

Travaux Pratiques d'Optique Ondulatoire

Sommaire

Introduction générale	2
TP1 : Interference of 2 waves : Young's double-slit illuminated by a laser (1h).....	5
TP2 : Réseaux de diffraction éclairés avec des lasers (2h).....	7
TP3 : Diffraction par une ouverture (2 h).....	9
TP4 : Réseaux de diffraction étudiés avec un goniomètre (4h)	11
TP5 : Interféromètre de Michelson (4h)	14
Annexe 1 : Spécifications des jetons d'interférences et de diffraction	22
Annexe 2 : Réseaux de diffraction	23
Annexe 3 : Diffraction par une ouverture circulaire	24

Alternants, 2026-2027

Enseignantes : Elodie Bidal et Irène Ventrillard

elodie.bidal@univ-grenoble-alpes.fr

irene.ventrillard@univ-grenoble-alpes.fr

Autre contributeur : Guillaume Bachelier

Introduction générale

Les séances de TP sont organisées de manière différentes les unes des autres avec des objectifs variés : découvrir, illustrer ou approfondir des notions théoriques ; acquérir des compétences expérimentales ; maîtriser des outils méthodologiques ; apprendre à rédiger un rapport scientifique ; se familiariser avec la pratique de l'anglais ...

Consignes et précautions d'usage

Des consignes élémentaires de manipulation, de sécurité et de soin du matériel doivent être respectées:

Laser

Un faisceau laser constitue un danger lors de l'observation de rayons directs ou de réflexions spéculaires (rayons réfléchis par une surface avant d'arriver dans l'œil). Même si les lasers du TP sont visibles et à faible puissance, il faut veiller à ne pas envoyer le faisceau laser dans les yeux. Le risque le plus courant consiste à envoyer des faisceaux secondaires dans les yeux d'une autre personne : soyez vigilant.e pour les yeux des autres !



Les recommandations principales sont les suivantes :

- Il faut toujours veiller à ce que le faisceau soit stoppé en bout de banc (par exemple avec un écran opaque).
- Lorsqu'on insère un élément d'optique dans le faisceau, vérifier que les réflexions parasites soient également bloquées. En particulier, attention aux réflexions sur les supports métalliques des optiques ou sur les montres.
- **Il ne faut JAMAIS mettre son œil à la hauteur du faisceau laser** (attention en particulier à la hauteur des yeux lors de la prise de notes !).

Éléments optiques

Ne jamais toucher les éléments optiques avec les doigts (lentilles, réseaux, fentes, jetons...). Cela les salit et les détériore (rayures, traitements optiques abîmés...). Pour nettoyer une optique, utiliser un papier spécifique et de l'éthanol (disponibles dans la salle).

Alignement du banc optique

Lorsqu'un banc optique est utilisé, il faut aligner le faisceau lumineux de la source avec les axes optiques des différents éléments optiques utilisés. Ceci facilite les réglages et permet d'effectuer des mesures correctes. Le faisceau optique doit rester horizontal.

Le matériel doit être rangé en fin de séance y compris les tabourets ! Merci d'avance.

Documents

Ce polycopié rassemble les énoncés et les annexes spécifiques à ce cycle.

En complément, vous pourrez trouver **sur Chamilo** (dans le cours "optique ondulatoire, alternants") les **annexes "Incertitudes" et "Courbes de tendance"** du polycopié de TP d'optique géométrique de S2 ; ainsi que la fiche de **méthodologie S1 sur la rédaction d'un compte-rendu** et les **grilles d'évaluation de ces TP S3**.



Organisation des séances

Les séances sont effectuées en **binôme qui sont imposés**. Dans le cas d'un nombre impair d'étudiants, une personne travaillera seule (voir avec l'enseignante les adaptations à prévoir).

Les séances des TP 1 à 3 sont d'une durée de 2h, l'ensemble des binômes travaille sur le même sujet. Les TP 4 et 5, d'une durée de 4h chacun, seront effectués en « TP tournants » : à chaque séance, la moitié des binômes travaille sur un des deux TP.

Le timing annoncé dans les énoncés est indicatif, pour vous aider à gérer le temps.

En fin de cycle, une séance d'examen pratique individuelle est organisée, d'une durée de 2h.

Evaluation

La note finale est calculée à partir de la **moyenne des comptes-rendus et de la note d'examen pratique, avec des coefficients de 1/3 et 2/3** respectivement.

A. Comptes-rendus

Pour les TP 2 à 5, un CR est à rendre en fin de séance. Aucun TP fera l'objet d'un compte-rendu exhaustif. Les **parties à rédiger sont spécifiées dans chaque énoncé**. Afin de s'assurer que **chaque étudiant assure l'ensemble des rôles au sein du binôme** (mesure, rédaction, analyse, mise en forme de tableaux et de graphiques, calculs d'incertitudes...), **une rotation est imposée**. Elle est précisée dans l'introduction de chaque TP et rappelée dans les grilles d'évaluation distribuée en début de chaque TP. Prenez **connaissance de ces grilles critériées avant de commencer la rédaction du CR**. Les TP 2 et 3, d'une durée de 2h, donneront lieu à la rédaction d'un CR rédigé en binôme. Pour les TP 4 et 5, d'une durée de 4h, les parties à rédiger par chaque étudiant seront rédigées séparément. Les évaluations sont en conséquence. Le résumé des rendus et le type d'évaluations sont donc les suivants :

	Durée	CR et évaluation
TP1	2 h	-
TP2	2 h	En binôme
TP3	2 h	En binôme
TP4	4 h	En individuel
TP5	4 h	En individuel

Constitution des binômes : ils sont imposés par l'enseignante. Ils sont identiques pour les TP2 et 3 puis pour les TP4 et 5.

B. Examen pratique

La dernière séance sera consacrée à un examen pratique en individuel d'une durée de 2h.

Chaque étudiant.e sera évalué.e sur différentes **compétences acquises lors de l'ensemble des TP** (pas uniquement sur les parties à rédiger : prenez des notes et ne vous limitez pas aux parties pour lesquelles

vous devez rendre un CR).

Lors de l'examen un exemplaire vierge de ce polycopié sera disponible, aucun autre document ne sera autorisé.

