

TP5 INTERFERENCES PAR DIVISION DU FRONT D'ONDE

Des fentes d'Young au réseau plan

PRESENTATION

Sujet

Interférences et diffraction par un ensemble de fentes fines. Réalisation d'expériences emblématiques de l'optique ondulatoire à l'aide d'un laser.

Objectifs

- Savoir identifier et distinguer les phénomènes de diffraction et d'interférences en optique.
- Connaître et exploiter les fonctions de distribution d'intensité lumineuse pour mesurer des largeurs de fentes et l'écart entre deux fentes.
- Constater qu'un réseau se comporte comme un interféromètre à ondes multiples.
- Mettre en évidence les principales propriétés de la loi des réseaux.
- Connaître les consignes de sécurité pour l'usage d'un laser de « faible puissance ».

Consignes et sécurité



ATTENTION A VOS YEUX !

NE JAMAIS regarder directement vers la source LASER, même pour un réglage à travers une fente ou un objet diffractant.

Plan du TP

- 1- Conditions d'observation expérimentale p 2
- 2- Interférences avec deux fentes d'Young p 2
- 3- Interférences avec des fentes multiples p 4
- 4- Interférences d'un réseau plan p 4

Annexes :

Version en couleur dans E:\MesDocs

A1- Liste du matériel utilisé p 7

A2- Spectre d'émission d'une LED blanche p 8

0- TRAVAIL PREPARATOIRE à faire avant le TP

Les logiciels de simulation (applets Java), la documentation et le texte du TP5 en couleur avec ses annexes sont sur la page des TP d'optique S3 accessible par <http://mpsn.free.fr>

Lire attentivement le texte de TP, de préférence en couleur.

Retravailler les chapitres sur les « surfaces diffractantes multiples » et sur les « réseaux ».

OBLIGATOIRE pour les DEUX étudiants du binôme :

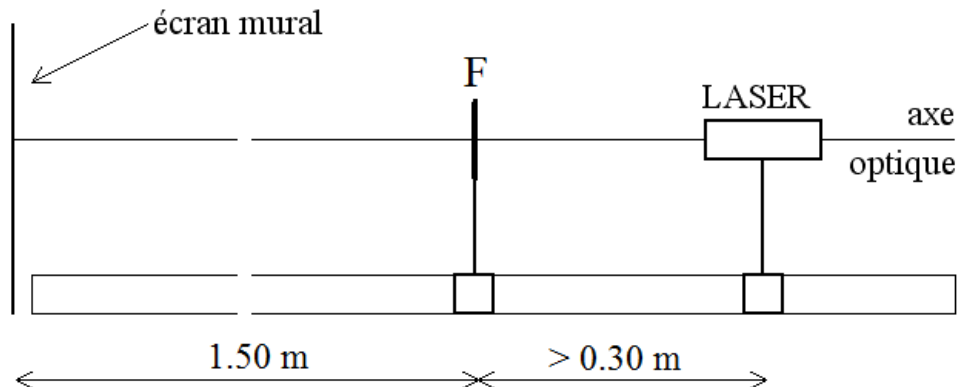
Réaliser les expériences virtuelles décrites au §2.1- , §3.1 ainsi que les calculs théoriques des §2.1- , §3.1- et §4.3-

Applet Java : interférences à N ondes

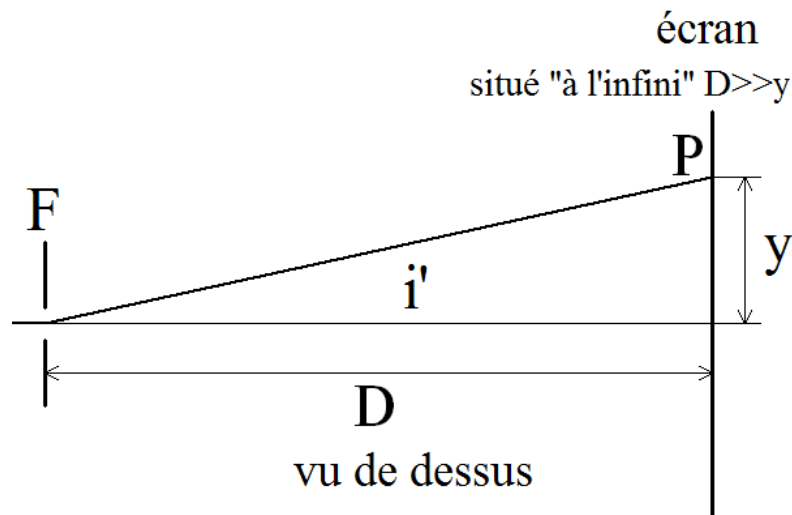
<http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optiphy/reseau2.html>

