

HOLOGRAPHIE

15 MAI 1948

Un chercheur de la British Thomson-Houston CO. LTD., publie dans la revue Nature un article destiné à faire beaucoup de bruit : « A New Microscope Principle ».

Ce chercheur s'appelait Dennis Gabor... Aujourd'hui prix Nobel de physique.

LA LONGUE MARCHÉ DES OPTICIENS

La découverte d'un nouveau principe microscopique par Dennis Gabor, s'inscrit dans un ensemble de recherches, celui de l'optique cohérente, qui débuta au XVIII^e siècle.

Aux environs de 1700, Newton publiait une explication de certains phénomènes optiques, basée sur la nature corpusculaire de la lumière : une source lumineuse émet de minuscules particules matérielles, se déplaçant en ligne droite avec une grande vitesse. Mise à part sa grande simplicité,

cette théorie possède l'avantage de ne pas sous-entendre l'existence d'un hypothétique milieu nécessaire à la propagation.

En 1690, Christian Huygens, publiait son Traité de la Lumière qui développait une autre théorie, préparée depuis 1678 : selon Huygens, la lumière ne peut être regardée comme un mouvement de particules, mais comme une propagation d'ondes, analogue à la propagation des ondes sonores dans les gaz et les liquides.

Supposons, comme Huygens, qu'un point lumineux émette, à un instant donné, une impulsion lumineuse. Cet ébranlement se propagera dans toutes les directions, avec la même vitesse, si le milieu environnant est isotrope, donc si les caractéristiques du milieu sont identiques dans toutes les directions : on observe alors un front d'ondes sphériques qui se déplacent dans l'espace.

En 1700, deux théories se confrontent donc. Grâce à la grande autorité de son fondateur, Newton, et grâce à sa frappante

simplicité, la théorie corpusculaire prévalut généralement et fut défendue avec acharnement contre les partisans de la théorie ondulatoire.

FRESNEL DEFEND HUYGENS

Augustin-Jean Fresnel fut, à l'école, un élève moyen. Il fit ses études à l'École Polytechnique et devient, en 1808, ingénieur des Ponts et Chaussées. Mais le travail ne lui plaisait guère. A cause de ses opinions royalistes, manifestées lors de la première restauration, il fut révoqué, au retour de Napoléon, en 1815. Il commença alors ses expériences dans lesquelles se développèrent sa grande originalité et son habileté expérimentale.

Ce furent les brillantes expériences de Fresnel qui entraînèrent l'adhésion générale à la théorie de Huygens.

En particulier, la théorie ondulatoire explique parfaitement le phénomène d'interférences.

Si deux faisceaux lumineux d'égale intensité sont dirigés de telle façon qu'ils se mélangent, le nombre de particules de lumière, suivant la théorie de Newton, serait simplement doublé et l'intensité totale serait la somme des intensités.

Au contraire, la théorie ondulatoire de Huygens conduit à un résultat très différent : l'intensité totale dépend de la différence de phase entre les deux faisceaux : suivant les cas, les ondes peuvent se renforcer ou se détruire particulièrement, voire complètement. Ce sont les interférences.

Il est apparu à Fresnel que deux faisceaux lumineux agissant simultanément au même point, ne donnent pas obligatoirement des interférences. Ils doivent être cohérents : or deux faisceaux lumineux arbitraires, sont toujours incohérents, car un faisceau est issu d'un grand nombre de points lumineux, qui émettent de la lumière indépendamment les uns des autres.

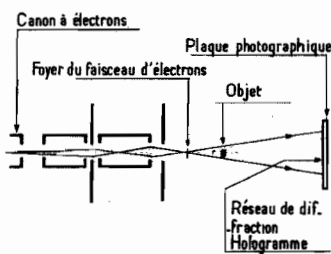


Fig. 1 a. - Analyse électronique.

