

HOLOGRAPHIE

La compréhension du principe de la photo, argentique ou numérique ne relève pas de l'ésotérisme; on se contente de savoir que l'image n'est que la copie de la réalité par le biais d'une lentille (l'objectif) sur le damier de pixels d'un capteur numérique ou le damier de cristaux d'halogénure d'argent d'une pellicule argentique.

Le résultat est aussi facilement compréhensible que la formation d'une image sur les cellules rétinienne.

S'il fallait comprendre l'enregistrement d'une bande son sur une piste gélatineuse d'un magnétophone il en serait tout autrement; le son y est transcrit sous une forme codée; la compréhension du phénomène est alors un peu plus complexe et passe par une connaissance un peu pointue du domaine électromagnétique.

Malgré tout il est assez facile d'en proposer une explication vulgaire reposant sur les aimants bien connus de tout le monde.

Dans le cas de l'holographie, soit on se borne à parler d'un enregistrement codé sur une pellicule argentique (encore une fois gélatineuse), soit on fait appel à un arsenal de formules mathématiques franchement ésotériques.

Par le développement suivant j'ai voulu vulgariser le principe, sans la moindre concession, à travers la connaissance intime de la lumière.

Comme l'étymologie le laisse entendre, l'holographie est un procédé permettant de restituer l'intégralité du message de la lumière.

La réalisation d'un hologramme n'est pas une entreprise de tout repos.

Si elle reste abordable sur le plan financier, elle exige néanmoins beaucoup de rigueur et une connaissance théorique indispensable; c'est essentiellement ce point qui sera développé ici.

Le lecteur trouvera dans des ouvrages spécialisés les informations pratiques.

On retrouve les deux étapes d'enregistrement et de restitution

I- Intégralité du message lumineux ?

Contrairement aux procédés développés dans les chapitres précédents qui ne sont en fait que des artifices permettant de traduire la perspective sur un plan, par l'holographie c'est l'essence même de la lumière qui est saisie, plus exactement, codée sur un support photosensible : la pellicule utilisée ne se distingue que par une sensibilité supérieure associée à une très haute définition lui permettant de séparer jusqu'à 5000 traits par mm

Il suffira, ce n'est pas un euphémisme, de procéder au décodage.

L'enregistrement d'un son sur une piste magnétique gélatineuse relève du même procédé : ce n'est pas en approchant l'oreille de la bande que l'on entendra le son !

Dans le cas de l'holographie on verra que la restitution est particulièrement simple.

Que sous-entend le terme « intégralité » ?

La lumière est en fait une onde , disons une grandeur qui se propage et qui vibre , une onde progressive . Les impressionnistes ne sont pas les seuls pour lesquels la lumière vibre. La découverte de cette propriété de la lumière date du milieu du 19^{ème} siècle.

L'holographie met à profit cette propriété de la lumière.

L'image qui illustre le plus simplement cette propriété est l'aspect de la surface de l'eau résultant de la chute uniforme d'un chapelet sur un plan d'eau :on voit alors un ensemble de rides circulaires qui se propagent à vitesse uniforme et séparées d'une distance constante égale à la longueur d'onde .

Que l'on s'imagine alors une situation analogue dans les trois dimensions en remplaçant le chapelet par une source vibrante

ponctuelle (petit haut-parleur) placée au sein du volume et l'on aura une idée très précise de ce qu'est l'onde lumineuse.

Les seuls points de différence étant, d'une part, la vitesse de propagation (1500m/s pour les ondes acoustiques dans l'eau 300000km/s pour les ondes lumineuses dans l'air) et d'autre part la nature de la perturbation .

Ce dernier point est le plus difficile à imaginer : alors qu'une onde acoustique dans l'air résulte de compression d'air de proche en proche, l'onde lumineuse peut se propager dans le vide . Pour la suite de l'explication on retiendra que cela n'affecte pas la bonne compréhension et ce n'est certes pas en précisant que c'est un couple champ électrique-champ magnétique qui se propage que l'on aura une idée plus palpable du phénomène.

Ainsi si l'on veut capter le message lumineux il faudra enregistrer cette onde.

L'affaire se complique du fait que cet enregistrement doit tenir compte du temps puisqu'un instantané du phénomène de propagation le prive de son essence.

Voyons dans le détail l'astuce utilisée en étudiant dans un premier temps l'hologramme d'un point.

