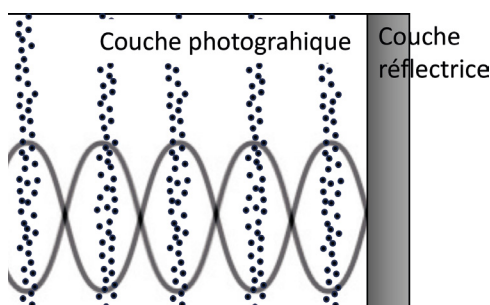


LA PHOTOGRAPHIE INTERFÉRENTIELLE DE GABRIEL LIPPMANN

Marie-Angélique LANGUILLE* et Bertrand LAVEDRINE

Centre de Recherche sur la Conservation [CNRS-MNHN-Ministère de la Culture], Paris, France

*marie-angelique.languille@cnrs.fr



En 1891, Gabriel Lippmann publie un court article « La photographie des couleurs » dévoilant ce qui sera nommé par la suite le procédé de photographie interférentielle qui inspire aujourd'hui encore les scientifiques. Il en propose rapidement une explication théorique. Nous décrivons ici l'objet photographique et le contexte de sa production.

<https://doi.org/10.1051/photon/202513228>

Article publié en accès libre sous les conditions définies par la licence Creative Commons Attribution License CC-BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), qui autorise sans restrictions l'utilisation, la diffusion, et la reproduction sur quelque support que ce soit, sous réserve de citation correcte de la publication originale.

La photographie interférentielle a marqué l'histoire de la photographie couleur, non pas tant par l'appropriation du procédé limité à quelques scientifiques, mais surtout parce qu'elle constituait une réponse élégante et scientifiquement solide au grand souhait formulé dès 1839 par François Arago : celui d'une photographie capable de restituer directement les couleurs naturelles. Aussi, Gabriel Lippmann (1845-1921) est-il considéré comme l'inventeur de ce procédé photographique d'« enregistrement direct » des couleurs dont il fournit une explication théorique concomitante, fait rare dans l'histoire des procédés photographiques

mis au point de façon empirique, la compréhension des phénomènes chimiques et physiques intervenant bien plus tard. Nous décrivons ici l'expérience de production de cette photographie interférentielle par G. Lippmann et l'objet qui en résulte.

L'invention de la photographie interférentielle dans son contexte historique

En 1891, G. Lippmann annonce dans les Comptes-rendus hebdomadaires de l'Académie des Sciences qu'il est parvenu à « résoudre le problème » pour « obtenir sur une

plaque photographique l'image d'un spectre avec ses couleurs, de telle façon que cette image demeurât *fixée* et pût rester exposée indéfiniment au grand jour sans s'altérer » [1]. Cent trente-trois ans plus tard, les quelques centaines de photographies interférentielles conservées témoignent encore de cet exploit [2]. La figure 1 en présente deux images tirées de la collection de Sorbonne Université, attribuées à G. Lippmann. Notons néanmoins que N. Boulouch a récemment rendu visible la place centrale de Laurence Cherbuliez, épouse de G. Lippmann, dans cette pratique partagée de la photographie interférentielle du couple. G. Lippmann est nommé professeur de physique générale puis directeur du laboratoire

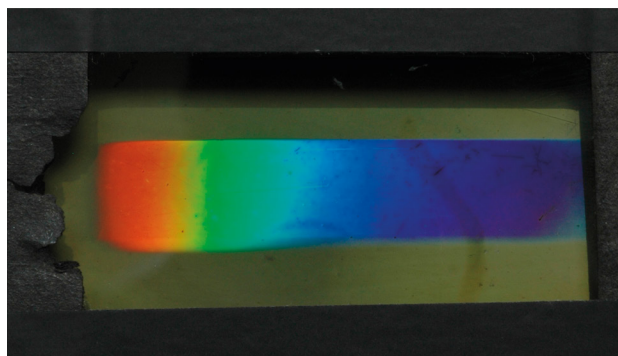
des recherches physiques de la Sorbonne en 1886. Il s'est intéressé à de nombreux domaines, en particulier l'électricité, la thermodynamique, l'optique et la photochimie. Les physiciens utilisent alors fréquemment la photographie pour étudier des phénomènes physiques, en particulier la lumière [3]. Ce fut déjà Edmond Becquerel (1820-1891) qui produisit les premières photographies couleur avec ses images photochromatiques en 1848. Depuis, de nombreux scientifiques ont cherché à expliquer l'origine des couleurs de ces images. Gustav Friedrich Wilhelm Zenker (1829-1899) défend une origine interférentielle qu'il explique par une succession de plans de particules d'argent métallique à intervalles réguliers dans la couche image dès 1868 [4]. Si l'historiographie s'interroge sur l'accès de G. Lippmann aux travaux de W. Zenker [5, 6], les conditions conceptuelles et techniques sont réunies pour l'invention de la photographie interférentielle. G. Lippmann cherche à enregistrer une structure spatiale d'onde stationnaire dans une couche photographique sensible. Ses travaux initiés dès 1886 débouchent en 1891 ; deux autres publications en 1894 et 1906 présenteront des améliorations du procédé. Il utilise l'image du spectre solaire pour promouvoir son invention dans le milieu scientifique et auprès d'un plus large public. De façon concomitante, G. Lippmann propose un modèle théorique pour expliquer les couleurs dans ses photographies [7]. Il s'appuie sur l'analyse de Fourier pour modéliser le phénomène

