

204080 – Torche Laser

***Un faisceau épuré, expansé et collimaté !
La source prête-à-l'emploi, idéale pour vos TP d'optique physique !
(polarisation, diffraction, interférométrie, filtrage de Fourier)***



Notice d'utilisation et d'applications pédagogiques

Table des matières

I. INTRODUCTION.....	2
II. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES	3
1) Descriptif.....	3
2) Précautions d'emploi.....	3
3) Garantie.....	3
III. IDEES D'UTILISATION EN TRAVAUX PRATIQUES.....	4
1) Général	4
2) Bi-prisme de Fresnel en faisceau collimaté	6
3) Interféromètre et franges de Fizeau	7
i. Interféromètre de Fizeau	7
ii. Franges d'égale épaisseur d'un coin d'air	7
iii. Dispositif à anneaux de Newton.....	8
4) Filtrage de Fourier.....	8

I. Introduction

La Torche Laser OVIO est spécialement conçue pour les mesures d'optique ondulatoire et ne demande **aucun réglage pour l'utilisateur**.

Elle offre un faisceau épuré des hautes fréquences spatiales et sans figure de diffraction parasite. Compacte, robuste et prête à l'emploi, elle intègre un dispositif optique de précision déjà réglé qui assure l'obtention d'un faisceau collimaté de diamètre 23 mm.

C'est un **gain de temps** considérable dans la préparation des TP d'optique physique (interférences, diffraction, polarisation...). Le **grand diamètre du faisceau** permet de travailler sur un champ d'étude étendu ce qui procure un **confort d'observation inégalé**.

En particulier, les mesures d'interférométrie requièrent l'utilisation d'une source lumineuse cohérente temporellement et spatialement. Différents modes d'utilisation sont possibles, ce qui confère à cet instrument un caractère très polyvalent dans un laboratoire d'optique

II. Caractéristiques Techniques

1) Descriptif

Longueur d'onde	532 nm
Type	YAG doublé (DPSS)
Classe	II M*
Puissance	< 5 mW *
Ø du faisceau	23 mm
Divergence	< 15 " d'arc
Polarisation	Elliptique
Alimentation	3,3 V (fournie)
Dimensions (L x Ø)	220 x 44 mm
Montage	sur tige Ø 10 mm – extrémité M4

* Bien que la puissance nominale du module laser soit de 5 mW, la répartition de la puissance sur une section de faisceau de diamètre 23 mm permet une utilisation sécurisée de cette source. Néanmoins, en cas de re-focalisation, le faisceau laser retrouve alors une puissance de 5 mW.

La torche laser est configurée pour une utilisation sur banc d'optique : elle se monte sur l'ensemble de nos cavaliers par bridage de sa tige Ø 10 mm.

2) Précautions d'emploi

Depuis leur mise au point en 1960 par Townes, les lasers se sont largement implantés dans la vie de tous les jours. Etant donné que ces outils sont actuellement omniprésents dans des secteurs d'activités aussi variés que l'industrie ou la médecine, les réglementations les concernant sont régulièrement actualisées et normalisées à différentes échelles (nationale, européenne et internationale).

Il existe actuellement 7 classes différentes des sources laser (voir par ex. : www.laserconseil.fr/guide ou www.cnso.fr/images/docslibres/CNSO%20-%20Les%20classes%20laser.pdf). Selon leur puissance, les faisceaux laser peuvent brûler des matériaux (découpage laser en industrie), la peau mais aussi et surtout les yeux.

Le module laser utilisé ici possède une lumière visible d'environ 5 mW de large section le rendant peu dangereux dans ces conditions d'utilisation. Il s'agit d'une nouvelle classe II M. Il faut savoir que ce faisceau laser est peu dangereux pour une observation latérale grâce au réflexe palpébral mais sa vision directe peut tout de même provoquer un **éblouissement plus ou moins sévère**. Par contre, l'observation de ce faisceau laser **au travers d'un dispositif optique (lunettes de vision, lentilles de contact,...) est dangereuse et proscrite**.



3) Garantie

La garantie est de 3 ans pour une utilisation dans des conditions normales. Si un problème est rencontré, le matériel doit être retourné dans nos ateliers après appel préalable (tél : +33 (0)2 32 29 40 50).

OVIO Instruments – Service clients
468, rue Jacques Monod – ZI N°1 Nétreville – CS 21900
27019 EVREUX Cedex – France

III. Idées d'utilisation en Travaux Pratiques

1) Général

Disposant d'un faisceau épuré et cohérent spatialement, cette source de lumière est adaptée à toutes les mesures habituelles de diffraction, d'interférométrie mais aussi de polarisation grâce au large diamètre qui recouvre la surface des optiques.