1- CONDITIONS D'OBSERVATION EXPERIMENTALES

Les différentes expériences proposées dans ce TP consisteront à éclairer un **objet diffractant F** (fentes doubles, fentes multiples, réseau plan) avec une **diode laser rouge** $\lambda = 653 \text{ nm}$.



Pour se mettre dans la situation la plus simple d'un point de vue théorique, la lumière diffractée par F sera observée « à l'infini optique » : concrètement on placera une **feuille de papier sur l'écran mural** afin d'y noter soigneusement au crayon fin la position des taches de lumière produites.



Le banc optique sera positionné le plus **perpendiculairement** possible à l'écran mural. La distance D (la plus grande possible en fonction de l'encombrement du banc, pas moins de 1.50 m) sera mesurée au grand régle métallique. Les enregistrements « papier », relevé à la main sur le mur, seront exploités le plus efficacement possible à l'aide d'un régle millimétrique (mesures de « y »). On gardera en tête que les angles i' sont dans ces conditions assez petits.

2- INTERFERENCES AVEC LES DEUX FENTES D'YOUNG

Remarque : l'étude détaillée de la diffraction par une fente simple est l'objet du TP4.

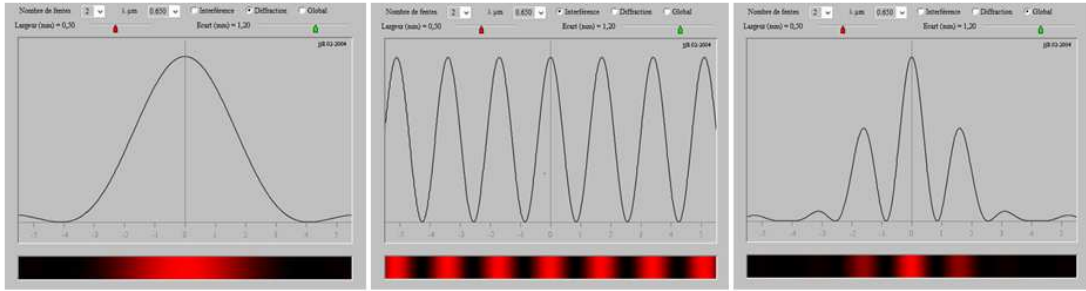
2.1- Analyse théorique pour deux fentes fines écartées de b

Dans les schémas du §1, l'objet diffractant F est constitué de deux fentes fines parallèles de **largeur e** ($e \ll L$ hauteur de la fente) symétriques et dont les centres sont décalés d'un **écart b**.

Les lumières diffractent au passage de chaque fente, mais de plus **les lumières issues des deux fentes sont cohérentes et donc interfèrent** (de façon constructive ou non selon le déphasage) : l'obtention des franges d'interférences par fentes d'Young est donc indissociable du phénomène de diffraction.

Les fentes, éclairées par derrière en lumière parallèle, se comportent comme **deux sources secondaires cohérentes entre elles** ; elles réalisent un dispositif interférentiel par **division du front d'onde**.

