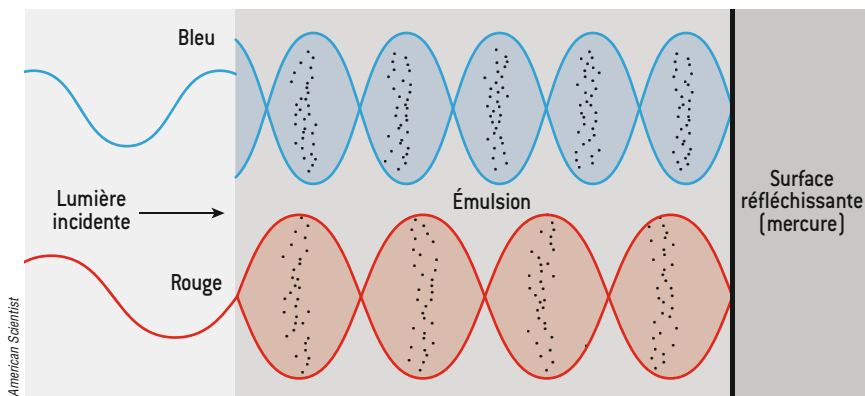
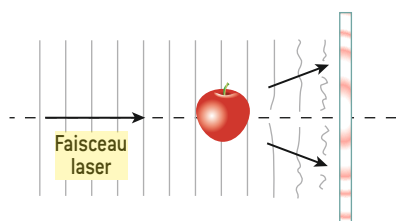


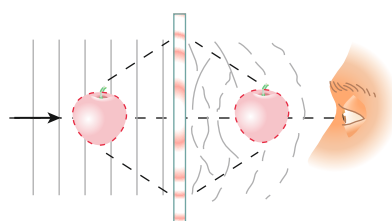


2. UN DES PREMIERS DISPOSITIFS DE PHOTOGRAPHIE EN COULEUR, inventé par Gabriel Lippmann, est fondé sur des interférences : la lumière de chaque couleur passe par une lentille, traverse l'émulsion photographique et se réfléchit sur une surface de mercure ; les interférences des ondes incidente et réfléchiée 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.

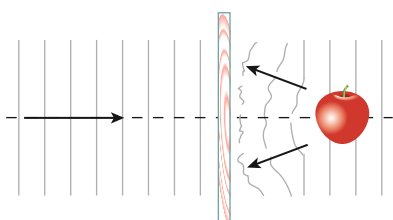
Enregistrement d'un hologramme de Gabor



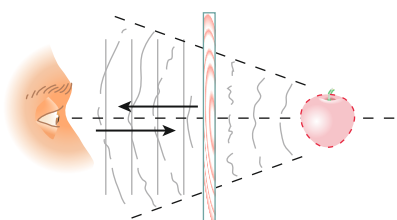
Reconstruction d'un hologramme de Gabor



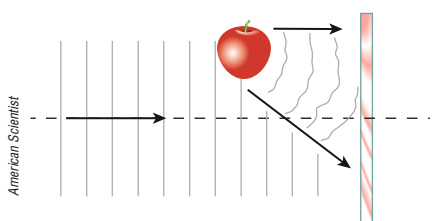
Enregistrement d'un hologramme de Denissiouk



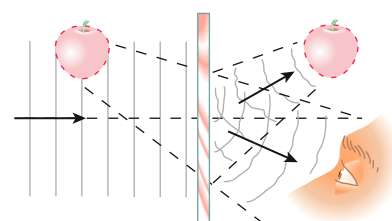
Reconstruction d'un hologramme de Denissiouk



Enregistrement d'un hologramme de Leith-Upatnieks



Reconstruction d'un hologramme de Leith-Upatnieks



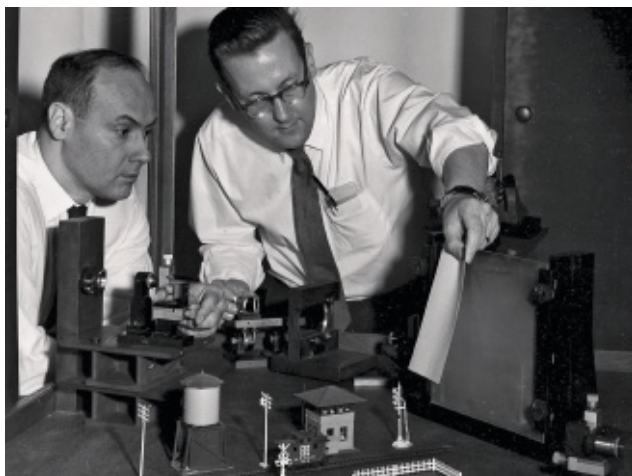
3. L'ENREGISTREMENT D'HOLOGRAMMES (à gauche) et leur visualisation (à droite) utilisent trois méthodes différentes. La lumière laser arrive par la gauche (les lignes verticales grises représentent les fronts d'onde, et la flèche la direction de propagation) et rencontre un objet qui diffuse la lumière (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



