

ingénieurs de photographie en couleur inventé par le physicien français d'origine luxembourgeoise Gabriel Lippmann dans les années 1890, et qui lui a valu le prix Nobel en 1908. Sa technique utilise une émulsion photographique déposée sur une surface réfléchissante pour enregistrer les différentes composantes fréquentielles – et donc les différentes couleurs – de la lumière. Celles-ci forment des ondes dites stationnaires au sein de l'émulsion : les ondes lumineuses incidentes et réfléchies se combinent pour faire vibrer sur place le champ électromagnétique, ce qui produit des maximaux d'intensité à des profondeurs fixes. Des motifs se dessinent alors dans l'émulsion à des profondeurs qui dépendent de la longueur d'onde, c'est-à-dire de la couleur (voir la figure 2). Lorsque la plaque photographique est développée et éclairée par de la lumière blanche, ces motifs sombres réfléchissent et renforcent sélectivement la composante fréquentielle à laquelle ils sont associés ; au final, la couleur de l'image est restituée.

La seconde application partageant certaines caractéristiques avec l'holographie est la microscopie à contraste de phase, qui permet d'observer des échantillons transparents, et qui a valu à son créateur, le physicien néerlandais Frederik Zernike, le prix Nobel en 1953. Elle est fondée sur le ralentissement des ondes lumineuses qui traversent l'échantillon avant d'atteindre le microscope ; un décalage de phase en résulte, modifiant la position du pic de l'onde. En comparant le faisceau de lumière transmise à un faisceau de référence – plus précisément, en les faisant interférer –, on reconstitue les caractéristiques de l'échantillon.

Aucune de ces techniques n'a beaucoup fait parler d'elle. Celle de Lippmann est assez lente et minutieuse à utiliser, pour des résultats frustrants (le contraste de l'image est mauvais si l'éclairage n'est pas réglé de façon très précise). Celle de Zernike reste un outil de spécialistes, surtout mis en œuvre par les biologistes et les géologues. Ni l'une ni l'autre ne semblent exploitables à grande

échelle. Dans son discours de réception du prix Nobel, Zernike a écrit :

« Rétrospectivement, je suis impressionné par les grandes limitations de l'esprit humain. Comme nous sommes rapides pour apprendre, c'est-à-dire imiter ce que d'autres ont fait ou pensé avant nous ! Et comme nous sommes lents pour comprendre, c'est-à-dire voir les connexions plus profondes ! Mais là où nous sommes les plus lents, c'est pour inventer de nouvelles connexions, ou même appliquer de vieilles idées à un domaine nouveau. »

Comme ces deux techniques, l'holographie est fondée sur la manipulation des ondes et des interférences. Trois dispositifs précurseurs ont été élaborés de façon indépendante. Le premier est conçu

1. L'HOLOGRAMME DU PONT DE TAMPA, en Floride, est enregistré sur une plaque de 1 mètre sur 1,50 mètre, et a une profondeur apparente de 8 mètres. La réalisation de telles œuvres, destinées notamment à des expositions, a été permise par une vague d'innovations dans les années 1970.

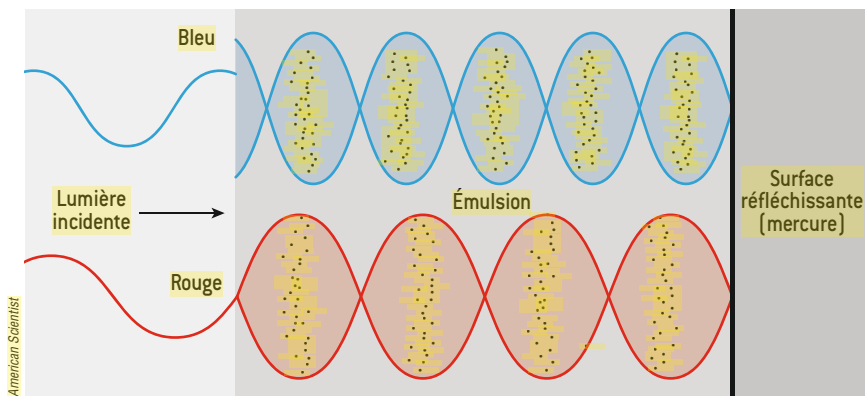
L'ESSENTIEL

✓ Un hologramme est un motif dessiné par les interférences de la lumière diffusée par un objet avec un rayon lumineux de référence. Le motif est enregistré sur une plaque. Quand on la regarde, on voit l'objet en relief.

✓ L'holographie a inspiré de nombreux artistes et suscité des attentes parfois irréalistes.

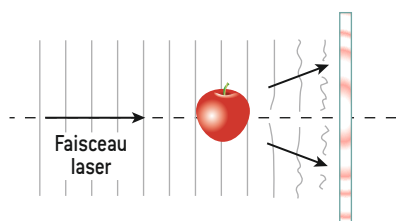
✓ Elle a aussi donné naissance à de nombreux dispositifs pratiques, tels les hologrammes de sécurité qui équipent les cartes bancaires.

✓ Les recherches en cours visent notamment à fabriquer des mémoires holographiques.