II-Hologramme d'un point

Le titre prête à sourire s'agissant de restituer le relief d'un point. Il s'agira avant tout de restituer sa position dans l'espace .

Quelques détails préalables sur les ondes (image des ondes à la surface des liquides) :

La distance qui sépare deux crêtes de vague successives est la distance parcourue par l'onde pendant une période T de la source vibrante ; on la note λ .

La période T étant la durée séparant l'émission de la perturbation et son renouvellement à l'identique.

Dans le cas de l'image du chapelet, c'est la durée constante qui sépare le contact deux grains successifs avec l'eau .

Si c est la vitesse de la lumière alors $\lambda=cT$.

Lorsque deux crêtes se rencontrent les perturbations s'ajoutent algébriquement; les "vagues scélérates" ne me contrediront pas.

Deux maxima se traduiront par une amplitude deux fois plus importante ; dans le cas d'une crête et d'un creux de mêmes amplitudes ,on n'observera aucune

perturbation du milieu.

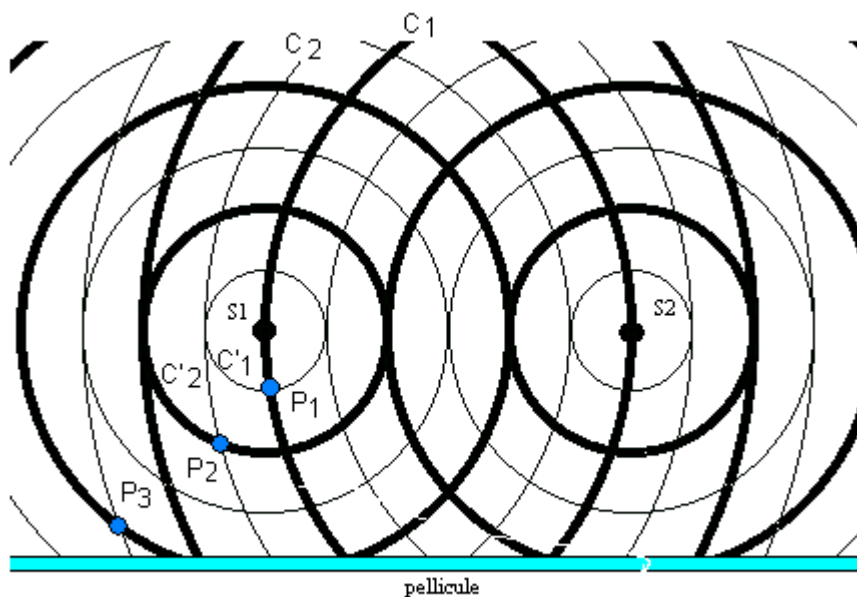
Phénomène d'interférence

Le document suivant illustre les conséquences de ces deux propriétés dans le cas où l'on fait interférer deux ondes issues de deux sources ponctuelles S1 et S2 .

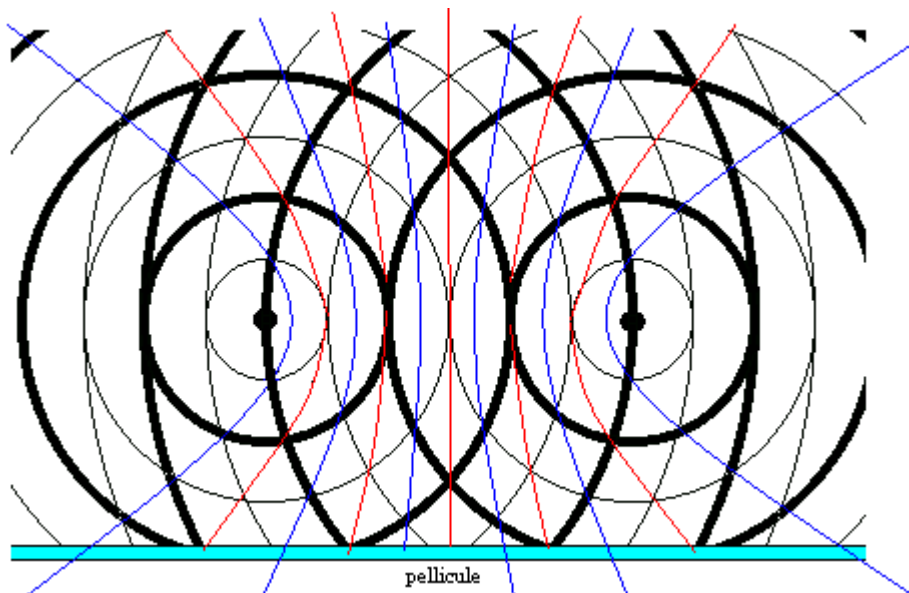
Les creux sont représentés en traits fins et les crêtes en traits épais.