coloré des plaques interférentielles. Il considère chaque onde monochromatique constitutive d'une lumière colorée sans interaction entre elles. Il évoquera plus tard de façon simple et imagée la théorie qui sous-tend son procédé : « Il ne s'agit que d'un phénomène de réflexion sélective, comme dans le cas de la bulle de savon ou de la nacre. ».

La photographie interférentielle, l'objet, la matière

La figure 2 présente une photographie d'une plaque interférentielle montée avec un prisme et bordée, de la collection de Sorbonne Université ainsi qu'un schéma d'une vue en section transversale d'une telle plaque. La couche image est constituée de plans d'argent métallique dans un liant, d'une épaisseur de l'ordre de 5 à 10 micromètres, sur une plaque de verre. La face arrière est assombrie avec une peinture noire, du bitume ou un papier noir. Pour aider l'observation, Louis Lumière propose d'apposer un prisme collé à la surface de l'image, avec du baume du Canada, pour faciliter la visualisation des couleurs. L'ensemble est serti par un papier de bordage. Les formats utilisés sont 6,5 cm × 9 cm et 9 cm × 12 cm. Ces images pouvaient être observées en épiscopie par un dispositif qui pouvait également les projeter sur des écrans de quelques dizaines de centimètres de long et de large.

Figure 1. Images de photographies interférentielles de G. Lippmann. Prises de vue Alain-Jeanne Michaud, à gauche, spectre solaire SU.LIPP.2021.0.51 ; à droite maison en Provence SU.LIPP.2021.0.22.



SCIENTEC
La Solution à vos mesures



VIDEO-COLORIMETRE

POUR MESURE DE LUMINANCE
ET DE COULEUR PAR CARTOGRAPHIE

Excellent rapport
qualité/prix

Avec sa grande diversité d'objectifs, son capteur CMOS et ses filtres tristimulus de très haute qualité, le vidéo-colorimètre LMK 6 est un des produits phares de la gamme TECHNTEAM

CARACTERISTIQUES

Capteur avec résolution de 5, 12 ou 30 millions de pixels.

Filtres tristimulus de haute qualité.

Large choix d'objectifs.

Léger et compact.

APPLICATIONS

Mesure de façades, feux, voyants, dans le domaine de l'automobile et avionique.

Mesure de luminance et d'éblouissement en tunnel et sur route.

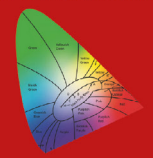
Mesure en environnement virtuel (AR-VR).

LED / SSL ...



ScienTec c'est aussi, la distribution de :

Luxmètres,
Photomètres,
Chromamètres,
Vidéo-colorimètres,
Photogoniomètres,
Sources de référence...



info@scientec.fr - 01 64 53 27 00 - www.scientec.fr

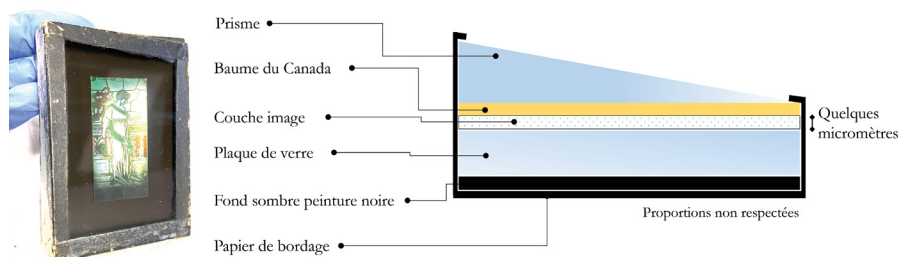


Figure 2. À gauche, photographie interférentielle de G. Lippmann de la collection de Sorbonne Université, avant restauration. Vitrail-Photo 35-11 ©C. Sandrin. À droite, schéma d'une plaque interférentielle montée avec prisme, adapté du mémoire de M. Lamotte, Institut National du Patrimoine, 2014.

