



Holographie





Introduction

Introduction

De la holographie oui
mais pas uniquement...



Plan

1. Holographie

- 1.1. Historique
- 1.2. Notions de théorie
- 1.3. Montage expérimental
- 1.4. Résultats expérimentaux

2. Les réseaux

- 2.1. Notions de théorie
- 2.2. Montage expérimental
- 2.3. Résultats expérimentaux

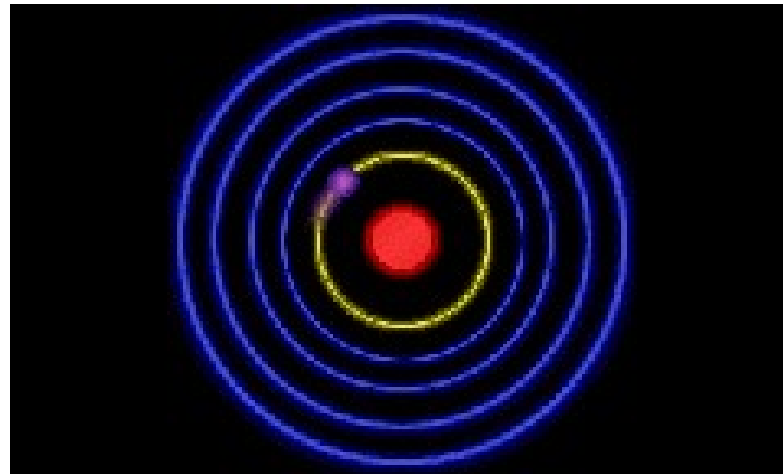
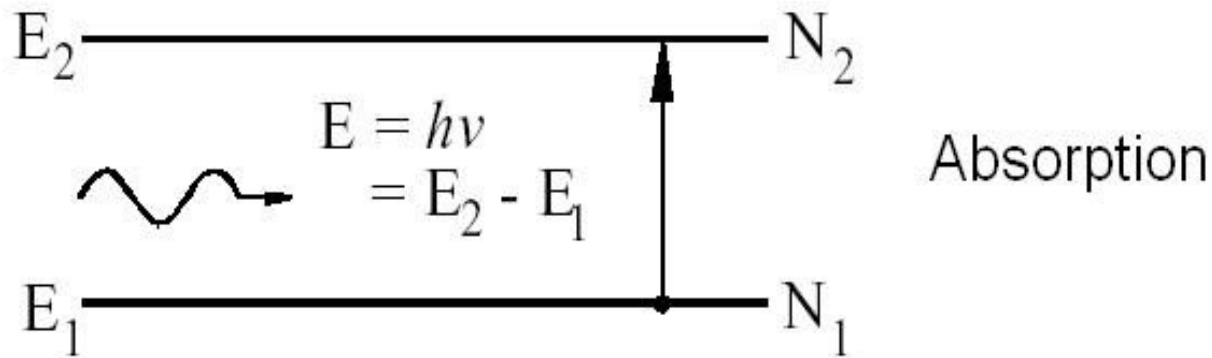
3. Conclusions



1. Holographie

1.1. Historique

1905 : A. Einstein découvre le photon

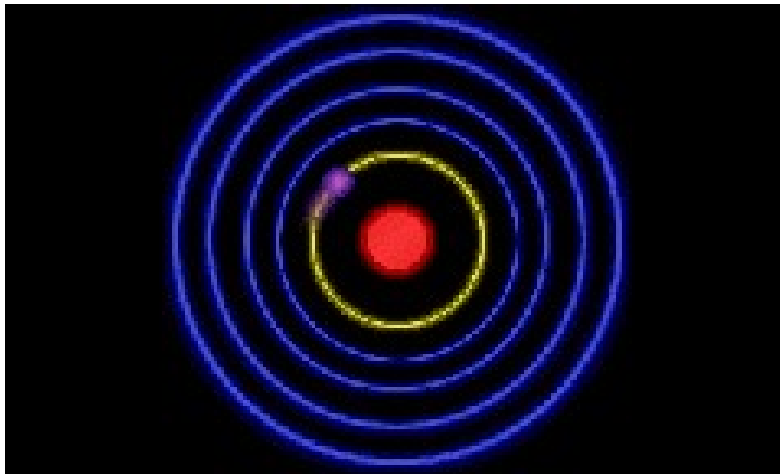
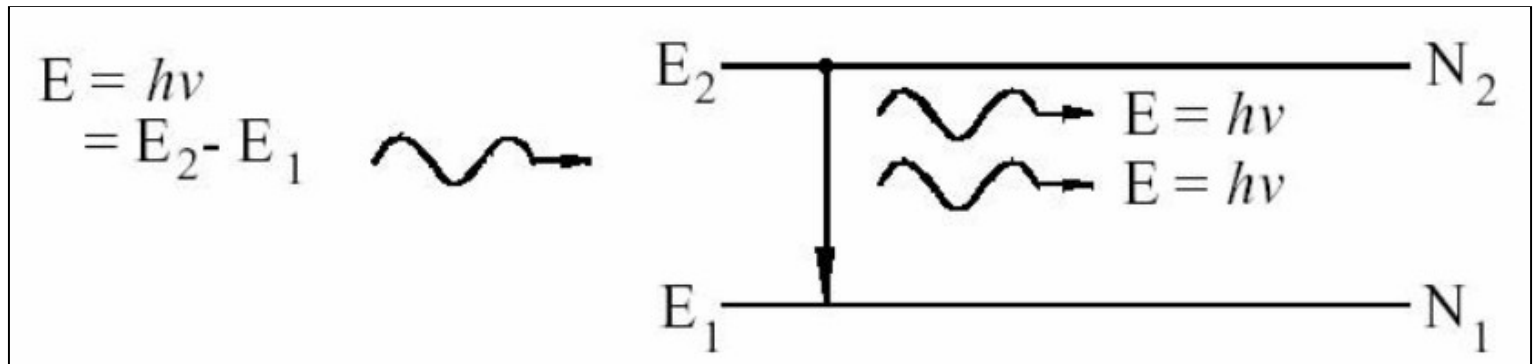




