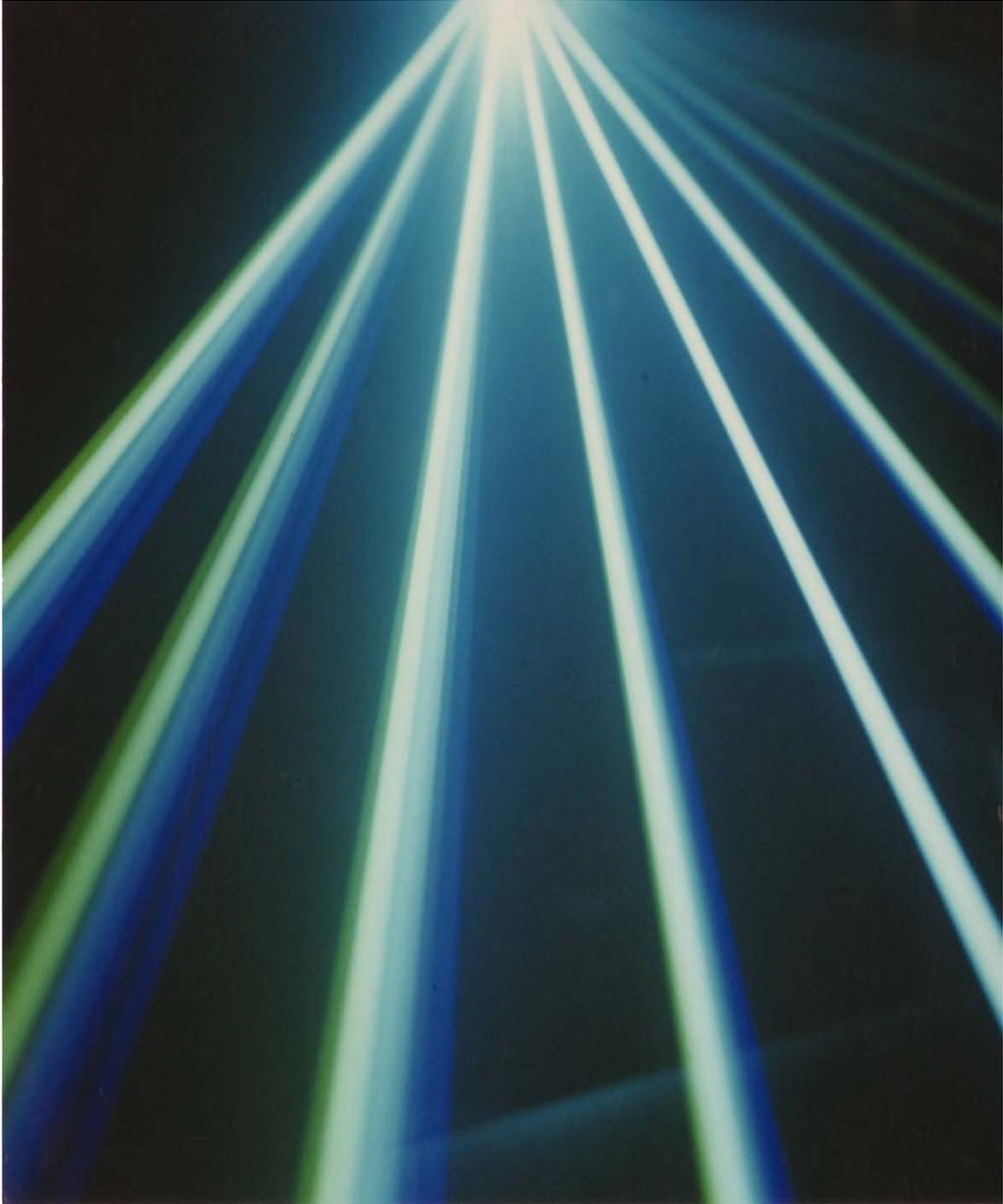


LA MAGIE DU LASER



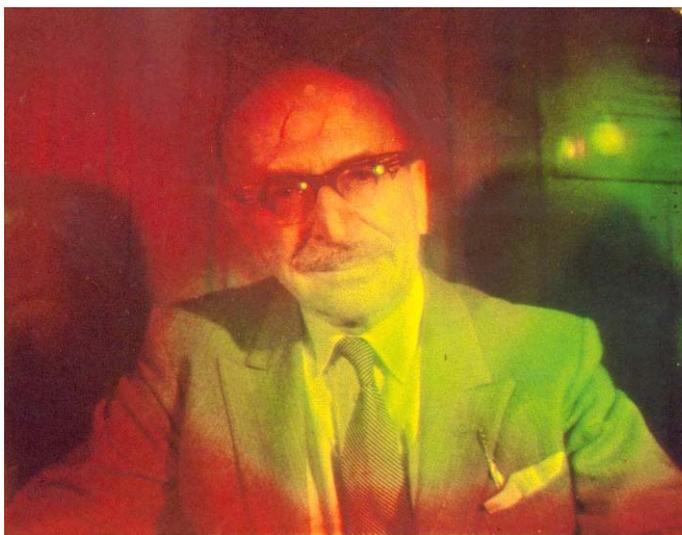
Les hologrammes, images en vraie 3D par
Anne-Marie CHRISTAKIS
Musée de l'Holographie

