

# Travaux Pratiques d'Optique

## Lasers - Polarisation

<b>1 Lasers visibles</b>	<b>1</b>
<b>2 Introduction à la polarisation</b>	<b>15</b>

Salles	Lasers	Polarisation
	S1.21/25/29	S1. 20

[lense.institutoptique.fr](http://lense.institutoptique.fr) | Première année | Optique S6

Cycle Ingénieur - FISE - 1<sup>ère</sup> année - Palaiseau  
Semestre 6  
Version du 12 décembre 2024  
Année 2024-2025



# TP 1

## Lasers visibles

### Sommaire

---

Mode d'emploi du texte du TP . . . . .	1
Pré-requis . . . . .	2
Sécurité laser . . . . .	2
1 Le TP en un coup d'œil . . . . .	3
2 Compétences à acquérir avec ce TP . . . . .	4
3 Activités pédagogiques . . . . .	4
3.1 Étude préliminaire : réglage d'un laser hélium-néon . . . . .	4
3.2 Laser praséodyme . . . . .	7

---

### Mode d'emploi du texte du TP

Le texte présente l'esprit du TP et les activités proposées. Il donne des protocoles pour les réglages, en appui des explications qui seront données par les enseignant·es. Les actions à faire durant le TP sont notées par des flèches «  $\rightsquigarrow$  ». Elles correspondent à l'apprentissage des compétences « expérience » (savoir faire expérimental : réglage et utilisation des appareils de mesure).

Pour préparer le TP, lire le texte (hors paragraphes fléchés) et comprendre les schémas optiques. Vous pouvez répondre en avance aux questions **Q1, Q2, Q4, Q5, Q6**.

Pour le compte rendu, il est demandé de répondre aux questions notées **Q**. Celles-ci correspondent à l'apprentissage des compétences « mesure » (capacité à faire des mesures de qualité : bonne gamme d'incertitude, bonne gamme sur les échelles pour bien voir les phénomènes, graphes de qualité) et des compétences « physique » (compréhension des phénomènes physiques, maîtrise des ordres de grandeur).

## Pré-requis

Lire le polycopié d'introduction sur les lasers<sup>1</sup>.

## Sécurité laser

Les lasers sont des sources de lumière dangereuses qui peuvent causer des dommages irréversibles surtout au niveau de la rétine. La sécurité laser consiste à évaluer les risques et à prendre des précautions pour éviter les accidents.

## Inventaire des puissances

- Dans ce TP, la diode laser de pompage du laser praséodyme émet jusqu'à 1,6 W à 444 nm soit 1600 fois le seuil de dommage de l'oeil en vision directe. Par mesure de sécurité, son rayonnement n'est pas accessible avant son absorption dans le cristal laser. La puissance résiduelle après le cristal laser est de 100 mW.
- Le laser praséodyme peut émettre une puissance de 300 mW dans le spectre visible à puissance de pompe maximale.

Une densité absorbante de protection, de valeur  $D = 1,5$ , est placée derrière le miroir de sortie. Elle est intégrée à la monture du miroir. Sa valeur est la même pour tout le spectre visible (et donc pour le rayonnement de pompe traversant le miroir et pour le rayonnement laser traversant le miroir). Le miroir de sortie est totalement transparent pour le rayonnement de pompe.

**Q1** Donner la valeur de la puissance totale (laser + pompe) obtenue après la densité, derrière le miroir de sortie, à puissance de pompe maximale. On rappelle qu'une densité de valeur  $D$  a une transmission de  $10^{-D}$ .

## Inventaire des risques et précautions à prendre

- Les lasers de ce TP sont dans le domaine de la classe 2 (pas de danger du fait du réflexe de clignement des paupières) lorsque la puissance est inférieure à 1 mW et de la classe 3R (vision directe pouvant être dangereuse) pour les puissances supérieures.

---

1. [http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI\\_fr\\_M01\\_C01/co/OPI\\_fr\\_M01\\_C01\\_web\\_1.html](http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI_fr_M01_C01/co/OPI_fr_M01_C01_web_1.html)

- Les longueurs d'onde émises couvrant tout le domaine du visible, il est difficile de se protéger des rayonnements lasers émis avec des lunettes laser. Le choix du TP est de travailler sans lunettes en étant rigoureux sur les protocoles à suivre.
- Lors du changement de miroirs de sortie, le faisceau issu de la diode laser pourrait se propager dans la zone d'expérience avec une puissance de 100 mW (100 fois le seuil de danger pour l'oeil).

**La diode de pompe doit donc être éteinte lors de ce changement.**

- Le faisceau de sortie est potentiellement dangereux s'il se réfléchit sur un miroir ou s'il est regardé directement. Par mesure de sécurité, le rayonnement doit toujours être bloqué à la sortie du laser par un mesureur de puissance ou par un écran. Il est indispensable de retirer tout objet brillant (montre, bagues) avant de manipuler le laser et de fixer toutes les montures.
- Utiliser la puissance de pompe maximale uniquement lorsque l'expérience le nécessite et baisser cette puissance dès que possible. Celle-ci peut-être ajustée au moyen de la rotation d'un composant optique placé sur le trajet du faisceau (lame demi-onde).