1. Holographie

1.1. Historique

1917 : A. Einstein découvre l'émission stimulée



Propriétés : rayonnement
monochromatique cohérent

<http://stephen.fathom.org/hdtw/laser.html>



1. Holographie

1.1. Historique

Le principe de l'holographie a été établi en **1947** par *Dennis Gabor* qui était confronté au problème de la restitution d'informations sur l'agencement des atomes dans les trois dimensions.



**Dennis Gabor
(1900-1979)**



1. Holographie

1.1. Historique

C'est de là que vient l'idée de l'holographie : pour enregistrer l'information sur la **phase** il suffirait *d'enregistrer les interférences entre ces ondes et une onde de référence provenant de la même source d'éclairage de l'objet.*



**Dennis Gabor
(1900-1979)**



1. Holographie

1.1. Historique

Mais expérimentalement ce fut un échec car une source cohérente fortement monochromatique s'avère nécessaire.

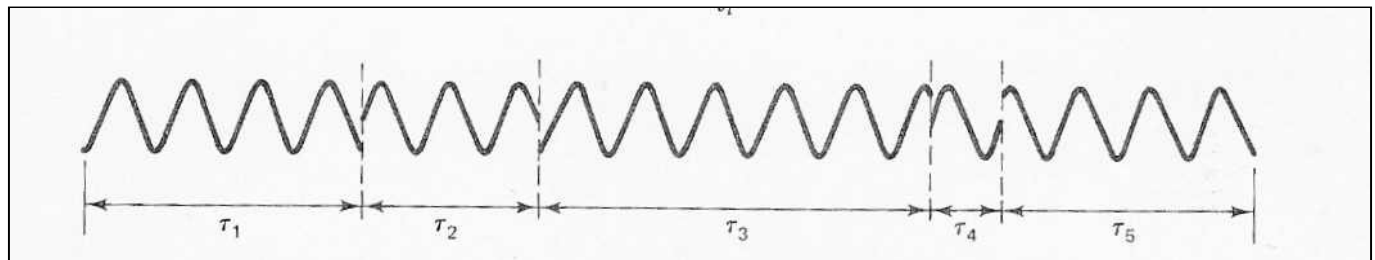
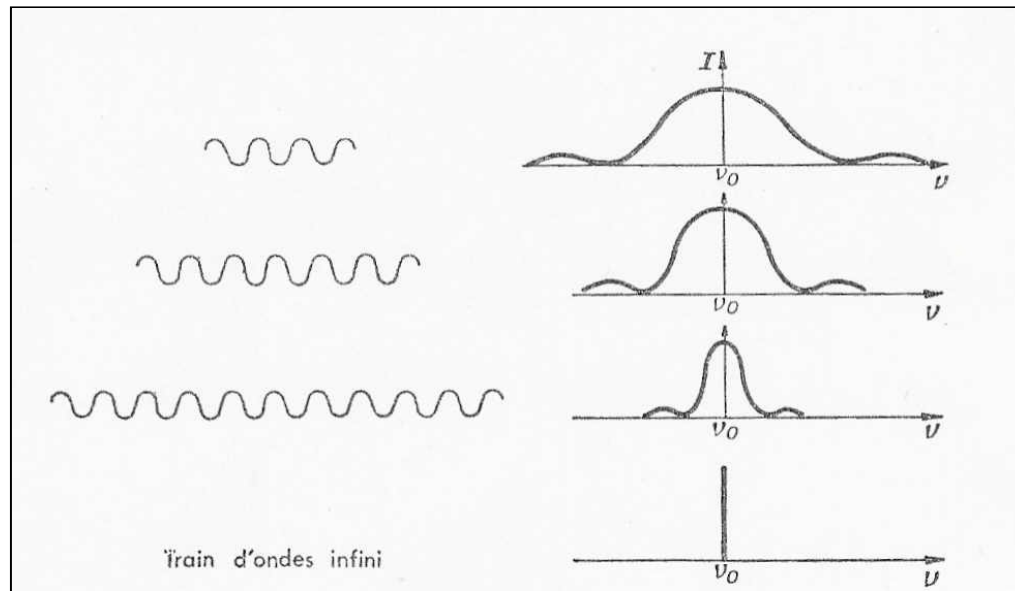
Heureusement, grâce à l'apparition du LASER ce problème fut résolu.