LA MAGIE DU LASER

Anne-Marie CHRISTAKIS

SOMMAIRE

- 1 Dennis Gabor
- 2 De la photographie à l'holographie
- 3 L'holographie ou l'image totale
- 4 Les précurseurs
- 6 L'hologramme est une fenêtre
- 7 Le laser
- 8 Enregistrement d'un hologramme
- 10 L'hologramme de réflexion
- 12 L'hologramme en image réelle
- 14 Le stéréogramme
- 16 Les applications
- 18 Le Musée de l'Holographie
- 19 Pour en savoir plus



Portrait holographique de Dennis GABOR
Collection Musée de l'Holographie

Né à Budapest, le 5 juin 1900, Dennis Gabor commença ses études à l'Université Technique de sa ville natale, puis les poursuivit, à partir de 1921 à l'Ecole Supérieure de Technique de Berlin. C'est là qu'il obtint son doctorat en 1927 pour une thèse d'ingénierie électrique. Il resta à Berlin comme ingénieur au laboratoire de recherches de la Société Siemens et Haiske. L'arrivée au pouvoir des nazis le força à fuir l'Allemagne et, après un court séjour en Hongrie, il partit pour l'Angleterre où il resta jusqu'à sa mort. C'est au laboratoire de la Thomson-Houston anglaise qu'il inventa l'holographie (1947-1949).

En 1949, Dennis Gabor quitta la Thomson-Houston britannique et devint professeur de physique à l'Imperial College of Science and Technology de l'Université de Londres. Outre ses travaux, ses publications et ses inventions, (il a pris plus de cent brevets), il a écrit trois livres, notamment *The Mature Society*. Dans ce livre, Dennis Gabor s'interrogeait sans optimisme sur l'avenir de l'homme dans une société dominée par la technologie. Dennis Gabor est mort le 9 février 1979 en Grande-Bretagne : « je suis un physicien heureux » déclarait-il.

« Le Monde » du 11.2. 1979

DE LA PHOTOGRAPHIE A L'HOLOGRAPHIE

Depuis son invention par Nicéphore Niepce en 1816, la photographie n'a subi aucun changement de principe fondamental.

La conquête de la couleur et du mouvement ont certes été des développements importants mais la photographie ne montre qu'un aspect de la réalité, un seul point de vue. Elle n'enregistre que des intensités lumineuses qui se traduisent par des différences de couleur.

Si la stéréoscopie donne une impression de relief, l'holographie, elle, restitue le double parfait de l'objet enregistré, en volume de lumière.

Nous vivons dans un monde à trois dimensions, or les images qui se forment sur notre rétine sont à deux dimensions, et pourtant nous voyons en relief.

L'intérêt pour le relief n'est pas nouveau. Dès la Grèce Antique, Euclide savait déjà que l'œil droit voit une scène différemment de l'œil gauche. Il avait compris les mécanismes de la vision binoculaire qui permettent la fusion de deux images pour donner une impression de relief.

Lorsqu'on photographie un même objet sous des angles différents, les images ne sont pas superposables. De même, les images reçues par nos deux yeux sont différentes. Le cerveau interprète ces différences pour évaluer la profondeur. Les procédés stéréoscopiques sont tous basés sur la vision binoculaire et comportent deux images, l'une pour l'œil droit, l'autre pour l'œil gauche. Le cerveau les fusionne et recrée le relief.

Le principe de l'holographie a été découvert par Dennis Gabor en 1947 (Prix Nobel en 1971) mais il fallut attendre la mise au point des lasers pour voir son application au début des années soixante, parallèlement aux Etats-Unis et en Russie.

Il est à noter que si les physiciens américains Leith et Upatnieks ont appliqué le laser à l'invention de Gabor, le russe Yuri Denisyuk a lui, trouvé son inspiration dans les travaux de Gabriel Lippman, physicien français, inventeur de la photographie interférentielle (Prix Nobel 1908).

L'HOLOGRAPHIE OU L'IMAGE TOTALE

L'holographie est un procédé de photographie en relief utilisant les propriétés de la lumière cohérente (interférences produites par deux faisceaux laser) qui donne un double parfait de l'objet enregistré grâce au codage de la lumière.

Alors qu'on prend une photographie à la lumière du jour, la lumière laser est indispensable pour réaliser un hologramme.

La lumière ordinaire est constituée d'un flux de photons aux caractéristiques très variables et émis à des moments quelconques.

Au contraire, le laser émet un faisceau de lumière cohérente c'est à dire :

- monochromatique (tous les photons ont la même fréquence ou couleur)
- directif (cohérence spatiale)
- en phase (cohérence temporelle)

L'holographie consiste à faire interférer sur une émulsion photographique (plaque) deux faisceaux de lumière cohérente issus du même laser. Le premier est dirigé sur la plaque, le second sur l'objet à holographier qui diffuse à son tour la lumière qu'il reçoit en direction de la plaque émulsionnée.

La rencontre de deux faisceaux crée l'image d'interférence, porteuse des informations concernant la forme de l'objet et sa position dans l'espace.

Après développement, on éclaire la plaque avec un laser sous le même angle que le rayon de référence. L'objet est reconstruit dans l'espace en trois dimensions et en volume de lumière. L'holographie recrée donc, à partir d'une onde de référence, l'onde caractéristique de l'objet, sans le faire intervenir à la visualisation.