Les compétences expérimentales qui seront évaluées seront tirées au sort parmi les compétences travaillées lors des différentes séances :

- Distinguer le phénomène de diffraction du phénomène d'interférences (TP1).
- Mesurer le nombre de traits par millimètre d'un réseau éclairé par un laser (TP2).
- Mesurer la largeur d'une fente fine éclairée par un laser (TP3).
- Mesurer le diamètre d'une ouverture circulaire éclairée par un laser (TP3).
- Régler la position d'un réseau en incidence nulle sur la plateforme d'un goniomètre (TP4).
- Mesurer le pas d'un réseau de diffraction positionné sur un goniomètre (TP4).
- Mesurer une longueur d'onde avec un réseau de diffraction positionné sur un goniomètre (TP4).
- Régler un interféromètre de Michelson pour passer de la configuration lame à faces parallèle au coin d'air et réciproquement (TP5).
- Faire une image des interférences sur un écran dans les deux configurations du Michelson (TP5).
- Repérer le contact optique avec un interféromètre de Michelson (TP5).
- Mesurer l'écart de longueur d'onde entre les deux raies spectrales proches avec un interféromètre de Michelson (TP5).
- Mesurer l'indice d'une lamelle en verre avec un interféromètre de Michelson (TP5).

Un TP ça se prépare :

- Lisez l'énoncé à l'avance et revoyez les cours et TD qui s'y rapportent.
- Organisez votre binôme pour déterminer à l'avance qui rédigera quelle partie.
- Prenez connaissance de la grille critériée et du poids attribué à chaque critère.
- Le TP Michelson (TP5) contient des parties préparatoires que vous devez impérativement préparer avant la séance pratique.

Bons TP à toutes et à tous !

TP1 : Interference of 2 waves : Young's double-slit illuminated by a laser (1h)

Introduction

The objective of this session is to observe and study interference patterns obtained when a laser is shining light onto a pair of identical slits (double-slit, so-called "Young's slits").

Equipment available:

- Lasers (red, green and blue)
- Several double-slits (in their mounts, specifications in **annex 1**)
- CCD sensor (photodiodes linear array)
- Optical elements: bench, mounts (some of them with a translation stage), screen, ...

Report: For this session, it is not required to hand in a report. However, your observations and measurements will be used later. It is therefore necessary to take detailed notes.

Experimental work

1. Observation of the interference pattern

Develop an optical set-up that allows you to observe an interference pattern induced by sending a laser beam through a double-slit.

2. Experimental parameters that modify the interference pattern (30 min)

List these parameters: be as exhaustive as possible! Summarize your observations in a table:

Parameter	Effect
Laser power	Brightness of the pattern
...	...

3. A parameter to characterize the interference pattern (30 min)

- Use the CCD to acquire an interference pattern.
- Compare this acquisition to the observation on the screen.
- Define a parameter that allows you to characterize the interference pattern observed. Check that this parameter is really related to the use of a double-slit.

Glossary

slit	<i>fente</i>
width	<i>largeur</i>
separation	<i>écartement</i>
wavelength	<i>longueur d'onde</i>
beam	<i>faisceau</i>
pattern	<i>motif, figure</i>
set-up	<i>montage</i>
accurately	<i>précisément</i>
uncertainty	<i>incertitude</i>
therefore	<i>donc</i>
Allow	<i>autoriser</i>

TP2 : Réseaux de diffraction éclairés avec des lasers (2h)

Introduction

Cette séance a pour objectifs d'observer la lumière transmise par un réseau de diffraction ; de faire le lien entre la figure observée et la théorie ; puis de mettre au point un protocole de mesure du nombre de traits par millimètre du réseau. Si le cours n'a pas encore été traité, on pourra se référer à l'**annexe 2** "Réseaux de diffraction".

Compte-rendu et organisation du binôme :

Ce TP2 est effectué en binôme, binôme qui sera identique pour le TP3. Le travail est à rendre en fin de séance. Il n'est pas demandé de CR exhaustif, seule la partie 2 sera rédigée et évaluée à l'aide de la grille critériée correspondante (voir sur Chamilo). **Un membre du binôme (etdA) rédigera le compte-rendu** (protocoles, mesure et incertitude, conclusion) **et l'autre membre (etdB) mettra en forme les tableaux et graphiques**. Les rôles seront permutés lors du TP3. **Les deux notes obtenues pour chacun des TP2 et 3 seront attribuées au binôme sans distinction.**

Pour vous aider à cerner les attentes dans la rédaction du protocole, le protocole pourra être soumis à un étudiant « cobaye » (membre d'un autre binôme). Ce processus vous permettra d'améliorer le protocole.

Compétence expérimentale (qui pourra être évaluée lors de l'examen pratique) :

- Mesurer le nombre de traits par millimètre d'un réseau éclairé par un laser.

Matériel disponible :

- Différents réseaux,
- 1 laser (rouge, vert ou bleu)
- Eléments optiques : banc, cavaliers (dont certain avec des réglages en translation), écran

Travail à effectuer

1. Observation de la figure d'interférences (30 min)

- a) Observez la lumière transmise par un réseau éclairé par un laser. On appelle celle-ci « *figure d'interférences* ».
- b) Repérez les différents ordres de diffraction du réseau. En particulier, comment repérer l'ordre zéro ?
- c) Effet du pas du réseau :
 - i. Rappelez la définition du pas du réseau et la relation avec le nombre de traits par millimètre.
 - ii. Changez le pas du réseau et observez l'effet sur la lumière transmise.

A ce stade, appelez l'enseignante pour faire un bilan sur cette partie.

2. Mesure du nombre de traits par millimètre du réseau (1h 30) - *Partie à rédiger*

Dans cette partie, **utiliser le réseau spécifié à 140 traits/mm.**

- a) Etablissez un protocole pour mesurer le nombre de traits par millimètre aussi précisément que possible (le protocole choisi devra faire intervenir une régression linéaire).
- b) Réalisez la mesure.
- c) Calculez l'incertitude.
- d) Déduisez-en les valeurs du pas du réseau et son incertitude.
- e) Concluez : donnez le résultat final et commentez la valeur obtenue par rapport à la valeur attendue.

TP3 : Diffraction par une ouverture (2 h)

Introduction

Cette séance vise à observer des phénomènes de diffraction par différentes ouvertures puis à établir des protocoles de mesure de la largeur d'une fente fine et du diamètre d'une ouverture circulaire.

Compte-rendu et organisation du binôme :

L'organisation du TP3 est analogue à celle du TP2, effectué avec le binôme identique. La grille critériée est légèrement modifiée pour être adaptée à ce TP, prenez en connaissance en début de séance. Cette fois, c'est le **membre du binôme etdB qui rédige le compte-rendu** (protocoles, mesure et incertitude, conclusion) **et l'autre membre (etdA) qui met en forme les tableaux**. De même qu'au TP2, la **note obtenue à ce CR sera attribuée au binôme sans distinction**.