► Polarisation : cette source laser possède un diamètre utile aux optiques des polariseurs, lames quart d'onde et demi-onde (204055) qui permettent de mettre en évidence la loi de Malus ou encore les différents états de polarisation. Il reste toujours possible de déterminer les axes particuliers d'une lame biréfringente de Mica dont la face d'entrée possède un diamètre de 18 mm (202669). En couplant cette source avec un prisme sur un accouplement goniométrique (202788) vous pourrez aussi étudier l'angle critique de Brewster...

► Observation de diverses figures de diffraction : le faisceau laser étant filtré spatialement, il est particulièrement adapté à l'étude des figures de diffraction que l'on peut générer avec différentes formes (disques, carrés, rectangles, fentes, réseaux).

Le principe est simple : en utilisant la source torche laser, un jeton de diffraction (ex : 212072) et une caméra Ovisio (204354), vous pourrez visualiser et analyser les profils d'intensité des figures obtenues.

Par exemple :

-vous pourrez voir l'influence de la forme d'un trou vis-à-vis de la longueur d'onde du laser (532 nm) sur la taille des anneaux obtenus

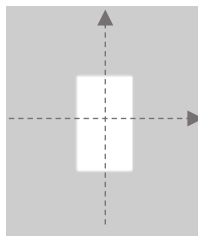
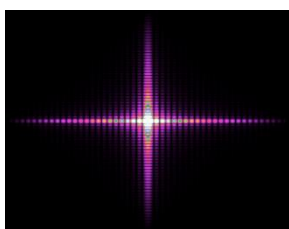
-ou encore montrer que la figure de diffraction issue d'une ouverture rectangle est liée à la transformée de Fourier d'une fonction porte à deux dimensions

Exemple de figure de diffraction obtenue avec une ouverture rectangle.

Ex : Ouverture rectangulaire

- Fonction porte de largeur a et hauteur b centrée en $(0;0)$
- $TF = ab \operatorname{sinc}(\pi u a) \operatorname{sinc}(\pi v b)$ avec $(u;v) = (x'/\lambda f; y'/\lambda f)$
- Intensité = $|E|^2 = (ab)^2 \operatorname{sinc}^2(\pi u a) \operatorname{sinc}^2(\pi v b)$

Intensité théorique*

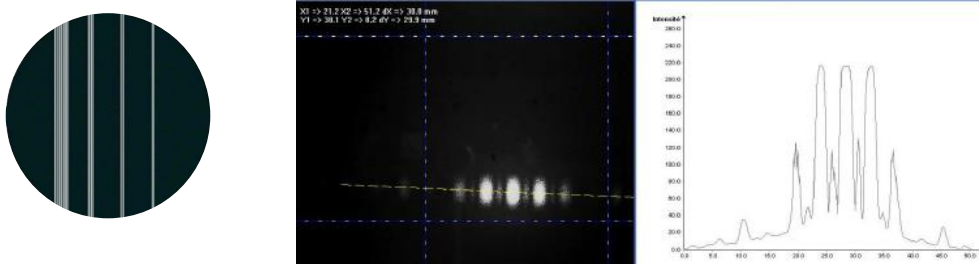


► Mesures d'interférométrie : la torche laser est collimatée ce qui assure une cohérence spatiale en plus d'assurer une cohérence temporelle, toutes deux nécessaires pour les mesures d'interférométrie. Parmi les mesures courantes, nous pouvons citer :

Division du front d'onde :

. *Trous et fentes d'Young* : plusieurs ouvertures identiques distribuées linéairement et de dimension de l'ordre de la longueur d'onde utilisée vont se comporter comme des sources secondaires cohérentes de front d'onde (Huygens-Fresnel). Lorsque plusieurs ouvertures sont éclairées simultanément, nous pourrions observer un phénomène d'interférence se traduisant par une alternance de franges sombres (interférences destructives) et claires (interférences constructives).

exemple pour 3 fentes :