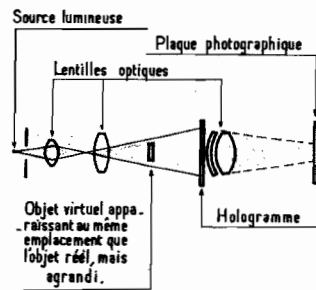


Fig. 1 b. - Synthèse optique.

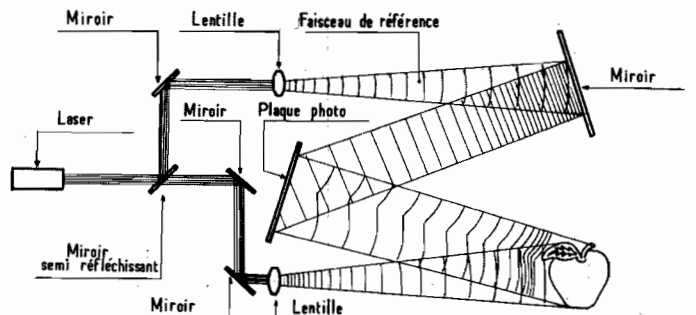


Fig. 2. - Enregistrement de l'hologramme : le faisceau émis par le laser est divisé en deux à l'aide d'un miroir semi-réfléchissant; l'un des faisceaux éclaire l'objet, tandis que l'autre sert de faisceau de référence. Le faisceau de référence et le faisceau diffusé par l'objet interfèrent. Le réseau d'interférence est enregistré sur la plaque photographique.

Fig. 1. - Principe du microscope électronique à reconstruction des fronts d'ondes.

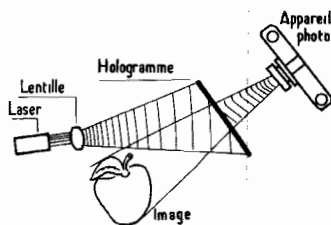


Fig. 3. - A la reconstruction, l'image est éclairée par le laser : l'appareil photographique peut viser l'image reconstituée.

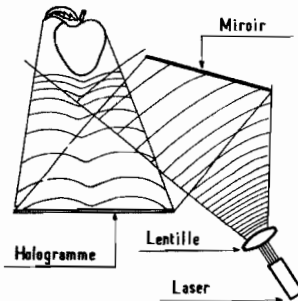


Fig. 4. - Hologramme de FRESNEL.

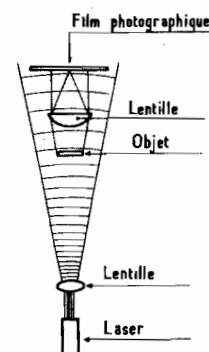


Fig. 5. - Hologramme de FOURIER.

Pour obtenir deux faisceaux cohérents, Fresnel divisa en deux un même faisceau, avant de le faire interférer : il réalisa, par le moyen de deux miroirs faisant entre eux un très petit angle, deux images d'une même petite source lumineuse : sur un écran, placé en face des miroirs, on observait des interférences sous la forme de zones claires et de zones sombres.

Ces interférences constituaient en fait le premier hologramme.

MAXWELL A PLUS LOIN

Aussi bien dans l'esprit d'Huygens que dans celui de Fresnel, la propagation de la lumière était une propagation d'énergie mécanique. Une idée complètement différente fut développée par Maxwell : celui-ci émit l'hypothèse en 1861 que la lumière était une onde électromagnétique. Toute perturbation électromagnétique devait, d'après Maxwell, se propager par ondes; dans le vide, la vitesse de déplacement des ondes devait être $C = 2,9979 \cdot 10^8$ m/s, tandis que, dans les milieux transparents, la vitesse devait être plus faible.

Maxwell ne s'était pas préoccupé de la vérification expérimentale de ses théories, et c'est Hertz qui exécuta les premières mesures sur les ondes électromagnétiques.

La nature électromagnétique de la lumière a depuis été confirmée de différentes façons.