Pour ce TP, la partie à rédiger concerne les questions 3b à 3e.

Compétences expérimentales (qui pourront être évaluées lors de l'examen pratique. **Cela ne concerne pas que les parties à rédiger** : pensez à prendre des notes individuelles sur l'ensemble du travail effectué en séance !) :

- Mesurer le diamètre d'une ouverture circulaire éclairée par un laser.
- Savoir distinguer le phénomène d'interférences et de diffraction.
- Mesurer la largeur d'une fente fine éclairée par un laser.

Matériel disponible :

- jetons avec des fentes et des trous (spécifications constructeurs en **annexe 1**),
- fente de largeur variable (**Attention : la fente de largeur variable est fragile, ne pas la fermer complètement en serrant trop fort la vis micrométrique**),
- laser rouge,
- caméra CCD,
- éléments optiques : banc, cavaliers (dont certains avec des réglages en **translation, les utiliser et à bon escient !**), écran, montures ...

Rappel de cours : L'annexe 3 résume le phénomène de diffraction par une ouverture circulaire qui est peu étudié en TD.

La diffraction par une fente étant largement étudié en TD, les équations utiles en Travaux Pratiques doivent être connues (au même titre que celles qui concernent les interférences).

Travail à effectuer

1. Mesure de la dimension d'une ouverture circulaire (30 min)

- a) Eclairez un trou circulaire avec le laser pour observer la figure d'interférences sur un écran.

Conseils de réglage : placez le jeton sur le pied avec la translation horizontale pour un réglage fin. Avec le jeton A3016, le réglage de hauteur peut se faire avec le trait horizontal situé à la hauteur des trous.

- b) Calculez le diamètre du trou et comparez à la spécification.

A ce stade, appelez l'enseignante pour faire un bilan sur cette partie.

2. Observations de la figure de diffraction par une fente (15 min)

- a) Décrivez la figure de diffraction par une fente de largeur variable et commentez l'effet de la largeur de la fente.
- b) Comparez à la théorie.
- c) Eclairez une double fentes (fentes d'Young) et comparez la figure observée par rapport à celle d'une fente simple.

3. Mesure de la largeur d'une fente fine fixe (1 h 15)

Dans cette partie, **choisir une fente fixe sur un des jetons** (largeur fixée et spécifiée par le constructeur, voir l'annexe 1).

- a) Eclairez la fente avec un laser et enregistrez la figure de diffraction avec la caméra CCD.
- i. A quoi correspondent les axes du logiciel de la caméra ?
- ii. Expliquez le lien entre l'enregistrement à la CCD, la figure observée à l'écran et la théorie.

Partie à rédiger :

- b) Etablissez un protocole pour mesurer la largeur de la fente aussi précisément que possible.
- c) Réalisez la mesure.
- d) Calculez l'incertitude.
- e) Sur quel paramètre faudrait-il travailler pour minimiser l'incertitude ? Ceci revient à identifier le facteur limitant actuellement l'incertitude.
- f) Concluez : donnez le résultat final et comparez la valeur obtenue à la valeur attendue.

TP4 : Réseaux de diffraction étudiés avec un goniomètre (4h)

Introduction

L'objectif est d'étudier la dispersion de la lumière par un réseau puis d'utiliser ce phénomène pour mesurer le pas d'un réseau et une longueur d'onde avec précision en utilisant un instrument de mesure de déviation angulaire, appelé goniomètre.

Comptes-rendus et organisation du binôme :

Ce TP est effectué en binôme, binôme. Seules les parties 3 et 4 sont à rendre. Elles seront rédigées, de manière individuelle : **partie 3 pour etd-A et partie 4 pour etd-B.**

Compétences pratiques :

Les compétences suivantes seront **évaluées par l'enseignante durant la séance pour chacun des étudiants** :

- Savoir positionner le réseau en incidence nulle sur la plateforme du goniomètre.

Cette évaluation individuelle pourra intervenir à tout moment une fois que les parties 1 et 2 auront été traitées. L'acquisition de ces compétences comptera dans de la note de CR de chaque étudiant.e. Elle est intégrée à la grille critériée d'évaluation, qui est identique pour les deux parties (distribuée en début de séance). Pour **ce CR, chaque étudiant du binôme aura donc une note indépendante.**

Compétences expérimentales (évaluées lors de l'examen pratique : pensez à prendre des notes individuelles sur l'ensemble du travail effectué en séance !) :

- Mesurer le pas d'un réseau de diffraction positionné sur un goniomètre.
- Mesurer une longueur d'onde avec un réseau positionné sur un goniomètre.

Matériel disponible :

- Réseaux de diffraction : 8 traits/mm, 100 traits/mm et 600 traits/mm,
- Goniomètre optique,
- Miroir (pour le réglage du goniomètre),
- Lampe spectrale à vapeur de mercure dont la composition spectrale est la suivante :

raies Hg	Violet intense	Violet faible	Indigo intense	Bleu vert faible	Vert intense	Double t jaune	Doublet jaune 2
λ (nm)	404.7	407.8	435.8	491.6	à mesurer	577.0	579.1

1. Etude de la dispersion de la lumière par un réseau (30 min)

Il s'agit ici de réaliser des observations et de les relier à la théorie abordée en cours et en TD. Cette partie ne nécessite aucun réglage du goniomètre. Votre étude abordera les points suivants :

- Pourquoi la lumière transmise par le réseau est-elle composée de différentes raies colorées ?
- Quelles différences y a-t-il en fonction des différents réseaux éclairés ?
- Combien d'ordres de diffraction observe-t-on ?
- Comment repérer l'ordre zéro ?
- Du spectre visible, quelles sont les longueurs d'onde les plus déviées par un réseau de diffraction : les courtes ou les longues ? Quelles sont les couleurs correspondantes dans le cas d'une lampe à vapeur de mercure ?
- Est-ce que l'intensité des différents ordres diffractés est identique ? Comparez à la théorie.

A ce stade, appelez l'enseignante pour faire un bilan sur cette partie.

2. Réglages du goniomètre (1h)

I) Réglages du goniomètre

Pour effectuer les réglages ci-dessous, se référer au fascicule disponible en séance :

- Régalez la lunette de visée pour une vision nette à l'infini par auto collimation.
- Régalez le collimateur pour éclairer le réseau en lumière parallèle.
- Régalez l'orientation du plateau pour éclairer le réseau perpendiculairement à sa surface.
- Expliquez pourquoi il est nécessaire de faire ces différents réglages.

