

Une nouvelle technique pour la génération d'impulsions lasers picosecondes : la découpe d'impulsion.

Les lasers picoseconde sont de plus en plus répandus dans de multiples applications que ce soit en recherche ou dans l'industrie. On peut notamment les trouver en bio photonique, optique non-linéaire, usinage. Ils commencent également à faire leur apparition et leurs preuves dans un marché plutôt conservateur sur les technologies laser, la dermatologieⁱ.

La startup Irisiome Solutions s'apprête à mettre sur le marché un laser basé sur une nouvelle méthode de génération d'impulsion picoseconde. A cette occasion nous allons présenter dans cet article les principes sur lesquels reposent cette nouvelle technique et fournir une brève revue comparative des principales méthodes existantes.

Quelles sont les principales méthodes de génération d'impulsions picosecondes et sur quels principes fonctionnent-elles?

- **Le verrouillage de mode actif: des impulsions courtes et propres**

Le verrouillage de mode est une méthode de génération d'impulsions théorisée dès 1964ⁱⁱ. Le principe est de synchroniser les phases des différents modes longitudinaux de la cavité de telle sorte que ces modes vont interférer constructivement et générer de manière périodique des impulsions lumineuses.

Cette technique peut être appliquée à différents types de laser comme les lasers à colorant, à fibre, à cristaux ou encore les diodes lasers, et permet aussi bien la génération d'impulsions picosecondes que femtosecondes.

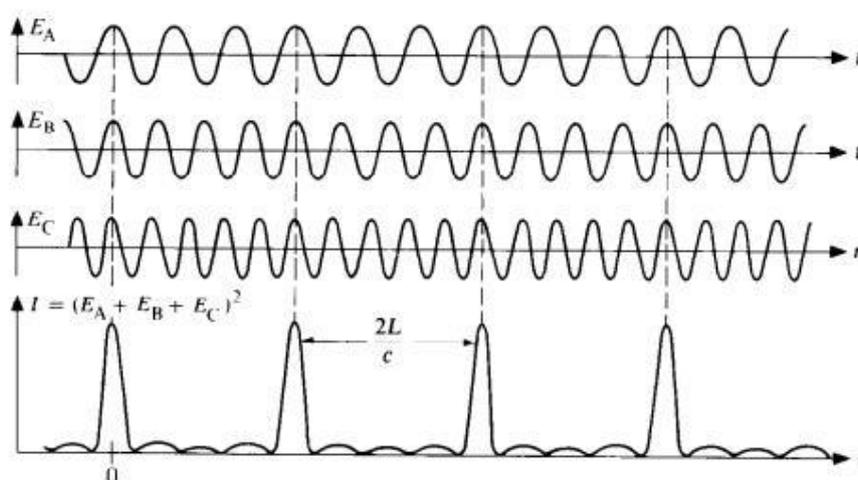


Figure 1 – Principe de la génération d'impulsions par verrouillage de modeⁱⁱⁱ.

Dans le cas de la génération d'impulsion picoseconde ou sub-picoseconde, on utilise usuellement le verrouillage de mode dit « actif » qui consiste à placer dans la cavité laser un composant actif, souvent un modulateur électro- ou acousto-optique. Ce composant va permettre de faire varier les pertes du résonateur avec une période correspondant au temps de parcours aller et retour de l'impulsion dans la cavité et ainsi créer le phénomène de verrouillage de mode.

Grâce au verrouillage de mode actif, il est possible d'obtenir des impulsions de l'ordre de quelques picosecondes seulement avec un très faible niveau de bruit.

- **Les diodes picoseconde à commutation de gain (gain-switch): compactes et pratiques**

La commutation de gain est une méthode utilisée pour générer des impulsions ultrabrèves de quelques dizaines de picosecondes. Elle consiste à moduler la puissance de pompe d'une diode laser dans le cas le plus courant, mais cette méthode peut également s'appliquer à d'autre type de laser. Il s'agit d'injecter des électrons dans la région active du semi-conducteur jusqu'à ce que le niveau d'excitation atteigne le seuil d'émission laser, ce qui conduit à la génération d'une impulsion laser plus courte que l'impulsion électrique. L'intérêt de cette méthode est de réussir à générer une impulsion optique bien plus courte que le temps qu'il faudrait pour injecter suffisamment d'énergie dans le milieu de gain.

