

TP 21 : Colorimétrie et doublement de fréquence d'un laser

1 Objectif

Ce TP aborde deux aspects très différents d'un même thème : la couleur. Dans une première partie, on s'intéresse à la colorimétrie, c'est à dire l'analyse quantitative de la couleur de la lumière à l'aide d'un instrument nommé colorimètre. On verra qu'il y a différentes façons de faire cette analyse, selon les objectifs que l'on se fixe.

Dans une seconde partie, nous étudierons le doublement de fréquence d'un laser Yag en kit, c'est à dire la modification de sa "couleur" à l'aide d'un cristal doubleur.

2 Colorimétrie

2.1 Principe physique

Les industriels utilisant la couleur (fabricants d'écrans, imprimeurs etc.) ont besoin de pouvoir relier les filtres ou colorants qu'ils utilisent à la sensation visuelle de couleur, et ce de manière quantitative afin d'assurer la qualité et la reproductibilité de leur travail. Pour cela, la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) a adopté un système de trois grandeurs X, Y et Z qui reproduisent l'éclairement tel qu'il est vu par les capteurs de l'oeil (sensible à trois couleurs : rouge, vert et bleu). D'autres systèmes de mesure de la couleur ont été proposés par la CIE, qui se déduisent tous du système XYZ. Nous allons en voir quelques uns.

2.2 Travail demandé

2.2.1 Lumière des néons

- Allumer le colorimètre. Dès que les valeurs affichées sont stables, retirer le cache du capteur.
- Orienter le capteur vers les néons et vérifier qu'il n'y a pas d'autres sources lumineuses allumées à proximité.
- Faire apparaître le mode mesure XYZ en appuyant sur le bouton "Mode" (éventuellement plusieurs fois).
- Attendre la stabilisation des valeurs, puis relever les valeurs de X, Y et Z.
- Un mode de mesure équivalent est $E_{v,x,y}$. Appuyer sur le bouton "Mode" pour le faire apparaître. Relever les valeurs de E_v , x et y . Comparer E_v et Y , x et $X/(X+Y+Z)$ et enfin y et $Y/(X+Y+Z)$.
- A votre avis, pourquoi n'indique-t-on pas $z=Z/(X+Y+Z)$? Expliquer en deux ou trois phrases, sans formule, le lien entre la représentation XYZ de la couleur avec la représentation $E_{v,x,y}$.
- Appuyer sur la touche "H" pour fixer la mesure. Faire alors afficher la température de couleur en appuyant sur "Tcp". Noter sa valeur.

Appeler le professeur

2.2.2 Lumière d'une lampe à filament

- Brancher la lampe blanche sur 12V et éclairer le capteur du colorimètre avec elle.
- Relever la température de couleur.
- En appuyant sur le bouton "Mode", faire afficher la représentation $E_{v,x,y}$ et relever les valeurs après stabilisation.
- En appuyant sur le bouton "Mode", faire afficher la représentation $E_{v,u',v'}$ et relever les valeurs après stabilisation.
- Appuyer sur " Δ " puis "Set", puis la touche "Entrée" pour rentrer les valeurs mesurées comme référence. Puis appuyer sur "H".
- Ensuite, brancher la lampe sur 8V. Relever les nouvelles valeurs de T_{cp} , E_v , x , y , u' et v' . Que constatez-vous ?

Appeler le professeur

2.2.3 Lampe à filament + filtre vert

- Rebrancher la lampe sur 12V et placer un filtre coloré vert entre elle et le capteur du colorimètre.
- Relevez la température de couleur. Que constatez-vous ? Conclure.
- Relever les valeurs de E_v , x , y , u' et v' .
- En appuyant sur le bouton "Mode", relever les valeurs de Δx , Δy , $\Delta u'$ et $\Delta v'$ qui sont les écarts par rapport à la lampe blanche enregistrée comme référence précédemment.
- Vérifier que Δx est bien la différence des deux valeurs de x avec filtre vert et sans filtre vert. De même pour les trois autres grandeurs.
- En appuyant sur la touche " Δ ", déterminer $\Delta u'v'$. Vérifier que $\Delta u'v' = \sqrt{(\Delta u')^2 + (\Delta v')^2}$. En déduire que l'intérêt de la représentation $E_{v,u',v'}$ est de permettre de définir l'écart entre deux couleurs à l'aide d'une formule simple.
- Relever les valeurs de X , Y et Z .

Appeler le professeur

2.3 Conclusion de la colorimétrie

Quelles sont les différentes représentations de couleurs que vous avez étudiées dans ce TP ? Expliquez pour chacune son intérêt.
Que signifie la température de couleur ?

3 Laser YAG en kit et doublement de fréquence

Cette partie se déroule dans la petite salle marquée du sigle "Danger Laser". Il est interdit d'y porter des objets pouvant réfléchir la lumière laser (montre, bracelet, bague etc.) Le port de lunettes de protection y est obligatoire.