Dès lors, Gabor put reprendre ses expériences et les résultats concluants lui valurent le prix Nobel en 1971

1. Holographie

1.2. Théorie

1.2.1. Cohérence temporelle





1. Holographie

1.2. Théorie

1.2.2. Principe de fonctionnement

Idée : parvenir à capter toutes les caractéristiques de la lumière provenant de la scène. Pour tenir compte de la phase, on fait interférer les ondes venant de l'objet avec une onde de référence cohérente.

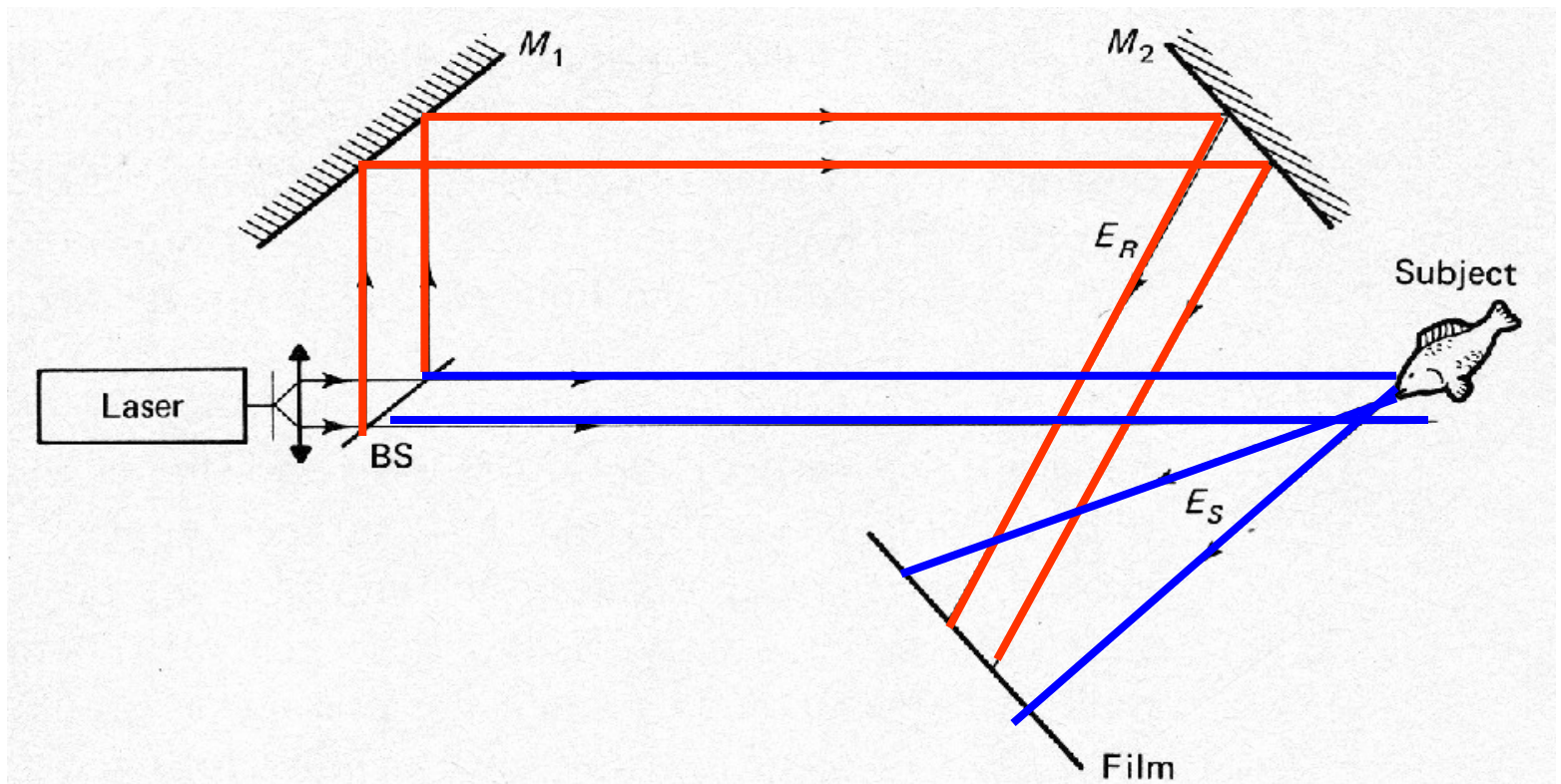
Contrairement à une photographie, l'hologramme n'est pas une image point par point de la scène mais plutôt une collection complexe d'interférences créées par chaque point de la scène. Chaque point de l'hologramme est affecté par tous les points de la scène.

