

## EXERCICES

- Installation et optimisation du déclenchement Q-switch d'un laser Nd:YAG au moyen d'un cristal de Cr:YAG.
- Enregistrement des impulsions et calcul de la durée d'impulsion.

## OBJECTIF

Q-switching circuit pour laser Nd:YAG avec un cristal de Cr:YAG

## RESUME

Le fonctionnement d'un laser en mode Q-switch permet de générer des impulsions brèves et d'énergie intense. Le mode Q-switch est basé sur le contrôle du seuil laser par une augmentation ou un abaissement des pertes dans la cavité résonante. Avec l'aide d'un cristal de Cr:YAG, on réalise un déclenchement passif puis on enregistre l'évolution temporelle des impulsions laser. Connaissant la puissance moyenne et le taux de répétition, on peut calculer l'énergie des impulsions.

## DISPOSITIFS NECESSAIRES

Nombre	Appareil	Référence
1	Pilote de diode laser et double contrôleur de température Dsc01-2,5	1008632
1	Banc optique KL	1008642
1	Laser à diode 1000 mW	1009497
1	Cristal Nd:YAG	1008635
1	Déclencheur passif	1008637
1	Laser-miroir I	1008638
1	Diode photoélectrique PIN, rapide	1008641
1	Filtre RG850	1008648
1	Diode laser d'ajustage	1008634
1	Coffret de transport KL	1008651
1	Lunettes de protection pour laser Nd:YAG	1002866
1	Multimètre numérique P3340	1002785
1	Oscilloscope numérique 4x60 MHz	1008676
1	Cordon HF, BNC / douille 4 mm	1002748
1	Cordon HF	1002746
1	Carte de détecteur infrarouge	1017879

# 3

## AVERTISSEMENT

L'expérience est réalisée avec une installation laser de classe IV qui émet des ondes infrarouges, c.-à-d. dans le spectre invisible à l'œil nu. Par conséquent, le port de lunettes de protection est obligatoire. Même avec des lunettes, il est impératif de ne jamais regarder le faisceau directement ni de mettre ses yeux au niveau de celui-ci.

## GENERALITES

Les lasers à Q-switch génèrent des impulsions laser courtes et intenses, telles que celles utilisées notamment dans l'industrie de transformation des matériaux. La technique du Q-switch est basée sur le contrôle du seuil laser par une augmentation ou un abaissement des pertes dans la cavité résonante. Lorsque les pertes sont élevées, le seuil d'émission n'est plus atteint dans la cavité, il ne se produit pas d'oscillation et l'énergie de pompage est emmagasinée dans le cristal laser (= milieu amplificateur). Lorsqu'on déclenche la cavité résonante en abaissant les pertes, il se produit une inversion de population massive qui provoque une impulsion géante dont l'intensité dépasse de plusieurs ordres de grandeur celle d'un laser en régime continu. La différence avec le « laser spiking » est toutefois qu'en mode déclenché, l'inversion de population est beaucoup plus forte et surpasse la valeur de seuil. On distingue deux types de déclenchements : le déclenchement passif et le déclenchement actif. Pour le déclenchement passif, on utilise des « absorbants » saturables dont la capacité d'absorption est activée par l'éclairement dans la cavité résonante. Les déclencheurs actifs généralement utilisés sont des modulateurs acousto-optiques, électro-optiques ou mécaniques qui contrôlent la transmission en externe.

L'utilisation d'un cristal absorbant pour le déclenchement passif implique nécessairement que son absorption puisse être saturée. Pour cela, sa section efficace d'absorption doit être plus grande que la section efficace d'absorption pour la lumière des atomes à l'état excité, et le temps de vie du niveau de transition excité doit être plus grand que la durée de l'impulsion laser (= temps d'établissement de l'état oscillant dans la cavité) et plus petit que le taux de répétition. Le cristal Cr:YAG satisfait à toutes ces conditions. Afin de décrire le comportement dynamique du laser à déclenchement passif, les équations d'évolution pour l'inversion de population  $n$  (dans le cristal de Nd:YAG) et pour le flux des photons  $p$  (dans le champ du faisceau laser) pouvant être atteints par pompage optique (cf. expérience UE4070310) doivent également tenir compte de la densité de population du cristal de Cr:YAG à l'état fondamental. En raison de l'augmentation extrêmement rapide du flux des photons, le taux de pompage et le taux d'émission spontanée sont négligeables. Sur la base de la définition du seuil de densité d'inversion

$$(1) \quad n_s = \frac{1}{\sigma \cdot c \cdot \tau_{res}}$$

$\tau_{res}$  : constante de temps pour la réduction du nombre de photons due aux pertes dans la cavité