A ce stade, appelez l'enseignante pour faire un bilan sur cette partie.

II) Réglage de l'angle d'incidence sur le réseau

- Sur un schéma**, représenter le réseau, le rayon incident et les rayons émergents. Repérer l'angle d'incidence sur le réseau (θ_i) et les angles des différents ordres (θ_m).
- Avec le goniomètre, peut-on mesurer directement les angles θ_i et θ_m ?
- Quel est l'avantage d'éclairer le réseau sous incidence nulle ?
- Quels réglages devez-vous effectuer pour éclairer le réseau sous incidence nulle ?

A ce stade, appelez l'enseignante pour faire un bilan sur cette partie.

3. Mesure du pas d'un réseau (1h 15)

Partie à rédiger par Etd-A :

L'objectif de cette partie est de mesurer précisément le pas du réseau spécifié à environ 100 traits/mm.

- a) Etablissez un protocole pour mesurer le pas du réseau. Le protocole choisi devra faire intervenir une régression linéaire. Utilisez un ou plusieurs schémas pour préciser le protocole.
- b) Réalisez la mesure.
- c) Calculez l'incertitude.
- d) Concluez : donnez le résultat final et commentez la valeur obtenue par rapport à la valeur attendue.

4. Mesure d'une longueur d'onde (1h 15)

Partie à rédiger par Etd-B :

L'objectif de cette partie est de mesurer précisément la longueur d'onde de la raie verte du mercure avec le réseau dont le nombre de traits par millimètre est indiqué à environ 100 traits/mm.

Remarque : Si la partie 3 n'est pas terminée, il est possible de prendre la valeur théorique du pas du réseau pour traiter cette partie (l'indiquer clairement dans le CR).

- a) Etablissez un protocole pour mesurer la longueur d'onde de la raie verte. Le protocole choisi devra faire intervenir une régression linéaire. Utilisez un ou plusieurs schémas pour préciser le protocole.
- b) Réalisez la mesure.
- c) Calculez l'incertitude.
- d) Concluez : donnez le résultat final et commentez la valeur obtenue par rapport à la valeur attendue.

TP5 : Interféromètre de Michelson (4h)

Introduction

L'objectif de cette séance est d'apprendre à utiliser un interféromètre de Michelson, de faire les réglages pour observer les différentes figures d'interférence en faisant le lien avec la théorie, puis de réaliser deux mesures de précision : l'écart de longueur d'onde entre les deux raies spectrales du doublet du sodium et l'épaisseur d'une fine lamelle en verre.

Travail préparatoire : Pour atteindre les objectifs et avoir une bonne compréhension des phénomènes, il est nécessaire de :

- relire (et apprendre !) le cours en lien avec l'interféromètre de Michelson,
- répondre aux questions préparatoires : **parties 2.a, 4.a et 5.a.**

Comptes-rendus et organisation du binôme :

Ce TP est effectué en binôme. Seules deux parties sont à rendre. Elles seront rédigées de manière individuelle : **partie 3b pour etd-B et partie 5b pour etd-A.** Pour ce CR, chaque étudiant aura donc une note indépendante.

Compétences pratiques :

Les compétences suivantes seront **évaluées par l'enseignante durant la séance pour chacun des étudiants** :

- Savoir repérer une zone de brouillage avec la lampe à vapeur de sodium.
- Savoir changer l'interfrange en configuration de coin d'air.
- Savoir repérer le contact optique avec un interféromètre de Michelson (connaître au moins une méthode).

L'acquisition de ces compétences comptera dans la note de CR de chaque étudiant.e. Elle est intégrée à la grille critériée d'évaluation, qui est identique pour les deux parties (distribuée en début de séance).

Compétences expérimentales (qui pourront être évaluées lors de l'examen pratique : prenez des notes individuelles sur l'ensemble du travail effectué en séance !) :

- Régler un interféromètre de Michelson pour passer de la configuration lame à faces parallèle au coin d'air et réciproquement.
- Faire une image des interférences sur un écran dans les deux configurations du Michelson.
- Repérer le contact optique avec un interféromètre de Michelson.
- Mesurer l'écart de longueur d'onde entre les deux raies spectrales proches avec un interféromètre de Michelson.

- Mesurer l'indice d'une lamelle en verre avec un interféromètre de Michelson.

Attention : Le Michelson est un instrument extrêmement sensible et avec lequel il est très facile de perdre tous les réglages : si on n'observe pas les interférences dans les conditions requises, si on touche le mauvais réglage, si on va trop vite... Le risque est réel de retour à la case départ et de ne pas arriver à terminer le TP... Pour ces raisons, contrairement aux autres TP de ce cycle, les réglages et les manipulations à effectuer sont très détaillés. Il est important de les suivre rigoureusement. En particulier : **Ne touchez qu'un seul réglage après l'autre ! Si vous modifiez un réglage et que la figure d'interférences disparaît : ne pas essayer de la faire réapparaître avec un autre réglage, il n'y a aucune chance pour que cela fonctionne.** Si vous perdez les interférences, **appelez votre enseignante avant d'empirer les choses !**

Matériel disponible :

- un interféromètre de Michelson,
- une lampe spectrale de sodium,
- une lampe blanche,
- un laser rouge ($\lambda = 635$ ou 650 nm, $P < 1$ mW, Classe 2) ,
- un condenseur,
- un objectif de microscope,
- une lentille de courte distance focale ($f' < 0.3$ m) ,
- une lentille de longue distance focale ($f' = 1$ m),
- une lamelle de microscope d'épaisseur entre 200 et 250 μm ,
- un filtre rouge,
- un écran de grande taille pour observer les différentes figures d'interférence.