LES PRECURSEURS

- 300 av. J.C. Aristote remarque que, s'il se trouve un orifice dans l'une des parois d'une pièce sans fenêtre, une image inversée du paysage faisant face à cet orifice apparaît sur le mur opposé.
- 1515 Léonard de Vinci décrit avec précision la "caméra oscura " ancêtre de l'appareil photographique.
- 1801 Thomas Young émet la théorie de la nature ondulatoire de la lumière qui sera à la base de l'holographie.
- 1816 Nicéphore Niepce invente la photographie.
- 1839 La France fait don au monde entier de la découverte de la photographie.
- 1891 Gabriel Lippmann, Prix Nobel 1908, réalise les premières photographies interférentielles en couleur et propose dès 1908 "une photographie intégrale", c'est-à-dire en relief.
- 1895 Les frères Lumière présentent les premières projections cinématographiques.

LA DECOUVERTE DES LASERS ET DE L'HOLOGRAPHIE

- 1917 Albert Einstein, par ses travaux sur l'émission stimulée, pose les bases théoriques pour la réalisation des lasers.
- 1947 Dennis Gabor, Prix Nobel 1971, imagine de superposer à l'onde lumineuse et réfléchi par un objet une onde cohérente de référence et propose pour sa découverte le terme **holographie ou écriture totale** (du grec holos : tout et graphein : écrire).
- 1949 Le physicien français, Albert Kastler découvre le principe du pompage optique qui lui vaudra le Prix Nobel en 1966 et permettra le développement des lasers et des masers.
- 1954 Townes, Gordon et Zeiger construisent le premier oscillateur maser à émission stimulée dans le domaine des microondes.

- 1960 Maiman réalise le premier oscillateur laser dans un cristal de rubis le premier laser à gaz utilisant un mélange hélium/néon.
- 1964 Les physiciens américains Leith et Upatnieks appliquent le laser aux travaux de Gabor et présentent les premiers hologrammes d'objets tridimensionnels. A la même époque le physicien soviétique Y. Denisyuk propose une méthode d'enregistrement inspirée des travaux de Lippmann qui permet de restituer les images en éclairant l'hologramme en lumière naturelle.
- 1964 Prix Nobel pour les lasers : Schawlov et Townes aux USA, et Basov en URSS.
- 1965 Applications industrielles : l'interférométrie (contrôles non destructifs) Karl Stetson et Robert Bowel publient leurs études de l'analyse des vibrations en utilisant l'holographie.
- 1968 Stephen A. Benton développe l'hologramme de transmission visible en lumière blanche, ou hologramme arc-en-ciel car il a les couleurs de la lumière blanche décomposée par un prisme.
- 1974 Michael Foster met au point une technique pour estamper les interférences directement sur du plastique et produire des hologrammes à des coûts très bas.
- 1975 L'hologramme la Vénus de Milo (1m x 1m50), visible à la lumière laser, est réalisé au LOBE (Laboratoire d'Optique de Besançon).
- 1977 En Union Soviétique, Victor Komar produit un film holographique de 47 secondes. A la même époque, Llyod Cross aux USA produit des stéréogrammes.
- 1980 Le Musée de l'Holographie ouvre ses portes à Paris.
- 1982 Le LOBE réalise la première expérience de ciné holographie, présentée au Collège de France avec le LEAC. 20 images ont été enregistrées sur plaque de verre 50x60cm. Ont été holographiés, non pas des oiseaux en vol mais la série de figurines de goélands en bronze de Marey, conservées au Collège de France. Pendant quelques secondes, on voit les goélands avancer du fond de l'image vers l'avant, de plusieurs mètres jusqu'à quelques centimètres.
- 1985 Le Musée de l'Holographie coproduit avec l'ISL le premier film holographique de fiction « La belle et la bête » d'Alexander. Depuis, le cinéma holographique a déçu par ses limitations et l'intérêt se tourne à nouveau sur la 3DS, (stéréoscopique), plus accessible.

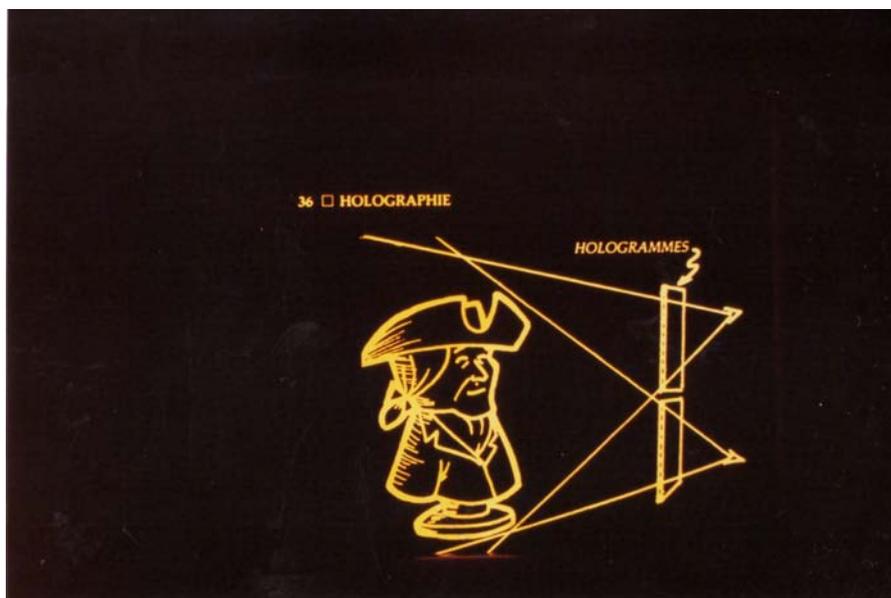
L'HOLOGRAMME EST UNE FENETRE

Une des propriétés de l'hologramme est que tout point de la plaque photosensible contient l'information de tous les points de l'objet.