3.1 Principe physique

Le montage, déjà réalisé, est celui d'un laser YAG doublé en fréquence. Il comporte une diode laser émettant aux alentours de 810 nm, qui permet le pompage du laser YAG, suivie d'une optique de collimation. Ensuite se trouve la cavité du laser YAG, dont le cristal YAG se trouve collé au miroir de gauche : **Ne jamais toucher ce miroir ou le cristal YAG avec les doigts**. Au milieu de la cavité se trouve le cristal doubleur, puis sur sa droite le miroir de sortie de la cavité. L'énergie lumineuse de la diode laser est absorbée par le cristal YAG qui en restitue une partie sous forme de rayonnement laser à 1064 nm. Le cristal doubleur permet de doubler la fréquence du faisceau laser à 1064 nm, c'est à dire qu'il divise sa longueur d'onde par deux : il apparaît donc un rayonnement vert à 532 nm. Après la cavité, on trouve un porte-filtre qui permet éventuellement de sélectionner une longueur d'onde particulière à la sortie du laser ; et enfin un photodétecteur.

La longueur d'onde émise par la diode laser dépend de sa température T , et l'absorption par le cristal YAG de la lumière de la diode dépend de la longueur d'onde. Il en résulte que l'intensité du laser YAG dépend de T . De plus, l'intensité lumineuse émise par la diode laser dépend de l'intensité du courant qui la traverse. Là encore, l'intensité du laser YAG dépend du courant laser qui traverse la diode.

L'intensité du laser YAG doublé dépend de l'intensité du laser YAG, mais aussi des caractéristiques du cristal doubleur.

Dans cette partie, on va étudier tout d'abord les propriétés du laser YAG non-doublé en fonction des paramètres de la diode laser. Puis on étudiera les propriétés du laser YAG doublé.

3.2 Travail demandé

3.2.1 Observation du doublement de fréquence

- **Mettre les lunettes de protection et les porter jusqu'à l'extinction de la diode laser.**
- Allumer la diode laser à l'aide de l'interrupteur au dos de la console, et en tournant la clé sur la face avant. Régler la température sur 36° et le courant laser au maximum. Enlever le filtre bleu-vert s'il est présent.
- Regarder alors la surface du capteur. Qu'observe-t-on ?
- Allumer l'oscilloscope relié au capteur. Relever le niveau de signal observé.
- En le tenant par la monture noire, retirer le cristal doubleur du montage. Regarder sur le capteur : qu'y a-t-il de changé ?
- Observer le signal à l'oscilloscope : le capteur voit-il toujours un rayonnement ? Si oui, lequel à votre avis ?
- Conclure sur le rôle du cristal doubleur.

3.2.2 Paramètres influant sur l'intensité du laser YAG non-doublé

- Toujours en l'absence de cristal doubleur et à $T = 36^\circ$, relever les valeurs du signal du capteur lorsque le courant laser varie du minimum au maximum. Vous tracerez plus tard la courbe correspondante sous Excel.
- Toujours en l'absence de cristal doubleur et avec le courant laser à sa valeur maximale, relever les valeurs du signal du capteur lorsque la température T varie de 10° à 45° . Vous tracerez plus tard la courbe correspondante sous Excel.

3.2.3 Paramètres influant sur l'intensité du laser YAG doublé

- Remplacer le cristal doubleur dans la cavité laser, puis placer le filtre bleu-vert sur le porte filtre. Ce filtre ne laisse passer que le faisceau vert.
- Régler la température sur 36° . Relever les valeurs du signal du capteur lorsque le courant laser varie du minimum au maximum. Vous tracerez plus tard la courbe correspondante sous Excel.
- Régler l'intensité laser sur sa valeur maximale. Relever les valeurs du signal du capteur lorsque la température T varie de 10° à 45° . Vous tracerez plus tard la courbe correspondante sous Excel.
- Mettre au minimum les potentiomètres de l'intensité laser et de la température ; attendre que les affichages se stabilisent. **Les potentiomètres doivent être au minimum avant d'éteindre la diode laser, sinon elle risque d'être endommagée.** Tourner la clé sur la face avant de la console pour éteindre la diode laser, puis couper l'interrupteur au dos de la console. La diode laser est maintenant éteinte. Vous pouvez retirer les lunettes de protection.
- Prévenez le professeur que vous avez terminé les manipulations.

3.2.4 Exploitation des mesures

- Sous Excel, tracer les deux courbes correspondant à vos mesures pour le laser YAG non-doublé.
- Comparer ces courbes à celles des figures 1 et 2 et proposer une interprétation.
- L'évolution de l'intensité du laser YAG non-doublé en fonction de la température est-elle simple ?