L'HOLOGRAMME NON OPTIQUE

De l'hologramme d'un point obtenu avec les miroirs de Fresnel, à la découverte de Dennis Gabor, plus d'un siècle s'est écoulé. En 1948, l'intérêt des chercheurs était de mettre au point un microscope à rayons X : à cette époque, on étudiait le microscope électronique;

Knoll et Ausky, en 1931, commencèrent à améliorer le pouvoir de résolution des microscopes électroniques, et en 1947, on était certain d'avoir atteint leur limite théorique de résolution (5 Angström, soit 0,5 nanomètres) grâce aux travaux de Hillier et Ramberg, qui éliminèrent l'astigmatisme des objectifs de ces appareils.

Or, on voulait voir les atomes, et pour y parvenir, il fallut améliorer, d'un facteur 10, le pouvoir de résolution du microscope.

L'idée-même du microscope à rayons X avait été suggérée dès 1942 par Sir Lawrence Bragg. Les micrographies de Gabor s'obtenaient en deux étapes : on réalisait d'abord une analyse électronique, suivie d'une synthèse optique. L'objet était éclairé par un faisceau d'électrons bien focalisés; les électrons frappant l'objet étaient diffractés. Enfin, l'ensemble du faisceau d'électrons était dirigé vers une plaque photographique : l'interférence du faisceau électronique primaire, et du faisceau électronique secondaire ayant frappé l'objet est contenu dans l'image photographique. La plaque sensible était développée, puis éclairée par un faisceau lumineux cohérent; l'onde qui émerge alors de la plaque photographique contient une composante qui constitue la reconstruction de l'onde électronique originale (figure 1).

La plaque photographique ayant enregistré le réseau d'interférences des faisceaux électroniques primaire et secondaire, reçut le nom d'hologramme. Cette dénomination est justifiée essentiellement par le fait que cet enregistrement contient toutes les informations qui permettent de reconstituer l'objet, en trois dimensions.

LE LASER CHANGE TOUT

Ce n'est cependant que la mise au point du laser qui donne le coup d'envoi du développement des hologrammes : Emmett N. Leith et Juris Upatnieks, de l'Université du Michigan produisirent en 1962 des hologrammes d'excellente qualité à l'aide d'un laser.

Le résultat était fort spectaculaire : l'objet « holographié » était reconstitué en vraies 3 - dimensions. Toute la géométrie de l'objet, toutes les ombres sur l'objet, toutes les positions respectives des divers éléments de l'objet étaient reconstituées.

Comment l'image optique a-t-elle été formée?

Lorsque l'on éclaire un objet par un faisceau lumineux, chaque point de l'objet se comporte comme une petite source lumineuse et renvoie la lumière dans toutes les directions. Si l'on place devant l'objet une plaque photographique, on obtient une teinte grise quasi-uniforme sur tout le film : chaque point du film reçoit en effet des faisceaux lumineux en provenance de tous les points de l'objet éclairé.

On évite cet incident en interposant un écran percé d'un trou infinitésimal entre l'objet et le film : chaque point du film recevra alors un faisceau lumineux en provenance d'un seul point de l'objet, et l'image enregistrée sera nette, mais terne.

Pour remédier à ce mauvais fonctionnement, on adjoint toujours une lentille optique au système précédent, pour faire converger tous les rayons ayant traversé la fente vers une petite portion de la plaque photographique. On a réalisé un appareil de prise de vues photographiques.

On peut encore opérer suivant une troisième manière : on éclaire l'objet par un faisceau lumineux

cohérent; chaque point de l'objet rayonne des ondes cohérentes et l'on s'arrange pour mélanger des ondes diffusées par l'objet avec un faisceau (dit de référence) obtenu en divisant par deux le faisceau qui éclaire l'objet (figure 2). Ce mélange de lumière se traduit par des interférences que l'on enregistre sur une plaque photographique : c'est l'hologramme.

Cet hologramme contient toutes les informations sur l'objet éclairé.

LA PLAQUE HOLOGRAPHIQUE...

Comment utiliser l'information contenue dans l'hologramme?