1. Holographie

1.2. Théorie

1.2.2. Holographie par transmission

On peut faire de la holographie par réflexion et par transmission. C'est sur cette dernière que nous nous concentrerons.





1. Holographie

1.2. Théorie

1.2.3. Étude des champs électriques

Équation d'onde du faisceau référence :

$$E_r = r e^{i(\omega t + \varphi)}$$

En considérant que l'onde est plane, l'amplitude est constante.

1. Holographie

1.2. Théorie

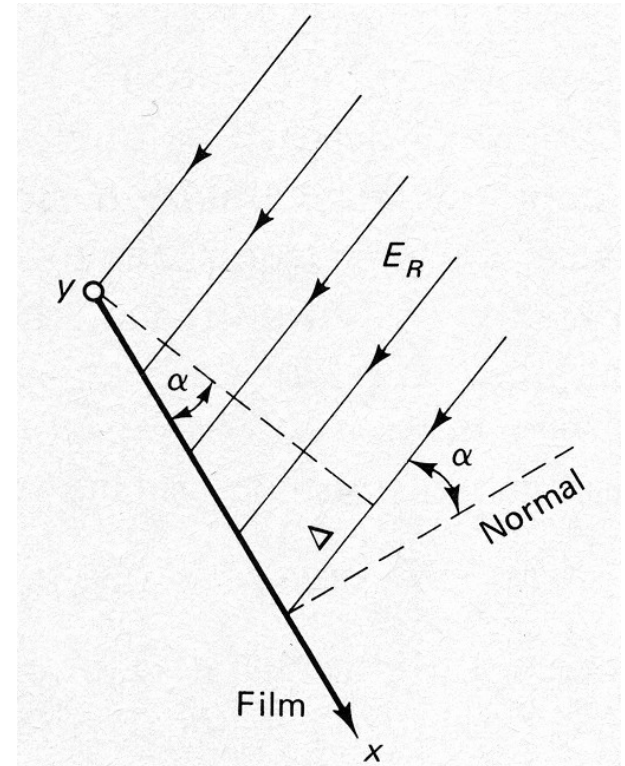
1.2.3. Étude des champs électriques

Équation d'onde du faisceau référence :

$$E_r = r e^{i(\omega t + \varphi)}$$

Par contre, le déphasage n'est pas constant du fait des inclinaisons des plaques.

$$\varphi = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) * x \sin \alpha$$





1. Holographie

1.2. Théorie

1.2.3. Étude des champs électriques

Équation d'onde du faisceau objet :

$$E_o = o e^{i(\omega t + \theta)}$$

Où l'amplitude $o=o(x,y)$ n'est plus constante.

Et où θ est une fonction compliquée du fait de la complexité de l'objet.

S'il n'y avait que la lumière provenant de l'objet, l'irradiance au niveau de la plaque serait donnée à une constante près par

$$I_o = |E_o|^2 = o(x,y)^2$$



1. Holographie

1.2. Théorie

1.2.4. Irradiance

Qu'en est-il de l'irradiance totale ?