## 1 Le TP en un coup d'œil

Le TP est centré sur le réglage de cavités laser avec deux lasers différents : un laser à gaz (hélium-néon), pompé par une décharge électrique et un laser solide (laser praséodyme), pompé par une diode laser. Le choix est fait de travailler sur des lasers visibles afin de bien comprendre les protocoles de réglage.

Les cavités laser étudiées sont des cavités linéaires à deux miroirs : concave-concave pour le laser hélium-néon et plan-concave pour le laser praséodyme. Le réglage des cavités est fait par autocollimation par rapport à un axe optique défini, la lumière utilisée étant l'émission spontanée émise par le milieu laser.

Le TP comporte une étude préliminaire d'alignement d'un laser hélium-néon. L'étude principale du TP concerne le laser praséodyme dont une vue globale est donnée sur la figure 1.1 avec ses différents blocs fonctionnels. Une fois l'effet laser obtenu, le but du TP est de tracer des courbes d'efficacité du laser praséodyme pour deux longueurs d'onde différentes de fonctionnement.

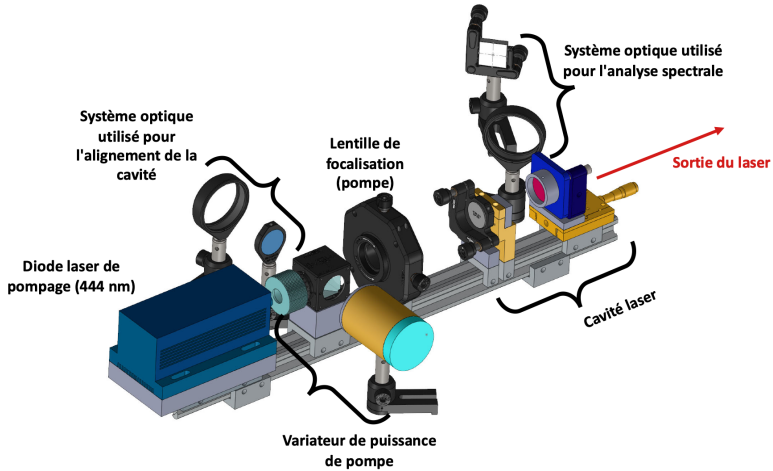


FIGURE 1.1 – Vue globale du laser praseodyme

## 2 Compétences à acquérir avec ce TP

Les compétences à acquérir dans ce TP sont les suivantes, selon 3 catégories :

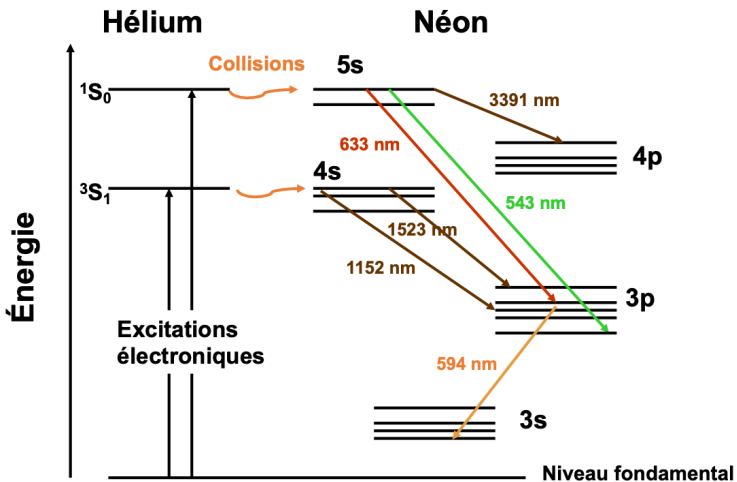
- ◇ Compétences « Expérience » :
  - Aligner une cavité laser en utilisant des systèmes d'imagerie,
  - Optimiser les performances d'un laser.
  - Mettre en œuvre les notions de sécurité laser.
- ◇ Compétence « Mesure » :
  - Tracer une courbe d'efficacité du laser.
- ◇ Compétences « Physique » :
  - Comprendre les paramètres qui jouent sur la puissance de sortie d'un laser continu : seuil d'oscillation, transmission du miroir de sortie, orientation des miroirs,
  - Comprendre la sélection spectrale du laser par la condition sur le gain.

