

Une technologie optique aux mille visages

# L'holographie prend du relief

Des images plus vraies que nature, votre vidéothèque sur un CD ou des films sur votre mobile... Grâce à ses applications nouvelles, l'holographie veut en finir avec son image de gadget.

**Tout ne va pas si vite** dans notre monde moderne. Prenez l'holographie : cela fait cinquante ans qu'on en parle (un prix Nobel de physique a été accordé à Dennis Gabor en 1971 pour ses travaux réalisés à la fin des années 1940), et pas grand-chose à se mettre sous les yeux. De petites pastilles brillantes qui changent au gré de l'orientation de notre regard sur les cartes bancaires ou les billets en euros ; quelques expositions donnant l'illusion de la troisième dimension sur des objets aux couleurs verdâtres ou rougeâtres ; des expériences en travaux pratiques de physique pour les

plus scientifiques d'entre nous, c'est à peu près tout. Jusqu'à ce que l'actualité redonne du lustre à cette discipline.

Trois grandes innovations arrivent en effet à maturité. D'abord, il y a ces fameuses mémoires de grande capacité qui commencent à être opérationnelles et promettent dans dix ans de faire tenir sur une galette de la taille d'un CD plus d'une centaine de films vidéo. Ensuite, il y a cette révolution technique et artistique qui permet de contempler des hologrammes en couleur, en profondeur et dans toutes les directions grâce à l'invention d'un Français, Yves

Gentet (*lire p. 84*). Enfin, dans son face-à-face avec la photographie, l'holographie se devait de passer au numérique. C'est chose faite avec des applications étonnantes : écran de télé en trois dimensions, textiles aux couleurs changeantes, imagerie industrielle ou médicale, gravure de circuits imprimés, etc., la synthèse numérique d'hologrammes ne sait plus où donner des yeux !

En attendant ces bouleversements, l'holographie s'est glissée un peu partout. Subrepticement. Dans des lecteurs de CD ou de DVD, des éléments optiques, sur lesquels des hologrammes sont

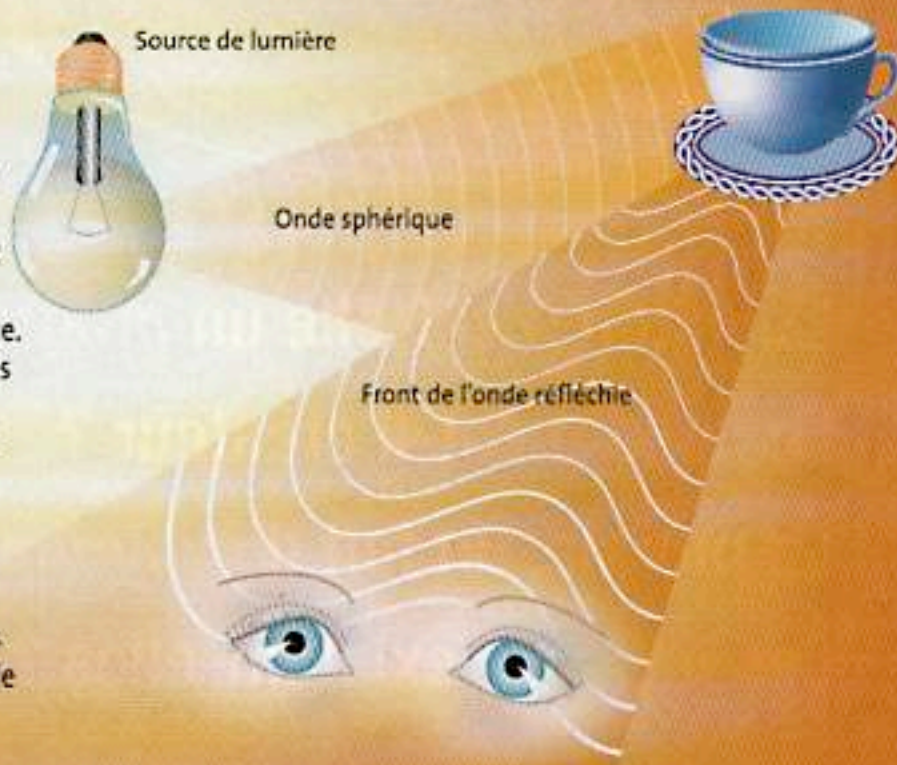
gravés, remplacent les habituels prismes et lentilles qui guident la lumière. Sur des écrans de téléphone portable, des hologrammes rehaussent le contraste. Les viseurs dits tête haute de l'avion de combat Rafale, qui permettent au pilote de lire son tableau de bord directement sur la vitre du cockpit, sont aussi obtenus grâce à des hologrammes. Les pointeurs lasers que les touristes affectionnent et qui projettent des cœurs, des flèches ou des tours Eiffel possèdent des hologrammes. Tout comme certains scanners qui lisent les codes-barres aux caisses des supermarchés.