$$I_t = |E_o + E_r|^2 = (E_o + E_r)(E_o^* + E_r^*)$$

$$I_t = r^2 + o^2 + E_r E_o^* + E_o E_r^*$$

$$I_t = r^2 + o^2 + roe^{i(\theta - \varphi)} + roe^{i(\varphi - \theta)}$$



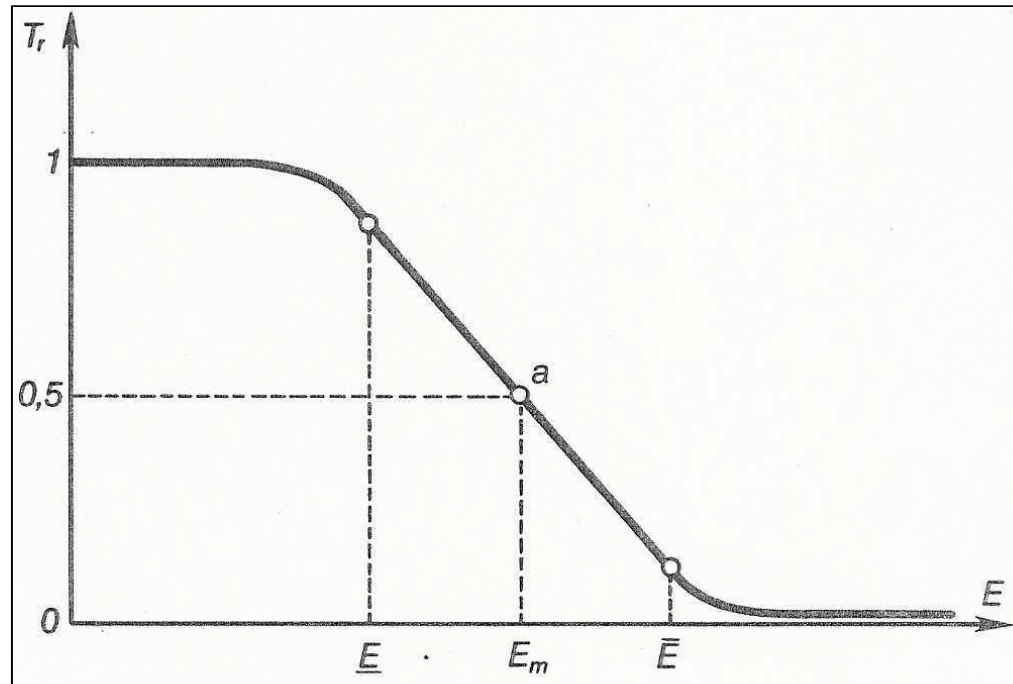
1. Holographie

1.2. Théorie

1.2.5. Temps d'exposition

Dans les faits le temps d'exposition est régi par la plaque.

Transmission :
rapport des
amplitudes



$$E \text{ (J.m}^{-2}\text{)} = I \cdot T$$
$$= k \cdot E_0^2 \cdot T$$



1. Holographie

1.2. Théorie

1.2.6. Champ transmis

En remplaçant la plaque dans le faisceau référence, le champ électrique de l'onde transmise sera donné, par définition de la transmission, par le produit de celle-ci avec l'onde incidente qui n'est rien d'autre que l'onde de référence :

$$E_{tr} = Tr E_r \propto$$

$$(r^2 + o^2)E_r + r^2 o e^{i(\omega t + \theta)} + r^2 o e^{i(2\varphi)} e^{i(\omega t - \theta)}$$

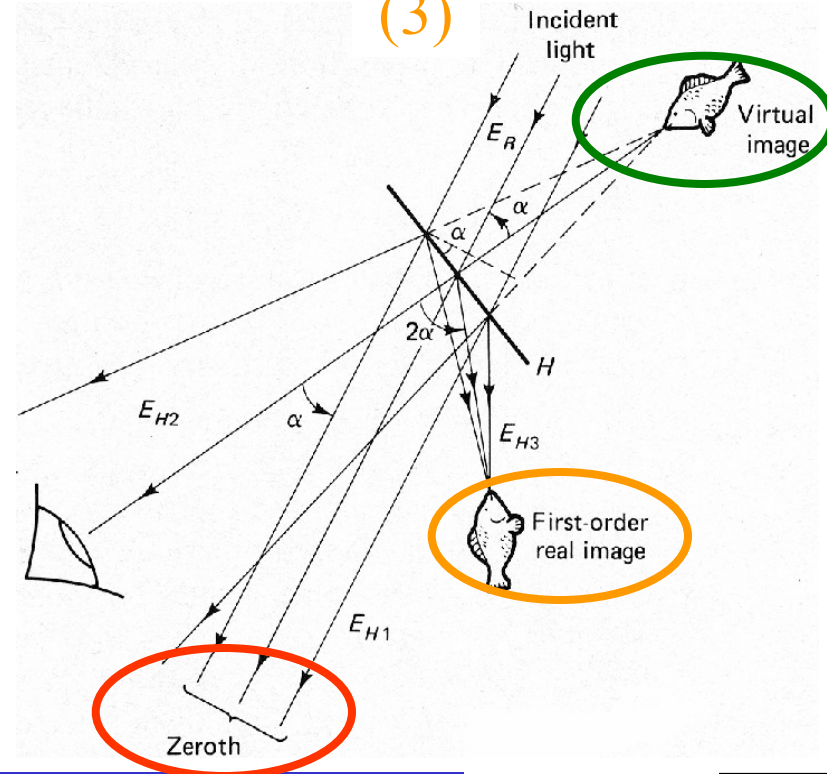
1. Holographie

1.2. Théorie

1.2.7. Champs obtenus

$$\underbrace{(r^2 + o^2)E_r}_{(1)} + \underbrace{r^2 oe^{i(\omega t + \theta)}}_{(2)} + \underbrace{r^2 oe^{i(2\varphi)} e^{i(\omega t - \theta)}}_{(3)}$$