## 3 Activités pédagogiques

### 3.1 Étude préliminaire : réglage d'un laser hélium-néon

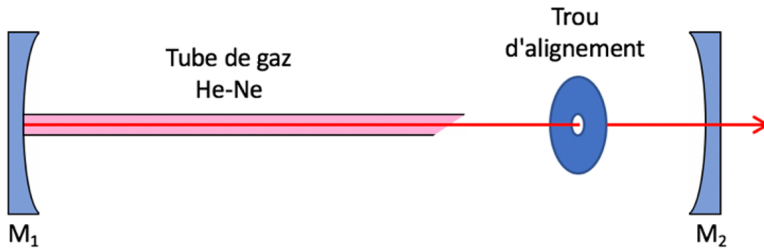
Le mélange gazeux Helium-Néon (He-Ne) est utilisé pour réaliser des lasers à différentes longueurs d'onde dans le visible et l'infrarouge : 3,39  $\mu\text{m}$ ,

1, 52  $\mu\text{m}$ , 0, 633  $\mu\text{m}$ , 0, 612  $\mu\text{m}$ , 0, 594  $\mu\text{m}$  et 0, 543  $\mu\text{m}$ . Une décharge électrique continue (quelques mA sous quelques kV) dans le mélange gazeux excite l'hélium vers des niveaux métastables. Par collisions, les atomes de néon peuvent alors être portés dans des niveaux excités dont l'énergie est voisine de celle des niveaux métastables de l'hélium. La figure 1.2 montre le schéma des niveaux d'énergie mis en jeu pour l'hélium et le néon. Il existe des lasers Hélium-Néon émettant à chacune de ces longueurs d'onde. La raie rouge à 632, 8 nm est la plus utilisée.



**FIGURE 1.2** – Représentation schématique des niveaux d'énergie de l'hélium et du néon utilisés dans un laser hélium-néon

Dans le montage, le laser comporte un tube contenant le mélange gazeux He-Ne et les électrodes. Le tube est fermé à une extrémité par un miroir sphérique M1 de rayon de courbure 600 mm et de réflectivité proche de 100% à 633 nm (Voir Figure 1.3). L'autre extrémité du tube est fermée par une lame de verre à l'incidence de Brewster. Le deuxième miroir M2 est le miroir de sortie, il a un rayon de courbure de 700 mm ou 800 mm selon les montages. Le coefficient de réflexion de ce miroir est de l'ordre de 98% à 633 nm.



**FIGURE 1.3** – schéma de la cavité laser

↪ Placer un trou d'alignement en sortie du tube de gaz, à centrer sur le point blanc brillant correspondant à la fluorescence réfléchi par le miroir  $M_1$ .

↪ Grâce aux réglages de translation sa monture, centrer le miroir  $M_2$  sur la fluorescence provenant du trou d'alignement.

↪ Puis, grâce aux vis de basculement de  $M_2$ , régler son orientation de façon à centrer le faisceau réfléchi sur le trou (le point blanc est donc ramené dans le trou). On a ainsi réalisé l'autocollimation.

↪ Ajuster ensuite l'orientation de  $M_2$  autour de ce réglage dit « géométrique » jusqu'à obtenir l'effet laser qui s'identifie facilement par un faisceau rouge très localisé dans l'espace.

**Q2** Expliquer pourquoi l'émission spontanée du gaz He-Ne n'a pas la même couleur que l'émission laser.

Dans un laser, la distribution d'intensité dans le plan transverse à l'axe de propagation est fixée par la propagation dans la cavité. En général, le profil transverse est gaussien mais il est possible de sélectionner d'autres profils transverses.

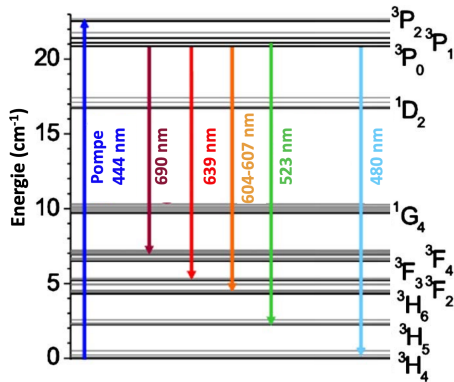
↪ Placer des fils dans la cavité pour sélectionner des profils transverses différents.

**Q3** Prendre des photos des profils obtenus en augmentant la taille du faisceau au moyen d'un objectif placé à la sortie du laser. Faire le lien entre l'orientation des fils et les profils enregistrés.

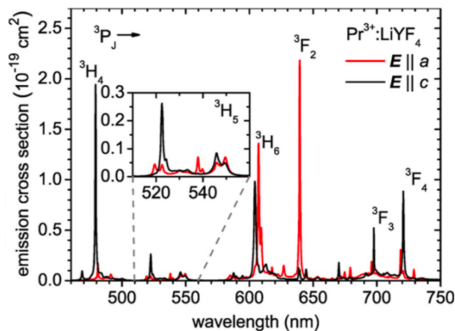


### 3.2 Laser praséodyme

Le milieu laser utilisé dans cette partie est un cristal de Pr: YLF ( $\text{Pr}^{3+}:\text{YLiF}_4$ ) sous la forme d'un cube de section  $3\text{ mm} \times 3\text{ mm}$  et de longueur  $5\text{ mm}$ . Le diagramme des niveaux d'énergie de l'ion  $\text{Pr}^{3+}$  dans la matrice cristalline de YLF est donné sur la figure 1.4. Le peuplement du « niveau du haut » ( ${}^3\text{P}_0$ ), utilisé pour faire des effets laser, est assurée par un « pompage optique », c'est à dire par absorption de lumière. Le pompage est effectué ici à une longueur d'onde de  $444\text{ nm}$ . Le spectre d'émission à partir du niveau du haut ( ${}^3\text{P}_0$ ) est donné sur la figure 1.5. De nombreuses transitions laser sont possibles. La figure 1.4 repère les transitions principales.