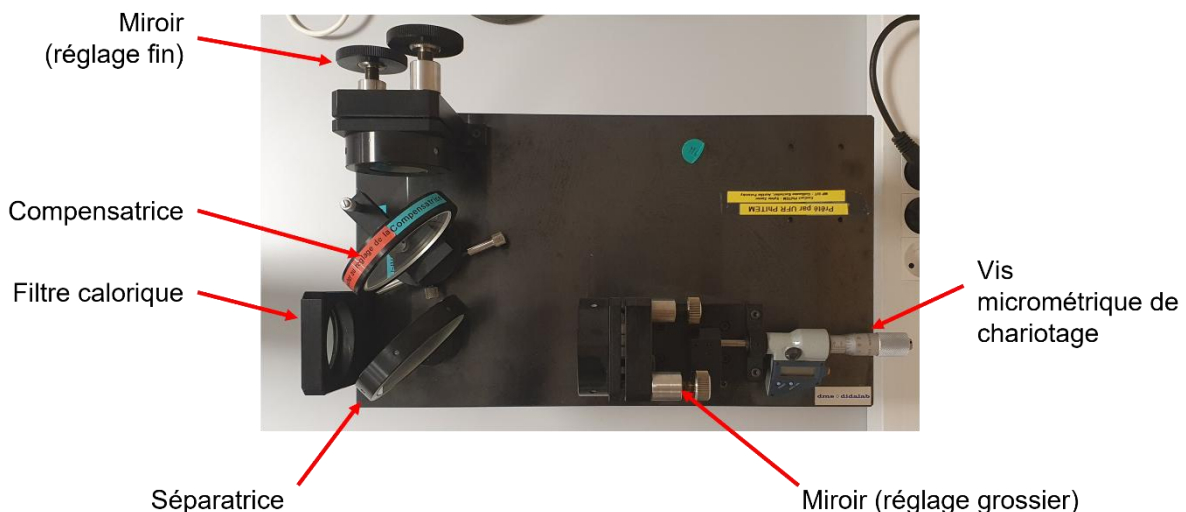


Figure 1 : Interféromètre de Michelson.

Travail à effectuer

1. Découverte de l'interféromètre de Michelson

- a) Repérez les différents éléments : source, miroirs, séparatrice, direction d'observation des interférences ...
- b) Vérifiez qu'il s'agit bien d'un interféromètre à 2 ondes : repérez les rayons qui interfèrent.
- c) Que se passe-t-il si on coupe la lumière se propageant selon un bras de l'interféromètre?

2. Réglages pour observer des anneaux d'interférences (1h)

- a) **Partie préparatoire** : en vous basant sur le cours, répondez aux questions suivantes concernant les réglages pour une observation des anneaux d'interférences.
 - i. Est-ce que le Michelson doit être réglé en coin d'air ou en lame à faces parallèles ?
 - ii. A quel niveau du dispositif expérimental se situe celui-ci ou celle-ci ?
 - iii. Comment doit être éclairé le Michelson et pourquoi ?
 - iv. Où sont localisées les interférences ?
 - v. Comment les observer sur un écran ?
 - vi. Définir le contact optique.

A ce stade, appelez l'enseignante pour faire un bilan sur parties 1 et 2.

b) Préréglages avec un laser pour observer les premiers anneaux d'interférences

- i. Placez le laser pour éclairer perpendiculairement les 2 miroirs de Michelson et centrez le faisceau.
- ii. Ajustez le réglage de l'un des miroirs pour superposer aussi bien que possible les groupes de points visibles sur l'écran amovible. Si le Michelson n'est pas trop désaligné, vous devriez déjà voir la lumière fluctuer à cause des interférences.
- iii. Placez l'objectif de microscope devant le laser et le centrer. Vous devriez voir sur un écran vos premières franges. **Si ce n'est pas le cas, appeler l'enseignante.**
- iv. Ajustez très finement l'orientation de l'un des miroirs pour obtenir des franges circulaires centrées sur la zone éclairée par le laser. Profitez de cette étape pour prendre conscience de la sensibilité des différents réglages du Michelson.

c) Configuration en lame à faces parallèles avec une source de lumière étendue

Pour passer en configuration de lame à faces parallèles avec une source étendue (donc spatialement incohérente), il faut changer à la fois la manière d'éclairer et la manière d'observer les franges.

- i. Remplacez le laser par la lampe spectrale à vapeur de sodium.
- ii. Insérez un condenseur après la lampe et centrez le sur l'axe passant par le centre des miroirs.
- iii. Translatez la lampe pour focaliser le faisceau au centre des miroirs. Pourquoi faut-il focaliser le faisceau ?
- iv. Où sont localisées les franges ? Quelles est leur forme et comment les appelle-t-on ? Comment les observer sur un écran ?
- v. Réalisez le montage pour l'observation de ces franges sur l'écran de grande taille (ou fixé au mur). Si besoin retoucher les réglages du miroirs pour center les franges.
- vi. Charioter avec la vis micrométrique reliée à l'un des miroirs pour diminuer l'épaisseur de la lame d'air. Pendant le chariotage, comment se déplacent les anneaux : du centre vers l'extérieur ou l'inverse ? Après le chariotage, les anneaux sont-ils plus grands ou plus petits ?
- vii. Rapprochez-vous du contact optique en chariotant de manière à faire grandir les anneaux. Plusieurs choses peuvent se produire malgré le préréglage. Soit les anneaux se décalent latéralement, auquel cas il faut les recentrer en agissant délicatement sur les vis de réglage de l'orientation des miroirs. Soit les anneaux ne sont pas uniformément contrastés auquel cas, il faut procéder comme précédemment mais de manière très (très) fine.
- viii. Chariotez à présent franchement et observer la perte de contraste des franges, puis leur réapparition et ainsi de suite. L'origine de ce phénomène est expliqué dans la partie suivante.

A ce stade, appelez l'enseignante pour faire un bilan sur cette partie 2b.

3. Mesure de l'écart de longueur d'onde du doublet du sodium (1h)

a) Théorie

On considère une source lumineuse qui émet un doublet de longueur d'onde, défini comme deux longueurs d'onde proches, de valeur moyenne λ_{moy} et de faible écart spectral $\Delta\lambda$.

La superposition des franges dues à chacune de ces deux composantes spectrales peut provoquer un **brouillage** complet, également appelé **anti-coïncidences** : quand les franges brillantes d'une longueur d'onde se superposent aux sombres de l'autre, l'intensité sur l'écran devient homogène (illustré par la *Figure 2*).

