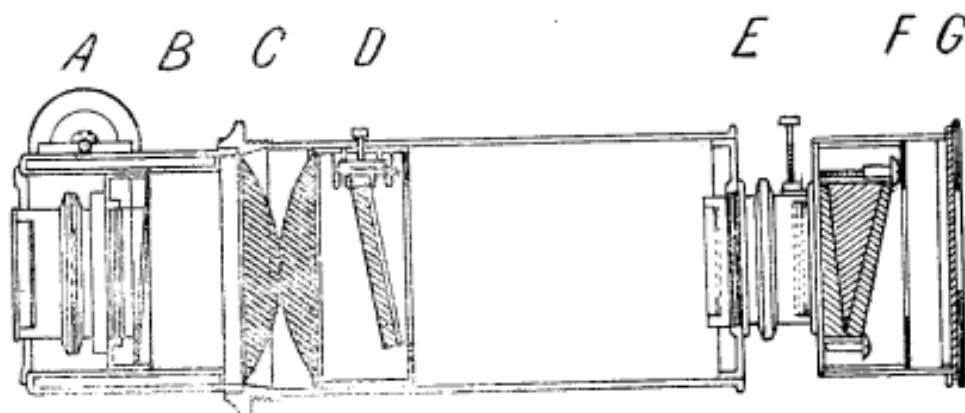


Fig. 32. — Optique de l'appareil de E. et J. Rheinberg.

La déviation donnée par le prisme est de  $6^{\circ} 1/2$ , de sorte que cette partie optique de l'appareil fait un certain angle avec le corps de l'appareil sur lequel elle est montée ; ce corps d'appareil qui reçoit à son extrémité la plaque sensible, ( $1/4$  de plaque) est de longueur telle que la première image lignée est agrandie dans le rapport de 1 à 3,75. Le premier réseau ligné comporte près de 150 traits au centimètre avec des lignes opaques trois fois plus larges que les intervalles clairs ; on forme sur la plaque 40 spectres par centimètre juxtaposés sans discontinuité ; mais la partie violette du spectre étant la moins lumineuse, le verre dépoli recevant ces spectres

paraît strié de bandes noires correspondant à la séparation des spectres.

Malgré la faible dimension de l'image utilisée, l'expérience a montré que pour obtenir la netteté suffisante des spectres, sans trop d'astigmatisme ou de distorsion il fallait faire intervenir divers éléments correcteurs. Le réglage de l'orientation du réseau déjà signalé, joue un rôle essentiel à ce point de vue. De plus on a dû introduire en B un verre prismatique de  $6^\circ$  et diaphragmer assez fortement la lentille de l'appareil dispersif E ; ce diaphragme placé entre la lentille et le prisme est choisi avec une forme convenable pour atténuer au mieux les effets de distorsion. Enfin une lentille cylindrique à long foyer (3 mètres) placée en G, s'est montrée efficace pour corriger l'astigmatisme.

Malgré la grande ouverture des objectifs employés, le dispositif n'est pas très lumineux en conséquence de la diaphragmation du système dispersif, et de l'agrandissement en images spectrales. La rapidité est naturellement en dépendance avec la sensibilité des plaques isochromatiques employées. J. Rheinberg indique un temps de pose de 20 à 30 secondes pour les paysages ensoleillés en été, avec des plaques panchromatiques Ilford. On pourrait sans doute réduire à  $1/3$  ou  $1/4$  de cette valeur le temps de pose en usant des plaques panchromatisées par imprégnation dans les solutions sensibilisatrices connues aujourd'hui. En tout cas le dispositif n'est guère plus avantageux que le procédé interférentiel de Lippmann, quant au point particulier de la durée d'exposition.

Le négatif des images spectrales étant obtenu on en tire un positif sur plaques à tons noirs. Les auteurs remarquent qu'il convient d'éviter toute surexposition

dans le négatif et toute dureté dans le positif. C'est dire que le temps de pose doit être en tout cas fixé avec une approximation suffisante. Malgré la constitution lignée des spectres, montrée agrandie dans la figure 33 l'aspect de l'épreuve est aussi fin que celui d'une bonne reproduction en similigravure.

Pour voir ensuite les positives en couleur E. et J. Rhein-

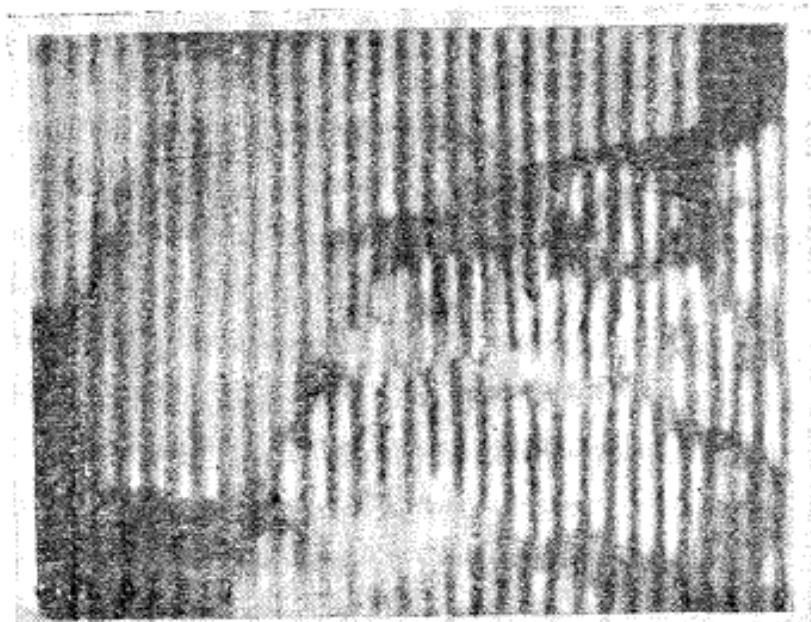


Fig. 33. — Agrandissement d'une portion d'épreuves en images spectrales.

berg utilisent 3 dispositions : la vision directe du positif, la vision par retour inverse des rayons, et enfin la projection.

Dans tous les cas un ajustement et un repérage précis du positif par rapport au réseau est d'abord nécessaire. Le positif vient dans un porte plaque spécial prendre la place du négatif à l'arrière de la chambre. Toutefois comme il se présente verre en avant pour se trouver dans la même orientation que l'image négative, la surface de "gélatine

doit être reportée légèrement plus loin,  $1/2$  millimètre environ, que lors de la prise de vue ; on compense ainsi l'allongement du foyer à travers le verre, ce qui est indispensable : une très faible variation de distance entre le prisme et le plan d'image suffisant à changer le fonctionnement du prisme. Sur 10 centimètres de hauteur il se forme en effet près de 400 spectres élémentaires. Que sur le positif de ces spectres un peu trop éloigné,  $1/2$  millimètre sur 20 centimètres de distance par exemple, on vienne à projeter 401 spectres au lieu de 400 on laissera voir un spectre dispersé sur toute la hauteur de l'image au lieu d'un ton uniformément blanc si les spectres enregistrés provenaient de lumière blanche.

Pour assurer le réglage précis d'éloignement le chassis porte-positif doit être pourvu d'un dispositif d'approche, de faible amplitude d'ailleurs.

Le chassis doit pouvoir être aussi déplacé latéralement, et la rotation possible de tout le système optique complète les éléments de la superposition exacte des spectres positifs aux places correspondantes à leur production à partir des lignes claires du réseau.

Pour l'examen direct, le réseau est éclairé par de la lumière blanche intense ; le premier objectif peut être supprimé et on peut suivant la source employée, modifier le condenseur qui doit assurer la formation de l'image conjuguée de la source sur la lentille du système dispersif. E. et J. Rheinberg ont eu l'idée de rendre l'image positive visible sous un angle quelconque en la doublant d'un verre finement dépoli. C'est un dispositif plus simple et beaucoup plus commode que les verres condenseurs qu'on utilisait dans les essais antérieurs et qui fixaient une position unique pour l'œil de l'observateur. La vue

colorée de l'image résulte de la fusion des impressions juxtaposées ; il faut se souvenir que l'image comporte en effet 4 spectres par millimètre et que l'aspect strié peut disparaître à une distance de l'ordre de cinquante centimètres.

Dans l'examen utilisant le retour inverse, on éclaire le positif par une source, avec condenseur disposé contre le positif pour former l'image de la source dans le diaphragme du système dispersif. On reforme ainsi sur les intervalles clairs du réseau l'image en couleurs semblable à celle qui a servi de source pour la formation du négatif. Cette image lignée peut être vue à travers le premier objectif de l'appareil ou avec un oculaire substitué à cet objectif ; mais il faut limiter le grossissement de vision à une valeur qui ne rende pas le ligné trop apparent. Ce mode d'examen est d'ailleurs moins commode que le premier, quoique plus avantageux au point de vue de la luminosité.

Avec ce dispositif d'éclairage pour la marche inverse des rayons, et laissant en place l'objectif de prise de vue, on peut obtenir à l'extérieur une image projetée à un agrandissement quelconque. Il faut un éclairage très intense pour obtenir des projections de l'ordre de 1 mètre de diamètre et la constitution lignée de l'image exige toujours un éloignement relativement grand de l'observateur.

Les épreuves obtenues par les dispositifs Rheinberg ont beaucoup de vivacité de coloration. Il est très remarquable que l'analyse des couleurs puisse être assez précise avec une source dont l'épaisseur atteint le quart de la dimension d'étalement du spectre, et que la plaque photographique traduise assez exactement la loi d'inten-

sité des diverses radiations dans un spectre qui ne s'étale pas sur plus d'un quart de millimètre.

Mais on trouvera dans les autres procédés des détails du même ordre de dimension avec le même succès de réalisation. Cela tient à ce que les couleurs à reproduire en général correspondent à un spectre continu ; des sources à radiations fines et espacées comme les flammes de vapeurs métalliques seraient évidemment très difficilement rendues par une analyse aussi grossière.

Quoique basé sur un principe de fonctionnement exact, le procédé par images spectrales n'a pas dans la pratique une exactitude comparable à celle qu'on peut réaliser avec le procédé interférentiel ; on peut même dire qu'il n'est guère supérieur en ce sens à l'Autochrome actuelle, et par suite de sa complication d'appareillage, si atténuée qu'elle soit dans les dispositifs Rheinberg, ce procédé reste surtout une expérience intéressante de laboratoire.

---

## CHAPITRE IV

### PHOTOGRAPHIE DES COULEURS PAR IMAGES TRICHRAMES

Les procédés basés sur l'hypothèse d'une composition trichrome des sensations colorées ont été l'objet de travaux continus et abondants depuis les premières tentatives de Ducos de Hauron jusqu'à l'apparition de la plaque Autochrome Lumière ; le développement de ces recherches fut surtout en dépendance avec la découverte des substances permettant de rendre le bromure d'argent sensible à l'action des rayons jaunes et rouges. Si la plaque Autochrome éloigne maintenant de ces procédés la généralité des amateurs photographes, leur étude conserve cependant un certain intérêt ; ils forment la base de la reproduction photomécanique des couleurs, et leur principe est susceptible de recevoir certaines applications cinématographiques.

Il convient de séparer d'ailleurs deux points de vue assez différents dans l'ensemble des travaux relatifs à la trichromie. Pour Ducos de Hauron, et bien des chercheurs qui l'ont suivi, la base de l'application trichrome se trouvait dans la possibilité purement technique de réaliser des substances colorées en toutes nuances par mélange de trois couleurs initiales ; nous verrons qu'il est difficile d'appuyer une telle affirmation sur des raisons objectives bien fortes. Ce mélange est, en tout cas, un mécanisme tout à fait distinct de celui qui met en jeu la superposition des sensations colorées ; dans le mélange, on super-

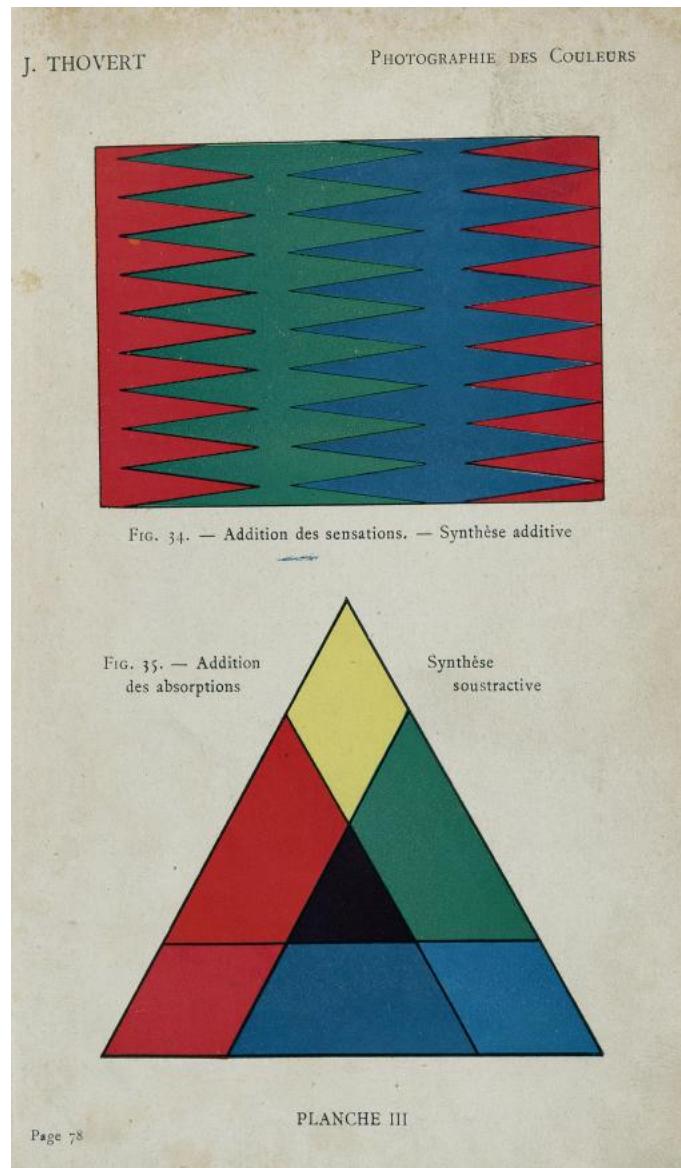
pose les effets *absorbants* des pigments colorés que l'on réunit, de sorte que la synthèse colorée par mélange pigmentaire a été dénommée *soustractive* par opposition avec la synthèse *additive* dans laquelle on ajoute les sensations.

Les figures 34 et 35 (planchette III en couleur) traduiront exactement la distinction entre ces deux procédés de synthèse. Dans la figure 34 on a *juxtaposé* des éléments colorés qui fournissent respectivement les sensations colorées que l'on est d'accord pour considérer fondamentales dans la synthèse additive, soit rouge écarlate, vert et bleu-violet. Par déplacement rapide transversal aux bandes colorées on obtiendra la superposition des sensations en utilisant la persistance des impressions rétiniennes. On réalise mieux encore cette fusion en regardant l'image suffisamment éloignée avec une loupe placée devant l'œil, à une distance égale environ à sa longueur focale ; les divers éléments colorés envoient alors dans l'œil des faisceaux bien superposés. La sensation colorée varie d'une façon continue comme dans un spectre ; les couleurs bleu vert, et jaune orangé sont réalisées par l'addition en proportion variable des sensations bleu et vert, ou vert et rouge.

Par fusion des éléments rouges et bleus juxtaposés dans la partie gauche de la figure on réalise les sensations pourpres et carminées qu'on ne trouve pas dans les radiations spectrales.

La figure 35 montre comment la superposition des absorptions peut conduire à la réalisation des principaux tons colorés.

On adopte en ce cas pour couleurs de base des tons jaunes, bleu clair et carmin. On a dessiné trois triangles, empiétant les uns sur les autres de façon à mon-





sur l'effet de la superposition des absorptions de deux de ces couleurs, et même des trois dans la partie centrale. On voit apparaître ainsi par mélanges binaires les tons rouge, vert et violet ; la superposition des trois absorptions aboutit au noir, alors que la superposition des trois sensations considérées plus haut, aboutirait naturellement à une certaine luminosité, c'est-à-dire au blanc.

### SYNTÈSE ADDITIVE

**Principe général.** — La théorie de Young-Helmholtz, quelle que soit sa valeur physiologique, donne une expression commode du principe de la synthèse additive : trois sensations colorées dites fondamentales peuvent donner par leur addition avec un éclat relatif convenable toute autre sensation colorée. Les expériences de Maxwell rapportées au chapitre premier fournissent les évaluations numériques d'une vérification approchée, et on peut admettre comme *possible* une vérification plus complète par le choix convenable des sensations fondamentales.

Le schéma du procédé de reproduction photographique des couleurs basé sur ce principe comprendra :

1<sup>o</sup> L'analyse de la lumière colorée envoyée par un objet à reproduire, séparant trois actions correspondantes des sensations fondamentales qui pourraient reformer la vision colorée de cet objet. Ces trois actions seront traduites photographiquement par trois épreuves en blanc et noir, dont les transparencies régleront respectivement des intensités lumineuses en rapport avec l'éclat relatif des sensations fondamentales envisagées.

2° La synthèse de la vision colorée qui sera obtenue par une vision simultanée des trois épreuves que l'on fait traverser chacune par une lumière colorée donnant la sensation fondamentale qui lui convient.

**Analyse des sensations colorées.** — En ne considérant que le point de vue subjectif, la décomposition d'une sensation colorée en trois composantes fondamentales serait une recherche tout à fait empirique et devrait comporter une grande indétermination dans la solution.

Si les sensations fondamentales semblent bien devoir être choisies bleu, vert et rouge, si même on les suppose exactement définies comme sensations, en principe elles peuvent être réalisées par des constitutions objectives différentes de la lumière.

Cette indétermination de la constitution objective étant générale pour toute sensation colorée, se retrouvera nécessairement dans la traduction analytique purement subjective.

En fait les couleurs que nous réalisons avec les substances tinctoriales ont une constitution relativement simple par rapport à l'aspect coloré d'un spectre de lumière blanche. Ces substances absorbent généralement une bande plus ou moins large de ces radiations spectrales et transmettent par suite des portions continues du spectre. Il en résulte que les sensations fondamentales ne se réalisent dans la pratique qu'avec des lumières dont la constitution objective se rapproche d'une bande étroite de radiations isolée dans la partie bleue, verte ou rouge d'un spectre.

L'analyse en sensations fondamentales d'une lumière colorée peut alors être basée sur les données expéri-

mentales de Maxwell. Ces expériences font connaître la composition de toute radiation élémentaire d'un spectre de lumière blanche en fonction de trois radiations convenablement choisies dans ce spectre pour représenter les sensations fondamentales. Toute lumière colorée est d'abord, par des mesures spectrophotométriques, analysée en radiations élémentaires d'intensités déterminées ; chacune de ces radiations élémentaires sera ensuite exprimée en fonction des trois radiations fondamentales, et la radiation  $\lambda$ , finalement caractérisée, en tenant compte de son intensité totale par trois valeurs  $b_\lambda$ ,  $v_\lambda$ ,  $r_\lambda$ , exprimant l'intensité des radiations fondamentales qui, par superposition, reproduiraient la radiation simple  $\lambda$  avec sa sensation colorée et son éclat ; la superposition de toutes les composantes en  $b$ ,  $v$ ,  $r$ , des différentes radiations élémentaires doit, semble-t-il, donner le même résultat en éclat et en couleur que la superposition des radiations élémentaires elles-mêmes ; on retrouvera donc par cette superposition de toutes les composantes  $b$ ,  $v$ ,  $r$ , la vision exacte de la lumière analysée.

Remarquons ici que cette traduction objective particulière d'une couleur en sensations fondamentales repose sur le choix d'une unité d'intensité pour chaque radiation spectrale élémentaire.

Les résultats numériques de Maxwell s'entendent en considérant comme valeur unité pour chaque radiation, son intensité propre dans le spectre de la lumière du soleil ; ils sont donc spécialement qualifiés pour l'application à la reproduction des couleurs d'objets sous l'éclairage naturel du jour.

**Traduction photographique de l'analyse trichrome.** — Le but de l'analyse des lumières colorées est de nous fournir trois épreuves permettant de régler les intensités convenables de trois lumières colorées en sensations fondamentales. D'après le détail de l'analyse il faudra par exemple pour la sensation fondamentale rouge, obtenir une épreuve dont la transparence permette en chaque point le passage d'une intensité égale à la somme des composantes  $r$  de toutes les radiations élémentaires existant dans la lumière envoyée par le point considéré de l'objet photographié. On arrive à ce résultat avec un filtre coloré réglant convenablement l'action photographique de la lumière.

Il ne s'agit nullement, comme on l'exprime trop simplement quelquefois, de filtrer dans la lumière dont on veut reproduire la coloration, la partie de sensation rouge qu'elle contient ; cela n'a aucun sens physique ; les composantes élémentaires objectives de la lumière ont seules une action intrinsèque et déterminée, et l'opération serait nécessairement absurde si l'on filtrait de façon à isoler la seule action de la radiation élémentaire rouge adoptée comme sensation fondamentale rouge. Il faut au contraire, en principe, laisser agir toutes les radiations spectrales composant objectivement la lumière à reproduire, mais régler l'action de chacune d'elles de façon qu'elle contribue au résultat final en raison de son intensité propre, et aussi de la proportion relative de sensation rouge qui entre dans sa composition.

Pour préciser l'opération, supposons que nous possérons une émulsion sensible telle que l'action simultanée de toutes les radiations dans le spectre de la lumière du soleil se traduise par une égale opacité après dévelop-

ment ; c'est ce que nous appelons une émulsion isochromatique (voir au chapitre vi) ; supposons de plus que cette émulsion donne une opacité variant proportionnellement à l'intensité de la lumière ; supposons enfin qu'on a réalisé un filtre coloré tel que, après sa traversée, les différentes radiations élémentaires de la lumière du soleil aient leurs intensités relatives réglées suivant les ordonnées de la courbe (fig. 13) traduisant les résultats de Maxwell pour la sensation rouge. Quand on photographiera un objet à la lumière du jour, et à travers ce filtre, toute lumière colorée envoyée par un élément de l'objet va produire une action que l'on peut envisager comme la somme des actions des radiations élémentaires qu'elle contient, mais réglées pour chacune d'elles proportionnellement à l'ordonnée qui lui correspond dans la courbe « rouge » de Maxwell ; cette action est donc la somme d'actions élémentaires correspondant à la composante  $r_\lambda$  de chaque radiation. On aura ainsi un cliché négatif où les opacités sont réglées en chaque point, proportionnelles à la quantité totale de sensation rouge qui entre dans la composition de la lumière colorée issue de ce point. Le résultat cherché sera obtenu en transformant ce négatif en positif, si on réussit à maintenir entre les transparences du positif les rapports des opacités du négatif.

On obtiendrait avec la même émulsion la traduction de la composition en sensation verte, puis bleue, en photographiant à travers des filtres dont la transparence relative pour les radiations élémentaires de la lumière solaire serait réglée par les courbes de Maxwell relatives au vert et au bleu.

Il faut noter ici l'impossibilité d'une réalisation rigou-

reuse du processus qui vient d'être décrit. On a vu que les résultats des expériences de Maxwell, traduits par les courbes de la figure 13, font en général intervenir comme composantes d'une radiation spectrale, seulement deux radiations fondamentales par addition, la troisième venant en décompte, évaluée négativement. Un filtre coloré ne peut pas réaliser cette inversion d'action ; si la loi de

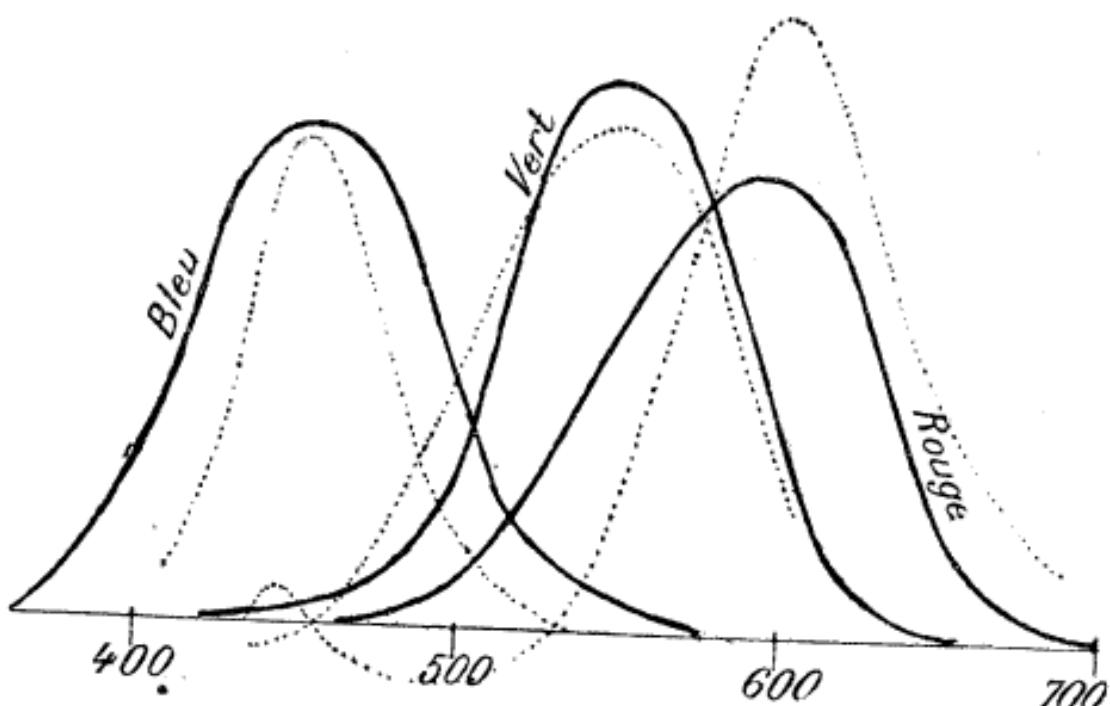


Fig. 36. — Courbes d'analyse trichrone de W. Abney (en pointillé, celles de Maxwell).

transparence suit le tracé complet d'une courbe de Maxwell, il introduira un excès de la sensation correspondante ; par l'action des trois filtres ainsi comprise on aura en définitive apporté à la traduction de chaque radiation un supplément de lumière blanche : les teintes seront lavées de blanc. Mais il convient de remarquer que la partie intraduisible des courbes de Maxwell est d'importance assez faible dans l'ensemble. D'autre part les résul-

tats de Maxwell sont liés à son choix particulier de radiations fondamentales, et à son jugement subjectif de l'identité des colorations. En fait d'autres observateurs ont conclu à un choix différent des couleurs fondamentales et à des valeurs différentes pour leur intervention dans la composition des radiations élémentaires. La figure 36 traduit cette différence en rapprochant des courbes de Maxwell, les résultats donnés par Abney bien plus tard pour traduire la composition trichrome des mêmes radiations spectrales. D'après cela la référence aux courbes de Maxwell, ou à des courbes analogues, a seulement pour but la recherche des conditions générales de l'analyse trichrome ; on ne prétendra aucunement soumettre la réalisation à la vérification numérique concordante avec ces courbes. On a déjà remarqué d'ailleurs qu'une grande rigueur dans l'établissement de la composition subjective des sensations paraît à la fois inutile et impossible.

Il convient aussi de bien remarquer que l'exemple de traduction photographique dont on vient d'exposer le détail met en jeu une émulsion de gélatino-bromure d'argent qualifiée d'une façon particulière. Dans le cas général, les courbes de Maxwell nous servent de guide, non pour juger seulement la constitution des filtres à utiliser dans la sélection des épreuves fondamentales, mais pour juger l'action combinée de ces filtres avec les propriétés de l'émulsion dans son résultat global, qui est la transparence des épreuves finales sélectionnées.

**Sensibilisation chromatique du gélatino-bromure d'argent.** — Le bromure d'argent, constituant essentiel des émulsions photographiques pour négatifs,

semble peu sensible en général à l'action des radiations spectrales vertes, jaunes, ou rouges. Sur les plaques usuelles, un spectre de lumière blanche solaire ne donne pas de traces sensibles au delà de la valeur 520 millimicrons pour les longueurs d'onde ; il marque de plus une action en des régions où rien n'est visible : en deça de la partie violette du spectre, cette action décèle des radiations de plus courtes longueurs d'onde, non visibles, dites *ultra-violettes*, dont l'influence devra être éliminée dans la traduction de la vision colorée, tandis qu'il faudra au contraire pour cette traduction réussir à marquer une action des radiations de longueurs d'onde comprises entre 500 et 700 millimicrons.

Ce dernier résultat s'obtient par une préparation spéciale de l'émulsion ou par une opération que nous décrirons plus loin faite sur les plaques ordinaires pour négatif ; on dit alors que l'émulsion possède une certaine sensibilité chromatique ; les plaques ainsi préparées reçoivent des noms divers rappelant cette propriété, orthochromatiques, panchromatiques etc. Mais quelles que soient leurs qualités, toutes les plaques préparées jusqu'à présent traduisent toujours par une opacité variable l'action simultanée des diverses radiations du spectre de la lumière solaire ; en particulier les radiations ultra-violettes et violettes marquent toujours une action largement prépondérante. En fait, chaque formule de préparation conduit à une émulsion ayant une sensibilité spécifique pour les diverses radiations ; on met cette sensibilité en évidence avec le spectrographe, comme il a été décrit au chapitre premier, en éclairant la fente collimatrice de l'instrument avec la lumière blanche du soleil.

La sensibilisation chromatique s'obtient généralement

par addition d'une matière colorante à l'émulsion. Des substances très diverses peuvent être employées et fournissent des résultats différents. Les figures 37, 38, sont des spectrogrammes traduisant les sensibilités respectives d'une émulsion ordinaire, et d'une bonne émulsion panchromatique du commerce, la plaque Chroma V. R. de la maison Lumière. Les fabricants ne font généralement pas connaître la nature des substances sensibilisatrices qu'ils emploient, mais nous avons cité déjà quelques colorants susceptibles d'être utilisés à l'occasion de la préparation des plaques spéciales pour le procédé interférentiel. Les

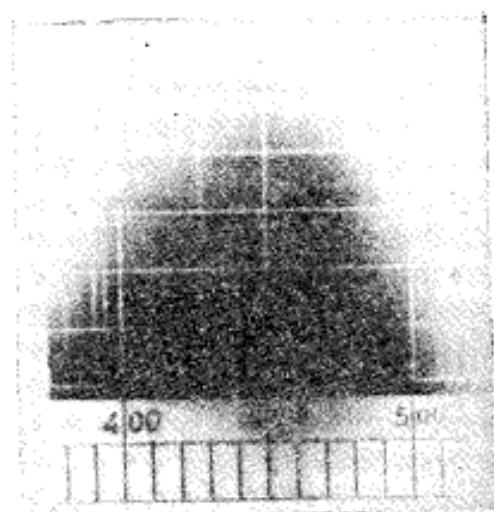


Fig. 37. — Sensibilité d'une plaque ordinaire (Lumière, étiqu. bleue).

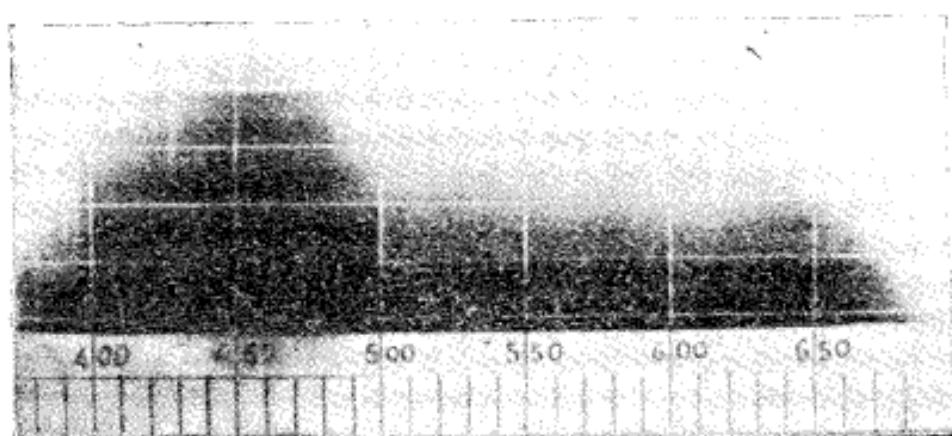


Fig. 38. — Sensibilité panchromatique (Lumière, Chroma V. R.).

recherches d'ailleurs ininterrompues dans cet ordre de faits ont fait connaître des substances donnant des sensibilisations de plus en plus intenses et aussi plus généra-

lisées sur l'ensemble du spectre. La figure 39<sup>1</sup> donne le spectrogramme de sensibilité de l'émulsion des excellentes plaques S. E. de la maison Lumière ; on y voit la sensibilisation réalisée pour les radiations vertes et jaunes, avec une intensité très grande : la fabrication de ce type d'émulsion s'est beaucoup développé en ces dernières années.

Au lieu d'ajouter les matières colorantes sensibilisatrices à l'émulsion au moment de la fabrication des

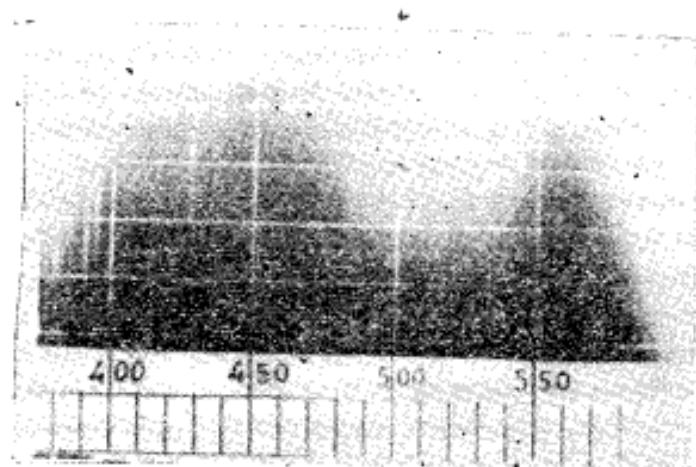


Fig. 39. — Sensibilité intense localisée (Lumière, S. E.).

plaques, on peut procéder à cette adjonction par une immersion des plaques sèches, recouvertes d'une émulsion ordinaire, dans une solution très diluée de la matière colorante. Ce mode de sensibilisation a l'avantage de conduire

<sup>1</sup> Tous les spectrogrammes reproduits ici sont pris en lumière directe du soleil sans interposition d'aucun filtre afin de traduire complètement l'action de la lumière du jour qui intéresse le photographe ; leur aspect diffère ainsi notablement des indications données par les fabricants lorsqu'ils veulent signaler la sensibilité spécialement chromatique, mais il nous paraît particulièrement utile de montrer aux amateurs toute l'importance de l'action des radiations violettes de la lumière du jour non filtrée.

généralement à une sensibilisation beaucoup plus intense que par addition du colorant au moment de la préparation de l'émulsion.

La figure 40 montre le spectrogramme de sensibilité obtenue sur l'émulsion ordinaire étiquette bleue Lumière, imprégnée dans une solution de Pantochrome Lumière. On peut y comparer la sensibilisation généralisée ainsi produite à celle indiquée par la figure 38 pour entrevoir

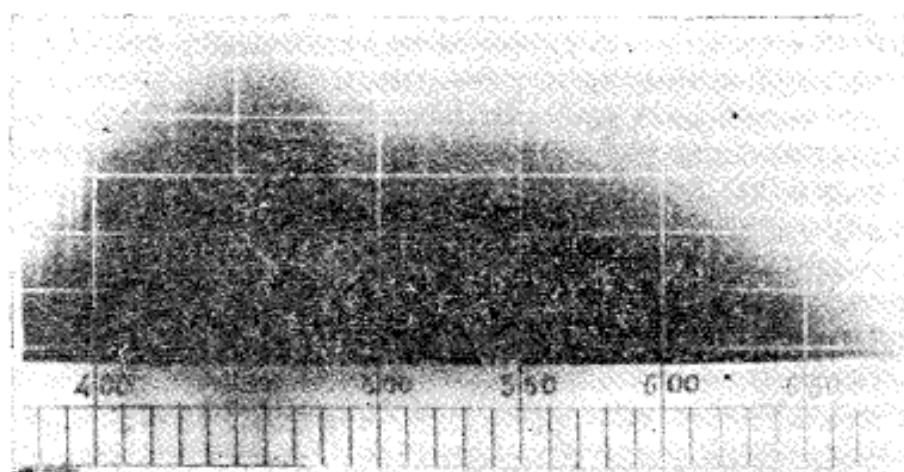


Fig. 40. — Sensibilisation au trempé (Lumière, étiquette bleue, imprégnée au Pantochrome Lumière).

immédiatement le bénéfice qu'on peut retirer de ce procédé de sensibilisation.

Il est à remarquer que dans cette sensibilisation par immersion, on ne fait en général que déplacer la sensibilité des radiations violettes au bénéfice des radiations de plus grande longueur d'onde : la sensibilité de l'émulsion à la lumière totale varie peu.

La pratique de cette sensibilisation demande quelques précautions, mais est cependant accessible facilement à tout amateur photographe. La forme suivante est applicable à toutes les espèces de colorants.

On utilise des solutions aqueuses <sup>1</sup> de la substance colorante ; celle-ci est conservée en solution alcoolique au  $\frac{1}{1000}$  par exemple ; on obtiendra la solution sensibilisatrice en ajoutant 2 centimètres cubes de cette solution à un litre d'eau ; il peut y avoir avantage à employer l'eau ordinaire de préférence à l'eau distillée, et il est utile en tout cas d'ajouter quelques gouttes d'ammoniaque pour éliminer toute trace d'acidité qui serait destructive de certains colorants. La solution aqueuse très diluée ainsi préparée remplira une cuvette à rainures verticales, avec robinet d'écoulement par le bas ; les plaques à sensibiliser y seront plongées dressées dans les rainures ; la cuvette sera fermée par un couvercle recouvrant les bords, et on laissera l'imprégnation se poursuivre une demi-heure et même une heure. On laissera alors écouler lentement le liquide et égoutter les plaques ; puis, à l'obscurité, on les enfermera dans un séchoir. Ce séchoir peut être simplement une caisse avec couvercle bien étanche à la lumière ; les plaques sont adossées aux parois, et dans le milieu on installe une cuvette plate en verre ou en porcelaine contenant une substance desséchante, chlorure de calcium ou acide sulfurique concentré.

Avec ce mode opératoire la sensibilisation est aussi intense que par l'emploi de solutions colorantes dix fois plus concentrées et même additionnées d'ammoniaque

<sup>1</sup> Certains colorants sensibilisateurs (tels les pinacyanols) semblent assez peu solubles dans l'eau pour qu'il y ait intérêt à constituer la solution d'imprégnation par un mélange d'eau et d'alcool, lorsqu'on utilise des concentrations en colorants de l'ordre du  $\frac{1}{100\,000}$ .

comme certaines formules l'ont recommandé ; on y gagne la suppression d'un rinçage nécessaire quand la couche a été trop fortement colorée, et la simplification des manipulations ne diminue en rien la conservation des plaques. Cette conservation est en effet assez précaire à la suite de la sensibilisation par immersion, et c'est un inconvénient qui empêche sans doute la généralisation commerciale de ce procédé.

Parmi les substances colorantes employées utilement pour obtenir une sensibilisation généralisée sur toute l'étendue du spectre, on notera ici, comme la mieux adaptée présentement au problème de la reproduction colorée, le *pantochrome* de la maison Lumière ; il donne une sensibilisation régulière et suffisamment étendue comme le montre la figure 40, avec une très faible coloration de l'émulsion et la conservation des plaques sensibilisées paraît excellente.

La fabrique de matières colorantes de Hoechst qui a réalisé de nombreux colorants sensibilisateurs, orthochrome, pinachrome, pinaverdol, pinacyanol, livre également de nouvelles matières, pinachrome bleu, ou pinachrome violet, qui permettent en tout cas par un mélange convenable, de réaliser une sensibilisation très égale pour toutes les radiations jusqu'à l'extrême rouge ; mais pour le but que nous envisageons, une sensibilité comme celle du pantochrome Lumière ou de l'ancien pinachrome de Hoechst paraît suffisante.

**Composition des filtres sélecteurs.** — Ayant adopté une plaque dont l'émulsion est caractérisée par une certaine sensibilité chromatique, pour traduire avec cette émulsion une analyse trichrome, il faudra prendre trois

clichés à travers des filtres réglant l'action finale de chaque radiation d'après son ordonnée dans les courbes de Maxwell correspondant aux trois sensations fondamentales. Cela revient à réaliser des filtres tels que le spectre de la lumière blanche, après les avoir traversés, marquera son action sur la plaque par un noircissement proportionnel à ces ordonnées. La composition d'un filtre dépend donc en principe de la loi de sensibilisation de l'émulsion. Elle est par suite difficile à formuler. Cependant on peut indiquer des compositions appropriées aux sensibilisations généralisées comme celles données par le pina-chrome ou le pantochrome Lumière.

La fabrique de Höchst recommandait par exemple les doses suivantes de matières colorantes pour établir les trois filtres sélecteurs.

Filtre bleu . . . .	{	Violet cristallisé . . . .	0 gr. 015
		Bleu méthylène . . . .	0 gr. 005
Filet vert . . . .	{	Tartrazine . . . .	0 gr. 02
		Bleu carmin . . . .	0 gr. 003
Filtre rouge . . . .	{	Tartrazine . . . .	0 gr. 015
		Rose bengale . . . .	0 gr. 015

Ces doses de colorants s'entendent réparties sur une surface de filtre de un décimètre carré. Ces filtres ont une coloration intense et leurs transparencies respectives chevauchent très peu. Leur action filtrante se traduit avec une émulsion isochromatique comme par les spectrogrammes de la figure 41 extraits du catalogue des filtres Wratten pour la sélection trichrome. La référence aux courbes de Maxwell pour la réalisation de l'analyse tri-

chrome semblerait justifier une filtration des radiations traduisant des actions plus étendues. En fait nous avons pu obtenir de bons effets de reproduction colorée par syn-

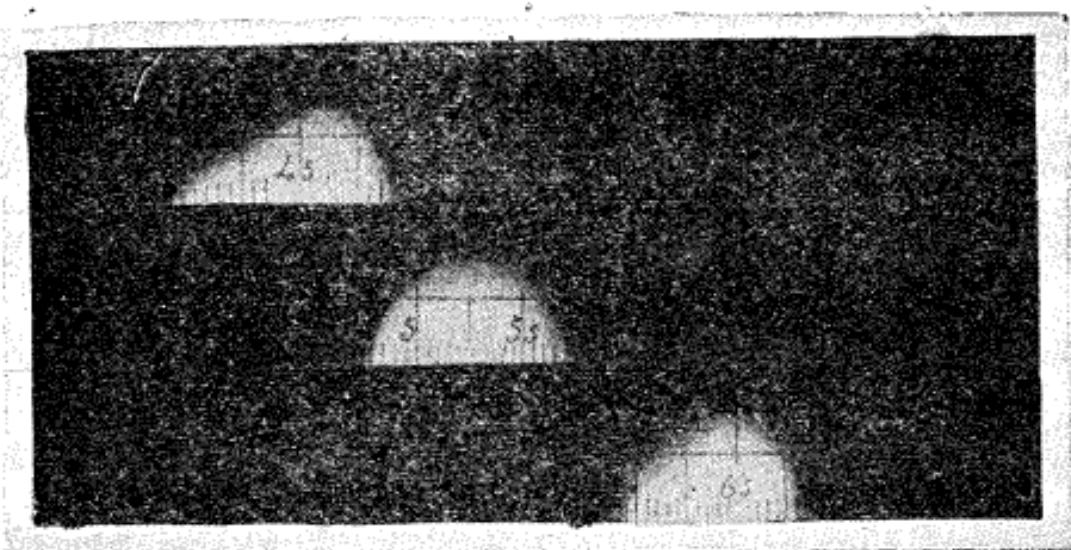


Fig. 41. — Filtres sélecteurs Wratton et Vainwright pour analyse trichrome.

thèse additive en utilisant des filtres dosés comme suit par décimètre carré d'écran.

Filtre bleu . . . .	{	Violet cristallisé . . . .	0 gr. 006
		Bleu méthylène . . . .	0 gr. 002
Filtre vert . . . .	{	Tartrazine . . . .	0 gr. 005
		Bleu carmin . . . .	0 gr. 001
Filtre rouge . . . .	{	Tartrazine . . . .	0 gr. 01
		Eosine . . . .	0 gr. 002
		Rose bengale . . . .	0 gr. 002

La coloration de ces filtres est beaucoup moins intense que celle des précédents et leur action filtrante traduite par les spectrogrammes de la figure 42 laisse place à un

assez large chevauchement des actions photographiques dans les trois clichés sélectionnés.

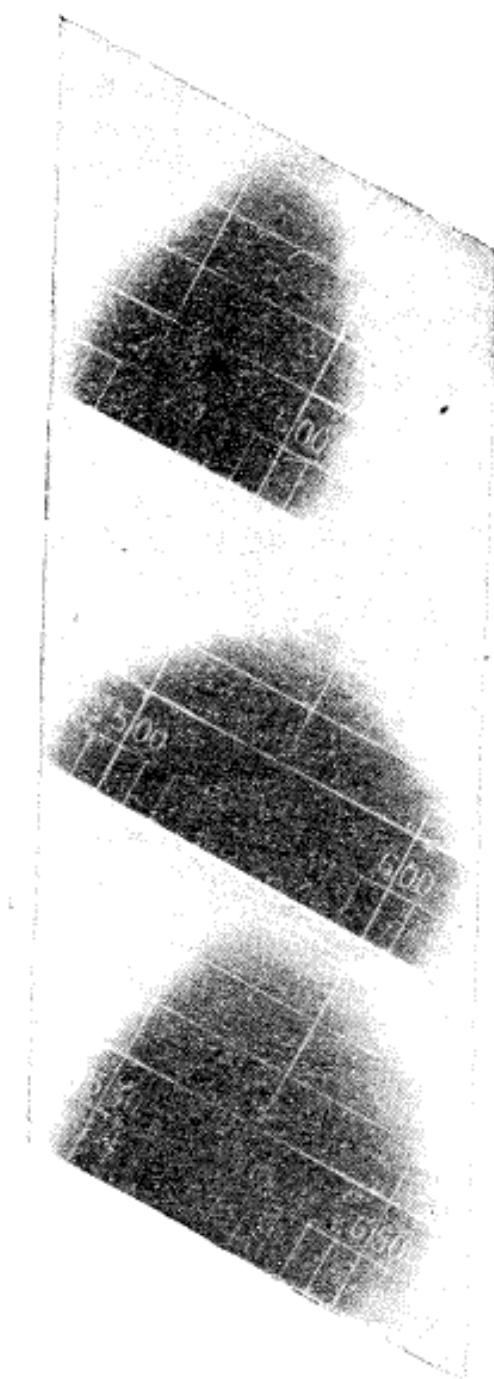


Fig. 42. — Filtres sélecteurs légers.

vent satisfait<sup>sante</sup> en employant la *glace* mince de miroitier, désargentée. En aucun cas le verre des plaques photographiques même choisies, n'est acceptable.

**Préparation des filtres colorés.** — On peut réaliser le filtre coloré avec une solution aqueuse convenablement dosée contenue dans une cuve de verre à faces parallèles, maintenue en avant de l'objectif. C'est un dispositif incommode pour l'amateur et limité en tout cas aux travaux d'intérieur. En général on utilise les filtres en gélatine coulée sur plaque de verre. Si le filtre est placé contre l'émulsion, le verre qui supporte la couche colorée n'a pas besoin de qualités optiques spéciales en dehors de la clarté.

Si le filtre doit être placé au voisinage de l'objectif il faut l'établir avec des glaces suffisamment planes et parallèles. La précision de la photographie sera d'ailleurs sou-

Bien que les filtres très variés se trouvent dans le commerce on peut-être conduire à en établir soi-même. Le mode de préparation est assez simple. On fait une solution de gélatine à 8 ou 10 % filtrée sur coton de verre et additionnée de la dose de colorants, calculée à raison de 5 centimètres de solution gélatineuse par décimètre carré. Ces colorants sont naturellement pris dans des solutions de réserve de ces mêmes colorants, les doses étant trop faibles pour être pesées directement, s'il s'agit seulement d'une faible quantité de solution de gélatine.

Les glaces sont maintenues horizontales et on y coule la solution de gélatine tiède (à 40 degrés) en quantité voulue. On laisse sécher à l'abri de la poussière. Ensuite on double l'écran d'une glace en interposant un peu de beaume de Canada à peine liquéfié dans du chloroforme<sup>1</sup>.

Pour les filtres à placer contre l'émulsion on conseille quelquefois de teindre simplement des plaques photographiques, dont le bromure a été enlevé par un bain d'hyposulfite, en les plongeant dans les solutions de colorants assez concentrés; mais il n'est guère possible de régler ainsi d'une façon à peu près exacte une absorption voulue, le résultat restera grossièrement approché.

**Appareillage pour la prise des vues sélectionnées.** — Pour faire à l'atelier les clichés sélectionnés d'objets immobiles, on se sert simplement d'une chambre

<sup>1</sup> Cette préparation simple ne convient d'ailleurs que pour la photographie courante d'amateurs. Dans l'établissement des clichés pour reproductions photomécaniques, le maintien de la qualité optique des objectifs nécessite l'emploi de filtres travaillés optiquement. (Voir Reproductions photomécaniques polychromes (L. P. CLERC, *loc. cit.*).

ordinaire, qui aura reçu le dispositif nécessaire à l'installation des filtres sélecteurs colorés. Ces filtres sont généralement en avant de l'objectif et l'on peut imaginer aisément un support facilitant l'échange rapide des filtres.

Quand on emploie des filtres en feuille de gélatine mince on les installe dans les châssis avec la plaque négative au contact même de l'émulsion. L'ajustement préalable des filtres colorés à l'émulsion employée peut réaliser des courbes de sensibilité telles que la durée de pose derrière les trois filtres soit la même. C'est le cas par exemple pour les filtres et l'émulsion qui ont donné les courbes de la figure 42. Mais si l'ajustement est moins bon, quand on emploie par exemple les plaques sensibilisées par addition de matières colorantes dans l'émulsion qui gardent une sensibilité toujours bien plus grande dans le violet, il faudra compenser dans la prise des clichés les inégalités de sensibilité par des différences dans les durées de pose.

Même avec des plaques de sensibilité chromatique forte, l'emploi des écrans sélecteurs très colorés et sans chevauchement des courbes nécessite une durée d'exposition moindre pour le cliché violet; elle se règle dans le rapport de 1 à 2 en passant du négatif violet aux négatifs vert et rouge. On ne donnera pas de chiffres absolus quant à ces durées de pose puisqu'elles sont réglées essentiellement par deux éléments très variables : émulsion et filtres. La pose doit en tout cas être *normale* c'est-à-dire que pour la meilleure utilisation de la sélection on doit obtenir un négatif qui, développé pendant une durée normale, donnera l'ensemble des détails de l'objet à photographier dans une opacité moyenne.

Lorsqu'il s'agit de photographier des objets mobiles,

ce sera le cas de la plupart des prises de vue à l'extérieur, l'emploi de la chambre simple n'est plus suffisant pour exécuter assez rapidement la prise des 3 négatifs sélectionnés. Même en agençant dans des chambres à magasin un échange rapide des plaques et des écrans, on ne réussira que difficilement à retrouver l'identité des dessins d'un personnage ou d'arbres agités par le vent, sur les trois prototypes. On a donc imaginé d'assez nombreux dispositifs pour la prise simultanée des 3 clichés et l'intérêt de ces dispositifs réside dans le fait qu'ils sont souvent réversibles, c'est-à-dire utilisables à la restitution de la couleur par l'addition des sensations colorées. On peut dire qu'ils sont souvent à la fois chromographes puis chromoscopes.

Les dispositifs utilisent pour la plupart des réflexions partielles du faisceau lumineux issu d'un objectif unique ; la difficulté principale de réalisation est dans l'égalisation des images et des chemins optiques depuis l'objectif jusqu'aux plaques.

Voici quelques dessins schématiques qui montrent immédiatement les artifices variés utilisables pour résoudre ce problème de la prise simultanée des vues.

La figure 43 représente un chromographe de Zink, qui traduit simplement les principes énoncés initialement par Cros et Ducos de Hauron. O est un objectif, au delà 2 glaces transparentes, A et B, puis un miroir C, renvoient une partie du faisceau lumineux dans une direction rectangulaire et servent à constituer 3 images dans des plans différents, R, V, G.

On placera en ces positions les châssis négatifs les filtres de sélection seront installés immédiatement avant les plaques.

Dans la figure 44 on voit le faisceau d'un seul objectif, repris partiellement encore dans 3 groupes de réflexions

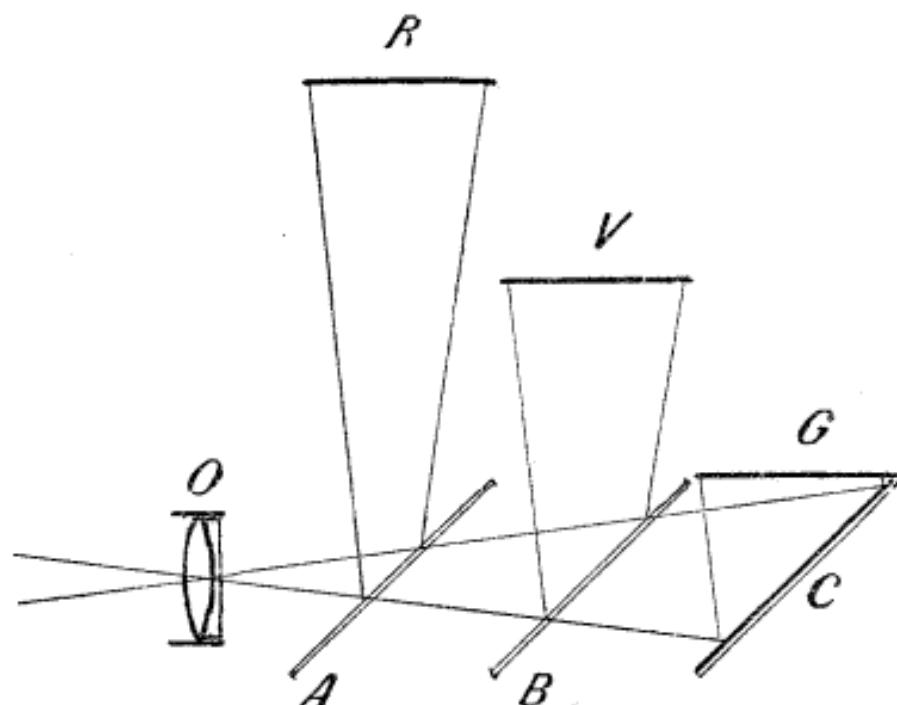


Fig. 43. — Chromographie de Zink.

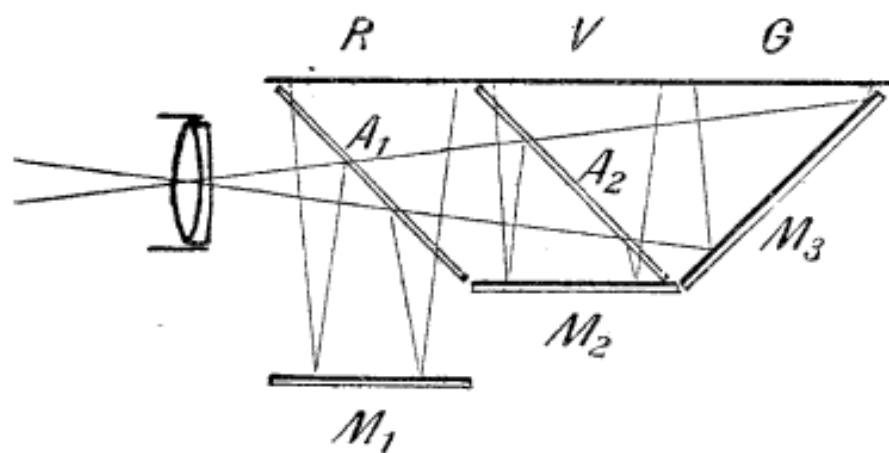


Fig. 44. — Dispositif de Ducos de Hauron.

pour former 3 images dans un seul plan, ce qui permet l'usage d'une plaque négative unique. Ce système a été

construit par Ducos de Hauron; les glaces  $A_1$ ,  $A_2$ , sont transparentes les miroirs  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  sont argentés. Les filtres colorés sont installés encore en avant de l'émulsion sensible.

Les réflexions partielles peuvent être réalisées sous une forme sélective quant à la coloration.

Le schéma de la figure 45 donné par Nachet-Geisler, comprend un petit miroir argenté  $m$  renvoyant un tiers du faisceau issu de l'objectif  $O$  sur une plaque  $V$  pourvu de

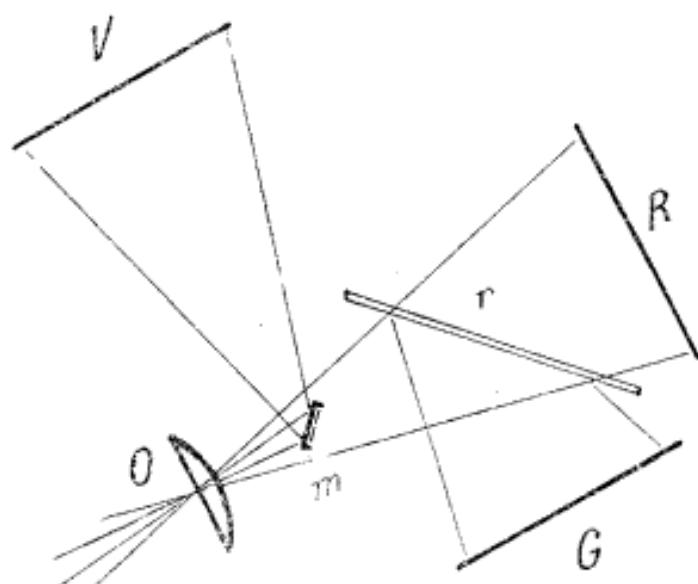


Fig. 45. — Dispositif de Nachet-Geisler.

son filtre vert; le reste du faisceau rencontre une glace  $r$  recouverte d'une couche rouge orange qui servira de filtre transparent pour ces rayons rouges et de système réflecteur pour les rayons bleus qui viendront former leur image sur la plaque  $G$  (accompagnée d'ailleurs de son filtre; la plaque  $R$  au contraire n'aura pas besoin de filtre supplémentaire).