Pour traiter l'information enregistrée sur la plaque photographique, on éclaire l'hologramme par un faisceau cohérent identique au faisceau de référence ayant servi à la construire. Quand le faisceau traverse le réseau d'interférences contenu dans l'hologramme, il émerge de la plaque photographique en produisant de nouveaux fronts d'onde : ces fronts d'onde constituent une réplique exacte des fronts d'onde émis par l'objet original. Pour l'observateur qui se place derrière la plaque photographique, tout se passe comme s'il voyait l'objet holographié à la place exacte occupée par l'objet original.

En fait, l'observateur voit deux objets identiques et symétriques, le second objet, conjugué du premier, est lié à la présence du processus de reconstruction de l'hologramme.

La description précédente correspond au cas le plus courant. Comme l'hologramme est constitué par le réseau d'interférences de deux faisceaux, il est possible de l'éclairer par les fronts d'onde en provenance de l'objet : l'image éventuelle est alors confondue

avec l'objet réel; le problème, dans ce cas, consiste à placer l'hologramme, après développement de la plaque photographique, exactement au même endroit qu'au moment de l'enregistrement.

AUX PROPRIÉTÉS BIZARRES

L'hologramme possède des propriétés tout-à-fait originales.

Chaque parcelle de l'hologramme contient toutes les informations sur l'objet, puisque réciproquement, au moment de l'enregistrement, chaque parcelle de l'objet diffuse un faisceau lumineux dans tout l'espace qui l'environne. Donc, si l'on coupe en petits morceaux l'hologramme, chacun des petits morceaux donnera, à la reconstitution, l'image de l'objet complet. Seule la netteté de l'image sera moins bonne, à cause du grain de la plaque photographique, qui n'est pas infiniment petit.

Les hologrammes de plusieurs objets peuvent être superposés sur le même film et être reconstruits en même temps.

Les méthodes holographiques s'appliquent à tout rayonnement : on peut enregistrer des hologrammes avec des ondes électroniques, comme le fit Gabor, avec des rayons X, des ultrasons, des micro-ondes et des ondes radio. Il n'est pas nécessaire de reconstituer l'hologramme avec un faisceau de même longueur d'onde que celui utilisé lors de l'enregistrement. Par exemple, la reconstruction d'hologrammes enregistrés avec des rayonnements invisibles (rayons X, ondes acoustiques microsondes) peut être effectuée avec un faisceau lumineux pour disposer d'une image reconstruite visible.

L'hologramme lui-même peut être agrandi ou réduit avant reconstruction; mais cette opération modifie les dimensions et la position de l'image : la profondeur de l'image est plus agrandie (ou réduite) que sa hauteur, et à la reconstruction, l'objet semble avoir subi une distorsion. La qualité de l'image est elle-même réduite.

HOLOGRAMMES

Lorsque Leith et Upatnieks proposèrent de réaliser des hologrammes à l'aide de lasers, la cohérence

du faisceau rendait possible de séparer la lumière de référence de la lumière de l'objet, alors que cela n'était pas le cas dans l'expérience de D. Gabor. Un tel hologramme, obtenu par interférence de deux faisceaux n'ayant pas la même direction de propagation est dit « hologramme à grand angle » ou « offaxis ».

Dans les expositions de physique les plus diverses, on se plaît à présenter des hologrammes présentant des jouets, des statuettes,... pour démontrer les principes de base de l'holographie. Ce type d'hologrammes s'obtient en plaçant l'objet à holographier et un miroir reflétant la source cohérente, à quelque distance du plan du film photographique (figure 4). Ce type d'hologramme est dit hologramme de Fresnel.

Si maintenant, les faisceaux objet et référence sont dans un plan parallèle sur plan de film, on réalise un « hologramme de Fourier » ou « on-axis ». On revient ici à la méthode adoptée par D. Gabor, mais l'objet (souvent constitué d'une diapositive ou d'un film transparent) est placé à l'un des foyers d'une lentille, tandis que le film est situé à l'emplacement de l'autre foyer (figure 5).