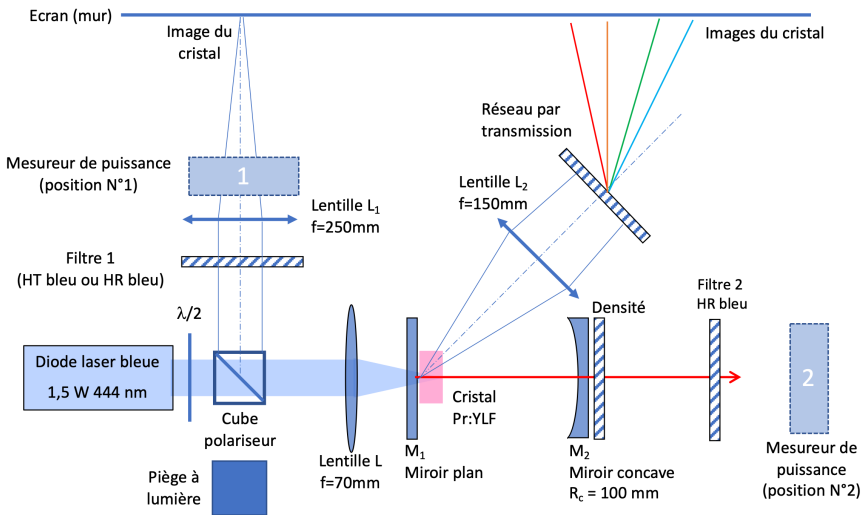


**FIGURE 1.4** – Principaux niveaux d'énergie de l'ion  $\text{Pr}^{3+}$  dans la matrice de YLF (à gauche) [ref Appl.Opt. 49, 20 (2010) p3864]



**FIGURE 1.5** – Spectre d'émission avec un pompage à  $444\text{ nm}$  [ref Opt.Lett 36 6 2011 p 1002.]

Le montage expérimental complet est donné sur la figure 1.6. Une diode laser bleue collimatée (lentille de collimation non représentée) est focalisée au moyen d'une lentille  $L$  ( $f = 70 \text{ mm}$ ) dans le cristal laser sur un diamètre de l'ordre de  $100 \mu\text{m}$ . La cavité est formée par deux miroirs  $M_1$  et  $M_2$ . Le miroir  $M_1$  est plan. Il est dit « dichroïque » : transparent pour le bleu et très réfléchissant pour la longueur d'onde laser. Le miroir concave  $M_2$  est le miroir de sortie, partiellement réfléchissant pour la longueur d'onde laser (coefficient de réflexion  $R = 95\%$ ). Son rayon de courbure vaut  $R_c = 100 \text{ mm}$ . La cavité est formée ces deux miroirs  $M_1$  et  $M_2$  est dite « plan-concave ».



**FIGURE 1.6** – Schéma optique du laser « praséodyme » Pr: YLF (légende : HT = hautement transparent, HR = hautement réfléchissant)

Sur le trajet du faisceau de pompe, une lame demi-onde et un cube séparateur de polarisation assurent la variation de la puissance de pompe incidente afin de faire les alignements à faible puissance de pompe et afin de faire des mesures sur les caractéristiques du laser (seuil, courbe d'efficacité). Cette méthode de variation de la puissance de pompe permet de ne pas changer le courant d'alimentation de la diode laser, ce qui aurait pour conséquence de modifier son spectre de quelques nm en fonction de la valeur du courant. En effet, la diode a été sélectionnée pour que sa longueur d'onde soit au maximum du pic d'absorption du praséodyme dans le bleu (444 nm) pour le courant nominal. La largeur spectrale de la bande d'absorption du praséodyme vers 444 nm étant de quelques nm, une variation de longueur d'onde de la diode laser pourrait faire varier fortement l'absorption du cristal.

**Q4** A quoi sert le piège à lumière montré sur la figure 1.6 ?

Deux systèmes optiques différents sont utilisés pour faire l'image du cristal sur le mur situé à proximité du montage.

**Le premier système** est utilisé pour l'alignement de la cavité. Il utilise la lumière réfléchiée par le cube séparateur de polarisation. Une lentille  $L_1$ , utilisée en combinaison avec la lentille  $L$ , fait l'image du cristal sur le mur. Des filtres réfléchissants (appelé « filtres 1 ») avec des transmissions différentes sont utilisés selon les besoins.

**Q5** Expliquer pourquoi l'image du cristal par la lentille  $L_1$  se trouve au foyer de cette lentille.

**Le deuxième système** optique est utilisé pour l'analyse spectrale de la lumière émise par le cristal laser. Il fait l'image du cristal hors de l'axe de la cavité laser. La lumière utilisée est donc très majoritairement de l'émission spontanée. Un réseau par transmission permet de faire une décomposition spectrale de la lumière émise.