Le dispositif imaginé par E. Ives sous le nom de Tripack était particulièrement simple en vue de l'utilisation d'un

seul objectif. Un bloc de 3 plaques ; l'une *G* sensible au bleu seulement, l'autre *V* sensible spécialement au vert et la dernière *R* au rouge. Dans un appareil disposé conve-

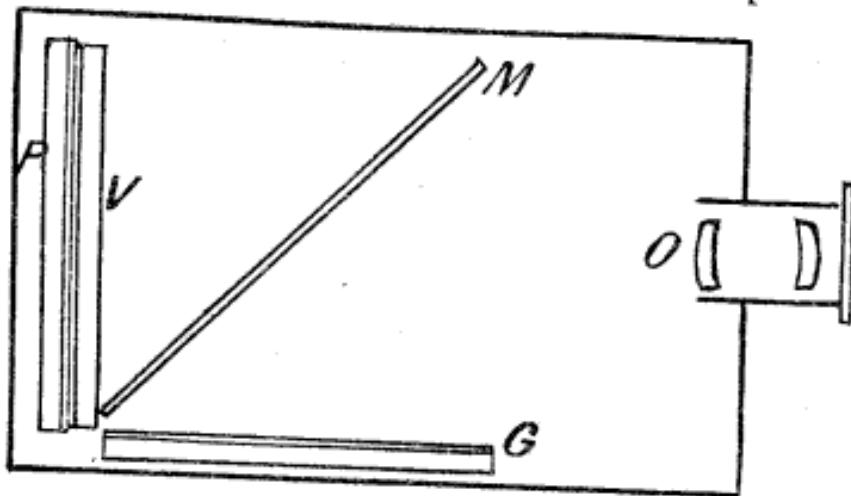


Fig. 46. — Dispositif tripack de F. Ives.

nablement, ce bloc, après introduction, se décomposait en deux parties comme le montre la figure 46 et une glace

*R V G* transparente ou formant écran jaune se plaçait en *M* pour renvoyer une partie des rayons sur la plaque *G*. D'ailleurs le dispositif fut encore bien plus simplifié en plaçant comme le montre la figure 47, l'émulsion sensible au vert sur un support pelliculaire d'épaisseur négligeable. Les 3 surfaces sensibles se trouvaient réunies dans un intervalle assez faible pour que l'impression photographique put-être reçue directement par l'ensemble du bloc comme une plaque unique.

Fig. 47.  
Bloc tripack  
de F. Ives.

L'emploi des réflexions sur glaces transparentes, même recouvertes de couches colorées, est assez souvent troublé par la formation des images doubles provenant de réflexions sur

PHOTOGRAPHIE DE  
les deux faces de la lame. Il semble qu'il y aurait avantage à employer 3 objectifs pour obtenir les images simultanées. Mais on se heurte en ce cas à une autre cause de trouble.

cause de trouble. Les vues données par des objectifs distincts de sujets comportant une certaine profondeur de champ marquent un effet stéréoscopique. La profondeur amène une

La variation de parallaxe avec la profondeur amène une distance variable entre les points homologues des deux images, autrement dit ces images ne sont pas identiques quant au dessin ; elles ne peuvent plus alors être superposées.

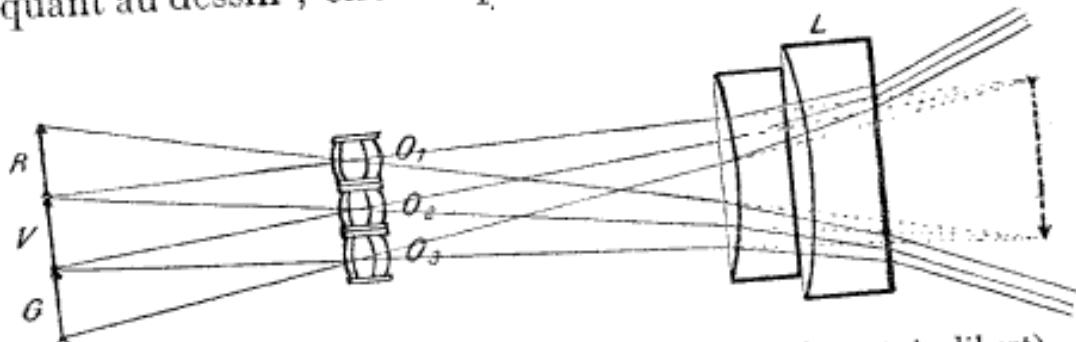


Fig. 48. — Objectif triple à parallaxe réduite (Berthon et Audibert).

sées dans un même plan, ni pour la vision oculaire ni pour la projection.

Cet inconvénient a été surmonté dans divers dispositifs. W. Abney indiquait une chambre noire avec 3 objectifs contigus, les images étant séparées par des réflexions appropriées; Ducos de Hauron n'emploie les 3 objectifs qu'après séparation, en 3 parties du faisceau incident par des réflexions sur glaces transparentes.

Lorsqu'il s'agit d'obtenir de petites images, pour la cinématographie par exemple, les 3 objectifs peuvent être de très petites dimensions et très rapprochés, ne donnant lieu qu'à de faibles parallaxes stéréoscopiques.

On réduit encore la parallaxe en employant le système objectif Berthon-Audibert (fig. 48); il comprend un premier élément négatif L de grande ouverture à court foyer, qui peut-être envisagé comme générateur d'une image virtuelle de l'espace antérieur, image presque sans épaisseur; à la suite 3 objectifs contigus  $o_1 o_2 o_3$  reprennent la lumière issue de la négative L, et forment 3 images distinctes R, V, G, mais dans lesquelles l'identité de dessin sera réalisée puisque l'image du système antérieur qu'elles reproduisent ne comporte pas d'épaisseur sensible.

**Synthèse des couleurs par addition.** — Quand on a obtenu les 3 clichés sélectionnés qui doivent en principe avoir des opacités proportionnelles aux intensités des composantes fondamentales, on tire par contact 3 épreuves positives dans lesquelles les transparences seront proportionnelles à ces composantes. La réalisation de la synthèse additive consiste à faire traverser ces diapositives par des lumières colorées dans le ton convenable et d'intensités réglées pour que la superposition des 3 lumières dans leur pleine intensité donne le blanc; les faisceaux seront superposés par un système optique formant une image commune avec les 3 dessins des épreuves positives.

Cette superposition peut être réalisée par projection sur un écran, ou dans le champ visuel.

Dans le champ visuel le résultat cherché s'obtient avec des appareils à prise de vue utilisant un objectif unique qui servira d'oculaire dans la nouvelle application. Les diapositives prendront la place des négatives; les écrans de sélection seront remplacés par de nouveaux filtres co-

lorés donnant chacun à la lumière de synthèse la tonalité fondamentale convenable. Ces tons fondamentaux pour la synthèse ne s'obtiennent que par une coloration très intense et les filtres ne comportent qu'une luminosité assez faible ; les épreuves doivent donc recevoir la lumière du jour, ou de l'arc électrique.

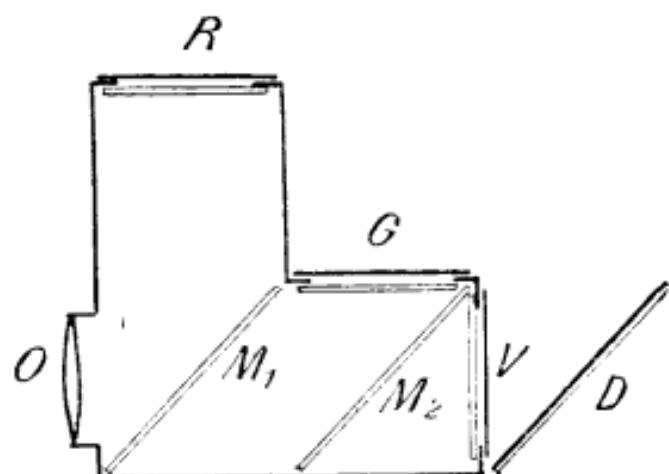


Fig. 49. — Chromoscope actuel.

En dehors des appareils réversibles on a surtout imaginé des dispositifs de superposition pour clichés séparés ; ces dispositifs diffèrent peu les uns des autres ; nous résumons ici une des plus récentes descriptions due à König (fig. 49).

**Chromoscope.** — Les 3 clichés R, V, G, sont disposées sur 3 gradins et sur le fond d'une caisse pourvue d'un oculaire O, et de miroirs colorés transparents, M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>. Des filtres colorés en rouge vert et indigo ferment les ouvertures sur lesquelles sont placées les clichées, R, V, G. En D un miroir argenté ou un simple écran blanc renvoie la lumière du jour à travers le positif V. M<sub>1</sub> est une glace recouverte d'une couche de gélatine colorée au

bleu carmin, transparente par conséquent aux rayons verts et indigo ; la vision utilise la réflexion des rayons rouges qui ont traversé R. La glace  $M_2$  est recouverte d'une couche de gélatine colorée par un mélange de tartrazine, bleu carmin et vert naphtol ; elle est traversée par les rayons verts qui doivent fournir la coloration de V, et elle réfléchit les rayons indigo qui proviennent de l'image G.

Les distances sont réglées pour que les trois images soient vues au point à travers O et superposées dans un même plan. Cette superposition des dessins est d'ailleurs une chose délicate à réaliser et qui rend pénible l'emploi de ces appareils de synthèse.

Quant à la bonne qualité de la couleur obtenue par addition elle dépend d'un réglage par tâtonnements de l'intensité de la lumière et des colorations d'écrans traversés. On s'efforce généralement d'obtenir un champ blanc quand on regarde à travers l'oculaire O sans mettre aucune diapositive en place.

Les écrans filtres sont fabriqués avec les mélanges colorants indiqués pour la préparation des filtres de sélection non chevauchant ; seule la glace M, ne comporte qu'une coloration bleu clair obtenue avec le bleu carmin seul. Il ne paraît pas utile de citer de chiffres de dosage pour ces couches colorées ; comme on l'a déjà dit la teinte doit en être très intense, mais il faudra procéder par des tâtonnements et au moment de l'examen user de dispositifs propres à régler les éclairements relatifs des trois clichés pour assurer une reproduction convenable de la couleur.

Ce genre de superposition dans le champ visuel se prête bien à l'examen d'épreuves stéréoscopiques à travers un

système binoculaire et on peut obtenir ainsi des aspects colorés très brillants.

**Addition de deux couleurs sur vue stéréoscopique.** — Signalons en passant un procédé de synthèse, de pratique très simple, qui a été suggéré par de nombreux auteurs. Les 2 clichés d'une même vue stéréoscopique peuvent facilement être simultanément sélectionnés l'un à travers un filtre rouge, l'autre à travers un filtre vert. Lors de l'examen du positif au stéréoscope si on interpose devant les oculaires correspondants des filtres donnant des tons colorés intenses, on perçoit un effet résultant coloré qui en certains cas n'est pas dénué d'intérêt. Il va sans dire qu'on ne peut prétendre à l'exactitude ; il manque une sensation pour la réussite d'une synthèse générale. La coloration paraît toujours un peu faible, et la sensation ne paraît pas fixée. C'est que dans ce mode opératoire on additionne des sensations reçues indépendamment par chacun des yeux, et cette addition ne réalise pas à beaucoup près l'effet de la superposition des mêmes lumières colorées sur les mêmes points d'une seule rétine.

Il s'agit en définitive d'un effet physiologique de mécanisme tout différent et il faut plutôt s'étonner de percevoir un résultat coloré déjà sensible.

**Synthèse par projection.** — Les dispositions pour réaliser l'addition par projection ne semblent pas comporter de grandes complications de principe ; 3 objectifs de projections placés respectivement en avant de chaque image peuvent toujours être facilement réglés pour fournir une image unique de superposition : il suffit que les

3 images initiales soient semblables au sens géométrique. On sait que le premier essai de cette expérience fut fait par Maxwell qui n'avait d'ailleurs pas à sa disposition les moyens de faire des clichés correctement sélectionnés et ne put par conséquent obtenir qu'un résultat peu rigoureux. Lippmann en 1886 établit un appareil reversible, chambre à trois objectifs, se prêtant à une projection facile et qui se retrouve dans les dispositifs préconisés actuellement pour l'application cinématographique. Une difficulté particulière se présente pour l'éclairage des trois épreuves à projeter simultanément lorsque ces épreuves sont de grandes dimensions ; on y arrive sans employer 3 sources et 3 condenseurs — c'est-à-dire avec une lanterne ordinaire à condenseur unique — à condition d'interposer entre le condenseur et les diapositives un système de glaces transparentes et colorées divisant et répartissant une portion de la lumière sur chacune des épreuves. La disposition est d'ailleurs embarrassante, et d'une façon générale le réglage de superposition de 3 clichés, bien que toujours possible, est une chose trop délicate pour se prêter à un emploi courant de la projection de 3 clichés séparés ; les seules applications de projection trichrome sont à l'heure actuelle celles tentées pour la projection cinématographique en couleurs.

**Cinématographie trichrome.** — On a signalé déjà que pour les petites images cinématographiques le dispositif de prise à trois objectifs contigus était admissible sans qu'il résulte trop de gène de la parallaxe ; d'ailleurs le système optique Berthon Audibert annule pratiquement cette difficulté. Ces dispositifs sont naturellement

réversibles en vue de la projection ; mais il n'est pas nécessaire de s'en tenir à la réversibilité rigoureuse. On peut utiliser une optique de projection semblable à celle de prise sans être identique. Il y a intérêt en tout cas à se servir des 3 objectifs pour obtenir d'abord une image de superposition à courte distance, qu'on agrandit ensuite à loisir par un élément postérieur convergent ou divergent comme dans le système Berthon-Audibert.

La réversibilité des systèmes optiques ne joue pas dans la réalité un rôle essentiel par suite des variations de dimensions du film au cours des manipulations ; il faut s'estimer heureux si les images dans leur déformation, restent géométriquement semblables. Même si la réversibilité doit être utilisée, il faudrait noter que les appareils distincts employés pour la prise des vues ne peuvent pas facilement être ajustés pour donner des systèmes d'images parfaitement et également superposables devant un système optique de projection fixé pour l'un de ces groupes d'image. Il semble donc difficile de se passer des éléments de réglage de la superposition des images à la projection et c'est là une manipulation gênante et délicate, même si on l'assure comme l'a fait Gaumont par une commande à distance très ingénieuse.

On a suggéré, pour simplifier le problème, de réduire la synthèse colorée à la superposition des deux tons principaux, vert et rouge (système Smith) ; mais si le résultat peut être intéressant comme produisant de la couleur, il ne peut avoir en aucune façon la prétention de reproduire des couleurs réelles : le déficit du 3<sup>e</sup> ton fondamental est toujours très sensible et irréparable.

Le mécanisme du cinématographe se prête aussi facilement à l'addition des sensations par persistance des

impressions lumineuses. On a proposé ainsi la sélection et la projection successive des vues dans les différents tons. Il y a toutefois une difficulté de réalisation dans le manque de sensibilité des émulsions qui ne permettent guère des prises de cliché avec plus de rapidité qu'on ne le pratique usuellement en cinématographie. Or pour la superposition des impressions colorées successives, il faudrait que les 3 tons se succèdent dans l'ordre de durée de la persistance de l'impression rétinienne, soit  $1/10$  de seconde, ce qui ne donnerait que  $1/30$  pour la projection et l'escamotage de chaque image. Il paraît difficile, au point de vue purement photographique, de faire actuellement de la prise de vue avec les poses de l'ordre du  $1/100$  de seconde, en travail courant : les conditions d'éclairage pour réaliser ces courtes poses sont très exceptionnelles. Toutefois les progrès dans la sensibilisation peuvent donner quelque avenir à ce procédé qui semble optiquement et mécaniquement le plus simple ; il faut remarquer cependant qu'en tout cas, les images successives d'objets en mouvement ne sont pas rigoureusement superposables, et qu'il en résulte une difficulté de perception nette lorsqu'elles sont projetées en couleurs différentes.

Les spécifications récentes de brevets relatifs à la cinématographie paraissent dirigées vers un système mixte de projection, simultanée pour deux couleurs complémentaires, et successive pour des groupes différemment constitués. La reproduction colorée utilise alors au moins 4 couleurs, et le procédé dépend plutôt d'une reproduction d'analyse spectrale arbitraire que de l'addition des sensations trichromes. Les réalisations sont d'ailleurs peu nombreuses encore et conditionnées sans doute toujours

par des difficultés mécaniques de superposition des images.

**Expériences de Wood, Ives.** — La synthèse additive repose en principe sur les effets physiologiques d'addition de 3 sensations fondamentales. On a essayé de fixer la nature de ces sensations par le choix de la couleur d'une radiation spectrale, mais ce n'est qu'un moyen de repérage commode de cette sensation dont la constitution objective devrait être arbitraire. Cependant la pratique de la superposition trichrome conduit à choisir pour l'addition synthétique des filtres colorants qui sont presque monochromatiques.

Dans le but de fixer régulièrement une radiation presque simple comme sensation fondamentale, Wood a eu l'idée de transformer chaque image sélectionnée en un réseau capable de fournir un spectre étalé dans l'emplacement où doit se placer l'œil de l'observateur, le réglage amenant d'ailleurs dans l'œil la couleur correspondante à cette image. On évite un triple dispositif optique, par l'arrangement suivant indiqué par Ives. Les diapositives à réseaux se font sur une même plaque recouverte de gélatine sensibilisée, contre laquelle est appuyé un réseau au  $\frac{1}{100}$  de millimètre et par dessus une glace comportant

une trame au  $\frac{1}{10}$  de millimètre, dont les espaces noirs sont doubles des intervalles clairs. Chaque cliché négatif est projeté sur cet assemblage, en déplaçant la trame de la largeur d'un intervalle clair quand on change de négatif ; en même temps à chaque changement on fait tourner le réseau d'un angle convenable. On réalise ainsi sur géla-

tine bichromatée une image composite lignée, résultat de la juxtaposition d'éléments contigus des 3 clichés sélectionnés ; ces 3 images sont constituées par des réseaux dispersifs, d'orientation variable. Le dessin est à peu près invisible. Si on place ce système de réseaux contre une lentille L (fig. 50), recevant la lumière d'une fente A, on a l'image blanche de la fente en B sur l'axe, et sur le côté, des spectres provenant de la dispersion des réseaux. En un point tel que A' on recevra simultanément le rouge d'un réseau dont les traits sont parallèles à A, le vert d'un second réseau dont les traits seraient inclinés sur A et enfin l'indigo d'un troisième réseau encore plus incliné.

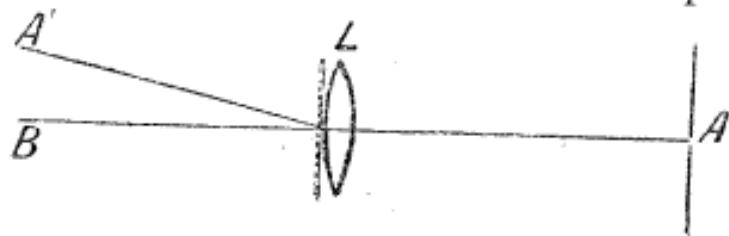


Fig. 50. — Dispositif de synthèse additive avec réseau (Ives).

On comprend ainsi le mécanisme de superposition trichrome réalisable par le dispositif. Avec une expérience bien réglée et éliminant toute lumière diffuse, on obtient évidemment des effets de coloration extrêmement brillants. Mais cela ne constitue qu'une expérience intéressante et très curieuse ; on ne peut même pas prétendre à une reconstitution plus exacte des couleurs photographiées, si la synthèse ne dépend pas essentiellement du mode de formation des tons colorés fondamentaux que l'on veut superposer.

En définitive les procédés d'addition trichrome semblant avoir une base méthodique assurée, mais la réalisation correcte des sélections et des tons colorés à super-

poser est d'une technique difficile. Nous reviendrons d'ailleurs dans un chapitre spécial sur les difficultés d'ordre photographique qui s'opposent à l'exactitude rigoureuse des reproductions colorées. Mais cette exactitude des couleurs est un point assez secondaire dans la satisfaction que recherche en général le public dans une reproduction colorée et l'obstacle le plus essentiel à la diffusion de ces procédés photographiques est bien plutôt dans les difficultés de superposition des images, et dans le caractère individuel de l'observation à travers les chromoscopes. Et seule, la pratique de la projection, spécialement sous la forme cinématographique, peut envisager un avenir d'application étendue.

#### REPRODUCTION DES COULEURS PAR MÉLANGES PIGMENTAIRES

Les procédés de synthèse soustractive furent les premiers appliqués à la suite des travaux de Ducos de Hauron qui en formula le principe en même temps que Charles Cros, et de plus exécuta lui-même les premières reproductions en couleur. Le principe mis en jeu est dérivé de la pratique picturale. On estime pouvoir reproduire la généralité des sensations à l'aide d'un mélange de pigments colorés ; cependant le peintre ne se borne pas en général à un nombre aussi limité de couleurs fondamentales que le veut le procédé photographique. Pour cette dernière réalisation on se borne à trois tonalités élémentaires, qui par leur mélange doivent pouvoir restituer la totalité des sensations. Si comme on l'a vu déjà, cette restitution est possible d'une façon assez approchée par l'addition subjective de trois sensations élémentaires, une

telle possibilité semble très douteuse quand on part de substances colorées dont le mélange ne fournit à la vision que le résidu lumineux de leurs absorptions superposées.

De toute évidence, ce mécanisme qui agit par soustraction progressive, tend à un assombrissement général. Le mélange des trois couleurs fondamentales doit produire le noir ; cela suppose que chacune d'elles absorbe une large portion des radiations spectrales — un tiers — et que les absorptions respectives se complètent en s'étendant sur le spectre entier.

Est-il possible de régler les valeurs respectives de ces absorptions pour laisser une impression colorée résultante quelconque, c'est là une hypothèse qui n'a d'autre base que la satisfaction approximative au but proposé par l'emploi de trois couleurs seulement pour l'exécution d'une peinture ou d'une aquarelle : encore faut-il user généralement de blanc et de noir supplémentaires pour obtenir un résultat suffisant. On n'a en tout cas aucun document expérimental pour un choix systématique des couleurs fondamentales.

Le mécanisme de l'application photographique sera facile à comprendre sur le schéma suivant. Imaginons la lumière blanche constituée par 3 radiations seulement ; un objet éclairé par cette lumière nous fournira une sensation colorée que nous définirons par la proportion d'absorption de l'objet pour chacune des radiations. Si nous établissons 3 négatifs de cet objet éclairé successivement par chacune de ces radiations isolées, les transparencies de ces négatifs mesureront l'absorption de l'objet pour les radiations respectives.

Utilisons alors ces clichés pour faire des positifs et traduisons les *noirs* de ces positifs par une *couleur* qui, pour

chacun d'eux est la résultante additive des deux radiations absentes pendant l'impression du négatif ; ce sera une couleur *complémentaire* de la radiation correspondante ; chacun de ces clichés reproduit alors séparément l'absorption de l'objet photographié pour la radiation correspondante, et la superposition des 3 absorptions doit fournir une reproduction de la couleur dudit objet.

D'une façon générale, après l'établissement d'un négatif de l'objet éclairé par une radiation, la confection d'un positif dont les noirs sont constitués par une substance n'absorbant que cette radiation fournit une épreuve dont l'*absorption* pour cette radiation peut être équivalente à celle de l'objet. On conçoit alors une reconstitution objective de l'absorption générale de l'objet photographié en superposant les épreuves correspondantes à un nombre quelconque de radiations analysant la lumière éclairante. Mais on voit aussi que la réalisation bornée à un petit nombre d'épreuves ne sera qu'une solution approchée si la lumière éclairante est très complexe. On adopte généralement 3 couleurs fondamentales à mélanger et on choisit le plus souvent les couleurs dont les complémentaires sont à peu près les tons constituant la base de la synthèse additive indigo, vert, rouge. Les couleurs résultantes pour chacun de ces tons absorbés sont jaune, carmin et bleu clair.

Ces couleurs sont depuis longtemps considérées comme bases dans l'art pictural. Elles sont généralement réalisées par des substances pures, qui présentent en effet des absorptions limitées à une portion relativement faible du spectre ; pour l'emploi photographique, qui ne comporte pas en général d'introduction de noir supplémentaire il faudra un choix particulier des

substances tel que la superposition des 3 absorptions réalise une obscurité suffisante.

On trouvera une justification quantitative du procédé dans le point de vue subjectif par les considérations suivantes. Supposons réalisés les 3 négatifs sélectionnés rationnellement; les opacités traduisent respectivement les proportions  $r$ ,  $v$ ,  $b$ , des 3 sensations fondamentales dont l'addition doit restituer la couleur. Avec le négatif du rouge, faisons un positif dont la transparence sera mesurée par  $r$ , et dont l'opacité sera constituée par une substance colorante absorbant seulement un groupe de radiations  $S_r$  trié dans la lumière blanche et susceptible de fournir la sensation fondamentale rouge : Ce positif enlèvera à la lumière blanche la quantité  $(1-r)S_r$  de ces radiations. On fera de même des positifs colorés avec les négatifs du vert et du bleu, enlevant respectivement à la lumière blanche les valeurs  $(1-v)S_v$  et  $(1-b)S_b$  de groupes de radiations  $S_v$ ,  $S_b$ , susceptibles de donner les sensations fondamentales vert et bleu. Ces 3 positifs superposés, laisseront passer au total le blanc diminué de la somme

$$(1-r)S_r + (1-v)S_v + (1-b)S_b$$

c'est-à-dire la somme  $rS_r + vS_v + bS_b$  qui représente une restitution de la couleur analysée, plus la différence entre le blanc et la somme des 3 groupes  $S_r + S_v + S_b$ . Ces groupes peuvent bien être constitués de façon à représenter le blanc total et l'annuler dans l'opération précédente, mais il n'est pas probable que chacun de ces termes, comprenant alors objectivement une portion étendue du spectre, représente une des sensations fondamentales. L'expérience de la méthode additive directe a toujours montré que ces sensations paraissaient plus

exactement réalisées quand leur couleur objective se rapprochait plus d'une radiation spectrale simple.

En tout cas si l'application du mécanisme décrit avec trois couleurs conduit à des résultats colorés, il ne doit pas être oublié que nous n'avons aucun procédé de réglage méthodique pour assurer le résultat : c'est-à-dire que nous ne pouvons concevoir *a priori*, les intensités à donner aux négatifs sélectionnés dans les trois tons absorbés puis celles des diapositives colorées. Il est vrai que la complexité des lois du noircissement de la plaque photographique rend assez précaire, dans tous les cas, l'application de règles ou de connaissances précises.

En fait le succès dans ce procédé paraît en rapport avec une habileté toute individuelle dans l'appréciation des gradations qui traduisent les différentes couleurs sur les négatifs, et l'application méthodique des bases théoriques ne semble pas conduire automatiquement au résultat correct : mais peut-être n'y a-t-il là qu'une insuffisante connaissance quantitative des moyens d'exécution et des progrès peuvent sans doute être escomptés pour une amélioration des opérations que nous allons décrire.

**Sélection des négatifs.** — La sélection des négatifs s'effectue comme pour le procédé d'addition, et l'appareillage de prise de vues, dont on a donné plus haut les caractéristiques essentielles, a le plus souvent été conçu pour l'application des phototypes sélectionnés à la confection des épreuves de la méthode soustractive ou pigmentaire. La seule différence entre les deux méthodes réside dans la tonalité des écrans de sélection. Si on tient compte de la base objective du mécanisme à mettre en œuvre, la sélection des négatifs doit correspondre à un

partage assez net du spectre en trois groupes de radiations ; les filtres légers que nous avons indiqués comme efficaces pour la reproduction additive ne conviendront pas dans le cas actuel.

Il faut se rappeler d'ailleurs que la coloration des filtres doit se régler en fonction de la sensibilité propre de l'émulsion ; c'est leur action combinée qui produit la sélection.

Il convient encore de signaler comme condition spéciale à remplir pour les 3 négatifs à sélectionner, une identité rigoureuse des dessins, puisque les positifs doivent être superposés dans leur réalité et non par un simple jeu d'optique.

Les appareils les plus favorables à la prise sont donc seulement ceux qui emploient un seul objectif, et le réglage des subdivisions du faisceau lumineux doit être soigné pour maintenir l'égalité de grandeur des 3 images.

Ducos de Hauron qui ne disposait lors de ses premiers essais que des plaques au bromure d'argent additionné d'éosine, peu sensibles au rouge, ne cherchait pas une sélection très étroite des négatifs verts ou indigo ; il veillait seulement à ce que l'écran sélecteur du rouge fut parfaitement opaque à toute radiation autre que le rouge.

MM. Lumière qui réalisèrent les plus beaux spécimens de photographies en couleur par ce procédé recommandent pour les écrans de sélection des bains de teinture comprenant

de l'erythrosine et du jaune métanile du bleu méthylène et de l'auramine du bleu de méthylène	} pour le rouge } pour le vert   pour le violet
---	---

Le rouge de MM. Lumière comprend beaucoup plus d'orangé que le vernis adopté antérieurement par Ducos de Hauron ; le vert transmet encore du rouge, et l'écran au bleu de méthylène n'apporte qu'un simple affaiblissement aux radiations autres que le violet. Mais la sélection est complétée par un choix de plaque approprié. Derrière l'écran violet MM. Lumière emploient la plaque *étiquette bleue* non sensible aux couleurs au-delà du bleu vert ; derrière l'écran vert la plaque *ortho A* sensible au vert seulement et derrière l'écran rouge la plaque *ortho B* dont la sensibilité pour le vert est nettement plus faible que celle pour le rouge.

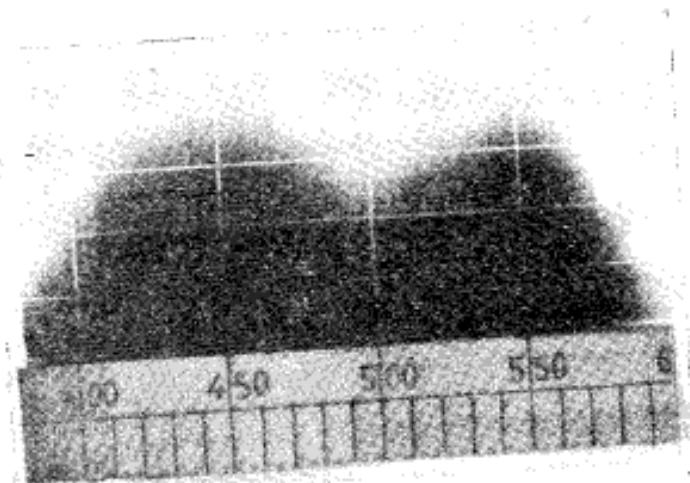


Fig. 51. — Emulsion sensible au vert (Imprégnation à l'érythrosine).

Par sensibilisation au trempé dans l'érythrosine ou dans la cyanine on aura des plaques de sensibilité bien différenciée en rouge et vert, comme le montrent les spectrogrammes figures 51 et 52. Mais si on ne fait pas une prise de vue avec les trois plaques bloquées comme dans le système Tripack, on a avantage à user d'une seule

espèce d'émulsion nettement panchromatique sur laquelle,

avec les écrans appropriés, on peut toujours délimiter nettement les groupes de radiations à sélectionner comme on l'a vu par les spectrogrammes des figures 41 et 42.

Les clichés sélectionnés pour trois groupes de radiations divisant le spectre sans empiétement se trouvent automatiquement juxtaposés sur les épreuves obtenues avec les plaques Autochromes ; c'est le résultat du mécanisme de ces plaques décrit dans le chapitre suivant. Pour séparer ces clichés, il suffit de reproduire une vue directe

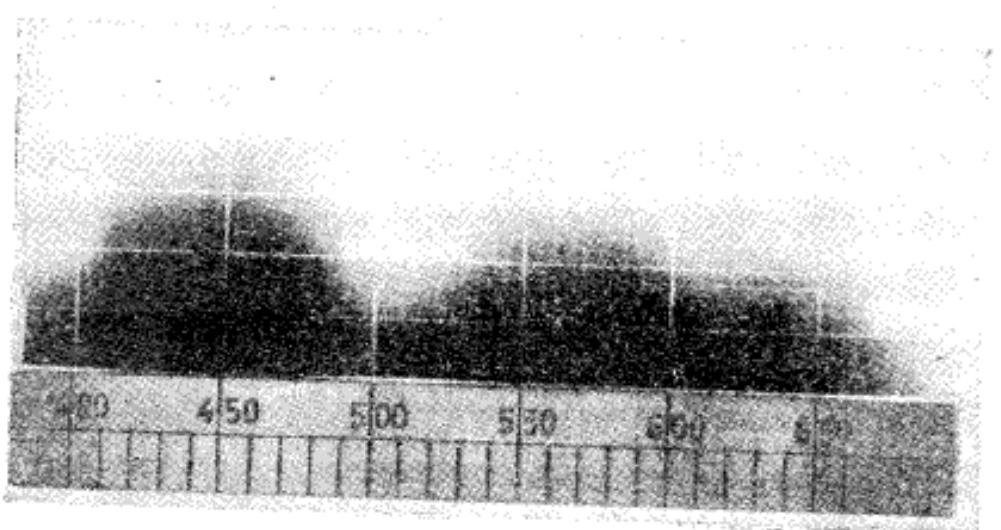


Fig. 52. — Emulsion sensible au rouge. (Imprégnation au pinacyanol.)

sur Autochrome successivement à travers trois filtres correspondant aux colorations élémentaires de son réseau. La reproduction se fait par contact, ou avec une chambre noire ; on peut employer une lumière éclairante quelconque, et aussi une émulsion panchromatique quelconque ; mais les durées de pose et les développements demandent à être étudiés et réglés en relation avec ces éléments pour aboutir à des clichés corrects.

SYNTHÈSE PAR IMAGES SUR PAPIER

Les premières images obtenues par Ducos de Hauron furent établies sur papier au charbon. Le procédé comporte malheureusement une assez grande complication ; surtout les nombreuses opérations auxquelles sont soumises les épreuves à superposer risquent d'altérer leurs dimensions et de rendre leur superposition difficile.

Pour faciliter l'exécution on a préparé un papier mixtionné sur lequel les 3 couches colorées de même constitution quant à la gélatine, sont étendues en même temps sur 3 bandes. On assure ainsi la plus grande chance d'égalité aux déformations du papier pour des épreuves tirées sur une même bande transversale, surtout si on les traite simultanément dans tous les bains.

Les opérations à effectuer comprennent.

1° *La sensibilisation du papier* par immersion de 3 minutes dans un bain de bichromate de potassium à 3 % suivi du séchage dans l'obscurité. Noter que le papier sensibilisé ne se conserve que pendant peu de jours.

2° *Le tirage des positifs* sur les papiers mixtionnés, le papier jaune servant au tirage du cliché sélectionné en bleu, le papier carmin au tirage du papier sélectionné en vert, le papier bleu au tirage du papier sélectionné en rouge ; les négatifs doivent être bordés de cadres opaques de 3 millimètres de largeur : la marge non insolée est nécessaire pour le détachement ultérieur de la couche de son support ; le tirage se fait en bonne lumière, mais généralement pas au soleil.

3° Les papiers sont ensuite appliqués, sous l'eau, sur un *support provisoire*, verre collodioné par exemple, qui

permettra les examens par transparence et les essais de superposition des absorptions.

4<sup>o</sup> *Le dépouillement* ; on l'effectue comme à l'ordinaire pour ce genre de papier dans l'eau chaude à 40°, le papier est soulevé et tiré doucement après 1 ou 2 minutes d'immersion ; le dépouillement est poursuivi sans être trop poussé. Quand les 3 épreuves sont dépouillées on les place dans une cuvette d'eau froide en plaçant l'image jaune d'abord, puis la rouge en dessus et enfin la bleue ; on les superpose autant que le permet l'épaisseur des verres et on examine les couleurs ; suivant les tons dominants on continue le dépouillement en insistant d'autant plus que la couleur paraît trop intense. On use naturellement de toutes les interventions personnelles possibles avec le dépouillement du papier au charbon ordinaire.

Les épreuves dépouillées à point sont plongées dans l'alcool puis abandonnées au séchage complet.

5<sup>o</sup> *La confection de l'épreuve définitive* ; on l'obtient en reportant les images monochromes sur un papier encollé ou simplement recouvert de gélatine.

On applique sur le monochrome jaune plongé dans la colle, le papier qui vient aussi d'être encollé et refroidi vers 30°, on donne un coup de raclette et on abandonne au frais ; après 20 ou 25 minutes, l'image jaune est détachée du support provisoire et s'est fixée sur le papier que l'on enlève après avoir incisé les bords.

On procède de façon analogue au collage de l'image rouge sur le papier déjà recouvert de l'image jaune, puis ensuite au collage de l'image bleue sur les deux premières. Ces opérations assez délicates par le soin qu'il faut apporter au repérage demandent cependant à être exécutées rapidement et exigent une certaine dextérité.

**Pinatypie.** — Les papiers au charbon sont la base la plus simple de la confection d'épreuves trichromes sur papier et les recettes recommandées par tous les amateurs qui en ont essayé la manipulation pourraient former un volume. Mais si l'exécution se prête avec une facilité relative à la production d'une épreuve le procédé devient lent pour produire une série d'épreuves de la même image. Pour ce but il y a un grand intérêt à suivre la méthode dite de pinatypie qui est en définitive un procédé d'impression.

Le principe des opérations consiste à faire après le tirage des clichés sélectionnés et la confection des diapositives correspondantes en noir, des épreuves de ces dernières sur gélatine bichromatée ; celles-ci deviendront des plaques d'impression qui, gorgées de teinture colorée par immersion, céderont la couleur sur un papier gélatiné humide maintenu au contact sous pression pendant 1/4 d'heure ; ce contre-type sur gélatine bichromatée pouvant d'ailleurs servir indéfiniment, on comprend la commodité du procédé pour la confection de nombreuses images.

**Pinatypie simplifiée.** — Pour économiser le tirage des 3 contre-types sur gélatine bichromatée, M. L. Didier a imaginé de transformer les épreuves diapositives elles-mêmes en planche d'impression. Pour cela on sensibilise l'épreuve positive en l'immergeant dans une solution de bichromate d'ammonium à 3,5 % et une fois sèche on l'insole par le côté verre. L'insolation est suivie jusqu'à tirage assez complet sur un papier au citrate mis au contact. Cette insolation a pour résultat d'insolubiliser les parties claires du diapositif et ce dernier jouera avec les couleurs

pinatypiques le même rôle que les contre-types de gélatine préparés sur plaques séparées.

Toutes les plaques ordinaires peuvent servir à l'usage pinatypique ; il faut cependant éviter que la suite des traitements qu'elles auront subi ait rendu la gélatine dure ou insoluble ; il faut donc éviter le développement à l'acide pyrogallique, éviter les renforcements ou affaiblissements. Le traitement le plus recommandable est le développement à l'oxalate ferreux et le fixage simple à l'hyposulfite sans autre addition.

Après l'insolation des diapositives bichromatées il faut procéder à un lavage très soigné et prolongé.

Les tirages en couleur se feront comme il a été dit par application de papier gélatiné contre les diapositives imprégnées de la couleur. Toutefois la présence de l'image argentique sur la diapositive rend le repérage des deux dernières images assez difficile, mais on peut sans inconvénient éliminer l'argent au moyen d'un bain d'hyposulfite et de ferricyanure.

Le procédé de transformation des épreuves positives en planche d'impression conduit à des épreuves très fines et très régulières dans leur coloration ; la planche d'impression en conséquence de l'insolation par le dos, est très robuste s'accommodant des traitements les plus énergiques sans que la couche risque de se soulever.

**Images sur leucobases.** — Certaines substances blanches, dites *leucobases*, se transforment en produit colorés par oxydation à la lumière ; cette transformation se trouve excitée plus spécialement par les radiations complémentaires de la couleur du produit final.

On est ainsi conduit à un procédé d'impression directe

des images positives en couleur, les leucobases, convenablement choisies, formant la couche *sensible* de papiers ou pellicules qu'on éclaire à travers les phototypes sélectionnés, rouge, vert et bleu. On conçoit aussi la possibilité de mélanger en une seule couche les trois leucobases devant fournir le jaune, le rose et bleu-vert, et de réaliser les actions lumineuses *successivement*, derrière les trois négatifs, repérés, et doublés chacun d'un filtre coloré comme le filtre de sélection correspondant. On a envisagé encore pour l'impression immédiate des couleurs sur une couche de cette nature, l'utilisation des épreuves Autochromes obtenues en négatives, à peu près complémentaires des couleurs réelles, par interruption de la manipulation après le premier développement : ces épreuves constituent en somme une *juxtaposition* des trois négatifs sélectionnés et permettent le tirage *simultané* des trois images.

Toutefois le manque de connaissances sur la photochimie des matières colorantes n'a pas permis jusqu'à présent le développement du procédé aux leucobases, pas plus que du procédé par adaptation décrit au chapitre VII nous signalons ici seulement une direction d'études intéressantes.

#### SYNTHÈSE PAR IMAGES TRANSPARENTES

Parmi les plus sérieux efforts qu'on ait faits pour aboutir à une technique précise et à des résultats corrects, ceux de MM. Lumière conduisaient à l'établissement d'épreuves colorées transparentes sur verre. Nous avons indiqué quelques caractéristiques de leur mode de sélec-

tion (utilisation de plaques à sensibilité déjà très différenciée) ; il convient de rappeler aussi quelques détails de leur technique de réalisation de l'image colorée bien que ces procédés soient aujourd'hui rarement appliqués.

Le mode opératoire qu'ils ont décrit est caractérisé par l'emploi d'un papier spécialement préparé servant de support provisoire de la surface sensible ou des images colorées — ou même pouvant former le support définitif.

Ces papiers doivent posséder une grande constance de leurs dimensions au cours des diverses manipulations de transfert ou de report des couches. On les prépare en adhérence avec une plaque de verre talquée et collodionné.

Le papier, de belle qualité et couché, est appliqué sur ce verre, la face barytée en contact avec le colodion, dans une cuvette contenant une solution de gélatine à 7 %.

Le papier sec est recouvert d'un vernis laqué à l'alcool, puis séché à nouveau il reçoit une couche gélatinée bichromatée et colorée par du rouge cochenille. Le séchage à l'obscurité de cette couche sensible est très délicat, et demande la plus grande constance des conditions extérieures, température, humidité etc.

Après séchage on décolle les papiers du verre auxquels ils adhèrent et on procède au tirage sous les négatifs sélectionnés.

Le rouge cochenille a été introduit dans la couche pour éviter une pénétration trop grande de l'action insolubilisatrice de la lumière : il convient en effet d'obtenir, pour la superposition ultérieure, des images sur couches très fines et à faible relief.

Le tirage fait, on reporte les préparations sur verre tal-

qué, collodionné et caoutchouté ; puis, le papier enlevé on développe à l'eau tiède : l'image qui reste sur le verre est constituée seulement par un très léger relief. On procède ensuite à la teinture de ces images par immersion dans des bains colorants convenables ; il faut environ 12 heures d'immersion pour être assuré d'une teinture complète.

On examine ensuite l'effet de la superposition approximative de ces 3 verres supportant les images teintes, on se rend compte des tonalités obtenues et on décide des corrections nécessaires ; les teintures peuvent être renforcées par immersion nouvelle, ou affaiblies par dégorgement, les corrections partielles sont assez difficiles.

Quand on a réussi les teintures convenables, on procède à la superposition définitive des images en les reportant successivement, la jaune d'abord, puis la rouge et enfin la bleue, sur un papier préparé comme celui qui avait reçu la couche bichromatée sensible ; le collage des images au papier se fait par intermédiaire de couches de colle forte pour la première, ou de gélatine glycérinée pour les suivantes. Enfin l'ensemble des trois images est reporté sur verre, en interposant une couche de gélatine glycérinée entre le verre et les images ; après séchage, le papier seul s'enlève facilement à l'eau tiède, la colle forte étant beaucoup plus soluble que la gélatine.

Les images superposées auraient pu être conservées sur papier ; mais dans ce cas les tons de teinture doivent être très faibles. Il est beaucoup plus avantageux d'effectuer le dernier report sur verre ; l'examen par transparence utilise des teintures beaucoup plus vigoureuses dont les irrégularités sont beaucoup moins sensibles, et le résultat satisfaisant s'obtient avec beaucoup plus de facilité.

**Diachromie.** — Depuis les belles réalisations montrées par MM. Lumière en 1900 on a indiqué une technique beaucoup plus facile utilisant la propriété de fixation des couleurs par l'iodure d'argent. Ce procédé a été introduit sous le nom de diachromie par le Dr Traube vers 1907, mais les détails les plus circonstanciés en ont été fournis par Tanleigne, dont les travaux étaient d'ailleurs indépendants.

On tire les épreuves positives en noir des 3 clichés sélectionnés ; ce tirage s'effectue sur pellicules minces ou sur couches détachables supportées sur verre ou papier. On procède ensuite à la transformation en iodure d'argent des images argentiques ; ce résultat est facilement obtenu par un premier blanchissement dans une solution acide de chlorure cuivrique, puis par un passage dans une solution d'iodure de potassium. La teinture se fait ensuite par immersion pendant 12 heures environ dans des bains de fuchsine, de bleu de méthylène, et d'auramine. L'iodure d'argent se combine fortement à ces couleurs, l'absorption propre de la gélatine est faible et peut facilement s'éliminer par simple lavage. On se débarrasse ensuite de l'iodure d'argent tout en fixant la couleur absorbée sur la gélatine, par actions successives d'un bain de tannin, puis d'hyposulfite de soude.

On se trouve alors, par des manipulations relativement simples, en possession de trois couches colorées transparentes dont la superposition doit conduire à l'image en couleur définitive.

La superposition s'effectue suivant les techniques ordinaires de transfert, ou par simples collages successifs si les diapositives colorées ont été obtenues sur des pellicules minces.

**Films cinématographiques en deux couleurs.** — Beaucoup de brevets, en ces dernières années ont eu pour objet la fabrication de films dont les deux faces sont imprimées et teintes en couleurs complémentaires.

Les négatifs, sélectionnés simultanément, sont obtenus séparés et leur impression sur les couches sensibles du film positif nécessite un repérage délicat. La teinture est effectuée successivement pour chacune des faces du positif, mettant en œuvre des actions de mordançage ou des procédés de réserve temporaire d'une première action afin d'assurer l'indépendance des effets produits par les bains successifs.

Le résultat limité à la superposition de deux couleurs reste certainement incomplet pour une traduction générale des tons colorés ; F. Ives a cependant indiqué un moyen susceptible d'accroître l'efficacité du procédé par l'emploi d'un colorant dichroïque ; mais la difficulté du réglage d'une apsortion si complexe accroîtra encore l'incertitude générale de la synthèse soustractive.

## CHAPITRE V

### PLAQUES A RÉSEAU TRICHROME. AUTOCHROMES LUMIÈRE

Les plaques Autochromes Lumière sont actuellement le seul matériel véritablement usuel pour obtenir la reproduction photographique des couleurs. La correction satisfaisante de la solution qu'elle apporte à ce problème en fait un instrument d'étude et d'application extrêmement précieux, et il est curieux qu'après 15 années de production, les détails de leur fabrication n'aient pu être variés pour donner lieu à une véritable concurrence de plaques équivalentes par le principe. C'est une preuve de la difficulté que comportait la réalisation du problème et de l'ingéniosité extrême des inventeurs.

On a vu dans les pages précédentes que la trichromie additive comportait seule des éléments de réalisation méthodique, mais il serait avantageux d'assurer dans l'application un automatisme convenable à la réalisation de l'analyse trichrome et au choix de l'intensité de tons de synthèse.

Déjà en 1869, Ducos de Hauron avait signalé le moyen de réaliser l'automatisme des opérations qu'il décrivait comme devant conduire à la reproduction des couleurs. Il imaginait un papier translucide recouvert de rayures fines teintées en rouge, jaune et bleu, de telle sorte que l'impression sur l'œil fut un gris neutre. Remarquant alors que, par une extinction graduée par des ombres pour l'une ou l'autre couleur, on devait pouvoir reproduire une

teinte quelconque, il imaginait ce papier servant de filtre devant une plaque pour fournir un négatif sélectionné (si la sensibilité de l'émulsion le permettait), puis un positif de celui-ci, placé en même position contre le filtre coloré donnerait la sensation colorée véritable des objets photographiés. Ce n'était là qu'une « anticipation » car à l'époque où il écrivait ces idées Ducos de Hauron ne pouvait entrevoir aucun moyen de réalisation.

Remarquons d'ailleurs que les éléments même de la trichromie additive étaient fort mal connus.

Ducos de Hauron ne fait pas de distinction entre les 3 couleurs qu'il fait intervenir pour ce cas et les tons des éléments colorés pour la synthèse pigmentaire. En toute rigueur le principe de la méthode commande d'avoir pour l'analyse des filtres colorés qui graduent l'activité photographique des radiations suivant une loi expérimentale convenable (courbes de Maxwell) ; d'autre part ces filtres colorés doivent fournir lors de la mise en place repérée du positif contre eux, les éléments colorés de la synthèse additive. Il n'y a aucune chance pour que l'écran analyseur suivant la courbe du rouge de Maxwell ait la couleur rouge foncée adoptée pour l'élément de synthèse rouge. On voit là une première difficulté de réalisation. Toutefois l'analyse fait intervenir deux variables : la couleur du filtre, et la sensibilité de l'émulsion. On pourrait à la rigueur concevoir une tonalité d'écrans conforme aux nécessités de la synthèse, et se prêtant néanmoins à l'analyse exacte grâce aux particularités de sensibilité de l'émulsion. On pourrait aussi entrevoir l'utilisation d'absorptions supplémentaires derrière le filtre coloré pour que, lors de la synthèse, celui-ci réalise bien les 3 éléments colorés fondamentaux dans le ton voulu.

Indépendamment du compromis qui se présente au sujet des colorations du filtre la fabrication d'un tel filtre est assez difficile pour que les premières réalisations aient été fort en retard sur l'énoncé du problème.

C'est Joly de Dublin qui le premier établit une trame trichrome, d'ailleurs très grossière. Une trame pour la prise du cliché négatif est faite avec les tons colorés spéciaux à la sélection, rouge orangé, vert, indigo.

Le positif, obtenu d'après le cliché sélectionné était examiné appuyé contre une autre trame, dont les espacements de traits devaient être identiques à la première, mais dont les tonalités étaient légèrement différentes en vue de la synthèse, rouge franc, vert plus jaunâtre.

Cette superposition du positif sur une trame autre que celle qui avait servi à l'établissement du cliché apportait une grande difficulté à la réussite.

Il faut remarquer que la distinction entre les deux réseaux de synthèse et d'analyse n'empêchait pas l'emploi d'un écran supplémentaire lors de la sélection ; le réseau n'avait pu être ajusté à la sensibilité chromatique générale des plaques sans intervention de cet écran.

L'aspect du réseau Joly est représenté dans la figure 53 où il est grossi 30 fois environ.

Mac Douough avait décrit deux ans avant Joly, la confection d'une trame grenue par saupoudrage de résines colorées sur une plaque de verre enduite d'un vernis poisseux ; il recommandait de couler directement l'émulsion

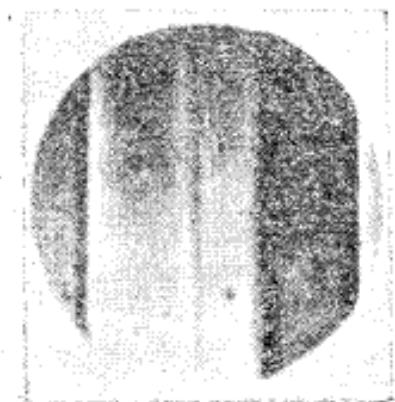


Fig. 53. — Réseau Joly.

panchromatique sur cette mosaïque ; les tons colorés étaient établis pour la synthèse colorée, mais on ajoutait à la sensibilité de l'émulsion pour la prise du négatif, un filtre complémentaire pour assurer la sélection correcte : Le cliché négatif devait être transformé ensuite sur place en diapositif.

Les indications de Mac Donough ne furent d'abord suivies d'aucun essai, et les expériences de Joly réalisèrent vraiment le premier pas dans cette voie de la photographie automatique des couleurs. Une société se forma cependant pour exploiter les idées de Mac Donough, puis y adjoint les brevets Joly.

On fit industriellement des réseaux lignés suivant le procédé Joly avec des intervalles de 8 puis 6 centièmes de millimètre ; l'aspect en est montré sur la figure 54 ; la fabrication était fort coûteuse et le résultat encore trop grossier. Les efforts en vue de la réalisation des idées de Mac Donough restèrent sans succès.

En 1907 seulement, M. M. Lumière livrèrent au commerce les premières plaques Autochromes, qui sont encore la réalisation la plus parfaite du processus indiqué par Ducos de Hauron.

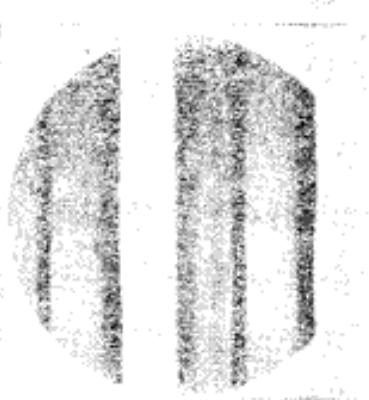


Fig. 54.  
Réseau Mac Donough et Joly

CONSTITUTION ET EMPLOI DES PLAQUES AUTOCHROMES<sup>1</sup>

**Matière du réseau filtrant.** — Le réseau granulaire est constitué par des grains de féculle, de dimension assez régulière comprise entre 12 et 16  $\mu$  de diamètre. C'est

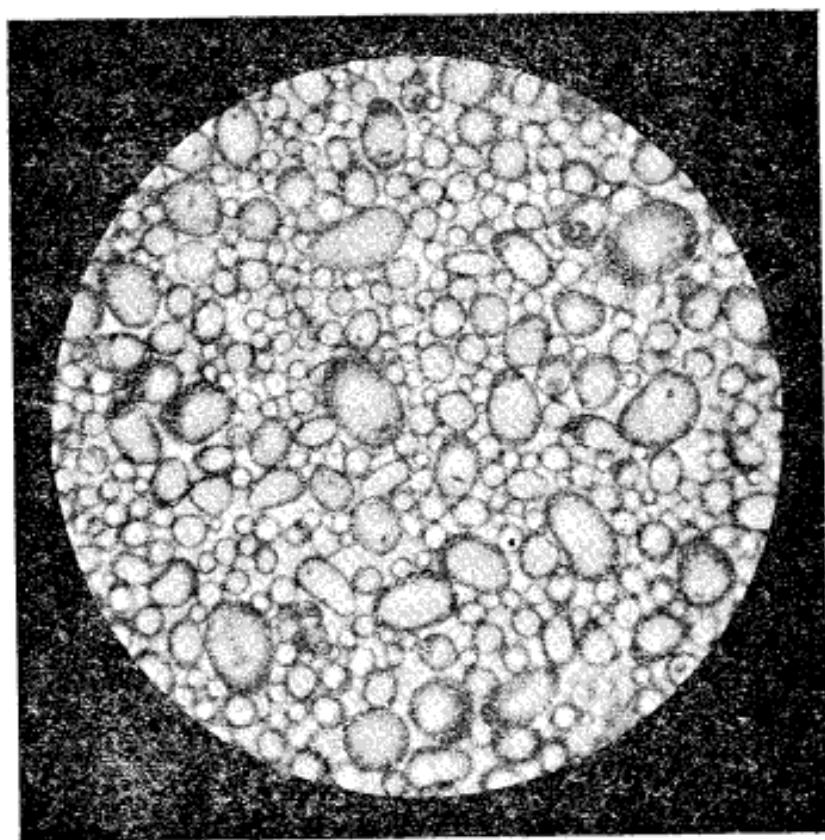


Fig. 55. — Grains de férule de pomme de terre.

après de nombreux examens microscopiques des matières amyloacées que les inventeurs ont fixé leur choix sur la férule de pomme de terre dont la transparence était par-

<sup>1</sup> Nous empruntons les détails intéressant la fabrication à la Notice sur les titres et travaux de M. Louis LUMIÈRE.

faite et la forme assez approximativement sphérique. Les grains de la féculle brute ont des dimensions variant entre 5 et 60  $\mu$  (voir fig. 55). La nécessité de réaliser une certaine invisibilité, non seulement des grains individuels, mais des amas colorés qui se constitueront par le voisinage inévitable des grains de même couleur, conduit à

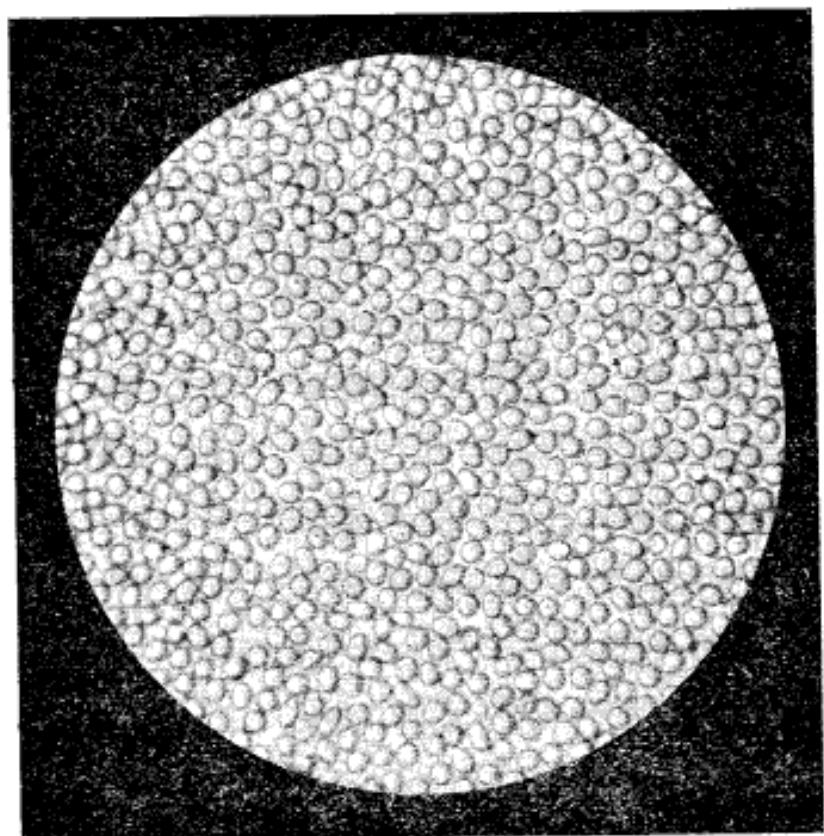


Fig. 56. — Grains de féculle triés à la même dimension.

envisager l'utilisation des grains de faible dimension ; d'autre part l'émulsion sensible devra être séparée de ces grains par une couche de vernis, et l'intervalle entre le bromure et les grains colorés entraîne une possibilité de parallaxe qui ne sera atténuée que par l'adoption d'un diamètre de grain suffisant. C'est la considération atten-

tive de ces effets qui a conduit à limiter les dimensions utilisables entre 12 et 16  $\mu$ .