L'hologramme de Fourier est aisé à réaliser; il présente l'avantage d'être insensible à l'orientation des ondes de reconstruction. Enfin, il n'est pas nécessaire de replacer l'objet exactement à la position d'enregistrement, lors de la reconstruction : cette particularité trouvera quelques applications.

Voici cinq ans environ, une variante de ces méthodes d'enregistrement a été mise au point. Cette variante part du fait que l'émulsion photographique a souvent une épaisseur qui n'est pas compatible avec la longueur d'onde du faisceau lumineux. En particulier, si l'émulsion est plus épaisse que la largeur des franges d'interférences, le faisceau objet et le faisceau de référence vont créer, au sein de l'émulsion, des réseaux d'interférences : en somme tout se passe comme s'il y avait, empilés au sein de l'émulsion photographique, plusieurs hologrammes.

Cet hologramme est dit de volume, ou encore de Lippman-Bragg.

Si l'on réalise un hologramme de Lippman-Bragg à l'aide de trois couleurs (par exemple bleu, vert et

rouge), on enregistrera alors trois hologrammes différents au sein de l'émulsion. Au cours de la reconstruction, l'on emploie de la lumière blanche pour éclairer l'hologramme; chacun des hologrammes bleu, vert et rouge répondra à sa teinte propre, de sorte que l'image reconstruite, en plus d'être tridimensionnelle, sera également en couleurs.

Les plaques photographiques pour hologrammes de Lippman-Bragg sont commercialisées par Kodak, sous la référence 649 F. Avec une couche d'émulsion de 10 microns, on parvient à « empiler » trente à quarante franges alternativement lumineuses ou opaques.

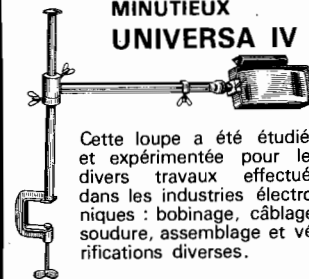
L'hologramme de volume permet, pour la première fois, de reconstruire une image à l'aide de lumière incohérente.

Il faut signaler que les plaques KODAK 649 F ont été très souvent utilisées pour la confection d'hologrammes, à cause de leur émulsion à grande résolution et faible vitesse.

(à suivre)

MIC PERRETTI

POUR TOUS VOS TRAVAUX MINUTIEUX UNIVERSA IV



Cette loupe a été étudiée et expérimentée pour les divers travaux effectués dans les industries électroniques : bobinage, câblage, soudure, assemblage et vérifications diverses.

- Optique de grossissement 4 X, composée de 2 lentilles applanétiques.
- Grand champ de vision (90 mm de large x 210 mm de long).
- Distance de travail variant de 16 à 30 cm sous la lentille.
- Aucune déformation d'image.
- Adaptation à toutes les vues (avec ou sans verres correcteurs) et rigoureusement sans fatigue.
- Eclairage en lumière blanche masquée par un déflecteur.
- Manipulation extrêmement libre (rotation, allongement).
- Mise au point rigoureuse.
- Indispensable pour l'exécution de tous travaux avec rendement et qualité.

CONSTRUCTION ROBUSTE
Documentation gratuite sur demande

ÉTUDES SPÉCIALES SUR DEMANDE

JOUVEL OPTIQUE, LOUPES DE PRÉCISION

BUREAU EXPOSITION et VENTE

89, rue Cardinet, PARIS (17^e)

Téléphone : CAR. 27-56

USINE : 42, avenue du Général-Leclerc

91-BALLANCOURT

Téléphone : 498-21-42

GALLUS

HI-FI ECHOS Centre Commercial Delta 02 SAINT-QUENTIN



vous propose

LA CHAÎNE D'OR
haute fidélité

où chaque maillon est
une marque prestigieuse

**EXCEL SOUND • LAFAYETTE
JENSEN • GARRARD • FRANK**

PC 269