On peut démontrer qu'avec un interféromètre de Michelson cette situation, apparait de façon périodique lorsqu'on translate le miroir mobile, avec une période :

$$\Delta e = \lambda_{\text{moy}}^2 / (2\Delta\lambda)$$

Intensités lumineuses I_1 et I_2 de deux longueurs d'onde proches, en fonction de la différence de marche δ :

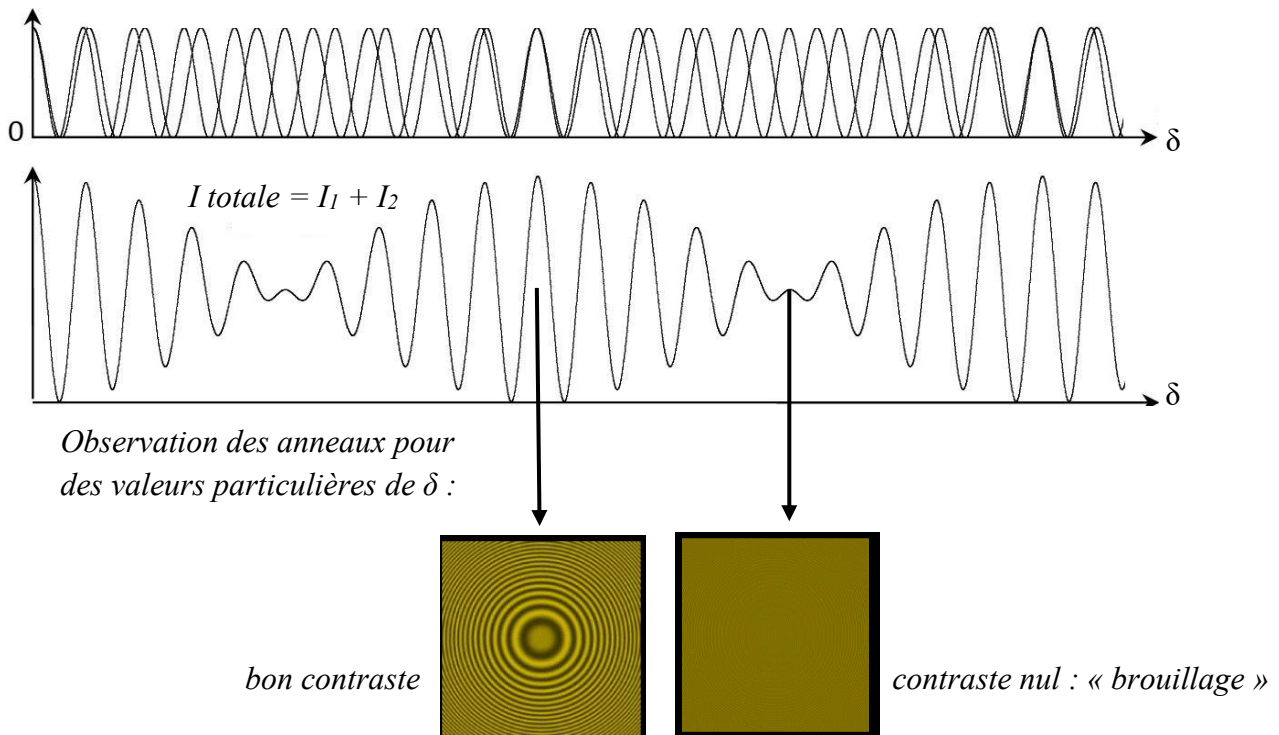


Figure 2 : Phénomène de brouillage observé lorsque la source est composée d'un doublet de longueur d'onde.

b) Partie expérimentale

Partie à rédiger par etd-B :

L'objectif de cette partie est de mesurer précisément l'écart $\Delta\lambda$ entre les deux longueurs d'onde qui constituent le spectre d'émission du sodium.

Donnée : $\lambda_{\text{moy}} = 589.3 \text{ nm}$.

A l'aide de la partie théorique :

- Décrivez la configuration du Michelson utilisée dans cette partie. En particulier, expliquer et justifier les réglages effectués sur la source à vapeur de sodium et sur la lentille permettant d'observer la figure d'interférences sur l'écran.
- Rédigez un protocole pour mesurer $\Delta\lambda$ (le protocole choisi devra minimiser l'incertitude de mesure liée à la position des brouillages). Insérez dans votre CR une ou plusieurs images (ou schémas) des figures d'interférences permettant d'illustrer le protocole.
- Réalisez la mesure.
- Calculez l'incertitude.
- Concluez : donnez le résultat final et commentez la valeur obtenue par rapport à la valeur attendue.

A ce stade, appelez l'enseignante qui vérifiera que les compétences pratiques suivantes ont été acquises pour chaque étudiant.e :

- Savoir lire le vernier de la translation du miroir mobile du Michelson.
- Savoir repérer une zone de brouillage avec la lampe à vapeur de sodium.

4. Réglages pour observer des franges d'interférences en lumière blanche (1h)

a) **Partie préparatoire** : en vous basant sur le cours, répondez aux questions suivantes concernant les réglages pour une observation des franges rectilignes.

- Est-ce que le Michelson doit être réglé en coin d'air ou en lame à faces parallèles ?
- A quel niveau du dispositif expérimental se situe celui-ci ou celle-ci ?
- Comment doit être éclairé le Michelson et pourquoi ?
- Où sont localisées les interférences ?
- Comment les observer sur un écran ?
- Rappelez la définition du contact optique.

b) **Réglages pour l'observation des franges rectilignes d'interférences en lumière blanche** :

- En restant dans la configuration précédente où vous observez les anneaux d'interférences, approchez-vous du contact optique : en chariotant le miroir mobile, faites grandir le diamètre des anneaux jusqu'à obtenir une couleur quasi-uniforme à l'écran.

Faire valider (et améliorer si besoin) par votre enseignante.

- Notez la position du miroir mobile (lire le vernier).**
- Remplacez la lampe spectrale et le condenseur par la lampe blanche qui contient son propre condenseur.
- Régalez le condenseur intégré à la lampe pour avoir un faisceau parallèle en sortie puis alignez la source sur l'axe perpendiculaire aux miroirs tout en centrant le faisceau sur ceux-ci.
- A l'aide des réponses de la partie préparatoire, mettez en place un dispositif adapté pour l'observation des franges rectilignes sur l'écran de grande taille (ou fixé au mur).
- A ce stade, vous devriez voir de magnifiques franges irisées. Il se peut que ça ne soit pas le cas. Réalisez alors les étapes suivantes :
 - Commencez par intercaler un filtre rouge.
 - Ajustez finement la position de la lentille utilisée pour l'observation.
 - Toujours pas de frange en vue ? Repérez la position de la vis micrométrique sur le vernier du miroir mobile.