La puissance moyenne de ce type de laser dépasse rarement les quelques centaines de milliwatts. L'augmentation de la puissance de pompe permet d'augmenter la puissance de l'impulsion optique mais au prix d'une dégradation du profil temporel. Cependant, il est possible d'amplifier le signal jusqu'à plusieurs dizaines de watts grâce à des amplificateurs fibrés.

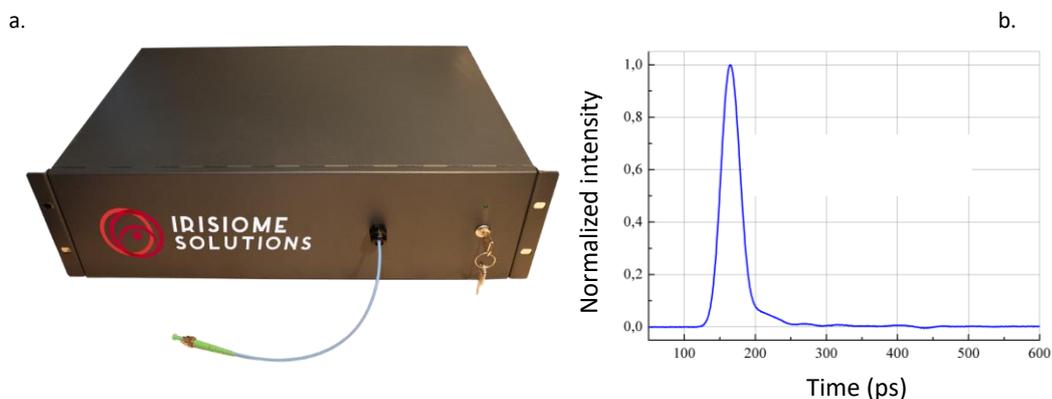


Figure 2 – (a) Le laser SID de la société Irisiome Solutions est constitué d'une diode à commutation de gain amplifiée par fibre active. (b) Ce laser peut avoir une puissance moyenne jusqu'à 30W avec une durée d'impulsion de 35 ps et un profil temporel Gaussien.

Contrairement au laser à verrouillage de mode, la cadence des diodes à commutation de gain ne dépend pas de la taille de la cavité. Il est possible d'atteindre une large plage de cadences avec la même diode.

- **La découpe d'impulsions picosecondes : une nouvelle solution extrêmement flexible**

Cette technique consiste en la découpe d'impulsions picosecondes dans un signal laser continu à l'aide d'un modulateur optique d'intensité. Un tel laser est extrêmement flexible car la cadence et la durée d'impulsion ne dépendent plus de la longueur de la cavité ni de la nature du milieu amplificateur, mais du signal électrique pilotant le modulateur. Ainsi, il est possible d'adapter la durée d'impulsion de quelques dizaines de picosecondes à n'importe quelle durée supérieure tout en gardant un spectre d'émission très étroit. Et la cadence peut être modulée sur une très large plage allant jusqu'au GHz. Tout comme pour les diodes à commutation de gain, la synchronisation avec un signal externe peut se faire facilement.

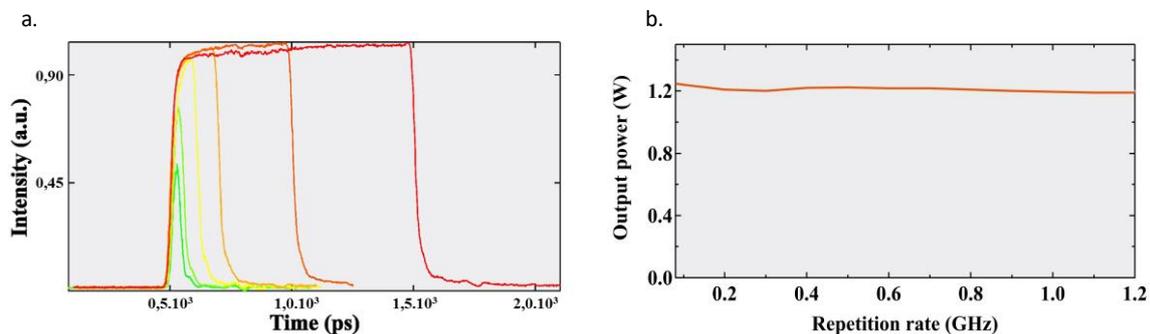


Figure 3 – (a) Mesure de la durée d'impulsion par photodiode rapide sur un laser MANNY de la société Irisiome Solutions à 32 ps, 50 ps, 100 ps, 250 ps, 500 ps and 1 ns (b) Mesure de la puissance moyette d'un laser MANNY 1,2W à des cadences de 5 MHz à 1.2 GHz.