Finalement, l'holographie, ce n'est pas que de la 3D. Alors qu'est-ce que c'est ? L'hologramme est un piège de lumière. De toute la lumière (en grec, *holos* signifie « entier », « tout »). Il enregistre aussi bien son intensité, sa longueur d'onde ou sa couleur que sa « direction », autrement appelée phase. En



## 3D, front d'onde et hologramme

Une source lumineuse envoie une onde sphérique dans tout l'espace : à égale distance de la source, l'onde est identique. Puis elle se réfléchit sur l'objet. Le front d'onde est perturbé et n'est plus sphérique. Nos deux yeux ne reçoivent pas la même information et le cerveau reconstitue le relief. Un hologramme enregistre la totalité du front d'onde de la lumière : amplitude ou intensité, longueur d'onde ou couleur, phase ou direction des rayons. En restituant l'ensemble de cette information, il reconstruit le relief.





## Le choc des couleurs

Ceci n'est pas un clown ! Mais un hologramme imprimé sur une plaque d'un centimètre d'épaisseur. Yves Gentet (voir p. 88) a été récompensé pour cette œuvre qui redonne du lustre à l'holographie. Son frère Philippe avait trouvé le modèle aux puces de Bordeaux.



## Propriétés multiples

**Tout-en-un.** Une photographie n'enregistre que l'intensité de la lumière et, indirectement, sa couleur. Un hologramme capture tous les paramètres de l'onde, et en particulier la phase, qui est plus ou moins reliée à la direction des rayons lumineux.

**Spacieux.** Sur un même support, plusieurs hologrammes sont enregistrés en changeant

l'angle du laser. Les motifs ne se mélangent pas. Un millier de gigaoctets d'informations (soit un téraoctet) serait stockable sur un CD.

**Incassable.** L'information que l'on voit sur un hologramme n'est pas écrite là où on la voit : elle est partout. En cassant en deux un hologramme, on peut encore voir la scène entière sur les deux morceaux mais avec deux angles de vision différents.

**Précis.** L'hologramme enregistre des interférences lumineuses. Le moindre mouvement de l'objet au cours de l'enregistrement est fatal.

**Vraies couleurs.** Les couleurs d'un hologramme ne proviennent ni de pigments ni de filtres mais des réseaux d'interférences enregistrés, comme pour les ailes de certains papillons ou l'irisation à la surface d'un CD. □

comparaison, une photographie n'enregistre que l'amplitude et la couleur d'une lumière. Et encore, pour restituer la couleur, doit-elle faire appel à des filtres et des mélanges des trois couleurs primaires. Un hologramme enregistre lui les vraies couleurs. En fait, cette technique sait différencier une onde sphérique – créée par une source ponctuelle –, et une onde plane – créée par une source étendue ou très éloignée – ou tout autre front d'onde biscornu (voir le sché-

ma p. 84). Mais surtout, l'hologramme, une fois rééclairé restitue fidèlement ce front d'onde. D'où son intérêt dans tout ce qui touche à l'optique, depuis la technologie jusqu'aux illusions.

Ces incroyables propriétés fascinent tant que des modèles cosmologiques se demandent si notre Univers n'est pas lui-même un hologramme. En attendant d'en percer les secrets, découvrons des parcelles de l'univers des hologrammes.

David Larousserie





L'inventeur Yves Gentet et son autoportrait holographique.

## Des copies en couleur fidèles à l'original

Grâce à un inventeur français, fini le temps des hologrammes monochromes. A quand la photo en relief ?

**Vous avez** beau avoir été prévenu, lorsque vous entrez dans le laboratoire d'Yves Gentet, c'est le choc ! Au mur, un échantillon de ce qui se fait de mieux en matière d'hologrammes « artistiques » : des objets en volume, de grande profondeur, en vraies couleurs, et visibles de face aussi bien que de côté. Si ce n'était le cadre peu épais, on croirait même des vrais. Figurines Playmobil, bouteille d'Orangina, montres Swatch, masque égyptien embellissent les murs. L'un deux, un clown, qui a reçu en 2001 le prix du plus bel hologramme, est particulièrement impressionnant. On voit des reflets sur sa boutonnière et on « plonge » à l'intérieur de sa bouche ouverte.