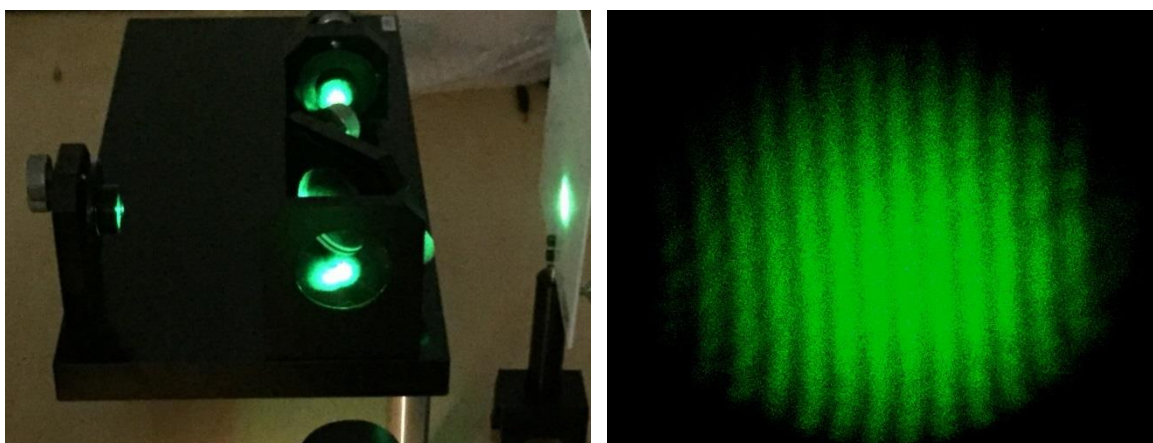


Division d'amplitude :

Le large diamètre d'illumination permis par la torche laser (23 mm) permet d'être directement adapté aux optiques des différents interféromètres que nous vendons (Michelson, Fabry-Pérot et Mach-Zender).

Exemples :

- . Franges de coin d'air du Michelson et observation de la teinte plate
- . Anneaux du Fabry-Pérot
- . Mach-Zender

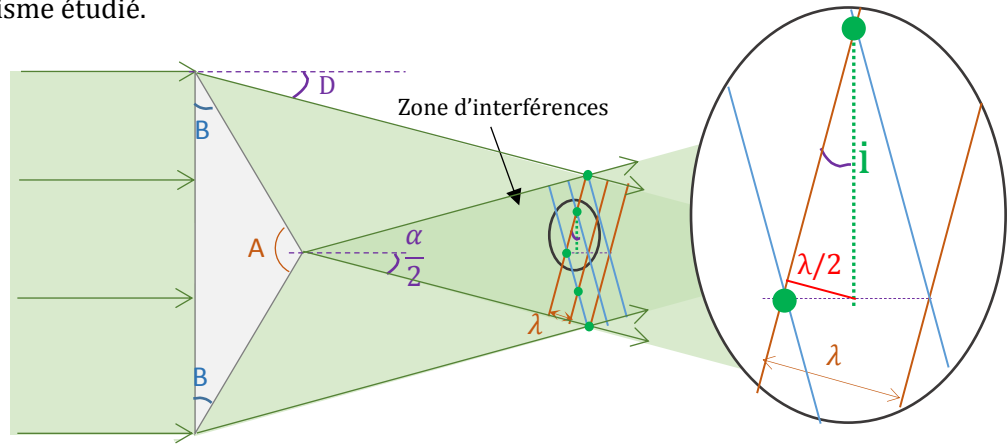


Franges d'interférences de coin d'air observées sur l'écran en sortie au Michelson élève (202758) avec la Torche Laser. On peut voir que le faisceau de la torche laser recouvre totalement la surface des miroirs fixe et mobile.

2) Bi-prisme de Fresnel en faisceau collimaté

L'originalité proposée ici est d'étudier le phénomène d'interférences créé par la superposition de fronts d'ondes plans après leur déviation sur un bi-prisme de Fresnel.

En plaçant un détecteur CCD (ou une caméra *Ovisio*) dans la zone de recouvrement, vous observerez des interférences à franges parallèles. La mesure de l'interfrange i permet ensuite de caractériser les angles A et B du bi-prisme étudié.



Représentation du tracé des rayons lumineux après déviation par le bi-prisme

En effet, dans cette géométrie, nous avons :

$$\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{\lambda}{2i}$$

avec λ la longueur d'onde du laser (532 nm) et i l'interfrange mesuré sur la figure d'interférences.