La simulation de l'applet « Interférences à N ondes » réglée avec $N = 2$ et $\lambda = 0.650 \mu\text{m}$ donne :



$$\left(\frac{\sin u}{u}\right)^2 \times 2 \left\{1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_0} \times \delta\right)\right\} \quad E_0 = E_s(P')$$

terme de diffraction par une fente \times terme d'interférence à 2 ondes = global

Revoir le §1 du chapitre « Surfaces diffractantes multiples » du Cours-TD où l'on retrouve les éléments nécessaires pour les démonstrations suivantes :

Q2.1a- Rappeler ce que représente le premier terme de cette expression. Dans les notations du TP, donner l'expression de la variable « u ».

Q2.1b- Faire une figure explicitant la différence de marche $\delta = b \sin(i')$ entre les lumières diffractées par les deux fentes dans la direction i' . Exprimer δ en fonction des trois longueurs b , y et D en tenant compte de la configuration expérimentale utilisée.

Q2.1c- Expliciter le lieu des franges brillantes y_p en fonction de l'ordre p et des paramètres de l'expérience. Montrer que la distance entre deux franges successives est l'interfrange $i = D \lambda_0 / b$

2.2- Mesure de l'interfrange et de l'écart entre fentes b

La situation expérimentale est celle du §1- en faisant diffracter le faisceau LASER sur le jeton présentant trois paires de fentes. **On utilise la paire de fentes centrale du jeton.**



Protocole de mesure :

- Positionner le jeton utile sur son support, mesurer (au mm près ?) la distance entre l'écran mural et le centre de l'axe de son cavalier avec un grand régleur métallique.
- Translater le support latéralement et régler le faisceau sur la paire de fentes choisie en ayant l'image la plus horizontale sur l'écran.
- Affiner la position du banc optique le plus perpendiculairement à l'écran mural.
- Mettre en place une feuille de papier sur lequel on a tracé au préalable des traits parallèles qui serviront d'axes pour faciliter les relevés manuels ultérieurs. Aligner l'un des traits sur celui de la distribution de lumière.
- Faire un relevé soigneux des positions des différentes taches de lumière : veiller à bien distinguer les principales taches de diffraction par une fente rectangulaire (le premier terme de la formule) ; dans la tache centrale, relever le plus précisément possible la position centrale des franges brillantes (séparées par un interfrange bien petit...).

Q2.2a- Mettre en œuvre le protocole expérimental précédent pour la paire de fente centrale du jeton.

Q2.2b- Exploiter l'enregistrement pour estimer au mieux la valeur de l'interfrange. En déduire l'écart b entre les deux fentes d'Young utilisées.

Remarque : on pourrait aussi exploiter cet enregistrement pour estimer la largeur de la tache centrale de diffraction et en déduire la largeur de chacune des deux fentes d'Young utilisée (cf. TP4).

3- INTERFERENCES AVEC DES FENTES MULTIPLES

3.1- Données théoriques pour N fentes

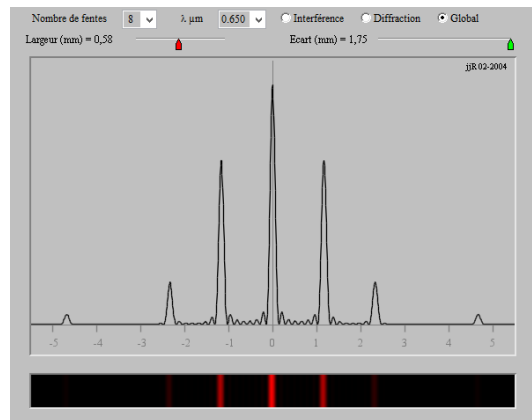
Le faisceau lumineux est diaphragmé par N fentes fines de **largeur e** , séparées de b.

On a montré dans le §2- du chapitre « Surfaces diffractantes multiples » du Cours-TD que l'éclairement reçu à l'infini est :

$$E = N^2 E_0 \times \left(\frac{\sin(u)}{u} \right)^2 \times \left(\frac{\sin(N u')}{N \sin(u')} \right)^2$$

$$\text{avec } u = \frac{\pi e (\sin i' + \sin i)}{\lambda}$$

$$\text{et } u' = \frac{\pi b (\sin i' + \sin i)}{\lambda}$$



Expérimentation préparatoire virtuelle :

Avant le TP exécuter l'applet « Interférences à N sources » pour simuler la formule précédente. Régler $\lambda = 0.650 \mu\text{m}$ puis $N = 4, 8, 16, 32$.