L'utilisation habituelle d'un modulateur électro-optique pour découper les impulsions limite la puissance moyenne en sortie, mais dans ce cas également il est possible d'amplifier le signal à l'aide d'amplificateurs fibrés.

Cette méthode est encore peu connue à cause des difficultés à descendre à des durées d'impulsions en deçà de quelques centaines de picosecondes. De plus, les solutions industrielles sont encore rares et il est plus courant de trouver seulement les modules de découpe d'impulsion, à injecter soi-même, avec ou sans amplification. Récemment, des solutions entièrement intégrées ont vu le jour sur le marché des lasers. Le laser clé en main MANNY proposé par la société Irisiome Solutions, basé sur la découpe d'impulsion permet un réglage fin des paramètres de l'impulsion (énergie, puissance crête, cadence) avec la possibilité de synchroniser le système laser avec un signal externe et une amplification par fibre jusqu'à 30W. Irisiome Solutions^{iv} a également réussi le pari de proposer des durées d'impulsion descendant jusqu'à 30 ps en développant une électronique rapide spécifique.

Qu'est-ce que la découpe d'impulsion apporte de nouveau dans le paysage des lasers picoseconde ?

Dans le domaine des lasers ultrarapides, le verrouillage de mode est de loin le plus répandu. Il permet la génération d'impulsions très courtes de la picoseconde à la femtoseconde avec une excellente qualité d'impulsion, c'est-à-dire des impulsions avec un très faible niveau de bruit et une faible gigue temporelle. En régime picoseconde, cette méthode convient particulièrement à des applications nécessitant des puissances crêtes élevées et donc des impulsions plus courtes. Pour ces applications, comme le micro usinage ou la microscopie multi-photon, le laser picoseconde est utilisé comme une alternative plus compacte et robuste aux lasers femtoseconde. De plus grâce à son faible bruit, il convient à des applications de pointe comme la spectroscopie résolue dans le temps ou la génération de peignes de fréquence.

En revanche, pour des applications beaucoup moins exigeantes, les diodes à commutation de gain s'imposent comme une alternative très attractive au verrouillage de mode. Elles sont beaucoup plus compactes, moins chères et facile d'utilisation. De plus, la cadence, dépendant de la cadence de l'impulsion électrique de pompe est largement ajustable, ce qui les rend également facilement synchronisable avec d'autres systèmes. Cependant, elles ne pourront pas totalement remplacer les lasers à verrouillage de mode à cause de leur gigue temporelle beaucoup plus élevée, typiquement de quelques picosecondes, et une stabilité tir à tir des impulsions émises beaucoup plus faible.

La découpe d'impulsion picoseconde, contrairement aux deux méthodes précédentes est la seule technique qui permet une flexibilité à la fois sur la durée d'impulsion, et sur la cadence mais la durée d'impulsion ne pourra jamais égaler celle d'un laser à verrouillage de mode. Son extrême flexibilité lui permet à l'utilisateur d'être particulièrement précis et efficace sur des applications d'interaction laser matière (vivante ou non) et de biophotoniques pour lesquelles il est important de pouvoir gérer les quantités d'énergie déposée et les effets thermiques. De plus, tout comme les systèmes à diodes à commutation de gain, les impulsions étant pilotées par des impulsions électroniques, les lasers à découpe d'impulsions picosecondes sont très simples d'utilisation et facilement synchronisables en maître ou esclave avec un autre système.

Pour plus d'information contactez Julie Siv (siv@irisiome.com) ou visitez le site www.irisiome-solutions.com

ⁱ www.irisiome.com

ⁱⁱ W. E. Lamb Jr., "Theory of an optical laser", Phys. Rev. 134 (6A), A1429 (1964)

ⁱⁱⁱ Tarek Ennejah and Rabah Attia (2013). Mode Locked Fiber Lasers, Current Developments in Optical Fiber Technology, Dr. Sulaiman Wadi Harun (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/52214. Available from: <https://www.intechopen.com/books/current-developments-in-optical-fiber-technology/mode-locked-fiber-lasers>

^{iv} www.irisiome-solutions.com