D'après la déviation D des rayons induite par le prisme :

$$D = (n_{\text{prisme}} - 1) B = \frac{\alpha}{2}$$

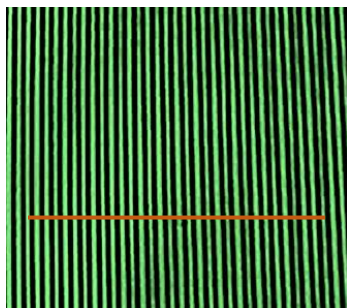
Ainsi,

$$B = \frac{\alpha}{2(n_{\text{prisme}} - 1)} = \frac{\sin^{-1}(\lambda/2i)}{n_{\text{prisme}} - 1}$$

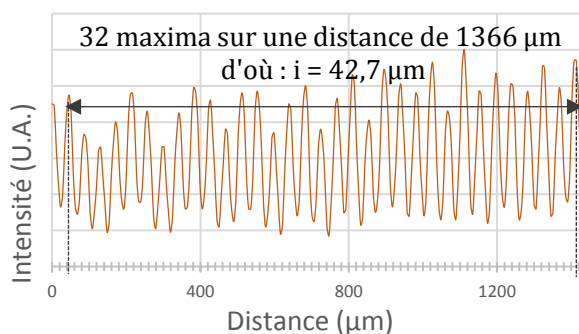
$$A = 180^\circ - 2B$$

Expérimentalement, nous mesurons un interfrange de 42,7 μm contre 41,3 μm théoriquement, ce qui correspond à un angle au sommet B de 0,69° (0,72° mesuré).

Franges parallèles d'interférences



Coupe transversale des franges d'interférences

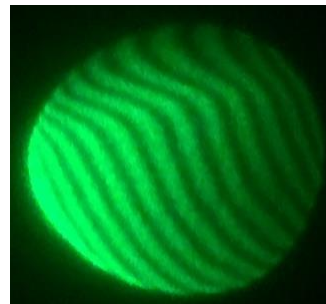
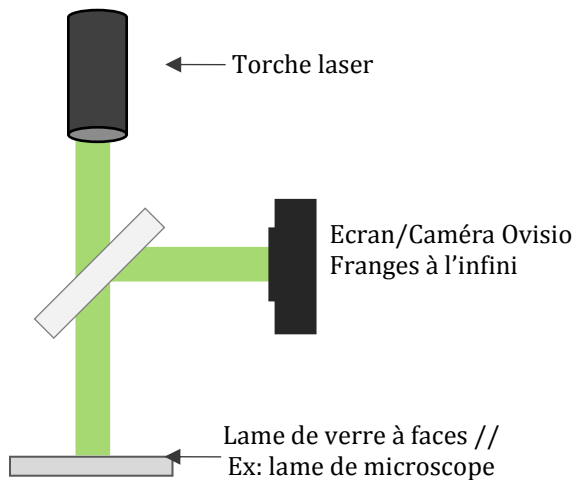


3) Interféromètre et franges de Fizeau

On parle de franges d'interférences de Fizeau lorsque les points d'égale intensité sont liés à une épaisseur optique traversée constante ; c'est pourquoi nous parlons aussi de franges d'égale épaisseur. En pratique ces franges servent à contrôler la planéité d'une surface transparente, à mesurer son épaisseur puis à déterminer son indice.

i. Interféromètre de Fizeau

Un interféromètre de Fizeau est composé d'une source de lumière collimatée (la torche laser), d'une lame séparatrice, d'un échantillon à contrôler, et d'un système d'imagerie (écran ou caméra *Ovisio*).



Franges d'interférences d'égale épaisseur optique obtenues avec un interféromètre de type Fizeau

Soit une lame mince à caractériser (type lame de microscope) d'épaisseur variable (irrégularités de réalisation) et éclairée sous incidence normale : $\cos i = \cos r = 1$.

On observe des franges dues à des interférences à deux ondes issues d'une différence de marche telle que : $\delta = 2 n e \cos r + \lambda/2 = 2 n e + \lambda/2$, où e est l'épaisseur de la lame, n son indice optique et λ la longueur d'onde du laser.

En ajoutant une caméra *Ovisio*, il est alors possible de visualiser des franges d'égale épaisseur (optique) séparées par une distance équivalente à la longueur d'onde du faisceau utilisé. On obtient donc une topographie de la lame. Pour remonter ensuite à l'épaisseur réelle, il faut utiliser l'indice optique de la lame.