Pour le triage des grains de cette dimension on commence par choisir comme matière première dans les féculeries, les petits grains extraits spécialement, et dans ce mélange, on sépare d'une façon assez simple des grains

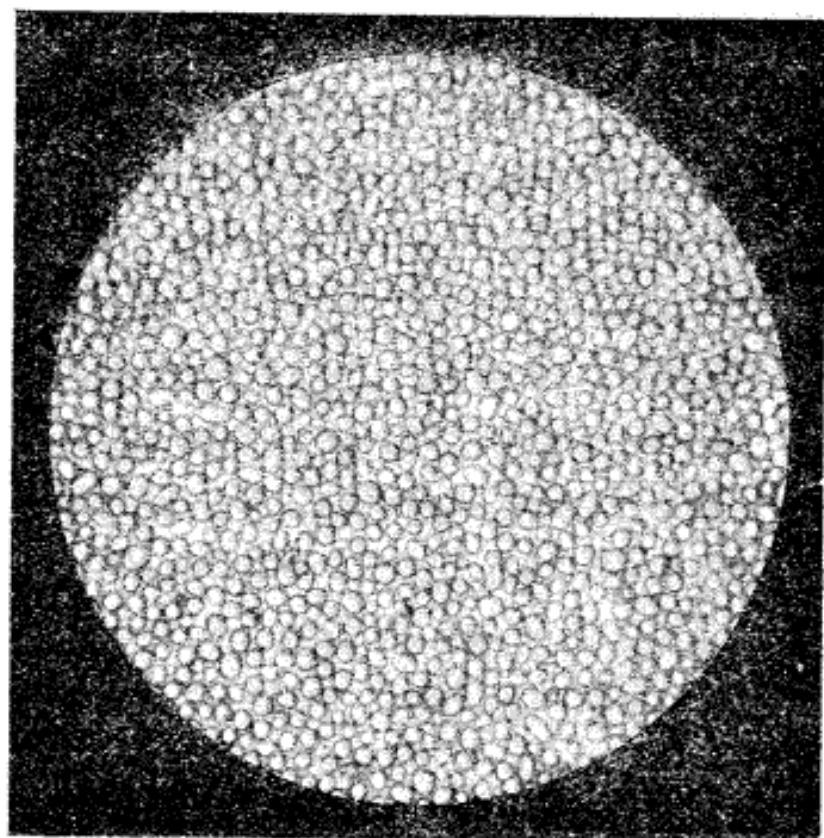


Fig. 57. — Grains de fécale choisis pour constituer le réseau Autochrome Lumière.

de grandeur voulue. On utilise l'entraînement par un courant d'eau ; la fécale étant introduite dans un récipient plein d'eau les grains tombent d'autant plus vite qu'ils sont plus gros ; l'eau est alors entraînée en courant ascendant, elle ne laisse tomber que les grains dont la

vitesse de chute est plus grande que sa vitesse propre et entraîne les plus petits. On peut ainsi séparer les grains en deux lots sur un diamètre bien déterminé. En recommençant l'opération avec une autre vitesse, on pourra former des lots dont la dimension restera comprise entre des limites plus ou moins étroites. La figure 56 montre jusqu'à quel degré d'uniformité on peut arriver, mais alors l'extraction ne comporte qu'un rendement extrêmement faible. Dans la pratique on utilise comme il a été dit des grains de dimension variant entre 12 et 16  $\mu$  dont la figure 57 montre l'aspect grossi ; malgré la tolérance ainsi admise on n'utilise encore que 5 à 6 % des grains dans la féculle spéciale employée ; dans la féculle commerciale on n'en trouverait guère que 1 %.

**Teinture des grains.** — Les grains triés sont ensuite plongés dans des solutions de matières colorantes appropriées pour former trois lots de couleurs différentes, correspondant à la synthèse additive et en particulier satisfaisant à la condition de reproduire le blanc par une addition convenablement réglée.

La nature des matières tinctoriales employées n'a pas été dévoilée par les fabricants ; elle a été surtout déterminée par la nécessité d'obtenir une intensité de couleur suffisante malgré la très faible épaisseur de la couche utilisée, de conserver la transparence la plus grande dans la couleur essentielle, et de réaliser la plus grande fixité possible. La première condition nécessite des concentrations de colorants très grandes, mais pour satisfaire à la condition de transparence il faut éviter le dépôt de matière colorante solide à la surface des grains. Quant à la fixité, si on a pu la réaliser assez bonne pour le bleu et le rouge,

il y a au contraire pour le vert une tendance au dégorge-  
ment facile dans l'eau ; nous en verrons ultérieurement la  
conséquence.

**Formation du réseau trichrome.** — Le réseau est obtenu par saupoudrage, sur une plaque de verre recouverte d'un enduit poisseux, d'une poussière constituée par le mélange convenable des 3 lots de grains colorés, leurs intervalles étant ensuite comblés avec une très fine poudre de charbon.

L'établissement correct du réseau doit satisfaire à des conditions multiples et de réalisation délicate.

La couche colorée doit être formée de grains étalés continument et sans superposition ; les intervalles entre les grains ne doivent pas laisser passer de lumière blanche, d'où la nécessité d'un remplissage par la poudre de charbon des intervalles possibles ; la proportion relative des grains doit satisfaire à la condition de réalisation d'un blanc ou gris neutre par addition de leurs radiations transmises, et le mélange doit être assez parfait pour éviter autant que possible les accumulations de grains de même couleurs qui deviendraient très vite sensibles à l'œil nu.

Une première opération consiste donc à faire une poussière grise en mélangeant les 3 sortes de grains colorés en proportion convenable et avec la perfection voulue pour obtenir la meilleure répartition dans la couche. Les fabricants déterminent la proportion relative des grains par une expérience d'addition chromoscopique. Un disque tournant comportant 3 secteurs d'ouvertures variables, laissant passer la lumière à travers 3 plaques recouvertes respectivement par les grains colorés de chaque espèce, est examiné au moyen d'une lunette qui

J. THOVERT

PHOTOGRAPHIE DES COULEURS

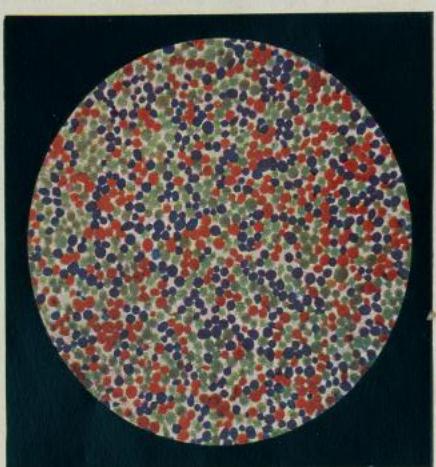


Fig. 58. — Grains colorés avant l'obturation des interstices.

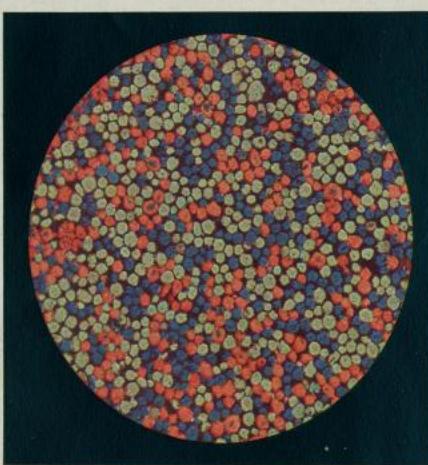


Fig. 59. — Grains colorés après obturation des interstices par le charbon; couche laminée.

PLANCHE IV



montre en même temps une partie du champ recevant directement la lumière blanche assombrie pour faciliter les comparaisons. Les ouvertures de secteur font connaître les proportions relatives des couleurs à mélanger.

L'opération du mélange est d'ordre mécanique ; elle est en fait aussi bien réussie qu'on peut l'espérer, si on analyse les résultats des observations microscopiques faites sur les plaques terminées.

On peut sur ces plaques compter les groupes de grains contigus de même coloration et dresser un tableau de ces groupes.

Dans une étude très documentée sur les plaques à réseaux publiée par M. Kenneth Mees dans le *Journal of Society of Arts* on trouve les résultats d'observation de ce genre, en faisant la moyenne de 100 observations portant sur 400 grains soit au total 40.000 grains, on relève 1 groupe de 17 grains, 1 de 16, 3 de 14, 4 de 13, 5 de 12, 11 de 11, 2 de 10 et 29 de 9. En faisant un calcul de probabilité, dans un semis fait au hasard on doit compter pour ce nombre total de grains, 1 agglomération de 13 grains au plus, 4 de 12 au plus, 11 de 11 au plus. Les chiffres observés paraissent à peine plus forts et font ainsi apparaître une constitution de réseau aussi bonne qu'on pouvait l'espérer.

La figure 58 (planche IV en couleur) montre le résultat de l'étendage de la couche des grains colorés seuls ; les interstices clairs, comme on le voit, ajoutent une lumière blanche considérable en dehors des lumières colorées que donneraient les grains.

Il y avait là une cause de diminution de l'intensité de couleur qui a été surmontée par addition d'une fine poussière de charbon venant combler ces interstices.

Si on considère l'extrême finesse des grains (il y en a 6 à 7000 dans un millimètre carré) et, par suite, des interstices, on ne peut qu'admirer l'ingéniosité de l'inventeur qui a imaginé, construit et réglé cette machine extraordinaire où la plaque de verre entrant propre et claire reçoit sa couche de grains multicolores, sertis par du noir, sans la moindre poussière égarée, de façon que cette plaque apparaisse uniformément grise et sans taches d'aucune sorte.

Au sortir de cette machine le réseau n'est pas encore terminé : un perfectionnement important lui est ajouté en le soumettant à un laminage qui assure l'uniformité de l'épaisseur de la couche colorée, achève le sertissage en noir des interstices résiduels, et augmente nettement la transparence du réseau.

L'aspect du réseau terminé est montré en couleurs dans la figure 59 (planche IV en couleur).

Ce laminage exige d'ailleurs une pression énorme et ce n'est qu'après bien des tâtonnements qu'on a réussi à soumettre les plaques à cette pression qui atteint la limite d'écrasement du verre, en prenant la précaution de n'agir que sur une surface très réduite par l'action de cylindres de très petite dimension.

**Vernissage.** — Le réseau étalé doit être recouvert d'un vernis protecteur le séparant de l'émulsion sensible. Ce vernis formera une couche très mince ; son indice de réfraction sera voisin de celui de la férule. Il sera aussi peu fusible que possible, les plaques devant s'échauffer fortement lors d'un emploi ultérieur dans la lanterne à projection,

Le dissolvant du vernis doit être aussi sans action

sur la préparation poisseuse qui retient les grains de féculé.

On voit que la constitution du vernis a demandé quelques recherches ; mais le vernis constitué il reste à résoudre le problème mécanique de son étendage en couche d'épaisseur uniforme extrêmement mince.

Il faut remarquer pour comprendre la difficulté spéciale de ce problème, que pour une extension industrielle des plaques à réseau, il fallait envisager l'emploi de verres à vitre comme support, évidemment choisi quant à sa qualité, mais en tout cas présentant des courbures marquées, quoique faibles.

Pour réussir ce vernissage on forme le réseau sur la face concave des verres, et la machine qui étend le vernis est disposée pour amener le redressement de la plaque au moment où elle passe sous le déversoir. En fin d'exécution le réseau de grains et son vernis constituent une couche d'épaisseur uniforme totale de 15 microns, environ : on voit que le vernis occupe à peu près la réduction d'épaisseur causée par le laminage sur la couche de féculé.

**Couleur et transparence du réseau.** — Le réseau terminé transmet une lumière grise qui, suivant le lot de fabrication et les conditions d'examen, peut paraître légèrement teintée. Cet équilibre des couleurs fondamentales a été obtenu expérimentalement, la proportion des grains de chacune d'elles est loin d'être la même. En comptant les grains dans un certain nombre de petites surfaces on trouve les nombres respectifs suivants qui établissent la proportion relativement beaucoup plus grande des grains verts.

Bleu { 129  
108

Verts { 170  
155

Rouges { 127  
118

La couleur grise résultante n'a d'ailleurs en aucune façon la constitution de la lumière blanche. Examiné au spectrophotomètre, le réseau manifeste une absorption traduite sur la figure 60 par une des courbes extraites d'un travail déjà cité de Kenneth Mees ; la transmission colorée est spécialement renforcée sur le bleu vers  $450\text{ m}\mu$ , le vert vers  $530\text{ m}\mu$  et le rouge au delà de  $600\text{ m}\mu$ . L'ensemble du spectre transmis présente une luminosité irrégulière qu'une des courbes de cette même figure traduit

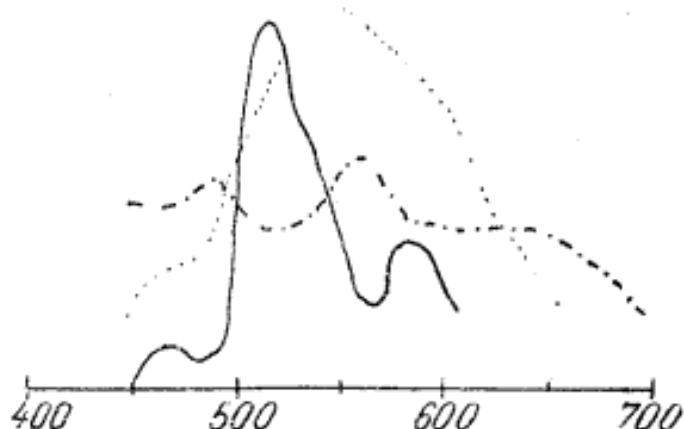


Fig. 60.

..... Luminosité du spectre solaire.  
 ——— id. à travers le réseau Autochrome.  
 - - - - - Absorption du réseau Autochrome.

à la suite de réductions complexes d'après Kenneth Mees ; nous en donnons par la figure 61 une autre traduction objective obtenue en photographiant le spectre sur une émulsion qui donnerait directement la courbe de luminosité, (voir au chapitre VI) mais devant laquelle dans le cas présent sera interposé le réseau ; le caractère le plus sensible, différenciant cette luminosité de celle de la lumière directe, c'est la forte absorption dans la région jaune ( $570\text{ m}\mu$ ). La photographie en couleurs (fig. 96,

planche II en couleur) du spectre sur plaque autochrome peut aussi donner une idée de cette luminosité relative des diverses radiations.

La luminosité globale du réseau examinée avec un photomètre quelconque et en lumière du jour apparaît avec une transparence de 11 0/0<sup>1</sup> mais cette luminosité n'est pas celle qui intéresse essentiellement l'usage photographique. Il convient d'observer que chaque grain sélec-

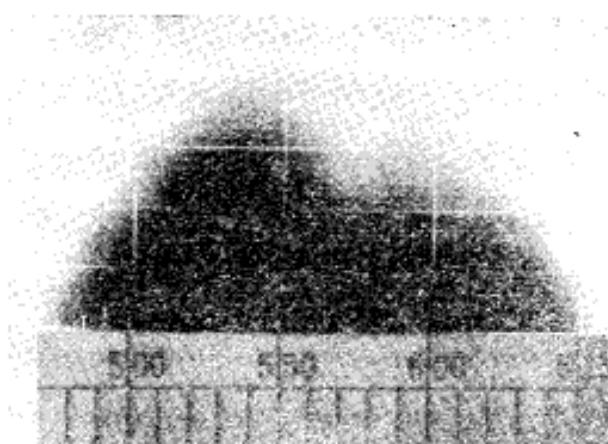


Fig. 61. — Traduction de la luminosité du réseau Autochrome par photographie orthochromatique du spectre solaire à travers le réseau.

tionne dans la lumière blanche un certain groupe de radiation ; ce qui nous intéresse, c'est de connaître l'intensité relative avec laquelle ce groupe de radiations est amené sur l'émulsion.

<sup>1</sup> Les examens spectrophotométriques de réseaux peuvent conduire à des nombres absolus assez différents suivant le mode d'observation. La surface du réseau est toujours assez diffusante, et, si dans l'appareillage de mesure, cette surface est assez éloignée du champ photométrique sur lequel on compare les éclairements, on trouve des transparences nettement plus faibles que si l'on compare les éclairements au plus proche voisinage du réseau ou au contact même de cette

Les mesures faites avec la précaution indiquée dans la note, ont donné pour les coefficients de transparence des élément *isolés* relativement à l'ensemble des radiations qu'ils transmettent, les chiffres moyens suivants.

Bleu 0,56      Vert 0,30      Rouge 0,52

Les transparencies du réseau total pour chacun des mêmes groupes de radiation ont été trouvées aux valeurs moyennes.

Bleu 0,15      Vert 0,13      Rouge 0,145

Grossièrement ces transparencies finales correspondent bien au fait que les groupes de grains rouge ou bleu n'occupent pas respectivement  $1/3$  de la surface totale, alors que le lot de grains verts occupe au contraire beaucoup plus du  $1/3$ .

Les derniers chiffres montrent que le réseau utilisera environ pour la photographie  $1/7$  de chaque groupe de radiations dans la lumière totale reçue, bien que la transparence individuelle des grains soit de plus de  $50\%$  dans le rouge et le bleu.

**Emulsion sensible.** — La qualité de l'émulsion à coucher contre le réseau coloré a été difficile à obtenir et a nécessité de très nombreux essais. Les conditions particulières qu'elle doit remplir sont les suivantes : grande finesse du grain, bien au dessous de la grosseur de grains

surface. Les chiffres cités ici ont été déterminés en réalisant cette dernière condition (correspondante à l'utilisation sur l'émulsion) et c'est ainsi qu'ils apparaissent nettement supérieurs à ceux de M. Kenneth. Mecs, ce dernier donne  $7,5\%$  pour la transparence globale.

de fécale, car il faut que la dimension du grain d'argent développé reste inférieur au grain de fécale coloré ; grande richesse en argent, pour compenser une très faible épaisseur de l'émulsion par laquelle on limite les effets parallactiques de diffusion ; enfin sensibilité chromatique aussi générale et aussi forte que possible.

Ces différentes conditions ont été réalisées au mieux. L'émulsion est étendue en une couche d'épaisseur ne dépassant pas  $4 \mu$ , son adhérence sur le vernis qui la sépare du réseau est bonne, cependant le détachement en est assez facile pour que la manipulation des plaques demande certains soins à ce point de vue : la finesse du grain est satisfaisante, assez pour ne pas gêner les résultats que l'on peut attendre de l'ordre de grandeur des grains colorés quant au pouvoir séparateur de la plaque (nous discuterons plus loin cette question). Quant à la sensibilité chromatique obtenue par addition de colorants appropriés dans l'émulsion, elle est fort remarquable pour ce procédé.

On peut faire en effet le décompte suivant : la sensibilité globale de l'émulsion à la lumière blanche est environ  $1/2$  de la sensibilité des plaques « bleues » Lumière ; la transparence générale du réseau pour chacune des couleurs fondamentales est en moyenne  $\frac{1}{7}$ . Or la pratique montre que le temps de pose est environ 60 fois plus grand pour une plaque Autochrome que pour une plaque étiquette bleue. On en conclut que l'action des radiations colorées transmises représente environ le quart de l'action totale des radiations. Le spectrogramme figure 62 qui représente l'action des radiations solaires sur l'émulsion de l'Autochrome confirme cette évaluation.

L'action des radiations visibles entre 500 et 650 m  $\mu$  est distante d'un échelon de celle des radiations violettes c'est-à-dire environ 3 fois moins forte ; elle représente donc le 1/4 de l'activité totale. C'est une proportion remarquable pour une sensibilisation obtenue par addition de colorants dans l'émulsion.

Il reste en tout cas cependant une forte sensibilité pour les radiations violettes extrêmes inutilisables. Or les écrans constitués par les grains de féculle ne sont pas assez fortement colorés pour doser exactement dans cette région l'action de ces radiations. Le spectrogramme figure 63 marque la sensibilité derrière le réseau, cette prédominance y est encore très marquée.

Par un filtre supplémentaire, écran compensateur, on achève l'ajustement de la sensibilité de l'émulsion aux exigences de la sélection trichrome.

Le spectrogramme figure 64 montre la courbe de sensibilité derrière le réseau et le filtre spécial supplémentaire superposés. Indépendamment de la suppression totale des radiations violettes extrêmes, l'effet du filtre se manifeste encore par des réductions d'activité à la limite du vert qui accentuent la sélection des 3 groupes de radiations transmises par les trois sortes de grains.

**Fonctionnement général.** — La plaque constituée comme on vient de l'exposer est appelée à recevoir l'image donnée en chambre noire par un objectif ; cette image sera formée sur l'émulsion après traversée du réseau de grains de féculle.

Chacun de ces grains ne transmettra qu'une proportion convenable des radiations correspondant à sa couleur et l'action de ces radiations sera traduite après développement

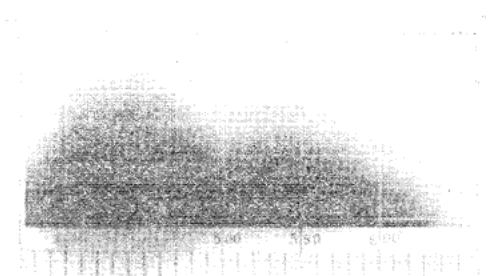


Fig. 62. — Emulsion Autochrome exposée directement à la lumière solaire.



Fig. 63. — Emulsion Autochrome exposée à la lumière solaire avec interposition du réseau.

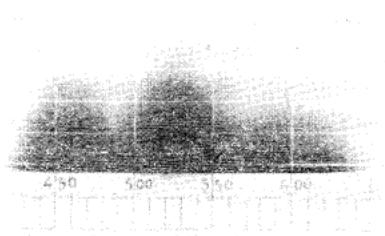


Fig. 64. — Emulsion Autochrome exposée à la lumière solaire avec interposition du réseau et du filtre compensateur.

par un noircissement. Prenant l'exemple d'un drapeau bleu, blanc, rouge, l'image de la partie bleue sera traduite par le noircissement de l'émulsion sous les grains bleus ; pour la partie blanche il y aura noircissement simultané derrière tous les grains ; pour la partie rouge, sous les grains rouges seulement, si on est en présence d'un rouge écarlate.

Pour transformer en transparence ces noirs constituant une image négative, *sans fixer*, c'est-à-dire sans enlever le bromure non noirci, on plonge la plaque dans un bain sulfurique oxydant qui dissout l'argent du noircissement ; on transforme ainsi l'opacité correspondant à ce noircissement en transparence. Pourachever le contraste, on insole ensuite la plaque et on développe le bromure restant. On a donc finalement du noir correspondant à l'absence d'action des radiations, de la transparence correspondante à leur action. Les grains rouges seront devenus transparents pour l'image du rouge, les bleus pour l'image du bleu, et tous les grains pour l'image du blanc.

On a en définitive une image positive qui montre les radiations avec la couleur et la clarté qu'elles possédaient dans la formation de l'image. Tel est en gros, le fonctionnement de la plaque.

**Mode d'emploi.** — Pour satisfaire à cette théorie simplifiée du fonctionnement de la plaque autochrome, remarquons que la plaque devra être mise en châssis à l'envers, en quelque sorte, c'est à-dire *l'émulsion en arrière*, le côté verre de la plaque tournée vers l'objectif. Les fabricants ont facilité cette installation en fournissant avec les plaques des cartons découpés à la dimension dont un côté noir est et restera en contact avec l'émulsion.

Ce carton qui joue un certain rôle dans la conservation des qualités de l'émulsion est en tout cas un préserveur indispensable pour éviter toute rayure pendant les manipulations de la plaque : mise en chassis ou enlèvement.

Toute éraillure de l'émulsion entraîne par la suite des immersions dans les bains de développement et autres, la production de taches vertes, dues à la diffusion de la couleur verte des éléments du réseau mis à nu par l'éraillure.

La plaque étant mise en chassis avec l'émulsion en arrière, la mise au point de l'image sur verre dépoli doit être faite en tenant compte de cette circonstance particulière. Il faudra en général retourner le verre dépoli, s'il est de l'épaisseur correspondante à celle des plaques, de façon que le côté dépoli se présente aussi à l'arrière ; ou bien si on laisse le verre dépoli en place et si on fait ainsi la mise au point sur un plan qui correspond à la face verre de la plaque en chassis, il faut ramener pour l'exposition, le corps du chassis de 1 millimètre en avant pour que l'image vienne se former exactement sur l'émulsion. Notons ici que le filtre compensateur aura été mis en place pour faire cette mise au point.

**Changement de position d'un foyer par interposition d'une lame de verre à face parallèles.** — La plaque a une épaisseur que les fabricants tiennent, autant que possible égale à 1 mm.  $1/2$  ; si le déplacement correcteur doit être limité aux  $2/3$  de cette épaisseur, cela tient à ce que la traversée d'une lame de verre à faces parallèles éloigne le foyer d'un faisceau convergent d'une distance égale au  $1/3$  de l'épaisseur de la plaque.

Considérons une onde, ACB, convergeant en un point P,

à une distance  $PC$  (fig. 65) ; si elle rencontre en la position indiquée la première face d'une lame de verre d'indice  $n$ , la propagation va se ralentir en pénétrant dans ce milieu. Quand le sommet  $C$  rentrera dans le verre, les bords  $A$  et  $B$  y auront pénétré mais en mouvement ralenti de telle sorte que la nouvelle onde courbée suivant  $A'C'B'$  présentera une flèche réduite dans le rapport  $\frac{1}{n}$  par rapport à

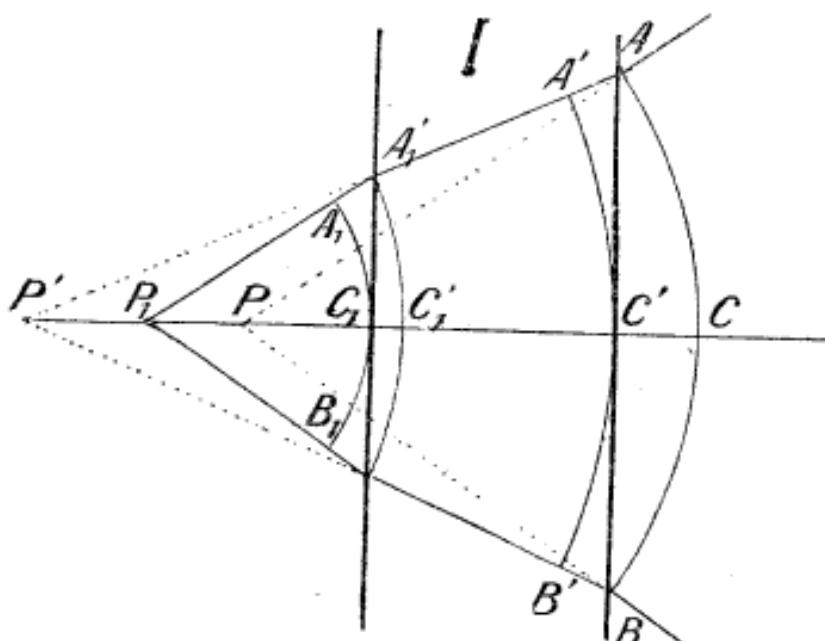


Fig. 65. — Modification de la convergence des ondes par la traversée d'une lame de verre.

celle de  $ACB$ . Ceci revient à dire que la nouvelle onde  $A'C'B'$  aurait son centre de convergence en un point  $P'$  à une distance  $n$  fois plus grande que le point  $P$  centre de convergence de l'onde  $ACB$ .

Quand la nouvelle onde arrive à la sortie de la face de verre en  $A'_1C'_1B'_1$  un effet inverse se produit.

Lorsque le sommet  $C'_1$  arrive dans l'air, en  $C_1$ , les bords  $A'_1B'_1$  sortis plutôt y ont déjà parcouru un espace  $n$  fois

plus grand que  $C'C_1$ , et l'onde finale  $A_1C_1B_1$  est plus courbée, avec une flèche  $n$  fois plus forte que celle de  $A'C'B_1$ ; cela signifie que le centre de convergence  $P_1$ , de cette onde est  $n$  fois plus rapproché que le centre  $P'$  de l'onde  $A'C'B_1$ . On a donc les relations

$$P'C' = nPC' \quad \text{et} \quad P'C_1 = nP_1C_1$$

et par soustraction

$$P'C' - P'C_1 = n(PC' - P_1C_1)$$

$$\text{Mais } P'C' - P'C_1 = e,$$

épaisseur de la lame;

$$PC' - P_1C_1 = e - PP_1.$$

$PP_1$  mesure l'écart du foyer primitif et du foyer final.

De

$$e = ne - nPP_1$$

on tire

$$PP_1 = \frac{(n-1)}{n} e.$$

Pour le verre  $n$  est très sensiblement égal à  $3/2$  ce qui conduit à  $PP_1 = \frac{e}{3}$

**Filtre compensateur.** — L'effet de l'interposition d'une plaque de verre a été utilisé par les fabricants de la plaque Autochrome pour faciliter son emploi dans les appareils à foyer fixe ou à mise au point par lecture sur graduation; on ajoute au filtre coloré compensateur un rôle de correction de mise au point.

*La nécessité du filtre spécial à l'ajustement de la sensibilité chromatique ne doit jamais être perdue de vue.*

Quand la mise au point se fait par examen sur verre dépoli, la position du filtre n'entre pas en considération ; il peut être placé partout en avant de la plaque, en arrière ou en avant de l'objectif, ou contre la plaque elle-même, toute position à demeure en dehors du chassis, laisse visible son effet dans l'examen sur verre dépoli, et la seule correction pour l'exposition est celle qui peut résulter du défaut de coïncidence entre la surface dépolie sur laquelle on fait l'image nette, et la surface de l'émulsion quand le chassis, contenant la plaque retournée est mis en place. Pour assurer cette coïncidence sans déplacement supplémentaire on fait la mise au point sur le verre dépoli retourné, c'est-à-dire avec le grain en dehors.

Si au contraire on n'examine pas les images de la chambre noire et si on se réfère à un réglage invariable des positions de netteté fournie par l'objectif sur la surface usuellement adoptée pour la photographie en noir, l'emploi des plaques en couleur place l'émulsion de telle sorte que la distance entre elle et l'objectif est accrue de l'épaisseur de la plaque, soit 1 mm. 1/2. Comme on l'a remarqué, une lame de verre interposée entre une onde et son foyer éloigne le point de convergence d'environ 1/3 de son épaisseur. On aura donc une correction automatique à la mise au point si entre l'objectif et la plaque, les ondes ont à traverser une épaisseur de verre triple de celle de la plaque. Comme la plaque elle-même doit être traversée il reste à interposer une autre lame de verre d'épaisseur double. Ce rôle peut être confié au filtre compensateur. Les fabricants l'établissent en effet par étendage d'une couche de gélatine convenablement colorée sur une lame de glace, et doublage de cette première lame par une seconde après interposition de baume de

Canada. L'ensemble des deux glaces forme un milieu à faces planes, dont l'épaisseur est réglée uniformément par les fabricants à 3 millimètres environ, de sorte qu'il suffit de placer ce filtre à l'intérieur de la chambre dans une position quelconque entre l'objectif et l'émulsion, pour pouvoir utiliser avec la plaque Autochrome le même réglage de position de l'objectif par rapport au châssis porte plaques que dans la photographie en noir.

Nous avons indiqué au chapitre IV la façon de préparer des filtres colorés ; mais il faut insister dans le cas présent sur la nécessité d'employer le filtre spécialement établi par les fabricants. Bien qu'on puisse trouver des formules de coloration équivalente en certains cas nous signalerons que la fabrication des plaques et leurs qualités sont réglées pour ce filtre compensateur supposé invariable. On devra donc s'abstenir de toute modification susceptible d'en changer l'effet. Il est en particulier assez dangereux de décoller, ou couper pour en changer les dimensions, des filtres déjà préparés : nous ignorons la composition exacte de sa coloration, mais sa loi d'absorption décèle sans ambiguïté la présence d'esculine pour enlever le violet extrême ; or l'effet de cette substance dépend essentiellement des conditions existant au moment du scellement du filtre : toute modification ultérieure risque de produire une diminution de l'absorption.

**Position du filtre compensateur.** — On a discuté souvent sur la meilleure position à donner à cet écran pour que son influence sur la netteté de l'image soit la moins mauvaise.

Il ne faut pas oublier que les objectifs calculés pour former des images nettes dans certaines conditions de dis-

tance entre l'objet et le plan d'image, ne réalisent plus ce but dès que l'on change ces conditions de fonctionnement. L'interposition d'une lame réfringente, même bien taillée avec des faces planes, introduit une modification importante dans la marche des rayons. Dans quelle position cette modification peut-elle être le moins nuisible ? Le trouble apporté au point de convergence dépend simultanément de l'ouverture angulaire de l'onde et de l'éloignement du foyer. C'est donc au voisinage du foyer que la lame interposée apportera le moins de perturbation. C'est contre l'objectif que sa présence entraînera le plus de désagrément et spécialement à l'arrière, du côté de la plus faible distance entre le foyer des ondes et la lame interposée. On voit donc que l'emploi du filtre comme correcteur de mise au point généralement placé à l'arrière de l'objectif, est accompagné du maximum d'inconvénients qu'il peut présenter quant à la netteté des images.

Mais il faut remarquer que le pouvoir séparateur des émulsions photographiques (voir au chapitre VI) laisse encore une marge appréciable dans le fonctionnement stigmatique des systèmes optiques, et ce pouvoir séparateur est un peu plus faible, on le verra, sur la plaque autochrome que sur les émulsions en noir ; finalement la pratique a montré que l'emplacement arrière au contact de l'objectif pour le filtre compensateur ne comportait aucun inconvénient sérieux, au moins dans la photographie d'amateur, à la condition que ses faces soient planes, pour ne pas introduire, par une courbure marquée des faces, une convergence supplémentaire.

**Influence de l'angle de champ.** — Un autre point qui a été signalé comme susceptible d'entraîner quelque défectuosité dans les résultats escomptés sur la plaque autochrome, c'est la variation de luminosité ou d'absorption à travers le filtre compensateur avec l'inclinaison des pinceaux lumineux utilisés. Ce point intéresse la prise des images sous un angle de champ un peu grand.

Il n'est pas douteux que les pinceaux qui ont traversé l'ouverture de l'objectif sous une inclinaison de 25 à 30 degrés par exemple sont déjà fortement étranglés et contiennent un flux lumineux très réduit par rapport à ceux propagés le long de l'axe ; c'est une diminution de 15 à 20 % dans l'action photographique qui en résulte et certainement avec un peu d'attention l'inégalité de pose des bords de l'image par rapport au centre sera souvent constatée.

L'écran compensateur aussi est traversé sur une plus grande épaisseur et son action complémentaire sera plus accentuée pour les rayons marginaux.

Mais ces différences en général ne dépassent pas celles qui se produisent dans toute évaluation de durée de pose et ne doivent pas gêner sensiblement. Si dans certains cas on constate de grandes inégalités de clarté dans les épreuves obtenues sur les plaques en couleur avec des objectifs dont la longueur focale ne dépasse guère la grande dimension de la plaque, cela tient plutôt à la mauvaise construction de l'objectif lui-même, qui n'a pas les dimensions de verre suffisantes pour éclairer le diaphragme entier, sous l'inclinaison pour laquelle il doit fonctionner ; quelquefois la monture même de l'objectif intervient pour étrangler les pinceaux inclinés : ces circonstances, d'ailleurs fréquentes, pourront évidemment

gêner souvent les prises de vue à grande ouverture sous un angle un peu fort,

La forte inclinaison des rayons risque encore de faire intervenir un effet de parallaxe dont les conséquences seraient graves ; si on considère que le réseau des grains de féculle est séparé de l'émulsion par un léger intervalle, épaisseur du vernis, on peut craindre que les rayons inclinés donnent l'argent réduit dans une position très distincte de la normale à la plaque à partir de chaque grain de féculle traversé.

Cependant on a vu que la largeur d'un grain de féculle reste environ 3 fois plus grande que l'épaisseur du vernis ou de l'émulsion. Ceci permet de croire que même pour des rayons inclinés de 30 degrés sur l'axe le débordement de l'action photographique en dehors de la surface normale du grain est encore assez réduit ( $1/6$  ou  $1/7$  de ce diamètre).

Il reste d'ailleurs toujours possible d'examiner la vue dans des conditions correctes, si on fait usage d'un oculaire de même foyer que l'objectif ayant servi à la prise ; on regarde alors l'image à travers le verre de la plaque pour que l'œil soit placé dans la même position que l'objectif au moment de la photographie. Cela ne conviendra évidemment que si la longueur focale n'entraîne pas un grossissement trop marqué pour l'observation visuelle, car on serait alors gêné par la visibilité des amas de grains colorés.

On voit que s'il y a avantage certain à limiter l'usage de la plaque à des vues prises sous un angle faible, on peut cependant, sans obstacles sérieux, utiliser un champ d'ouverture totale de 50 à 60 degrés. La plaque servira donc dans tout l'appareillage usuel, sans modification

notable de cet appareillage : il n'y a qu'un support de filtre coloré à prévoir, le plus généralement contre l'objectif ; à l'avant si on fait la mise au point sur verre dépoli retourné, à l'arrière si la mise au point n'est pas libre ou si on la règle sur une graduation établie pour la photographie ordinaire.

On évitera seulement l'utilisation de la plaque en grand angle.

**Exposition.** — La durée d'exposition de la plaque autochrome à la lumière dépend naturellement de toutes les circonstances d'éclairage de la plaque, mais peut être évaluée à 60 fois environ la durée nécessaire dans les mêmes conditions pour une plaque ordinaire extra rapide ; autrement dit les temps de pose évalués en seconde pour la photographie usuelle seront transposés en minutes pour la plaque Autochrome.

L'évaluation de la durée de pose a pour la traduction en couleur une importance particulière, du fait que la justesse de la coloration dépend en principe d'un réglage exact des transparences du phototype.

Ceci, nous en indiquerons les raisons dans le chapitre suivant, n'existe que pour une durée déterminée d'action lumineuse et un développement approprié.

Dans la traduction en noir, on ne juge qu'assez difficilement des rapports des tonalités ; on définit seulement d'une façon approchée (chap. VI) une photographie ortho-chromatique : on se contente donc de tout résultat dont les opacités relatives permettent un tirage d'épreuves positives de gradations acceptables. On dispose à cet effet d'une grande variété d'émulsions positives sur lesquelles on fait ce dernier tirage, variété permettant l'uti-

lisation de négatifs dont l'exposition a pu être très différente d'une moyenne normale. Sur la plaque Autochrome, le positif est obtenu sur l'émulsion même, on ne pourra utiliser que les variations possibles d'un seul développement ; un notable écart des rapports de transparence entraîne d'ailleurs un changement de couleur bien plus sensible à l'œil qu'un simple changement d'opacité. Il en résulte que l'usage de la plaque Autochrome implique une réalisation assez approchée d'une durée d'exposition rationnelle dans chaque cas.

Il convient donc, avant de procéder à l'exposition de la plaque, d'apprécier aussi exactement que possible le temps de pose normal en s'appuyant sur tous les documents que l'on possède, susceptibles de former ce jugement.

Ces documents sont des observations sur la nature du sujet, l'état du ciel, la luminosité de l'objectif.

A l'aide d'observations coordonnées on dresse des tableaux faisant apparaître par des chiffres que l'on combine entre eux, une durée de pose normale. On trouvera de tels tableaux de pose dans l'agenda Lumière Jouglar par exemple, on en trouve aussi dans le commerce sous des formats commodes.

**Photomètres et exposémètres.** — Un autre procédé de documentation consiste à juger expérimentalement de l'activité de l'éclairement.

C'est le but des photomètres ou posemètres spéciaux à l'usage photographique. Ces appareils sont de types assez variés ; mais on peut tenir pour peu logiques et en tout cas insuffisants, les instruments qui se bornent à essayer soit par vision, soit par action actinique sur un papier à

noircissement, l'intensité de l'éclairage ambiant au voisinage de l'opérateur. Un tel essai laisse en dehors du résultat cherché deux facteurs essentiels, la nature du sujet, et son éclairement propres ; il faudra toujours corriger l'indication trouvée en fonction de ces deux éléments et de la clarté de l'objectif.

Sous le nom de chronoscope P. A. P. on trouve un type de photomètre plus correct : il consiste en une petite chambre noire comprenant une demi boule comme objectif, un papier au citrate comme surface sensible ; l'instrument tourné, vers l'objet donne un vague dessin de cet objet dont la teinte après une durée marquée de pose est rapprochée de teintes types. Le constructeur a établi des tableaux de correspondance entre ces teintes, ces durées, et la pose à donner à l'autochrome.

Le principe de l'appareil est assurément bon, mais l'application un peu trop liée à l'existence d'un papier sensible de qualité bien définie et toujours égale. On peut objecter que l'on mesure en réalité une action actinique qui, sur les papiers à noircissement direct, n'est ni orthochromatique comme il conviendrait pour la photographie en couleurs, ni aussi réduite au violet extrême, comme le demanderait l'application aux plaques ordinaires dépourvues de sensibilité chromatique ; cependant les indications de l'appareil donnent généralement satisfaction.

Pour l'application à l'Autochromie, c'est un jugement visuel de l'éclat de l'image du sujet sur le verre dépoli dans les conditions photographiques qui fournit le document le plus exact sur la durée de pose.

Malheureusement un tel jugement demande pour être établi l'emploi d'un éclairement de comparaison de

valeur connue. L'utilisation de l'acuité visuelle dans certains posemètres anciens ou récents, appliquée sur le seul éclairement à juger, est insuffisante, les facultés de l'œil étant extrêmement variables et en dépendance rapide avec les circonstances d'éclairement dans lesquelles on le place. On pourrait peut-être sans trop de complication introduire dans l'appareillage, l'élément de comparaison précis qui fait défaut, en utilisant des lampes électriques de poche, si on pouvait leur fournir une alimentation en courant suffisamment constante.

L'usage des tableaux de pose à coefficients numériques paraît jusqu'à présent être le moyen le plus rationnel de connaissance approximative du temps de pose normal.

**Influence des éclairages spéciaux.** — Quelque soit l'intérêt que présentent les indications des tableaux de pose ou des posemètres divers, il restera cependant des éléments d'incertitude dans bien des cas, voire même des difficultés insurmontables.

On sera par exemple en présence d'éclairements qui ne sont pas constitués par une lumière solaire normale : un sous bois sera éclairé par une lumière diffusée contenant du vert en excès ; les ombres en montagne par temps clair ne recevront que de la lumière bleue du ciel. Le fonctionnement de la plaque en ce cas paraît faussé<sup>1</sup> ; la photographie obtenue paraît contenir en excès la dominante colorée de l'éclairement ; on est conduit à employer un filtre correcteur pour atténuer cette sensation

<sup>1</sup> On verra au chapitre suivant les raisons purement physiologiques et psychologiques de cette opinion.

dominante. C'est une précaution dont l'emploi est difficile, surtout lorsqu'une partie seulement de la vue est affectée par la particularité de l'éclairage.

La difficulté d'appréciation du temps d'exposition est très grande aussi lorsque les éclairements des différentes portions du sujet sont trop inégaux pour que l'échelle des transparences possibles du cliché comprenne un écart aussi grand ; dans les intérieurs par exemple, ou dans les vues extérieures comprenant simultanément des ombres épaisses et le ciel, voire même le soleil au lever ou au coucher. Ce sont là d'ailleurs des difficultés qui affectent aussi bien la photographie en noir que l'Autochrome, mais cette dernière laisse bien plus vite apparaître les défauts de la traduction photographique en conséquence même du supplément de véracité qu'elle donne à cette traduction en y ajoutant la couleur.

**Développement.** — D'après le fonctionnement général de la plaque il faut, après l'exposition, procéder à un *premier développement* de l'action lumineuse qui sera traduite ainsi par un dépôt d'argent ; cet argent étant ensuite dissous dans un bain approprié dit *d'inversion* l'action lumineuse sera finalement traduite en transparence, ce qui est la qualité d'une épreuve positive : mais pour accentuer la gradation de ces transparences on procédera à un noircissement du bromure d'argent non insolé. On appellera cette opération, *second développement*, et l'appellation est assez impropre, car cette dernière opération ne comporte aucun élément de variation méthodique pouvant servir à régler l'effet du noircissement. Toute l'observation et l'action de l'expérimentateur doivent s'exercer sur le développement initial.

La sensibilité chromatique générale est un obstacle sérieux à l'observation du développement. Aussi les fabricants de la plaque Autochrome ont-ils indiqué les formules les mieux appropriées à un travail automatique ; on verra d'ailleurs au chapitre suivant les raisons logiques de cet automatisme.

Si la durée de pose est normale, on peut effectuer toute la manipulation depuis la sortie du chassis jusqu'à l'introduction dans le bain d'inversion en obscurité absolue et par conséquent sans aucun risque de voile. Le bain de développement recommandé par la maison Lumière est un bain à la métoquinone dont voici la formule.

Une première solution concentrée est formée avec

Eau, . . . . .	1 000 cc.
Métoquinone . . . . .	15 gr.
Sulfite anhydre de soude . . . . .	100 gr.
Bromure de potassium . . . . .	6 gr.
Ammoniaque à 22° B. . . . .	32 cc.

La métoquinone se dissout d'abord dans l'eau tiède, on ajoute ensuite le sulfite puis le bromure, et enfin lorsque la solution est refroidie, l'ammoniaque.

Pour développer une plaque 13 × 18 on peut former un bain avec

20 cc. de solution concentrée  
et 80 cc. d'eau

Dans ces mêmes proportions on utilise seulement pour chaque format de plaque un bain de développement en quantité totale convenable.

Pour la plaque normalement posée le développement dure 2 minutes et demie.

Après le développement, la plaque est rincée sommaire-

ment et plongée dans le bain d'inversion ; à partir de ce moment les opérations se font en pleine lumière.

MM. Lumière recommandent pour le bain d'inversion la formule suivante.

Eau . . . . .	1 000 cc.
Permanganate de potassium . . . . .	2 gr.
Acide sulfurique . . . . .	10 cc.

Ils conseillent aussi pour cette opération, surtout pendant l'été, l'usage de leur affaiblisseur aux sels de cérium, en solution dédoublée, qui aurait l'avantage de rassermir la couche de gélatine.

On peut aussi utiliser un bain acidulé de bichromate de potassium composé par

Eau . . . . .	1 000 cc.
Bichromate de potassium . . . . .	6 gr.
Acide sulfurique . . . . .	12 cc.

D'après MM. Lumière ce bain laisse facilement des colorations résiduelles ; mais cependant le lavage complet paraît assez rapide : il a l'avantage sur le bain de permanganate d'une conservation parfaite indéfinie ; le bain acide de permanganate s'altère en peu de jours ; mais il est d'ailleurs facile de remédier à cet inconvénient en le constituant sous deux flacons de réserve séparés contenant,

l'un,

Eau . . . . .	500 gr.
Permanganate de potassium . . . . .	2 gr.

l'autre,

Eau . . . . .	500 gr.
Acide sulfurique . . . . .	10 cc.

et on mélange parties égales des deux solutions au moment de l'usage seulement.

La dissolution de l'argent et l'inversion résultante sont assez rapides, et en une minute au plus on peut constater que l'image est complètement dépouillée, apparaissant en positive colorée, dans l'examen par transparence. La couleur est encore peu vive à cause de la transparence du bromure non insolé<sup>1</sup>. Sans prolonger plus longtemps le séjour dans le bain d'inversion<sup>2</sup> après que la transparence de la plaque paraît assurée, on rince une demi minute dans l'eau et on reporte la plaque dans le bain de développement. Il faudra alors tenir la cuvette près d'une source de lumière intense, et le mieux sera toujours, opérant dans la journée, de se placer près d'une fenêtre. Le bromure non insolé primitivement noir cira progressivement, et là, il convient de laisser agir le bain à fond. Devant la lumière du jour on pourra attendre 3 ou 4 minutes ; sous une lumière artificielle intense la durée est plus difficile à fixer ; on en jugera d'après la vitesse avec laquelle se fait le noircissement à la surface et en examinant de temps à autre l'aspect par transparence de la plaque : il faut en tout cas obtenir l'opacité maxima.

Les manipulations se termineront par un simple lavage, 3 à 4 minutes à l'eau, et il n'y aura plus qu'à laisser la plaque sécher. Le séchage est très rapide vu la très faible

<sup>1</sup> Il y a aussi une influence du gonflement de la gélatine humide qui occasionne une diffusion spéciale de l'effet coloré ; après dessication on a des colorations plus vives, même si le bromure non insolé n'est pas noir ci.

<sup>2</sup> En ne prolongeant pas le séjour dans le bain d'inversion au delà du temps strictement nécessaire à la dissolution de l'argent on réduit les chances de décollement de la couche émulsionnée.

épaisseur de la couche de gélatine ; il est d'ailleurs convenable d'user de tout moyen propre à l'activer, ventilateur, courant d'air etc ; mais il convient de se mettre soigneusement à l'abri des poussières, et éviter un échauffement marqué : une température supérieure à 25 degrés sera toujours dangereuse.

**Correction des écarts de pose.** — Le résultat obtenu par ce développement automatique et sans examen du cliché donne des résultats satisfaisants pour une durée d'exposition considérée comme normale. Cette durée est cependant susceptible d'une certaine tolérance, et une surexposition surtout peut facilement se corriger par des traitements ultérieurs appropriés, si elle n'est pas trop exagérée. Une durée de pose double et même triple de la pose normale, conduit par le développement automatique à une épreuve trop claire, mais le renforcement dont nous donnons plus loin la formule rétablira des valeurs de densité convenable. Il est plus difficile de corriger après développement l'effet d'obscurité dû à une sous-exposition et on évitera soigneusement ce défaut, même si on doit procéder par développement méthodique.

On peut avec avantage corriger dans une large mesure des écarts de pose par rapport à la normale en surveillant le développement et réglant la durée ou l'activité du développement suivant les renseignements fournis par l'observation de la venue de l'image dans un bain révélateur dilué. Ce mode opératoire est resté d'ailleurs longtemps délicat et d'emploi assez peu généralisé tant qu'il a fallu s'astreindre à faire les observations au moyen d'une lumière peu éclairante. A l'occasion précisément de la

mise en vente des plaques Autochromes MM. Lumière avaient recommandé pour la manipulation de leur plaque en couleur et aussi de l'ensemble des plaques à émulsion panchromatique, une lumière de couleur vert sombre obtenue en filtrant les radiations de la lampe éclairante à travers des papiers colorés à la tartrazine et au vert malachite, (papiers Virida vendus par les fabricants). Cette couleur permet beaucoup mieux que le rouge extrême, l'observation des traces d'image sur l'émulsion avec un examen assez rapide et en lumière assez réduite pour que l'émulsion ne risque pas de voiler ; on ne réalise cependant pas une visibilité très grande, à moins de s'accoutumer d'abord à l'obscurité par un séjour prolongé dans le laboratoire obscur.

**Désensibilisation.** — Depuis le milieu de 1921, on dispose d'un élément de manipulation qui rend la surveillance du développement photographique extrêmement facile pour toutes les catégories d'émulsion. Il suffit d'immerger les plaques, avant le développement et dans l'obscurité pendant 1 ou 2 minutes dans une solution diluée à  $\frac{1}{2000}$  de safranine ou  $\frac{1}{1000}$  d'aurantia ; cette dernière est spécialement recommandée par MM. Lumière pour les Autochromes.

Cette immersion a pour effet de détruire à peu près totalement la sensibilité de l'émulsion pour les radiations claires du spectre — du vert au rouge — et de la réduire en tout cas dans le rapport de 800 à 1 pour les radiations bleues ou violettes. La safranine a une action plus énergique, sensible même aux dilutions très faibles de  $1/20000$ , mais l'aurantia conduit, paraît-il, à des résultats

qui, largement suffisants, permettent un réglage plus sûr du développement observé<sup>1</sup>.

Après ce traitement l'observation du développement devient en tout cas très facile, car on peut utiliser l'éclairage d'une bougie ou d'une lampe Pigeon à 50 centimètres de la cuvette, ou la lumière d'une lampe à incandescence de 16 bougies filtrée par six papiers jaune Virida à 1 mètre de la cuvette : c'est en tout cas un éclairage très brillant pour un examen de cliché.

**Développement méthodique.** — On peut donc, grâce à cette manipulation supplémentaire, recourir à tous les révélateurs se prêtant à une variation d'action propre à corriger les effets de l'inexactitude dans la durée d'exposition. A l'occasion de leur étude sur l'action désensibilisatrice sur les Autochromes, MM. Lumière et Seyevettz indiquent le mode opératoire suivant en partant de la solution concentrée du révélateur méthoquinone-ammoniaque dont la formule a été donnée plus haut. *Après désensibilisation* on immerge la plaque (sans rinçage) dans une solution révélatrice diluée contenant :

Eau. . . . .	80 cc.
Solution concentrée. . . . .	5 cc.

et on observe la durée d'apparition des contours essentiels de l'image à obtenir ; au moment où ces contours apparaissent on ajoute au bain 15 cm<sup>3</sup> de révélateur concentré, et

<sup>1</sup> On a plus récemment constaté la même propriété désensibilisatrice avec d'autres substances colorantes ou non, et les *Fabwerke* de Höchst ont mis en vente sous le nom de Pinakryptol une substance complexe ayant très peu d'affinité pour les fibres végétales ou animales, dont les traces colorées sont par suite facilement éliminées.

on poursuit le développement jusqu'à la durée fixée par le tableau suivant, où on a marqué le rapport correspondant de la durée d'exposition à celle qui serait normale.

Durée d'apparition de l'image	Durée de développement complet	Durée d'exposition
17	1 m. 30 s.	6 à 8 fois
19	2 m.	4 fois
21	2 m. 30 s.	2 fois
24	3 m.	normal
33	3 m. 30 s.	1/2 normal
40	4 m. 30 s.	1/3 normal

On voit dans cet exemple un développement méthodique ; on pourrait dire semi automatique. On a d'ailleurs établi beaucoup de règles de même genre qu'il serait fastidieux d'énumérer. On en citera seulement une dont l'exécution est très simple. Due à un amateur M. Meugniot, ingénieur constructeur, elle est conseillée sous la forme suivante par la maison Lumière.

On prépare pour le développement d'une plaque 9 × 12 deux solutions.

A {	Révélateur concentré. . . . .	10 cc.
	Eau . . . . .	15 cc.
B {	Solution A. . . . .	2 cc.
	Eau . . . . .	30 cc.

La plaque, — elle aura pu être désensibilisée d'abord — est plongée dans la solution B, et on met un sablier en action ; dès que les contours essentiels apparaissent, on arrête le sablier en le couchant horizontalement, on rejette la solution B, on verse sur la plaque le reste de la solution A, on redresse le sablier en sens inverse de sa première position et on développe jusqu'à complet

écoulement du sable, c'est-à-dire que l'immersion dans la solution A aura duré le même temps que l'immersion dans la solution B. On procède ensuite au rinçage et aux opérations ultérieures.

En dehors de ces méthodes semi automatiques on peut simplement procéder à un développement surveillé et méthodique en se basant sur l'expérience personnelle qu'on peut avoir de l'action du développeur. Il n'est pas inutile de remarquer que, avant de recommander le révélateur méthoquinone ammoniaque, MM. Lumière avait établi les données essentielles du développement méthodique avec une formule acide pyrogallique-ammoniaque, qui permet de constituer un révélateur dont l'action est très facilement réglable.

Pour remédier à l'inconvénient de la grande altérabilité de l'acide pyrogallique, MM. Lumière, à la suite de leurs recherches, indiquaient la préparation des solutions de réserve sous les formules :

AA	Eau . . . . .	100 cc.
	Bisulfite de soude liquide . . . . .	2 gouttes <sup>1</sup>
	Pyrogallol . . . . .	3 gr.
	Bromure de potassium . . . . .	3 gr.
BB	Eau . . . . .	85 gr.
	Sulfate de soude anhydre . . . . .	10 gr.
	Ammoniaque 22° B . . . . .	15 cc.

Le réglage de l'action développatrice consiste à partir d'une solution diluée à 10 % en liqueur AA, et 2 à 3 % seulement de liqueur BB. Puis suivant la durée d'appari-

<sup>1</sup> Ce bisulfite ajouté seulement pour combattre l'oxydation du pyrogallol ne doit jamais être employé en proportion plus forte qu'il n'est marqué sur la formule.

tion des contours de l'image, on ajoute des proportions variables de la solution BB. On peut aller jusqu'à l'addition de 10 à 12 cm<sup>3</sup> % de cette solution. Mais comme toujours une telle intensification d'action ne corrigera que bien imparfaitement la sous-exposition excessive qui l'aura nécessité. Par contre, l'effet de surexposition peut être très largement et assez exactement compensé par ce réglage, qui est devenu d'une pratique aisée par la possibilité d'examen en lumière très éclairante après le traitement dans le bain désensibilisateur.