Q3.1- Quelle propriété pratique présente la fonction d'éclairement E(N) lorsque le nombre N de fentes augmente ?

3.2- Observations expérimentales

La situation expérimentale est celle du §1- mais en changeant F : on fait diffracter le faisceau LASER sur un autre jeton présentant quatre séries de fentes multiples. Le protocole à utiliser sera adapté du précédent (§2.2-).

On n'expérimentera qu'avec les deux séries de fentes les plus extérieures du jeton (les séries de 3 et 14 fentes respectivement). Les fentes de ce jeton font $40 \mu\text{m}$ de largeur et sont espacées de $100 \mu\text{m}$.

Q3.2- Identifier et mettre en place le second jeton. Pour chacune des deux séries extérieures de 3 et 14 fentes, relever la distribution de lumière le long de l'axe dans la tache centrale de diffraction. Observer et analyser. Que constate-t-on ?

4- INTERFERENCES PAR UN RESEAU PLAN

4.1- Modélisation d'un réseau par N fentes

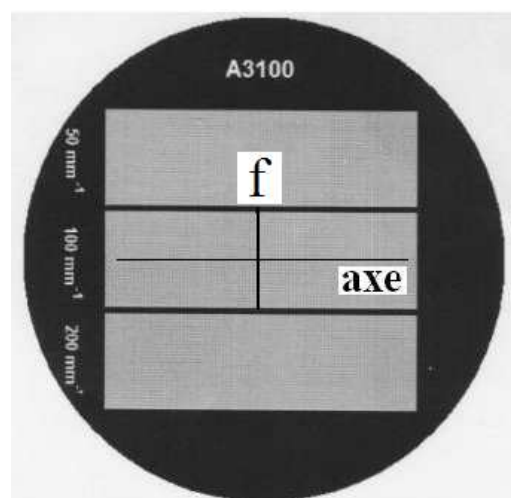
Le jeton A3100 regroupe trois réseaux plans. Chacun d'eux se comporte comme une série de fentes fines parallèles f, alignées le long du grand axe du réseau (les fentes sont donc perpendiculaires au grand axe).

On parle usuellement de « **pas** » du réseau (c'est à dire la **largeur du motif périodique**) ou aussi de « traits » car certaines technologies utilisées ne consistent pas à réaliser de véritables fentes (en anglais : *grating* et *lines* donc n donné en « lines/mm »).

Le réseau central présente $n = 100 \text{ tr/mm}$, sa largeur utile est d'environ 2.6 cm.

Q4.1- Estimer :

- Le pas du réseau (la largeur du motif périodique) .
- Le nombre total de traits du réseau N_t .
- Le nombre N de traits éclairés par le spot laser rouge. Commenter



4.2- Observations expérimentales

La situation expérimentale est celle du §1- mais en changeant encore F : on fait diffracter le faisceau LASER sur un troisième jeton présentant trois réseaux. Le protocole à utiliser sera adapté du §2.2-.

Utiliser le réseau central 100 tr/mm.

Q4.2- Sans faire de relevé papier, décrire brièvement la figure obtenue (en particulier le nombre de taches, l'éclairement relatif des taches rouges sur l'écran mural). Interpréter les observations expérimentales précédentes obtenues avec le réseau en lien avec les résultats du §3. Interpréter les aussi avec le concept « d'ordre » introduit dans la loi des réseaux que l'on rappellera.

4.3- Nombre d'ordres observables pour un réseau

Q4.3a- Montrer que les taches observées vérifient a priori la condition : $\frac{\sin i - 1}{n\lambda} \leq k \leq \frac{\sin i + 1}{n\lambda}$.

Q4.3b- Calculer les valeurs de k vérifiant cette condition pour le réseau $n = 200$ tr/mm éclairé en incidence normale avec la diode laser rouge.