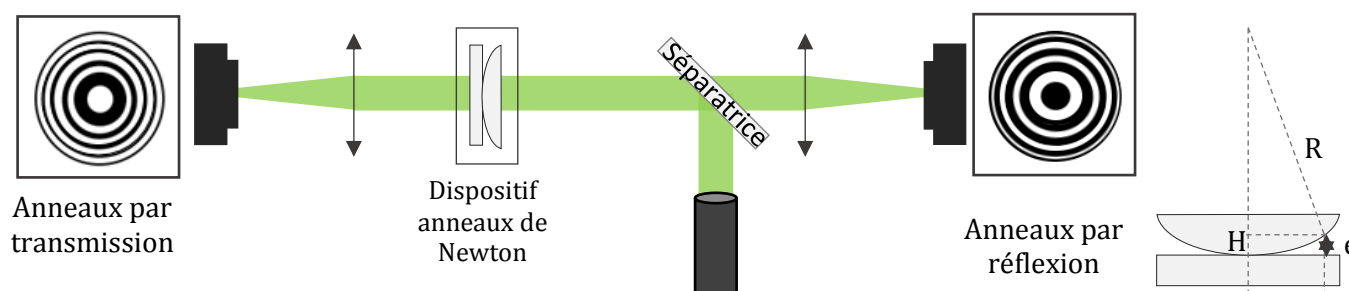
ii. Franges d'égale épaisseur d'un coin d'air

Le coin d'air considéré ici peut être formé par deux lames de verre ordinaires plaquées l'une contre l'autre ou en utilisant le dispositif « lame avec coin d'air » (202426).

Ici, l'interfrange est donné par la relation : $i = \frac{\lambda}{2 \alpha}$, où α est l'angle du coin d'air.

iii. Dispositif à anneaux de Newton

En utilisant le dispositif à anneaux de Newton (202425/204118), il est possible d'observer des anneaux (en réflexion et en transmission) qui permettent de connaître le rayon de courbure d'une surface sphérique grâce à la mesure de l'interfrange observé sur caméra *Ovisio* ou écran.



Lorsqu'une lentille d'une certaine courbure est placée sur une lame mince calibrée, un film d'air fin se trouve coincé entre les deux surfaces. Le chemin optique n'est alors pas identique pour tous les rayons incidents et des franges circulaires, appelées anneaux de Newton, sont alors observées.

La différence de marche entre ces rayons est donnée par $\delta = 2e + \lambda/2$.

Pour déterminer le rayon de courbure R de la face sphérique de la lentille, on peut utiliser la relation suivante :

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m - n)\lambda}$$

Avec r_n le rayon du $n^{\text{ième}}$ anneaux de diffraction sombre donné par la relation : $r_n = \sqrt{n R \lambda}$.

De plus, on peut remonter à l'épaisseur du film d'air emprisonné entre les deux surfaces puisque :

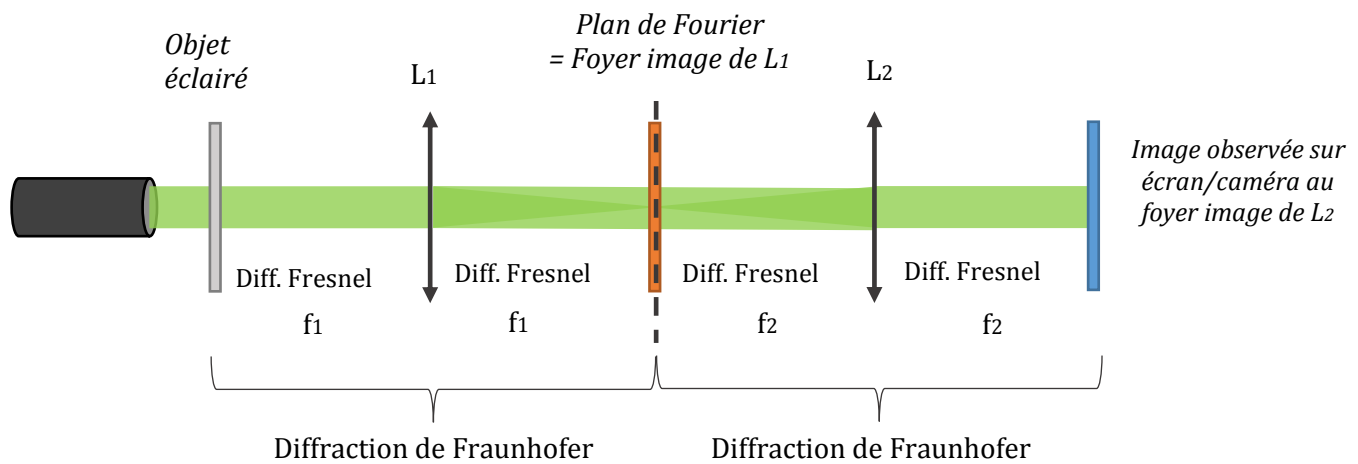
$$e = R - \sqrt{R^2 - r^2} \approx \frac{r^2}{2R}$$

4) Filtrage de Fourier

Le filtrage permet de modifier certaines fréquences indésirables d'un objet en insérant un masque adapté dans le plan de Fourier (masque ou filtre). Ces mesures nécessitent donc une source de lumière collimatée mais surtout épurée : la torche laser est donc la source lumineuse idéale pour cette technique.