Les travaux personnels des amateurs ont souvent conclu à la possibilité d'emploi d'autres révélateurs que ceux indiqués par MM. Lumière ; il n'a pas paru cependant aux inventeurs qu'aucune des formules présentent un avantage quelconque de simplicité ou de correction par rapport aux formules qu'on vient de rappeler. Il a semblé même que les formules à l'ammoniaque conduisaient en tout cas à des clichés plus dépouillés et plus brillants.

Après le développement méthodique on procède aux mêmes opérations d'inversion et de noircissement final (2<sup>e</sup> développement), qui ont été décrites pour le développement normal. Quand on a fait un développement à l'acide pyrogallique, le bain ne pourra plus convenir en général pour le 2<sup>e</sup> développement ; mais cette dernière opération peut évidemment se faire avec un révélateur quelconque pourvu qu'on la poursuive en bonne lumière jusqu'au noircissement total.

**Corrections aux épreuves.** — L'épreuve obtenue après ces diverses opérations paraîtra trop claire ou trop sombre suivant les cas : surexposition ou développement trop poussé, sous-exposition ou développement

insuffisant. En principe on ne peut entreprendre de correction satisfaisante que dans un seul sens : le renforcement des épreuves trop dépouillées. Il faut se rappeler en effet que la très faible épaisseur de la couche fait que le contenu de l'émulsion en bromure d'argent est assez réduit, malgré que la richesse relative de l'émulsion soit grande. Il en résulte que la correction par affaiblissement, de l'épreuve finale, c'est-à-dire par dissolution de l'argent qui rend certaines parties du cliché trop sombres aura pour effet d'éclaircir à l'excès et de supprimer toute coloration dans les parties claires ; la couleur est faite en effet par l'obturation plus ou moins prononcée des fenêtres colorées constituées par les graines de féculle ; plus elles sont libres, plus la couleur pâlit, la somme de leurs transmissions fournissant de plus en plus du blanc.

Ce sera donc toujours une opération hasardeuse, que l'affaiblissement de l'épreuve en vue d'éclaircissement. On pourra cependant essayer de corriger une insuffisance d'action lors du premier développement en immergeant la plaque trop sombre dans un bain affaibisseur, constitué en diluant au 1/100 le bain de permanganate acide de dissolution. On utilisera d'ailleurs d'une façon générale l'action des affaibisseurs usuels, en les diluant assez pour que leur action soit lente, et se réserver le loisir de l'examen progressif de cette action. On se rappellera qu'il convient de sortir les épreuves des bains affaibisseurs un peu avant la fin de l'action cherchée et de les soumettre à un lavage soigné. Ici le lavage est toujours assez rapide en raison de la faible épaisseur de l'émulsion.

Si l'affaiblissement est une opération dont le rendement est très aléatoire (et même nul en cas de sous exposition,

puisque en aucun cas on ne fera apparaître une image qui n'aura pas été révélée), le renforcement est au contraire très avantageux. MM. Lumière ont même été toujours persuadés qu'un cliché posé normalement et bien développé gagnait encore à recevoir un léger renforcement.

Le renforcement dont ils ont donné la formule est en effet une opération qui ajoute véritablement de l'argent dans la couche et accentue les sélections colorées derrière chaque grain de féculle. Il y a donc toujours gain dans la vivacité de la coloration ; il convient cependant en chaque cas de régler avec discrétion cette intensité des tons colorés et de ne pas tomber dans la dureté du dessin et la crudité des couleurs.

Voici la suite des manipulations à faire subir à l'épreuve pour corriger un défaut de vigueur dans les couleurs, consécutif à une transparence trop grande.

On commence par faire agir pendant 10 ou 15 secondes un bain d'oxydation léger composé avec

1 partie du bain d'inversion (permanganate acide)  
pour 50 d'eau

ce bain a pour effet de détruire les traces de révélateur pouvant rester dans la couche après les lavages qui ont suivi le 2<sup>e</sup> développement ; il ne doit produire aucun blanchissement qui serait l'indice d'une insuffisance de noircissement au 2<sup>e</sup> développement et nécessiterait une reprise de cette opération.

On fait agir ensuite le bain de renforcement préparé comme suit. Deux solutions auront été faites à l'avance.

Eau distillée . . . . .	1 000 cc.
Pyrogallop . . . . .	3 gr.
Acide citrique . . . . .	3 gr.

et

Eau distillée . . . . .	100 cc.
Nitrate d'argent . . . . .	5 gr.

La première solution s'altère assez vite et on aura avantage à n'en préparer à l'avance qu'une quantité appropriée aux utilisations prévues. Pour renforcer on mélange au moment de s'en servir.

1 partie de la solution de nitrate d'argent  
à 10 parties de la solution pyrogallique

La plaque étant immergée dans le bain on examine de temps en temps par transparence l'effet produit ; le bain jaunit peu à peu, le cliché se renforce, on arrête le renforcement quand on le juge suffisant. Si le bain se trouble avant que l'intensification soit satisfaisante, on rejette ce bain troublé et on le remplacera par un nouveau bain de mélange neuf. On aura même intérêt à séparer les actions de ces deux bains successifs par un rinçage de la plaque et une immersion rapide dans le mélange oxydant, dilué. Ce second bain de renforcement sera toujours suffisant pour amener l'intensité voulue.

On ne se préoccupera pas de la teinte jaunâtre qu'aura pu prendre le cliché pendant ces opérations elle disparaîtra dans la suite du traitement.

La plaque renforcée étant ensuite lavée pendant quelques secondes, on la plonge dans une solution de permanaganate de potasse au  $\frac{1}{100}$  sans acide. Ce bain a pu être préparé longtemps à l'avance en quantité quelconque, il ne s'altère pas. On laisse agir pendant 30 secondes, on le rejette et on lave sommairement.

On fait agir enfin un bain de fixage composé de

Eau. . . . .	1 000 cc.
Hyposulfite . . . . .	150 gr.
Bisulfite de soude . . . . .	50 cc.

Il ne doit causer aucune baisse appréciable de l'intensité ; un tel effet serait encore dû à une insuffisance de noircissement lors du 2<sup>e</sup> développement et serait irrémédiable ; il faut retenir à ce point de vue qu'il est particulièrement important de pousser à fond ce second développement quand on envisage la probabilité d'un renforcement ultérieur.

On termine les opérations par un lavage de 4 ou 5 minutes qui suffira pour éliminer l'hyposulfite et on procède ensuite au séchage comme il a été dit. Notons encore l'intérêt qu'on trouve à procéder aussi rapidement que possible à toutes les opérations ; la faible épaisseur de la couche de gélatine la rend très fragile tant qu'elle est humide et la moindre éraillure, le plus petit trou tendent à former pendant l'immersion de la plaque des taches vertes provenant du dégorgement de la couleur des grains de féculle découverts. On aura toujours avantage, en conséquence, à ne pas procéder aux opérations de renforcement immédiatement après les opérations de développement. Un premier séchage après celles-ci donnera plus de solidité à la couche et rendra moins délicates les manipulations ultérieures.

Il est d'ailleurs toujours possible d'interrompre la suite des manipulations après le bain de dissolution. Cette pratique est avantageuse lorsqu'on procède au premier développement pendant la soirée : il est en effet toujours beaucoup plus facile d'assurer le noircisse-

ment final en faisant le second développement au jour plutôt qu'en lumière artificielle<sup>1</sup>.

Il faut insister aussi sur le fait que la température doit toujours être modérée. Les données sur la durée de développement se rapportent à des bains maintenus entre 15 et 20°.

Au dessous de 15° il y a généralement ralentissement de l'action du révélateur. Et pour les raisons de solidité de la couche, il ne convient pas d'utiliser des bains à température plus élevée. On peut se trouver fort gêné pour remplir ces conditions en été ou dans certaines contrées ; en ce cas on aura tout avantage à subdiviser les opérations en groupes de moindre durée possible. Le séjour dans le bain acide d'inversion devra surtout être limité au minimum.

Il est assez délicat de recommander une solution tannante quelconque pour assurer la solidité de la couche et éviter les décollements. MM. Lumière préconisent spécialement l'emploi de l'affaiblisseur aux sels de cérium comme bain d'inversion produisant un effet tannant sur la gélatine et facilitant les manipulations suivantes. Il conviendra en tout cas, dans les essais de traitement auxquels on pourrait se livrer en vue de surmonter quelque difficulté imprévue, de ne jamais employer de solution alcoolique dont le pouvoir dissolvant est beaucoup trop marqué pour le vernis interposé entre le réseau et l'éму-  
sion.

<sup>1</sup> Lorsqu'on diffère ainsi le second développement il est important de ne pas laisser la plaque exposée à une lumière trop vive dans l'intervalle des opérations ; on risquerait en effet une solarisation qui rendrait le bromure irréductible.

**Vernissage.** — Pour la conservation des épreuves, il est intéressant de procéder après terminaison, au vernissage de la couche. On prépare le vernis par une dissolution

de 20 gr. de gomme Dammar  
dans 100 gr. de benzine cristallisante

Le vernis s'emploie à froid ; on verse au centre de la plaque bien séchée un excès de vernis et par inclinaison on le répand sur toute la surface en laissant finalement écouler l'excès par un angle : on fera sécher la plaque en la dressant sur un séchoir et maintenant cet angle à la partie inférieure.

Le vernis employé bien limpide a pour effet d'augmenter la transparence des épreuves ce qui est un avantage appréciable ; il assure en tout cas la solidité de la couche d'émulsion.

On complètera les précautions pour la conservation des épreuves en procédant à un doublage par un verre transparent à la façon ordinaire.

**Montage et examen des épreuves.** — L'examen des épreuves se fait comme celui d'une diapositive ordinaire. On trouve avantage à l'encadrer d'une large marge sombre afin que l'œil ne soit pas fatigué par une luminosité latérale surabondante qui diminuerait sensiblement les contrastes de la vision colorée.

Il y a donc matière à de nombreux dispositifs de montage capables de faire apparaître ainsi l'épreuve comme à travers un chassis ouvert sur la vue photographiée. Nous ne citerons que pour mémoire les types essentiels.

1° Passe partout à grandes marges encadrant l'épreuve.

2° Examen par réflexion dans un miroir de la vue éclairée par dessus, le champ du miroir étant limité exactement à la vue de l'épreuve.

3° Examen à travers un monocle du cliché monté à l'intérieur d'une chambre, éclairée à l'arrière par la lumière diffuse.

Ce dernier dispositif correspond essentiellement à l'examen des vues stéréoscopiques, qui permet de retirer d'une diapositive la plus grande satisfaction possible.

**Epreuves stéréoscopiques.** — La production d'épreuves stéréoscopiques a été une opération en faveur auprès des amateurs dès l'apparition des plaques Autochromes.

On a fort discuté sur l'inconvénient de l'aspect pointillé de l'épreuve Autochrome ; il devait être accru par l'examen au stéroscope qui amplifie notablement l'image rétinienne. A vrai dire cette amplification n'est pas aussi gênante qu'on pouvait le craindre.

Les amas de grain sont en effet plus visibles pour chacun des yeux : mais comme il ne peut y avoir coïncidence pour les deux yeux l'importance du grossissement est certainement diminuée dans le mécanisme de la fusion des images qui conduit à la perception du relief. Sous réserve donc d'une sage limitation du grossissement oculaire rien ne s'oppose à une utilisation abondante et intéressante de l'Autochrome pour les vues stéréoscopiques.

Les amateurs stéréoscopistes l'ont rapidement compris et bien peu d'entre eux se refusent à prendre des vues en couleur ; la possibilité de satisfaction est telle que beaucoup n'hésitent pas à faire des autochromes en format  $45 \times 107$  sur lequel cependant le dessin est réduit

à une bien faible échelle et l'importance accrue d'autant pour tous les petits défauts des épreuves, et aussi pour le « pointillisme ».

Les manipulations pour épreuves stéréoscopiques comprennent, en plus des manipulations déjà décrites aboutissant à la diapositive, un montage de remise en place des deux éléments de la vue.

Avec la plupart des formats<sup>7</sup> il suffit de couper par le milieu, au diamant, l'épreuve terminée, et de monter les deux moitiés après avoir échangé leur position contre un verre transparent du format total. Le montage se fait en bordant l'ensemble du verre et de l'épreuve avec des bandes de papier gommé que l'on humecte, ou mieux de papier couvert d'un enduit caoutchouté qu'on ramollit au fer chaud ; ce dernier procédé évite le risque d'enfermer de l'humidité entre les deux plaques.

Le découpage en deux parties égales n'est rationnel en réalité que pour le format  $6 \times 13$  ; pour tout autre format le montage devrait comprendre un découpage de la diapositive telle que l'on puisse après échange de position des deux parties de la vue, maintenir un écart de 65 à 70 millimètres entre les points homologues de ces deux portions. On trouve facilement la solution de ce petit problème pour chaque format usuel, mais cela ne va pas sans entraîner une complication supplémentaire désagréable.

**Stéréoscopes inverseurs.** — Cette particularité de l'examen des vues stéréoscopiques en couleur a posé le problème des instruments de vision inverseurs. Quoique la question soit d'ordre un peu spécial nous citerons ici deux solutions.

Nous avons indiqué dans la *Photographie des couleurs* en 1912 le principe d'une construction assez simple dont le schéma est figuré ci-contre (fig. 66). Par l'intermédiaire d'un prisme à réflexion totale et dont la courbure d'une des faces fournit la convergence convenable à la mise au point, puis d'une glace argentée, on fait voir à chacun des yeux l'image placée droite en face de l'autre.

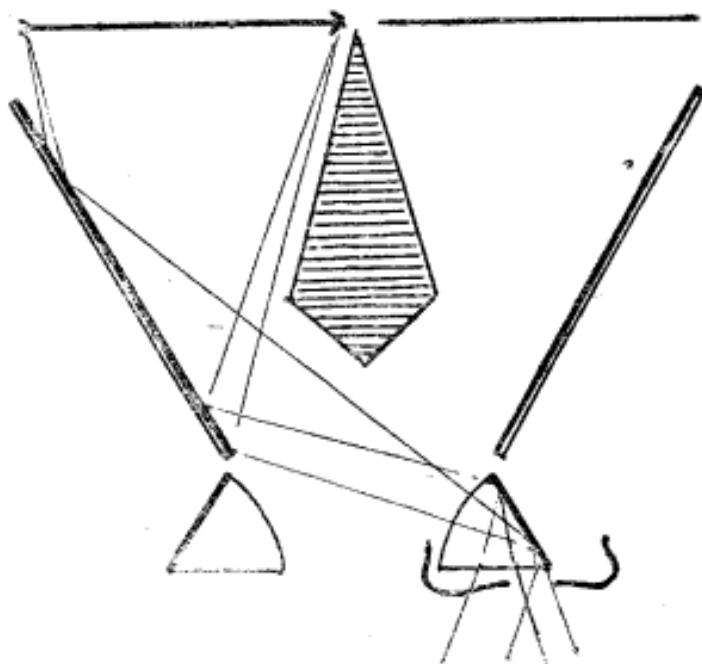


Fig. 66. — Stéréoscope inverseur.

Un prisme oculaire (fig. 67) peut être aussi facilement dessiné sur le même principe pour retourner devant chaque œil l'image qui lui correspond.

D'autre part M. Richard a construit pour l'examen des vues, format vérascope, des prismes redresseurs dont le schéma est représenté sur la figure 68 ; ces prismes réalisent aussi le redressement dans un sens de la vue placée devant cet oculaire.

L'inconvénient de ces dispositifs est d'avoir un champ

réduit ce qui ne permet pas de fort grossissement ; pour l'Autochrome ce n'est pas un inconvénient réel ; mais circonstance plus gênante, ils ont un emplacement optimum pour la pupille de l'œil, comme un genre d'anneau oculaire, de faible dimension, qui exige en principe un

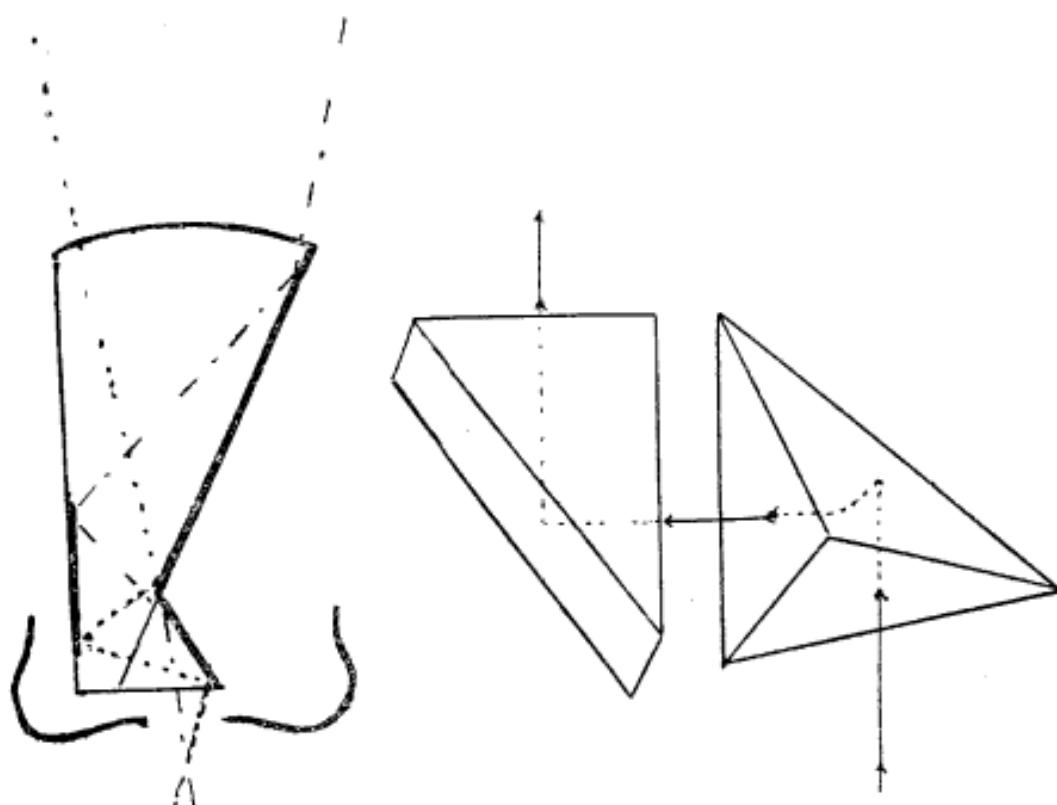


Fig. 67.  
Oculaire inverseur.

Fig. 68.  
Prisme redresseur (Richard).

ajustement possible soigné des oculaires devant les yeux de l'observateur.

Jusqu'ici les systèmes inverseurs ne paraissent guère employés et on se plie en somme facilement au petit désagrément du découpage et du montage supplémentaire des épreuves qui permet l'utilisation dans les stéréoscopes courants.

**Projection des épreuves Autochromes.** — La projection des épreuves en couleur se pratique comme celle des diapositives en noir ; il faut signaler comme particularité que la transparence générale du réseau n'étant, comme on l'a vu, que le  $1/10$  environ de l'unité, il faudra en général une intensité lumineuse plus forte pour donner à la projection des autochromes une clarté suffisante. Cependant on peut remarquer que la sensation colorée est plus vive en lumière modérée de sorte que l'on peut fort bien utiliser les arcs de puissance moyenne à la réalisation de bonnes projections en couleur ; il suffira seulement lors de la présentation de ménager une transition d'obscurité de durée suffisante entre le plein éclairage de la salle, ou le passage des diapositives en noir à grand éclat, et la projection de la première plaque en couleur.

La projection est un mode d'examen fort avantageux des plaques en couleur, car l'effet pointilliste disparaît totalement, tant par le peu de rigueur du stigmatisme des objectifs de projection que par une diminution importante de l'angle sous lequel les observateurs sont appelés à voir l'épreuve. Par contre la projection peut entraîner une inexactitude assez sensible dans les colorations.

Les conditions de fonctionnement de la plaque sont établies telles que nous les avons décrites pour un éclairement des objets et un examen de la plaque à la lumière solaire ou à la lumière vive du jour. Les sources de lumière artificielle ont une constitution trop différente pour que la traduction colorée reste satisfaisante sans quelque modification aux conditions d'emploi.

En ce qui concerne le seul examen par projection, pour que les sensations colorées soient convenablement rendues, il faut que la source lumineuse employée contienne les

trois radiations fondamentales dans une proportion se rapprochant assez de celle qui correspond à la lumière du jour. L'arc du charbon quoique se rapprochant le mieux, parmi les sources usuelles, de ces conditions, ne la remplit qu'imparfaitement et les épreuves projetées sont certainement plus jaunâtres que si on les examine à la lumière du jour.

La coloration des verres condenseurs de la lanterne peut intervenir pour atténuer ou aggraver suivant les cas, cette différence.

On est d'ailleurs peu sensible à cette inexactitude parce qu'on est accoutumé à cette transposition des tons colorés en passant de l'éclairement solaire du jour à l'éclairement artificiel de la soirée. Les sources autres que l'arc montreraient un déficit de radiations violettes bien plus grand et probablement insupportable, si on les réalisait avec une intensité suffisante pour la projection.

Il serait assez facile de composer un filtre correcteur qui rétablirait dans la lumière admise sur le réseau la proportion convenable des radiations fondamentales ; ce serait une adaptation une fois faite pour chaque source de lumière ; mais ce serait aussi faire encore un sacrifice sur la luminosité générale, on ne parait pas encore s'y être résigné jusqu'ici.

Notons encore une circonstance importante : les couleurs de teinture employées pour les filtres ou les réseaux ne sont pas en général d'une stabilité absolue à la lumière. La lumière des sources de projection qui tombe avec un éclat considérable sur les plaques projetées peut donc en altérer les couleurs facilement et il convient de réduire au minimum la durée de cet éclairement excessif. Il y a aussi

échauffement considérable de la plaque et du réseau par suite de l'absorption spécifique très forte et cet échauffement entraîne un risque de destruction totale de la plaque par fusion et coulage des couches constituantes.

L'interposition d'une cuve d'eau sera avantageuse, mais on se souviendra qu'à tout point de vue la projection en couleur doit être menée rapidement.

**Emploi des plaques Autochromes en lumière différente de la lumière du jour.** — Les photographies en couleur peuvent être obtenues sous des éclairements autres que celui de la lumière solaire, et la pratique de ces cas spéciaux ne diffère de celle du cas général que par la nécessité d'adapter la sensibilité de l'émulsion à la nature de l'éclairage par un nouveau filtre compensateur.

On est amené à employer ces écrans particuliers déjà dans les photographies d'intérieur sous la lumière du jour si cette lumière tamisée par des rideaux ou réfléchie par des tentures se trouve chargée de dominante colorée très marquée. Comme dans le cas de l'éclairage des ombres par un ciel bleu pur, signalé antérieurement, on peut corriger cette activité renforcée de certaines radiations par une absorption supplémentaire convenable du filtre compensateur.

Les fabricants établissent des filtres compensateurs spéciaux pour différents cas d'emploi. M. Monpillard a aussi largement étudié la question et produit une grande variété de filtres sélecteurs. On a publié aussi un grand nombre de formules. Nous reviendrons sur la question dans le chapitre suivant et nous verrons que la coloration de ces filtres ne peut être établie sur une formule

invariable. Toutefois on emploie des filtres pour les quelques cas suivants, les plus usuels : photographie à la lumière électrique, à la lumière d'une poudre magnésique de composition bien définie et simple, à la lumière du magnésium brûlant librement à l'air.

La photographie à la lumière électrique est difficile à pratiquer, les résultats colorés semblent mal assurés. Cela peut tenir à l'émission avec des intensités très variables des raies violettes du carbone qui changent alors fréquemment la constitution de la lumière.

On réussit un travail régulier en fixant nettement les conditions d'emploi de l'arc à charbon pur : écartement réglé par exemple juste à la disparition du siflement.

L'éclair magnésique est assez recommandé et employé. Il faut cependant, pour avoir une intensité lumineuse suffisante, user de fortes doses de poudre éclair. Il en résulte la nécessité d'une organisation spéciale pour l'élimination des produits de la combustion d'une part, et aussi d'écrans diffuseurs pour la meilleure utilisation de la lumière. La complication qui résulte de ces organisations ne peut guère être acceptée que par un atelier de pose à installation fixe. On trouve dans l'Agenda Lumière une description d'installation de ce genre.

**Reproduction des Autochromes à la lumière du magnésium.** — La lumière de combustion libre du magnésium a été utilisée spécialement par MM. Lumière pour la reproduction des épreuves Autochromes sur plaque Autochrome.

Les premières tentatives de reproduction furent faites avec la chambre noire, ce qui permet d'obtenir une épreuve reproduite de format différent. On ne peut pas

naturellement envisager de forts agrandissements sans risquer de marquer trop le pointillisme de la plaque.

L'installation de cette reproduction à la chambre est analogue à une installation d'agrandissement. Mais le point délicat s'est trouvé dans l'éclairage. La lumière électrique conduit nous avons dit à des résultats irréguliers ou du moins doit être soigneusement définie quant aux circonstances de son utilisation. Il en est de même avec la lumière du jour utilisée directement. On s'arrangera pour éclairer le cliché à reproduire par un écran

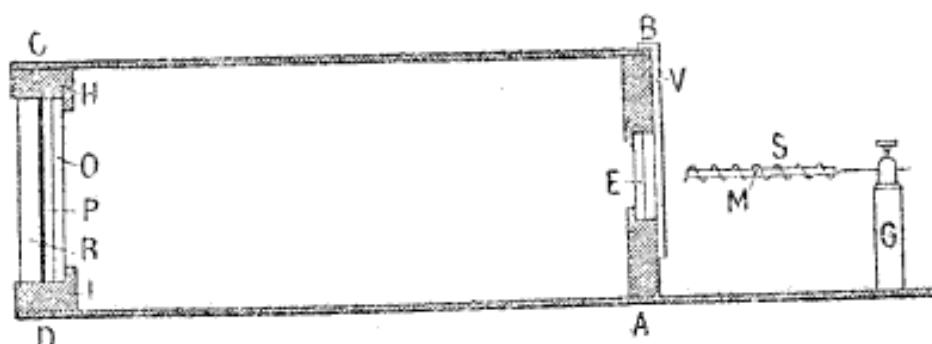


Fig. 69. — Dispositif pour la reproduction au magnésium des Autochromes.

blanc diffusant, encore faudra-t-il choisir un ciel blanc par les nuages et non pas le ciel bleu ni la lumière directe du soleil.

On a des résultats plus réguliers dans la reproduction des chromotypes en procédant par contact et en éclairant avec un ruban de magnésium.

La maison Lumière indique comme dispositif simple l'agencement d'une caisse rectangulaire ABCD (fig. 69) de 40 centimètres environ de longueur, étanche à la lumière et noircie intérieurement. Un fond mobile en CD reçoit un chassis presse contenant le chromotype à côté verre

en avant, puis la plaque côté verre en contact avec l'émulsion du chromotype.

L'avant AB de la caisse présente une fenêtre carrée recouverte d'un filtre coloré spécial pour la reproduction au magnésium. Un volet V arrête toute lumière avant l'opération. La source éclairante doit avoir un caractère ponctuel et de position peu variable : elle est constituée par un ruban de magnésium M d'une dizaine de centimètres, maintenu dans une position horizontale à l'intérieur d'une petite spirale de fil de fer S retenue par la borne G ; avec du fil de  $5/10$  de millimètres de diamètre la spirale possède assez de raideur pour se maintenir horizontale. On enlève le volet V et on allume le magnésium par l'extrémité la plus rapprochée de l'écran, mais qui s'en trouve éloignée encore de quelques centimètres en face du centre.

La plaque impressionnée se développe comme à l'ordinaire, les essais auront vite fait connaître la longueur du ruban qui fournira la pose exacte pour que la reproduction soit convenable.

Naturellement, l'opération doit être effectuée à l'abri de toute autre lumière que celle du magnésium, et répétons-le, le filtre compensateur est un filtre coloré spécialement pour cet usage.

**Hypersensibilisation.** — La faible sensibilité de la plaque derrière son écran apporte naturellement une limitation à son emploi devant les sujets animés. Bien qu'en bonne lumière on puisse obtenir de courtes poses en plein air si on opère avec des objectifs de très grande ouverture, (à  $f/3,5$  on pourra aborder le  $\frac{1}{10}$  de seconde) on a

toujours désiré la réalisation d'une émulsion plus rapide pour profiter avantageusement des ouvertures courantes d'objectifs.

Au cours de recherches sur les relations de la plaque Autochrome avec la théorie trichrome dont il sera parlé dans le chapitre suivant nous avons eu l'occasion de constater que l'immersion de la plaque dans des bains colorants sensibilisateurs pouvait assurer un gain notable de sensibilité chromatique. L'utilisation possible de cette opération a été signalée dans la *Photographie des Couleurs* (6 mai 1909). Divers amateurs avaient d'ailleurs fait la même remarque, et différentes formules furent ainsi publiées par MM. Simmen, Vallot, puis Von Polocksay, etc., pour renforcer la sensibilité chromatique des plaques Autochromes. On baptisa l'opération du nom un peu barbare d'hypersensibilisation.

En fait on profite seulement de ce que l'introduction des colorants sensibilisateurs dans l'émulsion au moment de sa préparation industrielle ne donne pas au bromure d'argent le maximum de sensibilité qu'il est susceptible d'acquérir pour les radiations colorées.

On complète alors, sur la plaque préparée par le fabricant, l'action sensibilisatrice des colorants, en ajoutant à la sensibilité déjà acquise, un nouveau décalage de la sensibilité générale sur les radiations visibles<sup>1</sup>.

Cette nouvelle répartition de la sensibilité semble dans

<sup>1</sup> On a récemment publié divers exemples d'augmentation générale de la sensibilité par intervention de matières colorantes, ou de substances minérales diverses ; même le simple lavage à l'eau distillée, suivi d'un séchage rapide, peut produire le même effet. Nous avions eu l'occasion d'observer ce dernier cas au cours des travaux

les conditions les plus favorables multiplier par 5 l'action photochimique des couleurs utilisées ; en ce cas le filtre compensateur peut être dépourvu de toute coloration et être constitué de manière à enlever seulement les radiations ultraviolettes invisibles, qui pourraient encore être transmises par l'ensemble des milieux traversés ; on le réalise par une solution d'esculine.

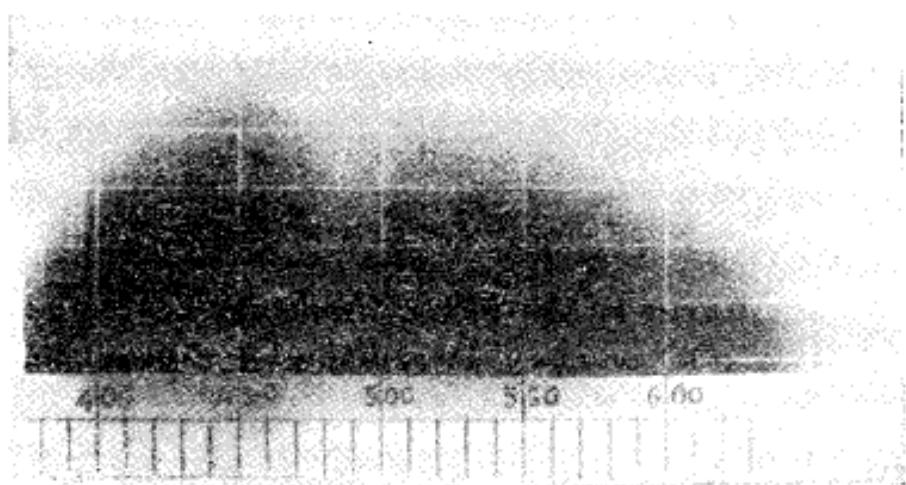


Fig. 70. — Emulsion Autochrome hypersensibilisée par imprégnation dans le Pantochrome Lumière.

On obtient cette sensibilisation par une technique simple. Le colorant sensibilisateur choisi est généralement conservé en solution alcoolique au  $\frac{1}{1000}$ .

Le plus avantageux à employer à l'heure actuelle est le pantochrome Lumière. Le spectrogramme de la figure 70 montre la sensibilité ainsi réalisée et le gain apparaît évident en se reportant à la figure 62.

rappelés ici ; mais, comme les publications récentes l'ont également signalé, les résultats obtenus ne sont ni permanents, ni réguliers ; ces actions ne sont donc pas utilisables, dans l'état de nos connaissances.

Avec cette solution de réserve on prépare au moment de l'emploi un bain au  $\frac{1}{1\,000\,000}$ , soit 1 cm<sup>3</sup> de la solution de réserve pour un litre d'eau ; il est prudent d'ajouter 2 ou 3 gouttes d'ammoniaque à l'eau, surtout si elle est distillée. Les plaques sont immergées 5 minutes dans ce bain puis retirées, égouttées et mises à sécher dans une caisse sur le fond de laquelle repose une cuvette contenant de l'acide sulfurique ou du chlorure de calcium. Comme pour la sensibilisation des plaques ordinaires on se trouvera bien d'une cuvette à rainures pour immersion dans la position verticale surtout si on peut vidanger le bain par la partie inférieure en écoulement lent et laisser égoutter ainsi les plaques en cuve fermée : il n'y a d'autre opération ensuite qu'à transporter les plaques de la cuve verticale à la caisse de séchage.

Le séchage est assez rapide, 1 heure environ si la température n'est pas trop basse. Les plaques préparées à la température moyenne ou fraîche se conservent bien. Si on les prépare en été, à température dépassant 20°, elles ne se conservent pas. Après séchage il faut en attendant leur emploi les refermer avec leurs cartons noirs dans le papier d'emballage et dans la boîte où elles étaient fermées.

En employant le pantochrome Lumière comme colorant, le filtre est réduit à une couche de gélatine contenant de l'esculine ; il est difficile de donner une formule valable pour la réalisation d'un tel écran : l'effet produit par l'esculine dépend essentiellement de la façon dont on fait le montage de l'écran ; l'excès d'ammoniaque qui intervient pour régler l'absorption disparaît en effet progressivement tant que la couche de gélatine n'est pas

collée au baume sur un autre verre. On aura donc meilleur compte de se procurer un écran tout préparé en s'adressant aux usines Lumière par exemple.

On peut aussi régler des doses de colorants mélangés pour remplacer le Pantochrome. C'est à l'aide des mélanges de pinachrome, pinaverdol et pinacyanol, que MM. Simmen et Vallot avaient réglé leur sensibilisation.

Mais comme en définitive il n'est pas possible d'avoir une formule invariable en dépendance seulement du filtre compensateur et qu'il faut s'en tenir à une traduction plus ou moins approchée il est plus simple d'employer un colorant unique. Nous avions autrefois conseillé le pinachrome dont la pureté paraissait mieux assurée et la facilité d'emploi plus grande. Le Pantochrome Lumière remplira maintenant le même rôle avec des qualités meilleures d'uniformité dans la sensibilisation ; il présente encore l'avantage de se conserver longtemps même en solution aqueuse très diluée,

**Régularité des résultats fournis par l'Autochrome.** — Les opérateurs qui se sont servi régulièrement des plaques Autochromes ont toujours été frappés par la régularité remarquable des résultats obtenus en suivant exactement les conditions d'emploi réglées par les fabricants. Cependant la plupart d'entre eux ne se font qu'une idée imparfaite des difficultés techniques que l'on rencontre à réaliser les éléments réguliers d'une coloration toujours définie de la même façon.

En vérité cette difficulté est telle que seule la plaque Autochrome l'a résolue industriellement avec une approximation suffisante.

Bien qu'en ce cas on dispose pour faire une couleur des lots séparés de grains colorés en tons fondamentaux, de sorte que le mélange de ces grains paraît le plus facile à régler pour un résultat voulu, il est impossible de retrouver régulièrement et indéfiniment une même tonalité de mélange. Les conditions d'humidité et de température interviennent avec une telle importance lors de la teinture des lots séparés et sur l'effet produit par le mélange, que le résultat obtenu après poudrage de la plaque et vernissage du réseau ne peut être assuré qu'avec une approximation, à la vérité bien supérieure dans le cas du procédé aux grains de féculle que dans tout les autres que nous citerons plus loin, mais assez grossière cependant pour laisser place à des différences de tonalité sensible entre les réseaux des fabrications successives.

Cela est sans grande importance quant à la possibilité de reproduction assez exacte des couleurs, on le verra dans le chapitre suivant.

Mais pour que le résultat soit convenable, il faut comme on l'a exposé, assurer une sélection colorée à la prise des vues qui doit être en rapport avec la nature des couleurs fondamentales ; cette sélection est l'effet combiné de la sensibilité chromatique de l'émulsion avec les absorptions des grains du réseau et du filtre compensateur. Ce dernier élément est fixé d'une façon invariable par les fabricants puisqu'on ne peut songer à assujettir l'amateur photographe à un changement de cet accessoire qui est devenu simplement une pièce supplémentaire de la chambre noire. Si, comme il arrive, les absorptions du réseau ne peuvent être fixées à la fabrication d'une façon immuable, il faut pour chaque réseau adapter la sensibilité chromatique de l'émulsion à la valeur convenable.

C'est là, en effet, le mécanisme nécessaire de la production d'une plaque à réseau coloré adhérent. C'est à la réalisation parfaite de ces contrôles et vérifications régulièrement et journellement faites que l'on doit la sécurité d'emploi des plaques Autochromes quant à la bonne exactitude des résultats. L'automatisme de manipulation n'est en somme réalisé que par l'intervention à la fabrication d'une intelligence et d'une observation très avertie qui dose à chaque instant les différents facteurs du mécanisme, en fonction des réactions qu'ils subissent sous l'influence des circonstances extérieures.

On voit que l'opération d'hypersensibilisation décrite au paragraphe précédent n'a aucune chance de pouvoir être réglée d'une façon impérative et définie si l'on recherche une grande rigueur dans la constance des résultats : et on comprend pourquoi il faudra, ou se contenter de résultats moyens, ou s'astreindre pour un lot de plaques données à chercher par des essais préalables une adaptation exacte de la formule de sensibilisation en variant la dose de colorant ou les durées d'immersion. L'opération reste donc toujours délicate.

**Conservation des plaques Autochromes.** — Les plaques Autochromes, comme toutes les émulsions à sensibilité chromatique généralisée, ne conservent pas indéfiniment leurs qualités.

Les fabricants indiquent sur leur empaquetage une date limite jusqu'à laquelle on est assuré de leur fonctionnement normal (pourvu que les précautions élémentaires aient été prises, c'est-à-dire mise à l'abri de l'humidité et de la chaleur). C'est une indication utile pour l'amateur photographe ; mais il faut savoir que l'emploi des plaques

est généralement très satisfaisant plusieurs mois encore après la date indiquée.

Nous avons pu constater des résultats colorés convenables avec des plaques datant de trois et quatre ans ; mais il s'agit alors de cas exceptionnels et néanmoins les plaques très agées n'ont pas leurs propriétés normales.

La modification de qualité s'exprime d'ailleurs simplement : elles sont envahies progressivement par un voile général et la sensibilité chromatique s'affaiblit.

Pour tirer parti de plaques ayant ainsi trop largement dépassé les limites d'emploi normal, il faut tenir compte du sens de cette modification ; on posera très largement, une surexposition de 4 ou 5 fois la durée normale par exemple, et on opérera un développement rapide ; on surmonte ainsi les deux défauts de la plaque ancienne. Mais c'est seulement à des plaques très anciennes qu'une telle précaution s'applique, la conservation étant largement assurée au delà des limites marquées ; pourtant on fera bien de tenir toujours compte d'un affaiblissement progressif de la sensibilité.

Quand les plaques ont été manipulées, sorties de leurs paquetages, exposées à l'air, mises en chassis mais non employées, il faut toujours les réempaqueter dans leur emballage jusqu'à occasion d'emploi ; mais alors on a diminué beaucoup leur chance de conservation.

Quand on a procédé à une hypersensibilisation on a aussi amplifié les risques d'altération qui semblent en relation directe avec une haute sensibilité chromatique.

A cet égard cependant les techniques différentes peuvent aussi conduire à des résultats différents. Le panchrome employé comme sensibilisateur nous a donné quelquefois des plaques d'excellente conservation.

**Conservation des épreuves.** — Les épreuves terminées semblent pouvoir être de conservation très longue. Il en est qui, datant de l'origine de la fabrication, ont encore toute leur vivacité de tons colorés sans avoir été spécialement mises à l'abri de toute lumière.

On doit tenir compte en cette question des propriétés assez générales des substances colorées qui servent à la teinture des grains de féculle ; la lumière tend toujours à détruire la couleur ; cette action destructive est facilitée par d'autres substances, et en particulier par l'humidité. On verra au chapitre VII, l'utilisation de ces propriétés à la base d'un procédé de reproduction des couleurs. Ici il faut retenir comme indication de ne pas laisser exposer d'une façon permanente à une lumière vive les Autochromes que l'on désire conserver. De plus il convient de les *monter* avec soin pour réduire au minimum les risques d'altération.

La plaque suffisamment lavée après le traitement photographique sera séchée le mieux possible ; le vernissage à la gomme Dammar ne joue un rôle de véritable préservation que s'il n'emprisonne pas dans la couche la moindre trace d'humidité ; il ne faut donc l'effectuer que sur l'épreuve complètement sèche et à température suffisamment élevée (on ne veut pas dire qu'il faut chauffer l'épreuve mais seulement qu'une basse température du local de manipulation comporte des risques de condensation d'humidité sur la plaque).

Le doublage de l'épreuve par un verre incolore fait intervenir des bandes gommées ; on se trouve bien de l'emploi des bandes, préparées pour être posées à chaud, qui comportent moins de risque d'introduction d'humidité entre les plaques que les bandes gommées ordinaires ; il

faut en tout cas humecter ces dernières aussi peu que possible.

Avec ces précautions, la conservation de l'épreuve peut-être sans doute indéfinie ; mais les phénomènes de décoloration ne sont pas assez connus dans tout leur mécanisme pour qu'on puisse être assuré du résultat.

Répétons seulement que bien des épreuves qui ont près de vingt ans de date ne présentent aucun signe d'altération et que cela permet tous les espoirs sur la conservation générale.

#### AUTRES PLAQUES A RÉSEAUX

On a consacré le présent chapitre à la plaque Autochrome Lumière qui représente à l'heure actuelle sinon le seul exemple, du moins de beaucoup le plus correct d'un procédé facile de photographie des couleurs.

Mais les recherches en vue de reproduire les couleurs par l'intermédiaire d'un fin réseau coloré, adhérent ou non à la plaque, ont été extrêmement nombreuses surtout à partir du moment où les premiers brevets Lumière firent entrevoir la réalisation du procédé schématiquement prévu par Ducos de Hauron et Mac Doumough. Il faudrait bien des pages pour citer tous les systèmes de réseaux qui ont été décrits. Bien peu cependant furent effectivement réalisées, et un nombre extrêmement restreint seulement subit l'épreuve d'une exploitation commerciale.

Les différents procédés de fabrication de réseaux peuvent se classer en trois catégories :

1° Saupoudrage conduisant à un réseau irrégulier comme celui de l'Autochrome.

2° Impression sur gélatine, ou imbibition de teinture

par la gélatine, conduisant à des réseaux lignés réguliers.

3° Coupes dans des blocs formés par assemblages de cuilles transparentes colorées, conduisant aussi à des réseaux à peu près réguliers.

**Plaques à grains.** — Dans la première catégorie on peut classer des réseaux fabriqués avec des grains de gélatine (Bomber) ou de laque (Aurora) et de gomme arabe (Christiansen, A. G. F. A.).

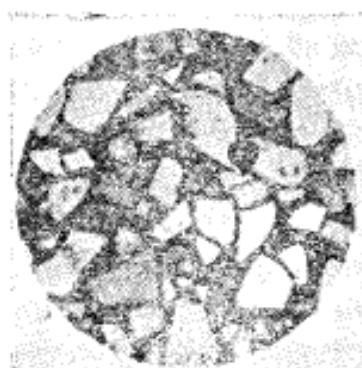


Fig. 71.  
Réseau Aurora.

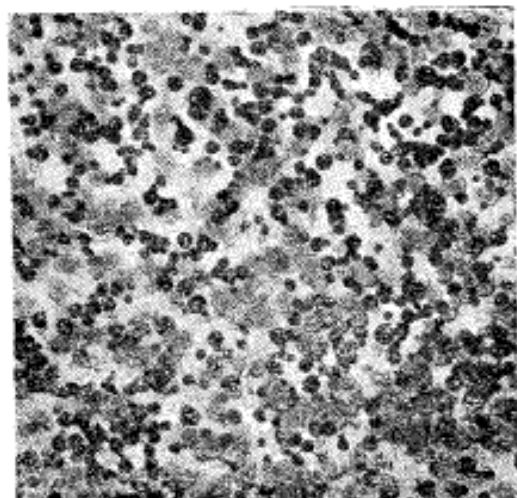


Fig. 72.  
Réseau Christiansen (A. G. F. A.).

Les figures 71 et 72 montrent l'aspect microphotographique de ces réseaux. Cela ne renseigne en rien d'ailleurs sur les possibilités de production et de fonctionnement réguliers.

En fait le réseau Christiansen fut le seul qui subit une exploitation commerciale. Encore avait-il avant 1914 une coloration mal assurée et une teinte dominante sensible et variable. L'exploitation en a été reprise récemment. Les plaques réalisées par l'A. G. F. A. sont tout à fait ana-

logues d'aspect aux Autochromes Lumière ; la dimension moyenne des grains est la même ; le mode d'emploi et les manipulations sont également du même type ; mais dans le détail il faut se reporter aux instructions particulières établies par le fabricant, puisque en tout cas l'intervention de l'opérateur photographe est nécessairement et étroitement déterminée par la constitution même des plaques à la fabrication. Jusqu'à ce jour les plaques A. G. F. A. ne paraissent présenter aucun avantage de manipulation sur l'Autochrome ; il semble au contraire que la fragilité de la couche soit encore plus grande, et la sensibilité plutôt moins forte.

Quant aux résultats colorés, il est difficile de les juger la plaque étant encore peu répandue et n'ayant pas subi l'épreuve d'une généralisation d'emploi comparable à celle de l'Autochrome.

**Plaques à réseaux réguliers.** — La production de ces plaques a été l'objet du plus grand nombre d'essais ingénieux. Les inventeurs mettent en œuvre les propriétés de la gélatine bichromatée pour obtenir des impressions photographiques derrière des trames, les procédés mécaniques d'impression aux encres grasses, combinés avec des teintures par imbibition. On peut obtenir ainsi des éléments colorés, de formes diverses juxtaposés régulièrement. La figure 73 représente un des premiers réseaux réguliers mis en vente en Angleterre et dont l'exploitation est d'ailleurs abandonnée comme celle de la plupart de ceux que nous citons plus loin.

Ces éléments colorés doivent évidemment être de petites dimensions et comme leur formation dépend en tous cas de l'existence des trames régulières établies mécanique-

ment, on conçoit qu'il en résulte une limite à la finesse réalisable. On n'est guère descendu au-dessous du 1/20 de millimètre pour la dimension minima d'un élément isolé.

Une autre difficulté que l'ingéniosité des constructeurs a dû supprimer est celle du repérage qui semble à première vue nécessaire pour réaliser des colorations différentes juxtaposées sans recouvrement. Dans les premiers réseaux réalisés, Warner Porie par exemple (fig. 74), on

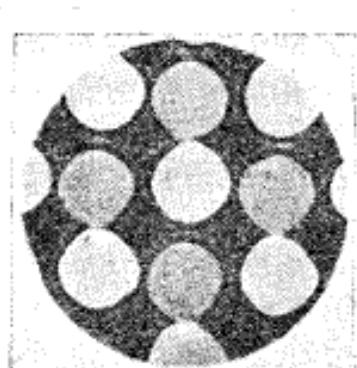


Fig. 73. — Réseau Thames.



Fig. 74. — Réseau Warner-Porie.

s'est d'abord astreint à ce repérage, les impressions photographiques sur couche de gélatine bichromatée se faisant successivement derrière une trame à espaces opaques doubles dé l'espace clair, cette trame étant déplacée d'un tiers de l'intervalle périodique d'une impression à la suivante. Une opération de cette sorte n'est guère praticable industriellement, et généralement les différents inventeurs s'arrangèrent pour supprimer tout repérage, ce qui est facile de bien des façons, en combinant les différents procédés de teinture.

Pour les réseaux qui ont été effectivement mis dans le commerce voici le schéma des opérations.

Le réseau Omnicolore (fig. 75) s'obtenait par une première impression grasse de lignes violettes ; puis teinture générale en jaune de la couche restée transparente ; ensuite impression grasse dans une direction transversale de lignes bleu clair donnant des éléments verts sur le jaune, et ne changeant pas le ton des lignes violettes ; enfin par imbibition dans une teinture rouge, transformation des carrés restés jaunes en carrés rouges.

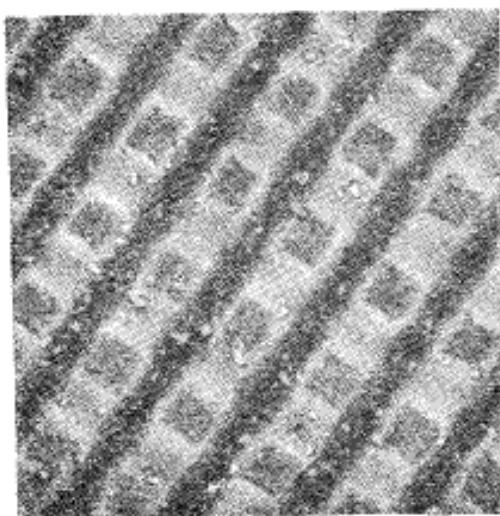


Fig. 75. — Réseau Omnicolore.  
(Ducos de Hauron et Bereezol.)

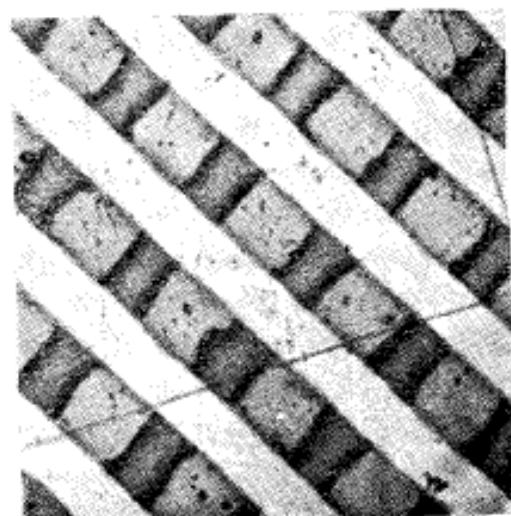


Fig. 76. — Réseau Dioptrichrome.  
(Dufay.)

Le réseau Dioptrichrome (fig. 76) s'obtenait en dernier lieu par une suite d'opérations que les frères Lumière avaient aussi expérimentée. Après impression d'une ligne de réserve en gras on teint en vert par imbibition ; un vernis qui ne prend pas sur le gras préserve la teinture verte, puis on enlève la matière grasse ; on procède alors à une nouvelle impression grasse, et on teint en rouge les parties non vernies ni imprimées en gras ; on vernit à nouveau, on enlève l'impression grasse et ces dernières

réserves libérées peuvent prendre une teinture violette par imbibition.

Le réseau Paget est constitué par une couche de collodion coloré par imbibitions successives. Après une première teinture générale on imprime un vernis protecteur sur un tiers de la surface et on décolore la surface non protégée ; on la colore avec une nouvelle teinte, et on imprime encore un vernis qui protégera la moitié de cette seconde couleur ; une dernière décoloration suivie d'une

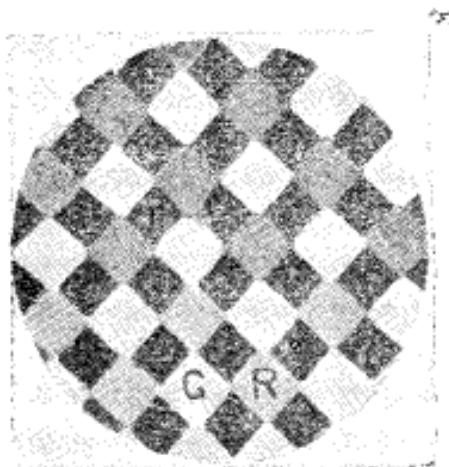


Fig. 77. — Réseau Paget.



Fig. 78. — Réseau Krayn.

dernière teinture achève le réseau. Le réseau obtenu est très solide, mais de structure assez grossière, la dimension des éléments colorés atteint en effet 0,2 millimètres, (fig. 77).

Nous citerons enfin, bien qu'il n'ait pas été exploité commercialement, un réseau Krayn, comme type de réseau régulier (fig. 78) obtenu par coupes. Dans un bloc fourni par des feuilles minces de celluloïd colorées empilées en alternant régulièrement les 3 couleurs, on coupe de nouvelles feuilles transversalement ; on les empile à nouveau avec croisements réguliers des réseaux

lignés obtenus. Les coupes dans ce nouveau bloc donnaient l'aspect régulier figuré ici.

**Inconvénients des réseaux réguliers.** — Comme on vient de le voir, la réalisation régulière des éléments polychromes a pu se faire sans s'astreindre au repérage ; il subsiste toutefois une difficulté qui n'a pas été surmontée jusqu'ici ; il est à peu près impossible de régler rigoureusement les intensités des tons colorés de façon à obtenir un réseau gris neutre.

L'inconvénient se montre surtout quand on cherche à obtenir des éléments de couleurs pures et intenses ; le réseau Omnicolore qui comportait des tons très vifs, se présentait toujours avec une dominante colorée très marquée et variable.

On atténue l'inconvénient en ne réalisant que des teintes faibles et claires, comme c'était le cas pour le réseau Du-fay (Dioptichrome) ; cette faiblesse du ton coloré est également très marquée dans le réseau de la Paget Prize.

La reproduction des couleurs vives souffre naturellement du défaut de saturation colorée des éléments du réseau, et l'examen par transparence des épreuves ne peut plus donner la vivacité des couleurs naturelles, à moins de réduire fortement l'intensité de l'éclairage, ce qui d'ailleurs fera reparaître la coloration dominante qui existe toujours, puisqu'on ne dispose d'aucun moyen d'ajustement de la valeur relative des tons primitifs à un effet donné d'addition.

**Mode d'emploi.** — Le mode d'emploi des plaques à réseau régulier ne diffère pas en principe de celui des Autochromes.

Quand le réseau est adhérent à la plaque on est soumis à la même suite d'opérations, premier développement, inversion, noircissement pour transformation en positive.

Les instructions de la maison fabriquante doivent toujours être suivies de très près, puisque, comme il a été dit à l'occasion des Autochromes, la fabrication de la plaque fait intervenir précisément toutes les circonstances d'emploi que le fabricant énumère ; une plaque en couleurs ne peut en aucune façon être établie indépendante des traitements qu'on lui fera subir.

Les plaques à réseau régulier se prêtent toutefois à un mode d'emploi qui peut être spécialement intéressant. C'est l'impression photographique derrière un réseau non adhérent à l'émulsion. C'était la première forme d'usage des plaques Dioptichromes, et c'est encore celle du réseau de Paget.

En ce cas, surtout avec des réseaux en tonalités claires, l'usage d'une plaque panchromatique à grande rapidité appliquée contre le réseau peut conduire à l'obtention d'un négatif avec des durées de pose beaucoup plus courtes que celles nécessaires aux Autochromes. Du négatif obtenu on peut tirer un diapositif à la façon ordinaire sur plaque à ton noir, et appliquer ce positif contre le réseau pour retrouver la sensation colorée en examinant par transparence ; cela demande un repérage qui se fait d'ailleurs facilement au seul examen des couleurs, quand on applique le positif sur le réseau même qui a servi à produire le négatif. Il faut apporter une attention particulière, dans ces manipulations, pour assurer le contact parfait du réseau et de l'émulsion négative, et des émulsions entre elles, lors de la reproduction positive : un

intervalle, si minime soit-il, entre les surfaces correspondantes, entraîne une diffusion sensible et un affaiblissement marqué de la coloration.

La maison Paget a aussi livré pour faire les positives des plaques portant un réseau semblable au réseau du négatif et une émulsion sensible adhérente ; en ce cas il faut obtenir le repérage par coïncidence de marques et repères que le premier réseau a imprimé sur le négatif et qui doivent se voir en couleur rouge pure par transparence, ce qui permet de faire ce repérage dans le laboratoire obscur avec la lanterne rouge ; le positif se tire ensuite avec une lumière artificielle quelconque sans traverser le réseau de la diapositive dont l'émulsion n'est d'ailleurs pas sensibilisée chromatiquement.

Mais la maison Paget livre aussi des réseaux spéciaux pour être fixés contre des positives obtenues sur plaques à tons noirs à partir des négatifs faits derrière le réseau de sélection ; il paraît très remarquable qu'un tel ajustement d'épreuve puisse se retrouver suffisant par rapport à des réseaux différents, mais il faut rappeler que le réseau Paget à des éléments de dimension assez forte.

La valeur toujours assez grande de la largeur des éléments colorés dans les plaques à réseaux réguliers est un obstacle à des applications qui demandent un agrandissement ultérieur ; la stéréoscopie par exemple n'est guère praticable avec ce genre de plaques.

## CHAPITRE VI

### THÉORIES ET CONTROLES

**Valeur esthétique et documentaire de la photographie en couleurs.** — La valeur esthétique de la photographie a été l'objet de nombreuses discussions ; artistes et amateurs photographes ont souvent opposé leurs points de vue et l'extension de la photographie à la reproduction des couleurs — et aussi du mouvement — n'a pas manqué de ranimer un débat toujours ouvert.