4. EMMETT LEITH ET JURIS UPATNIEKS (à gauche) ont créé l'une des principales techniques de réalisation d'hologrammes. Leur hologramme d'un train miniature (à droite), produit en 1965, était l'un des premiers de ce type à être vu par un large public. L'image était rouge en raison



du type de laser utilisé. Les plaques sur lesquelles les hologrammes sont enregistrés, d'abord minuscules, passent à une trentaine de centimètres de longueur et de largeur dans les années 1960, et montrent des objets de plusieurs mètres de profondeur.

enregistrer et à reproduire les caractéristiques complètes d'un champ d'ondes lumineuses. Il souhaite capturer un front d'onde (une surface d'égale phase) en un point arbitraire de l'espace, comme le fait l'œil humain, afin de visualiser une scène tridimensionnelle en couleur. Denissiouk finit par reprendre et généraliser certains aspects de la photographie de Lippmann. Il crée des ondes stationnaires dans une émulsion photographique en faisant interférer la lumière incidente avec celle qui est réfléchie par l'objet (voir la figure 3). Il enregistre ainsi le front d'onde lumineux, sous forme d'un motif d'interférences, en utilisant de la lumière monochromatique. Le motif enregistré peut ensuite réfléchir la lumière pour recréer le front d'onde.

Le dispositif de Denissiouk a l'avantage d'éviter les images superposées de Gabor, mais il est confronté à des problèmes pratiques similaires. Il a besoin de lumière cohérente, c'est-à-dire dont la phase est assez régulière pendant le temps d'exposition pour que des interférences se produisent. Or les sources disponibles sont peu lumineuses et insuffisamment cohérentes. En conséquence, il ne parvient à enregistrer que des images d'objets faisant moins d'un millimètre d'épaisseur. En outre, il pense-à tort- que ces objets doivent être très réfléchissants. Il n'enregistre donc que des images de miroirs très minces-qui réfléchissent la lumière de la même façon que l'original, de sorte qu'un homme qui regarde l'image voit non seulement le miroir, mais aussi sa propre figure reflétée-ou d'objets de ce type. Ses contemporains rejetant à la fois sa théorie et ses résultats,

Denissiouk se tourne vers d'autres travaux au début des années 1960.

La troisième idée novatrice est encore moins liée à l'optique classique. Dans les années 1950, aux Laboratoires Willow Run (dédiés aux contrats militaires) de l'Université du Michigan, le jeune ingénieur électricien Emmett Leith travaille à la conception de nouveaux radars. Leith cherche des méthodes pour traiter les données de ce qu'on nommera plus tard le radar à visée latérale ou à synthèse d'ouverture. Ce radar émet des ondes électromagnétiques et capte leurs échos multiples grâce à une antenne aérienne. Les données enregistrées sur une pellicule ressemblent aux figures d'interférences des hologrammes. Elles sont ensuite combinées et traitées pour créer une image du terrain.

Une nouvelle science appliquée

Pour ce faire, un système électronique complexe est imaginé, où le signal doit être enregistré sur bande magnétique et filtré analogiquement, grâce à des condensateurs, des bobines d'inductance et d'autres composants électriques; un recours aux ordinateurs numériques assez primitifs qui commencent à être disponibles à cette époque est aussi envisagé. Mais entre 1954 et 1959, Leith et ses collègues conçoivent une nouvelle solution, utilisant un système de traitement optique. Ils mélangent la théorie de l'optique physique à celle des télécommunications, qui s'est développée après guerre, pour créer une science appliquée nouvelle et puissante (aussi explorée indé-

pendamment par une poignée de chercheurs français).

À l'époque, la sûreté militaire empêche la publication de leurs résultats. Leith écrira plus tard : « En réalité, l'holographie n'était pas en recul dans la période 1955-1962, comme on pourrait le croire à tort au regard de la littérature publiée. D'une certaine façon, elle était devenue clandestine. » Pendant son temps libre, Leith continue à explorer la nouvelle science appliquée, en particulier après avoir découvert les travaux de Gabor. En 1961, avec son collègue Juris Upatnieks, il élabore une méthode pour encoder, puis reconstruire une image sur un transparent photographique par le processus d'hologramme en deux étapes. Ils résolvent le problème des images superposées en s'inspirant des sciences de la télécommunication (de même que les communications radio reposent sur des ondes qui varient dans le temps, l'information holographique est fondée sur des motifs holographiques variant spatialement). Le motif d'interférences de l'hologramme résulte du mélange de deux signaux, une onde de référence (l'onde monochromatique de départ) et une onde échantillon (issue de la diffraction ou de la réflexion de l'onde de référence par l'objet). En décalant le faisceau de référence et celui d'échantillon afin qu'ils ne soient plus parallèles, les chercheurs réussissent à séparer les deux images : lors de la visualisation, on observe soit l'une, soit l'autre, en fonction de l'angle de vue.

La méthode de Leith et Upatnieks est nommée photographie sans lentille par l'Institut américain de physique. Dans un