En effet, il n'y a pas de formation directe d'image.

Chaque point de l'objet renvoie sur tous les points de la plaque, un train d'ondes lumineuses qui sont mémorisées sous formes d'interférences lumineuses et donnent toutes les informations spécifiques à cet objet.

Il devient donc possible de briser un hologramme en deux de voir apparaître l'objet en entier à travers chaque morceau.



Bien entendu, si nous découpons une photographie, nous n'obtiendrons plus que des fragments d'objets. Ainsi, l'hologramme est comparable à une fenêtre au travers de laquelle on regarde un paysage. Si au lieu de contempler un paysage à travers une baie vitrée on le fait à travers une lucarne, le paysage reste le même : le champ de vision est seulement plus étroit.

QUELS SONT LES DIFFERENTS TYPES D'HOLOGRAMMES ?

Il y a deux principales catégories appelées **transmission** et **réflexion**, très faciles à identifier:

- la source de lumière est derrière l'hologramme de transmission,
- la source de lumière est devant l'hologramme de réflexion.

Tous deux peuvent présenter une image **virtuelle** (derrière le support), ou **réelle** (en avant dans l'espace).

LE LASER

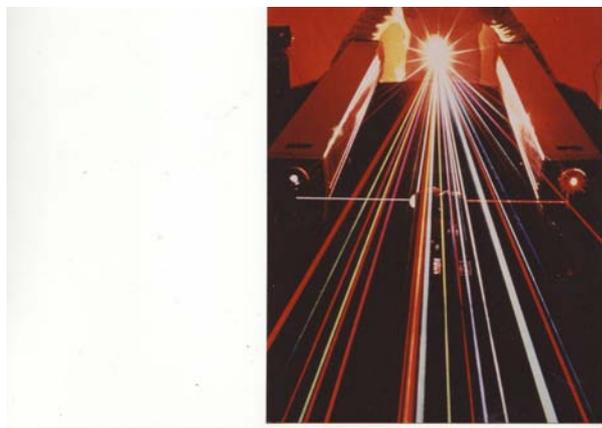
Le mot LASER est l'acronyme de « Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation » c'est à dire amplificateur de lumière par émission stimulée de radiation.

Les premiers lasers naissent dans les années soixante et trouvent très vite de multiples applications. Ils sont maintenant présents dans la vie quotidienne, dans nos lecteurs de disques compacts ou dans les lecteurs de codes barres des supermarchés.

Dans l'industrie, ils coupent, soudent et percent ; en chirurgie ils brûlent les parties malades sans altérer les parties saines ; et leurs faisceaux rectilignes servent à aligner des routes, à construire des immeubles (Tour Montparnasse)...

Les lasers servent aussi dans la télémétrie : en mesurant le temps mis par un faisceau pour l'aller et retour, on calcule la distance séparant la source laser d'un obstacle. Cette méthode a permis de calculer la distance de la terre à la lune.

Le premier laser était un laser à rubis qui fonctionne comme un flash, en quelques nanosecondes (milliardièmes de secondes). Il permet de figer le mouvement et donc de réaliser des portraits de personnages vivants, contrairement aux autres lasers utilisés en holographie, qui eux, fonctionnent en continu et exigent une stabilité absolue pour enregistrer un hologramme.



Le principe de base commun à tous les lasers est celui de l'émission d'une radiation par un atome.

Le rayonnement laser est produit dans un oscillateur en forme de tube qui comporte un miroir à chaque extrémité. L'un des miroirs est semi-transparent.

Le milieu actif peut être sous forme solide (rubis) liquide comme certains colorants, ou de gaz, tel le gaz carbonique. Les deux miroirs forment la cavité résonante qui augmente la puissance du rayon laser produit dans le milieu actif. La lumière laser qui se réfléchit entre les miroirs atteint alors une intensité suffisante pour traverser le miroir semi-transparent et émettre le faisceau laser.

ENREGISTREMENT D'UN HOLOGRAMME

Le laser émet un faisceau de lumière cohérente et monochromatique. Pour réaliser un hologramme, ce faisceau est divisé en deux par une lame séparatrice. Une partie est appelée le faisceau objet, l'autre le faisceau de référence.

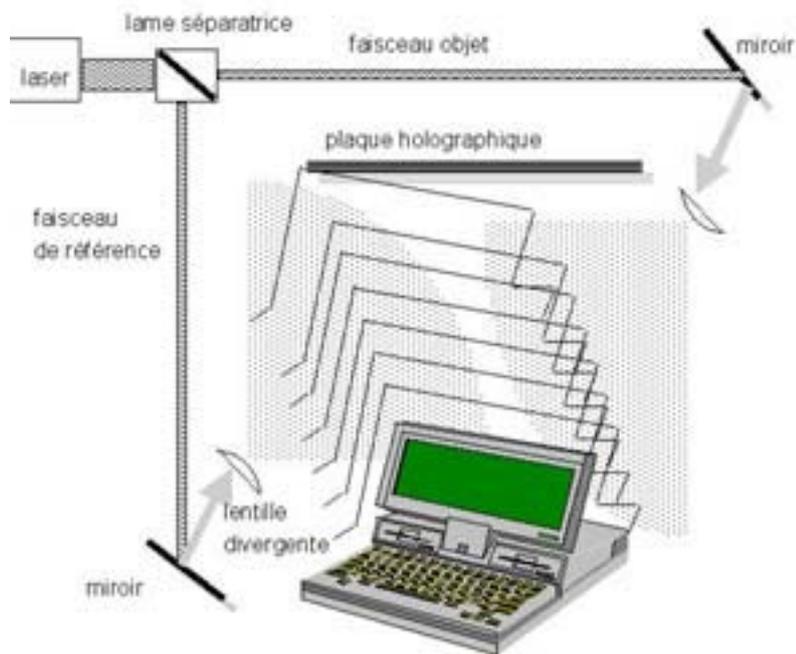
Le faisceau de référence, est agrandi par une lentille divergente puis dirigé à l'aide d'un miroir sur la plaque photosensible. Simultanément, le faisceau objet est agrandi par une autre lentille divergente puis dirigé par un miroir pour éclairer l'objet qui le diffuse sur la plaque.