$\sigma$  : section efficace pour l'émission ou l'absorption d'un photon  
 $c$  : vitesse de la lumière,

on obtient pour l'évolution temporelle de l'inversion de population  $n$  et pour le flux des photons  $p$  les équations suivantes :

$$(2a) \quad \frac{dn}{dt} = -\frac{n}{n_s} \cdot \frac{p}{\tau_{res}}$$

et

$$(2b) \quad \frac{dp}{dt} = -\left(\frac{n}{n_s} - 1\right) \cdot \frac{p}{\tau_{res}}$$

Dans une impulsion géante, l'inversion de population est à peu près constante et correspond à l'inversion de départ :

$$(3) \quad n(t) = n_i$$

En reprenant l'équation (2b), on peut exprimer le flux des photons ainsi :

$$(4) \quad p(t) = \exp\left[\left(\frac{n_i}{n_s} - 1\right) \cdot \frac{t}{\tau_{res}}\right]$$

L'inversion de population  $n_i$  dans l'impulsion géante est beaucoup plus élevée que celle au seuil  $n_s$ . Par conséquent, le temps de croissance du nombre de photons est beaucoup plus court que la constante de temps  $\tau_{res}$  pour les pertes dans la cavité.

Une autre étape importante est atteinte lorsque l'inversion de population est redescendue à la valeur seuil. Ensuite, le nombre de photons n'est plus modifié comme c'est décrit à l'équation (2b), c.-à-d. que la production de photons laser s'arrête. En reprenant l'équation (2a), on obtient l'expression :

$$(5) \quad \frac{dn}{dt} = -\frac{p_{max}}{\tau_{res}} \quad \text{où } p(t) = p_{max}$$

Lorsqu'il atteint sa valeur maximale, le flux des photons décroît en même temps que la constante de temps pour les pertes dans la cavité.

Le flux maximal des photons se calcule d'après la formule :

$$(6) \quad p_{max} = n_s \cdot \ln\left(\frac{n_i}{n_s}\right) - (n_i - n_s)$$

Par conséquent, les lasers dont le niveau de transition supérieur a un temps de vie très court, c.-à-d. avec un inversion de population très faible, ne présentent pas d'augmentation significative de leur puissance de sortie en mode pulsé.

Au cours de l'expérience, on procède à l'installation d'un cristal de Cr:YAG modulateur dans la cavité résonante et au réajustement des paramètres du laser. Le signal laser est mesuré par une diode PIN et enregistré sur un oscilloscope.

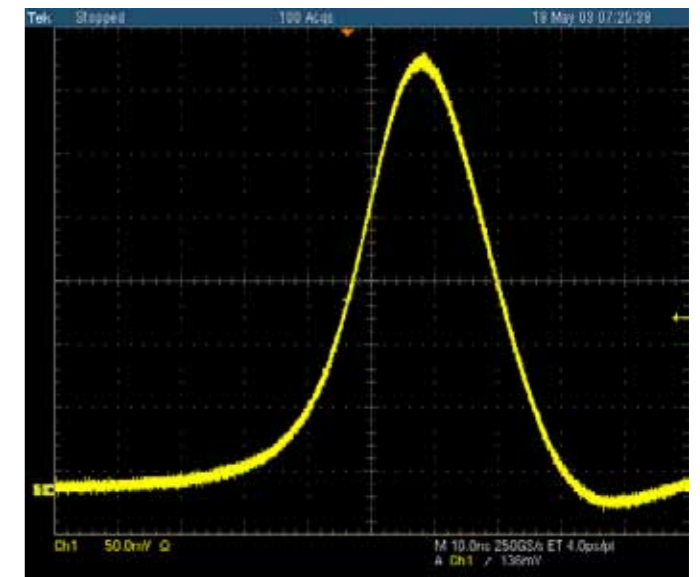


Fig. 1 Évolution temporelle des impulsions d'un laser Nd:YAG à déclenchement passif