L'ensemble est un instantané de la situation : il faut donc imaginer que des deux sources prennent constamment naissance des ondes circulaires.

Ainsi le point P1 , intersection d'une crête et d'un creux, point d'immobilité, se retrouvera une demi période plus tard en P2 tandis que la ride C1 arrivera en C2 et la ride C'1 en C'2



Etendu à toute la surface du liquide on observera alors des lignes d'immobilité (calme plat) en bleu et des lignes de maximum d'amplitude. Toutes ces lignes (des hyperboles) sont alors fixes.



Il est facile de se convaincre de cette réalité en réalisant l'expérience : il suffit de faire vibrer une fourche à la surface d'un liquide et observer alors l'état de la surface entre les deux branches ; en guise de vibreur on utilisera éventuellement une brosse à dent électrique à pile.(pour des raisons évidentes de sécurité).

L'interférence des ondes lumineuses procède de la même démarche : les lignes précédentes seront alors des lignes d'obscurité ou de maximum de lumière : on peut donc dire que dans ces conditions, lumière+ lumière= obscurité !

Si ce résultat va à l'encontre de la réalité quotidienne c'est à cause de la nature de la source lumineuse utilisée ; la lumière naturelle est en fait constituée d'un ensemble de radiations de couleurs différentes s'étalant du rouge sombre au violet comme le montre le premier arc-en-ciel venu.

A chaque couleur correspond une longueur d'onde λ bien définie ; par suite, pour observer l'addition précédente il importera que la longueur d'onde soit stabilisée : on utilise pour ce faire un laser qui émet une lumière cohérente (stabilisée et monochromatique).

Ces préliminaires sont suffisants pour aborder le problème de l'enregistrement.

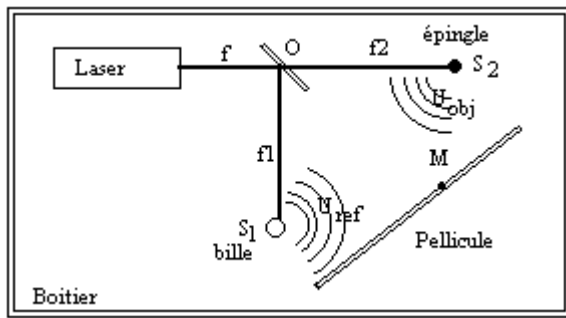
A-Enregistrement.

A l'aide d'une simple lame semi-transparente(vitre) le faisceau , f , émis par un laser est dédoublé en deux faisceaux f1 et f2.

f2 vient éclairer un objet ponctuel S_2 (tête d'épingle).f1 éclaire une bille de roulement à bille , S_1 , (excellent fini optique)de 5 mm de diamètre.

Après réflexion et diffusion , S_2 devient une source ponctuelle émettant une onde sphérique ponctuelle aussi appelée onde objet , notée U_{obj} .

Après réflexion sur S_1 , f1 s'étale en une onde pratiquement sphérique, aussi appelée onde de référence et notée U_{ref} .



Cette pellicule reçoit simultanément U_{ref} et U_{obj} . L'ensemble tient dans un boîtier rigide et à l'abri des vibrations.

La pellicule ne sera pas uniformément éclairée : Elle enregistrera les points d'intersection des hyperboles précédentes (des hyperboloïdes plus exactement).

Soit M un point de la pellicule, pour que M soit un point d'obscurité, si λ est la longueur d'onde émise par le laser il faut que $MS_1 - MS_2$ soit égal à un nombre impair de fois la demi-longueur d'onde (si en S1 et S2 les sources secondaires sont en phase).

La pellicule est ainsi tapissée d'un ensemble de ces points.

L'observation au microscope(x60) d'un hologramme rappellerait plutôt un tissu pied de poule et n'a rien à voir avec un autostéréogramme; il est vain de tenter le décoder à l'œil nu. Il n'est que la conséquence d'une « collision » de lumière..