**Q6** Estimez la distance entre l'écran (mur) et la lentille  $L_2$ . En déduire la valeur de la distance entre le cristal laser et la lentille  $L_2$ .

## Réglages géométriques

### Lentille $L_1$

↪ Faire la mise au point de la lentille  $L_1$  pour avoir une image nette du cristal sur le mur.

Vous pourrez observer que l'image du cristal sur le mur est constituée :

- d'un point lumineux très intense : il s'agit de la zone de focalisation du faisceau de pompe qui émet une forte lumière par émission spontanée,
- ainsi que d'une zone diffuse autour de ce point : il s'agit de l'émission spontanée diffusée par la monture du cristal, éclairant l'intérieur du cristal.

↪ Observer l'effet de deux « filtres 1 » différents (HR bleu et HT bleu) sur la couleur de l'image du cristal.

**Q7** Commenter les différences.

### Lentille L2

~> Faire la mise au point de la lentille L2 pour avoir une image nette du cristal sur le mur sans réseau puis placer le réseau de diffraction dans le faisceau et l'orienter le réseau pour que le spectre soit le plus net possible sur le mur.

**Q8** Prenez une photo du spectre obtenu et identifier sur la photo les différentes raies du laser, compte-tenu de la figure 1.4.

### Miroir M2

Pour réaliser l'effet laser, l'axe optique de la cavité doit être parallèle et confondu avec l'axe optique du faisceau de pompe, afin d'assurer un bon recouvrement entre le faisceau de pompe et le faisceau de la cavité laser. Cet axe optique a été réglé au préalable par l'alignement du faisceau de pompe sur le banc optique et par l'alignement du miroir M1, réglé par autocollimation sur le faisceau de pompe (ce réglage n'est pas accessible).

Dans le TP, le réglage à faire consiste à aligner le miroir M2 sur l'axe optique de la cavité. Pour cela, on utilise les propriétés d'optique géométrique d'un miroir concave.

~> Faire une autocollimation en plaçant le centre de courbure du miroir sur le cristal laser.

Ceci permet de voir apparaître un nouveau point lumineux (image de retour de l'émission spontanée) au niveau du cristal laser. Si le miroir est fortement désaligné, cette image de retour apparaît sur la monture en cuivre du cristal. Si le miroir est déjà bien réglé sur l'axe optique, cette image apparaît sur le mur, après la lentille L1.

~> Ajuster l'orientation du miroir M2 pour superposer l'image de retour avec l'image directe en regardant sur le mur.

~> Rapprocher le miroir M2 du cristal de 1 cm environ (ceci pour garantir que la cavité plan-concave est stable).

↪ Réajuster si besoin l'orientation de  $M_2$ , en centrant la tache de retour (qui est maintenant plus large) sur le point lumineux (image directe) sur le mur.

↪ Observer la lumière sortant du miroir de sortie, après le filtre 2 « HR bleu ». Si l'effet laser n'est pas obtenu, il est possible de voir deux points d'émission spontanée proches de l'axe optique, concentrés par des effets d'allers et retours dans la cavité. Régler l'orientation de  $M_2$  pour superposer ces taches. Ceci doit permettre d'obtenir l'effet laser, lorsque la puissance de pompe est maximale.

## **Etude de l'effet laser**

### **Observation de l'effet laser**

↪ Pour la puissance de pompe maximale, optimiser l'orientation du miroir  $M_2$  pour obtenir la plus grande puissance de sortie.

**Q9** Une fois l'effet laser obtenu, prendre une photo qui montre que la lumière laser dans la cavité est beaucoup plus intense que la lumière en sortie. Expliquer pourquoi.

↪ Observer le spectre sur le mur. En ajustant le réglage du réseau, il est possible de voir la superposition de la raie laser avec les raies d'émission spontanée.

**Q10** Donner la valeur de la longueur d'onde du laser obtenu, en vous aidant de la figure 3 et du spectre observé.

**Q11** Prendre des photos qui montrent que l'émission spontanée est modifiée par l'existence de l'effet laser. Expliquer pourquoi.

### **Courbe d'efficacité**

↪ Mettre en place le mesureur de puissance laser après le filtre 2 « HR bleu », en position 2 (Figure 1.6). Ce mesureur utilise un détecteur au silicium qui donne un photo-courant : un photon absorbé par le silicium donne un photo-électron.

**Q12** Expliquer pourquoi il est nécessaire de spécifier la longueur d'onde sur le cadran du détecteur pour faire une mesure correcte de la puissance de sortie

En plaçant le mesureur de puissance en position 1 (Figure 1.6), il est possible de retrouver la puissance de pompe incidente sur le cristal de  $P_r$ : YLF. En effet, le miroir  $M_1$  n'est pas totalement transparent dans le bleu, il possède une réflexion résiduelle de l'ordre du % qui est captée en partie par le mesureur dans la position 1.