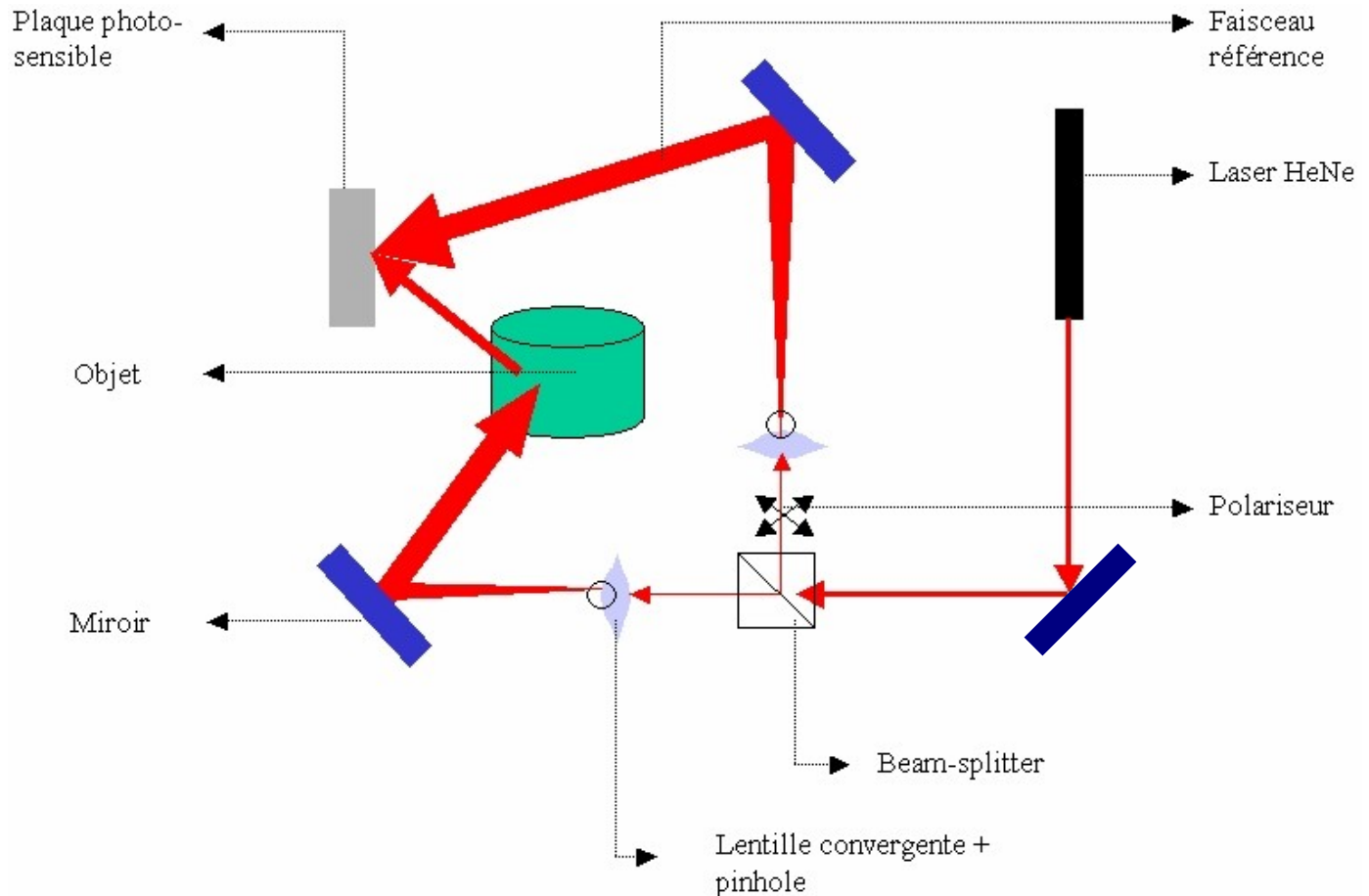
- (1) ~ Transmission de l'onde de référence (zéro de diffraction)
- (2) ~ Onde objet → image virtuelle semble venir de la place originale de l'objet.
- (3) ~ Onde objet de phase inversée → image renversée



1. Holographie

1.3. Partie expérimentale

1.3.1. Montage expérimental



1.3. Partie expérimentale



1. Holographie

1.3. Partie expérimentale

1.3.2. Précautions

- avoir une différence de longueur de parcours inférieure à la longueur de cohérence du laser (de l'ordre de 15cm),
- obtenir l'irradiance du faisceau référence 2,5 fois plus élevée que celle du faisceau objet
- avoir une irradiance assez élevée (pour ne pas avoir un temps d'exposition trop long)
- mais aussi avoir les angles des deux rayons par rapport à la normale de la plaque du même ordre de grandeur.



1. Holographie

1.3. Partie expérimentale

1.3.3. Résultats

Notre premier hologramme fut un échec probablement dû au temps d'expositions trop élevé.

En changeant d'objet, le temps d'exposition a pu être réduit à 31s et résultat : on voit notre cygne !





2. Réseaux

2.1. Notions théoriques

2.1.1. Fourier

Toute fonction périodique peut être approchée par une combinaison infinie de sinus et de cosinus : c'est la TF inverse

$$f(x) \cong \frac{1}{\pi} \left[\int_0^{\infty} A(k) \cos(kx) dk + \int_0^{\infty} B(k) \sin(kx) dk \right]$$