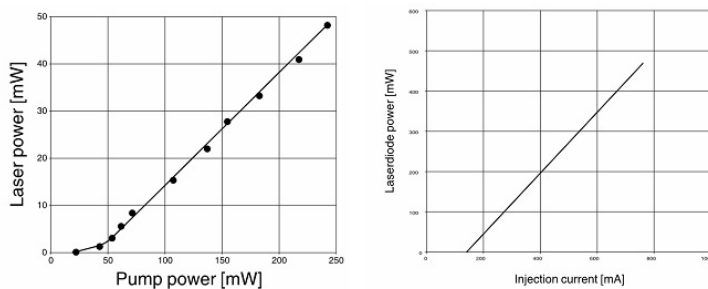


Figure 1: A gauche : puissance du laser YAG non-doublé en fonction de la puissance de la diode laser. A droite : puissance de la diode laser en fonction du courant laser.

- Sous Excel, tracer les deux courbes correspondant à vos mesures pour le laser YAG doublé.
- La courbe représentant la puissance du laser doublé en fonction du courant laser comporte trois parties successives : les repérer et les interpréter à l'aide de vos mesures précédentes et de la figure 1.
- La courbe représentant la puissance du laser doublé en fonction de la température est-elle simple ? Peut-elle se déduire directement de la figure 2 ? On justifiera la réponse.

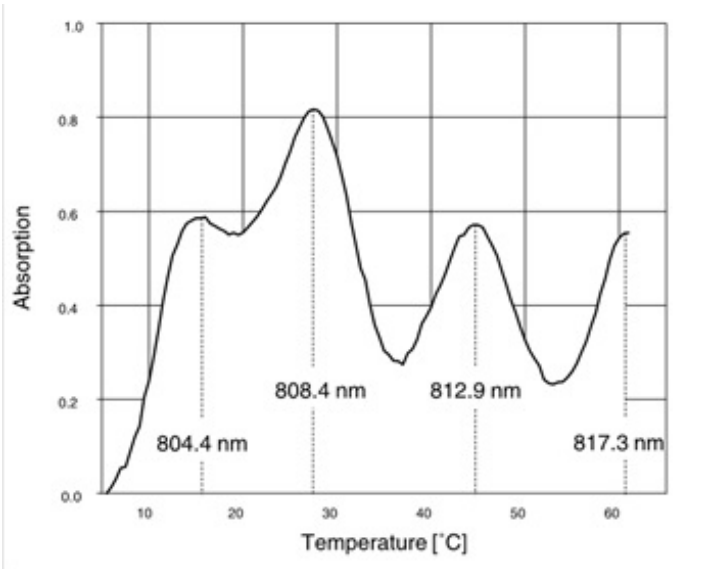


Figure 2: Absorption du cristal YAG en fonction de la température de la diode laser. Le laser YAG non-doublé est d'autant plus intense que le cristal absorbe fortement.

3.3 Sécurité laser : choix des lunettes

- A quel(s) domaine(s) du spectre électromagnétique appartiennent les longueurs d'onde suivantes : 810 nm, 1064 nm, 532 nm ?
- A puissance équivalente, un rayonnement invisible est-il plus ou moins dangereux qu'un rayonnement visible ?
- Parmi les deux lunettes proposées dans la figure 3, quelle paire choisiriez-vous pour vous protéger lors des manipulations sur le laser YAG doublé en kit ? Justifier impérativement la réponse.

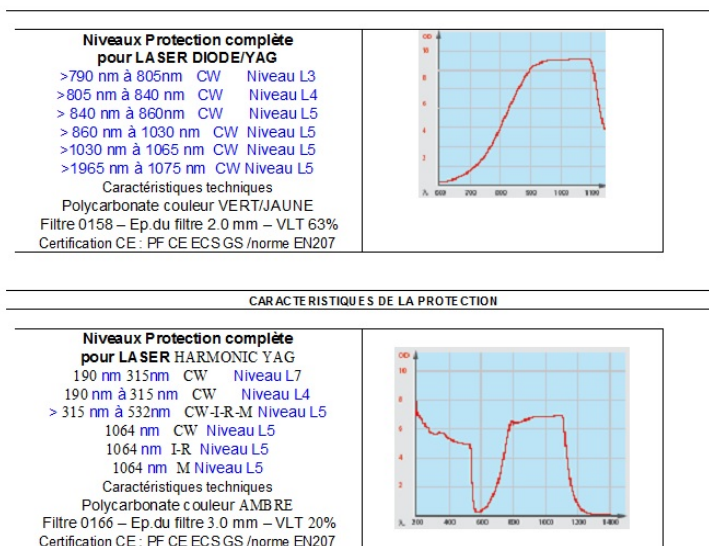


Figure 3: Caractéristiques de deux lunettes de protection.

BAREME

	Travail à faire	Note sur place	Note écrit
2.2.1	XYZ	- / 1	
2.2.1	Ev,x,y et Tcp		- / 2
2.2.2	Valeurs mesurées		- / 2
2.2.2	Comparaison 2 couleurs	- / 1	
2.2.3	Filtre vert		- / 2
2.3	Conclusion colorimétrie		- / 1
3.2.1	Doublement de fréquence		- / 2
3.2.2-4	Yag non-doublé + exploit.		- / 3
3.2.3-4	Yag doublé + exploit.		- / 3
3.2	Respect sécurité	- / 1	
3.3	Sécurité laser		- / 2

TOTAL : / 20