Cette puissance permet d'avoir une mesure indirecte de la puissance de pompe incidente sur le cristal, sachant que des mesures préliminaires ont donné une puissance de pompe incidente sur le cristal de 1,4 W pour la valeur maximale de la pompe (1,6 W). Cette mesure est faite au moyen d'un voltmètre.

**Q13** On fait varier la puissance de pompe incidente sur  $M_1$ . Donner votre protocole pour déduire la valeur de la puissance de pompe incidente sur  $M_1$  à partir des mesures de tensions faites au voltmètre.

**Q14** Quel filtre 1 choisir pour faire une bonne mesure de la puissance de pompe ?

**Q15** En utilisant les mesureurs de puissance placés aux points 1 et 2 (Figure 1.6), tracer la courbe d'efficacité du laser : puissance de sortie en fonction de la puissance de pompe incidente.

**Note :** la puissance de sortie à prendre en compte est celle qui est juste avant la densité de protection (densité  $D = 1,5$ ).

### Influence de la longueur de la cavité

↪ Régler le miroir  $M_2$  pour différentes longueurs de cavité (distance  $M_1-M_2$ ).

**Q16** Rapporter vos observations sur la divergence du faisceau en fonction de la longueur de la cavité.

### Changement de miroir de sortie

Sur le montage, un deuxième miroir de sortie  $M_2$  est disponible pour faire fonctionner le laser à une longueur d'onde différente. Son rayon de courbure est  $R_c = 100$  mm.

↪ Régler la cavité laser avec ce nouveau miroir de sortie.

**Q17** Tracer la courbe d'efficacité du laser (puissance de sortie en fonction de la puissance de pompe incidente) sur le même graphe que pour la question **Q15**.

**Q18** Commenter les différences entre les deux courbes d'efficacité obtenues.





# TP 2

## Introduction à la polarisation

### Sommaire

---

Mode d'emploi du texte du TP . . . . .	15
1 Le TP en un coup d'œil . . . . .	16
2 Compétences à acquérir avec ce TP . . . . .	16
3 Activités pédagogiques . . . . .	17
3.1 Étude d'un polariseur absorbant dichroïque . . . . .	17
3.2 Étude de l'incidence de Brewster . . . . .	18
3.3 Étude d'une lame demi-onde . . . . .	18
3.4 Étude d'un cube séparateur de polarisation . . . . .	19
3.5 Réalisation d'une fonction « isolateur optique » . . . . .	20

---

### Mode d'emploi du texte du TP

Le texte présente l'esprit du TP et les activités proposées. Il donne des protocoles pour les réglages, en appui des explications qui seront données par les enseignant·es. Les actions à faire durant le TP sont notées par des flèches «  $\rightsquigarrow$  ». Elles correspondent à l'apprentissage des compétences « expérience » (savoir faire expérimental : réglage et utilisation des appareils de mesure).

Pour préparer le TP, lire le texte (hors paragraphes fléchés) et comprendre les schémas optiques.

Pour le compte rendu, il est demandé de répondre aux questions notées **Q**. Celles-ci correspondent à l'apprentissage des compétences « mesure » (capacité à faire des mesures de qualité : bonne gamme d'incertitude, bonne gamme sur les échelles pour bien voir les phénomènes, graphes de qualité) et des compétences « physique » (compréhension des phénomènes physiques, maîtrise des ordres de grandeur).

## 1 Le TP en un coup d'œil

Ce TP d'initiation à la polarisation vous fera découvrir des composants clés utilisés pour contrôler la polarisation de la lumière. Le TP utilise un banc optique avec une diode laser polarisée émettant à 650 nm et plusieurs composants de base : polariseur absorbant, cube séparateur de polarisation, lame demi-onde, lame quart-d'onde (Fig.2.1). Le TP est basé sur des mesures quantitatives de puissance en fonction de l'état de polarisation de la lumière.

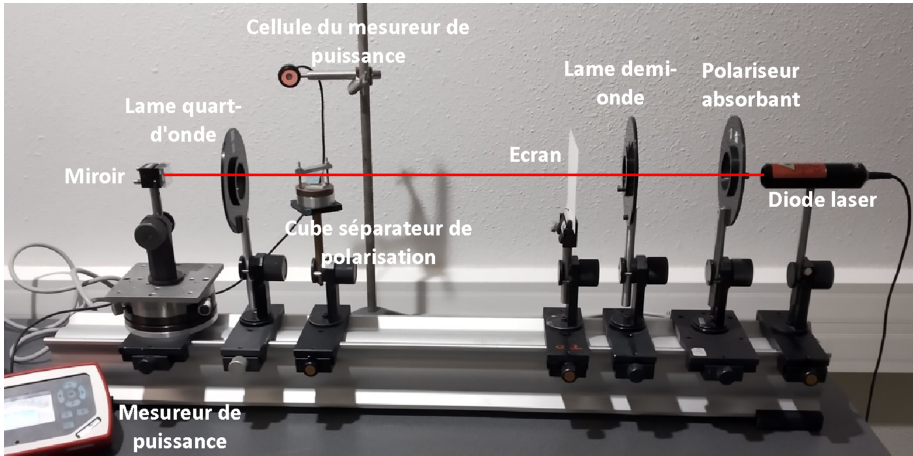


FIGURE 2.1 – Vue globale de l'expérience

## 2 Compétences à acquérir avec ce TP

Les compétences à acquérir dans ce TP sont les suivantes, selon 3 catégories :