Sur le banc optique, régler le faisceau pour éclairer en incidence quasi normale le réseau $n = 200$ tr/mm.

Q4.3c- A l'aide d'une simple feuille de papier servant d'écran circulaire, identifier le nombre d'ordres observables en transmission. Faire de même en réflexion.

Remarque : ici le laser fournit une lumière suffisamment cohérente pour pouvoir faire les observations. Ce n'est usuellement pas le cas avec une lampe spectrale (goniométrie) dont la luminosité est insuffisante.

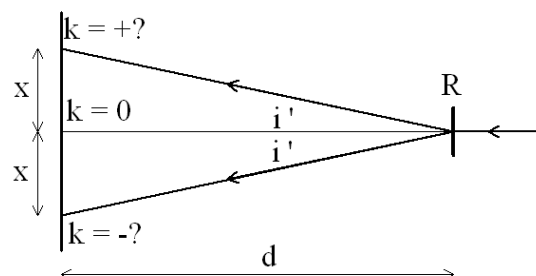
4.4- Effet de l'angle d'incidence

Q4.4a- Sur la situation précédente (Q4.3c-), faire varier l'angle d'incidence. Comment évolue la figure et la distribution des ordres ?

Q4.4b- Quelle propriété simple présente a priori la figure reçue sur l'écran dans le cas d'une incidence normale ?

Q4.4c- Régler finement la position du réseau **en incidence normale** en précisant votre critère opératoire.

Q4.4d- Estimer au mieux la distance $2x$ pour l'ordre k choisi. En déduire l'angle i' associé. Puis estimer la longueur d'onde du laser à 1 nm près.



Remarque : un travail expérimental quantitatif sur l'influence de l'angle d'incidence nécessite des mesures d'angle i' fines peu aisées à faire sur le banc. Il vaudrait mieux le faire par goniométrie au minimum de déviation ! (voir le TP3)

4.5- Effet du nombre n de traits par mm

Q4.5a- On se place dans le cas d'une incidence normale. La longueur x est-elle simplement proportionnelle au nombre de traits n ? Que prévoit-on précisément lorsque n diminue ?

Q4.5b- Dans les conditions expérimentales de la question précédente Q4.4c-, régler successivement $n = 200, 100$ et 50 tr/mm. Résumer vos observations en lien avec la loi des réseaux.

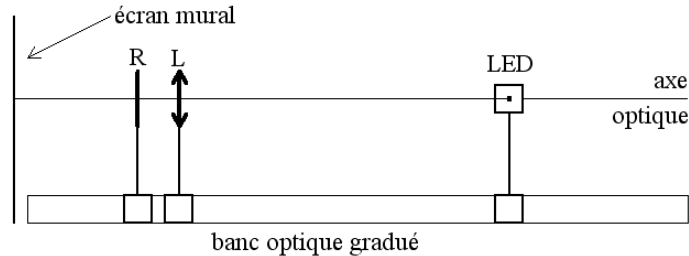
4.6- Un réseau optique est essentiellement dispersif

Un réseau est un système optique quasiment toujours utilisé pour son caractère **dispersif** : un faisceau de lumières polychromatiques sera « dispersé », c'est à dire étalé géométriquement, de sorte que **des lumières de couleurs différentes iront dans des directions différentes** en sortant du réseau.

Le rôle principal d'un réseau est donc de **fournir un spectre** permettant d'analyser la composition en couleur d'une lumière polychromatique. Cette fonction majeure sera développée au TP3 et lors de l'étude des **spectromètres**. C'est un outil fondamental de la Physico-Chimie.

Une LED blanche standard émet une lumière « blanche » un peu bleutée dont le spectre est donné dans l'annexe A2-

La partie rayonnante de la LED est suffisamment petite pour que la source soit considérée comme « ponctuelle ».



- Placer la LED brillante à 0.8 m environ de l'écran mural.
- Positionner la lentille convergente L de focale 200 mm afin d'obtenir une image petite, nette et très lumineuse sur l'écran.
- Placer ensuite le réseau R juste après la lentille (R est le réseau triple A3100 décrit p 4).