Les opinions s'opposent par la diversité des conceptions du caractère artistique. L'œuvre d'art ne paraissant pas devoir exister sans un artiste pour la créer, on ne manque pas de marquer l'opposition formelle entre l'automatisme des opérations photographiques et l'intervention animatrice de l'artiste dans son œuvre. Quand on envisage seulement ce caractère de traduction humaine et personnelle d'un sentiment, la photographie n'est en définitive qu'un procédé d'exécution, se rangeant à côté des autres procédés variés de traduction graphique, crayon, plume, brosses etc ; il convient seulement de remarquer que c'est un procédé d'emploi bien plus compliqué que celui des instruments ordinaires de dessin, et bien moins souple quant à l'intervention personnelle de l'artiste ; ni l'optique géométrique, ni les équilibres chimiques, ne s'adaptent aussi facilement que le pinceau ou le crayon à la volonté du dessinateur. Dans cet ordre d'idée, la ph-

tographie échappe évidemment à toute discussion rationnelle.

Mais dans la satisfaction esthétique procurée par l'œuvre d'art il y a une partie indépendante de l'intervention de l'artiste ; le jugement de l'observateur est l'œuvre de sa propre connaissance et de ses sensations. Même en admettant la possibilité — contestable — d'une création véritable de l'artiste dans le domaine subjectif, le plus grand nombre de nos chef-d'œuvres artistiques est caractérisé par la traduction d'un sentiment ou d'une vision humaine. Et ce caractère correspond à une réalité objective donnant lieu à une perception esthétique.

Dans le domaine visuel les sites naturels sollicitent abondamment l'admiration ; et les scènes ou groupements humains sont susceptibles dans leur réalité pure d'éveiller le sentiment de beauté aussi bien que l'œuvre d'art individuelle.

Cette source d'émotion esthétique paraît alors bien accessible à la photographie. Si même, on donne à celle-ci comme but idéal, la fixation d'une image fidèle et complète, elle paraît le moyen le plus sûr de constituer l'œuvre pouvant restituer à chaque instant l'émotion esthétique qu'a pu engendrer une réalité fugitive et l'épreuve photographique devient œuvre d'art par la perfection de sa reproduction.

L'ensemble des opérations photographiques peuvent n'être toujours qu'un procédé particulier de traduction ; le caractère artistique du résultat pourra ne pas être créé par la plus grande habileté d'exécution, mais se trouver dans le sujet photographié.

Le choix de ce sujet aura nécessité l'intervention esthé-

tique du photographe, mais pour que la valeur de ce choix se retrouve dans l'image finale, il faut que celle-ci, nous le répétons, soit fidèle et complète : on aura des photographies artistiques en ce sens impersonnel avec les conditions mêmes que nous demandons à la photographie documentaire. La restitution des sentiments liés à la vision de scènes ou de paysages n'est pas un problème différent de la reproduction d'une image objective précise des choses vues ; on voit par là l'importance de cette précision documentaire qu'on reproche quelquefois inconsidérément à la photographie, encore que bien imparfairement réalisée.

#### **Eléments de la valeur documentaire ou esthétique.**

— Les éléments objectifs d'une sensation visuelle peuvent-être limités à trois : la forme, l'éclairement et le mouvement. Dans l'éclairement on distingue d'ailleurs généralement deux termes, l'éclat et la couleur qui en réalité sont physiquement et subjectivement liés. La reproduction exacte de cette sensation avec toutes ses conséquences subjectives et esthétiques, découlera nécessairement d'une image fixant fidèlement l'ensemble de ces éléments qui ont contribué à former l'image rétinienne dans la vision primitive.

La photographie doit donc fournir un dessin exact. On semble souvent contester la valeur esthétique de la précision ou de la finesse du dessin photographique. En vue de la reproduction d'un sentiment lié à la vision réelle cette opinion est erronée ; l'image photographique doit avoir *au moins* la précision de dessin de l'image rétinienne ; quand on objecte un certain travail de simplification de l'œil observateur négligeant des dé-

tails visibles cependant pour constituer son jugement visuel de l'objet réel, on oublie que l'image fidèle doit précisément solliciter le même choix subjectif, si elle contient les mêmes éléments de vision. Même si le dessin photographique possède une finesse de détails qui dans un examen oculaire à courte distance ou derrière une loupe permette une définition beaucoup plus complète de l'objet que dans la vision primitive, on sait qu'il suffira de placer ce dessin — si, l'objectif en a fourni la perspective exacte — à un éloignement égal au tirage de la chambre qui a servi à l'obtenir, pour que la vision soit restituée dans sa forme primitive ; la définition objective du dessin ne gêne pas par son excès : une insuffisance seule, pourrait au contraire trahir la reproduction cherchée.

L'épreuve photographique doit restituer aussi l'éclairagement, couleur comprise. L'absence de coloration sur l'épreuve en ton unique correspond à un effort d'abstraction qui nous est d'ailleurs familier dans l'examen des dessins au crayon par exemple ; il est assez malaisé d'apporter quelque précision dans l'énoncé des conditions à remplir pour donner à ce genre d'épreuves une valeur esthétique. Nos jugements en ce cas sont plus dépendants de l'éducation par la vue des dessins que de la restitution incomplète d'une sensation de vision réelle. La photographie en couleurs sera donc le véritable instrument de reproduction fidèle des sentiments éveillés par l'observation visuelle si elle réussit à fixer exactement les tons colorés avec leur éclat.

Sur ce point aussi il n'y a aucune distinction à faire quant aux qualités à exiger du procédé photographique entre le but documentaire ou artistique. Les considérations

imprécises d'ambiance, de plein air, de fusion ou de contraste des couleurs sont des expressions de sentiments en relation avec des sensations produites par des causes objectives : leur fixation sur image est essentiellement le but de la photographie.

On peut discuter sur la réussite plus ou moins complète de l'opération photographique, quant à cette fidélité absolue dans la reproduction des sensations visuelles. Ce sera le but de ce chapitre où nous nous proposons d'établir rationnellement, si possible, les conditions de réalisation de cette précision documentaire.

Mais si comme on le verra, ces conditions sont encore loin d'être rigoureusement réalisées, il n'est pas douteux que déjà certaines épreuves sur Autochromes ont pu provoquer une admiration assez universelle pour constituer une preuve expérimentale de la possibilité d'une restitution visuelle de la beauté par un maximum d'automatisme dans la technique.

**Pouvoir séparateur.** — L'exactitude du dessin résulte en premier lieu des qualités de l'objectif. Nous ne nous arrêterons pas sur ce point qui est du domaine spécial de la physique photographique.

Rappelons seulement que tous les types d'objectif possèdent des qualités d'exactitude de dessin convenables dans certaines limites d'utilisation, et que l'opérateur doit simplement s'astreindre à un emploi judicieux de son instrument ; la connaissance de l'angle de champ net, et des relations entre l'ouverture et la profondeur de champ sont des éléments essentiels à toute opération photographique.

La netteté du dessin est aussi en relation avec la cons-

titution de la plaque sensible et le mécanisme de reconstitution de la couleur.

L'émulsion a un *pouvoir séparateur* propre. On appelle ainsi la limite minima d'écart entre deux traits distincts sur l'image révélée. Le pouvoir séparateur des émulsions sensibles est assez variable et se relie assez bien avec leur transparence ; les émulsions épaisses, à grains marqués, ont un pouvoir séparateur de l'ordre de 20 à 25 microns ; c'est le cas des émulsions ordinaires rapides ou ultra rapides pour négatifs. Ce chiffre diminue dans les émulsions pour diapositives jusqu'à 15 microns ; on fait des émulsions transparentes, sans grain, telle que celle employée dans le procédé Lippmann de photographie des couleurs qui peuvent séparer des traits distants dans l'ordre du  $\frac{1}{1\,000}$  de millimètre.

Certaines reproductions documentaires exigent le plus fin pouvoir séparateur ; mais pour la seule restitution des sensations visuelles, qui sont réglées par le pouvoir séparateur de la rétine, les émulsions les plus grossières sont encore suffisantes dans une large limite d'emploi. L'image rétinienne a une définition qui ne dépasse pas la perception d'un écart de 1 millimètre entre deux traits d'un dessin placé à 3 mètres de distance ; même pour l'observation courante, une valeur angulaire de  $1/2000$  (1 millimètre à deux mètres) paraît exprimer une *bonne* définition ; le pouvoir séparateur de 25 microns indiqué pour les émulsions négatives est encore suffisant pour traduire cette définition si l'objectif a une longueur focale supérieure à  $2\,000 \times 0.025$  soit 50 millimètres. On voit que la matière sensible n'interviendra pas en général elle-même pour établir une insuffisance de netteté dans

l'image immédiate en ce qui concerne la reproduction de ce qui a été vu.

La reproduction de la couleur ajoute toutefois des complications variables avec les procédés et susceptibles d'amoindrir cette définition des images définitives.

Le procédé interférentiel de reproduction des couleurs met en œuvre, comme on vient de le rappeler, une émulsion dont le pouvoir séparateur est extrême ; mais la reproduction colorée dépend de l'établissement d'un système de lamelles *référchissantes*, devant par conséquent occuper une *surface* suffisante. Il ne semble pas qu'on ait jusqu'ici publié d'observation sur la définition des images colorées dans les épreuves interférentielles. Sans doute, la définition reste-t-elle extrêmement fine puisque la restitution de la couleur se fait dans la pratique avec un nombre très faible de lamelles ; une épaisseur de l'ordre de 2 à 3 microns suffit ainsi à la constitution de l'image ; les dimensions superficielles pourront rester d'un ordre de grandeur analogue, et assureront ainsi à l'image une très belle définition.

La reproduction des couleurs par images spectrales utilise une trame lignée ; dans le sens transversal à ces lignes le pouvoir séparateur ne peut être inférieur à celui de la trame elle-même ; la définition ne peut donc être qu'assez grossière.

On a vu que dans la remarquable réalisation, de Rheinberg, l'image est obtenue d'abord dans le plan focal d'un objectif de 75 millimètres de distance focale sur une trame dont les traits sont distants de  $\frac{1}{15}$  de millimètre.

On est assez nettement en dessous de la netteté de vision, bien que dans les épreuves photographiques ordinaires

on se contente souvent de cette définition au  $\frac{1}{1\,000}$  qui n'est cependant que la moitié de celle d'un œil moyen.

Les procédés, par superposition d'images trichromes, qu'il s'agisse de synthèse additive ou soustractive ne semblent mettre en jeu aucune limite de pouvoir séparateur autre que celle des émulsions mêmes.

En réalité il y a cependant une grande difficulté à la réalisation de l'identité de dessin des trois images à superposer.

Pour avoir des négatifs identiques, il faut que les objectifs, s'ils sont distincts, présentent les mêmes longueurs focales pour les trois sortes de radiations sélectionnées dans l'analyse ; si les images sont tirées d'un objectif unique, la réalisation de cette condition correspond à un achromatisme de l'instrument qui n'est pas l'achromatisme ordinaire<sup>1</sup>.

La superposition des épreuves nécessite également des réglages particuliers qui ne réalisent cette superposition qu'avec une approximation limitée. Dans la synthèse additive ce sera un système optique, qui d'ailleurs pourra corriger une différence de dimension absolue des images primitives pourvu qu'elles soient semblables.

Dans les procédés pigmentaires, lorsqu'on assemble des images tirées sur pellicules minces, il est très difficile d'obtenir ces images en dimensions rigoureusement égales ; on a signalé les précautions prises dans divers

<sup>1</sup> Pour les reproductions photomécaniques on opère d'ailleurs souvent avec des objectifs *apochromatiques* qui présentent une correction de dispersion chromatique bien plus complète que les objectifs photographiques ordinaires.

modes opératoires, mais la réussite est toujours précaire ; dans tous les cas le repérage des images à superposer introduit un élément de confusion difficile à évaluer.

La limitation de netteté par cette imperfection des superpositions d'image n'est d'ailleurs pas uniforme ; ce sont les bords qui manifesteront seulement des dispersions colorées anormales.

Les plaques à réseaux réguliers ou non, introduisent aussi une limite particulière à la netteté du dessin. Les réseaux réguliers qui sont en général des trames quadrillées colorées se prêtent à une évaluation immédiate du pouvoir séparateur en lignes colorées ; il est mesuré par l'espacement périodique qui comprend les trois éléments colorés nécessaires à la formation d'une couleur. On a vu que cet espacement n'est pas descendu au-dessous du  $1/10$  de millimètre dans les réseaux les plus fins qui aient été produits. Des traits noirs sur fond blanc, pourraient donner des éléments alignés distincts de grains d'argent réduit avec un intervalle plus faible, correspondant au pouvoir séparateur de l'émulsion,  $1/30$  de millimètre par exemple ; mais ils ne seraient pas perçus comme des lignes colorées distinctes : les intervalles clairs, plus étroits que les éléments de la trame, se localiseraient sur une ligne de couleur uniforme, ou ne comprendraient que la succession de deux éléments colorés, et leur aspect ne serait pas blanc.

Cette valeur minima de la résolution colorée des réseaux réguliers ne permet l'examen des épreuves qu'à une distance de 25 à 30 centimètres de l'œil, ce qui implique la nécessité de n'utiliser ces réseaux qu'avec des objectifs à longue distance focale.

Le pouvoir séparateur de l'autochrome est plus diffi-

cile à préciser ; la dimension des grains est très petite (15 microns) ; l'émulsion est d'une transparence assez analogue à celle des plaques diapositives ce qui lui donne un pouvoir séparateur propre du même ordre ; on juge ainsi qu'entre blanc et noir on assure au moins un pouvoir résolvant dans l'ordre de 25 microns, comme sur une plaque ordinaire.

Cependant le pouvoir séparateur peut être différent entre couleurs, et surtout il y a lieu de distinguer entre le pouvoir séparateur de lignes et le pouvoir séparateur de points. Sur une ligne on admettra le mélange des grains colorés assez parfait pour assurer l'équivalence de toutes les directions possibles quant au nombre de grains des différentes couleurs que l'on rencontre sur une trace de la largeur d'un grain et de longueur sensible ; ceci assure le pouvoir séparateur des lignes contigues à la dimension indiquée plus haut, quand en blanc, ou en noir on agit sur tous les éléments colorés. Mais si la couleur du dessin doit choisir une proportion déterminée des différents grains, et si elle est limitée à une faible étendue dans tous les sens, l'irrégularité du hasard dans le mélange aussi parfait que possible se retrouve dans ce choix ou cette limitation. La figure 79 montre par exemple dans une portion de réseau les grains rouges seuls traduits en blanc ; sur la région marquée d'une flèche, il n'y a pas de possibilité à la traduction d'un dessin bleu ou vert de dimensions inférieures à  $50 \mu$ , de l'ordre de trois largeurs de grains.

Sur une ligne, ces irrégularités introduisent un pointillisme dans la traduction, mais sur un élément superficiel le détail du dessin peut être anéanti dans cette dimension.

Kenneth Mees dans l'étude déjà signalée sur les plaques à réseau, a signalé les différentes particularités de leur pouvoir séparateur observées en photographiant une mire pointillée en blanc et noir. Sans citer de chiffres, il observe seulement que pour les Autochromes le pouvoir résolvant de l'émulsion se confond avec celui des grains. Nous avons aussi expérimenté sur ces plaques la reproduction de lignes convergentes de couleurs variées pour observer

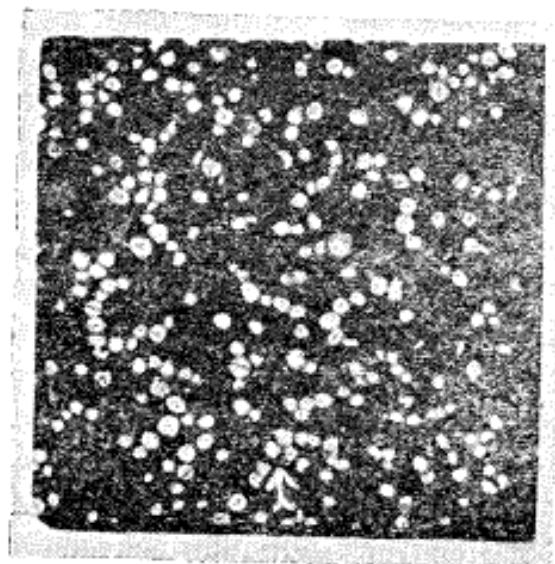


Fig. 79. — Grains rouges dans le réseau Autochrome.

l'influence des différentiations colorées sur le pouvoir séparateur.

Entre lignes noires et blanches, on retrouve bien la limite au 1/30 de millimètre environ qui a été prévue. Certaines couleurs se séparent aussi avec la même limite. Mais il y a au contraire confusion plus rapide pour certaines tonalités. Il est à remarquer que la confusion est surtout un effet de diffusion dans la réduction développatrice. Comme il apparaît sur la figure 80 reproduisant avec un agrandissement de 20 fois l'épreuve d'étude, les

lignes noires ou de teintes sombres sont fortement amincies par rapport aux intervalles clairs qui dans le dessin original avaient la même largeur. Lorsque les lignes colorées n'exigent l'intervention que d'une seule espèce de grains elles se séparent aussi facilement que des lignes noires, mais s'il s'agit de couleurs claires contigues faisant

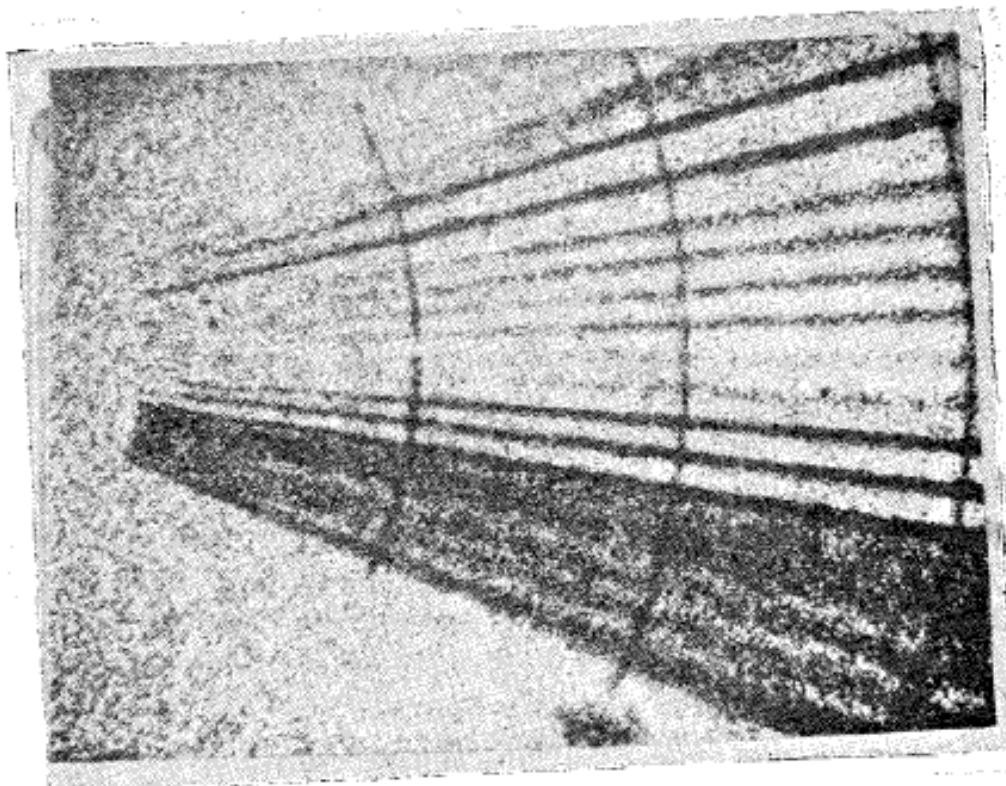


Fig. 80. — Séparation de traits convergents colorés sur Autochrome.

intervenir toutes deux les trois sortes de grains la confusion colorée s'établit plus rapidement.

D'ailleurs cette propriété de l'Autochrome correspond à une diminution analogue du pouvoir séparateur de l'œil dans la vision directe des mêmes lignes colorées. On peut en effet dans cette vision constater une réduction de moitié dans la facilité de séparations de traits jaunes et verts

contigus par rapport à celle relative à des traits jaune et bleu ou rouge et vert.

En conclusion on peut estimer que l'Autochrome se présente avec un pouvoir résolvant général qui est analogue à celui des négatifs ordinaires et que son étendue d'application à la production d'un dessin exact sera la même que celle des plaques d'usage courant pour le ton unique.

**Loi du noircissement des émulsions.** — L'application de la sensibilité du gélatinobromure d'argent à la reproduction des couleurs utilise à la suite de l'action révélatrice, une certaine gradation de transparence en relation avec l'éclairement reçu. Cette transparence associée avec une répartition convenable de tons colorés doit reproduire l'éclairement initial en éclat et en couleur. Pour préciser les conditions d'exactitude de cette reproduction il faut donc tenir compte de la loi de noircissement des émulsions : Nous en résumons ici l'essentiel ; la terminologie que nous employons a été fixée surtout par les travaux d'Hurter et Drieffield ; mais les faits ont été rassemblés progressivement par beaucoup d'expérimentateurs.

Des mesures photométriques peuvent faire connaître en un point d'un cliché un coefficient de transparence  $T$ , mesurant la proportion de lumière blanche transmise par cette région ; on définit comme *opacité*, le nombre inverse  $\frac{1}{T}$ . Ces nombres sont en dépendance avec la quantité d'argent opaque existant en ce point et provenant de l'action révélatrice sur l'émulsion ; les mesures ont montré que la quantité d'argent existant dans un élément superficiel ou *densité* d'un cliché était proportionnelle au

logarithme de l'opacité. Cela traduit simplement d'ailleurs une loi d'absorption de lumière proportionnellement à la masse absorbante, ici l'argent.

On adopte comme unité de densité le logarithme décimal de 10, c'est-à-dire, la quantité d'argent assurant un coefficient de transparence de 1/10.

Les études de noircissement, de transparence des clichés en fonction de l'éclairement reçu et de la durée de pose ont fait connaître que la densité d'un cliché est une fonction très complexe de ces grandeurs. On peut appeler illumination, le produit  $L$  de l'intensité d'éclairement  $E$  par la durée d'action  $t$ .

L'expérience montre que la densité  $D$  n'est pas une fonction définie de  $L$ , mais *dépend des valeurs séparées* des deux facteurs  $E$  et  $t$ . On n'établira une loi systématique et continue de noircissement qu'en gardant un de ces facteurs constant et faisant varier l'autre. Les études d'Hurter et Driffield par exemple ont été faites en faisant varier les durées d'action d'une source lumineuse constante ; nous donnons ci après des courbes qui traduisent au contraire l'action d'éclaircements gradués pendant une durée égale<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Nous n'avons pas à entrer ici dans le détail de la *sensitométrie* ; nous croyons utile cependant de remarquer qu'il est peu logique d'étudier le noircissement des émulsions, pour l'application photographique, en faisant varier la durée de l'éclairement ; d'ailleurs, les indications numériques qu'on retire généralement de ces études sont complètement illusoires ; l'intensité d'action photochimique ne peut avoir de sens défini, comme l'intensité lumineuse physiologique, qu'avec un éclairement monochromatique ; il serait en tous cas préférable que les caractères sensitométriques des émulsions soient établis avec la lumière solaire utilisée le plus généralement pour leur emploi.

Dans l'un ou l'autre cas l'allure de la variation de la densité en fonction de l'illumination est celle représentée dans la figure 81 où les ordonnées sont proportionnelles aux densités, c'est-à-dire aux logarithmes des opacités, et l'échelle des abscisses est celle des *logarithmes* des illuminations. Le noircissement commence pour une valeur

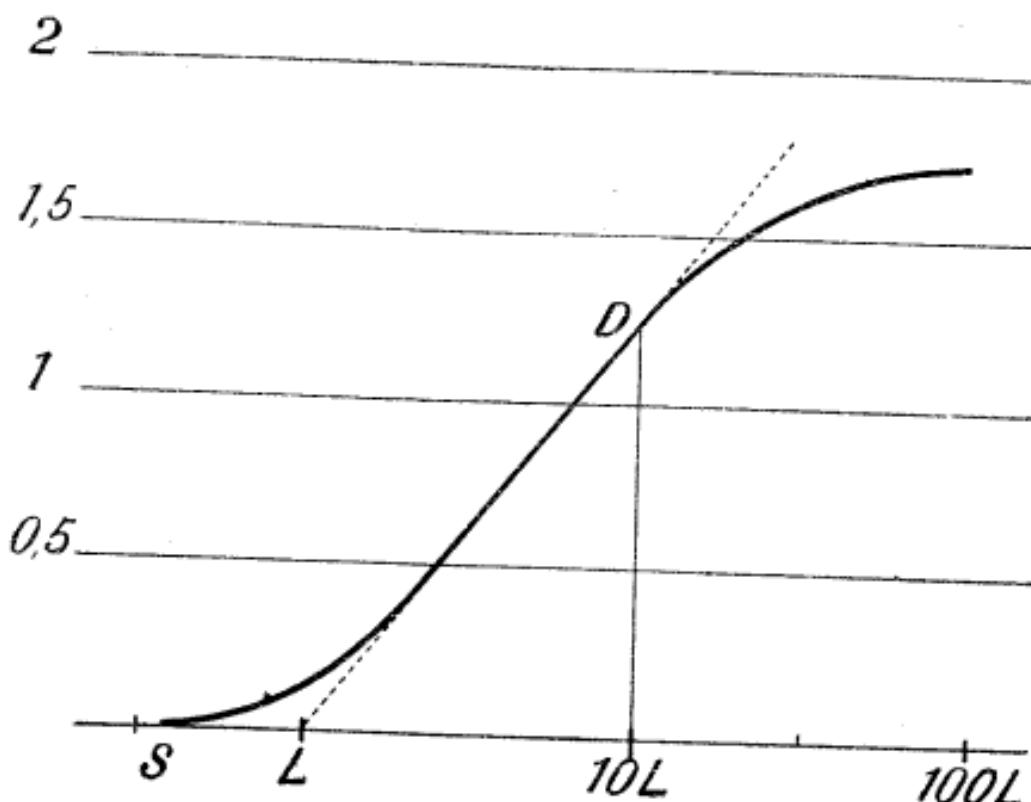


Fig. 81. — Loi de noircissement des émulsions.

finie de l'illumination  $S$  ; la densité croît ensuite d'abord lentement quand cette illumination augmente, puis pendant un certain temps la densité croît proportionnellement au logarithme de l'illumination, et enfin cet accroissement s'arrête progressivement. Dans la région rectiligne moyenne où l'accroissement de densité est le plus rapide et se fait proportionnel aux variations du logarithme de l'intensité on définit une qualité particulière du cliché ;

sous le nom de *facteur de développement* on évalue la pente de la courbe, c'est-à-dire le rapport  $k$  de la variation d'ordonnée à la variation d'abcisse ; on a marqué sur la figure une ordonnée vers le point  $10L$ , écartée d'une unité au delà du point  $L$  où le prolongement de la région moyenne coupe l'axe des densités nulles ; la cote de la courbe en  $D$  sur cette ordonnée mesure par le chiffre  $1,25$  le facteur de développement. Ce nombre  $k$  dépend en effet des conditions du développement ; mais comme on l'a déjà fait remarquer, il est aussi en dépendance avec les valeurs particulières de  $E$  et de  $t$ , qui servent à l'expression de l'illumination.

**Etablissement des courbes de noircissement. —**  
Les figures 82 et 83 donnent des courbes de noircissement de l'émulsion des plaques Autochromes, sur deux plaques développées ensemble mais soumises à des expositions sous des éclats absolus différents avec durée d'exposition variant en sens inverse.

Ces courbes ont été réalisées de la façon suivante :

Avec de la gélatine additionnée de noir de bougie pour aquarelle on couche sur une glace une pellicule prismatique mince contenant une quantité de substance absorbante qui croît proportionnellement à la distance de l'arête prismatique ; les détails de fabrication de ce genre d'écrans ont été soigneusement établis par Goldberg. Si on expose une plaque sensible derrière cet écran, elle recevra une illumination variable avec la transparence ; le logarithme de cette illumination variera donc proportionnellement avec les longueurs comptées dans le sens de croissance ou de décroissance de la transparence.

La plaque ainsi exposée, puis développée, comporte une

loi de variation de densité inconnue. On place à nouveau cette plaque contre l'écran mais en croisant à  $90^{\circ}$  les directions respectives de variation de transparence et on expose sous l'ensemble une autre plaque sensible ou un

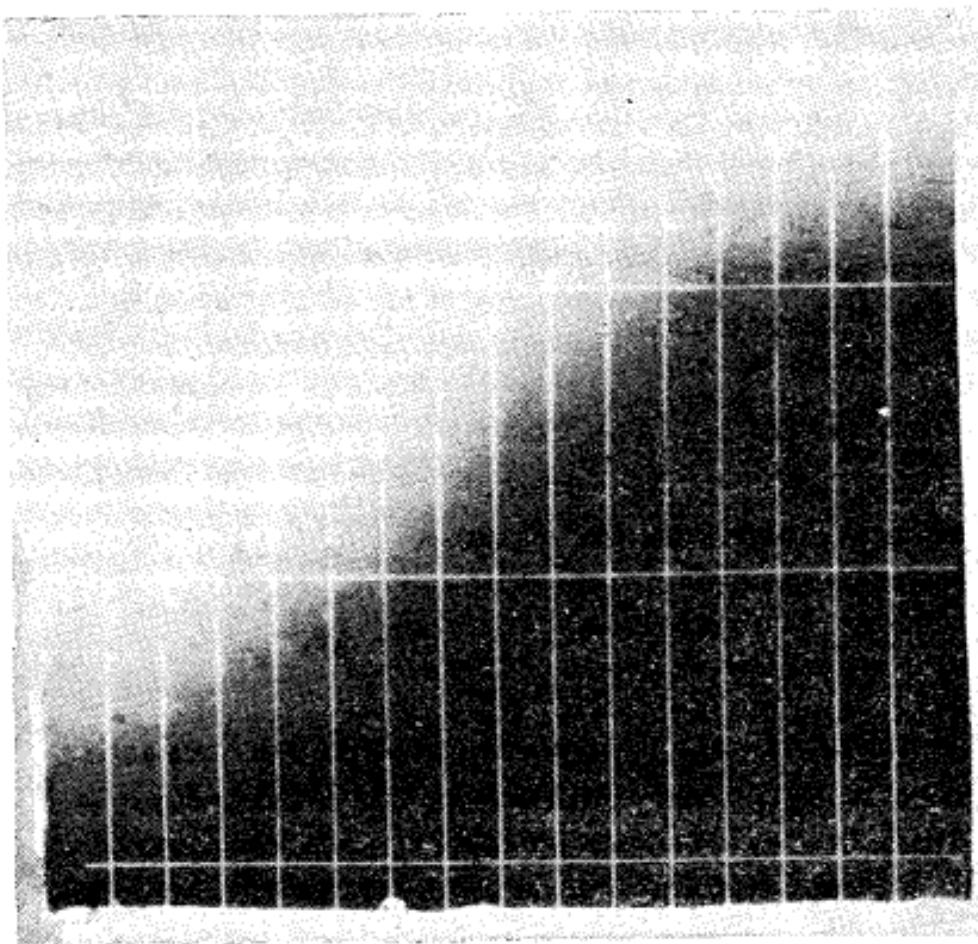


Fig. 82. — Courbe de noircissement de l'émulsion Autochrome. Pose : 3 secondes. Développement : 2 minutes et demie.

papier. Quelle que soit la loi de noircissement particulière après développement dans cette nouvelle épreuve la densité aura la même valeur là où l'éclaircissement était le même, c'est-à-dire là où la somme constante des densités respectives de l'écran Goldberg d'une part, et du

cliché étudié d'autre part assurait une valeur définie de la transparence.

Supposons que le cliché étudié étaie ses densités croissantes dans la direction  $Ox$ , (fig. 84) sur laquelle les dis-

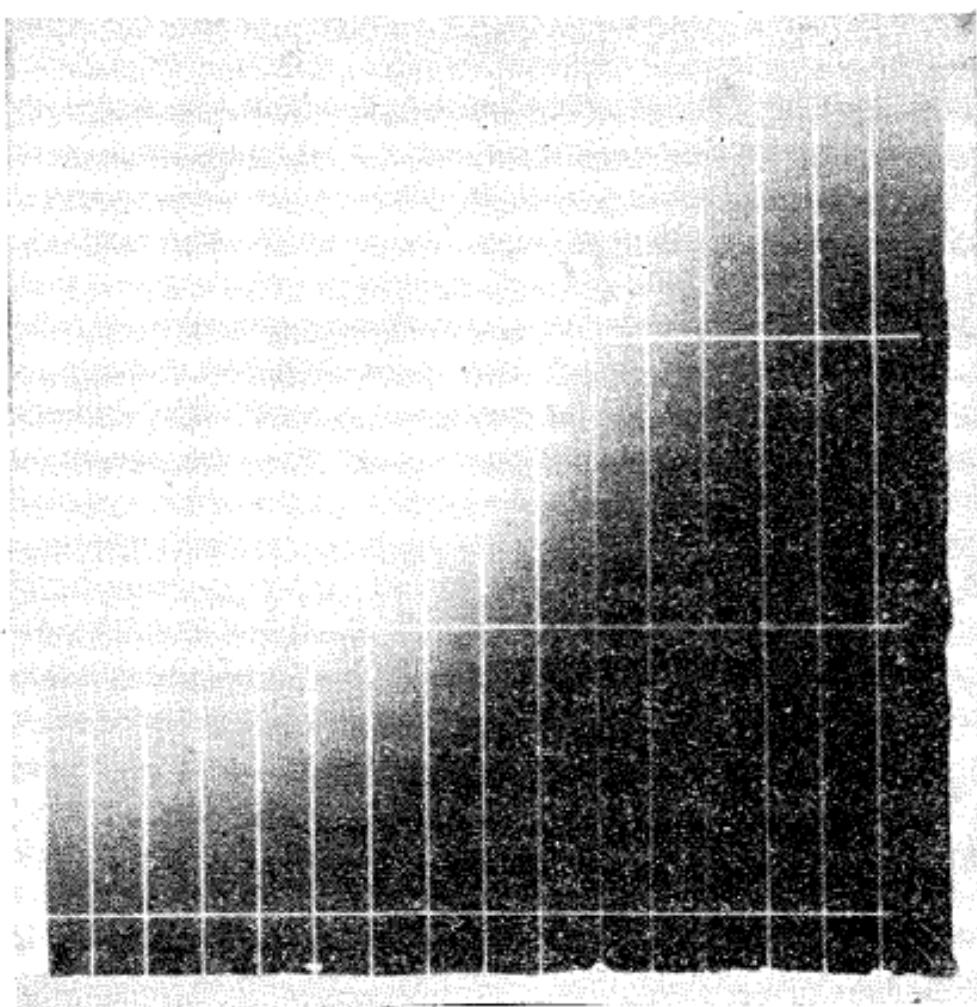


Fig. 83. — Courbe de noircissement de l'émulsion Autochrome, Pose : 300 secondes. Développement : 2 minutes et demie.

tances mesurent les logarithmes de l'illumination lors de sa primitive exposition à la lumière. L'écran Goldberg étalera ses densités décroissantes dans le sens  $Oy$ , et proportionnellement aux longueurs ; considérons une den-

sité totale,  $D$ , marquant la limite d'action visible sur la dernière épreuve ; elle comprend en un point  $M$ , la densité  $d$  du cliché étudié pour une certaine illumination  $L$ , plus la densité de l'écran Goldberg égale à sa densité au niveau  $O$  diminuée de la cote  $LM$  du point  $M$ .

Que la ligne  $ox$  ait été précisément tracée passant par la limite d'action visible de l'épreuve finale, cela signifiera que la valeur  $D$  est précisément la densité de l'écran

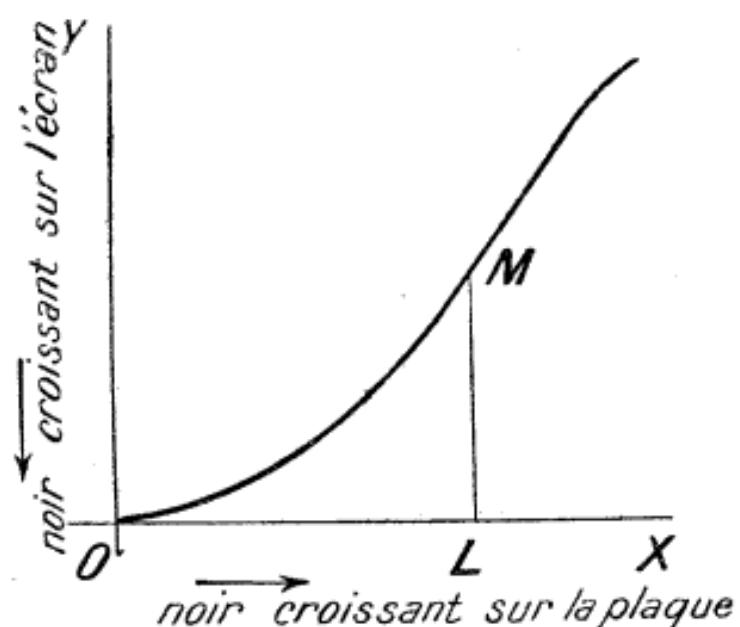


Fig. 84. -- Production de la courbe de noircissement par croisement d'un écran dégradé et de la plaque noircie sous cet écran,

Goldberg en  $O$ . Il en résultera que la cote  $LM$  du point  $M$ , limite d'action visible, est égale à la densité du cliché étudié résultant de l'illumination  $L$ . La courbe limite d'action visible, ou d'ailleurs toute courbe parallèle *d'égal noircissement* dans l'épreuve finale représente la loi de noircissement du premier cliché. Des reproductions successives en nombre quelconque de cette épreuve ne feront d'ailleurs qu'inverser les noirs en blanc sans changer la forme des courbes.

Dans les épreuves reproduites ici les lignes serrées marquent les éclairements progressifs en progression géométrique telles que 5 intervalles mesurent l'accroissement dans le rapport 1 à 10. Les lignes espacées marquent l'accroissement de densité unité. On a facilité ainsi la mesure de la pente des lignes d'égal noircissement qui caractérise le facteur de développement.

**Contrastes.** — Les reproductions photographiques pour être exactes quant à la restitution des éclairements reçus devront présenter des transparences proportionnelles à ces éclairements.

Cela implique l'égalité des variations logarithmiques de ces deux grandeurs.

Sur le négatif, les éclairements engendrent des noirs, et les transparences varient en sens inverse. Si les variations logarithmiques des transparences et des illuminations sont *égales* en valeur absolue on dit que les *contrastes* sont conservés. Ceci revient à définir le *contraste* entre deux éclairements voisins par le rapport de la différence des éclairements à la valeur moyenne de cet éclairage. Voici comment, à ce point de vue, on est amené à définir comme région d'exposition correcte pour un cliché la portion de gradation des densités correspondant à la partie rectiligne de la courbe du noircissement.

La loi de noircissement dans cette région peut être formulée par :

$$\log \frac{I}{T} = D = k \log \frac{E}{E_0}, \quad \text{ou} \quad T = \left( \frac{E_0}{E} \right)^{\frac{1}{k}},$$

si  $E_0$  désigne l'éclairage correspondant au point L (fig. 81) et  $E$  l'éclairage qui a donné la densité  $D$ ;  $k$

est l'évaluation numérique du facteur de développement.

L'inclinaison de cette partie droite (marquée par la valeur de  $k$ ) varie avec les circonstances de pose et de développement ; mais pour une exposition donnée, sur une plaque donnée, les limites d'illumination entre lesquelles s'étend cette partie rectiligne varient peu, quelle que soit son inclinaison. Dans toute cette région donc, si on remarque que la valeur absolue de  $\log \frac{1}{T}$  est égale à celle de  $\log T$ , il y a *proportionnalité* entre les *variations* des logarithmes de  $T$  et de  $E$ , quelle que soit la valeur de  $k$ , mais il n'y a pas égalité ; les contrastes de transparence du cliché ne seront *égaux* aux contrastes de l'éclairement reçu que si le facteur de développement  $k$  a la valeur unité. C'est là une condition qui pourra être de grande importance comme on le verra.

D'une façon générale on voit que le contraste en *sous exposition* comme en *surexposition*, régions courbes extrêmes, sera en général *moins fort* sur le cliché que dans l'éclairement réel ; dans la région moyenne il pourra être plus ou moins fort suivant la valeur de  $k$  ; dans les négatifs ordinaires on dépasse facilement la valeur unité correspondant à l'égalité, et on trouve une traduction d'égal contraste sur une petite portion des courbes de sur ou sous exposition au voisinage de la portion rectiligne.

**Action des renforçateurs ou des affaiblisseurs.** — Suivant le mode d'action des réactions utilisées on peut ou ajouter de la matière absorbante ou seulement multiplier par un certain facteur l'absorption des éléments agissant.

On peut ainsi différentier sans doute l'action d'un renforcement physique de celle d'un renforcement sans

dépôt métallique tel que par chloruration et redéveloppement.

Dans le premier cas, addition de matière, les noirs du cliché sont avancés le long de la courbe primitive et on peut sans doute incorporer à la région moyenne une partie de la courbe de sur exposition ; un affaiblissement agissant de façon semblable pourra ramener une traduction en sous-exposition dans la région moyenne.

Le second mode d'action change le pouvoir absorbant, ou réduit les transparences dans une proportion constante ; cela équivaut simplement à changer la valeur du coefficient  $k$ , c'est-à-dire à changer l'inclinaison de la droite moyenne du noircissement.

**Traduction positive.** — Le cliché négatif n'est pas utilisé finalement, on doit en donner une traduction positive. Cette traduction s'obtient soit par une nouvelle exposition de couche sensible à des éclairements réglés par les transparences du négatif primitif, soit par une inversion de ce négatif lui-même.

Dans le cas d'une exposition sur une émulsion nouvelle, on aura avec une durée de pose convenable une traduction qui dans la région moyenne du noircissement traduira des transparences  $T'$  en fonction des éclairements  $E'$  par une relation de la forme

$$\log \frac{1}{T'} = D' = k' (\log E' - \log E'_0).$$

Mais l'éclairement  $E'$  est réglé par la transparence  $T$  du négatif dont la valeur satisfait à l'équation

$$\log \frac{1}{T} = k (\log E - \log E_0) = - \log E'$$

à une constante près

Où en conclut à la relation.

$$\log \frac{1}{T'} = k' [k \log E_0 - k \log E - \log E'_0].$$

Les constantes  $E_0$ ,  $E'_0$ ,  $k$ ,  $k'$  sont dépendantes de la nature des émulsions, de la conduite du développement ; mais il n'est pas impossible en agissant sur  $k$  et  $k'$ , qui peuvent varier dans de larges limites de retrouver une valeur de  $T'$  proportionnelle à  $E$  ; on aura conservé la proportionnalité si on réalise une valeur du produit  $kk'$  égale à l'unité, et dans ce cas les variations logarithmiques de  $T'$  et de  $E$  étant égales, les contrastes sont conservés.

Si on réalise la traduction positive par inversion du négatif on enlève l'argent réduit qui avait primitivement la densité  $P$ , on le remplace par une autre masse obtenue à partir de l'excès du bromure d'argent restant dans l'émulsion. La nouvelle densité est la différence entre une constante  $\Delta$ , caractéristique de la totalité du bromure de l'émulsion, et la densité  $D$ , d'abord réalisée. Dans la région moyenne on peut écrire la relation

$$\Delta - D = \Delta - k \log \frac{E}{E'_0} = \log \frac{1}{T'}$$

en désignant par  $T'$  le nouveau coefficient de transparence déterminé par la densité  $\Delta - D$ .

$\Delta$  étant une constante on voit que les variations logarithmiques de  $T'$  et de  $E$  ne seront égalisées que si le facteur de développement,  $k$  est égal à l'unité.

Les régions courbes de la courbe de noircissement sont assez difficiles à interpréter numériquement. Elles ne peuvent évidemment fournir aucun résultat correct pour

la traduction positive par inversion. Lorsqu'on procède à la formation d'un positif sur une seconde plaque, il n'est pas impossible de corriger l'irrégularité de traduction des contrastes d'un négatif dont la gradation se trouve dans une de ces régions courbes, surexposition ou sous-exposition.

Il faut exécuter le tirage positif de façon à ce que sa courbe de noircissement soit utilisée dans la région courbe inverse de celle du négatif. Si l'un des facteurs de développement au moins, est nettement supérieur à l'autre on pourra rétablir sur une certaine amplitude des éclaircements une traduction sensiblement correcte ( $kk' = 1$ ).

Il faut remarquer que l'amplitude des variations d'éclaircement pour laquelle la traduction positive peut-être correcte n'est jamais bien étendue ; la région rectiligne de la courbe des densités correspond à une variation d'éclaircement très variable avec les émulsions, mais qui se maintient dans une évaluation des rapports comprise entre 20 et 50 par exemple.

**Sensibilité chromatique des émulsions.** -- Il faut entendre d'une façon générale par sensibilité chromatique de l'émulsion, les lois de noircissement obtenu pour les diverses radiations colorées.

Mais cette expression générale demande à être précisée quantitativement. On ne peut le faire qu'en adoptant une certaine définition de la lumière blanche, qui impliquerait la constitution d'un étalon d'intensité relatif pour chaque radiation spectrale élémentaire.

Il n'y a aucun moyen en effet de comparer entre elles les intensités des radiations de couleurs différentes.

Plus exactement, la seule propriété qui pourrait être en-

trevue pour servir de commune mesure, l'énergie, est sans application utile dans le domaine des sensations visuelles où nous sommes placés. Nous n'avons à mettre en jeu que des considérations photométriques oculaires et les éléments de diverses colorations ne sont liés que par une convention arbitraire.

Pour l'étude d'effets colorés vus généralement sous la lumière du jour il paraît donc logique de se référer à la lumière directe du soleil comme lumière fondamentale, encore que sa composition varie sensiblement avec la saison, le lieu, qui interviennent dans la composition de l'atmosphère absorbante. Mais ces variations intéressent surtout la partie extrême du spectre vers le violet, au moins par atmosphère suffisamment claire et soleil loin de l'horizon ; on peut donc les négliger dans les observations faites en vue de l'étude actuelle.

Une émulsion exposée à l'action d'un spectre solaire normal fournira un noircissement qui sera caractéristique de sa sensibilité chromatique. Nous avons déjà appelé *isochromatique* la sensibilité, si le noircissement dans ces conditions reste identique, quelque soit l'éclairement pour chaque radiation de cette lumière solaire.

Les spectrogrammes pris avec l'appareil décrit au chapitre I, permettent de suivre les variations de densité du cliché exposé au spectre avec l'éclairement variable suivant une loi telle que ses variations logarithmiques sont mesurées par les distances au dessus de l'échelle des longueurs d'onde.

On a vu sur la figure 10 un cas de noircissement correspondant approximativement à la sensibilité isochromatique réalisée avec l'émulsion même sans intervention de filtre.

La figure 85 donne ici l'aspect d'isochromatisme obtenu sur plaque Chroma V. R. après interposition d'un filtre coloré à la tartrazine enlevant l'excès d'action des rayons violets que traduisait le spectre de la figure 38.

Le mot *orthochromatique* est réservé à une sensibilité telle que les différentes radiations produisent une densité proportionnelle au logarithme de leur luminosité relative.

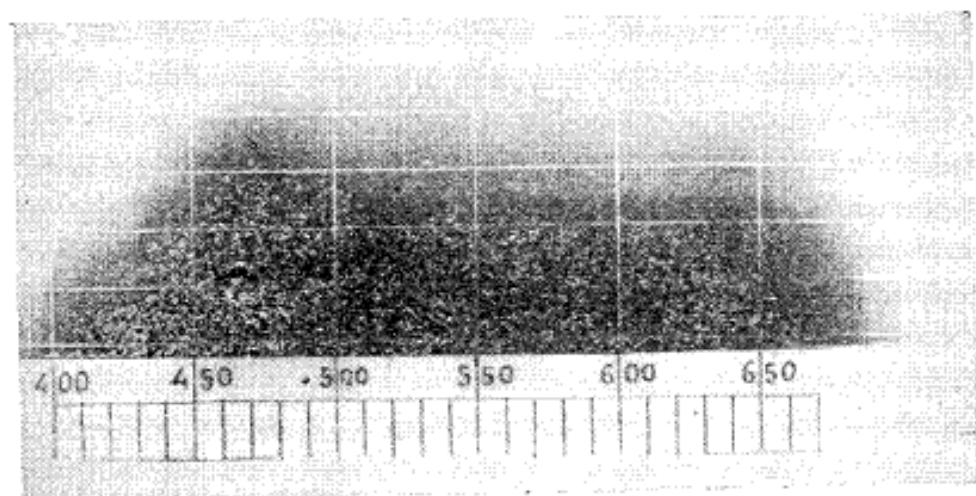


Fig. 85. — Sensibilité panchromatique (Plaque Chroma V. R. avec écran aune léger.)

Cette loi de sensibilité ne paraît pas utilisable aux reproductions des couleurs, mais elle intéresse particulièrement la photographie en noir et blanc pour la reproduction des éclats relatifs dans les objets colorés. Cette luminosité relative des couleurs est d'ailleurs une notion subjective très mal définie. On l'évalue par exemple, par des mesures photométriques de diverses sortes entre l'éclairement de chaque radiation spectrale et un éclairement blanc ; mais ces comparaisons utilisent des phénomènes divers pour accuser une égalité d'éclat qui est en réalité

sans base objective. La figure 86 reproduit ainsi des courbes de luminosité relative de divers expérimentateurs qui paraissent assez semblables parce qu'on les a réduites à une même valeur et une même position du maximum de sensibilité ; en réalité la longueur d'onde de radiation qui présentait ce maximum variait de  $0\mu 52$ , pour la courbe F. V. W à  $0\mu 57$  pour la courbe S. P. L., cette

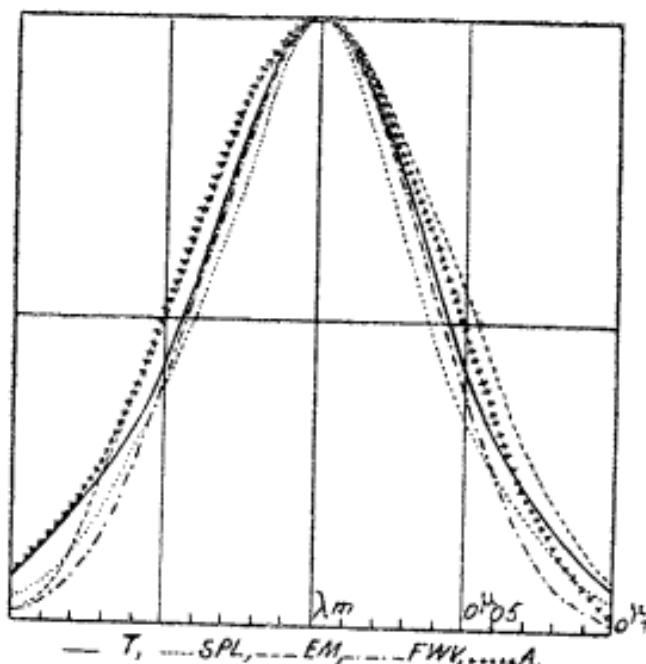


Fig. 86 — Courbes diverses de visibilité ou de luminosité dans le spectre solaire.

variation de position correspond à une différenciation *considérable* de la valeur des éclairements pour les couleurs variées.

La sensibilité orthochromatique n'a donc pas de définition bien précise ; les émulsions ne réalisent pas en général automatiquement une telle loi de sensibilité, quel que soit le procédé de sensibilisation adopté ; mais par interposition de filtre jaune arrêtant l'ultra violet, on peut la

réaliser sans peine. A titre d'exemple la figure 87 donne la sensibilité obtenue avec filtre jaune sur un plaque Lumière étiquette bleue sensibilisée au trempé avec le Pan-

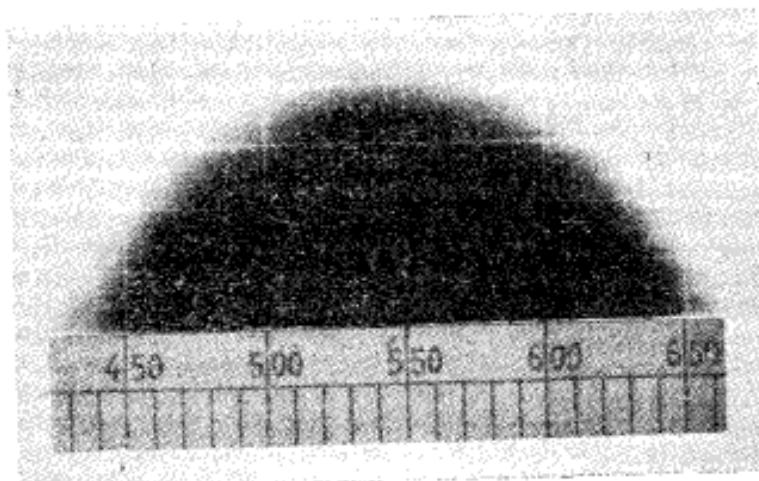


Fig. 87. — Sensibilité orthochromatique (Plaque bleue Lumière imprégnée au Pantochrome, avec écran jaune intense)

tochrome ; la figure 88 indique d'autre part la limite de visibilité relevée directement sur un verre dépoli, appli-

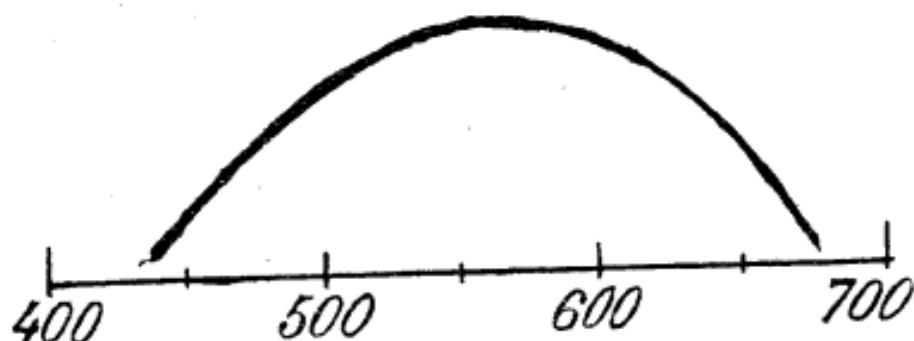
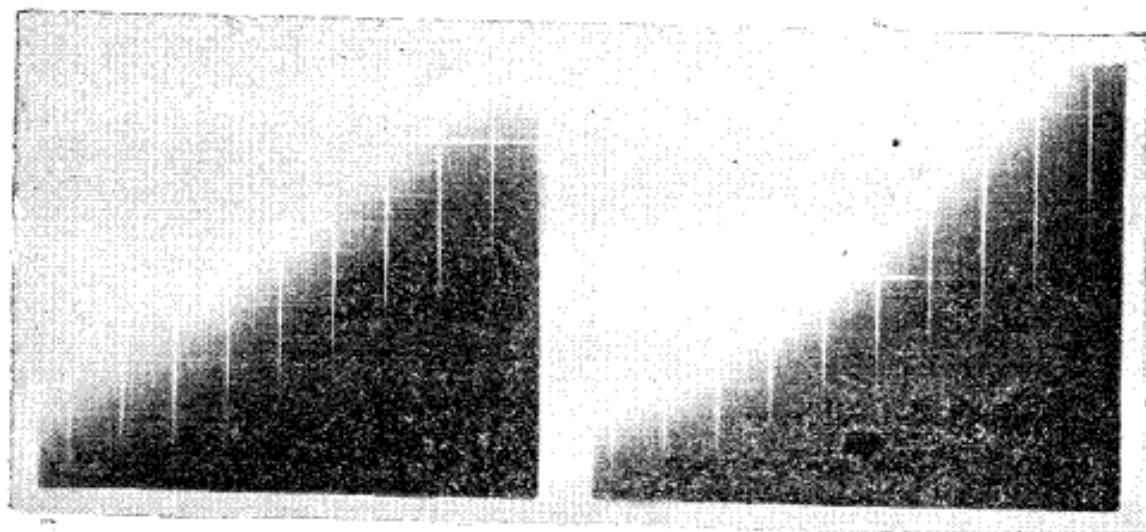


Fig. 88. — Luminosité du spectre solaire dessinée sur le verre dépoli du spectrographe derrière l'écran dégradé.

qué, dans le spectrographe qui a servi à prendre la photographie précédente, derrière l'écran graduant l'éclairement ; la similitude de forme des courbes est grande ; la courbe photographique présentant cependant son ma-

mimum pour des longueurs d'onde plus courtes que la courbe visuelle.

L'usage des filtres colorés compensateurs permet en général de régler à volonté la sensibilité effective de l'émulsion dans une opération photographique dans les limites des radiations susceptibles de produire une action marquée. On peut le considérer comme nécessaire aussi pour la réalisation d'un isochromatisme rigoureux. En



Bleu. Fig. 89. Rouge.  
Courbes de noircissement sous les radiations bleu et rouge.

réalité on n'aboutira cependant jamais à une sensibilité véritablement et généralement isochromatique parce que la loi de noircissement correspondant à une même durée d'exposition et à un même développement n'est pas la même pour toutes les radiations. Le fait a été signalé déjà par Chapman Jones et soumis à différentes vérifications.

Pour rendre visible ici ce changement de la loi d'action avec la radiation on a exposé pendant le même temps deux parties d'une même plaque, sous le même écran

dégradé de Goldberg avec interposition dans un cas d'un écran bleu, et dans l'autre cas d'un écran rouge.

Après développements simultané, on a utilisé chacun des négatifs à un nouveau tirage derrière l'écran dégradé en direction croisée par rapport au dégradé des négatifs : on obtient ainsi les tracés des courbes de noircissement, montrés par la figure 89.