$$f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(k) e^{-ikx} dk$$

2. Réseaux

2.1. Notions théoriques

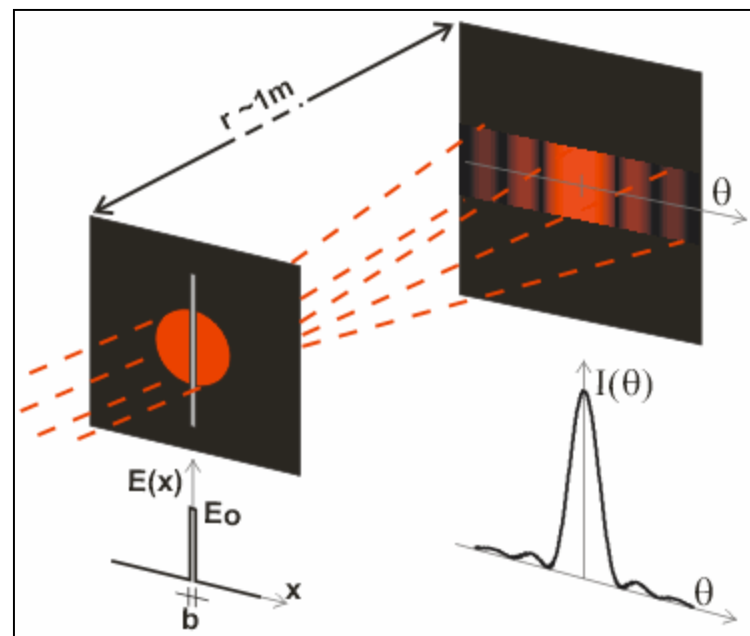
2.1.1. Fourier

A l'inverse, la transformée de Fourier s'écrit :

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{ikx} dx$$

L'utilisation des transformées de Fourier permet facilement de prévoir les résultats d'une diffraction.

Voici à titre d'exemple la fonction d'ouverture

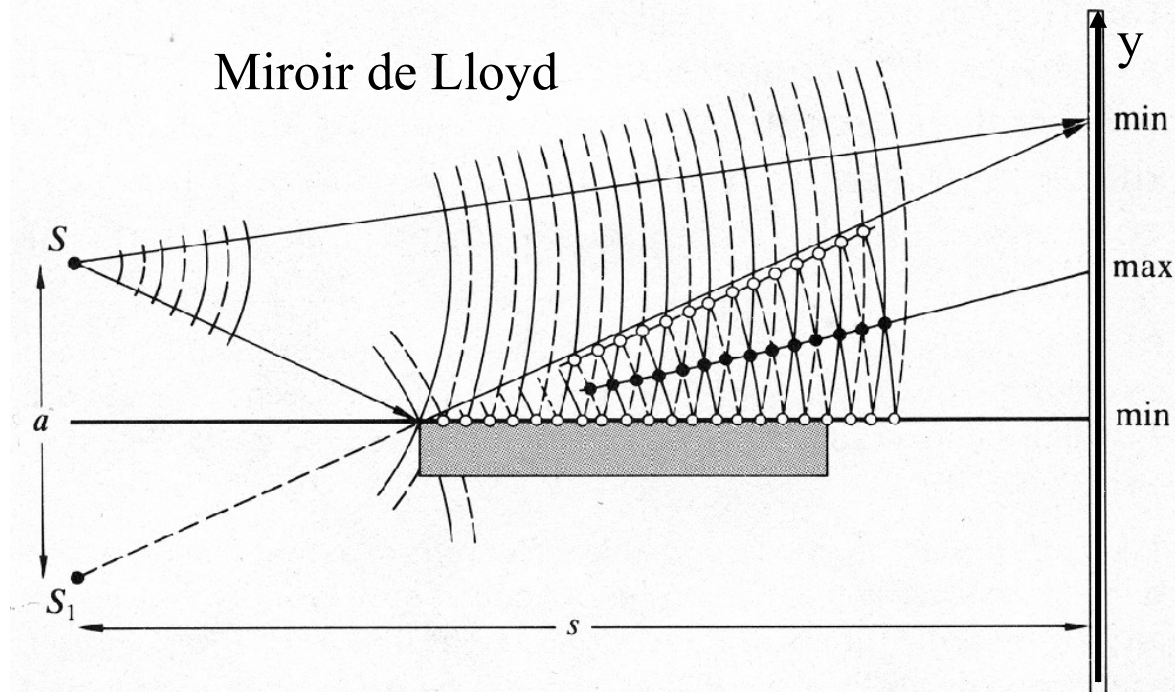


2. Réseaux

2.1. Notions théoriques

2.1.2. Conditions d'interférence

Deux sources cohérentes séparées d'une distance « a » donneront une figure d'interférence dont l'intensité est de type $\sin^2(y)$. Les maxima d'intensité se trouveront aux points y vérifiant :



$$\frac{\pi a y}{s \lambda} = \pi \pm k \pi$$

$$\Delta y = \frac{\lambda s}{a}$$



2. Réseaux

2.2. Partie expérimentale

2.2.1. Réseau carré (50 traits/mm)

Astuce : pour que le réseau soit carré, on laisse saturer les zones autour des maxima.