- ◇ Compétences « Expérience » :
  - Repérer une direction de polarisation linéaire.
  - Aligner une expérience optique sur un banc utilisant un faisceau laser.
  - Mettre en œuvre une fonction optique simple à partir de composants de polarisation.
- ◇ Compétence « Mesure » :
  - Tracer des courbes d'évolution de la puissance à l'aide de composants optiques polarisés.
- ◇ Compétence « Physique » :
  - Décrire et prédire les caractéristiques d'une lumière polarisée linéairement.

## 3 Activités pédagogiques

### 3.1 Étude d'un polariseur absorbant dichroïque

Par définition, la polarisation de la lumière décrit la vibration du champ électrique d'une onde lumineuse. On dit que l'onde est polarisée linéairement lorsque ce champ oscille dans une seule direction (on parle aussi de polarisation rectiligne). Un polariseur absorbant présente un dichroïsme, c'est-à-dire une absorption de la lumière différente selon la polarisation incidente de la lumière. En général, cette propriété est obtenue par des particules ou des molécules étirées selon un axe. Une lumière polarisée linéairement selon cet axe est absorbée par le polariseur alors qu'une lumière polarisée perpendiculairement est transmise.

Par définition de l'axe de polarisation d'un polariseur, une lumière polarisée parallèlement à cet axe est totalement transmise alors qu'une lumière polarisée perpendiculairement est totalement absorbée.

#### Repérage d'un axe de polarisation

Pour repérer l'axe de polarisation d'un polariseur, il faut disposer d'un faisceau lumineux polarisé rectilignement selon une direction connue. Une méthode simple est d'utiliser la réflexion d'un rayon lumineux sur une lame de verre à l'incidence de Brewster,  $i_B$ , telle que  $\tan(i_B) = n$ , où  $n$  est l'indice de réfraction du verre et  $i_B$  l'angle d'incidence entre le faisceau et la normale au dioptre air-verre. Pour cet angle d'incidence, le rayon polarisé linéairement dans le plan d'incidence est totalement transmis. Un rayon issu d'une source lumineuse non polarisée (par exemple une lampe) va donc se décomposer en deux polarisations au passage de cette lame à l'incidence de Brewster : une partie transmise, polarisée dans le plan d'incidence et une partie réfléchie, polarisée perpendiculairement au plan d'incidence. En utilisant ce principe, la direction de polarisation d'un polariseur peut être repérée à l'œil, en observant des rayons lumineux réfléchis par une lame de verre (ou une surface en plastique bien polie) proche de l'incidence de Brewster. La lumière réfléchie étant totalement polarisée avec une direction connue (perpendiculaire au plan d'incidence), une annulation de la transmission du polariseur indique que l'axe du polariseur est perpendiculaire à la polarisation incidente. Cet axe est donc ainsi repéré.

↪ Observer une réflexion sur une surface en verre (ou sur le sol) et en déterminer le plus précisément possible la direction de polarisation du polariseur absorbant.

↪ Placer le polariseur sur le banc devant la diode laser. Observer que la diode laser est polarisée linéairement et déterminer sa direction de polarisation.

### Loi de Malus

**Q1** A l'aide du mesureur de puissance et des graduations en angle du polariseur, tracer la courbe  $T = f(\theta)$ ,  $T$  étant la transmission du polariseur, et  $\theta$  la direction de l'axe du polariseur par rapport à la direction de polarisation de la lumière incidente. Comparez votre courbe à la loi de Malus  $T = \cos^2(\theta)$ , après avoir rappelé sa démonstration.

Un polariseur est caractérisé par un taux d'extinction  $\frac{T_{\max}}{T_{\min}}$ .  $T_{\max}$  est la transmission maximale du polariseur pour une polarisation linéaire en entrée (mesurée en ajustant l'angle de rotation du polariseur).  $T_{\min}$  est la transmission minimale du polariseur pour la même polarisation linéaire en entrée (mesurée en ajustant l'angle de rotation du polariseur).

**Q2** Mesurez la valeur du taux d'extinction de ce polariseur absorbant (on suppose pour cela que la diode laser est parfaitement polarisée linéairement).

## 3.2 Étude de l'incidence de Brewster

Le but de cette partie est de retrouver l'effet de la réflexion nulle et de la transmission totale à l'incidence de Brewster pour une lumière polarisée rectilignement dans le plan d'incidence. Une lame de verre sur une platine de rotation est à votre disposition.

↪ Faire un montage qui montre cet effet.