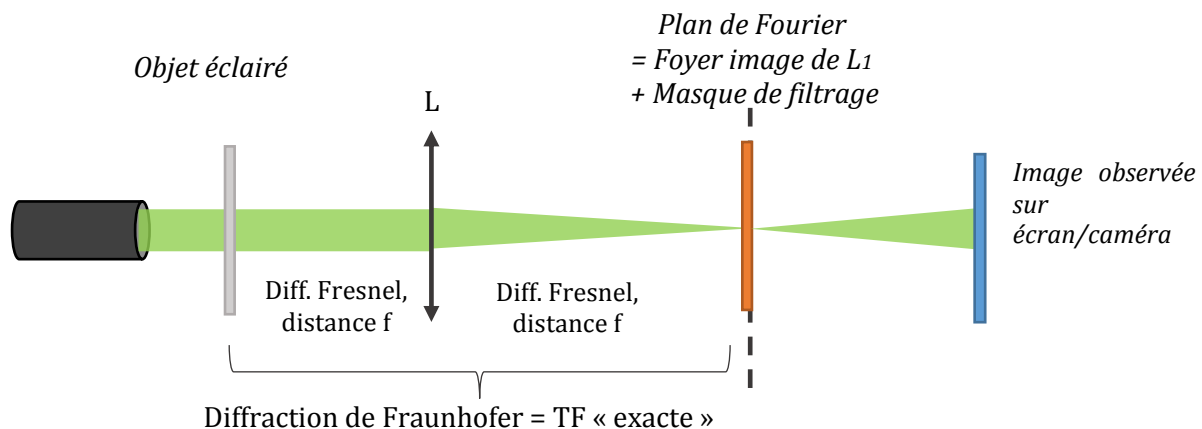
Les montages proposés utilisent la torche laser, un jeu de lentilles convergentes et une fente ajustable alliés avec un jeu d'images spécialement développées pour cette expérience.

Montage « 4f » : la première lentille permet d'obtenir une première transformée de Fourier (TF) de l'objet éclairé, et la seconde lentille permet de reformer l'image grâce à l'action d'une seconde TF. A un terme de phase quadratique qui disparaît avec la mesure de l'intensité lumineuse, ce montage effectue



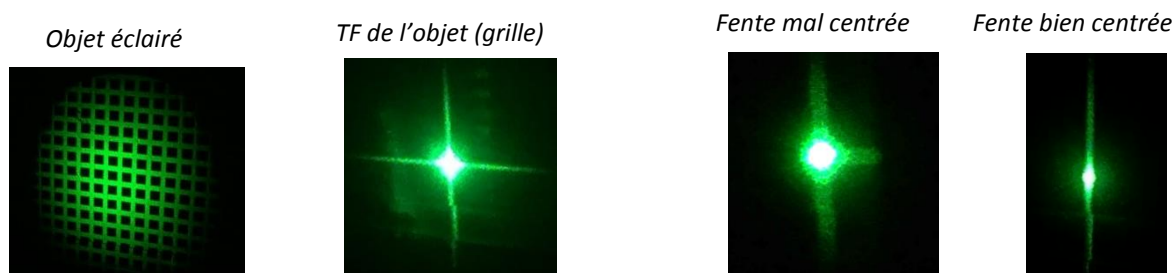
deux diffractions de Fraunhofer successives.

Montage « 2f » : ce montage est plus simple car il ne fait intervenir qu'une seule lentille. Celle-ci est conjuguée avec l'écran d'observation pour obtenir une image nette de l'objet éclairé. Ensuite, il faut



placer la fente au point de focalisation qui correspond au plan de Fourier.

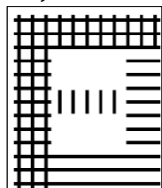
Dans le cadre du montage « 2f », il est possible de rajouter une lentille facultative dite « de réglage » afin d'observer la figure de diffraction produite au plan de Fourier sur l'écran d'observation. Pour cela il faut conjuguer le plan de Fourier avec l'écran d'observation grâce à cette lentille. Ceci permet aussi de vérifier que la fente de filtrage est bien réglée dans le plan de Fourier.