« Depuis trente ans, les gens attendaient ça », témoigne l'inventeur qui, après avoir travaillé pour l'industrie aéronautique, a

monté son laboratoire indépendant à Bordeaux. Il ajoute : « Lorsque j'ai présenté ce travail en 2000 à une conférence sur l'holographie, en Autriche, les participants ont applaudi. Après ma prestation, qui avait lieu le premier jour de la manifestation, le responsable a lancé comme une boutade "la conférence est finie !" »

Visiblement, Yves Gentet est satisfait : depuis cette conférence les visiteurs du monde entier défilent, son site Internet\* est assailli de commandes. Une revue spécialisée le conseille même dans une liste de fournisseurs aux côtés d'Agfa, Konica et autres sociétés ayant pignon sur rue. Et, rançon du succès, on lui a volé des hologrammes lors d'expositions ! C'est dire la qualité de sa recette, baptisée Ultimate. Du coup il n'arrive plus à fournir et envisage de sous-

traiter la fabrication manuelle et répétitive à une entreprise canadienne.

Mais le succès d'Yves Gentet ne se résume pas à une émulsion miracle. En fait, il fabrique trois « produits » : les plaques enduites de son émulsion, les hologrammes en couleur fabriqués par ses soins et l'Holomaton, sorte de photomaton pour se faire tirer le portrait en 3D en

deux heures (mais pas encore en couleur). Cet artiste-chercheur-inventeur n'est pas qu'un chimiste qui aurait trouvé une formule magique. Il est aussi opticien (il a travaillé sur les viseurs tête haute du Rafale), lasériste – il a fabriqué lui-même certains des lasers nécessaires à son travail –, mécanicien – toutes les machines sont faites maison : l'Holomaton mais aussi celle qui étale les émulsions sur les plaques, et sa toute der-



**Aussi irisés et fins que des vrais ! Avec l'Ultimate, fini les teintes verdâtres qui caractérisent habituellement les hologrammes. Même avec un regard placé à 180°, ces papillons crèvent l'écran.**

nière, un système compact et portable pour holographier en couleur sur place les objets. Il a bien besoin de cette dernière trouvaille car ses clients sont souvent des conservateurs de musée qui ont vite compris qu'ils



disposeraient ainsi d'un double fidèle de l'œuvre, facile à transporter et à conserver.

Un des rêves de cet inventeur serait de fabriquer un double des peintures de Lascaux. Les collectionneurs de papillons ou d'autres insectes sont aussi de bons clients. L'émulsion est si sensible qu'elle permet d'utiliser des lasers très peu intenses, qui ne brûlent pas les ailes fragiles des lépidoptères et ne les font pas bouger. Mieux, Yves Gentet arrive à reproduire les effets optiques naturels irisés qui sont à l'origine de la couleur des ailes de certains papillons. Une chimiste qui possédait un de ces hologrammes papillons a même entendu un confrère lui dire lors d'un congrès : mais que faites-vous avec cette boîte d'insectes ? Il l'avait prise pour une vraie.

D'autres clients sont des amateurs qui ont le sentiment d'acquiescer une pièce historique comme le premier daguerréotype, ou le premier film. Enfin, d'importants industriels commencent à pointer le nez pour des applications assez éloignées de



l'art pour l'art, mais l'inventeur n'en dira pas plus... Et lorsqu'on lui demande quelle est l'étape suivante, il répond que son rêve est réalisé, « c'est au point. L'Ultimate est mon idéal ».

L'histoire de ce chercheur, isolé pendant dix ans, qui développe un procédé et une technique de pointe que le monde entier lui envie a tout d'un conte de fées. Et si aujourd'hui une expulsion le guette, car le mécène qui l'héberge, EDF, menace d'abandonner, par ailleurs une université canadienne lui tend les bras. □

\*perso.wanadoo.fr/holographie

# Contrefaçon interdite

Des billets aux cartes de paiement, l'hologramme certifie l'authenticité. Car il est tout bonnement impossible à copier.

La sécurité est le seul domaine dans lequel l'holographie en est au stade industriel. Hologram Industries, l'une des cinq entreprises spécialisées dans cette branche est installée en France depuis 1982. Ses hologrammes sont présents sur les cartes bancaires, les cartes d'identité ou les billets de banque en euros. La croissance de son chiffre d'affaires a atteint près de 30 % en 2002 par rapport à 2001. L'entreprise a décroché l'an dernier un

contrat avec la firme Kodak pour authentifier ses pellicules photo. L'intérêt des hologrammes dans ce domaine est double. D'une part, ils sont impossibles à dupliquer car « imprimés » en volume, d'autre part, ils présentent des effets optiques (la figure change selon l'inclinaison du regard), eux aussi non copiables.