Lorsque les ondes réfléchies par l'objet rencontrent les ondes du faisceau de référence, elles se combinent et forment un réseau de franges interférentielles. Aucune image directe de l'objet ne se forme mais c'est cette information d'interférences, mémorisée sur la plaque qui enregistre les caractéristiques de l'objet.



Main papillon, Ian GINN, 1992

Deux hologrammes ont été enregistrés sur la même plaque. On peut voir les mains fermées, puis ouvertes d'où s'échappe le papillon.



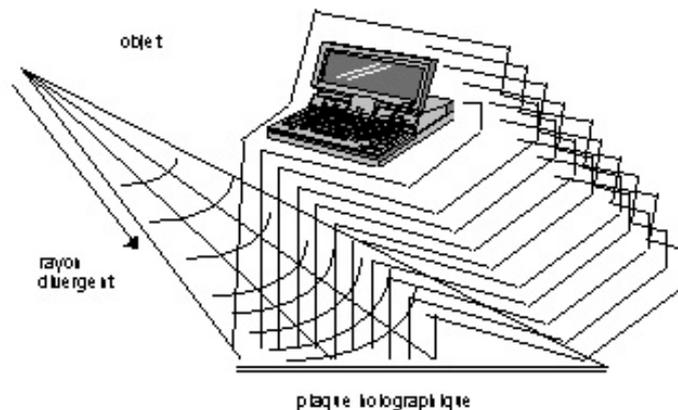
RESTITUTION DE L'IMAGE HOLOGRAPHIQUE

Après développement de la plaque, on obtient l'hologramme. En remettant la plaque sur le support et en l'éclairant avec un laser sous l'angle du faisceau de référence, on reconstruit le front d'ondes porteuses d'informations de l'objet et l'image holographique apparaît, en trois dimensions, flottant dans l'espace, exactement à la place de l'objet originel.

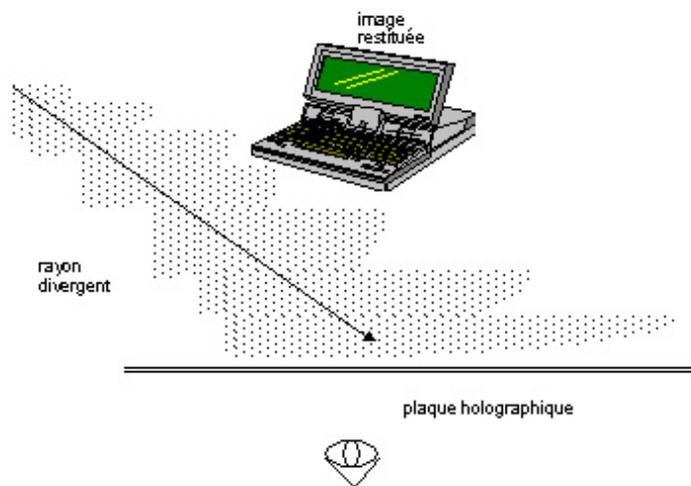
A partir de cet hologramme visible au laser, on réalise d'autres hologrammes visibles à la lumière blanche soit par réflexion (éclairage par l'avant), soit par transmission (éclairage par l'arrière) selon la direction du faisceau de référence.

L'hologramme de réflexion visible en lumière blanche

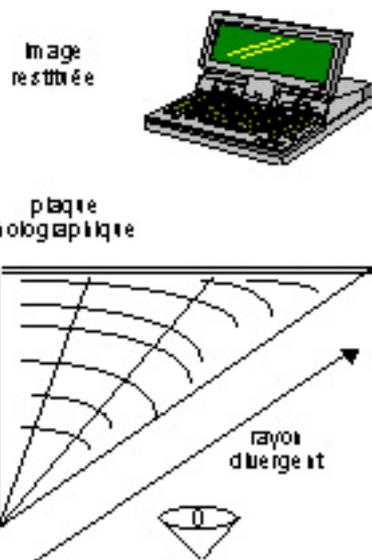
1 Lorsqu'on enregistre un hologramme de transmission, la source du faisceau de référence est située du même côté de la plaque que l'objet.



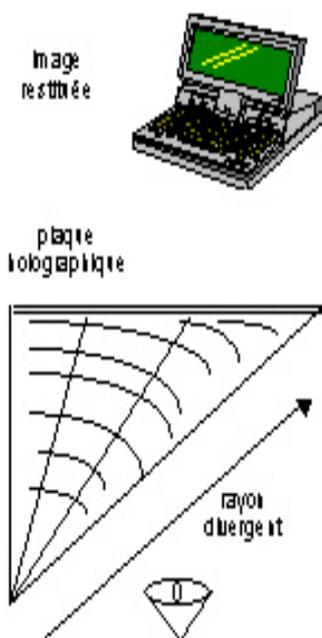
2 - Lorsqu'on observe un hologramme de transmission, la plaque est illuminée par un faisceau de lumière sous le même angle que le faisceau de référence lors de l'enregistrement. L'observateur est situé de l'autre côté de la plaque. La couleur dans laquelle l'image apparaît dépend de la couleur de la lumière utilisée pour cette restitution.