Notre LASER ayant une longueur d'onde $\lambda=6328\text{\AA}$, alors :

$$\frac{s}{a} = \frac{\Delta y}{\lambda} = \frac{(5 \cdot 10^4)^{-1}}{6328 \cdot 10^{-10}} \longrightarrow \frac{s}{a} = 31,6$$

2. Réseaux

2.2. Partie expérimentale

2.2.1. Réseau carré (50 traits/mm)

Ayant placé l'écran à 65,4cm, a doit valoir 2,1cm



On obtient 53,8 traits par mm soit un erreur relative de :

$$\frac{53,8 - 50}{50} = 7,6\%$$

Les erreurs sont principalement dues à la difficulté de déplacer le miroir à la fraction de millimètre près. De plus, nos instruments sont peu précis (latte).



2. Réseaux

2.2. Partie expérimentale

2.2.2. Réseau sinusoïdal (50maximas/mm)

Dans ce cas, il faut faire attention de ne pas saturer. Comme la cellule photosensible sort comme valeur la moyenne de la puissance qu'elle reçoit, nous avons considéré une exposition de **150 000 μ V**.

Malheureusement, on obtient le même résultat que précédemment ce qui signifie qu'on a probablement saturé la plaque.

Pour vérifier l'hypothèse de saturation, nous décidons alors de descendre à une exposition de **80000 μ V**.

Nous obtenons alors le résultat escompté :



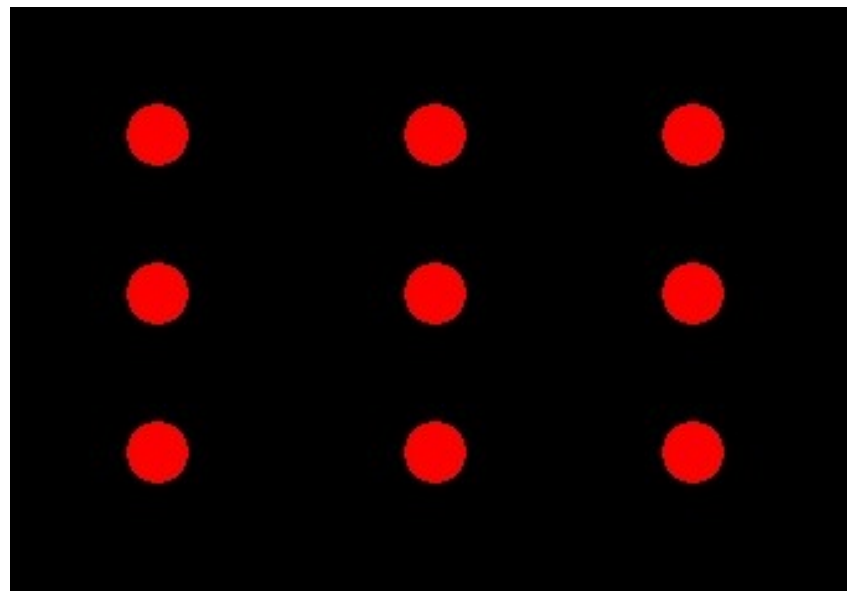
2. Réseaux

2.2. Partie expérimentale

2.2.3. *Double réseau*

Ensuite, nous poussons la difficulté un peu plus loin et tentons de réaliser un double réseau sinusoïdal.

Résultat très satisfaisant :





2. Réseaux

2. Réseaux

2.3. Analyse des résultats

Le passage aux TF permet facilement d'interpréter les résultats obtenus ou même de prédire les résultats censés être obtenus.

Cependant, il y a deux points à soulever :

- pourquoi observe-t-on une fréquence nulle ?
- quelle est la signification de la fréquence négative ?

La fréquence nulle est simplement due au fait qu'il existe une composante continue.

Une fréquence négative n'a pas de sens en tant que telle mais on peut facilement la retrouver par calculs.

Le développement en cosinus d'un cosinus nous donne une unique fréquence f_0 . Tandis que son développement en sinus et cosinus donne :

$$f(x) = \frac{A}{2} e^{i2\pi (+f)x} + \frac{A}{2} e^{i2\pi (-f)x}$$

1 fréq f_0 d'ampl $A \rightarrow$

2 fréq (f_0 et $-f_0$) d'ampl $A/2$



2. Réseaux

2.3. Analyse des résultats

Un résultat plutôt suprenant...

Lors de la diffraction de nos premiers réseaux, on peut observer un réseau « parasite » devant résulter d'une réflexion sur un plan horizontal.

La table ?

→ Impossible : selon nos calculs le plan doit s'écartier de 1,1 cm de l'axe du rayon et la table se trouve à 10cm.

La seule hypothèse émise ne convient pas...



3. Conclusions

L'holographie a enrichi considérablement l'optique. Alors que voir des objets en trois dimensions devait paraître impossible aux yeux des premiers photographes, il ne nous a fallu que quelques heures pour en réaliser un. Ceci grâce à l'invention du LASER et à l'imagination de certains scientifiques. C'est une belle illustration de l'importance de l'interdisciplinarité dans le domaine de la science qui a trouvé sa principale application dans la lutte contre la contre-façon.

La réalisation des réseaux paraît fort simple au premier abord mais se révèle délicate au point de vue expérimental dès qu'il s'agit d'atteindre une certaine précision.