

COMPRENDRE ...

...les Q-switches

Les lasers dits Q-switchés occupent une large place dans la famille des lasers impulsionnels. Cette technique de génération d'impulsions permet en effet d'obtenir de fortes puissances crêtes, indispensables dans de nombreuses applications, en particulier industrielles. Les dispositifs utilisés, appelés Q-switches, sont des dispositifs intra-cavité qui peuvent être électro-optiques, acousto-optiques ou à absorbants saturables.

Franck Darde

AA Group

franck.darde@group-aa.com

Pourquoi générer des impulsions optiques ?

Les lasers pulsés présentent des avantages par rapport aux lasers continus :

- dans certaines applications comme les communications optiques, les impulsions permettent de transporter l'information codée ;
- les impulsions courtes sont utilisées afin d'obtenir des puissances crêtes élevées. Plus l'énergie est compressée dans l'impulsion, plus celle-ci est courte et plus la puissance crête sera élevée. La puissance crête et la brièveté des impulsions sont des éléments primordiaux dans certaines applications médicales ou de marquage ;
- certaines impulsions lumineuses ultra-courtes permettent de piéger à la manière d'un flash, certains processus ou événements ultra-rapides, comme des réactions chimiques, ou des processus électroniques dans les semi-conducteurs. Les lasers peuvent ainsi produire des flashes de lumière dont la brièveté et la brillance dépassent largement les méthodes conventionnelles ;
- dans certaines circonstances, le mécanisme d'excitation du laser impose un fonctionnement en mode pulsé, de manière à limiter la charge thermique de l'ensemble.

Comment générer les impulsions lasers ?

Un des moyens simples permettant de générer des impulsions lasers est d'utiliser un interrupteur ou switch optique (modulateur

acousto-optique par exemple) à la sortie d'un laser continu (CW). Cet interrupteur optique piloté en mode on-off permettra de générer des impulsions de lumière.

Très répandue dans les applications scientifiques, cette méthode s'avère insuffisante dans bon nombre d'applications industrielles. Dans ce cas, l'interrupteur optique sera introduit directement à l'intérieur de la cavité laser : il est alors appelé Q-switch.

Cette technique présente deux avantages :

- quand l'interrupteur est fermé, la lumière est bloquée et le laser ne peut pas fonctionner. Cela signifie que l'énergie apportée au laser (pompage) est emmagasinée ou stockée à l'intérieur du milieu actif sous la forme d'atomes excités ;
- quand l'interrupteur est ouvert très rapidement, l'énergie stockée est rapidement libérée en créant une impulsion de lumière courte avec une puissance crête, qui est beaucoup plus élevée que la puissance continue (CW).

Un Q-switch, comment ça marche ?

Le facteur de qualité Q d'une cavité laser décrit la capacité de la cavité à emmagasiner de l'énergie lumineuse sous la forme d'ondes stationnaires.

Le facteur Q est le rapport entre l'énergie contenue dans la cavité et l'énergie perdue après chaque tour dans la cavité :

$$Q = 2\pi \frac{\text{Energie stockée dans la cavité}}{\text{Energie perdue pendant un cycle}}$$

Cela signifie qu'une cavité présentant beaucoup de pertes dissipe une grande quantité d'énergie à chaque tour et présente un facteur de qualité Q faible. Au contraire, une cavité présentant de faibles pertes aura un facteur de qualité Q élevé.

De l'insertion au sein de la cavité laser d'un dispositif permettant de contrôler les pertes de la cavité résulte la possibilité de faire varier le facteur de qualité Q.

Ce composant agit comme un interrupteur optique ou switch optique à l'intérieur de la cavité, dont l'activation permet de faire varier le Q de la cavité, d'où son nom de Q-switch.

Quand l'interrupteur est fermé, la lumière est arrêtée, absorbée ou déviée (faible Q et cavité à fortes pertes), quand il est ouvert, la lumière n'est plus obturée, la cavité est à faibles pertes (fort Q).