3 - Mais lorsqu'on réalise un hologramme de réflexion visible en lumière blanche, le faisceau de référence est situé du côté opposé de la plaque par rapport à l'objet.

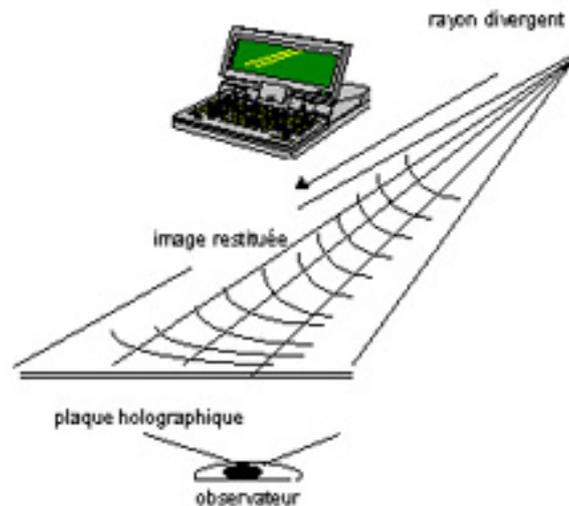


4- A l'observation, le faisceau de lumière est du même côté de la plaque que l'observateur. Cette plaque peut être éclairée avec une source de lumière blanche. Le dos de la plaque est généralement peint en noir pour donner un fond noir à l'image restituée.

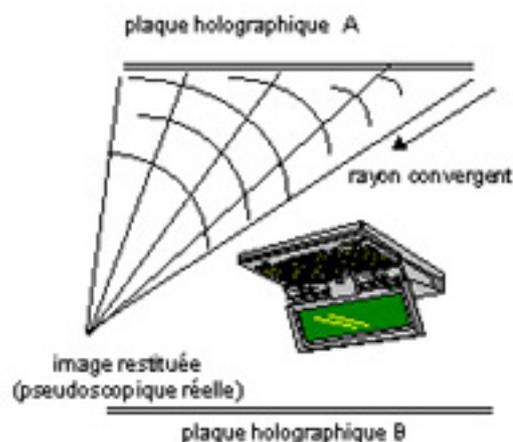


L'hologramme en image réelle

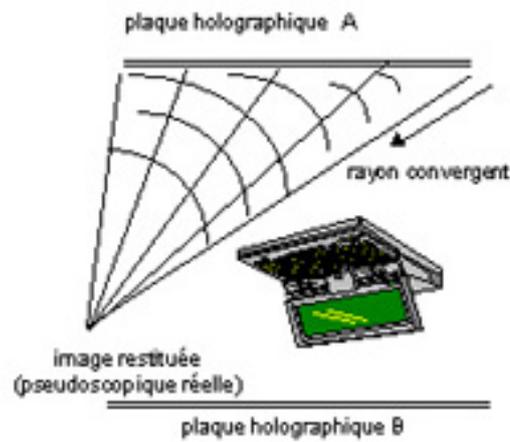
1 - Pour restituer l'image enregistrée, le rayon laser est dirigé sur la plaque, selon le même angle que le rayon de référence durant l'enregistrement. L'image de l'objet apparaît derrière la plaque, avec la même dimension, dans la même position et à la même distance de la plaque puisque la source de lumière utilisée pour l'enregistrement et la restitution est identique.



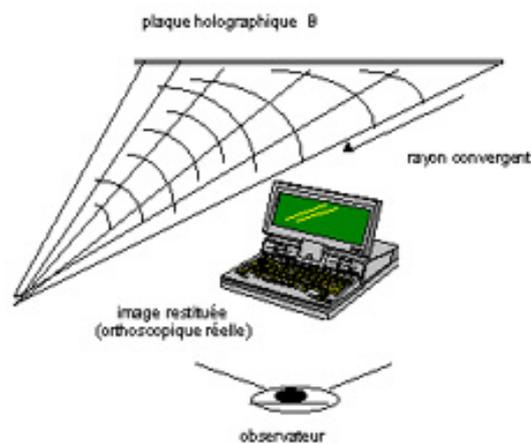
2 - Pour que l'image réelle apparaisse devant la plaque, l'hologramme est illuminé derrière la plaque - comme la réflexion d'un miroir. Comme l'hologramme est un enregistrement à trois dimensions, sa perspective est inversée et les objets situés à l'arrière apparaissent plus grands que ceux situés à l'avant. Cela s'appelle une image pseudoscopique (en relief inversé).



3 - Pour produire une image réelle dont la perspective soit identique à celle de l'objet, on utilise l'image pseudoscopique comme objet pour réaliser un second hologramme.



4 - Le second hologramme, flottant dans l'espace devant le spectateur, donne une réplique exacte de l'objet, c'est à dire une image orthoscopique.