Le procédé et le principe de photographie interférentielle

Dans son discours de remise du prix Nobel, G. Lippmann affirme que « La méthode est très simple ». Si le principe en lui-même est effectivement simple, sa mise en œuvre demeure néanmoins relativement complexe. Le procédé Lippmann se fonde sur la photosensibilité des halogénures d'argent. Plusieurs liants transparents ont été expérimentés : tout d'abord, l'albumine, le collodion (nitrate de cellulose) et le collodion-albuminé sec, qui produisent des plaques trop peu sensibles, puis la gélatine. Dès 1892, Lippmann a également obtenu des images en couleurs avec de l'albumine bichromatée ou de la gélatine bichromatée, c'est-à-dire sans halogénure d'argent. Ceci étant, la méthode la plus courante met en œuvre des halogénures d'argent - le chlorure d'argent et le bromure d'argent - en suspension dans la gélatine. La température de couchage est strictement maintenue en dessous de 40°C. Alphonse Berget, assistant de G. Lippmann, l'écrivit « Moins la température sera élevée, plus les couleurs viendront avec perfection ». Cette température de coulage garantit une taille d'halogénures d'argent précipités très petits en comparaison avec la précipitation entre 50 et 60°C pour la maturation physique des émulsions argentiques classiques. G. Lippmann ajouta des colorants sensibilisateurs à la suspension

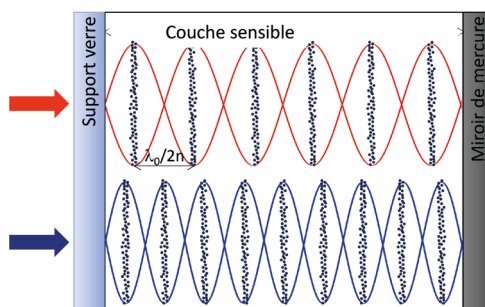
colloïdale pour en étendre la sensibilité spectrale et obtenir des plaques isochromatiques c'est-à-dire sensibles de manière égale à toutes les couleurs du spectre visible. La plaque ainsi préparée peut être conservée. Elle est immergée dans un deuxième bain de sensibilisation quelques heures avant son exposition. Lors de l'exposition, la plaque photographique est exposée à travers le support verre, la fine couche photosensible étant au contact de mercure. Les temps d'exposition restent longs ; ils se comptent en heures au tout début, puis, après plusieurs améliorations, à de l'ordre de la minute. Au cours de l'exposition, l'onde lumineuse incidente λ_0 interfère dans la couche sensible avec l'onde réfléchie sur le miroir de mercure pour former une onde stationnaire. Dans la couche sensible, aux ventres de l'onde stationnaire, se forme une image latente qui est révélée

par un développement à l'acide pyrogallique ou à l'ammoniaque qui accumule de l'argent métallique. Ainsi aux anti-nœuds, des plans de particules d'argent métallique sont formés espacés d'une distance égale à $\lambda_0/2n$, avec λ_0 la longueur d'onde d'exposition et n l'indice optique du liant de la couche image (cf. figure 3). L'épreuve est fixée au cyanure de potassium ou au thio-sulfate de sodium afin d'éliminer les halogénures d'argent non insolés. Les couleurs apparaissent au cours du séchage. Lors de l'observation en lumière blanche, les longueurs d'onde proches de λ_0 interfèrent de façon constructive du fait des plans d'argent métallique, et les autres longueurs d'onde de l'éclairage ne sont pas réfléchies du fait d'interférences destructives ; la couleur naturelle est ainsi restituée.

Le prix Nobel et la fin d'usage du procédé

Le double développement, à la fois théorique et pratique, du procédé vaut à G. Lippmann le prix Nobel de physique en 1906 pour « pour sa méthode de reproduction des couleurs en photographie, basée sur le phénomène d'interférence ». G. Lippmann a publié son invention dès 1891, laissant ainsi la possibilité d'améliorations par d'autres, parmi lesquels en France, George Goddé et Auguste Ponsot dont des plaques sont conservées respectivement à la Société française de Photographie et à l'Université de Lille, et aussi dans l'Empire allemand Richard Neuhauss ou encore Hans Lehmann. La société Lumière s'attèle à optimiser le procédé dès que G. Lippmann la contacte en 1891. Jusqu'en 1895, Louis Lumière parvient à réduire sensiblement le temps de pose grâce à l'amélioration de l'orthochromatisme de l'émulsion au gélatino-bromure d'argent. G. Lippmann reconnaît lui-même la grande qualité des photographies interférentielles ainsi produites. Des projections de photographies interférentielles sont organisées lors des premières projections du cinématographe de société Lumière. La société

Figure 3. Principe de la photographie interférentielle lors de la phase d'exposition. Les ronds noirs représentent les germes d'argent de l'image latente sur lesquels vont croître les particules d'argent lors de la phase de développement.