**Q3** Mesurer l'angle d'incidence de Brewster pour cette lame, et en déduire une estimation de l'indice de la lame.

## 3.3 Étude d'une lame demi-onde

Une lame demi-onde est un milieu biréfringent. C'est à dire qu'il présente un indice optique différent pour selon la direction de polarisation de la lumière. Selon un axe de propagation donné, on peut identifier deux indices pour deux directions de polarisation orthogonales appelées « lignes neutres » : un indice dit « ordinaire »  $n_o$  et un indice dit « extraordinaire »  $n_e$ . Une lame demi-onde d'épaisseur  $e$  est telle que la différence de marche  $\delta$  entre les deux lignes neutres vaut  $\frac{\lambda}{2}$ , c'est à dire que  $\delta = (n_e - n_o)e = \frac{\lambda}{2}$ . Une lame demi-onde

est un composant qui permet de contrôler la direction d'une polarisation rectiligne. On peut montrer qu'une lame demi-onde transforme une polarisation rectiligne en polarisation rectiligne mais avec une direction différente. Le but de cette partie est de caractériser cette transformation.

Par définition, les lignes « neutres » n'ont pas d'effet sur la direction de polarisation de la lumière.

~ A l'aide du polariseur, repérer la direction des deux lignes neutres de la lame demi-onde.

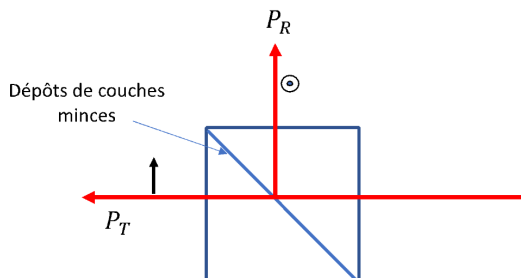
On appelle  $\theta$  l'angle entre une des lignes neutres de la lame et la direction de la polarisation incidence.

~ Mesurer la direction de polarisation en sortie de la lame  $\theta'$  repérée par rapport à la même ligne neutre de la lame.

**Q4** Tracer la courbe  $\theta' = f(\theta)$  et en déduire la loi de variation  $f(\theta)$ .

### 3.4 Étude d'un cube séparateur de polarisation

Un cube séparateur de polarisation permet de décomposer la lumière selon deux axes de polarisation. Le cube utilisé ici est constitué de deux parties entourant d'une surface inclinée à  $45^\circ$  sur laquelle des dépôts de couches minces ont été réalisés (Fig 2.2). De même que pour la lame de verre à l'incidence de Brewster, la direction de polarisation qui se trouve dans le plan d'incidence de cette surface est transmise alors que la direction perpendiculaire est totalement réfléchie. Contrairement au polariseur absorbant, ici toute la lumière est soit transmise soit réfléchie : le cube n'absorbe pas la lumière.



**FIGURE 2.2** – Schéma d'un cube séparateur de polarisation (les directions des polarisations transmises et réfléchies sont indiquées sur la figure)

~ A l'aide du polariseur, vérifier les directions de polarisation transmises et réfléchies par le cube.

**Q5** A l'aide du mesureur de puissance, et de la lame demi-onde, tracer la courbe  $P_T = f(\theta_{inc})$  et  $P_T + P_R = f(\theta_{inc})$ .  $P_T$  et  $P_R$  étant les puissances transmises et réfléchies par le cube et  $\theta_{inc}$  l'angle de la polarisation incidente par rapport à la direction horizontale. Commenter la courbe.

**Q6** Quel est le taux d'extinction de ce polariseur pour le faisceau transmis et pour le faisceau réfléchi ?

~ A l'aide des composants étudiés, réaliser un montage permettant de réaliser la fonction « Variation de puissance optique ».

**Q7** Décrire ce variateur de puissance dans le compte-rendu et caractériser ses performances.

### 3.5 Réalisation d'une fonction « isolateur optique »

Dans les montages optiques utilisant une source laser, les retours de lumière vers la source peuvent perturber le bon fonctionnement du laser. Le but de cette partie est d'étudier un dispositif simple d'anti-retour de lumière vers la source émettrice (appelée aussi isolateur optique).

~ Placer un miroir après le cube séparateur de polarisation. Observer l'effet de la lame demi-onde sur les sorties du cube selon qu'elle est placée entre la diode laser et le cube ou entre le cube et le miroir (tourner la lame pour voir les effets).

**Q8** Interpréter les différences.

~ Remplacer la lame demi-onde par une lame « quart-d'onde » à placer entre le cube et le miroir. Dans une lame "quart-d'onde", la différence de marche  $\delta$  entre les deux lignes neutres vaut  $\frac{\lambda}{4}$ , c'est à dire que  $\delta = (n_e - n_o) e = \frac{\lambda}{4}$ . Grâce au miroir, la distance de propagation dans la lame est doublée, si bien que la lame quart-d'onde devient comme une lame demi-onde après un aller et retour de la lumière. Comme précédemment, on appelle  $\theta$  l'angle entre une des lignes neutres de la lame et la direction de la polarisation incidence qui est fixée à l'horizontal par le cube.

**Q9** Tracer sur un même graphe les courbes  $P_T = f(\theta)$  et  $P_R = f'(\theta)$ .

**Q10** Expliquer comment constituer un système anti-retour. Faire un schéma et caractériser la qualité de ce système anti-retour.