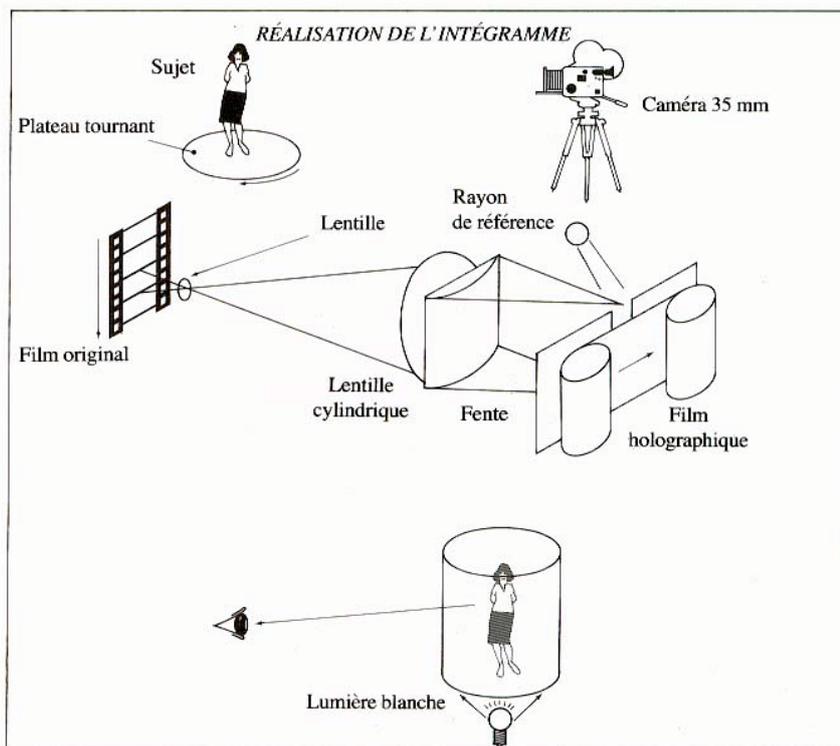


STEREOGRAMMES : LE RELIEF ET LE MOUVEMENT SUR 120° OU 360°



Le Baiser, portrait de Pamela Brazier, Llyod Cross, 1975

Les stéréogrammes sont réalisés à partir d'un film classique en 35 mm. Après développement, chaque image, traitée au synthétiseur laser, est transformée en une fine bande verticale.



Reconstruction de la séquence. Le personnage flotte dans l'espace.



L'image flotte dans l'espace

Le personnage, installé sur un plateau tournant, est filmé par une caméra. Pour des paysages ou des sujets impossibles à déplacer –telle la Vénus de Milo au Louvre ou les stations de métro Guimard- on installe un travelling latéral autour de l'objet. Le Musée a réalisé de nombreux films, y compris en hélicoptère autour des Pyramides de Gizeh en Egypte. Une série d'hologrammes originaux de l'Opéra de Pékin a été créée pour la première exposition d'hologrammes en Chine.

En se déplaçant latéralement, l'observateur reconstitue le mouvement par la succession des images, comme le fait le cinéma.

Cette technique, limitée dans ses dimensions et avec la contrainte de la présentation cylindrique est devenue inusitée. Maintenant, les stéréogrammes sont plats, car le travelling est latéral.



Dizzy Gillespie, stéréogramme réalisé avec un travelling latéral, 120 cm x 80 cm

La nouvelle génération d'hologrammes de ce type rend l'holographie compatible avec l'informatique et permet de réaliser un hologramme à partir d'une séquence vidéo ou numérique.

L'holographie digitale a été développée à la fin des années 90, indépendamment, à la fin des années 90, par Geola en Lituanie et Zebra aux USA tout comme l'holographie analogique avait été découverte, dans les années 60, par Emmeth Leith aux USA et Yuri Denisyuk en Russie.

Actuellement, l'holographie analogique est la haute définition, l'holographie numérique la basse définition.

LES APPLICATIONS DE L'HOLOGRAPHIE

Si l'holographie est longtemps restée une curiosité de laboratoire, elle entre à présent dans la vie courante tout en conservant des applications dans des domaines plus spécifiques.

L'imagerie holographique

- **Publicité** : les hologrammes estampés, grâce à un procédé de production de masse et un coût très bas, sont utilisés sur des disques, revues ou comme objets publicitaires.

Les grands hologrammes permettent des campagnes prestigieuses.

- **Muséographie** : des hologrammes de pièces rares ou fragiles, présentés lors d'expositions itinérantes développent les échanges internationaux. Le Sabre de Napoléon et le bâton du Maréchal Davout, exposés dans un musée russe depuis 1812, font partie des collections du Musée de l'Holographie.

- **Art** : les artistes s'intéressent à ce nouvel art visuel qui leur ouvre un passage de l'autre côté du miroir. Dès 1973, **Salvador Dali** réalise des hologrammes et écrit : « Une nouvelle Renaissance en art apparaît avec l'utilisation de l'holographie »

L'interférométrie holographique, implantée dans de nombreux laboratoires de métrologie, permet, en comparant l'hologramme d'un objet dans un état donné à l'hologramme de cet objet ou à l'objet lui-même dans un autre état, de mesurer et déceler les défauts de structures ou d'endurance.