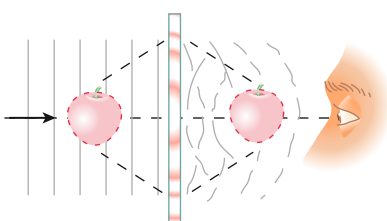


2. UN DES PREMIERS DISPOSITIFS DE PHOTOGRAPHIE EN COULEUR, inventé par Gabriel Lippmann, est fondé sur des interférences : la lumière de chaque couleur passe par une lentille, traverse l'émulsion photographique et se réfléchit sur une surface de mercure ; les interférences des ondes incidente et réfléchie créent une onde stationnaire (le champ vibre sur place entre les positions extrêmes représentées ci-dessus). Cette onde a des pics d'intensité à des profondeurs fixes, où l'émulsion s'assombrit (*amas de points*). Quand la plaque développée est éclairée avec de la lumière blanche, les zones assombries renforcent la longueur d'onde originale, ce qui restitue la couleur.

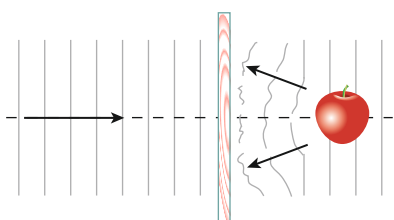
Enregistrement d'un hologramme de Gabor



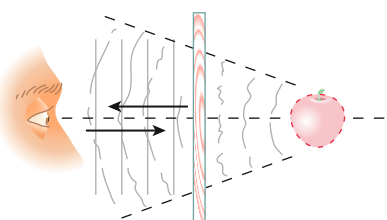
Reconstruction d'un hologramme de Gabor



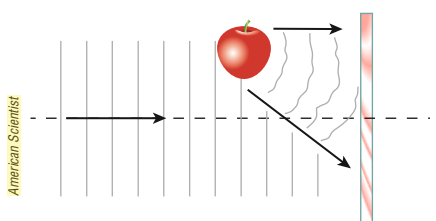
Enregistrement d'un hologramme de Denissiouk



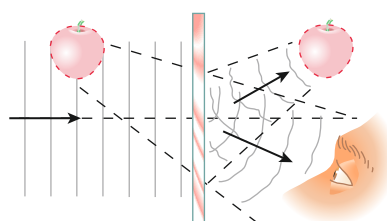
Reconstruction d'un hologramme de Denissiouk



Enregistrement d'un hologramme de Leith-Upatnieks



Reconstruction d'un hologramme de Leith-Upatnieks



3. L'ENREGISTREMENT D'HOLOGRAMMES (à gauche) et leur visualisation (à droite) utilisent trois méthodes différentes. La lumière laser arrive par la gauche (les lignes verticales grises représentent les fronts d'onde, et la flèche la direction de propagation) et rencontre un objet qui diffuse la lumière (ici une pomme). La lumière diffusée se combine à l'onde incidente pour produire un motif d'interférences (franges rouges) sur une plaque photographique. Dans le dispositif de Denissiouk (au centre), l'objet est situé derrière la plaque, tandis qu'il est devant dans ceux de Gabor et de Leith et Upatnieks (respectivement en haut et en bas). Dans ce dernier dispositif, l'objet est décalé par rapport à l'axe central du faisceau incident. Une fois développés et éclairés de façon appropriée, les hologrammes réfléchissent (Denissiouk) ou transmettent (Gabor et Leith et Upatnieks) la lumière, ce qui reconstruit l'image de l'objet. L'hologramme de Gabor produit deux images superposées, celui de Denissiouk une seule image et celui de Leith et Upatnieks une image soit devant, soit derrière la plaque, selon l'angle sous lequel on la regarde.

en 1948 par Dennis Gabor, un physicien d'origine hongroise qui travaille pour une firme anglaise d'électrotechnique. Son dispositif sert à améliorer la qualité d'image de la première génération de microscopes électroniques et procède en deux étapes (voir la figure 3). La première est l'enregistrement : on projette un faisceau électronique sur l'échantillon à observer, qui le diffuse – on dit aussi qu'il le diffracte (on peut se représenter les électrons comme des ondes, tout comme la lumière visible). Le faisceau diffusé interfère avec le faisceau non dévié pour produire un motif sur une pellicule photographique. Gabor nomme ce motif hologramme, mot construit à partir de racines grecques signifiant « dessin entier ». La seconde étape est le visionnage : l'hologramme est introduit dans une sorte de système de projection, qui recrée une image de l'échantillon observable à travers un oculaire.

Des failles pratiques et fondamentales

L'idée est astucieuse, mais les articles de Gabor sont presque incompréhensibles pour ses contemporains, même pour des lauréats du prix Nobel tels que sir Lawrence Bragg et Max Born. Un petit groupe de recherche industrielle qui s'efforce de l'exploiter finit par considérer, vers le milieu des années 1950, que c'est une piste coûteuse et peu rentable. Les chercheurs de ce groupe, ainsi qu'une poignée d'autres, découvrent des failles pratiques et fondamentales. Les hologrammes de Gabor nécessitent un faisceau électronique monochromatique, mais créer une source d'électrons d'énergie constante qui serait stable pendant l'exposition (plusieurs minutes) se révèle impossible. Les chercheurs ne parviennent pas à reconstruire une image reconnaissable à partir des hologrammes résultants. Et le dispositif crée deux images, l'une semblant située en avant et l'autre en arrière de la plaque, qui se superposent et donnent un résultat confus. Au cours de la décennie suivante, Gabor, devenu enseignant-chercheur en électronique à l'Imperial College de Londres grâce à son invention, s'en détourne pour travailler dans les domaines plus fertiles de l'ingénierie télévisuelle et de la modélisation de la fusion nucléaire.

Le deuxième concept novateur apparaît vers la fin des années 1950 à Léningrad (aujourd'hui Saint-Petersbourg), où un doctorant, Iouri Denissiouk, cherche à