On y reconnaît une allure très différente pour les deux courbes et un « facteur de développement » nettement plus élevé en éclairage rouge qu'en éclairage bleu. Ce facteur de développement dépend ici non pas du développement, mais de la loi d'action photo-chimique ; sa variation avec la couleur pourra être retenue comme une difficulté des ajustements nécessaires à la reproduction correcte des couleurs.

**Évaluation des couleurs.** — Pour préciser les conditions de la traduction colorée, il faut d'abord établir une évaluation précise de la couleur. Une telle évaluation peut se concevoir sans peine sous forme objective. On adoptera comme il a été dit, la lumière solaire directe pour étalon de lumière blanche, et pour unité d'intensité relative de toute radiation simple caractérisée par sa longueur d'onde  $\lambda$ , son intensité propre dans la lumière solaire. Une source de lumière sera caractérisée photométriquement par les valeurs particulières de l'intensité  $I_\lambda$  de chaque radiation simple la composant ; l'ensemble de ces radiations reçues par l'œil évalue la couleur visuelle de la lumière de cette source. Cet ensemble n'est pas une somme arithmétique des nombres  $I_\lambda$ , c'est une superposition d'intensités lumineuses qui ne sont pas de même

nature colorée ; nous représenterons cet ensemble par la notation.

$$[I_{\lambda}]$$

Si la source éclaire un objet, cet objet renvoie une certaine proportion de lumière de chaque radiation ;  $C_{\lambda}$  désignant le coefficient de transmission pour la couleur de longueur d'onde  $\lambda$ , le produit  $I_{\lambda} C_{\lambda}$  est l'intensité lumineuse transmise pour cette couleur et l'ensemble.

$$[I_{\lambda} C_{\lambda}]$$

reçu par l'œil évalue la vision colorée de l'objet éclairé par la source en question. Si l'objet est éclairé par la lumière solaire étalon, la couleur visuelle est évaluée par,  $[C_{\lambda}]$  quantité dépendant seulement de l'objet et qui constitue sa couleur *intrinsèque*.

Tout ensemble se traduirait par une courbe en fonction de la longueur d'onde.

Pour représenter la vision colorée par un ensemble de sensations, on pourra faire une évaluation de forme semblable. Considérons, comme dans la théorie de Young Helmholtz, la couleur subjective fonction de trois sensations, rouge, vert, bleu. Supposons ces sensations déterminées par filtration convenable, et exécutons les mesures qui permettent d'établir pour chaque radiation simple de la lumière solaire, les intensités relatives  $R_{\lambda}$ ,  $V_{\lambda}$ ,  $B_{\lambda}$ , dont l'ensemble reproduira la couleur de longueur d'onde  $\lambda$  avec son éclat. Ce seront des chiffres analogues à ceux de Maxwell que nous avons traduit dans les courbes de la figure 13 ; ceux de Maxwell même, ou d'autres expérimentateurs, n'ont en réalité qu'une valeur

particulière à l'auteur des mesures, et au procédé de réalisation des sensations, mais on peut les adopter comme représentatifs de la possibilité éventuelle d'une analyse de cette sorte.

L'ensemble des radiations constituant la lumière étalon se décomposera en trois sensations  $R_0, V_0, B_0$  qui seront chacune la somme *arithmétique* des intensités de composantes  $R_\lambda, V_\lambda$ , ou  $B_\lambda$ .

On écrira

$$R_0 = \sum R_\lambda, \quad V_0 = \sum V_\lambda, \quad B_0 = \sum B_\lambda, \quad ^1$$

et la lumière blanche sera évaluée par l'ensemble  $[R_0, V_0, B_0]$ .

Si nous considérons maintenant la source lumineuse particulière caractérisée par l'intensité  $I_\lambda$ , de la radiation de longueur d'onde  $\lambda$ , cette radiation pourra être décomposée en trois sensations correspondant à des intensités

$$R_\lambda I_\lambda, \quad V_\lambda I_\lambda, \quad B_\lambda I_\lambda,$$

et la superposition de toutes les radiations sera évaluée par l'ensemble de 3 sensations

$$R_s, \quad V_s, \quad B_s$$

égales respectivement aux sommes arithmétiques.

$$R_s = \sum R_\lambda I_\lambda, \quad V_s = \sum V_\lambda I_\lambda, \quad B_s = \sum B_\lambda I_\lambda.$$

L'ensemble  $R_s, V_s, B_s$  est la couleur de la source.

<sup>1</sup> Plus exactement,  $R_0, V_0, B_0$  sont mesurés par les aires limitées par chacune des courbes de la figure 13 au-dessus de la ligne d'intensité nulle.

Quand nous évaluons les composantes en sensation par la proportionnalité à l'intensité, ou par addition des intensités des différentes composantes nous négligeons un phénomène physiologique essentiel, la dépendance de la sensation vis à vis de l'intensité de l'éclairement (phénomène de Purkinje) ; et ceci s'ajoute à l'indétermination qui est à la base de la connaissance des sensations fondamentales pour limiter la portée de la rigueur que nous cherchons à introduire ici ; cette rigueur d'expression n'a d'autre but que de faciliter la discussion.

Si maintenant la source dont nous venons de définir la couleur éclaire l'objet dont la couleur intrinsèque est définie par l'ensemble  $[C_\lambda]$ , chaque radiation transmise par cet objet pourra être décomposée en trois sensations d'intensité

$$R_\lambda I_\lambda C_\lambda, \quad V_\lambda I_\lambda C_\lambda \quad \text{et} \quad B_\lambda I_\lambda C_\lambda,$$

et la couleur visuelle de l'objet sera représentée par un ensemble  $[r, v, b.]$  où les sensations auront les intensités définies par les sommes.

$$r = \sum R_\lambda I_\lambda C_\lambda, \quad v = \sum V_\lambda I_\lambda C_\lambda, \quad b = \sum B_\lambda I_\lambda C_\lambda.$$

**Reproduction objective des couleurs.** — La reproduction photographique utilise les actions traduites sur une épreuve, après manipulation convenable, par des transmissions lumineuses (par transparence généralement) dont nous savons dans certaines limites régler les rapports identiques à ceux des éclairements agissant. Ces actions purement objectives doivent être rapportées aux intensités de chaque radiation simple caractérisée par sa longueur d'onde, dans l'ensemble de l'éclairement. Pour restituer

la couleur objectivement il faudra séparer les actions individuelles des radiations simples sur des éléments distincts de l'épreuve, organiser ensuite une transmission par chacun de ces éléments d'une lumière réduite à la seule radiation simple correspondante. Ces éléments peuvent être conçus pour chaque détail du dessin de l'objet photographié, juxtaposés sur l'épreuve dans une surface assez petite pour que, vue à distance suffisante, il y ait confusion visuelle de leur transmission lumineuse.

Avec ce mécanisme, l'épreuve photographique est caractérisée d'abord par une couleur intrinsèque en ce sens que chaque radiation de longueur d'onde  $\lambda$  est transmise proportionnellement à un coefficient  $c_\lambda$  résultant de l'action photographique. Cette couleur intrinsèque est représentée par l'ensemble  $[c_\lambda]$ , c'est la couleur visuelle de l'épreuve éclairée par la lumière solaire directe. Le coefficient  $c_\lambda$  peut s'évaluer en chaque point en fonction de l'éclairement reçu et des propriétés photographiques. L'éclairement reçu est le produit  $I_\lambda C_\lambda$  élément de la couleur visuelle de l'objet de couleur  $[C_\lambda]$  éclairé par la source  $[I_\lambda]$ . La transmission  $c_\lambda$  s'exprimera proportionnellement à cet éclairement sous la forme

$$c_\lambda = t_\lambda I_\lambda C_\lambda$$

le facteur  $t_\lambda$  caractérisant l'action photographique.

L'ensemble  $[t_\lambda]$  représente l'action photographique de la lumière solaire décomposée en radiations simples, c'est-à-dire du spectre solaire, il est traduit par un spectrogramme pris en lumière solaire, c'est en somme la courbe de sensibilité chromatique de l'émulsion.

La reproduction photographique aboutit donc à une épreuve dont la couleur intrinsèque a pour valeur

$$[t_\lambda I_\lambda C_\lambda].$$

Si on doit regarder l'épreuve éclairée par une source dont la composition serait représentée par un ensemble  $[I'_\lambda]$  la couleur visuelle de l'épreuve sera formulée par

$$[I'_\lambda / t'_\lambda / I'_\lambda C'_\lambda].$$

Pour rendre cette couleur identique à la vision colorée de l'objet au moment de la photographie  $[I_\lambda C_\lambda]$ , il faudra rendre égaux à l'unité les produits  $I'_\lambda t'_\lambda$ ; c'est dire que l'action photographique correspondra à une sensibilité isochromatique pour la lumière dans laquelle l'épreuve est examinée.

Dans le cas de l'examen à la lumière du jour ce sont les coefficients  $t_\lambda$  qui sont égaux à l'unité.

En tout cas le spectre de la lumière d'examen devra fournir un noircissement égal sur toutes les radiations.

Mais on peut aussi faire la couleur intrinsèque de l'épreuve photographique identique à la couleur intrinsèque de l'objet photographié, c'est-à-dire rendre l'ensemble  $[t_\lambda I_\lambda C_\lambda]$  identique à  $[C_\lambda]$ ; il suffit pour cela de régler l'action photographique de façon à égaliser tous les produits  $t_\lambda I_\lambda$ . Ces termes représentent l'action photographique des radiations simples de la source éclairante  $[I_\lambda]$ ; égaliser ces actions c'est rendre la sensibilité isochromatique pour le spectre de cette source particulière. Sous cette condition on réalise une épreuve dont la couleur intrinsèque est identique à celle de l'objet. Toute couleur visuelle de l'épreuve sous une lumière éclairante

déterminée reproduit la couleur visuelle de l'objet éclairé par la même source de lumière.

Ainsi l'action photographique est caractérisée en tout cas par un réglage d'isochromatisme. On sait qu'on peut toujours le réaliser, pourvu que l'émulsion ait une sensibilité assez généralisée dans le spectre, par adjonction d'un filtre compensateur. Avec l'isochromatisme réglé pour la lumière d'examen de l'épreuve on reproduit la vision colorée des objets au moment de la photographie, c'est-à-dire dépendant de la lumière éclairante à ce moment. Avec un isochromatisme réglé pour la lumière éclairante au moment de la photographie, l'épreuve traduit sous une lumière quelconque l'aspect de l'objet éclairé par la même lumière ; pour restituer en ce cas la vision colorée du moment de la photographie, il faut éclairer l'épreuve par une lumière identique à la lumière éclairante initiale.

**Reproduction par images trichromes.** — Pour reproduire la couleur par superposition de trois sensations fondamentales d'intensité convenablement réglées on établit trois clichés distincts dont les épreuves finales auront des transparences que l'on peut évaluer proportionnelles à la somme des actions de l'éclairement.

Nous représentons l'éclairement reçu de l'objet photographié par l'ensemble  $[I_\lambda C_\lambda]$  ; par un ajustement de sensibilité particulier à chaque cliché on reproduira des transparences mesurées par les sommes arithmétiques

$$\Sigma \varphi_\lambda I_\lambda C_\lambda, \quad \Sigma \vartheta_\lambda I_\lambda C_\lambda, \quad \Sigma \tau_\lambda I_\lambda C_\lambda$$

qui correspondent aux épreuves destinées à régler les trois sensations rouge, vert, bleu, les coefficients  $\varphi_\lambda$ ,  $\vartheta_\lambda$ ,

$\beta_\lambda$ , sont caractéristiques du réglage de la sensibilité de l'émulsion à l'analyse sur chacune de ces épreuves.

Les épreuves obtenues sont examinées dans un appareillage qui superpose les trois sensations provenant de filtrations convenables de lumière ; sans avoir à préciser le moyen d'examen, il est logique mais non nécessaire de régler cet appareillage pour que la transmission totale, c'est-à-dire avec une transparence unité des lumières éclairantes, donne la sensation de blanc.

Ceci se caractérise par trois nombres  $R_0$ ,  $V_0$ ,  $B_0$  exprimant l'intensité lumineuse relative employée à reproduire ces composantes du blanc ; nombres en dépendance étroite avec le mode de réalisation des sensations fondamentales. Quand nous réglons ensuite la vision avec les épreuves obtenues, nous superposons des sensations d'intensité proportionnelles aux transparences (sous réserve du phénomène de Purknje), c'est-à-dire que nous percevons l'ensemble de trois sensations de valeur

$$[R_0 \sum \beta_\lambda I_\lambda C_\lambda, \quad V_0 \sum \beta_\lambda I_\lambda C_\lambda, \quad B_0 \sum \beta_\lambda I_\lambda C_\lambda].$$

Si on désigne par  $R_\lambda$ ,  $V_\lambda$ ,  $B_\lambda$ , les valeurs particulières à la radiation simple de longueur d'onde  $\lambda$  des composantes fondamentales, réalisées par les mêmes moyens, on peut représenter la couleur visuelle de l'objet photographié au moment de la photographie par l'ensemble des trois sommes

$$[\sum R_\lambda I_\lambda C_\lambda, \quad \sum V_\lambda I_\lambda C_\lambda, \quad \sum B_\lambda I_\lambda C_\lambda].$$

Cette vision colorée sera rétablie par la vision des épreuves si on a réglé les sensibilités d'analyse de telle sorte que

$$R_0 \beta_\lambda = R_\lambda, \quad V_0 \beta_\lambda = V_\lambda, \quad B_0 \beta_\lambda = B_\lambda.$$

La mesure des  $R_\lambda$ , etc., étant faite dans le même procédé de réalisation des sensations, on sait que

$$R_0 = \sum R_\lambda ; \text{ etc.}$$

En tout cas, l'ajustement des sensibilités  $\rho$ ,  $\nu$ ,  $\beta$  pour l'analyse est en dépendance avec les procédés de réalisation des sensations fondamentales mais non avec la constitution de la lumière qui éclaire l'objet ; c'est là un caractère analogue à celui de la reproduction de la couleur objective : la reproduction de la vision colorée *actuelle* se fait avec une sensibilité chromatique indépendante de la lumière éclairante et fixée par les conditions d'examen de l'épreuve.

On pourrait aussi régler la sensibilité en dépendance avec cette lumière éclairante en faisant

$$R_0 \rho_\lambda I_\lambda = R_\lambda, \quad V_0 \nu_\lambda L_\lambda = V_\lambda \quad \text{et} \quad B_0 \beta_\lambda I_\lambda = B_\lambda$$

la couleur vue par superposition des trois épreuves serait alors identique à l'ensemble

$$[R \sum_\lambda C_\lambda, \sum V_\lambda C_\lambda, \sum B_\lambda C_\lambda]$$

ensemble qui représente la couleur de l'objet vu à la lumière du soleil, pour laquelle les  $I_\lambda$  sont tous égaux à l'unité. Nous ne pouvons pas assimiler ceci à une reproduction de couleur intrinsèque de l'objet parce que si nous changeons le procédé de réglage des sensations fondamentales par emploi d'autres sources éclairantes des filtres de synthèse, nous ne savons pas introduire systématiquement les valeurs  $I_\lambda$  d'une source éclairante donnée dans le réglage de la composante de la radiation  $\lambda$  ; nous ne faisons qu'un changement de l'intensité glo-

bale de la sensation sans en connaître le détail. Mais il reste de l'observation précédente, que si on photographie un objet éclairé par une source quelconque, la reproduction de son aspect coloré *en lumière solaire*, demande un ajustement de la sensibilité chromatique en dépendance avec la nature de la source éclairante au moment de la photographie.

C'est une circonstance nécessaire aussi dans la reproduction objective, où le caractère des épreuves obtenues a d'ailleurs une signification plus générale. Mais alors que pour la reproduction objective la sensibilité chromatique se règle par la seule considération d'une lumière éclairante, dans le cas de la reproduction trichrome elle est en outre dépendante du procédé, largement arbitraire, employé pour la création des sensations fondamentales.

**Caractérisation des différents procédés de photographie des couleurs.** — Le procédé interférentiel et le procédé par images dispersées sont évidemment des procédés de reproduction de couleurs objectives ; le mécanisme faisant intervenir les radiations simples aussi bien dans l'action photographique que dans la restitution des couleurs.

Le procédé par images trichromes superposées (synthèse soustractive ou procédé pigmentaire) se relie aussi à la reproduction de la couleur objective. Nous avons signalé (chap. IV) que le mécanisme de ce procédé traduit en images distinctes les absorptions élémentaires de l'objet coloré ; la superposition des images est une réunion de toutes les absorptions et la lumière transmise par l'épreuve est en définitive la lumière même qui a fourni l'action photographique. Si l'analyse des absorptions était suffi-

samment détaillée le fonctionnement du procédé ressortirait très exactement de la reproduction objective.

L'analyse étant réduite à trois groupes de radiations, cela ne change pas le principe d'action, mais risque seulement de ne donner que des résultats insuffisamment exacts.

La reproduction par images trichromes séparées vues en synthèse additive est au contraire en dépendance nette avec la théorie trichrome de la vision colorée.

Quant aux plaques à réseaux réguliers ou non, leur mécanisme est moins caractérisé ; il participe de la théorie d'Young Hehmoltz par la réduction des radiations utilisées à la vision en trois groupes dont la sensation résultante correspond aux sensations fondamentales généralement adoptées. Mais d'autre part les éléments séparés et contigus du réseau réalisent des analyseurs de lumière, grossiers à la vérité, mais fonctionnant à la façon d'un prisme ne donnant qu'une luminosité très faible au jaune ou au bleu vert. Nous verrons par l'examen détaillé des divers procédés en ce qui concerne leur exactitude colorée que le caractère objectif des plaques à réseaux peut être appuyé par des observations curieuses.

**L'exactitude des couleurs dans le procédé interférentiel.** — Le procédé interférentiel est généralement considéré comme restituant automatiquement la couleur exacte. En réalité le résultat exact n'est obtenu qu'en réglant très soigneusement la technique photographique.

On a vu par le détail des observations de Ives au chap. II, que le mécanisme de reproduction exacte de la couleur exige un ajustement variable de l'action photographique suivant qu'il s'agit de radiations simples,

ou de couleurs complexes. Les formules d'émulsion adoptées pour l'usage général constituent un compromis, ou simplement s'ajustent plutôt au dernier cas. La traduction des couleurs complexes par un très petit nombre de lamelles, en particulier la reproduction du blanc, semblent bien dépendre, nous l'avons signalé, d'une sensibilité isochromatique à la lumière solaire.

Le peu de sensibilité de l'émulsion ne se prête pas d'ailleurs à des opérations photographiques en éclairements artificiels, et on n'a pas d'observations particulières à ces éclairements. L'exactitude colorée dépend encore, d'après tous les expérimentateurs, de la durée d'exposition qui doit être assurée à une très bonne approximation pour être correcte. Ce détail manifeste la particularité du mécanisme photographique utilisant une seule couche émulsionnée. On a vu qu'en ce cas le facteur de transmission de lumière dépendait d'un seul facteur de développement et que les seules expositions correctes se réalisaient avec un facteur de développement égal à l'unité. Pour les plaques du procédé Lippmann, la transmission de lumière réfléchie par l'épreuve sans être vraiment complémentaire de la transparence après le développement de l'action lumineuse, reste sans doute proportionnelle à cette action entre certaines limites où l'on peut trouver la région d'exposition correcte. Ces limites sont d'ailleurs très resserrées par suite de la très faible teneur en argent de l'émulsion : le cliché obtenu après développement ne comporte qu'une densité maxima très faible. Aussi a-t-il été toujours conseillé de ne pas chercher à photographier avec ce procédé des sujets à grand contraste ; la reproduction des éclats trop différents est toujours incorrecte dans quelque partie ; et on

s'explique facilement que la traduction du blanc, outre qu'elle exige le meilleur ajustement de sensibilité chromatique, soit difficilement exacte en même temps que celle de couleurs ne mettant en jeu en un même point qu'une intensité d'action affaiblie.

**Exactitude colorée du procédé par images dispersées.** — D'après les observations de E. et J. Rheinberg qui ont mis au point le procédé dans un appareil très ingénieusement constitué, cette exactitude est très remarquable, au moins dans les parties centrales du champ, quand on utilise la réversibilité de marche de la lumière pour examiner l'épreuve ; en ce cas en effet, seules les parties d'images libres d'aberrations irreversibles peuvent restituer des effets corrects. MM. Rheinberg signalent la nécessité d'ajustement de l'isochromatisme en fonction de la nature de la lumière servant à l'examen de l'épreuve ; ils ont observé ainsi que l'ajustement ayant été fait soit pour l'examen à la lumière du jour, soit pour l'examen à la lumière de l'arc, les résultats restituait l'aspect coloré de l'objet dans la lumière qui les éclairaient au moment de la photographie — ils ont varié cet éclairage en prenant les vues soit au jour, soit sous des éclairements d'arc, ou de flamme de gaz et constaté la reproduction toujours exacte de la couleur actuelle de l'objet, en conservant le même ajustement de sensibilité chromatique (le même filtre compensateur), pour ces différentes circonstances.

La dépendance de l'exactitude colorée avec la durée d'exposition est signalée par MM. Rheinberg, mais les conditions de pose sont moins rigoureuses que dans le procédé Lippmann.

L'usage de deux plaques sensibles successives permet une plus grande facilité de réglage de la transparence finale à l'éclairement initial et MM. Rheinberg tout en recommandant des négatifs doux et modelés — c'est-à-dire des négatifs de durée d'exposition et de développement corrects, affirment que les clichés sous-exposés et surexposés peuvent être utilisés après correction ; la surexposition leur paraît cependant beaucoup moins avantageuse et conduirait à des troubles colorés plus manifestes que la sous-exposition.

C'est que pour obtenir une sensation de coloration vive il faut réaliser sur le positif non seulement des rapports corrects de transparence, mais une densité absolue assez grande ; le positif doit être très vigoureux pour l'examen à la lumière vive de l'arc ou du soleil ; il peut être plus faible pour des lumières d'examen atténuées. Cette remarque est en dépendance avec le fait que l'analyse de la lumière opérée par le prisme dans ce procédé est en réalité très grossière, les spectres élémentaires sont fort loin d'être purs, et cela correspond à une addition de blanc considérable à toutes les couleurs spectrales.

Le résultat peut néanmoins donner un effet coloré très vif en lumière peu intense parce que la sensibilité de l'œil à la couleur croît fortement avec la diminution de l'éclat absolu ; on a signalé déjà comment dans les observations photométriques, grâce à la faiblesse des éclairements comparés, on différenciait dans le photomètre des couleurs nettes pour des lumières considérées comme blanches indistinctement, en fort éclairement.

Ce point est particulièrement mis en évidence par une observation de E. et J. Rheinberg : « dans le cas de couleurs très sombres disent-ils, comme le brun chocolat, la

couleur vient parfaite malgré l'absence de toute action apparente sur le négatif» ; cette absence ne doit être évidemment qu'apparente, mais la lumière extrêmement faible transmise en ce cas par le positif manifeste toujours sa couleur propre.

Dans l'ensemble, l'exactitude colorée du procédé paraît donc facilement devoir être assurée, dans les limites où sont réalisées les conditions de correction du fonctionnement optique, et cette exactitude est du même ordre que celle du procédé interférentiel.

**Exactitude colorée des procédés pigmentaires.** — Il a été expliqué au chapitre IV comment le mécanisme de reproduction des couleurs par images superposées accumulant leurs absorptions, fonctionnait pour restituer une couleur objective, si les éléments superposés étaient assez nombreux pour représenter les absorptions relatives à un nombre suffisant de radiations. En général on se borne à trois images et le procédé doit souffrir d'une analyse insuffisamment détaillée.

Le succès de la plaque Autochrome qui n'utilise aussi que l'analyse spectrale en trois parties semble cependant pouvoir justifier une réussite assez générale des procédés pigmentaires. En fait ces procédés ont bien donné en certains cas des résultats, intéressants et satisfaisants, mais le succès était en dépendance avec l'habileté particulière de l'opérateur ; la technique semble comporter une large intervention personnelle et le contrôle rationnel des résultats ne paraît pas suffisant pour assurer l'exactitude finale. Cependant le perfectionnement des émulsions et de l'outillage pour la sélection trichrome et le contrôle des durée de pose et de développement laisse quelque espoir à

une utilisation meilleure (voir L. P. Clerc, *Reproductions photomécaniques polychromes* sur le rôle des « chromistes »).

Avant l'apparition des Autochromes, la production des épreuves à couleurs fixées dont l'examen ne nécessite aucun appareillage spécial avait sollicité le travail d'un grand nombre d'amateurs en vue de la simplification et de la régularisation des opérations ; il est désirable qu'un nouvel effort soit tenté, car les images pigmentaires paraissent constituer un intéressant moyen de reproduction sur papier des vues prises directement sur autochromes.

**Exactitude des couleurs dans la trichromie additive.** — On est peu renseigné en ce cas ; l'usage du chromoscope n'a jamais été bien répandu ; l'addition des sensations colorées par projection bien que semblant avoir un certain avenir cinématographique, reste jusqu'à présent une expérience curieuse et sans généralisation.

Les amateurs ou chercheurs qui ont travaillé dans ce procédé n'ont jamais insisté semble-t-il, sur l'exactitude du procédé ou les conditions nécessaires pour la réaliser. On escompte seulement un heureux choix d'écrans pour la constitution des sensations fondamentales et un réglage empirique de leur intensité relative.

Ce manque de précision n'est pas étonnant, vu l'arbitraire considérable qui semble bien caractériser la décomposition des couleurs en sensations trichromes. On peut cependant dans les détails d'opération retrouver quelques faits intéressants à rapprocher des idées théoriques.

Généralement on indique pour les écrans de synthèse des couleurs très saturées qui tendent à leur donner la

constitution objective des couleurs spectrales correspondantes ; on choisit ainsi un bleu, un vert, un rouge, plus ou moins rapprochés des couleurs fondamentales que Maxwell avait choisies dans le spectre même. On a signalé que Wood et Ives ont même imaginé un dispositif à réseau permettant de superposer les images trichromes colorées dans une véritable couleur pure.

Cet accord approché sur les sensations fondamentales pourrait être ajouté aux arguments en faveur de la possibilité de reproduction des couleurs par addition de trois sensations.

Pour l'analyse il faut constituer des filtres sélecteurs qui doivent régler l'action photographique et par suite les transparences finales : la constitution de ces filtres dépend du mode de réalisation des sensations trichromes, et aussi du réglage de la traduction du blanc ; comme on ne peut pas traduire quantitativement ces circonstances, l'établissement rationnel des filtres n'est guère possible.

Il semble que dans la pratique de la trichromie on ait généralement adopté des filtres découplant le spectre en ses trois régions principales, bleu, vert et rouge avec seulement un très léger chevauchement. La figure 41 donne les spectrogrammes des filtres Wratten. Les considérations théoriques que nous avons développé précédemment justifieraient cependant un chevauchement beaucoup plus accentué de ces filtres. Si on se reporte aux mesures de Maxwell et en s'arrangeant pour restituer les couleurs avec les sensations qu'il avait choisies, réglées dans les proportions indiquées par les courbes, la couleur objective des filtres pour les trois sensations s'obtiendra par une simple réduction des ordonnées pour chaque courbe en proportion inverse de la luminosité globale.

On a retracé dans la figure 90 ces courbes de Maxwell, réduites et tracées sur une échelle logarithmique des ordonnées, afin de les rendre plus comparables aux spectrogrammes pris derrière les écrans à éclairement variable en progression géométrique. On voit par ces courbes le fort chevauchement des filtres vert et rouge ; la partie pointillée marque le résultat des actions des 3 filtres superposées sur une même plaque ; c'est en vue de satisfaire à ce chevauchement que nous avons établi les formules de

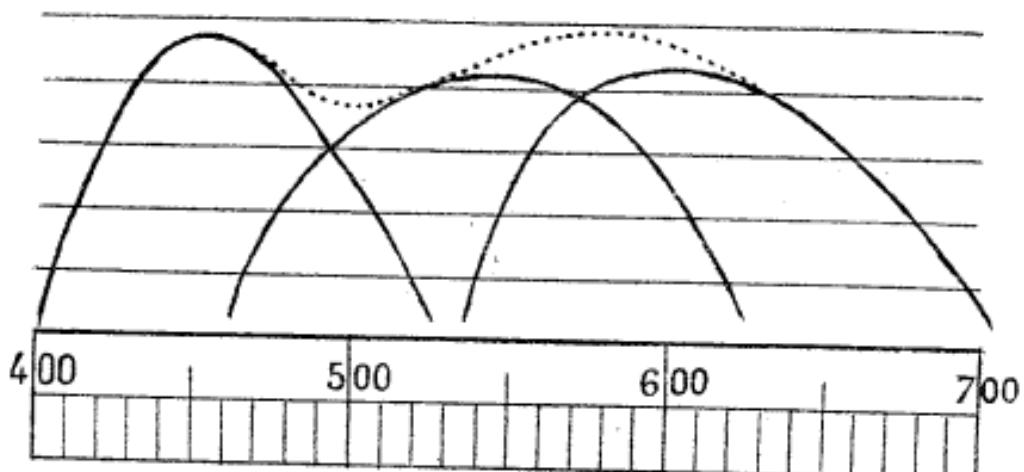


Fig. 90. — Courbes de Maxwell tracées avec échelons logarithmiques, semblables à ceux des éclairements du spectrographe.

filtres légers données dans le chapitre IV, et dont la figure 42 montre les spectrogrammes. Ces filtres ont semblé donner des résultats parfaitement satisfaisants dans des essais de cinématographie trichrome. Mais pour être fixé sur la valeur des interventions colorées dans la pratique du procédé, il faudrait procéder à une expérimentation systématique ; la technique photographique y serait rigoureusement réglée pour éliminer l'intervention des sur ou sous expositions qui sont nécessairement des conditions d'inexactitude et pour assurer la propor-

tionnalité des transparences finales aux éclairements photographiés ; l'influence des facteurs colorés pourrait alors être précisée ; cependant le jugement sur le résultat des superpositions de sensations sera toujours subjectif, mais il pourrait être rendu assez général en opérant par projection, ce qui permet la vision simultanée à un grand nombre de personnes. La cinématographie fournira peut-être dans l'avenir quelques observations intéressantes.

**Exactitude colorée des plaques à réseaux.** — La reproduction des couleurs avec les plaques à réseaux réguliers ou non, se prête à un contrôle très facile de l'exactitude colorée ; la couleur est fixée en quelque sorte sur l'épreuve ; la comparaison de celle-ci peut se faire et se reprendre avec l'objet photographié quand il ne s'agit pas d'un aspect passager ou d'une scène en mouvement, le jugement sur la réussite de la reproduction colorée peut-être ainsi généralisé et gagne en certitude.

Le fait qui domine la question étudiée ici, c'est que depuis sa mise en vente, la plaque Autochrome Lumière a donné les satisfactions les plus inespérées quant à son aptitude à la reproduction exacte jusque dans les plus fines nuances, d'aspects colorés les plus divers. Nous ne disons pas qu'elle fournit nécessairement en tous les cas une solution rigoureuse de la reproduction colorée ; mais il est indéniable que l'amplitude des circonstances où elle conduit à une solution correcte est vraiment considérable et en fait un instrument de valeur inestimable pour des applications extrêmement variées.

Cette correction moyenne, et aussi d'ailleurs les irrégularités ou insuffisances occasionnelles, nous permettent ici

de vérifier expérimentalement les données générales du problème de la reproduction colorée.

On peut limiter les irrégularités dans la reproduction des couleurs aux trois observations suivantes : la plaque ne peut pas reproduire certaines couleurs spectrales ; elle rend inexactement de rares tons colorés (l'exemple le plus sensible est celui de certain jaune orangé) ; enfin elle paraît exagérer les couleurs dominantes de l'éclairement, mais ce n'est là qu'un jugement subjectif contraire aux faits comme nous le verrons plus loin. Ces inconvénients très accidentels et faciles à éviter quand on en connaît le mécanisme, ne diminuent pas sensiblement l'exactitude générale des épreuves qui ont été exécutées dans des conditions régulières.

**Conditions photographiques.** — Il convient de rappeler avant d'aborder la discussion de la couleur même, que le résultat coloré dépend de la correction des opérations photographiques proprement dites. Il n'y a rien à espérer de régulier si l'on n'assure pas la proportionnalité des transparences finales aux actions lumineuses. Ceci ne peut-être que la conséquence d'une très grande précision dans les opérations photographiques.

Les figures 91, 92 et 93 reproduisent les courbes de noircissement de l'émulsion autochrome exposée à la lumière pendant 20 secondes pour des durées de développement de 100, 110 et 250 secondes dans le révélateur à la méthoquinone-ammoniaque ; on a vu déjà sur les figures 81 et 82 des courbes de noircissement de la même émulsion sous des expositions différentes quoique équivalentes en illumination, avec un développement au diamidophénol. de durée unique (150 secondes). On peut constater sur

ces courbes la grande variabilité du facteur de développement.

Pour l'exposition moyenne, le facteur de développement dans le révélateur indiqué par les fabricants est égal à l'unité après 2 minutes et demie, et remplit la condi-

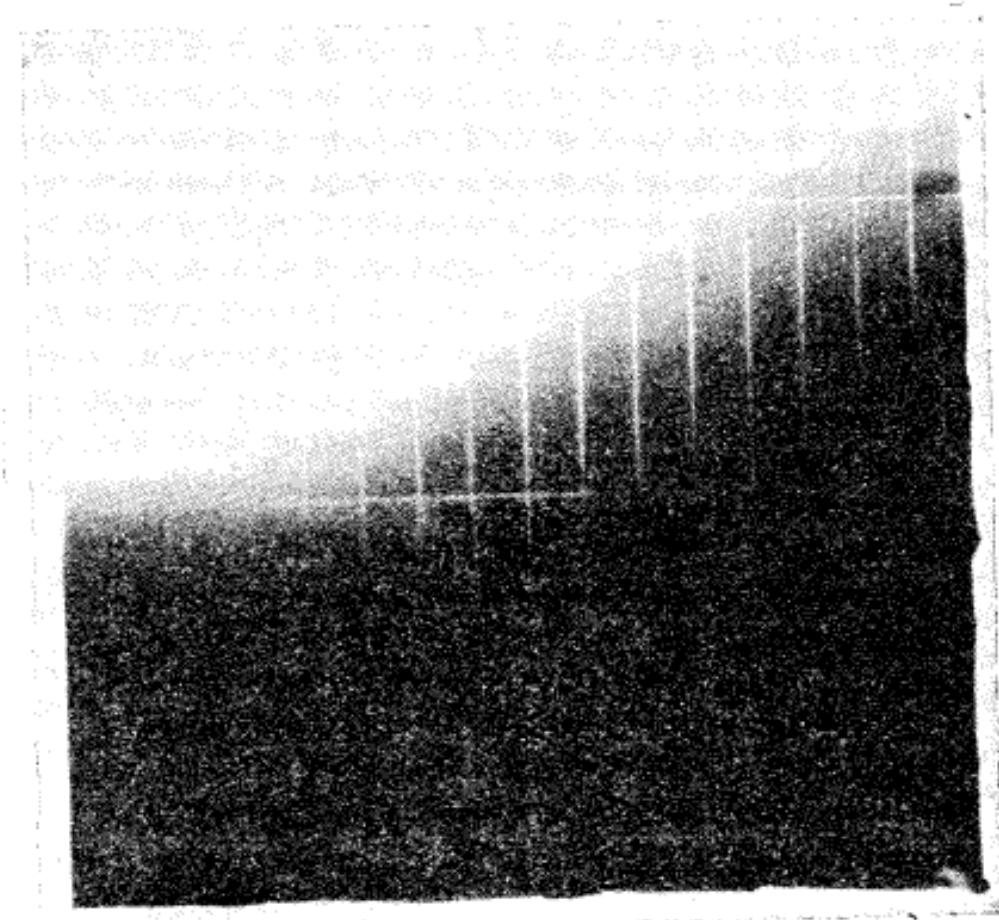


Fig. 91. — Emulsion Autochrome. Exposition : 20 secondes.  
Développement : 90 secondes.

tion nécessaire à la correction du positif. D'autres développeurs pourraient sans doute le donner ; les fabricants avaient tout d'abord réglé dans ce but l'emploi de l'acide pyrogallique : en tout cas c'est une recherche, qui ne peut être couronnée de succès sans des moyens de contrôle

convenables ; et c'est en définitive la qualité des résultats colorés obtenus qui renseignera le mieux sur le plus ou moins de valeur du procédé mis en œuvre. Si on ne cherche pas à inventer à tout prix, les observations précédentes montrent qu'il vaut mieux s'en tenir aux for-

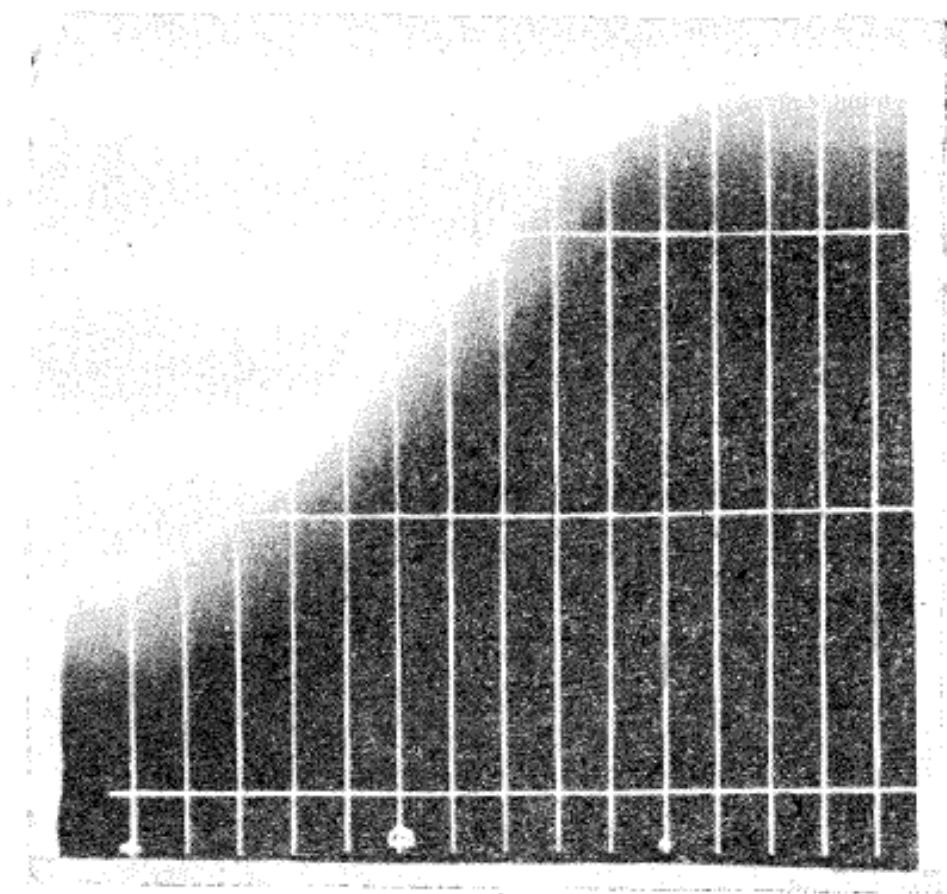


Fig. 92. — Emulsion Autochrome. Exposition : 30 secondes  
Développement : 150 secondes.

mules des fabricants qui ont réglé au mieux l'emploi de leur produit.

La conduite du développement est réglée par la nécessité d'utiliser un facteur de développement unité : mais l'y aura utilisation que si les objets photographiés ont

fourni une illumination correspondant à l'étendue de la région rectiligne des courbes de noircissement ; ceci revient à dire qu'il faut un temps d'exposition correct. L'amplitude des variations d'éclairement tolérables ne dépasse pas le rapport de 1 à 20 ; c'est à peu près ce qui corres-

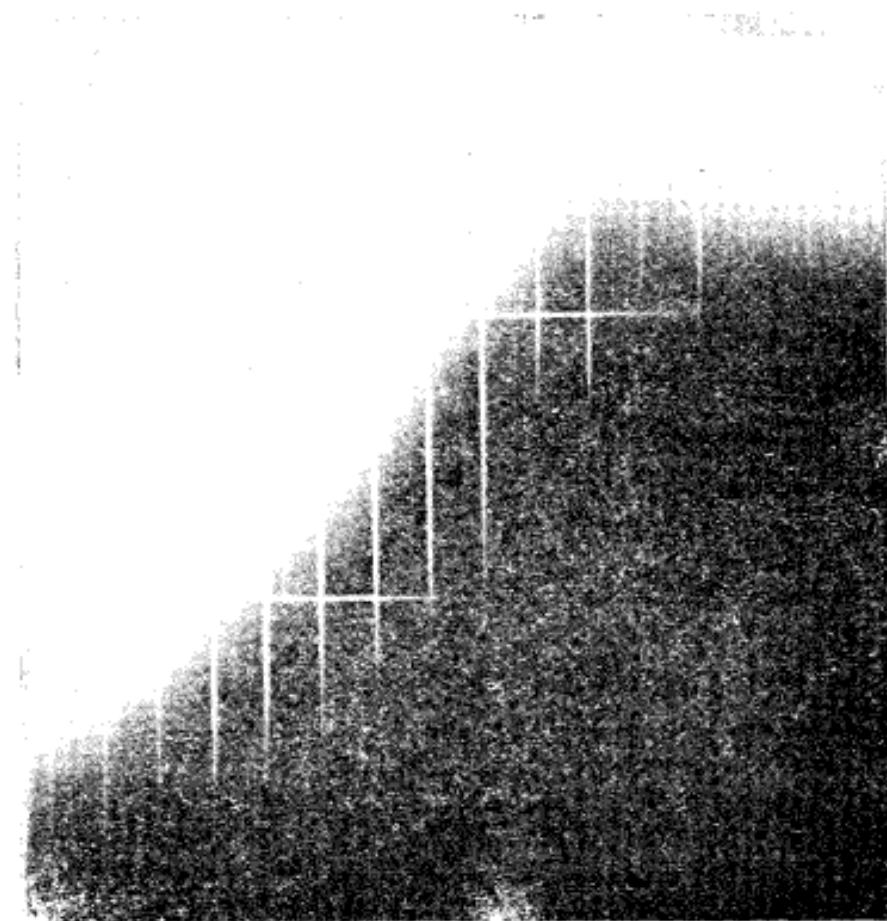


Fig. 93. — Emulsion Autochrome. Exposition : 20 secondes.  
Développement : 250 secondes.

pond aux rapports d'ombres et lumières dans les sujets photographiés quand ils ne sont pas de ceux qu'on appelle à grands contrastes : intérieurs, contre-jours, couchers de soleil etc.

On n'aura donc pas de grande tolérance dans l'estima-

tion du temps de pose ; si on commet une erreur sensible dans la durée d'exposition le résultat coloré ne pourra être exact que pour une gradation très limitée de la courbe de sur ou sous-exposition, où l'on pourra trouver une pente égale à l'unité si on prend soin de modifier le développement de façon à réaliser un coefficient de développement maximum supérieur à 1.

Cette modification du développement est une opération délicate qui demande à être formulée spécialement pour chaque cas, sur ou sous-exposition, afin de réaliser non seulement un facteur de développement suffisant, mais aussi une densité absolue d'argent convenable. La difficulté d'application et de réglage de ces modifications réside dans le fait qu'il faut déceler d'abord par un commencement de développement le sens de l'action à réaliser. Quel que soit d'ailleurs le succès du développement méthodique, comme on l'appelle, il n'aura qu'un effet correcteur limité et l'écart entre les éclaircissements exactement reproduits sera d'autant plus faible qu'on s'éloignera plus de la pose correcte pour le développement normal.

Ces considérations suffisent pour faire comprendre que l'intervention du photographe dans l'emploi des Autochromes, si simple que soit la technique du développement et de l'évaluation d'un temps de pose, peut facilement et inconsciemment introduire quelque élément de trouble dans le résultat escompté. Cependant il est de grande utilité que les amateurs cherchent au cours de leurs opérations, l'amélioration de la technique de manipulation ; mais tout résultat défectueux doit d'abord être attribué à un défaut de cette technique, la plaque étant prise comme le véritable élément de contrôle d'une manipulation correcte.



### Caractérisation objective de reproduction colorée.

— Au point de vue spécial de la couleur nous avons remarqué que les plaques à réseaux pouvaient être envisagées comme instruments de reproduction objective aussi bien que de reproduction subjective. L'exactitude générale des résultats sur plaque Autochrome semble d'abord un argument en faveur du point de vue subjectif parce que l'analyse objective y paraît vraiment très grossière. Par les spectrogrammes (fig. 63) on a vu que le réseau découpe le spectre en trois sections bien distinctes cela ne constitue évidemment qu'une approximation rudimentaire.

Il faut cependant remarquer que l'analyse n'est guère plus fine dans le procédé par images dispersées ; dans l'appareil Rheinberg très bien conçu, les lignes de l'image s'étalent en un spectre dont la longueur atteint à peine 4 fois leur dimension transversale, ce spectre est par suite bien loin d'être pur ce qui n'empêche pas le fonctionnement du procédé avec une correction suffisante.

Le caractère objectif de la plaque Autochrome peut d'ailleurs être mis en évidence par l'analyse des lumières colorées qu'elle reproduit. Voici par exemple un document curieux à cet égard. La figure 5 (pl. II) a donné la reproduction d'après Aurochrome d'un phénomène d'interférences de lumière blanche dans lequel une dispersion particulière des radiations simples produit l'aspect coloré. Quand on *regarde* ce phénomène à travers des filtres sensiblement monochromatiques il apparaît sous forme de bandes noires et claires, et l'écartement de ces bandes varie avec la couleur ; la figure 94 montre l'aspect relevé photographiquement à travers trois bandes filtrantes en bleu, vert et rouge. Si maintenant on prend la photographie en

couleurs du phénomène sur Autochrome, et qu'on reproduise par contact cette photographie en interposant les

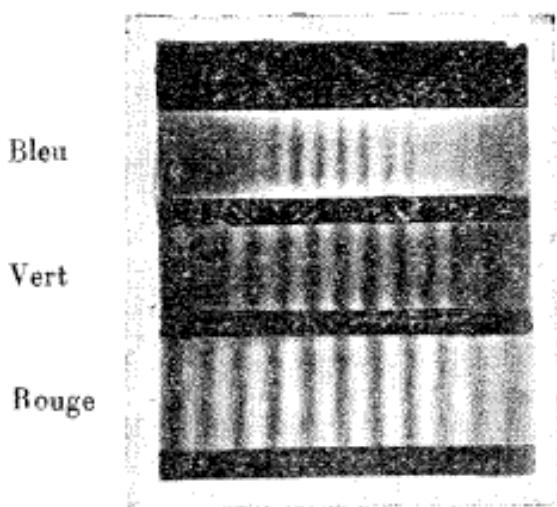


Fig. 94. — Franges de la figure 5, prises directement sur plaque panchromatique derrière des filtres bleu, vert et rouge.

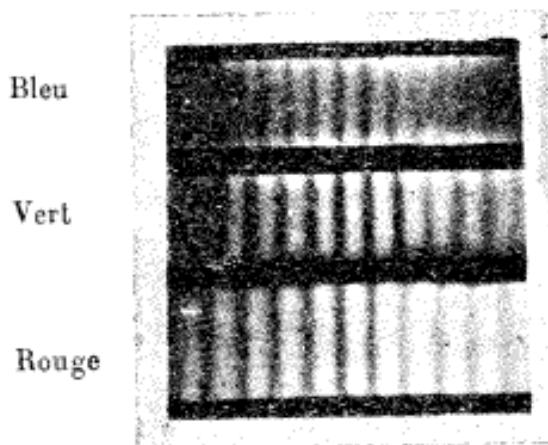


Fig. 95. — Epreuve Autochrome de la figure 5 et reproduite par contact sur plaque panchromatique à travers des filtres bleu, vert et rouge.

mêmes bandes filtrantes on obtient l'aspect de la figure 95 semblable au premier.

Cela signifie que la lumière transmise par l'Autochrome

a sensiblement la même composition objective que celle de l'éclairement photographié.

A vrai dire l'analyse précédente réussit parce qu'on n'y apporte pas plus de finesse que la plaque elle même n'en comporte<sup>1</sup>. Il est certain que l'on ne peut pas reproduire les couleurs spectrales sur Autochrome, parce que précisément la plaque ne contient pas pour l'analyse ni pour la reproduction les éléments détaillés correspondant à toutes ces radiations. La figure 96, planche II en couleurs, reproduit l'aspect coloré du spectre photographié sur Autochrome derrière l'écran dégradé. On y reconnaît bien pour des éclaircements forts, des variations colorées en dehors des couleurs des trois éléments du réseau et par exemple des sensations bleu, vert et jaune, couleurs de passage entre celles du réseau : mais elles résultent du léger chevauchement des transmissions séparées à travers les trois sortes de grain et dans l'ensemble la traduction spectrale est plutôt limitée aux trois couleurs nettement distinctes des grains du réseau.

Cette insuffisance est le résultat du caractère objectif de la plaque ; elle ne pourrait caractériser en tout cas un fonctionnement subjectif correct qui doit, par une action réglée convenablement sur le mode de réalisation des sensations, pouvoir fournir dans chaque couleur simple les composantes de sensations qui la restituent ; on se rappellera encore la signification des courbes de Maxwell à cet égard ; l'impuissance à la traduction colorée spec-

<sup>1</sup> Si on plaçait les franges de l'Autochrome en travers de la fente d'un spectroscope, ces franges ne s'étaleraient pas en lignes divergentes comme sur la figure 6 mais en 3 séries de lignes parallèles d'écartements différents pour les trois régions bleu, vert et rouge.

trale serait donc la preuve d'un assez grave défaut d'ajustement de la plaque au fonctionnement du procédé basé sur l'addition des sensations fondamentales.

Nous pouvons rechercher une caractérisation plus sensible du mécanisme de la reproduction colorée dans les détails de la sensibilité chromatique.

On a vu que la reproduction objective de la couleur visuelle mettait en jeu un *isochromatisme* relatif à la lumière d'examen ; par contre la reproduction subjective

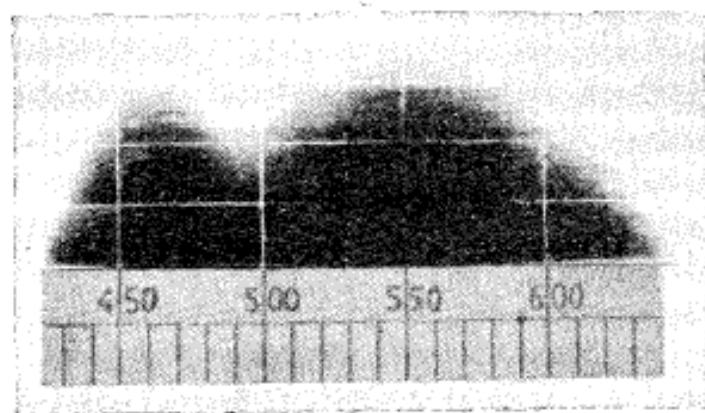


Fig. 97. — Superposition des transmissions à travers les filtres sélecteurs légers de la figure 42.

nécessite un ajustement en dépendance avec le mécanisme de réalisation des sensations, dont nous avons traduit au moins l'allure générale par la figure 90 ; le spectre de la figure 97 montre en exemple comment les actions superposées des filtres légers dont nous avons donné la formule au chap. IV traduisent approximativement l'allure déduite des mesures de Maxwell.

Si on examine la suite des spectres pris sur Autochrome (figures 62, 63 et 64) émulsion libre d'abord, puis derrière le réseau, et enfin le filtre compensateur étant aussi inter-

posé, on ne peut qu'être frappé par la tendance progressive à l'isochromatisme. Cependant le résultat laisse subsister des dépressions de sensibilité marquées aux points de jonction des teintes du réseau ; la dépression dans le jaune a même été accentuée par l'intervention du filtre compensateur, et peut être aussi celle du bleu vert ; enfin la sensibilité au bleu, est plus faible que la sensibilité au vert ; et sous le rouge elle est encore moindre. Il faut donc accuser finalement des écarts sensibles avec l'isochromatisme correspondant à la solution véritablement objective.

Par contre les caractéristiques de la sensibilisation correspondant au mécanisme subjectif semblent en discordance encore plus forte. Si on compare les figures 64 et 89, le pointillé dans cette dernière devant traduire l'action totale sur l'émulsion on relève malgré un accord relatif quant à la dépression sur la longueur d'onde  $500\text{ }m\mu$ , une opposition formelle sur le jaune moyen ; au lieu de la dépression marquée sur l'Autochrome à la jonction des couleurs rouge et verte la théorie trichrome demande un accroissement de sensibilité. Il est vrai que les courbes de la figure 90 ne traduisent qu'une forme particulière de restitution des couleurs par superposition trichrome ; le choix des sensations, l'éclairement avec lequel on les réalise, peuvent intervenir pour modifier les chiffres et les courbes qui les traduisent ; mais l'accord assez général cependant sur la nature des sensations et l'adoption toujours implicite de la lumière du jour pour les réaliser doivent entraîner une loi peu différente de celle que nous avons tracée. Un écart aussi notable que celui marqué par l'Autochrome pour la sensibilité du jaune serait semble-t-il incompatible avec une traduction

correcte des tons de transition entre rouge et vert si le mécanisme de cette traduction était celui de la trichromie additive.

**Rôle de la luminosité relative des couleurs simples.** — On peut essayer encore de se représenter le fonctionnement de la restitution colorée par l'Autochrome en introduisant le caractère subjectif de luminosité ou d'efficacité visuelle.

Objectivement les radiations simples ont sur l'émulsion une action qui s'évalue en raison de leur intensité propre et du facteur de sensibilité qu'il s'agit de régler. Dans une restitution objective de couleur, puisqu'il faut rendre les radiations avec leur intensité relative initiale, on est amené à égaliser leur coefficient de sensibilité ; mais si au lieu de restituer objectivement chaque radiation, on la traduit par une sensation voisine, équivalente quant au ton coloré, mais différente en luminosité, il faudra tenir compte de cette différence dans le réglage de la sensibilité. C'est ce qui arrive précisément dans le fonctionnement d'une plaque à réseau ; on peut considérer la restitution colorée se faisant en trois tons englobant un groupement plus ou moins étendu de radiations ; chaque radiation est rendue ainsi dans un ton dont la luminosité est déterminée et pour qu'elle produise un effet visuel en rapport avec sa luminosité propre il aura fallu régler sa transmission en rapport de sa luminosité avec celle du ton du réseau.

Pour formuler l'intervention de cette particularité de la reproduction colorée on peut raisonner de la façon suivante. L'ensemble  $[I_\lambda \ C_\lambda]$  représentant la couleur photographiée conduit à des actions photographiques caracté-

risées par l'ensemble des transparences finales  $[t_\lambda I_\lambda C_\lambda]$ ,  $t_\lambda$  étant un facteur de sensibilité.

La vision s'effectue en divisant les radiations en 3 groupes et les traduisant toutes par une même sensation dans chaque groupe ; entre 400 et 500  $m\mu$  on donne une sensation bleue, entre 500 et 575  $m\mu$  une sensation verte et au delà une sensation rouge.

Dans la lumière éclairant la plaque chacune des radiations  $\lambda$  pourrait être caractérisée par une luminosité ou efficacité visuelle  $s_\lambda$  ; les courbes figures 85 et 87 traduisent précisément cette qualité ; le mode d'examen de la plaque autochrome va au contraire utiliser les transparences de chaque radiation à transmettre une sensation uniforme (dans chacun des 3 groupes) ; à cette sensation correspond un coefficient de luminosité dont la valeur relative sera,  $b$ ,  $v$ , ou  $r$  suivant le groupe considéré. Pour le premier groupe par exemple, on fera donc correspondre une sensation de luminosité totale mesurée par la somme  $b \sum t_\lambda I_\lambda C_\lambda$  à un ensemble de radiations  $[I_\lambda C_\lambda]$  auquel correspondrait une luminosité totale  $\sum s_\lambda I_\lambda C_\lambda$ . En admettant que cette simplification en tonalité colorée soit acceptable pourvu qu'on équilibre l'efficacité visuelle globale on aura une reproduction correcte si on fait  $b t_\lambda = s_\lambda$  pour les radiations de ce groupe. Dans le deuxième groupe il faudra faire  $v t_\lambda = s_\lambda$  et enfin dans le troisième  $r t_\lambda = s_\lambda$ .

La sensibilité ne sera pas isochromatique ; elle sera dans chaque groupe réglée par la courbe de sensibilité réduite dans le rapport

$$\frac{1}{b}, \frac{1}{v} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{r}.$$

En exemple la figure 98 montre la forme que devrait traduire des spectrogrammes conséquents avec la théorie précédente en combinant la courbe de luminosité du spectre solaire (fig. 88) avec les valeurs  $1/3$ ,  $1$  et  $8/10$  que nous avons déterminé comme évaluant approximativement les efficacités visuelles des couleurs bleu, vert et rouge des grains de féculle dans l'Autochrome. La sensibilité chromatique devrait suivre la courbe de luminosité, mais avec un relèvement très léger pour le rouge, beau-

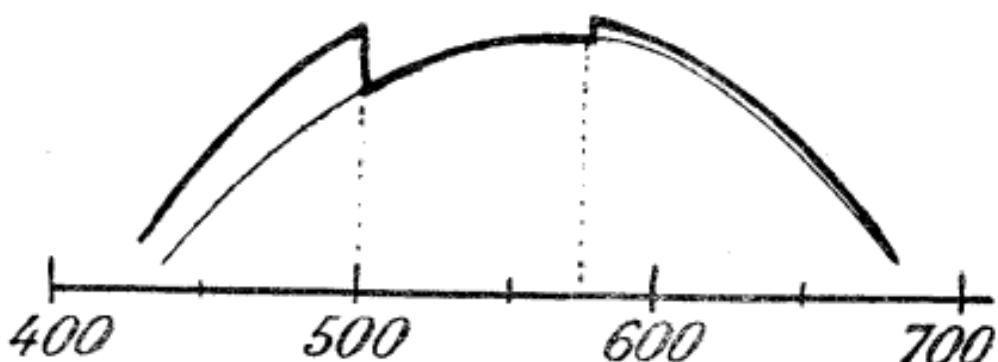


Fig. 98. — Combinaison de la luminosité des radiations du spectre solaire et des trois lumières transmises par le réseau Autochrome.

coup plus accentué pour la région bleue. On trouve bien à peu près le sens des courbes spectrographiques de l'émulsion Autochrome ; mais les dépressions ne sont pas prévues aussi accentuées au moins sur le jaune<sup>1</sup>.