- d. Retirez le filtre rouge et chariotez extrêmement délicatement d'un côté et de l'autre de la position notée. Vous devriez voir passer des couleurs et peut être même des franges (si vous n'étiez pas parfaitement en lame à faces parallèles avant). ***Si ce n'est pas le cas, appelez votre enseignante.***
- vii. Lorsque vous observez les franges, touchez très délicatement les réglages fins des miroirs. Si les franges se décalent, les recentrer en chariotant très doucement. Vous pouvez ajuster ainsi l'orientation des franges ainsi que leur espacement.
- viii. Notez la position de la vis micrométrique qui permet d'observer une frange centrale sombre.
- ix. A partir de l'étude théorique réalisée en cours, expliquez pourquoi l'orientation des miroirs joue sur l'inclinaison des franges et l'interfrange.
- x. Insérez le filtre rouge devant la lampe. Expliquez la différence de contraste par rapport aux observations en lumière blanche.
- xi. Pourquoi est-il a priori paradoxal d'observer des interférences en lumière blanche ? Pourquoi observe-t-on des interférences en lumière blanche ? Appuyez-vous sur l'étude théorique réalisée en TD.

A ce stade, appelez l'enseignante pour faire un bilan sur ces parties 4.a et 4.b.

5. Mesure de l'épaisseur d'une lamelle de verre (1h)

a) Partie préparatoire : théorie

On rajoute sur un des bras de l'interféromètre, entre la séparatrice et un miroir, une lamelle en verre de microscope d'épaisseur e et d'indice n .

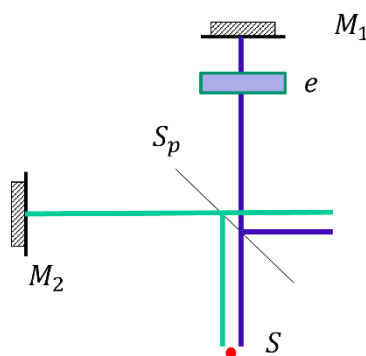


Figure 3 : ajout d'une lame d'épaisseur e sur un bras de l'interféromètre.

Montez qu'après avoir inséré la lamelle de microscope, le « chariotage » nécessaire pour ramener la frange centrale blanche à la même position vaut :

$$\Delta z = (n-1)e$$

b) Partie expérimentale

- i. Retirez le filtre rouge, et si besoin refaites les **réglages très fins** mentionnés ci-dessus pour observer en lumière blanche, des franges rectilignes, verticales et positionnées au centre de l'écran.
- ii. Introduisez la lamelle de microscope sur l'un des bras du Michelson de manière à ce qu'elle n'intercepte qu'une partie du faisceau.
- iii. Qu'observez-vous ? Pourquoi ?
- iv. Dans quel sens faut-il charioter pour faire réapparaître les franges à l'intérieur de la lame de verre ?

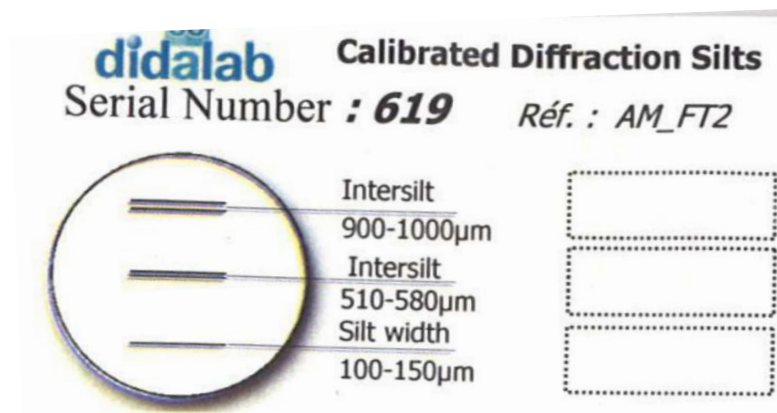
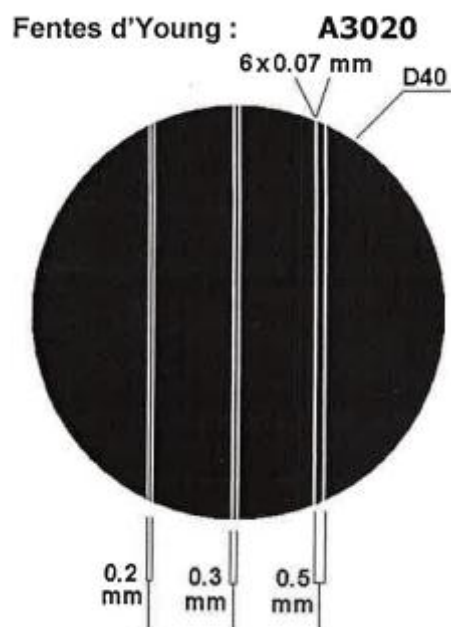
Partie à rédiger par etd-A :

L'objectif de cette partie est de mesurer précisément l'épaisseur de la lamelle de verre dont l'indice optique est connu : $n = 1.518$.

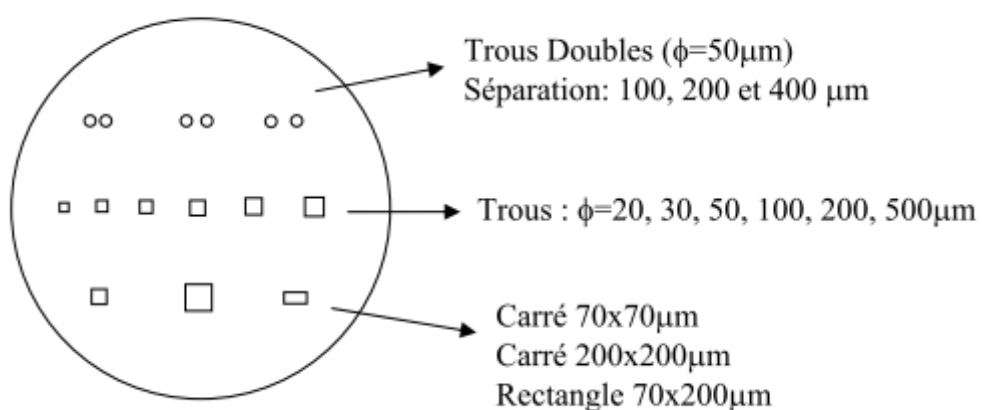
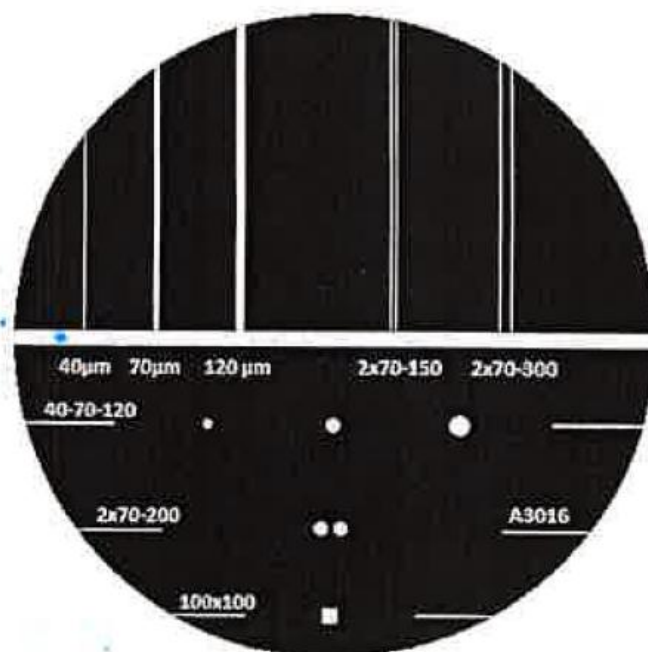
A l'aide des observations ci-dessus :