Expériences réalisables

- **Principe de la duplication**

Objet éclairé



TF + réseau de traits

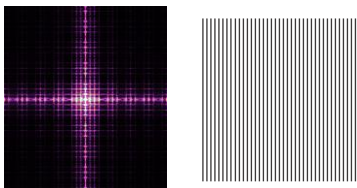
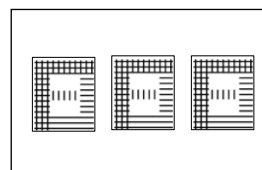


Image dupliquée

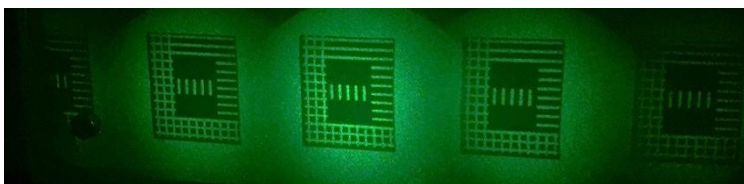


En plaçant un réseau de diffraction (ex : jeton 202645) on peut observer la duplication de l'image initiale sur l'écran ainsi que le nombre d'images dupliquées variant avec le pas du réseau utilisé.

Jeton « réseaux de diffraction »
202645



Image de duplication obtenue avec l'un des réseaux du jeton 202645



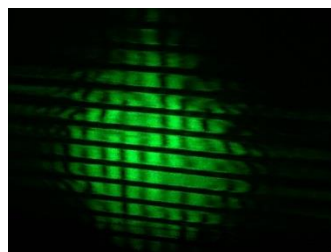
- **Filtrage passe-bas par une fente : reconnaissance de forme**

L'image de départ est constituée de deux motifs entrelacés constitués de traits verticaux et traits horizontaux. Dans le cas présenté ici, nous utilisons comme objet de départ un quadrillage (d'autres motifs sont proposés). En plaçant une fente verticale dans le plan de Fourier, on sélectionne uniquement la trame horizontale.

Image initiale



Image finale détramée



- **Filtrage passe-bas par une fente : détramage**

L'objet à filtrer est une photographie qui présente une structure périodique indésirable. En utilisant une fente dont on ajuste l'ouverture, les fréquences spatiales correspondant au réseau sont enlevées et le réseau disparaît. Néanmoins ceci a également pour effet de supprimer certains détails de l'objet initial.