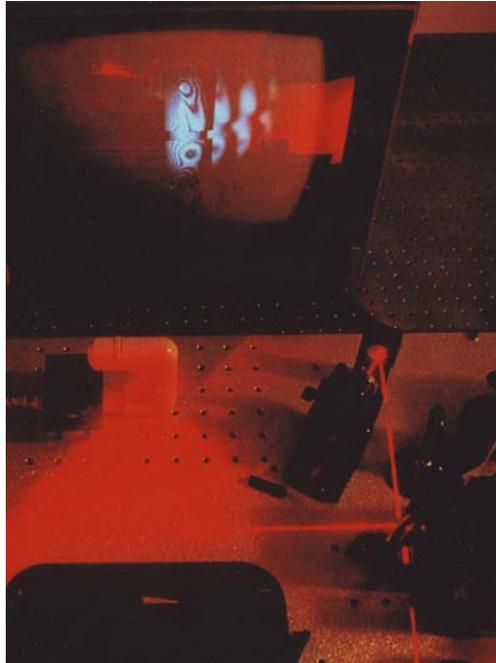
Fidèle, au micron près, à l'œuvre originelle, l'hologramme constitue aussi un document d'étude pour les conservateurs de musées.

Les différentes méthodes d'interférométrie :

- interférométrie en double exposition. Deux hologrammes sont réalisés successivement. Les franges d'interférence observées caractérisent la modification subie par l'objet entre les deux poses.
- Interférométrie moyennée dans le temps. Cette méthode consiste à enregistrer un hologramme d'un objet qui se modifie pendant l'exposition. Le système de franges obtenu décrit l'amplitude de la vibration de l'objet.

- Interférométrie en temps réel. Il s'agit cette fois de faire interférer l'objet avec son image holographique qui sert de référence» et permet de suivre les évolutions dans le temps.

Quelques applications de l'interférométrie



Les défauts de collage apparaissent sur l'écran vidéo

- contrôle de collage dans des propulseurs et des structures aéronautiques,
- détection et suivi de fissures lors d'essais d'endurance,
- application à la tribologie,
- conservation des œuvres d'art.

Stockage d'informations - Protection

Grâce à la propriété de redondance (une partie de l'hologramme contient, non pas un fragment de l'image mais la scène en entier) l'holographie est très utile pour le stockage d'informations.

Elle permet de plus :

- la réduction des risques de falsification : cartes de crédit,
- la surveillance des accès : badges holographiques,
- l'archivage : en dentisterie, par exemple, des stockages des moules,
- le remplacement des optiques classiques par des optiques holographiques,
- une capacité de traitement beaucoup plus rapide est prévisible à plus long terme dans les mémoires optiques, grâce au décodage à la vitesse de la lumière.

LE MUSEE DE L'HOLOGRAPHIE

Le Musée de l'Holographie a été créé le 25 mars 1980 pour promouvoir l'holographie, jusqu'alors inconnue du grand public français.

Le Musée s'est fixé comme missions essentielles l'information, la formation, la présentation des collections et l'organisation d'expositions tant en France qu'à l'étranger.

INFORMATION ET FORMATION

Depuis 1980, le Musée organise des stages d'initiation à l'holographie destinés au plus large public ainsi que des stages professionnels (interférométrie pour les industriels, technique du laser et spectacle vivant pour les éclairagistes et techniciens de théâtre).

LES COLLECTIONS

Les collections du Musée présentent une richesse et une diversité uniques : des centaines d'hologrammes provenant du monde entier, historiques et artistiques, dont des hologrammes géants visibles tant à la lumière blanche qu'à la lumière laser et une importante collection de reproductions holographiques d'objets du Musée de l'Hermitage et du Musée Historique de Kiev.

LES EXPOSITIONS

Outre les nombreuses expositions en France, le Musée de l'Holographie fait découvrir l'holographie dans de nombreux pays, toujours avec un fantastique succès. La première exposition d'hologrammes à Pékin en 1983 a accueilli quatre mille visiteurs par jour au Palais des Expositions.

Depuis, les collections du Musée ont fait le tour du monde avec près de **quatre cents** expositions sur les cinq continents.

Citons quelques expositions : Musée de l'Espace à Kourou, Centre Culturel Français de Cotonou (Bénin), Sala de Arte de Malaga (Espagne), Forum des Sciences de Villeneuve d'Ascq, Planétarium Strasbourg, Centre TNL Nice, Maison de la Mer Cavalaire, Grand Hornu (Belgique), Musée Carnavalet, Casino de Deauville, Espace des Sciences de Rennes, Musée des Sciences de Tartu (Estonie), Musée Stella Matutina (la Réunion), Musée National Canberra et Victoria Museum Melbourne (Australie), Cité des Sciences Tunis, Jardin Botanique de Cordoue et Journées d'Astronomies d'Almeria (Espagne)....

LA CREATION

En complément des hologrammes acquis pour les collections, des œuvres ont été créées dans le laboratoire du Musée avec de nombreux artistes. On peut citer ALEXANDER, Michael SNOW, Margaret BENYON, Jean GILLES, Josette RISPAL et Dominique MULHEM.

POUR EN SAVOIR PLUS

Visitez le site du Musée : www.museeholographie.com

Consultez aussi le site de l'Institut d'Optique : www.France-optique.org

Ecrivez-nous : info@museeholographie.com

La plupart des ouvrages en français accessibles au grand public sur l'holographie sont épuisés mais vous pouvez en consulter certains à la Médiathèque de la Cité des Sciences ou les acheter d'occasion.

- Hologrammes - Graham SAXBY- Ed. Masson , 1984
- Holographie – Chris Outwater – Ed. L'Etincelle, 1990

Vous pouvez aussi voir quelques hologrammes :

- à l'Exploradome www.exploradome.com
et au Palais de la Découverte www.palais-decouverte.fr

Pour les actualités et le programme des expositions itinérantes, consultez le blog : www.museeholographie.over-blog.com

Le Musée a quitté son implantation au Forum des Halles et cherche maintenant un partenaire pour créer le musée mondial de l'holographie.