Un Q-switch peut donc être considéré comme un modulateur d'intensité qui crée des pertes à l'intérieur de la cavité laser, avec un taux de répétition élevé (typiquement de 1 à 100 kHz).

Les Q-switches sont étudiés afin d'optimiser les spécifications suivantes :

- avoir des pertes intrinsèques minimum (transmission passive),
- une capacité à créer des pertes maximum en mode actif,
- une forte tenue au flux laser,
- une vitesse d'obturation élevée.

Les différents types de Q-switches

Il existe trois grandes familles de Q-switches couramment utilisés :

- les Q-switches acousto-optiques,
 - les Q-switches électro-optiques,
 - les Q-switches à absorbants saturables.
- Les absorbants saturables, bien que moins onéreux, ne permettent pas d'obtenir des impulsions régulières. Leurs seuils de déclenchement sont variables. Pour les performances les meilleures, les Q-switches acousto-optiques et électro-optiques sont préférés. Il s'agit dans ce cas d'un type spécial de modulateur d'intensité.

■ Les Q-switches à absorbants saturables

Un composant organique est utilisé comme absorbant saturable. Ce type de substance est en général un colorant qui est normalement très absorbant lorsqu'il est faiblement éclairé : ses molécules absorbent la lumière incidente sur le jet. Son absorption peut se saturer sous l'influence d'une intensité lumineuse suffisante, toutes ses molécules sont excitées, et l'énergie lumineuse peut alors traverser le colorant qui est devenu transparent (ce comportement est celui d'un absorbant saturable).

Ce composé organique joue donc le rôle d'un interrupteur de lumière commandé par la puissance lumineuse existant dans la cavité laser.

■ Les Q-switches électro-optiques

Les Q-switches électro-optiques utilisent l'effet Pockels à l'intérieur d'un milieu cristallin tel que le KDP ou le RTP. Ils sont parfois appelés cellules de Pockels.

L'effet Pockels est basé sur une biréfringence induite à l'intérieur du milieu par un champ électrique statique ou variable. La biréfringence qui apparaît est proportionnelle au champ électrique appliqué. L'ensemble se comporte comme une lame de retard contrôlée grâce au champ (généralisé par une haute tension) appliqué au cristal. Cette lame de retard permet de contrôler l'état de polarisation en sortie du cristal.

En combinaison avec un polariseur de sortie, ce contrôle permet de réaliser une modulation de l'intensité lumineuse traversant le dispositif avec des temps caractéristiques de l'ordre de la nanoseconde (figure 1).

Un exemple d'utilisation d'un Q-Switch électro-optique dans un laser à état solide est montré sur la figure 2.

■ Les Q-switches acousto-optiques

Comme leur nom l'indique, ils sont basés sur l'effet acousto-optique : il s'agit de l'interaction entre une onde optique (laser en général) et une onde acoustique se propageant dans un milieu présentant des propriétés dites photo-élastiques.

Un transducteur piézo-électrique est collé sur le milieu propice à l'interaction (un cris-

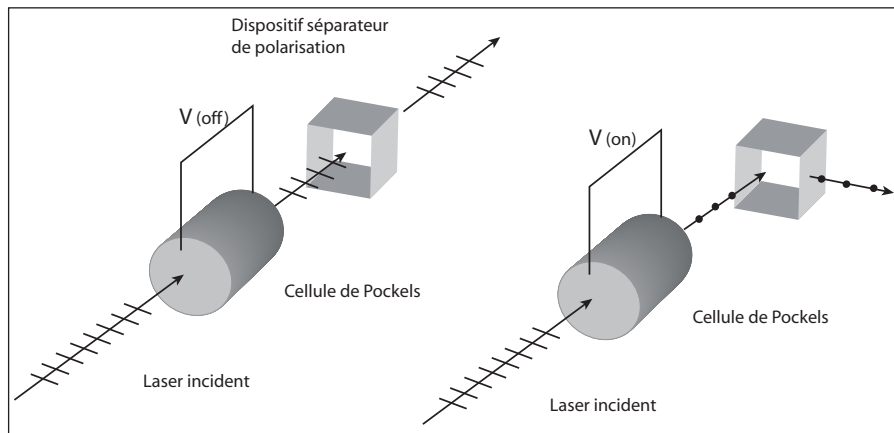


Figure 1. Principe de fonctionnement d'un Q-switch électro-optique.