Q4.6- Décrire brièvement la figure obtenue et expliciter le caractère dispersif du réseau.

ANNEXES

Annexe A1- LISTE DU MATERIEL UTILISE

Matériel utilisé

- un banc optique de 2 m
- un cavalier à translation latérale, deux cavaliers standards
- objets diffractants avec jetons et supports : fentes doubles, fentes multiples, triple réseaux
- diode laser
- LED blanche et son alimentation
- papier blanc, adhésif
- un classeur avec texte de TP, annexes et fiches techniques

Matériel informatique et logiciels utilisés

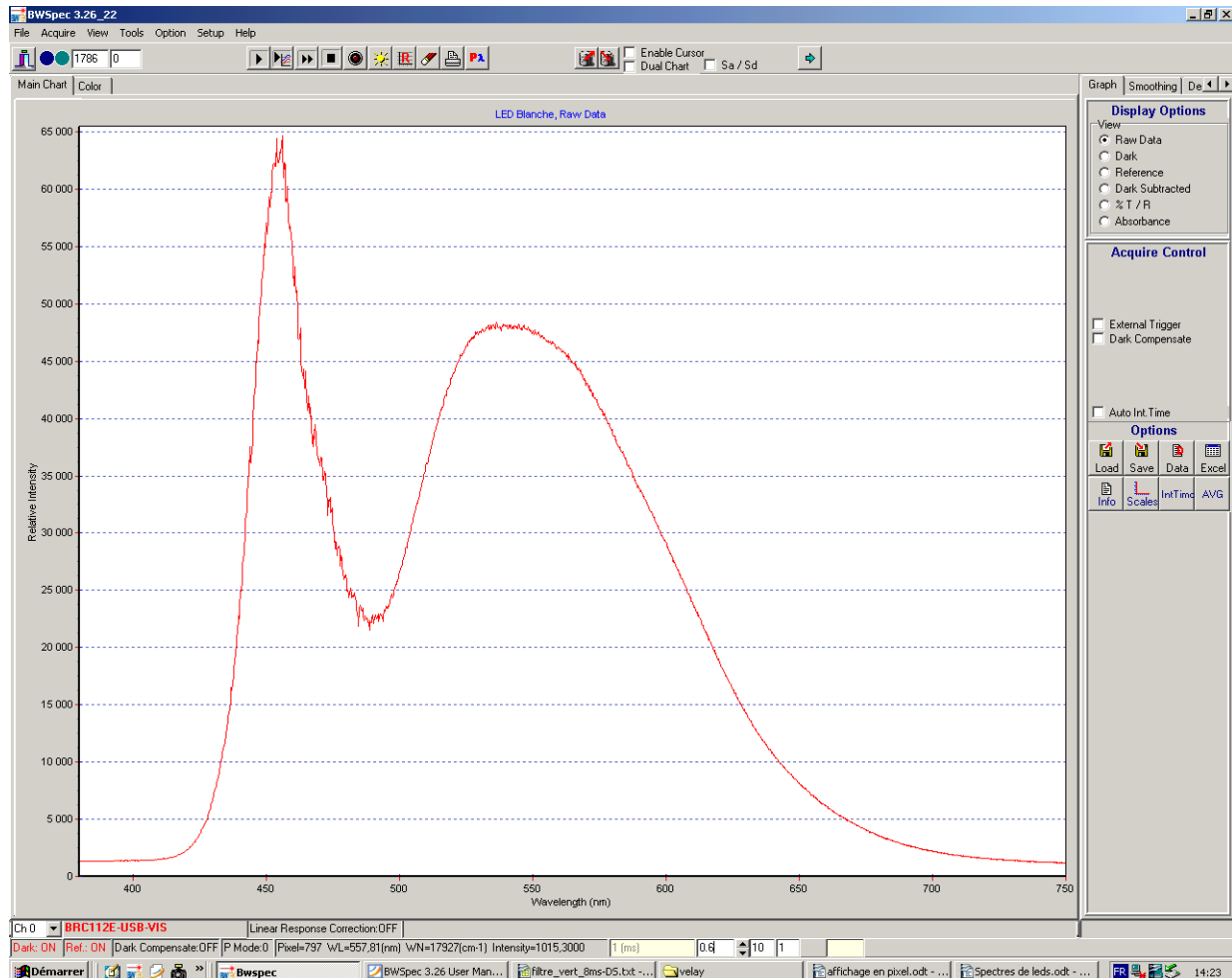
- navigateur avec plugin java (1.5 minimum)
- ensemble de pages d'aide et de simulation par applet java.
- accès à l'imprimante réseau