Alors, comment décoder le message sinon en remontant à la source ?

B-Restitution

Au bout d'une vingtaine de secondes d'exposition on éteint le laser (0,5mW) et on développe la pellicule :les parties obscures apparaissent alors en transparent et les parties éclairées en noir.

Les points d'obscurité laissent donc la place à des zones ponctuelles transparentes sur la pellicule développée.

On remet alors en place la pellicule dans le boîtier au même endroit que lors de l'exposition ;on supprime S₂ et on dispose un cache sur le trajet f₂.

f₁ génère à nouveau U_{ref} .

Il faut mentionner à ce stade un phénomène déterminant et caractéristique des ondes :

Le phénomène de diffraction :

Si nous éclairons un trou de dimension assez grande par une source ponctuelle on peut facilement observer sur un écran situé de l'autre côté du trou une tache lumineuse homothétique de la forme du trou.

Il n'y a là rien de surprenant ; mais si les dimensions du trou deviennent très faibles (trou d'épingle) on peut observer de l'autre côté de la source un cône de lumière qui s'étale bien au delà de celui envisagé et qui reste de la même couleur (la longueur d'onde n'est pas modifiée).

Ce résultat, de par le caractère symétrique de la répartition de lumière observée, n'est pas à mettre sur le compte de quelques réflexions parasites sur les bords plus

ou moins ébréchés du trou. C'est un résultat strictement lié au caractère ondulatoire de la lumière.

Si nous revenons donc à l'exposition de la pellicule développée, on comprendra alors que chaque zone ponctuelle transparente soit le siège du phénomène de diffraction, et joue ainsi le rôle d'une source de lumière S_i de même longueur d'onde que celle du laser.

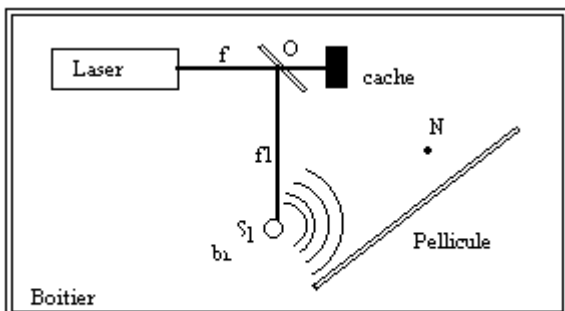
Il faut donc s'attendre à observer les conséquences de l'interférence des ondes émises par toutes ces sources.

Il semble inconcevable, sinon tout à fait improbable, qu'un point quelconque N soit « éclairé » et « simultanément éclairé », par toutes les sources S_i : il faudrait pour cela que toutes les distances de type $S_i N$ différent par un multiple de la longueur d'onde.

Pourtant il existe un point et un seul en lequel toutes les ondes arrivent en phase pour cumuler leur effet, un point qui sortira brillamment du lot : on l'aura deviné, ce point ne peut être que le point situé en S_2 dans l'enregistrement .

Ce point représente l'image restituée du point S_2

Un observateur qui se pencherait au-dessus de la pellicule verrait ce point comme une étoile flottant au dessus de l'hologramme



III- Hologramme d'un objet quelconque-généralisation

Le principe est le même : S_2 est remplacé par un objet quelconque que l'on peut considérer comme un ensemble de points. f_2 est étalé par un dispositif approprié pour que l'objet soit tout entier éclairé.

IV- Difficultés

Réaliser un hologramme n'est pas une entreprise évidente

a-Difficultés financières :

Un premier prix pour un laser (0,5mW) indispensable équivalent à celui d'un bon appareil photo.

Les pellicules spéciales (format 11x8) sont abordables

Le prix d'achat d'un miroir de très grande qualité optique est pratiquement prohibitif.