Pour l'anecdote, les œuvres d'Yves Gentet (*lire ci-contre*) sont bien sûr protégées par la technique holographique. L'inventeur prend soin d'« holographier » sa signature en même temps que l'objet. Résultat : si son nom n'apparaît que dans un coin du cadre, grâce à l'holographie, il se retrouve partout et impossible à faire disparaître.



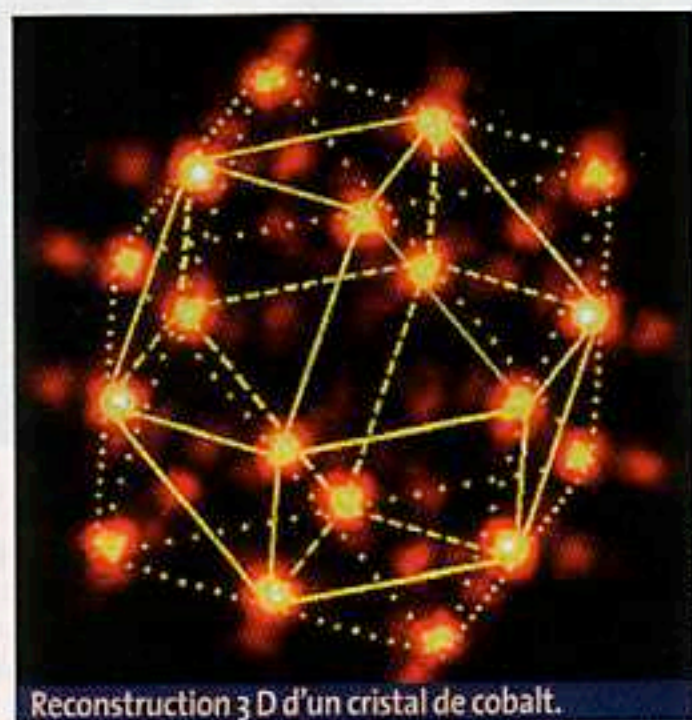
Dans le cas du stockage sur mémoire holographique, la technique contient en elle-même sa propre protection des données inscrites. Aujourd'hui, sur un CD, un disque dur ou encore une disquette, la protection des données passe par le cryptage des documents qui n'est qu'une opération mathématique agissant sur les bits d'informations stockées. Au contraire, dans le cas de l'holographie, le cryptage peut se faire pendant l'écriture. Le choix d'une longueur d'onde, d'un angle ou d'une phase de l'onde différents modifie les données. Inversement, pour lire, il faut être exactement dans la même configuration que pour l'écriture. Cette multiplicité de paramètres est un gage de sécurité.

En attendant ces mémoires, dans le groupe de Jean-Claude Grossetie, un algorithme a été développé pour crypter n'importe quel document en s'inspirant de l'holographie. En fait, le fichier numérique à protéger est transformé en un autre fichier qui est l'hologramme numérique du premier. Inverser l'opération n'est pas facile pour qui ne possède pas la solution. □

# Voir les atomes

Enregistreur d'interférence, l'hologramme peut fournir une image en 3D des molécules.

L'holographie sert aussi à percer les secrets de la matière en dévoilant la position des atomes dans une molécule. Sa précision est redoutable, de l'ordre de l'angström, c'est-à-dire de la taille d'un atome. Mais la technique ne fonctionne que depuis 1996 et comme pour les mémoires holographiques, elle n'a pas encore totalement supplanté les techniques existantes. Le principe est toujours le même, enregistrer les interférences entre deux rayons, l'un ayant été perturbé par l'objet et l'autre non. Ici les rayons sont des rayons X ou bien des faisceaux d'électrons, tandis que l'objet est une molécule constituée d'une certaine d'atomes, par exemple. En arrivant sur la molécule, les rayons X diffusent sur les différents atomes et après plusieurs rebonds dans la molécule sortent et interfèrent avec la partie qui n'a pas traversé la molécule. L'interférence enregist-



Reconstruction 3D d'un cristal de cobalt.

trée est alors un hologramme qui fournit l'image tridimensionnelle de la molécule. L'objectif est d'identifier des structures inconnues ou bien de repérer des sites actifs sur des molécules biologiques.

David Larousserie