Applet Java : interférences à N ondes

<http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optiphy/reseau2.html>

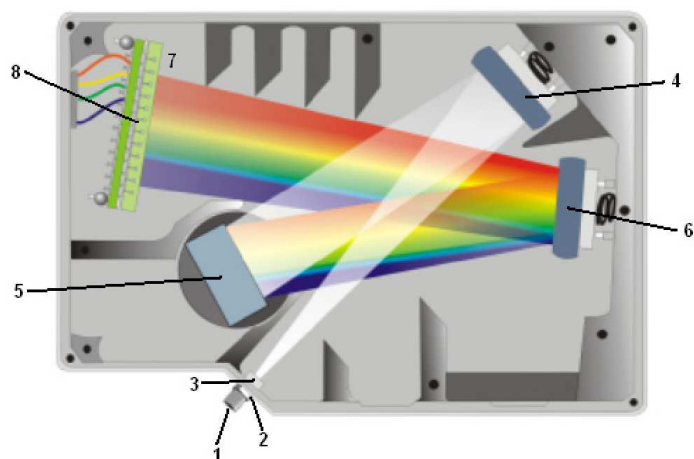
Annexe A2- SPECTRE D'UNE LED BLANCHE

L'étude du spectre d'émission d'une LED blanche standard (éclairage) est réalisée lors des TP de S3 à l'aide d'un spectromètre compact à réseau. On peut noter la forte composante bleu de la lumière émise (mise en cause pour l'éclairage destiné aux jeunes enfants).



Pour un **spectrographe**, l'ensemble des lumières dispersées par le réseau est analysé globalement par un « récepteur d'image » qui permet d'obtenir un spectre en une seule exposition. Les pixels du récepteur numérique CCD (ou CMOS) permettent une acquisition rapide d'un signal électronique.

Dans cette configuration, la lumière à analyser, collectée par une **fibre optique**, est introduite dans le spectromètre en (1), au travers d'une **fente** (2) et d'un **filtre optique** (3). Le faisceau est réfléchi sur le **réseau** (5) par un **miroir courbe de collimation** (4) destiné à élaborer un faisceau quasi-parallèle. Le faisceau issu du réseau dont les couleurs sont maintenant « dispersées » est renvoyé par un second **miroir courbe de focalisation** (6) sur le **capteur d'image** (8) dont chacun des **pixels** recevra la lumière d'un élément spectral $\Delta\lambda$ distinct et élaborera une réponse numérique après conditionnement et conversion. Le capteur inclut souvent un système de lentille (7) optimisant la collecte du flux sur les pixels.



TP5

INTERFERENCES

PAR DIVISION DU FRONT D'ONDE

PRESENTATION	1
0- TRAVAIL PREPARATOIRE à faire avant le TP OBLIGATOIRE pour les deux étudiants du binôme	1
1- CONDITIONS D'OBSERVATION EXPERIMENTALES	2
2- INTERFERENCES AVEC LES DEUX FENTES D'YOUNG	2
3- INTERFERENCES AVEC DES FENTES MULTIPLES	4
4- INTERFERENCES PAR UN RESEAU PLAN	4
Annexe A1- LISTE DU MATERIEL UTILISE.....	7
Annexe A2- SPECTRE D'UNE LED BLANCHE	8

Ouvrir une session sur l'ordinateur :

Utilisateur : **etmp**

Mot de passe : **mesures**