On peut le remplacer avantageusement par une bille de roulement à bille dégraissée et manipulée avec d'infinies précautions.

b-Difficultés techniques :

1-Avec un laser de 0,5mW le temps de pose est de l'ordre de 20s :il est indispensable d'assurer une parfaite immobilité pendant cette durée

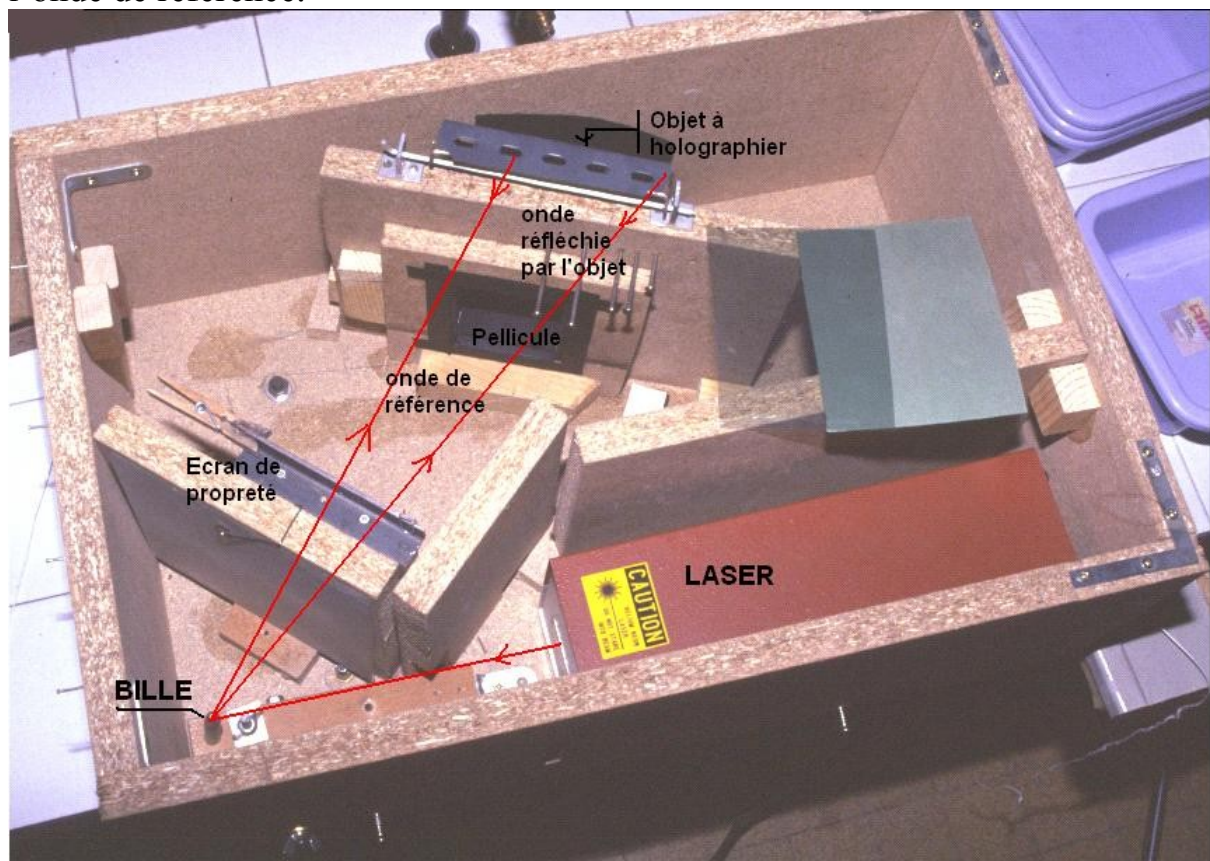
2-Travail dans l'obscurité la plus complète étant donné l'extrême sensibilité de la pellicule

c-Limites : l'holographie donne des enregistrements qui ne peuvent pas être agrandis. L'hologramme d'une voiture par exemple nécessiterait un laser d'une puissance telle qu'il faudrait l'accord du ministère de la défense.

Exemple d'un boîtier holographique

Hologramme par réflexion : l'objet situé derrière la pellicule renvoie par réflexion l'onde de référence qui devient ainsi l'onde-objet.

Ce dispositif présente l'avantage d'une lecture sans laser mais l'inconvénient d'un traitement chimique complexe au développement dû en particulier à la différence marquée d'intensité lumineuse entre l'onde objet (qui a subi une réflexion) et l'onde de référence.



Le document suivant illustre la nécessité de bien maîtriser l'immobilité absolue.

On notera en particulier l'obturateur , rustique certes , constitué d'une barre transversale traversant le boîtier sans le toucher.



planchette de maintien

obturateur

**un sac de sable dans
une gamate de
caoutchouc**

(le fond du boîtier est
renforcé de lattes qui
viennent s'y incruster)

coussinet de
caoutchouc