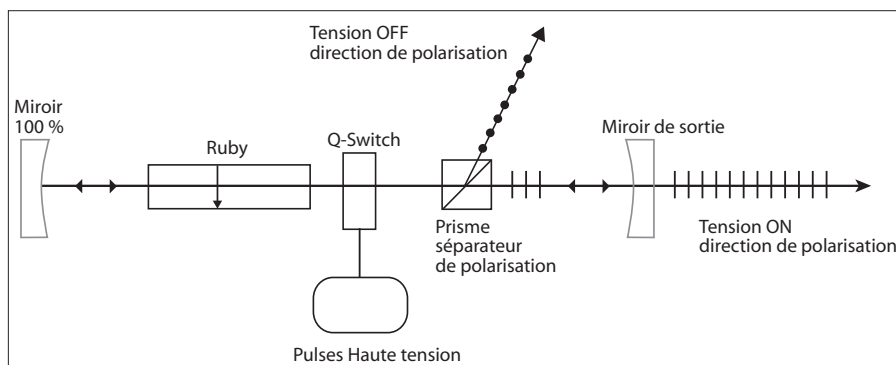


Figure 2. Exemple d'utilisation d'un Q-switch électro-optique dans un laser à état solide.

tal choisi pour ses propriétés tel que le TeO_2 ou le quartz, ou un verre tel que la silice fondue). Ce transducteur a pour propriété la capacité de faire varier son épaisseur en fonction d'un signal (V) appliqué à ses bornes.

La tension V est issue d'un signal périodique radiofréquence. Le couplage électro-méca-

nique avec le cristal permet de générer une onde ultrasonore se propageant à l'intérieur du milieu d'interaction.

L'onde acoustique modifie les propriétés locales (indice de réfraction) du milieu et crée un réseau d'indice sinusoïdal sur lequel l'onde optique vient se diffracter (figure 3). Suivant les caractéristiques de la cellule

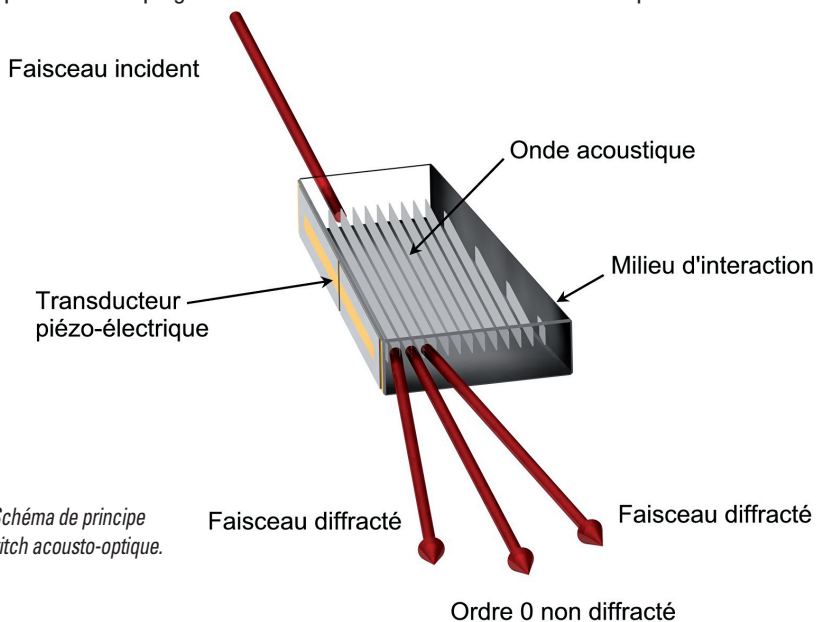


Figure 3. Schéma de principe d'un Q-switch acousto-optique.

acousto-optique, on obtiendra plusieurs ordres de diffraction (régime de Raman Nath), ou un seul ordre de diffraction (régime de Bragg).