Mais ces dépressions de sensibilité causées d'abord par l'absorption du réseau, et accentuées par le filtre compensateur, sont elles liées au fonctionnement correct de la

<sup>1</sup> Cette courbe de sensibilisation, utilisée derrière les grains individuels constituant le réseau, doit réaliser une visibilité uniforme de toutes les couleurs du spectre à travers ces grains. C'est ainsi, comme le montre la planche II (fig. 96), qu'on obtient une reproduction du spectre sensiblement isochromatique (aux dépressions près déjà signalées).

plaqué. Au cours de nombreuses expériences de modification de la loi de sensibilité chromatique de l'Autochrome nous avons eu l'occasion de réaliser une sensibilisation plus égale, plus isochromatique et il nous a paru que les résultats colorés peuvent être obtenus aussi corrects que sur l'émulsion normale. Nous avons ainsi établi la formule suivante de filtre compensateur ayant pour effet de diminuer les dépressions de la sensibilité.

Jaune pour écrans. . . . 0 gr. 007 } par décimètre carré de filtre  
Eosine . . . . . 0 gr. 0003 }

L'émulsion derrière le réseau et ce filtre donne le

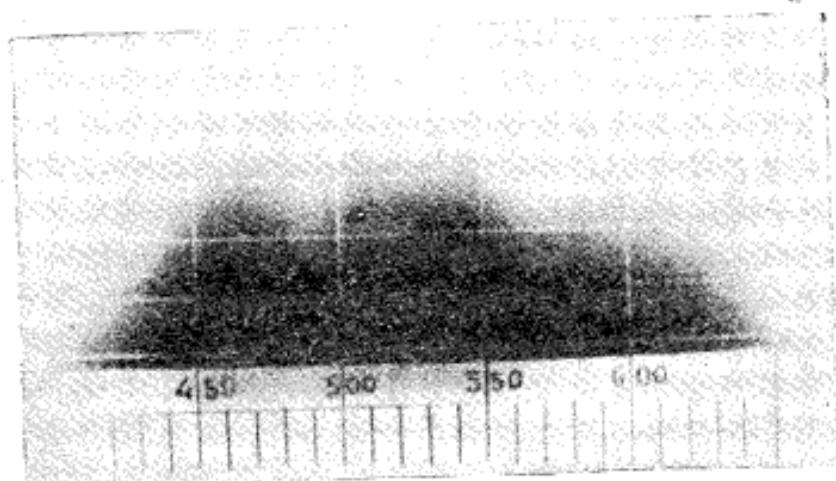


Fig. 99. — Emulsion Autochrome derrière le réseau et un filtre compensateur au jaune K et à l'eosine

spectre de la figure 99 que l'on peut comparer à la figure 64 pour voir comment la courbe de sensibilité s'est rapprochée ou de l'isochromatisme, ou de la courbe figure 98. D'ailleurs ce filtre nous a donné des résultats plutôt identiques à ceux du filtre normal, mais nous ne les prétendrons pas meilleurs ; même le jaune orangé qui paraît quelquefois trop rouge sur la plaque normale n'est pas sensiblement amélioré par cette formule.

Il est probable d'ailleurs que les petites inexactitudes accidentelles de certains tons sont plutôt en relation avec la rusticité de l'analyse spectrale effectuée par le réseau, et pour le cas du jaune orangé nous pensons que le défaut provient d'un léger décalage sur le vert de la coupure rouge vert qui s'effectue entre 560 et 570  $m\mu$  et qui serait mieux placée sans doute vers 580  $m\mu$ .

**Ajustement normal de la sensibilité chromatique.**

— Le mécanisme objectif complété par la considération de l'efficacité visuelle des radiations peut donc rendre compte suffisamment du fonctionnement de la plaque Autochrome. Il faut noter que des formules établies il résulte que *la sensibilité chromatique étant réglée en fonction des conditions d'examen de l'épreuve, l'exactitude de la reproduction colorée est indépendante de la lumière éclairant l'objet photographié.*

C'est là une conséquence inévitable des formules exprimant n'importe quel mécanisme. C'est aussi un point sur lequel il a paru pendant longtemps que l'Autochrome paraissait apporter une preuve d'existence de certains facteurs physiologiques importants négligés dans ces théories car il était hors de doute, pour tous ceux qui pratiquent la photographie des couleurs, que la traduction en éclaircissements anormaux exagérait la dominante de l'éclaircissement.

En vérité la plaque autochrome se prête au contraire à une vérification très nette de la règle théorique prévue, et cela dans tout son détail et toute sa généralité.

D'abord par ajustement de la sensibilité chromatique aux conditions d'examen il faut entendre ceci : on adopte pour regarder l'épreuve photographique et *revoir* la

couleur photographiée une *lumière éclairante* déterminée et le *réseau particulier* sur lequel est faite cette épreuve.

Il est convenu implicitement que la lumière éclairante est la lumière du jour ou lumière solaire ; le réseau constituant la plaque a une action particulière de modification sur cette lumière : tous les réseaux ne peuvent pas être identiques et réellement ne le sont pas ; cependant les résultats sur plaques appartenant à des lots différents, dont le réseau n'a pas le même aspect coloré donnent des visions colorées identiques ou différant au moins infinitésimement peu relativement aux écarts de coloration résiduelle qu'on trouve dans les réseaux. Ceci prouve que la coloration du réseau n'est pas soumise à une loi de transmission impérative. Le réseau peut se présenter avec des dominantes de coloration sans qu'il en résulte nécessairement de l'inexactitude dans la photographie des couleurs, car les résultats dépendent non pas du seul facteur représenté par les conditions d'examen dont le réseau fait partie, mais de la combinaison de ce facteur avec une loi de sensibilité chromatique que le fabricant règle sur le réseau même qui doit être utilisé.

On peut manifester d'une façon précise cet ajustement nécessaire et réalisé sur l'autochrome en considérant les reproductions de blanc. Les blancs sont, de l'avis général, toujours excellamment traduits par l'autochrome ; examinons un blanc vrai, blanc de diffusion par des particules transparentes incolores, blanc de nuage, de brouillard, ou de neige ; choisissons-le de telle sorte qu'il ne soit pas surexposé pour que sa traduction photographique soit correcte ; il est alors plus sombre que le réseau de la même plaque que l'on peut dégarnir de son émulsion sur un bord ; pour comparer ce blanc au réseau nu il est bon

de s'arranger pour affaiblir l'éclairement de ce dernier par interposition d'un écran gris ; on constate que le blanc photographié est toujours différent de la couleur propre du réseau et incontestablement plus satisfaisant, plus neutre si l'on peut dire.

En fait nous avons signalé déjà en terminant le chapitre de l'autochrome, que la plaque n'était livrée à la vente qu'après un contrôle constant, par opération photographique normale, de la réalisation d'exactitude colorée ; c'est-à-dire que le fabricant, sur chaque réseau qui doit recevoir l'émulsion, ajuste une sensibilité chromatique appropriée et vérifie cet ajustement.

Cette opération exécutée et réussie, assure l'exactitude des résultats quelle que soit la dominante colorée du gris du réseau<sup>1</sup> ; les faibles divergences de coloration que l'on peut constater entre deux traductions sont indépendantes des dominantes particulières : nous en avons observé de sens inverse : traduction plus rosée sur le réseau le moins accentué en rouge. Il est vrai que, sur l'autochrome ces différenciations dans les résultats colorés et dans les gris des réseaux nus sont en réalité extrêmement légères ; les plaques à réseaux réguliers ont au contraire montré, à leur désavantage d'ailleurs, que les dominantes de réseau pouvaient vraiment dominer toute la traduction photographique.

Mais cependant on a vu des reproductions très réussies

<sup>1</sup> Signalons ici que l'effet de cette dominante s'ajoutant à la complexité de la partie subjective du mécanisme de la restitution colorée, une épreuve sur Autochrome, fixée après le premier développement, ne donne pas nécessairement les tons complémentaires des couleurs qui seraient traduites exactement par la manipulation complète.

sur plaques à réseaux réguliers, surtout sur les réseaux de coloration claire comme le dioptichrome, et le Paget.

Nous croyons que si les dominantes de réseau de l'omnicolore subsistaient avec une insistance désagréable dans les résultats c'était seulement la manifestation de l'insuffisant ajustement de la sensibilité chromatique<sup>1</sup>. Cet ajustement est en vérité, nous ne pourrons trop le répéter, une opération très difficile ; une fois réussi, et sans doute la réussite est facilitée, par la réalisation d'un gris aussi neutre que possible sur le réseau, cet ajustement sera rectifié sur tous les réseaux d'autant mieux que les réseaux eux-mêmes présenteront moins de différence de constitution. Cela explique le succès du procédé de fabrication des autochromes, leur supériorité sur les plaques à réseaux réguliers, beaucoup plus incertains dans leurs colorations résiduelles.

**Vérification de l'*exactitudo* générale de la reproduction de la vision colorée.** — L'ajustement de la sensibilité chromatique aux conditions d'examen étant réalisé et réussi, l'autochrome reproduit *exactement* la vision colorée quelle que soit la nature de la lumière éclairant les objets photographiés. Voici la preuve de cette affirmation, preuve que tout amateur photographe pourra répéter pour se convaincre de ses propres illusions dans l'appréciation des couleurs.

Pour modifier la nature d'une lumière éclairante il est objectivement équivalent de placer un écran absorbant soit

<sup>1</sup> La difficulté d'ajustement de la sensibilité sur un réseau régulier est rendue insurmontable par les variations de tonalité de ces réseaux, même pour des régions voisines d'une même plaque.

devant la source éclairante soit devant l'œil. Prenons alors deux photographies du même sujet éclairé normalement (l'usage de l'appareil stéréoscopique sera commode à cet effet) l'une en employant le filtre compensateur normal, l'autre en employant encore ce même filtre, mais en ajoutant l'action d'un second filtre coloré quelconque : ce second filtre joue le rôle d'un modificateur de la nature de l'éclairage. Les deux épreuves sont naturellement très différentes ; mais l'une nous paraît satisfaisante comme restitution de la vision colorée dans l'éclairage normal ; elle peut donc servir à former la vision colorée qui correspondait à l'éclairage anormal des objets photographiés sur la seconde épreuve : il suffit de couvrir la première épreuve avec le filtre coloré supplémentaire qui a servi à la modification de l'éclairage : l'aspect des deux épreuves devient alors identique.

On peut faire l'expérience avec des modifications d'éclairage les plus variées, mais on s'intéressera évidemment aux modifications en bleu ou violet ; on les reconnaîtra toujours, à quelque intensité qu'on les pousse, toujours égales aux modifications de la vision colorée elle-même.

Ainsi la plaque autochrome satisfait à la condition d'exactitude générale de reproduction de la vision colorée ; nous avons signalé les observations analogues de E. et J. Rheinberg pour le procédé plus nettement objectif de reproduction par images dispersées. Si on veut tenir compte de quelque élément subjectif dans le mécanisme de la restitution colorée sur les autochromes on peut le faire dans les formes que nous avons exposées, c'est-à-dire en négligeant l'intervention des facteurs physiologiques intraduisible numériquement, telle la dépendance de la sensation colorée et de l'intensité de l'éclairage (phéno-

mène de Purkinje) et aussi la légère différence signalée dans les lois du noircissement de l'émulsion sous les couleurs différentes.

#### **Incertitude des jugements sur la vision colorée.**

— Bien que la plaque autochrome réalise l'exactitude générale de la vision colorée il n'en est pas moins vrai que nous sommes surpris et gênés lorsque nous obtenons une épreuve qui a fixé des effets d'éclairements anormaux.

Lorsqu'une photographie de neige ou de glaciers nous apparaît, quoique ensoleillée, bleue comme le ciel même, nous nous refusons à croire à la réalité d'une vision colorée de cette sorte ; nous n'avons au moment de l'examen de l'épreuve aucun souvenir d'une telle sensation, et peut être en effet ne l'avons-nous jamais eu cette sensation. Il faut bien remarquer en effet que dans la sensation les contrastes d'éclairement jouent un rôle essentiel, et aussi la valeur absolue des éclairements, et à cet égard il n'est guère possible de restituer photographiquement toutes les conditions de la vision à un moment donné. L'objectif regarde comme un œil dont le champ de vision serait limité par un cône à parois intérieures noircies et concrétisant le cône limite du champ photographié ; il y a là quant à la perception des contrastes une différence considérable avec la vision de l'œil libre de regarder dans toutes les directions ; on peut envisager une importance considérable sur la perception visuelle de l'espace avoisinant immédiatement l'opérateur lui-même, et son appareil, espace qui est nécessairement ignoré par l'opération photographique. On peut se faire une idée de cette influence par la comparaison de la vision directe d'un paysage avec celle de son image sur le verre dépoli de la chambre noire

Quant à l'intensité absolue d'éclairement, il n'est pas douteux qu'elle agit pour diminuer d'autant plus la sensation colorée que l'éclat est plus fort. L'examen de l'épreuve autochrome ne correspond qu'à une valeur absolue d'éclairement infiniment faible par rapport à l'éclat d'une vue extérieure ensoleillée, et la coloration en apparaît d'autant plus vive. C'est d'ailleurs une condition nécessaire à la satisfaction colorée cherchée, car malgré tous les efforts pour accentuer la coloration des éléments du réseau reproducteur de couleur, la couleur objective de l'épreuve photographique est plus pâle, moins saturée<sup>1</sup>, que la couleur réelle des objets photographiés ; c'est seulement par la réduction de l'intensité absolue de l'éclairement sur l'épreuve qu'on retrouve la vivacité de coloris satisfaisante. On a vu d'ailleurs que le procédé par images dispersées et le procédé interférentiel même, présentent le même caractère de ne reproduire qu'une coloration objectivement affaiblie.

Il faut encore tenir compte d'un facteur d'ordre psychologique. Très souvent les objets photographiés sont des objets dont la vision nous est familière et sur la couleur desquels notre jugement est dépendant d'un éclairement moyen plutôt que de l'éclairement actuel au moment de la photographie.

<sup>1</sup> Cet affaiblissement de la coloration a fait l'objet d'expériences quantitatives de von HÜBL relatées dans la « *Photographie des couleurs* », décembre 1908. Bien que son évaluation de la saturation nous paraisse inexacte, le résultat qualitatif nous paraît certain : on perdra de la couleur par reproductions successives.

On peut, il est vrai, par renforcement, obtenir des tons colorés très vifs, et même *trop* vifs mais c'est en s'écartant de l'exactitude du ton lui-même et en se rapprochant exclusivement de l'un des tons élémentaires du réseau.

En ce cas le but de la photographie est nettement changé ; ce n'est plus la vision colorée au moment de la photographie qu'il faut restituer, c'est la vision colorée moyenne des objets, c'est-à-dire en quelque sorte leur couleur intrinsèque. L'ajustement de la sensibilité chromatique de la plaque demande alors à être réalisée en fonction de la lumière éclairant les objets pendant la photographie.

Par ces considérations, on conçoit comment on peut être amené à changer l'ajustement de sensibilisation par un changement de filtre compensateur pour obtenir un résultat qui ne sera pas la reproduction exacte de la vision colorée, mais qui sera satisfaisant, parce que notre jugement sur cette vision colorée fait intervenir des éléments qui ne sont pas dans le champ photographique au moment où l'on opère.

**Emploi du Coloriscope.** — Il paraît désirable en conséquence de ces observations, que l'opérateur puisse se former un jugement certain sur la qualité de l'éclairage de sa vue photographiée. Une connaissance précise de sa coloration est nécessaire si le photographe veut user de filtres complémentaires appropriés à une correction dans un sens voulu ; en général, comme une telle correction entraîne une grande complication pour l'approvisionnement en filtres variés, l'amateur photographe aura plus simplement avantage à ne pas opérer lorsque les conditions d'éclairage lui paraissent trop différentes de celle qu'il désire traduire en couleurs.

Pour assurer le jugement coloré, il faut employer un coloriscope ; nous en avons signalé le principe au chapitre I. On le réalise facilement en juxtaposant une portion

de réseau autochrome et un écran gris obtenu en voilant et développant un fragment de plaque ordinaire de façon à obtenir la même réduction d'éclat que par le réseau.

Le réseau et le gris du bromure pourront ne pas avoir la même teinte ; mais comme il faudra un verre de doublage pour maintenir les deux éléments du coloriscope, on doublera avec un fragment de plaque sensible non impressionnée mais débarrassée de bromure dans l'hyposulfite et teintée légèrement en couleur complémentaire de la dominante du réseau ; on pourra ajuster ainsi la similitude colorée des deux gris adjacents quand *on regarde à travers une surface blanche en éclairement moyen*, c'est-à-dire ni en plein soleil, ni à l'ombre par beau temps et ciel bleu.

Avec ce petit instrument on pourra facilement déceler les qualités d'un éclairement photographié. On n'aura en faisant la mise au point sur verre dépoli, sans mettre le filtre compensateur sur l'objectif, qu'à regarder l'image à travers le coloriscope plaqué sur le verre dépoli ; on considérera surtout les images de régions grises sans coloration sensible ; mais la différenciation des deux éléments du coloriscope fera connaître immédiatement l'importance de la coloration particulière de l'éclairement actuel qui sera reproduit par la plaque autochrome employée avec son écran normal.

Si on n'opère pas avec une chambre dont on règle la mise au point sur verre dépoli, on peut constituer un appareillage distinct pour l'emploi du coloriscope. Dans un tube de carton, il faudra monter à l'extrémité A (fig. 100) un verre de bésicle convergent de 8 à 10 dioptries ; on le diaphragmera mais sans exagération ; l'ouverture pourra dépasser le centimètre en diamètre sans inconvénient ; en

C dans le plan focal du verre A on installera le coloriscope qui servira d'écran de réception de l'image ; le tube sera assez prolongé au delà de C pour voir l'image sur le coloriscope en plein jour ; et pour que l'allongement ne soit pas démesuré on placera O en un verre de loupe de 6 à 8 centimètres de distance focale. Avec un tube de 12 à 15 cm. de longueur on peut donc réaliser un instrument de comparaison fonctionnant comme nous l'avons expliqué plus haut, dans l'examen de l'image à photographier.

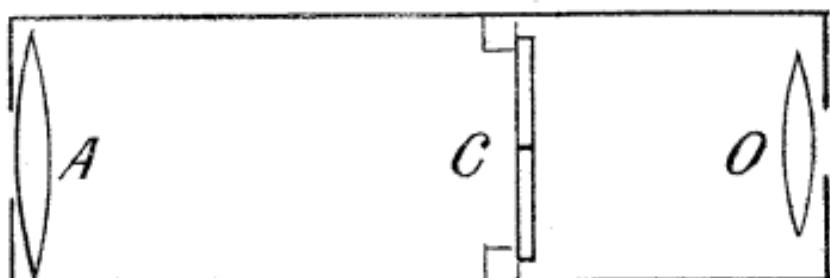


Fig. 100. — Dispositif d'emploi d'un coloriscope.

Si l'opérateur possède un approvisionnement de filtres compensateurs divers, il peut fixer son ajustement au mieux par l'observation précédente en cherchant le filtre qui, surperposé au coloriscope, égalisera le mieux la sensation colorée des deux éléments juxtaposés ; ce filtre complémentaire peut être placé simplement devant l'œil pour cette recherche ; il sera ensuite au moment de la photographie superposé à l'écran normal ou en tout cas placé sur l'objectif en dehors de la chambre photographique, ce qui ne changera rien aux règles ordinaires de la mise au point.

Si l'on voulait régler chaque fois un ajustement de filtre compensateur unique et non plus un filtre ajoutant son action à celui de l'écran normal, il faudrait avoir con-

titué le coloriscope de façon à réaliser l'identité de coloration de ses deux parties en éclaircissement moyen avec interposition du filtre normal. Et dans chaque occasion on chercherait le filtre approprié qui, en remplacement de l'écran normal, donnerait la similitude colorée des deux éléments du coloriscope.

Sous la première forme décrite nous croyons l'usage de l'instrument plus instructif ; il fait, par comparaison de deux traductions colorées simultanées, connaître l'aspect que prendra la photographie terminée si on fait usage d'une modification de sensibilisation chromatique par un filtre supplémentaire. En l'absence de cette correction l'aspect de l'élément réseau, marque l'importance de la dominante colorée qui sera traduite sur une épreuve exécutée avec le filtre compensateur normal.

On n'a qu'à surseoir à l'opération si on juge cette dominante inadmissible pour la traduction qu'on désire.

Il convient de ne pas se méprendre sur la signification du renseignement donné par l'instrument. On a ajusté le coloriscope pour que l'éclaircissement moyen égalise les sensations colorées ; si on constate une différentiation entre les deux parties sur les gris de l'image à photographier c'est que l'éclaircissement n'est pas normal ; l'élément réseau du coloriscope indique dans quel sens l'éclaircissement actuel diffère de ce que nous avons considéré comme normal. Cela ne veut pas dire que si on effectuait la photographie avec le filtre compensateur cette photographie donnerait la couleur qui apparaît sur l'élément réseau du coloriscope ; au contraire, le ton reproduit serait exactement celui qui paraît sous le gris neutre. Mais ce dernier ton n'est pas le même que si l'éclaircissement était normal ; ne pouvant faire de comparaison directe avec celui-ci nous n'avons

aucun élément pour apprécier d'une façon précise la couleur de l'éclairement actuel ; et l'élément réseau intervient alors comme un test *amplificateur* de la modification d'éclairement.

Si par un filtre supplémentaire on rétablit l'identité de couleur des deux éléments du coloriscope, c'est qu'on a rétabli sensiblement un éclairement normal par addition de l'effet de ce filtre à l'éclairement actuel et la photographie effectuée avec ce filtre superposé au filtre normal redonnera la vision colorée en éclairement moyen et non dans l'éclairement actuel.

Avec cet outillage on sera en mesure d'obtenir de la plaque autochrome le rendement coloré, nous ne dirons pas le plus exact, mais le mieux adapté à la satisfaction de l'opérateur qui pourra choisir avec plus de précision les conditions nécessaires à ce rendement.

**Insuffisante détermination des conditions de correction photographique.** — Mais nous pensons devoir insister encore en terminant cet exposé critique de l'exactitude colorée réalisable avec les plaques à réseaux, sur l'importance considérable d'une correction aussi bonne que possible de l'opération photographique proprement dite. L'amateur et le photographe professionnel sont souvent tentés d'incriminer le matériel livré par le fabricant : l'opinion est *a priori* insoutenable ; il est évident qu'il n'y a pas d'exploitation commerciale possible pour un instrument qui ne serait pas d'une façon courante et générale suffisamment ajusté au but à atteindre. L'expérience l'a bien démontré dans le domaine qui nous occupe : si la plaque autochrome n'existe pas combien ferait-on de photographies de couleurs ? Il faut donc en

cas de résultat défectueux que l'opérateur envisage d'abord sa technique propre.

Le problème de la correction photographique est nous l'avons montré très complexe ; le but s'énonce simplement ; obtenir un facteur de développement unité pour l'éclat moyen photographié, mais la réalisation dépend de beaucoup plus de facteurs qu'on en sait régler à l'heure actuelle. Nous croyons qu'il y a encore de belles découvertes à faire dans le domaine du développement méthodique.

On a vu sur les figures 82 et 83 la traduction d'un phénomène bien connu et utilisé par tous les photographes dans le tirage des épreuves ; on a un contraste bien plus accentué avec une pose longue en lumière faible qu'avec une pose rapide en fort éclairement. Ce qui est vrai pour un tirage d'épreuves, l'est aussi pour l'action primitive de l'image objective sur la plaque et les courbes des figures 82 et 83 montrent une différentiation du facteur de développement plus considérable que par des rapports de durée de développement de 1 à 4. N'y aurait-il pas là une direction de recherches utiles pour améliorer le rendement du développement méthodique.

La considération du temps de pose absolu pour une émulsion donnée ne pourrait-elle pas intervenir pour décider d'abord du choix d'une formule de révélateur, ou en tout cas ne doit-elle pas constituer une donnée essentielle de la durée du développement pour un révélateur donné ? La question ne semble pas être intervenue jusqu'ici dans les préoccupations des recherches de développement méthodique, elle semble cependant importante.

Il serait également intéressant de rechercher si les rapports d'éclats extrêmes qui peuvent venir dans la région

d'exposition correcte ne sont pas aussi dépendants de la valeur absolue des temps de pose.

On voit que les facteurs photographiques à considérer pour assurer la correction des résultats sur autochrome non seulement sont nombreux, mais leurs relations sont insuffisamment définies. En attendant que la technique puisse s'appuyer sur des études plus complètes, il convient assurément de ne pas s'écartez trop des formules officielles en quelque sorte, recommandées par les fabricants dont l'intérêt évident est d'indiquer aux clients les procédés les mieux qualifiés pour faire apparaître toutes les qualités des plaques

---

## CHAPITRE VII

### PROCÉDÉS PAR ADAPTATION

La distinction entre la coloration par adaptation et les autres procédés déjà exposés a été précisée par Wiener à l'occasion d'une étude minutieuse des épreuves colorées obtenues par les méthodes de Seebeck, Becquerel, Poitevin et Lippmann.

Comme on l'a signalé, Zenker avait annoncé l'existence des lamelles réfléchissantes dans les épreuves de Becquerel comme susceptibles de fournir l'aspect coloré et on a vu que l'examen microscopique des épreuves Lippmann démontre abondamment cette existence. Un autre caractère de ce mécanisme de coloration réside dans une variation de la coloration avec l'incidence de la lumière réfléchie sur l'épreuve et une différenciation marquée de la couleur vue par transmission. Wiener montra avec une grande évidence que les épreuves de Becquerel, (celles de Niepce de Saint-Victor sont du même type) ont les mêmes caractères que les épreuves de Lippmann. Au contraire les épreuves colorées de Seebeck ou de Poitevin présentent une couleur tout-à-fait indépendante du sens ou de la direction de l'examen ; le mécanisme de coloration est donc différent ; on peut admettre ici que la substance a pris une coloration intrinsèque de même nature que celle des substances colorées usuelles, c'est-à-dire dépendant de l'absorption. La lumière admise est modifiée par cette absorption spéci-

fique et son aspect coloré par diffusion ou transmission est unique.

Mais alors la production des épreuves de Seebeck et de Poitevin manifeste une propriété singulière du chlorure d'argent violet. Cette substance, considérée comme ayant une constitution et des caractères définis, serait susceptible sous l'excitation lumineuse de conserver une modification de ses qualités, modification variable avec la couleur des rayons excitateurs et telle que l'aspect coloré de la substance est devenu semblable à celui de ces rayons, quelle que soit leur couleur.

Cela fait songer au mimétisme biologique. Wiener rapprocha cette propriété du chlorure d'argent, du fait que certaines chenilles prennent la coloration des papiers colorés dont on recouvre la surface interne de l'enceinte où on les renferme, et le phénomène d'adaptation colorée peut ainsi être conçu non comme un simple fait isolé, mais comme une propriété, rare peut être, mais susceptible de se retrouver chez un certain nombre de substances.

Le mécanisme de l'adaptation a été indiqué aussi par Wiener sous une forme qui a conduit aux tentatives d'application dont nous parlons plus loin ; la substance réceptrice à peu près noire est caractérisée par sa propriété d'absorption générale de toutes les radiations ; recevant une radiation colorée, elle perd peu à peu la faculté d'absorber cette radiation ; autrement dit, après une certaine durée d'excitation, elle la transmettra sans modification par transparence ou diffusion.

Une expérience simple due à Carey Léa, semble démontrer ce mécanisme pour le chlorure d'argent violet. Lorsqu'on a imprimé un spectre sur une telle couche, on

fait tomber à nouveau ce spectre sur le premier, tourné de 90° dans son plan, de façon à croiser le spectre imprimé sous le spectre actif : on constate que la coloration n'existe que sous les rayons colorés identiques, partout ailleurs il y a destruction de la coloration. Le phénomène est du moins très net pour le rouge, le bleu et le violet, moins marqué pour le jaune ; en tout cas il semble bien indiquer ainsi une fatigue de la substance au travail d'absorption des radiations, cause de la coloration résiduelle.

En conclusion, les observations de O. Wiener justifiaient le principe d'une méthode photographique déjà envisagée et proposée par Ch. Cros. L'adaptation qui peut être rarement réalisée dans une substance unique, paraît plus facile à obtenir avec un mélange de substances colorées : il est de notoriété que la couleur est une qualité spécifique souvent peu stable de la substance, précisément parce que les radiations détruisent peu à peu la faculté d'absorption. On imagine alors un mélange de substances de diverses couleurs, formant dans leur ensemble une couche noire, mais qui, recevant des radiations colorées, sera modifié par la décoloration des éléments absorbant ces couleurs ; de telle sorte que cette couche devient transparente pour ces couleurs seulement. Dans cette direction on a travaillé sans d'ailleurs avoir réalisé le but désiré ; mais nous décrirons cependant les résultats acquis car c'est dans cette voie qu'il semble surtout qu'on puisse espérer de nouvelles découvertes importantes pour la reproduction des couleurs.

**Emploi du sous-chlorure d'argent.** — Le procédé d'emploi qui réussit le mieux l'expérience de Seebeck a été détaillé par Poitevin en 1866.

Dans une première communication à la Société française de photographie il signala la facilité spéciale que procurait une imprégnation du chlorure d'argent par un sel oxygéné, bichromate alcalin par exemple, en permettant une impression beaucoup plus rapide des couleurs ; dans une seconde communication il indiqua la méthode de préparation du chlorure d'argent. Voici l'ensemble du procédé.

Du papier photographique non albuminé est mis à flotter sur un bain de chlorure de sodium à 10 % puis séché ; on l'applique de même ensuite sur une solution à 8 % de nitrate d'argent. Un autre procédé qu'il signale consiste à former une couche de chromate d'argent, changée en chlorure par l'acide chlorhydrique.

Le chlorure d'argent est transformé en sous-chlorure en versant dans l'eau d'une cuvette où la feuille est immergée, une petite quantité (20 centimètres cube par feuille) de solution à 5 % de protochlorure d'étain ; la feuille est alors dans le bain même, exposée à la lumière à l'ombre ; après 5 à 6 minutes elle acquiert une teinte violet foncé qui convient à l'impression des couleurs.

Pour donner de la sensibilité, on applique au pinceau un liquide formé par 1 volume d'une dissolution à 5 % de bichromate de potasse et 1 volume de dissolution saturée de sulfate de cuivre. Si on y ajoute encore une partie de solution à 5 % de chlorure de potassium la sensibilité sera encore plus grande, mais on aura des images de moins bonne conservation.

L'impression de tons colorés à travers des vitraux transparents ne demande que 5 à 10 minutes à la lumière directe ; elle s'effectue au contact en chassis presse. On peut fixer dans une certaine mesure cette

impression en lavant à l'eau acidulée par l'acide sulfurique, ou en solution très diluée de bichlorure de mercure légèrement acidulée aussi par l'acide sulfurique. L'image se conserve ensuite assez bien dans un carton et peut être regardée sans inconvénient à la lumière artificielle.

Les expériences de Poitevin furent reprises encore par divers expérimentateurs et Colson en particulier signala l'utilisation possible des papiers au gélatinochlorure du commerce que l'on commence par noircir à la lumière jusqu'à obtention de la teinte chocolat.

**Décoloration d'un mélange de substances.** — L'idée d'utiliser un mélange de substances susceptibles de se décolorer sous l'action des rayons colorés qu'elle absorbe fut énoncée et essayée par Charles Cros. Sous le nom de Polychromie immédiate, il indiqua d'étendre successivement sur un verre, une couche de collodion coloré en rouge par la carthamine, puis de gélatine colorée en bleu par la phyllocyanine et enfin un collodion jaune au curcuma ; il indiqua que cette plaque exposée à la lumière derrière des vitraux colorés gardait l'empreinte colorée de ces vitraux, mais il ne put trouver aucun moyen de fixer les colorations.

Plus tard Em. Vallot (1895) indiqua la préparation d'un papier sensible obtenu en faisant flotter sur une solution formée par le mélange de pourpre d'aniline dans l'alcool à 4/1000, de bleu victoria dans l'alcool à 4/1000 et enfin de curcuma dans l'alcool à 20 %.

MM. Lumière essayèrent le rouge de quinoléine et la cyanine pour le rouge et le bleu.

La difficulté particulière d'application provient d'une très inégale sensibilité de décoloration des substances

diverses ; l'action de la lumière est le plus souvent très lente, et la rapidité est trop différenciée en passant d'une substance à l'autre.

Vers 1902 on découvrit la possibilité d'augmenter la sensibilité par addition de certaines substances à la couche colorée. Les travaux parallèles de Vorel et de Neuhauss conduisirent à des réalisations plus proches d'une utilisation pratique ; en 1906 parut un produit commercial sous le nom de papier Uto fabriqué à Zurich par Smith et Merckens.

Ce papier fournissait des reproductions colorées par impression directe au soleil à travers des clichés colorés mais la sensibilité était encore très faible.

On donnait au moment de l'exposition une activité spéciale à la décoloration en immergeant le papier dans une solution d'eau oxygénée. En 1912, les fabricants incorporèrent à l'émulsion colorée les substances sensibilisatrices les plus récemment étudiées et le dernier genre de papier mis en vente en 1913 permettait une impression des vitraux colorés en quelques minutes sous la lumière solaire.

Bien que la constitution détaillée de la couche sensible n'ait pas été dévoilée, les publications de Smith ont fait connaître qu'il s'agissait essentiellement d'une émulsion comprenant un mélange de colorants qui n'est pas limité à 3 couleurs. L'aspect du mélange après étendage et séchage présente assez bien l'aspect d'une substance noire avec absorption généralisée. Les couleurs sont en elles-mêmes d'une assez grande stabilité.

Dans l'émulsion, sont introduites des substances sensibilisatrices diverses, telles l'anéthol, la thiosinamine, qui créent pour les matières colorantes une instabilité à la

lumière assez marquée pour qu'en dix minutes la décoloration soit obtenue en lumière du jour diffuse ; le papier doit donc se manipuler comme les papiers au citrate à l'ombre ou en lumière artificielle.

L'action se manifeste assez bien sur le papier sec, cependant l'humidité joue un rôle considérable dans la rapidité de cette action et rend l'emploi délicat ou du moins nécessite une surveillance particulière au tirage, ce qui n'est pas une difficulté mais une simple sujexion. L'inventeur conseillait d'ailleurs le tirage au soleil malgré la possibilité de réalisation à la lumière diffuse.

Les variations d'action décolorante en relation avec la nature de la lumière pouvaient être compensées en faisant intervenir des filtres de couleurs variées pour ralentir les décolorations qui prenaient de l'avance, ce dont on jugeait par la tonalité générale de l'épreuve en formation.

Après obtention d'une image à couleurs bien dépouillées le papier était plongé dans un bain de tannin ayant pour objet d'éliminer de la couche les substances sensibilisatrices, puis dans un autre bain acide de composition non donnée par le fabricant et qui achevait le fixage dans les limites possibles. En réalité malgré la précaution d'emploi de matières colorantes assez stables, les images obtenus ne sont pas d'une conservation rigoureuse et s'altèrent toujours si on les abandonne à la lumière. C'est là un fait qui est presque une conséquence inévitable du principe même de la méthode mise en jeu.

Quoiqu'il en soit les résultats obtenus sur ce papier étaient intéressants, sans être susceptibles de donner cependant une satisfaction suffisante à l'amateur photographe désireux de reporter et multiplier des épreuves

colorées obtenues sur Autochromes par exemple; la fabrication n'en a pas été reprise depuis la dernière guerre, et le procédé par décoloration ne semble pas avoir encore trouvé une formule permettant une application généralisée.

**Le problème et les éléments de réalisation.** — Le problème se pose suivant la conception d'Arago précisée par Wiener et non pas comme une application de trichromie. Il n'y a guère de colorants à couleur saturée et pure pour constituer des tons fondamentaux.

On doit donc envisager le but à réaliser sous l'aspect suivant.

1° Obtenir une couche d'absorption généralisée sur toute l'étude du spectre, donc d'aspect gris neutre, par mélange d'un nombre quelconque de substances à défaut d'une substance unique.

2° Donner à cette substance complexe une sensibilité à l'action des radiations lumineuses, telle que chaque radiation atténue le pouvoir absorbant de la substance en proportion de l'intensité de son action. Cette sensibilité doit être réglée pour l'ensemble des radiations de telle sorte que la lumière blanche agissante conduise à une décoloration progressive et uniforme, l'aspect gris de la substance s'éclaircissant progressivement pour arriver au blanc. Il est à remarquer que le réglage de cette sensibilité peut comme dans tous les procédés de traduction chromo photographique, faire intervenir non seulement les propriétés propres de la substance à modifier, mais aussi des filtres colorés supplémentaires et compensateurs.

3° Il faut enfin fixer le résultat obtenu en désensibilisant

sant la substance réceptrice par rapport à toutes les radiations de la lumière du jour.

Les éléments utilisables pour la solution du problème sont encore peu nombreux et surtout ne semblent pas s'assembler sous des règles générales permettant de prévoir une réussite prochaine. Ce ne sont que propriétés particulières ne se conservant pas dans un groupe de substances de même caractère chimique aussi bien en ce qui concerne la possibilité de décoloration, que relativement aux actions accélératrices ou retardatrices.

Des travaux assez nombreux ont été publiés sur le sujet par Vorel, Limmer, Neuhauss, Valenta, Von Hübl, Smith. Mais Limmer qui en a fait un exposé spécial conclut à l'absence actuelle de tout principe général.

Nous signalerons donc seulement comme exemples de substances pouvant être décolorées par la lumière, le bleu nouveau G. A, le bleu de méthylène, la tartrazine, le jaune naphtol, l'auramine, les colorants du groupe eosine, le rouge Congo, la fuchsine, la phéno-safranine. Mais la décoloration n'est effective et rapide que sous l'influence d'un réactif qui peut varier avec la nature de la substance. L'anéthol a une action activante assez générale ; cependant la thiosinamine peut lui être supérieure avec certains colorants ; la théocarbamide a pu être utilisée également et la glycérine exerce aussi en certains cas une action favorable à celle du sensibilisateur.

On ne peut que se reporter aux travaux originaux pour être fixé sur le détail de ces actions si spécialisées.

On est jusqu'à présent sans grande ressource pour la fixation des couleurs. Le carvacol a paru jouer un certain rôle ; mais en fait dans l'essai réalisé sur le papier Uto, on avait spécialement employé des couleurs

très stables à la lumière ; leur décoloration était l'effet de l'agent sensibilisateur présent dans la couche ; et c'est par élimination de ce sensibilisateur qu'on donnait une stabilité suffisante à l'épreuve terminée. C'est une forme de fixation qui paraît logique, mais on pourrait aussi trouver avantageuse une action qui sans modification de couleur introduirait un changement de constitution chimique pour assurer la fixité colorée.

On a aussi tenté, et réussi parfois, le développement de la décoloration seulement amorcée par la lumière. C'est là une technique qui étendrait le champ des possibilités en abrégant considérablement les durées d'exposition à la lumière.

Malheureusement il s'agit de faits à peine entrevus et ne se prêtant pas encore à des observations dans des conditions bien définies.

On ne peut vraiment prévoir en aucune façon à l'heure actuelle dans quel sens se marquera un progrès important du procédé par adaptation et encore moins le moment où ce procédé permettra la reproduction colorée rapide et satisfaisante.

---



## INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

---

On n'a cité qu'un petit nombre d'ouvrages généraux ou de mémoires pouvant fournir des renseignements complémentaires sur les diverses questions étudiées dans cet ouvrage et sur l'historique volontairement peu développé.

Le détail documentaire sera trouvé surtout dans les principaux périodiques photographiques.

### Ouvrages d'ensemble théoriques et techniques.

- H. BOUASSE. *Vision et reproduction des formes et des couleurs*, Paris, 1917.
- R. WOOD. *Optique physique*, Paris, 1914.
- E. BECQUEREL. *La lumière, ses causes et ses effets*, Paris, 1868.
- G. H. NIEWENGLOWSKI. *Traité pratique de photographie en couleurs*. Paris, 1907.
- E. COUSTET. *Traité général de photographie en noir et en couleurs*, Paris, 1918.
- L. P. CLERC. *Les reproductions photomécaniques polychromes*. E. S., Paris, 1919.
- A. SEYEWETZ. *Le négatif en photographie* E. S., Paris, 1922.

### Ouvrages et mémoires spéciaux.

- O. WIENER. *Photographie des couleurs*. (*Wiedemann Annalen*, 1895, analysé dans la *Revue générale des sciences*, 1895).
- E. ROTHÉ. *Sur la photographie interférentielle. Photographie des couleurs*, 1907.
- H. E. IVES. *Etude expérimentale de la photographie Lippmann*, *Astrophysical journal*, 1908.
- CH. CROS. *Solution générale du problème de la photographie des couleurs*, Paris, 1869, reproduit par la *photographie des couleurs*, 1907.

La Photographie des couleurs.

19

- J. RHEINBERG. Le procédé par dispersion prismatique. *Photographie des couleurs*, 1912.
- L. DUCOS DE HAUSSON. *Traité pratique de photographie des couleurs*. Paris, 1878.
- A. et L. LUMIÈRE. Sur la photographie des couleurs. *Bulletin de la Société française de photographie* 1898, 1901.
- L. DIDIER. Pinatypie simplifié. *Photographie des couleurs*, 1907.
- TRAUBE. Diachromie. *Photographie des couleurs*, 1907.
- TAULEIGNE. Le procédé Tauleigne. *Photographie des couleurs*, 1910.
- STENGER et LEIBER. Impressions sur papier par les leucobases. *Photographie des couleurs*, 1908.
- KENNETH MEES et PLEDGE. Examen des plaques à réseaux. *Photographie des couleurs*, 1910.
- VALLON. Plaques françaises à réseaux polychromes. *Photographie des couleurs*, 1903.
- POITEVIN. *Bulletin de la société française de photographie*, 1866.
- F. LIMMER. Procédé par décoloration, *Photographie des couleurs*, 1910-1911.
- J. H. SMITH. Récentes recherches sur le procédé par décoloration. *Photographie des couleurs*, 1913.

### Principaux périodiques

- Bulletin de la Société française de photographie*, mensuel, Paris.
- Le procédé*, mensuel, Paris (H. CALMELS).
- La photographie des couleurs*, de 1906 à 1913 inclus, Paris (CH. MENDEL).
- British Journal of Photography*, avec supplément mensuel *Colour photography*, Londres (G. BROWN.)
- The photographic Journal*, mensuel, Londres (ROYAL PHOTOGRAPHIC SOCIETY.)
- Photographische Correspondenz*, mensuel, Vienne.
- Il progresso fotografico*, mensuel, Turin. (NAMIAS).
- Enfin un excellent et abondant répertoire du travail photographique international est réalisé depuis 1921 sous la direction de L. P. CLERC par *Science, technique et industries photographiques*, en supplément à la *Revue française de photographie* en 1921 et 1922, puis mensuel depuis 1923. Paris (P. MONTEL.)

## TABLE SYSTÉMATIQUE DES MATIÈRES

	Pages
<b>AVANT-PROPOS</b>	1
<b>CHAPITRE PREMIER</b>	
<i>Lumière et couleurs.</i>	3
Sources de lumière . . . . .	3
Comparaison des éclairements . . . . .	4
Transmission et coloration de la lumière . . . . .	5
Formation des couleurs simples . . . . .	7
Périodicité des phénomènes lumineux . . . . .	10
Ondes lumineuses et longueurs d'onde . . . . .	13
Mouvement lumineux et vibrations matérielles . . . . .	18
Couleur objective. Spectroscopes, spectographes . . . . .	20
Synthèse des couleurs subjectives . . . . .	25
Blanc subjectif. Couleurs complémentaires . . . . .	28
Dépendance de la sensation colorée et de l'éclairage . . . . .	29
Théorie de Young-Helmholtz . . . . .	31
Premières reproductions des couleurs . . . . .	34
<b>CHAPITRE II</b>	
<i>Photographie interférentielle. Méthode de Lippmann.</i>	
Ondes stationnaires par réflexion de la lumière . . . . .	38
Matérialisation photographique des ondes stationnaires . . . . .	41
Restitution des couleurs . . . . .	43
Préparation des plaques . . . . .	45
Sensibilisation des plaques . . . . .	47
Mise en châssis . . . . .	4
Exposition . . . . .	4

	Pages
Développement . . . . .	51
Voile mercuriel . . . . .	53
Montage des épreuves . . . . .	53
Examen et projection . . . . .	55
Résultats et observations diverses . . . . .	57
Restitution des couleurs simples . . . . .	58
Reproduction du blanc et des couleurs complexes . . . . .	61

## CHAPITRE III

<i>Photographie des couleurs par images dispersées.</i>	65
Principe général . . . . .	65
Premières réalisations . . . . .	68
Appareil de E. et J. Rheinberg . . . . .	70

## CHAPITRE IV

<i>Photographie des couleurs par images trichromes.</i>	77
Synthèse additive. Principe général . . . . .	79
Analyse des sensations colorées . . . . .	80
Traduction photographique de l'analyse trichrome . . . . .	82
Sensibilisation chromatique du gélatinobromure d'argent . . . . .	85
Composition des filtres sélecteurs . . . . .	91
Préparation des filtres colorés . . . . .	94
Appareillage pour la prise de vues sélectionnées . . . . .	95
Synthèse des couleurs par addition . . . . .	102
Chromoscopes . . . . .	103
Addition de deux couleurs sur vue stéréoscopique . . . . .	105
Synthèse par projection . . . . .	105
Cinématographie trichrome . . . . .	106
Expériences de Wood, Ives . . . . .	109
Reproduction des couleurs par mélanges pigmentaires . . . . .	111
Sélection des négatifs . . . . .	115
Synthèse par images sur papier . . . . .	119
Pinatypie . . . . .	121
Pinatypie simplifiée . . . . .	121
Images sur leucobases . . . . .	122

	Pages
Synthèses par images transparentes . . . . .	123
Diachromie . . . . .	126
Films cinématographiques en deux couleurs. . . . .	127

## CHAPITRE V

<i>Plaques à réseau trichrome. Autochromes Lumière.</i>	128
Constitution et emploi des plaques Autochromes . . . . .	132
Matière du réseau filtrant . . . . .	132
Teinture des grains . . . . .	135
Formation du réseau trichrome. . . . .	136
Vernissage . . . . .	138
Couleur et transparence du réseau . . . . .	139
Emulsion sensible . . . . .	142
Fonctionnement général . . . . .	144
Mode d'emploi . . . . .	146
Changement de position d'un foyer par interposition d'une lame de verre à faces parallèles . . . . .	147
Filtre compensateur . . . . .	149
Position du filtre compensateur . . . . .	151
Influence de l'angle de champ . . . . .	153
Exposition . . . . .	155
Photomètres et exposomètres . . . . .	156
Influence des éclairages spéciaux . . . . .	158
Développement . . . . .	159
Correction des écarts de pose . . . . .	163
Désensibilisation . . . . .	164
Développement méthodique . . . . .	165
Correction aux épreuves . . . . .	168
Vernissage . . . . .	174
Montage et examen des épreuves . . . . .	174
Epreuves stéréoscopiques . . . . .	175
Stéréoscopes inverseurs . . . . .	176
Projection des épreuves Autochromes . . . . .	179
Emploi des Autochromes en lumière différente de la lumière du jour . . . . .	181
Reproduction des Autochromes à la lumière du magnésium .	182

	Pages
Hypersensibilisation . . . . .	184
Régularité des résultats fournis par l'Autochromie . . . . .	188
Conservation des plaques Autochromes . . . . .	190
Conservation des épreuves . . . . .	192
Autres plaques à réseaux . . . . .	193
Plaques à grains . . . . .	194
Plaques à réseaux réguliers . . . . .	195
Inconvénients des réseaux réguliers . . . . .	199
Mode d'emploi . . . . .	199

## CHAPITRE VI

<i>Théories et contrôles.</i> . . . . .	202
Valeur esthétique et documentaire de la photographie en couleurs . . . . .	202
Éléments de la valeur documentaire ou esthétique, . . . . .	204
Pouvoir séparateur. . . . .	206
Loi du noircissement des émulsions . . . . .	214
Etablissement des courbes de noircissement . . . . .	217
Contrastes . . . . .	221
Action des renforçateurs et des affaiblisseurs . . . . .	222
Traduction positive . . . . .	223
Sensibilité chromatique des émulsions . . . . .	225
Evaluation des couleurs . . . . .	231
Reproduction objective des couleurs . . . . .	234
Reproduction par images trichromes . . . . .	237
Caractérisation des différents procédés de photographie en couleurs . . . . .	240
L'exactitude des couleurs dans le procédé interférentiel . . . . .	241
Exactitude colorée du procédé par images dispersées . . . . .	243
Exactitude colorée des procédés pigmentaires . . . . .	245
Exactitude des couleurs dans la trichromie additive . . . . .	246
Exactitude colorée des plaques à réseaux. . . . .	249
Conditions photographiques . . . . .	250
Caractérisation objective de la reproduction colorée . . . . .	255
Rôle de la luminosité relative des couleurs simples. . . . .	260
Ajustement normal de la sensibilité chromatique . . . . .	264

## TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

295

	Pages
Vérification de l'exactitude générale de la reproduction de la vision colorée . . . . .	267
Incertitude des jugements sur la vision colorée. . . . .	269
Emploi du coloriscope . . . . .	271
Insuffisante détermination des conditions de correction photographique . . . . .	275

## CHAPITRE VII

<i>Procédés par adaptation.</i>	278
---------------------------------	-----

Emploi du sous-chlorure d'argent . . . . .	280
Décoloration d'un mélange de substances. . . . .	282
Le problème et les éléments de réalisation . . . . .	285
INDEX BIBLIOGRAPHIQUE . . . . .	289
TABLE SYSTÉMATIQUE DES MATIÈRES . . . . .	291
TABLE DES FIGURES . . . . .	297



## TABLE DES FIGURES

Figures	Pages
1. Spectres de prisme et de réseau. Planche I en couleurs . . . . .	8-9
2. Diffraction par une fente (schéma) . . . . .	11
3. " " (photographie) . . . . .	12
4. Franges d'interférence (schéma) . . . . .	12
5. " " (photographie en couleurs). Pl. II . . . . .	12-13
6. " " (photographiées dans un spectre) . . . . .	13
7. Interférences sur l'eau . . . . .	16
8. Spectroscope à prisme . . . . .	21
9. Spectographe à réseau . . . . .	23
10. Spectrogramme de la lumière solaire . . . . .	24
11. " de la lumière d'une lampe à incandescence. . . . .	24
12. Appareil de Maxwell pour analyse des sensations colorées. . . . .	27
13. Courbes de Maxwell . . . . .	33
14. Ondes stationnaires par réflexion (schéma) . . . . .	38
15. " " " sur l'eau . . . . .	40
16. " " " (coupe schématique) . . . . .	41
17. Lamelles de Zenker . . . . .	42
18. Châssis à mercure . . . . .	49
19. Cuve à benzine . . . . .	54
20. Mégascope de Lippmann . . . . .	55
21. " de Zeiss . . . . .	56
22. Dispositif de projection . . . . .	57
23. Influence de la durée de développement (micrographie) . . . . .	59
24. Couche développée sur les deux faces (micrographie) . . . . .	60
25. Spectre de la lumière restituée par des plaques Lippmann diversement développées . . . . .	60
26. Franges d'interférence : photographie isochromatique . . . . .	63
27. " " " " orthochromatique . . . . .	63

Figures	Pages
28. Couche restituant le blanc (microphotographie) . . . . .	64
29. Formation des images spectrales (schéma) . . . . .	65
30. Premier dispositif de Lanchester . . . . .	68
31. Second      "      "      "      " . . . . .	69
32. Appareil de E. et J. Rheinberg . . . . .	71
33. Agrandissement d'une portion d'épreuve en images dispersées. . . . .	73
34. Superposition des sensations. Synthèse additive. Pl. III en couleurs . . . . .	78-79
35. Superposition des absorptions. Synthèse soustractive. Planche III en couleurs . . . . .	78-79
36. Courbes d'analyse des sensations colorées de W. Abney. . . . .	84
37. Spectrogramme. Sensibilité d'une émulsion ordinaire . . . . .	87
38.      "      "      "      "      panchromatique . . . . .	87
39. Spectrogramme. Sensibilité intense localisée . . . . .	88
40.      "      "      "      obtenu au trempé . . . . .	89
41.      "      "      Filtres sélecteurs Wratten et Wainwright pour analyse trichrome . . . . .	93
42. Spectrogramme. Filtres sélecteurs légers . . . . .	94
43. Chronographe de Zinck . . . . .	98
44.      "      de Ducos de Hauron . . . . .	98
45.      "      de Nachet et Geisler . . . . .	99
46. Dispositif tripack de F. Ives . . . . .	100
47. Bloc tripack de F. Ives . . . . .	100
48. Objectif triple à parallaxe réduite (Berthon et Audibert). . . . .	101
49. Chromoscope actuel . . . . .	103
50. Dispositif de synthèse additive avec réseau de diffraction (H. Ives) . . . . .	110
51. Spectrogramme. Emulsion sensible au vert. . . . .	117
52.      "      "      "      au rouge . . . . .	118
53. Réseau trichrome de Joly . . . . .	130
54.      "      "      de Mac Donough et Joly . . . . .	131
55. Microphotographie des grains de féculle de pomme de terre . . . . .	132
56. Microphotographie des grains triés à la même dimension. . . . .	133
57.      "      "      "      choisis pour former le réseau Autochrome Lumière . . . . .	134

Figures	Pages
58. Microphotographie. Couche des grains colorés, avant le bouchage des interstices. Planche IV en couleurs . . . . .	136-137
59. Microphotographie. Couche des grains colorés après le bouchage des interstices par le charbon ; couche laminée. Planche IV . . . . .	136-137
60. Courbes d'absorption et de luminosité à travers le réseau Autochrome . . . . .	140
61. Luminosité du réseau Autochrome traduite photographiquement . . . . .	141
62. Spectrogramme. Sensibilité de l'émulsion Autochrome exposée directement . . . . .	145
63. Spectrogramme. Sensibilité de l'émulsion avec interpolation du réseau. . . . .	145
64. Spectrogramme. Sensibilité de l'émulsion avec interpolation du filtre compensateur . . . . .	145
65. Modification de convergence des ondes par traversée d'une lame de verre . . . . .	148
66. Stéréoscope inverseur . . . . .	177
67. Oculaire " . . . . .	178
68. Prismes redresseurs (Richard). . . . .	178
69. Dispositif pour la reproduction au magnésium des Autochromes . . . . .	183
70. Spectrogramme, Emulsion Autochrome hypersensibilisée par imprégnation au Pantochrome Lumière . . . . .	186
71. Réseau trichrome Aurora . . . . .	194
72. " " Christiansen . . . . .	194
73. " " Thames . . . . .	196
74. " " Warner-Porie . . . . .	196
75. " " Omnicolore (Ducos de Hauron et Bergol) . . . . .	197
76. Réseau trichrome Dioptichrome (Dufay) . . . . .	197
77. " " Paget . . . . .	198
78. " " Krayn . . . . .	198
79. Grains rouges dans le réseau Autochrome . . . . .	212
80. Séparation de traits colorés convergents sur Autochrome (microphoto). . . . .	213
81. Loi de noircissement des émulsions . . . . .	216

Figures	Pages
82. Courbe de noircissement de l'émulsion Autochrome (Pose : 3 secondes; développement : 150 secondes) .	218
83. Courbe de noircissement de l'émulsion Autochrome (Pose : 300 secondes; développement : 150 secondes).	219
84. Production de la courbe de noircissement par croise- ment d'un écran dégradé et de la plaque exposée dans le même écran. . . . .	220
85. Spectrogramme. Sensibilité isochromatique . . . . .	227
86. Courbes diverses de luminosité des radiations simples .	228
87. Spectrogramme. Sensibilité orthochromatique . . . .	229
88. Luminosité dans le spectre solaire dessinée sur le verre dépoli dans le spectrographe, derrière l'écran gradué .	229
89. Courbes de noircissement sous les radiations bleu et rouge . . . . .	230
90. Courbes d'analyse de Maxwell, tracés avec échelons lo- garithmiques (semblables à ceux des spectrogrammes).	248
91. Courbe de noircissement de l'émulsion Autochrome (Exposition : 20 secondes; développement : 90 sec. .	251
92. Courbe de noircissement de l'émulsion Autochrome (Exposition : 20 secondes; développement : 150 sec.)	252
93. Courbe de noircissement de l'émulsion Autochrome (Exposition : 20 secondes; développement : 250 sec.)	253
94. Franges d'interférence de la figure 5, photographiées directement sur plaque panchromatique à travers des filtres bleu, vert et rouge . . . . .	256
95. Epreuve Autochrome de la figure 5; reproduite par contact sur plaque panchromatique à travers des filtres bleu, vert et rouge . . . . .	256
96. Spectre solaire sur Autochrome (Pl. II en couleurs) .	12-13
97. Spectrogramme. Transmissions superposées des filtres sélecteurs légers . . . . .	258
98. Composition de la luminosité des radiations simples et des trois lumières transmises par le réseau Autochrome.	262
99. Spectrogramme. Emulsion Autochrome derrière le ré- seau et un filtre compensateur au jaune K, et à l'éosine .	263
100. Dispositif d'emploi d'un coloriscope. . . . .	273



GASTON DOIN, ÉDITEUR, 8, PLACE DE L'ODÉON, PARIS, 6<sup>e</sup>

---

## ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

---

DIRECTEUR : Dr TOULOUSE, Directeur de Laboratoire à l'Ecole  
des Hautes-Études.