- i. Rappelez la définition de l'indice optique d'un milieu.
- ii. Décrivez la configuration du Michelson utilisée dans cette partie. En particulier, expliquer et justifier le choix et les réglages de la source lumineuse et de la lentille permettant d'observer la figure d'interférences sur l'écran.
- iii. Rédigez un protocole pour mesurer l'épaisseur de la lame de verre. Insérez dans votre CR une ou plusieurs images (ou schémas) des figures d'interférences permettant d'illustrer le protocole.
- iv. Réalisez la mesure.
- v. Calculez l'incertitude.
- vi. Concluez : donnez le résultat final et commentez la valeur obtenue par rapport à la valeur spécifiée par le fabricant (fournie dans la liste du matériel).

Annexe 1 : Spécifications des jetons d'interférences et de diffraction



Diffraction/Interf. : **A3016/A3106**



Annexe 2 : Réseaux de diffraction

(INTRODUCTION THEORIQUE)

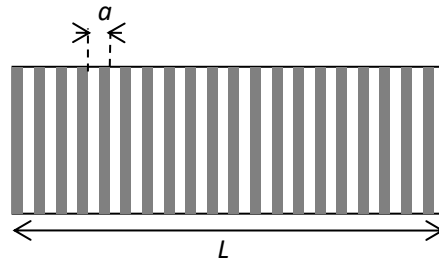


Figure 4 : Réseau optique. "a" est le pas du réseau.

Un réseau de diffraction est un élément optique constitué de motifs périodiques (appelés traits du réseau), régulièrement espacés d'une quantité a , appelée **pas du réseau** (Figure 4). Dans le cadre de ces TP, les motifs sont des fentes, il s'agit de réseau en transmission.

Un réseau est caractérisé par le **nombre de traits par millimètre**, noté n et défini par :

$$n = \frac{1}{a}$$

Relation Fondamentale du Réseau

Un rayon optique qui éclaire un réseau de diffraction avec un angle d'incidence θ_i , est diffracté par le réseau en plusieurs faisceaux transmis, appelés ordres du réseau, repérés par un indice m entier (Figure 5). Chaque ordre est transmis dans une direction définie par l'angle θ_m qui vérifie la **relation fondamentale des réseaux** :

$$\sin \theta_m - \sin \theta_i = m \frac{\lambda}{a} \quad \text{avec } m \in \mathbb{Z}$$

où λ est la longueur d'onde de la lumière.

Important : Les angles sont définis à partir de la direction perpendiculaire au réseau (normale au réseau ou axe optique).

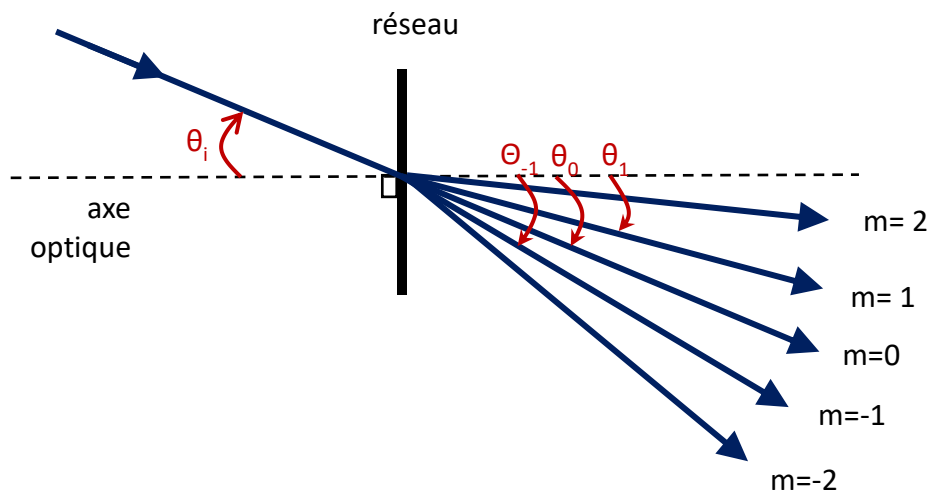


Figure 5 : On a représenté 5 ordres diffractés par le réseau, l'angle d'incidence θ_i et les angles des rayons diffractés des ordres 0, -1 et 1 (respectivement θ_0 , θ_{-1} et θ_1).

Annexe 3 : Diffraction par une ouverture circulaire

La tâche de diffraction par un trou circulaire est composée d'anneaux concentriques (**Figure 6**). Si les anneaux sont en général très peu lumineux, le disque central, appelée tache d'Airy, est très bien identifiable. Le rayon (r) de cette tâche, est reliée au diamètre du trou diffractant (b) selon la relation suivante :

$$r = 1.22 \frac{\lambda D}{b}$$

où D la distance entre l'ouverture circulaire et l'écran et λ la longueur d'onde.

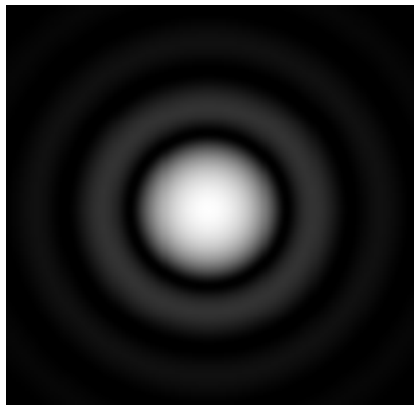


Figure 6 : Figure de diffraction par une ouverture circulaire (issu de Wikipédia).