Carl Zeiss fabrique dès 1909 une gamme d'équipements pour la mise en œuvre du procédé. Pour autant, la pratique de la photographie interférentielle reste réservée à un cercle restreint en majorité de physiciens. La pratique du procédé est complexe et exigeante à mettre en œuvre, et l'observation des images reste contrainte quels que soient les nouveaux dispositifs de visualisation inventés, sans compter qu'il n'est pas possible de dupliquer l'image. Le procédé ne connaîtra pas de développement commercial malgré les tentatives de Louis Lumière de vendre des plaques sensibilisées. La société Lumière adoptera par la suite des procédés de photographie fondés sur la synthèse trichrome soustractive puis additive des couleurs avec en particulier la plaque autochrome qui sera introduite en 1907. Bien qu'elle puisse paraître imparfaite en comparaison avec la photographie interférentielle, c'est la photographie trichrome qui dominera le XX^e siècle.

Conclusion

Le procédé Lippmann n'a jamais cessé de captiver les scientifiques. Le développement de l'holographie en particulier, s'appuie dès les années 1970 sur l'idée d'enregistrer des ondes stationnaires dans une couche photosensible. Une des réalisations consécutives bien connue est le filtre interférentiel holographique *notch* utilisé en spectroscopie Raman pour éliminer simplement l'excitation laser. En 2021, une équipe de l'École Polytechnique

Fédérale de Lausanne montre que l'image réfléchie par une plaque Lippmann contient des distorsions qui ne sont pas expliquées par les modèles habituellement utilisés, qui font l'analogie avec des réseaux de Bragg. Une analyse complète du processus est alors proposée avec une approche de traitement du signal qui ne traite pas le cas polychromatique comme une simple extension de celui monochromatique, et mène à la récupération des spectres originaux. Quant à retrouver les spectres des sujets photographiés des plaques historiques, trop d'inconnues subsistent pour espérer y parvenir [8]. Par cette étude, Baechler *et al.* rappelle que la plaque Lippmann constitue la première image hyperspectrale. Plus récemment encore, la technique de Lippmann a été adaptée pour concevoir des prototypes de matériaux structurellement colorés mécano-sensibles pour la détection optique et la communication visuelle. Pour cela, une feuille de photopolymère élastomère est placée contre une surface réfléchissante et exposée à une image projetée et focalisée sur un matériau pour l'enregistrement holographique ; ainsi sont produites des feuilles aux couleurs structurales aux motifs de couleurs, aux propriétés spectrales, aux caractéristiques de diffusion angulaire et aux réponses aux stimuli mécaniques contrôlables [9]. C'est ainsi que l'invention de G. Lippmann continue d'inspirer plus de 130 ans après sa première publication. ●

RÉFÉRENCES

- [1] G. Lippmann, C. R. Acad. Sci. **112**, 274 (1891)
- [2] N. Boulouch, Rundbrief Fotografie **30-2**, 821 (2023)
- [3] B. Lavédrine, Peindre avec la lumière. Entre art et science, les prémices de la photographie couleurs au XIX^e siècle. Au prisme d'Augustin Fresnel : La lumière entre arts et sciences (1790-1900), Paris, 2015.
- [4] W. Zenker, Lehrbuch der photochromie, Photographie der Natürlichen Farbe, Berlin : Gelbstverlag des Versassers, 1868
- [5] P. Connes, J. Opt. **18-4**, 147166 (1987)
- [6] H. Hannouch, Gabriel Lippmann's colour photography. Amsterdam University Press, 2022
- [7] G. Lippmann, J. Phys. Theor. Appl. **3-1**, 97107 (1894)
- [8] G. Baechler, *et al.*, Proc Natl Acad Sci USA **118-17**, e2008819118 (2021)
- [9] B. H. Miller, *et al.* Nat. Mater. **21-9**, 10141018 (2022)

DÉTECTION SYNCHRONE MFLI 500KHZ

AVEC OPTION 5MHZ & BOXCAR AVERAGER

Traitement numérique des données pour une fenêtre Boxcar rectangulaire quasi parfaite !

à partir de
6730€
UHT



- ▲ Contrôle, génération et analyse
- ▲ Jusqu'à 500 kHz ou 5 MHz
- ▲ Mesure rapide et faible niveau de bruit
- ▲ Ensemble d'outils LabOne (Scope, Sweeper et Spectrum Analyzer)