Image initiale

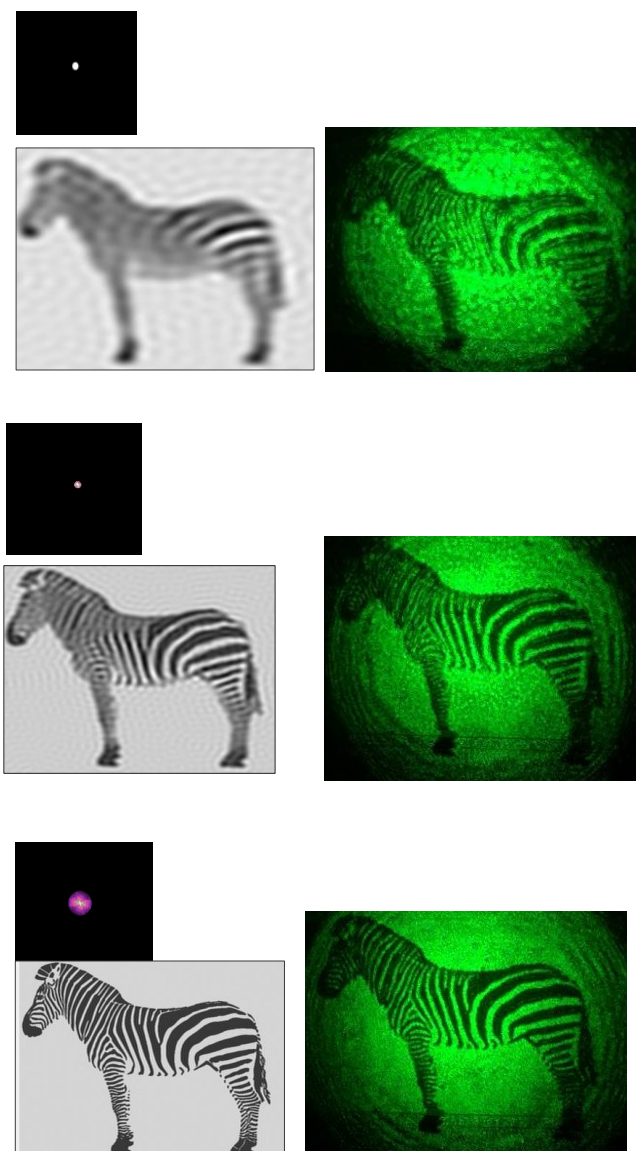


Image finale détramée

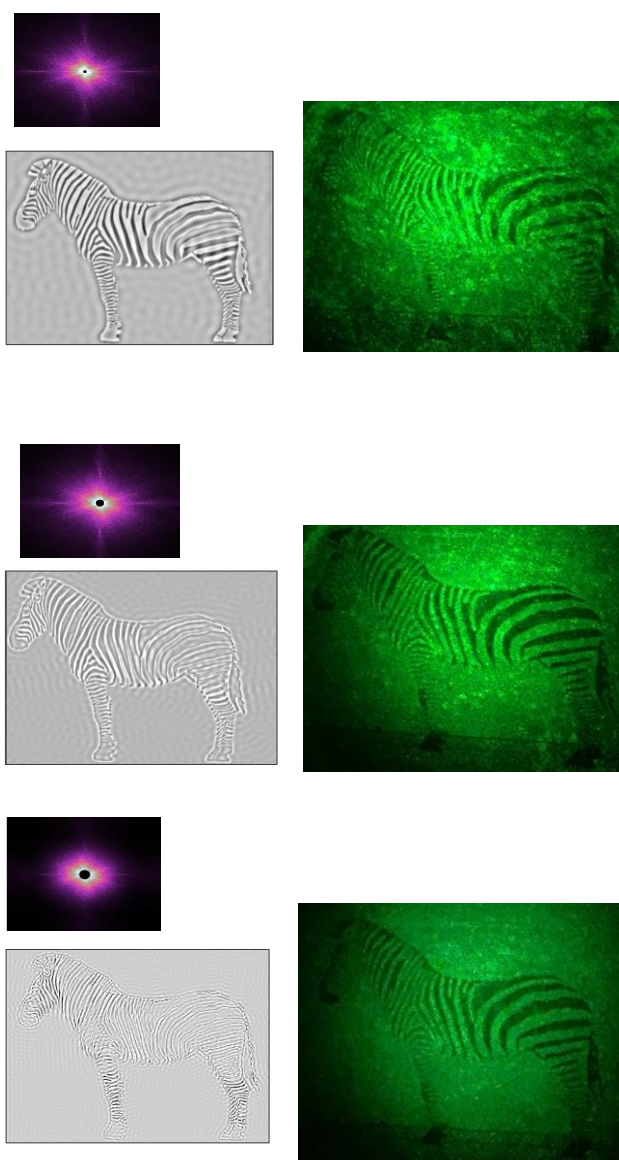


- **Filtrage passe-bas & passe-haut à l'aide de deux objets complémentaires : masques circulaires et trous de différents diamètres.**

Série trous – filtrage passe-bas : En diminuant la taille du trou, on supprime de plus en plus de hautes fréquences spatiales correspondant aux détails, ce qui a pour effet de produire un brouillage de l'image. On peut remarquer sur cette série d'images, que le brouillage observé expérimentalement correspond bien à ce qui est attendu théoriquement (cf simulations*).



Série masques – filtrage passe-haut : Ici on enlève les basses fréquences spatiales ce qui accentue les bords de l'objet. En effet, ce type d'opération a pour but de supprimer les variations « lentes » du contraste correspondant au fond continu. Les contours bien définis comme les zébrures, sont mis en surbrillance par rapport à un fond globalement sombre car ils diffractent la lumière.



Ø croissant du masque

*Images simulées avec le logiciel libre Gwyddion

Des services au quotidien

Obtenir des conseils, un devis, une demande de démo



> Service technico-commercial

Pour la Métropole

Tél : +33 (0)1 71 49 10 70

E-mail : optique@ovio-instruments.com

Web : www.ovio-optics.com

Pour l'International

Tél : +33 (0)1 71 49 10 70

E-mail : export@ovio-instruments.com

Commander, suivre une commande

> Administration des ventes

Passer une commande

Fax : +33 (0)1 30 44 25 40

E-mail : optique@ovio-instruments.com

Courrier : OVIO Instruments - Service Clients

468, rue Jacques-Monod

CS 21900, 27019 Evreux CEDEX France

Suivre une commande

Tél : +33 (0)1 71 49 10 70

E-mail : optique@ovio-instruments.com



Obtenir des conseils, un devis, une demande de démo



> Support technique, SAV

Tél : +33 (0)1 71 49 10 70

E-mail : SAV@ovio-instruments.com

Web : www.ovio-optics.com

Pour l'International

Tél : +33 (0)1 71 49 10 70

Attention : pour tout retour de matériel en SAV, merci de nous appeler au préalable.