L'intensité laser transférée dans les différents ordres de diffraction est directement proportionnelle à la puissance radiofréquence appliquée aux bornes du transducteur. Elle peut en pratique atteindre 90 % de l'intensité incidente selon les cas. Notons qu'il existe aussi des Q-switchs fibrés (figure 4).

L'axe d'une cavité laser sera ajusté sur l'ordre 0 du Q-switch acousto-optique. Quand le signal radiofréquence est appliqué au Q-switch, des ordres de diffraction apparaissent. Ces derniers n'étant pas alignés avec l'axe de la cavité agissent comme des pertes permettant de bloquer la cavité laser ainsi que le pompage du milieu amplificateur. Lorsque les pertes sont arrêtées (Q-switch passant), le laser peut libérer l'énergie stockée en une impulsion de forte puissance (figure 5).

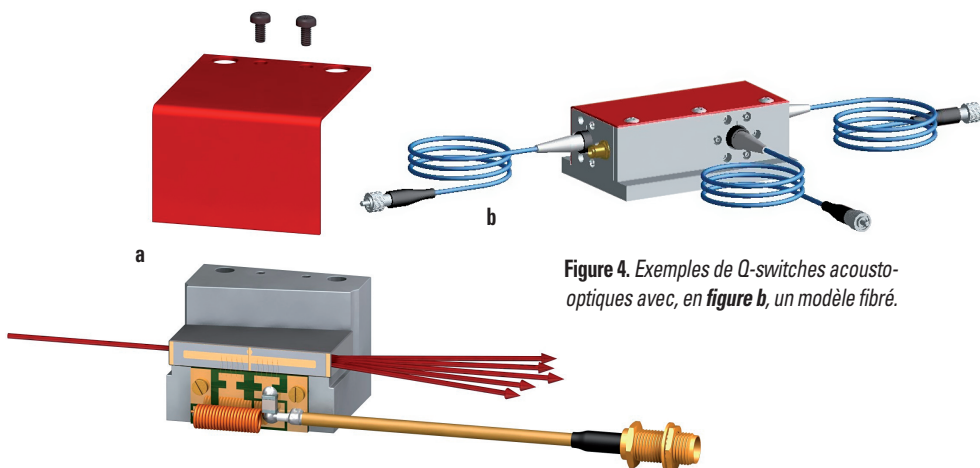


Figure 4. Exemples de Q-switches acousto-optiques avec, en figure b, un modèle fibré.

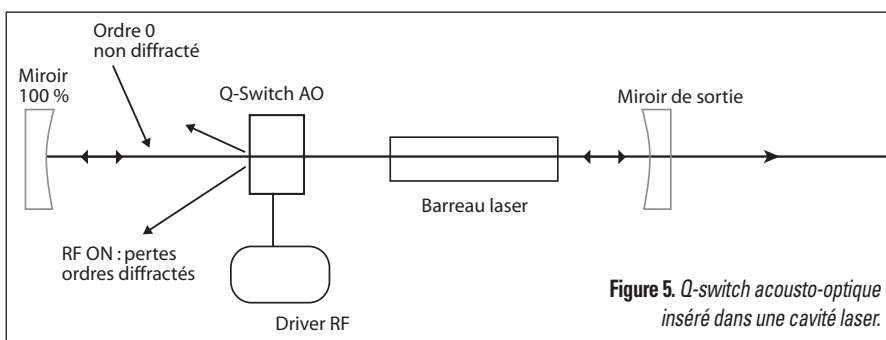


Figure 5. Q-switch acousto-optique inséré dans une cavité laser.

1/2 PUB