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL : H. PIÉRON,  
SECRÉTAIRE POUR LES SCIENCES TECHNIQUES : L. POTIN.

---

## TABLE DES BIBLIOTHÈQUES

### DIRECTEURS DES BIBLIOTHÈQUES :

1. *Histoire et Philosophie des Sciences* . . . . A. REY, professeur d'Histoire de la Philosophie dans ses rapports avec la Science à la Sorbonne.

### I. SCIENCES PURES

#### A. Sciences mathématiques :

2. *Mathématiques* . . . . J. DRACH, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

3. *Mécanique* . . . . J. DRACH, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

#### B. Sciences inorganiques :

4. *Physique* . . . . A. LEDUC, professeur de physique à la Sorbonne.

5. *Chimie physique* . . . . J. PERRIN, professeur de chimie-physique à la Sorbonne.

6. *Chimie* . . . . A. PICTET, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Genève.

## TABLE DES BIBLIOTHÈQUES

7. *Astronomie et Physique céleste* . . . . . J. MASCART, professeur à l'Université, directeur de l'Observatoire de Lyon.
8. *Météorologie* . . . . . J. MASCART, professeur à l'Université, directeur de l'Observatoire de Lyon.
9. *Minéralogie et Petrographie* . . . . . A. LAGROIX, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, professeur au Muséum d'histoire naturelle.
10. *Géologie* . . . . . M. BOULE, professeur au Muséum d'Histoire naturelle, directeur de l'Institut de Paléontologie humaine.
11. *Océanographie physique* . . . . . J. RICHARD, directeur du Musée Océanographique de Monaco.
- C. Sciences biologiques normatives :**
12. *Biologie générale* . . . M. CAULLERY, professeur de zoologie à la Sorbonne.
13. *Physique biologique* . . . L. PECH, professeur de physique biologique à la Faculté de Médecine de l'Université de Montpellier.
14. *Chimie biologique* . . . G. BERTRAND, professeur de chimie biologique à la Sorbonne, professeur à l'Institut Pasteur.
15. *Physiologie et Pathologie végétales* . . . L. MANGIN, de l'Institut, directeur du Muséum d'Histoire naturelle.
16. *Physiologie* . . . . . J.-P. LANGLOIS, professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Paris, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, directeur de la *Revue générale des Sciences*.
17. *Psychologie* . . . . . E. TOULOUSE, directeur de Laboratoire à l'École des Hautes-Études, médecin en chef de l'asile Sainte-Anne.
18. *Sociologie* . . . . . G. RICHARD, professeur à la Faculté des Lettres de l'Université de Bordeaux.
- 
19. *Microbiologie et Parasitologie* . . . . . A. CALMETTE, membre de l'Académie de Médecine, sous directeur de l'Institut Pasteur, et F. BEZANÇON, professeur à la Faculté de Médecine de l'Université de Paris, médecin des Hôpitaux.

20. *Pathologie.* { A. *Patholog. médicale*. M. KLIPPEL, médecin des Hôpitaux de Paris.  
 B. *Neurologie*. . . E. TOULOUSE, directeur de Laboratoire à l'École des Hautes-Études, médecin en chef de l'asile Sainte-Anne.  
 C. *Path. chirurgicale*. . . R. POUSTR, professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Paris, chirurgien des Hôpitaux.

#### D. Sciences biologiques descriptives :

1. *Paléontologie* . . . M. BOUTE, professeur au Muséum d'Histoire naturelle, directeur de l'Institut de Paléontologie humaine.  
 22. *Botanique.* { A. *Généralités et phanérogames* . . . H. LECOUTE, de l'Institut, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.  
 B. *Cryptogames* . . . L. MANGIN, de l'Institut, directeur du Muséum d'Histoire naturelle.  
 23. *Zoologie* . . . . C. HOULBERT, professeur de Zoologie à l'École de Médecine de Rennes.  
 24. *Anatomie et Embryologie* . . . . C. HOULBERT, professeur de Zoologie à l'École de Médecine de Rennes.  
 25. *Anthropologie et Ethnographie*. . . . P. RIVET, assistant d'Anthropologie au Muséum d'Histoire naturelle, secrétaire de l'Association française pour l'avancement des Sciences.  
 26. *Economie politique* . . G. RENARD, professeur d'Histoire du Travail au Collège de France.

---

#### II. SCIENCES APPLIQUÉES

##### A. Sciences mathématiques :

27. *Mathématiques appliquées* . . . M. D'OCAGNE, de l'Institut, professeur à l'École Polytechnique et à l'École des Ponts et Chaussées.  
 28. *Mécanique appliquée et génie* . . . . M. D'OCAGNE, de l'Institut, professeur à l'École Polytechnique et à l'École des Ponts et Chaussées.

## B. Sciences inorganiques :

29. *Industries physiques* . . . H. CHAUMAT, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, sous-directeur de l'École supérieure d'Électricité de Paris.
30. *Photographie* . . . A. SEYEWETZ, sous-directeur de l'École de Chimie industrielle de Lyon.
31. *Industries chimiques* . . . J. DEROME, inspecteur général de l'Instruction publique, inspecteur des Établissements classés.
32. *Géologie et minéralogie appliquées* . . . L. CATEUX, professeur au Collège de France et à l'Institut national agronomique.
33. *Construction* . . . A. MESNAGER, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers et à l'Ecole des Ponts et Chaussées.

## C. Sciences biologiques :

34. *Industries biologiques* . . G. BERTRAND, professeur de chimie biologique à la Sorbonne, professeur à l'Institut Pasteur.
35. *Botanique appliquée et agricul-* A. Phanéro- H. LECOMTE, de l'Institut, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.  
que et games .  
agricul- B. Crypto- L. MANGIN, de l'Institut, directeur du Mu-
- ture . . .* games . séum d'Histoire naturelle.
36. *Zoologie appliquée* . . J. PELLEGRIN, assistant au Muséum d'Histoire naturelle.
37. *Thérapeutique générale et pharmacologie* . . G. POUCHET, membre de l'Académie de Médecine, professeur à la Faculté de Médecine de l'Université de Paris.
38. *Hygiène et médecine publiques* . . . A. CALMETTE, membre de l'Académie de Médecine, sous-directeur de l'Institut Pasteur.
39. *Psychologie appliquée* . . E. TOULOUSE, directeur de Laboratoire à l'École des Hautes-Études, médecin en chef de l'asile Sainte-Anne.
40. *Sociologie appliquée* . . Th. RUYSEN, professeur à la Faculté des Lettres de l'Université de Bordeaux.

M. ALBERT MAIRE, bibliothécaire à la Sorbonne, est chargé de l'*Index de l'Encyclopédie scientifique*.

---

Saint-Amand (Cher). — Imp. BUSSIÈRE.

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

CATALOGUE  
DES OUVRAGES PARUS  
MAI 1923

GASTON DOIN, ÉDITEUR, A PARIS

Nous avons entrepris la publication, sous la direction générale de son fondateur, le Dr **Toulouse**, directeur à l'École des Hautes Études, d'une **Encyclopédie scientifique** dont on mesurera l'importance à ce fait qu'elle est divisée en 40 sections ou Bibliothèques et qu'elle comprendra environ 1 000 volumes. Elle se propose de rivaliser avec les plus grandes encyclopédies étrangères et même de les dépasser, tout à la fois par le caractère nettement scientifique et la clarté de ses exposés, par l'ordre logique de ses divisions et par son unité, enfin par ses vastes dimensions et sa forme pratique.

---

LES VOLUMES, ILLUSTRÉS POUR LA PLUPART, DE 300 A 500 PAGES,  
SONT PUBLIÉS DANS LE FORMAT IN-16  
ET CARTONNÉS TOILE.

---

DIRECTEUR : **D<sup>r</sup> TOULOUSE**, directeur à l'École  
des Hautes Études.

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL : **H. PIÉRON**.

SECRÉTAIRE POUR LES SCIENCES TECHNIQUES : **L. POTIN**.

•

## PATHOLOGIE MEDICALE

*Directeur : Docteur M. KLIPPEL, Médecin des Hôpitaux de Paris.*

- Les Maladies du Péritoine**, par le Docteur A. PISSAVY, médecin des hôpitaux de Paris. 1 vol. de 420 pages..... 8 fr. 50
- Les grands Processus morbides : Congestion. Inflammation. Suppuration. Gangrène**, par le Dr Camille HAHN, licencié ès sciences, médecin-assistant à l'hôpital Saint-Michel. 1 vol. de 480 pages, avec figures dans le texte. .... 8 fr. 50
- La Goutte et l'Obésité**, par les docteurs A. FLORAND, médecin de l'hôpital Lariboisière, et M. FRANÇOIS, ancien interne des hôpitaux de Paris. 1 vol. de 550 pages..... 8 fr. 50
- Fièvre typhoïde et fièvres paratyphoïdes**, par H. DUFOUR, médecin des hôpitaux de Paris, et J. THIERS, ancien interne des hôpitaux de Paris. 1 vol. de 450 pages avec figures dans le texte..... 14 fr.
- Grippe, Coqueluche, Erysipèle, Oreillons**, par H. BARBIER, médecin des hôpitaux de Paris 1 vol. de 300 pages..... 10 fr.
- Polyomyélite. — Diptéries. — Encéphalite léthargique. — Méningite cérébro-spinale. — Zona**, par le Dr BARBIER: médecin des hôpitaux de Paris (*sous presse.*)
- Septicémies (Septicopyohémies, Bactériémies)**, par E. VAUCHEZ et P. WORINGER, chargé de cours et chef de laboratoire à la Faculté de médecine de Strasbourg (*sous presse.*)

## NEUROLOGIE ET PSYCHIATRIE

*Directeur : Docteur TOULOUSE.*

- Thérapeutique des Maladies du Système nerveux**, par le professeur GRASSET et le Dr L. RIMBAUD, 2<sup>e</sup> édit. 1 vol. de 600 p. 8 fr. 50
- Sémiose des Maladies du Système nerveux**, par le Dr Henri DUFOUR, médecin des hôpitaux de Paris. 1 vol. de 540 pages, avec figures dans le texte. .... 8 fr. 50
- Maladies de la Moelle et du Bulbe (non systématisées). Polyomyélites, sclérose en plaques, syringomyélie**, par le professeur C. OODO. 1 vol. de 400 pages, avec 24 figures dans le texte. 8 fr. 50
- Le Tabes et les Maladies systématisques de la Moelle**, par le docteur E. DE MASSARY, médecin des hôpitaux de Paris. 1 vol. de 350 pages, avec 28 fig. dans le texte..... 8 fr. 50
- La Paralysie générale**, par le professeur A. JOFFROY, et le docteur Roger MIGNOT, médecin en chef de la Maison Nationale de Charenton (*épuisé*)

---

GASTON DOIN, Éditeur.

**L'Hystérie. Définition et Conception. Pathogénie. Traitement**, par le Dr H. BERNHEIM, professeur honoraire à la Faculté de médecine de Nancy. 1 vol. de 450 pages..... 8 fr. 50

## MICROBIOLOGIE ET PARASITOLOGIE

*Directeurs* : Professeur A. CALMETTE, Sous-Directeur de l'Institut Pasteur, et Docteur F. BEZANÇON, Professeur à la Faculté de Médecine de Paris.

**Le Micro-organisme de la Syphilis. *Treponema pallidum* (Schaudinn)**, par le docteur LÉVY-BING, chef de Laboratoire de Saint-Lazare, lauréat de l'Académie de Médecine. 1 vol. de 350 pages, avec figures dans le texte et une planche en couleurs hors texte..... 8 fr. 50

**L'Étude expérimentale de la Rage**, par le docteur A. MARIE, chef de service à l'Institut Pasteur. 1 vol. de 400 pages, avec figures dans le texte et une planche en couleurs hors texte..... 8 fr. 50

**Les Dysenteries. Étude bactériologique**, par le Dr Ch. DOPTER, professeur agrégé au Val-de-Grâce. 1 vol. de 300 pages, avec figures dans le texte et 12 pl. hors texte..... 8 fr. 50

**Les Insectes piqueurs et suceurs de sang**, par le Dr Edmond SERGENT, chef de laboratoire à l'Institut Pasteur de Paris. 1 vol. de 310 pages, avec 229 fig. dans le texte..... 8 fr. 50

## HYGIÈNE ET MÉDECINE PUBLIQUES

*Directeur* : Professeur A. CALMETTE.

**L'Ouvrier (Son atelier, son hygiène, son habitation)**, par le docteur René MARTIAL. 1 vol. de 425 p., avec fig. dans le texte. 8 fr. 50

**Hygiène scolaire**, par L. DUFESTEL, médecin inspecteur des Écoles de Paris. 2<sup>e</sup> édition, 1 vol. de 460 pages, avec 72 figures dans le texte..... 8 fr. 50

**Hygiène du premier âge**, par P. LASSABLIÈRE, chef de Laboratoire à la Faculté de médecine de Paris. 1 vol. de 352 pages et 18 figures dans le texte..... 8 fr. 50

**Aliments et hygiène alimentaire**, par P. LASSABLIÈRE. (Sous presse.)

GASTON DOIN, Éditeur.

## THÉRAPEUTIQUE

*Directeur : Docteur G. POUCHET,*  
*Professeur à la Faculté de Médecine de Paris.*

**Les Médicaments, Action physiologique, formules, emplois,** par le  
 Dr A. F. PLICQUE, ancien interne, lauréat des Hôpitaux de Paris.  
 Préface du professeur G. POUCHET. 1 vol. de 400 pages. 8 fr. 50

## PHYSIOLOGIE

*Directeur : Docteur J.-P. LANGLOIS, Professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Paris, Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers, Membre de l'Académie de Médecine.*

**La Fonction musculaire,** par J. JOTÉYKO, docteur en médecine, chef de Laboratoire à l'Université de Bruxelles. 1 vol. de 410 p., avec 35 figures dans le texte. .... 8 fr. 50

**La Cellule nerveuse,** par G. MARINESCO, professeur à l'Université de Bucarest. Avec une préface de M. le professeur RAMON Y CAJAL (de Madrid). 2 vol. formant 1.148 pages, avec 252 figures dans le texte. .... 17 fr.

**Les Fonctions nerveuses : les fonctions bulbo-médullaires,** par W. BECHTEREW, professeur à l'Université de Saint-Pétersbourg. 1 vol. de 400 pages, avec fig. dans le texte. .... 8 fr. 50

**Les Fonctions nerveuses : les fonctions bulbo-médullaires. Fonctions viscérales, sécrétaires, trophiques et thermogeniques,** par W. BECHTEREW. 1 vol. de 600 pages, avec 43 figures dans le texte. .... 8 fr. 50

**La Fonction cérébelleuse,** par le docteur ANDRÉ-THOMAS, ancien interne des hôpitaux de Paris. 1 vol. de 350 pages, avec 89 fig. dans le texte. .... 8 fr. 50

**Les Fonctions digestives,** par le docteur E. BARDIER, professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Toulouse. 1 vol. de 450 pages, avec 29 figures dans le texte. .... 8 fr. 50

**La Fonction sexuelle,** par le docteur H. BUSQUET, professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Nancy. 1 vol. (épuisé.)

**La Croissance,** par le docteur L. DUFESTEL, médecin inspecteur des Écoles de la Ville de Paris. 1 vol. de 310 pages avec 20 fig. dans le texte. .... 8 fr. 50

## ANATOMIE ET EMBRYOLOGIE

*Directeur : C. HOULBERT, Professeur à l'Université de Rennes.*

**Anatomie plastique**, par Edouard GUYER, peintre, professeur d'anatomie. 1 vol. de 350 pages, avec 146 fig. dans le texte. 8 fr. 50

## BIOLOGIE GÉNÉRALE

*Directeur : M. CAULLERY, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.*

**La Tératogenèse, Étude des variations de l'organisme**, par Etienne RABAUD, maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Paris. 1 vol. de 360 pages, avec 98 fig. dans le texte. 8 fr. 50

**L'oeuf et les facteurs de l'ontogénèse**, par A. BRACHET, professeur à l'Université de Bruxelles. 1 vol. de 350 pages avec 57 figures..... 8 fr. 50

**Le Parasitisme et la symbiose**, par M. CAULLERY, professeur à la Sorbonne. 1 vol. de 400 pages avec 53 fig. dans le texte. 14 fr.

## ANTHROPOLOGIE ET ETHNOGRAPHIE

*Directeur : P. RIVET, Assistant d'anthropologie au Muséum d'Histoire naturelle.*

**Les Peuples aryens. Leur origine en Europe**, par ZABOROWSKI, professeur à l'Ecole d'Anthropologie, ancien président de la Société d'Anthropologie de Paris. 1 vol. de 450 pages, avec figures dans le texte et une carte hors texte..... 8 fr. 50

**Le Paganisme contemporain chez les peuples celto-latins**, par Paul SÉBILLOT, ancien président de la Société d'Anthropologie de Paris, directeur de la Revue des traditions populaires. 1 vol. de 400 pages..... 8 fr. 50

**Le Folk-Lore. Littérature orale et Ethnographie traditionnelle**, par P. SÉBILLOT. 1 vol. de 493 pages..... 8 fr. 50

**Les Blancs d'Afrique**, par le Dr H. WEISGERBER (épuisé.)

**Anthropologie anatomique (crâne, face, tête sur le vivant)**, par le Dr G. PAUL-BONCOUR, vice-président de la Société d'Anthropologie, médecin en chef de l'Institut médico-psychologique, ancien interne des hôpitaux de Paris. 1 vol. de 400 pages, avec 44 figures..... 8 fr. 50

GASTON DOIN, Éditeur.

## PALÉONTOLOGIE

*Directeur* : M. BOULE, Professeur au Muséum d'Histoire Naturelle.

- Paléontologie végétale.** *Cryptogames cellulaires et cryptogames vasculaires*, par Fernand PELOURDE, docteur ès sciences, préparateur au Muséum d'Histoire Naturelle, préface de M. R. ZEIL-LER, membre de l'Institut. 1 vol. de 400 pages, avec 80 figures dans le texte..... 8 fr. 50

## OCÉANOGRAPHIE PHYSIQUE

*Directeur* : Docteur J. RICHARD,  
Directeur du Musée océanographique de Monaco.

- Les Dépôts marins**, par L.-W. COLLET, professeur à l'Université de Genève. 1 vol. de 325 pages, avec 35 figures dans le texte et une carte hors texte..... 8 fr. 50

## ZOOLOGIE

*Directeur* : C. HOULBERT, Professeur à l'Université de Rennes.

- Les Insectes, Anatomie et physiologie générales.** — *Introduction à l'étude de l'entomologie biologique*, par C. HOULBERT, professeur à l'École de Médecine de Rennes. 2<sup>e</sup> édit. 4 vol. de 400 p., avec 207 figures..... 10 fr.

- La Distribution géographique des animaux**, par le Dr L. TROUES-SART, professeur au Muséum national d'histoire naturelle de Paris. 1 vol. de 350 pages avec figures dans le texte..... 12 fr.

- Les Batraciens et principalement ceux d'Europe**, par G.-A. BOULENGER, Dr Sc., Dr Phil., membre de la Société royale de Londres, vice-président de la Société de zoologie de Londres. 1 vol. de 320 pages, avec 55 figures dans le texte..... 8 fr. 50

- Mollusques de la France et des régions voisines.** — **TOME I : Amphineures, Gastéropodes Opisthobranches, Hétéropodes, Méseniades et Oncidiades**, par A. VAYSSIÈRE, professeur à la Faculté des sciences de Marseille. 1 vol. de 430 pages, avec 42 planches hors texte..... 8 fr. 50

- TOME II : Gastéropodes pulmonés et Prosobranches terrestres et fluviatiles**, par L. GERMAIN, docteur ès sciences, préparateur au Muséum d'Histoire naturelle. 1 vol. de 380 pages, avec 25 planches hors texte..... 8 fr. 50

8, Place de l'Odéon, Paris 6<sup>e</sup>.

**Les Coléoptères d'Europe (France et régions voisines)**, par C. HOULBERT, professeur à l'Ecole de médecine et de pharmacie de Rennes.

**TOME PREMIER** : 1 vol. de 350 pages, avec 104 figures dans le texte..... 12 fr.

**TOME DEUXIÈME** : 1 vol. de 310 pages, avec 99 figures dans le texte et 30 planches..... 12 fr.

**TOME TROISIÈME** : 1 vol. de 300 pages, avec 30 planches.. 12 fr.

**Les Thysanoures, Dermoptères et Orthoptères de la Faune européenne. TOME I**, par C. HOULBERT (*sous presse.*)

## ZOOLOGIE APPLIQUÉE

*Directeur* : J. PELLEGRIN, Assistant au Muséum d'Histoire Naturelle.

**Les Vers à soie (Sériciculture moderne)**, par Antonin ROLET, professeur à l'École d'Agriculture d'Antibes. 1 vol. de 450 pages, avec 102 figures dans le texte..... 8 fr. 50

**La Pisciculture industrielle**, par C. RAVERET-WATTEL, ex-maitre de Conférences de Pisciculture à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1 vol. de 400 p., avec 74 fig. dans le texte. 8 fr. 50

**Les Equidés domestiques, le Cheval, l'Ane et le Mulet**, par A. GALLIER, médecin vétérinaire, inspecteur sanitaire de la ville de Caen. 1 vol. de 380 pages, avec 68 fig. dans le texte. 8 fr. 50

## BOTANIQUE

*Directeur* : H. LECOMTE, Professeur au Muséum d'Histoire naturelle.

**Technique microscopique appliquée à l'étude des végétaux**, par Henri COUPIN, docteur ès sciences, préparateur à la Sorbonne. (*Epuisé.*)

## BOTANIQUE CRYPTOGRAMIQUE

*Directeur* : L. MANGIN, de l'Institut,  
Directeur au Muséum d'Histoire naturelle.

**Les Urédinées (Rouilles des Plantes)**, par Paul HARIOT, assistant de cryptogamie au Muséum d'Histoire Naturelle. 1 vol. de 400 pages, avec 47 figures dans le texte ..... 8 fr. 50

**ASTON DOIN**, Éditeur.

**Les Champignons. *Essai de classification***, par le Dr Paul VUILLEMIN, professeur à la Faculté de Médecine de Nancy. 1 vol. de 425 pages..... 8 fr. 50

**Les Levures**, par A. GUILLIERMOND, docteur ès sciences. Préface du Dr E. ROUX, directeur de l'Institut Pasteur. 1 vol. in-18 jésus, cartonné toile, de 565 p., avec 63 fig. dans le texte.... 8 fr. 50

## BOTANIQUE APPLIQUEE

*Directeurs* : H. LECOMTE, de l'Institut, Professeur au Muséum d'histoire naturelle, et L. MANGIN, de l'Institut, Directeur du Muséum d'histoire naturelle.

**Les Bois industriels**, par J. BEAUVIERIE, chargé d'un cours de botanique appliquée à la Faculté des sciences de Lyon. 1 vol. de 420 p., avec 53 figures dans le texte..... 8 fr. 50

**Les Plantes à tubercules alimentaires des climats tempérés et des pays chauds**, par Henri JUMELLE, professeur à la Faculté des sciences de Marseille. 1 vol. de 380 pages, avec 35 figures dans le texte..... 8 fr. 50

**Les Plantes à gommes et à résines**, par H. JACOB DE CORDEMOY, docteur ès sciences, docteur en médecine, chargé de cours à l'École de Médecine de l'Université d'Aix-Marseille. 1 vol. de 420 pages, avec 15 figures dans le texte..... 8 fr. 50

**Utilisation des algues marines**, par C. SAUVAGEAU, professeur à la Faculté des sciences de Bordeaux. 1 vol. de 400 pages, avec 26 figures..... 9 fr.

**Les Palmiers**, par C.-L. GATIN, docteur ès sciences, ingénieur agronome, préparateur de botanique à la Sorbonne. 1 vol. de 350 pages, avec 46 figures..... 8 fr. 50

## PHYSIOLOGIE ET PATHOLOGIE VÉGÉTALES

*Directeur* : Professeur L. MANGIN,  
Directeur du Muséum d'Histoire Naturelle, Membre de l'Institut.

**Biologie florale**, par F. PÉCHOUTRE, docteur ès sciences, professeur au Lycée Louis-le-Grand. 1 vol. de 380 pages, avec 82 figures dans le texte..... 8 fr. 50

8, Place de l'Odéon, Paris 6<sup>e</sup>.

- Nutrition chez la plante, I. Échanges d'eau et de substances miné**  
*rates*, par M. MOLLIARD, doyen de la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. 1 vol. de 420 pages, avec 46 figures dans le texte ..... 12 fr.
- Nutrition de la plante, II. Formation des substances ternaires**, par M. MOLLIARD, 1 vol. de 450 pages avec 88 fig dans le texte. 14 fr.
- Nutrition chez la plante, III. Utilisation des substances ter**  
*naires*, par M. MOLLIARD, 1 vol. de 324 pages avec 54 figures dans le texte ..... 14 fr.

## GÉOLOGIE ET MINÉRALOGIE APPLIQUÉES

*Directeur* : L. CAYEUX, Professeur de Géologie au Collège de France.

- Les gisements de pétrole**, par J. CHAUTARD. 1 vol. de 350 pages avec 47 figures dans le texte ..... 14 fr.

## PHILOSOPHIE DES SCIENCES

*Directeur* : A. REY, Professeur à la Sorbonne.

- Les disciplines d'une science, la Chimie**, par G. URBAIN, membre de l'Institut, professeur de la Faculté des Sciences de Paris. 1 vol. de 340 pages avec figures. Broché ..... 10 fr.  
 Cartonné toile ..... 12 fr.

- La Physique depuis vingt ans**, par P. LANGEVIN, professeur au Collège de France. (*Sous presse*.)

- Les nouvelles conceptions de la matière et de l'atome**, par A. BERTHOUD, professeur à l'Université de Neuchâtel. 1 vol. de 330 pages avec 21 figures dans le texte ..... 12 fr.

## PSYCHOLOGIE EXPÉRIMENTALE

*Directeur* : Docteur TOULOUSE.

- Technique de Psychologie expérimentale**, par TOULOUSE, VASCHIDE et PIÉRON. Deuxième édition, entièrement nouvelle, par le docteur Ed. TOULOUSE, médecin en chef de l'Asile de Villejuif, directeur du laboratoire de psychologie expérimentale à l'Ecole des Hautes Études, et H. PIÉRON, agrégé de l'Université, maître de conférences de psychologie expérimentale à l'Ecole des Hautes Études. 2 vol. formant 600 pages, avec 120 figures dans le texte ou hors texte ..... 17 fr.

GASTON DOIN, Éditeur.

---

<b>L'Hypnotisme et la Suggestion</b> , par le professeur GRASSET, 4 <sup>e</sup> édition. 1 vol. de 480 pages avec figures dans le texte...	8 fr. 50
<b>La Volonté</b> , par FR. PAULHAN, 2 <sup>e</sup> édition. (Épuisé.)	
<b>La Morale. Fondements psycho-sociologiques d'une conduite rationnelle</b> , par G.-L. DUPRAT, docteur ès lettres, lauréat de l'Institut, correspondant du Ministère de l'Instruction publique, associé de l'Institut international de sociologie, directeur du Laboratoire de psychologie expérimentale d'Aix-en-Provence. 2 <sup>e</sup> édition. 1 vol. de 400 pages.....	8 fr. 50
<b>La psychologie sociale. Sa nature et ses principales lois</b> , par G.-L. DUPRAT, docteur ès lettres, lauréat de l'Institut. 1 vol. de 370 pages.....	8 fr. 50
<b>L'Inconscient</b> , par A. HESNARD, professeur à l'École de Médecine navale de Bordeaux. 1 vol. de 300 pages avec figures dans le texte.....	12 fr.

## PSYCHOLOGIE APPLIQUÉE

*Directeur : Docteur TOULOUSE.*

<b>L'Éducation des Sentiments</b> , par le docteur V. BRIDOU. 1 vol. de 410 pages.....	8 fr. 50
<b>La Pédagogie expérimentale</b> , par Gaston RICHARD, professeur à la Faculté des Lettres de Bordeaux. 1 vol. de 350 pages.	8 fr. 50
<b>La Pratique commerciale</b> , par J.-H. HAENDEL. (Épuisé.)	
<b>L'éducation de la volonté et des facultés logiques</b> , par G.-L. DUPRAT, docteur ès lettres, lauréat de l'Institut, associé de l'Institut international de sociologie. 1 vol. in-18 grand jésus, de 324 pages.....	10 fr.

## SOCIOLOGIE

*Directeur : G. RICHARD, Professeur à la Faculté des Lettres de Bordeaux.*

<b>La Sociologie générale</b> , par Gaston RICHARD, professeur de sociologie à l'Université de Bordeaux. 1 vol. de 400 pages.	8 fr. 50
<b>Les Types sociaux et le Droit</b> , par Joseph MAZZARELLA, docteur en droit. 1 vol. de 450 pages, avec nombreux tableaux.	8 fr. 50

8, Place de l'Odéon, Paris 6<sup>e</sup>

- La Solidarité sociale**, par G.-L. DUPRAT, professeur au Lycée de Rochefort (ouvrage récompensé par l'Académie des sciences morales et politiques. Prix Saintour, 1906). Préface du professeur G. RICHARD. 1 vol. de 360 pages..... 8 fr. 50
- Géographie sociale : La Mer. Populations maritimes. Migrations. Pêches. Commerce. Domination de la mer**, par C. VALLAUX, docteur ès lettres, professeur de géographie à l'École navale. 1 vol. de 400 pages..... 8 fr. 50
- Géographie sociale : Le Sol et l'Etat**, par C. VALLAUX. 1 vol. de 420 pages avec 31 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- La Société et l'Ordre juridique**, par Alessandro LEVI, professeur de philosophie du droit à l'Université de Ferrare. 1 vol. de 410 pages..... 8 fr. 50
- L'art et la vie sociale**, par Charles LALO, docteur ès sciences, professeur de philosophie au lycée Hoche. 1 vol. de 390 p. 10 fr.

## SOCIOLOGIE APPLIQUÉE

*Directeur : TH. RUYSEN*, Professeur à la Faculté des Lettres de Bordeaux.

- Les Régies municipales. Exploitation collective des services publics**, par E. BOUVIER, professeur de science et de législation financières à la Faculté de droit de l'Université de Lyon. 1 vol. de 450 pages..... 8 fr. 50
- La Protection des faibles (Assistance et Bienfaisance)**, par G. RONDEL, inspecteur général au Ministère de l'Intérieur, membre du Conseil supérieur de l'Assistance publique. 1 vol. de 300 pages..... 8 fr. 50
- Géographie économique. Exploitation rationnelle du globe**, par Paul CLERGET, professeur à l'Ecole supérieure de commerce et près la Chambre de commerce de Lyon. 1 vol. de 480 pages..... 8 fr. 50

## ÉCONOMIE POLITIQUE

*Directeur : GEORGES RENARD*, Professeur au Collège de France.

- La Monnaie, le Change et l'Arbitrage, le Crédit**, par M. et A. MELIOT. (Epuisé.)
- Guerre et Paix internationales**, par Eugène D'EICHTHAL, membre de l'Institut. 1 vol. de 350 pages avec graphiques..... 8 fr. 50

GASTON DOIN, Éditeur.

- La Colonisation et les Colonies**, par Pierre AUBRY, docteur ès sciences juridiques, politiques et économiques. 1 vol. de 278 p., avec nombreux tableaux..... 8 fr. 50
- Le Commerce et les Commerçants**, par YVES GUYOT, ancien ministre, vice-président de la Société d'Economie politique. (Epuisé.)
- L'Industrie et les Industriels**, par YVES GUYOT, 1 vol. de 400 p., avec tableaux dans le texte..... 8 fr. 50
- Le Blé et les Céréales**, par Daniel ZOLLA, professeur à Grignon et à l'École libre des sciences politiques. 1 vol. de 300 pages, avec cartes et graphiques dans le texte..... 8 fr. 50
- Les Fibres textiles d'origine animale (Laine et soie)**, par D. ZOLLA. 1 vol. de 350 pages, avec cartes et graphiques. 8 fr. 50
- Syndicats, Trade-unions et Corporations**, par Georges RENARD, professeur au Collège de France. 1 vol. de 420 pages. 8 fr. 50
- Salariat et Salaires**, par E. LEVASSEUR, membre de l'Institut, administrateur du Collège de France. 1 vol. de 500 p. 8 fr. 50
- La Machine et la Main-d'œuvre humaine**, par D. BELLET, secrétaire perpétuel de la Société d'Economie politique, professeur à l'École des Sciences politiques et à l'École des Hautes Etudes commerciales. 1 vol. de 300 pages..... 8 fr. 50
- La Vie chère**, par G. RENARD, professeur au Collège de France. 1 vol. de 250 pages. Broché, 8 fr., cartonné toile..... 10 fr.
- L'Économie politique et les Économistes**, avec une introduction sur l'Économie et la Guerre, par G. SCHELLE, vice-président de la Société d'Economie politique. 1 vol. de 400 p. 8 fr. 50
- Le Luxe, le Bien-être et la Consommation**, par André PINARD. Ouvrage couronné par l'Académie française (Prix Fabien 1919). 1 vol. de 480 pages..... 8 fr. 50
- Les Monopoles**, par E. PAYEN. 1 vol. de 450 pages.... 8 fr. 50
- Les Systèmes socialistes**, par H. BOURGIN. 1 vol. de 400 p. 14 fr.
- L'Enseignement commercial en France et à l'Etranger**, par M. FACY. 1 vol. de 330 pages..... 12 fr.

## CHIMIE

*Directeur : A. PICTET,*  
Professeur à la Faculté des sciences de l'Université de Genève.

- Zinc, Cadmium, Cuivre, Mercure**, par A. BOUCHONNET, préparateur à la Faculté des sciences de l'Université de Paris. 1 vol. de 410 p., avec figures dans le texte..... 8 fr. 50

8, Place de l'Odéon, Paris 6<sup>e</sup>.

- Etain, Plomb et Bismuth**, par A. BOUCHONNET. 1 vol. de 380 pages..... 8 fr. 50
- Hydrocarbures, Alcools et Éthers de la série grasse**, par P. CARRÉ, docteur ès sciences, professeur à l'Ecole des Hautes Études commerciales, préparateur à l'Institut de chimie appliquée. 1 vol. de 420 pages..... 8 fr. 50
- Phosphore — Arsenic — Antimoine**, par A. BOUTARIC, agrégé de l'Université, docteur ès sciences, maître de conférences de physique à la Faculté des sciences de Dijon, et A. RAYNAUD, ingénieur-chimiste, chargé des fonctions de chef des travaux de chimie à la Faculté des sciences de Montpellier. 1 vol. in-16 de 420 pages, avec figures dans le texte..... 9 fr. 50

## CHIMIE BIOLOGIQUE

*Directeur* : G. BERTRAND, Professeur de Chimie biologique à la Sorbonne.

- Le Parfum chez la Plante**, par Eug. CHARABOT, docteur ès sciences physiques, inspecteur et membre du Conseil supérieur de l'Enseignement technique, et C.-L. GATIN, docteur ès sciences naturelles, ingénieur agronome, préparateur à la Faculté des Sciences de Paris. 1 vol. de 400 p., avec 21 fig. dans le texte. 8 fr. 50

## INDUSTRIES BIOLOGIQUES

*Directeur* : Professeur G. BERTRAND.

- Industrie des Parfums naturels, Les Principes odorants des Végétaux (Méthodes de dosage, d'extraction, d'identification)**, par Eug. CHARABOT. 1 vol. de 400 pages, avec figures dans le texte..... 8 fr. 50

- La Fabrication du sucre**, par D. SIDERSKY, ingénieur-chimiste. 1 vol. de 360 pages, avec 37 figures dans le texte..... 8 fr. 50

## INDUSTRIES CHIMIQUES

*Directeur* : J. DEROME, Inspecteur général de l'Instruction publique.

- Les Produits pharmaceutiques industriels**, par P. CARRÉ, docteur ès sciences, préparateur à l'Institut de Chimie appliquée. 2 vol. formant 820 pages..... 17 fr.

GASTON DOIN, Éditeur.

- Industrie des Métaux secondaires et des Terres rares**, par Pierre NICOLARDOT, capitaine d'artillerie, chef du Laboratoire de Chimie de la Section technique. 1 vol. de 420 pages, avec 37 fig. dans le texte..... 8 fr. 50
- Pierres et Matériaux artificiels de construction**, par Albert GRANGER, professeur à l'École d'application de la Manufacture nationale de Sèvres, chargé de conférences à l'École de physique et de chimie industrielles de la Ville de Paris. 1 vol. de 350 p., avec 55 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- L'Eau dans l'industrie. Application. Épuration**, par Georges BOURREY, inspecteur de l'Enseignement technique, ingénieur chimiste des chemins de fer de l'Etat, professeur à l'École spéciale des travaux publics. Avec une préface de M. MAX DE NANSOUTY. 1 vol. de 468 pages, avec 57 figures dans le texte.... 8 fr. 50
- Industries des Acides minéraux (Acides sulfurique, chlorhydrique et azotique)**, par E. BAUD, maître de conférences à la Faculté des Sciences de Marseille. 1 vol. de 360 pages, avec 82 fig. dans le texte..... 8 fr. 50
- Industries du Plomb et du Mercure. I. Métallurgie; II. Composés**, par A. BOUCHONNET, préparateur à la Faculté des Sciences de Paris. 2 vol. formant 660 pages, avec 57 figures dans le texte..... 17 fr.
- Industries du Chrome, du Manganèse, du Nickel et du Cobalt**, par L. OUVRARD, directeur du Laboratoire de chimie générale de la Sorbonne. 1 vol. de 310 pages, avec 22 fig. dans le texte..... 8 fr. 50
- Alcool et Distillerie. Production et consommation de l'alcool. Utilisation des sous-produits. Analyse. Législation**, par A. MONVOISIN, chef des travaux de physique et chimie à l'École nationale vétérinaire d'Alfort (préface de M. L. LINDET, professeur à l'Institut national agronomique). 1 vol. de 450 pages, avec 112 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- Caoutchouc et Gutta-percha**, par E. TASSILLY, docteur ès sciences, professeur agrégé à l'École supérieure de pharmacie, chargé de conférences à l'École de physique et chimie industrielles. 1 vol. de 400 pages, avec 56 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- Industries des Métaux précieux : L'Argent et les Métaux de la Mine de Platine**, par M. MOLINÉ, ingénieur-chimiste, chef du Laboratoire des Essais du Comptoir Lyon-Alemand, et H. DIETZ, ingénieur-chimiste, directeur de l'Usine d'affinage du Comptoir Lyon-Alemand. 1 vol. de 400 pages, avec 93 figures dans le texte..... 8 fr. 50

8, Place de l'Odéon, Paris 6<sup>e</sup>.

- Industries des Matières colorantes organiques**, par André WAHL, docteur ès sciences, professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers. 2<sup>e</sup> *Edition* : TOME PREMIER. les *Produits intermédiaires*, 1 vol. de 350 pages avec 24 figures dans le texte..... 12 fr.
- Industries des Os, des Déchets animaux, des Phosphates et du Phosphore**, par L. VÉZIEN, ingénieur-chimiste. 1 vol. de 425 pages, avec 50 fig. dans le texte..... 8 fr. 50

## PHOTOGRAPHIE

*Directeur* : A. SEYEWETZ.

Sous-Directeur de l'École de Chimie industrielle de Lyon.

- La Photographie**, par G. CHICANDARD, licencié ès sciences physiques. 1 vol. de 350 pages..... 8 fr. 50
- Les Positifs en photographie**, par E. TRUTAT, docteur ès sciences, directeur du Musée d'Histoire naturelle de Toulouse. 1 vol. de 300 pages, avec fig. dans le texte..... 8 fr. 50
- Le Négatif en photographie**, par A. SEYEWETZ. 2<sup>e</sup> *édition*. 1 vol. de 320 pages avec 44 figures dans le texte..... 14 fr.
- Les Reproductions photomécaniques monochromes**. *Photogravure, similigravure, phototypie, héliogravure, etc.*, par L.-P. CLERC, ingénieur, préparateur à la Faculté des sciences de l'Université de Paris. (*Epuisé*.)
- Les Reproductions photomécaniques polychromes**. *Sélections trichromes. Orthocromatisme, Procédés d'interprétation*. par L.-P. CLERC. 1 vol. de 350 p., avec 73 fig. dans le texte. 8 fr. 50
- La Photographie à la lumière artificielle**, par Albert LONDE, directeur honoraire des services de photographie et de radiographie à la Salpêtrière. 1 vol. de 400 pages, avec 80 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- La Photographie des couleurs**, par J. THOVERT, professeur à la Faculté des sciences de Lyon. (*Sous presse*.)
- La Photographie des radiations invisibles**. *Rayons cathodiques, rayons anodiques, rayons de Röntgen, du tube de Crookes et de l'ampoule de Coolidge, rayons du radium et des substances radio-actives, rayons spectraux infra-rouges et ultra-violets*, par M.-A. CHANOZ, docteur en médecine, docteur ès sciences physiques, chef des travaux de physique médicale à l'Université de Lyon. 1 vol. de 424 pages avec 111 figures..... 8 fr. 50

GASTON DOIN, Éditeur.

**La Chimie photographique**, par H. BARBIER et J. PARIS, chimistes des Etablissements Lumière. 1 vol. de 350 p. 8 fr. 50

**Applications de la Photographie aérienne.** *Lecture des photographies aériennes, stéréoscopie de précision, appareils et méthodes pour la phototopographie aérienne*, par L.-P. CLERC, ingénieur, ancien commandant d'une section de photographie aérienne aux armées, ancien instructeur au centre d'instruction de la photographie aérienne. 1 vol. de 350 pages, avec 136 figures dans le texte et 10 planches hors texte..... 8 fr. 50

## ASTRONOMIE ET PHYSIQUE CÉLESTE

*Directeur* : Professeur J. MASCART, Directeur de l'Observatoire de Lyon.

**Les Observations méridiennes.** *Théorie et pratique*, par F. BOQUET, docteur ès sciences mathématiques, astronome à l'Observatoire de Paris. 2 vol. formant 650 pages, avec 162 figures dans le texte et 2 planches hors texte..... 17 fr.

**Spectroscopie astronomique**, par P. SALET, astronome à l'Observatoire de Paris. 1 vol. de 432 pages, avec 44 figures dans le texte et une planche hors texte..... 8 fr. 50

**Les Théories modernes du Soleil**, par J. BOSLER, astronome à l'Observatoire de Meudon. 1 vol. de 380 pages, avec 49 figures dans le texte..... 8 fr. 50

**Calcul des Orbites et des Éphémérides**, par Luc PICART, directeur de l'Observatoire de Bordeaux, professeur à la Faculté des Sciences. 1 vol. de 300 p., avec 23 figures dans le texte. 8 fr. 50

**L'Astronomie.** *Observations, théorie et vulgarisation générale*, par M. MOYE, professeur à l'Université de Montpellier. 1 vol. de 400 pages, avec 43 figures dans le texte et 4 planches hors texte..... 8 fr. 50

**Les Étoiles simples**, par F. HENROTEAU, docteur ès sciences de l'Université de Bruxelles, astronome à l'Observatoire de la Puisance du Canada à Ottawa. 1 vol. in-16 de 250 pages, avec fig. dans le texte..... 10 fr.

**Histoire de l'Astronomie**, par E. DOUBLET, astronome à l'Observatoire de Bordeaux. 1 vol. de 596 pages avec figures. 17 fr.

8, Place de l'Odéon, Paris 6<sup>e</sup>.

## PHYSIQUE

*Directeur : A. LEDUC, Professeur de Physique à la Sorbonne.*

**Oscillations et vibrations**, par A. BOUTARIC, agrégé de l'Université, chargé d'un cours supplémentaire de physique à l'Université de Montpellier. 1 volume de 429 pages, avec 139 figures dans le texte..... 8 fr. 50

**Optique géométrique**, par J. BLEIN, professeur au Lycée Saint-Louis. 1 vol. de 276 pages, avec 107 fig. dans le texte. 8 fr. 50

## PHYSIQUE BIOLÓGIQUE

*Directeur : L. PECH, Professeur à la Faculté de Médecine de Montpellier.*

**Rayons X et Radiations diverses, Actions sur l'organisme**, par le Dr H. GUILLEMINOT, vice-président de la Société de Radiologie médicale de Paris. 1 vol. de 320 p., avec fig. dans le texte. 8 fr. 50

## INDUSTRIES PHYSIQUES

*Directeur : H. CHAUMAT,  
Sous-Directeur de l'École supérieure d'Électricité de Paris.*

**Instruments optiques d'observation et de mesure**, par J. RABAUD, capitaine d'artillerie. 1 vol. de 380 pages, avec 144 figures dans le texte..... 8 fr. 50

**Le Ferro-magnétisme. Applications industrielles**, par R. JOUAUST, chef de travaux au Laboratoire central d'électricité. 1 vol. de 420 pages, avec 55 fig. dans le texte..... 8 fr. 50

## MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES

*Directeur : M. d'OCAGNE, Professeur à l'École Polytechnique et à l'École des Ponts et Chaussées, Membre de l'Institut.*

**Calcul graphique et Nomographie**, par M. d'OCAGNE, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, professeur à l'École des Ponts et Chaussées et à l'École Polytechnique, membre de l'Institut. 3<sup>e</sup> édition sous presse.

**Calcul numérique. Opérations arithmétiques et algébriques, Intégrations**, par R. DE MONTESSUS et R. D'ADHÉMAR, docteurs ès sciences mathématiques. 1 vol. de 250 pages, avec figures dans le texte..... 8 fr. 50

GASTON DOIN, Éditeur.

- Calcul mécanique. Appareils arithmétiques et algébriques, Intégrateurs**, par L. JACOB, ingénieur général de l'Artillerie navale. 1 vol. de 428 pages, avec 184 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- Géodésie élémentaire**, par le général R. BOURGEOIS, professeur à l'Ecole polytechnique. 2<sup>e</sup> édition, revue, corrigée et augmentée avec la collaboration du Lieutenant-Colonel NOIREL, du service géographique de l'armée, répétiteur à l'Ecole polytechnique. 1 vol. de 470 pages, avec 153 figures..... 17 fr.
- Navigation. — Instruments, Observations, Calculs**, par E. PERRET, lieutenant de vaisseau, professeur à l'Ecole Navale. 1 vol. de 360 pages, avec 57 figures dans le texte et 4 tableaux hors texte..... 8 fr. 50
- Théorie et pratique des Opérations financières**, par A. BARRIOL, membre de l'Institut des actuaires français, directeur de l'Institut des Finances et Assurances. 2<sup>e</sup> édition. (Epuisé.)
- Théorie mathématique des Assurances**, par P.-J. RICHARD et PETIT, anciens élèves de l'Ecole Polytechnique, actuaires. 2<sup>e</sup> édition revue, corrigée et augmentée, par P.-J. RICHARD. Ouvrage couronné par l'Institut (Prix Montyon, 1922). 2 vol. formant 775 pages avec figures et tableaux dans le texte..... 28 fr.
- Statistique mathématique**, par Hermann LAURENT, membre de l'Institut des actuaires français, répétiteur à l'Ecole Polytechnique. 1 vol. de 300 pages, avec figures et tableaux dans le texte..... 8 fr. 50
- Géométrie descriptive**, par Raoul BRICARD, ingénieur des Manufactures de l'Etat, professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, répétiteur à l'Ecole Polytechnique. 1 vol. de 275 pages, avec 107 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- Métrophotographie**, par le capitaine du génie Th. SACONNEY, chef du Laboratoire d'aérologie et de téléphotographie militaires de Chalais-Meudon. 1 vol. de 300 pages, avec 130 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- Géométrie perspective**, par M. EMANAUD, chef des travaux graphiques à l'Ecole polytechnique. 1 vol. de 440 pages avec 168 figures..... 12 fr.

## MÉCANIQUE APPLIQUÉE ET GÉNIE

Directeur : M. D'OCAGNE.  
Professeur à l'École polytechnique et à l'École des Ponts et Chaussées,  
Membre de l'Institut.

**Balistique extérieure rationnelle (Problème balistique principal)**,  
par le général P. CHARBONNIER. (Epuisé).

8, Place de l'Odéon, Paris 6<sup>e</sup>.

- Balistique extérieure rationnelle (Problèmes secondaires)**, par le général P. CHARBONNIER. (Epuisé.)
- Balistique intérieure**, par le général P. CHARBONNIER. (Epuisé.)
- Mécanique des Explosifs**, par E. JOUGUET, ingénieur en chef au Corps des Mines, répétiteur à l'École Polytechnique. 1 vol. de 525 pages avec 120 figures..... 8 fr. 50
- Mécanique des Affûts**, 2<sup>e</sup> édition, par le colonel J. CHALLÉAT et le commandant THOMAS. TOME I. 1 vol. de 370 pages avec 97 figures dans le texte..... 16 fr.
- TOME II (Sous presse).
- Résistance et construction des Bouches à feu. Autofrettage**, par L. JACOB, ingénieur général de l'Artillerie navale, conseiller technique aux Etablissements Schneider. 2<sup>e</sup> édition. 2 vol. formant 600 p., avec 131 figures dans le texte et 10 grands graphiques hors texte..... 17 fr.
- Artillerie de campagne**, par J. PALOQUE, lieutenant-colonel, professeur à l'École supérieure de guerre. (Epuisé).
- L'Artillerie dans la bataille**, par le colonel J. PALOQUE, commandant le 18<sup>e</sup> régiment d'artillerie. 1 vol. de 460 pages, avec 14 fig. dans le texte et une carte hors texte..... 8 fr. 50
- Artillerie navale**, par L. JACOB, ingénieur général de l'Artillerie navale. 2 vol. formant 950 pages, avec 462 figures dans le texte..... 17 fr.
- Probabilité du Tir. Théorie et application au tir de l'infanterie et de l'artillerie**, par le capitaine S. BURILEANO, docteur ès sciences mathématiques de l'Université de Paris, professeur à l'École d'application de l'artillerie et du génie de Bucarest. 1 vol. de 260 p., avec 60 figures dans le texte ..... 8 fr. 50
- Fortification cuirassée**, par le général L. PIARRON DE MONDÉSIR. 1 vol. de 400 pages, avec 108 figures dans le texte et 2 planches hors texte..... 8 fr. 50
- Ponts en maçonnerie. Calculs et constructions**, par A. AURIC, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. 1 vol. de 400 pages, avec 110 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- Ponts métalliques. Méthodes de calcul**, par G. PIGEAUD, ingénieur des Ponts et Chaussées. 1 vol. de 420 pages, avec 75 figures dans le texte et une planche hors texte..... 8 fr. 50
- Ponts suspendus**, par G. LEINEKUGEL LE COQ, ancien ingénieur hydrographe de la Marine, ingénieur en chef des Etablissements F. Arnodin. 2 vol. formant 720 pages, avec 160 figures dans le texte..... 17 fr.

---

GASTON DOIN, Éditeur.

- Ponts improvisés. Ponts militaires et Ponts coloniaux**, par G. ESPITALLIER, lieutenant-colonel du génie territorial, et F. DURAND, capitaine du génie. 1 vol. de 300 pages, avec 99 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- Dynamique appliquée**, par L. LECORNU, membre de l'Institut, ingénieur en chef des Mines, professeur à l'École Polytechnique. 2<sup>e</sup> édition, 2 vol. formant 780 pages avec 149 figures dans le texte..... 28 fr.
- Hydraulique générale**, par A. BOULANGER, professeur adjoint de mécanique à la Faculté des Sciences de Lille. 2 vol. formant 700 pages, avec 27 fig. dans le texte..... 17 fr.
- Technique de l'Aéroplane**, par le capitaine J. RAIBAUD, sous-directeur de l'Établissement d'Aviation militaire de Vincennes. 1 vol. de 300 pages, avec 61 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- La Technique du Ballon**, par G. ESPITALLIER, lieutenant-colonel du génie territorial. 2<sup>e</sup> édition. 1 vol. de 500 p., avec 111 fig. dans le texte ..... 8 fr. 50
- Chronométrie**, par J. ANDRADE, professeur à la Faculté des Sciences de Besançon. 1 vol. de 400 pages, avec 193 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- Locomotives à vapeur**, par J. NADAL, ingénieur en chef adjoint du matériel et de la traction des chemins de fer de l'État. 2<sup>e</sup> édition, 1 vol. de 370 pages avec 78 figures et 9 similigravures hors texte..... 14 fr.
- Freinage du Matériel de Chemins de fer**, par P. GOSSEZET et A. JONET, ingénieurs des Arts et Manufactures. 1 vol. de 450 pages, avec 220 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- Exploitation des Mines. La taille et les voies contiguës à la taille**, par L. CRUSSARD, ingénieur au corps des Mines, professeur à l'École nationale des Mines de Saint-Étienne. 1 vol. de 400 p., avec 190 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- Mines (Grisou, Poussières)**, par L. CRUSSARD. 1 vol. de 420 pages, avec 101 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- Théorie des Moteurs thermiques**, par E. JOUQUET, ingénieur en chef au Corps des Mines, répétiteur à l'École Polytechnique. 1 vol. de 450 pages, avec 117 fig. dans le texte..... 8 fr. 50
- Les Moteurs à combustion interne**, par A. WITZ, professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille, correspondant de l'Institut. 1 vol. de 360 pages, avec 87 figures dans le texte. 8 fr. 50

- Turbines à vapeur**, par le colonel F. CORDIER, ingénieur-électricien I. E. G. 2<sup>e</sup> édition.  
 Tome I<sup>er</sup> 1 vol. de 50 pages, avec 58 figures..... 12 fr.  
 Tome II. 1 vol. de 330 pages avec 124 figures..... 14 fr.
- Chaudières et Condenseurs**, par le colonel F. CORDIER. 1 vol. de 480 pages, avec 151 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- Les Machines à vapeur**, par le colonel F. CORDIER. 1 vol. de 490 pages, avec 123 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- Phares et Signaux maritimes**, par RIBIÈRE, ingénieur en chef du service des phares et balises, docteur ès sciences. 1 vol. de 400 pages, avec 161 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- Les Machines marines**, par P. DROSNE, ingénieur de la Marine. 1 vol. de 400 pages, avec 140 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- La Navigation sous marine**, par Charles RADIGUER, ingénieur du Génie maritime. 1 vol. de 360 pages, avec 102 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- Travaux maritimes**, par A. GUILFART, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. 1 volume de 360 pages, avec 75 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- Constructions navales La Coque**, par J. ROUGÉ, ingénieur principal de la Marine. 1 vol. de 320 pages, avec 129 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- Constructions navales. Accessoires de coque**, par M. EDMOND. 1 vol. de 310 pages, avec 116 figures dans le texte... 8 fr. 50
- Théorie du navire**, par BOURDELLE, ingénieur principal de la Marine des cadres de réserve, ancien professeur à l'Ecole d'application du Génie maritime. 2 vol. formant 760 pages, avec 249 fig. dans le texte..... 17 fr.
- Cinématique appliquée. Théorie des mécanismes**, par L. JACOB, ingénieur général de l'artillerie navale. 1 vol. de 400 pages, avec 171 figures dans le texte..... 8 fr. 50
- Organes des Machines opératrices et des transmissions**, par L. JACOB, ingénieur général de l'artillerie navale. 1 vol. de 360 pages, avec 63 planches, contenant 372 figures.... 8 fr. 50
- Lois mathématiques de la résistance des fluides. — Théorie de l'hélice**, par H. WILLOTTE inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées. 1 vol. in-16 de 300 pages, avec figures dans le texte..... 12 fr.
- La résistance de l'air et l'expérience. — Les conséquences**, par L. JACOB, ingénieur général de l'artillerie navale. 2 volumes formant 600 pages, avec 83 figures dans le texte..... 25 fr.

**Le Catalogue des Nouvelles Publications médicales** (années 1920 et suivantes), comprenant : Anatomie, Biologie, Bactériologie, Pathologie interne, Pathologie externe, Thérapeutique, Hygiène et Spécialités médico-chirurgicales ; Publications périodiques ;

**Le Catalogue des Nouvelles Publications scientifiques** (années 1920 et suivantes), comprenant : Sciences naturelles (Géologie, Horticulture, Ethnographie, Anthropologie, Botanique, Zoologie) ; Sciences chimiques (Chimie pure, Pharmacologie, Industries chimiques) ; Sciences sociales (Psychologie, Sociologie, Musique, Cinématographie, Enseignement, Médecine domestique) ; Vulgarisation scientifique ; Sciences exactes et Technologie (Sciences de l'ingénieur, Mathématiques, Physique, Art militaire, Photographie, Astronomie) ; Publications périodiques ;

**Le Catalogue des Publications médicales et scientifiques**, parues antérieurement à 1920, comprenant : Sciences médicales ; — Sciences chimiques et naturelles ; — Sciences sociales ; — Sciences exactes et technologie ;  
Sont envoyés, franco, sur demande.

---

Pour recevoir, franco, les ouvrages édités par la Maison GASTON DOIN, joindre au prix marqué 10 % du montant de la commande pour frais de port et d'emballage.

---

Compte Chèques postaux Paris 201.74.

---

Abonnez-vous à

# Savoir

qui chaque Samedi vous mettra au courant de tout le  
MOUVEMENT SCIENTIFIQUE

“ *SA VOIR* ” n'est pas une revue. C'est un vrai journal. Les intellectuels de tous les pays seront heureux d'y trouver une mise au point sérieuse, critique et succincte de tout ce qui se passe dans la Science.

Vente au numéro 25 centimes dans tous les kiosques de Paris et principales gares de France.

**ABONNEMENTS**      12 fr. par an pour la France.  
(sans frais dans tous les bureaux de poste)      15 fr. par an pour l'Étranger.

*Envoi franco, de numéros spécimens sur demande.*

---

Gaston DOIN, Éditeur, 8, place de l'Odéon, Paris (6<sup>e</sup>)

---

B — 2509. — L.-Imp. réun., 7, rue St-Benoit, Paris.





Net 16 frs