

Autocorrélateur interférométrique pour laser à impulsions ultra-courtes

Étudiant-chercheur : Antoine Rivard (arivard@novika.ca)

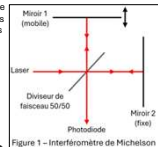
Enseignant responsable : Michaël Bégin (mbejin@cecm.ca)

Responsable de projets : Christophe Arnaud (carnaud@novika.ca)

Introduction

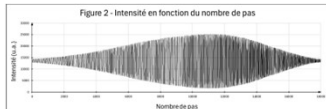
Contexte : Les lasers impulsionsnels peuvent émettre des impulsions extrêmement courtes que même les meilleures photodiodes ne sont pas assez rapides pour mesurer directement celles-ci. Ces mesures sont nécessaires, entre autres, pour vérifier cette durée lors de l'utilisation d'un étireur d'impulsion (appareil servant à étirer ou raccourcir la durée des impulsions). L'objectif est de construire un autocorrélateur interférométrique pour mesurer la durée d'impulsion d'un laser femtoseconde.

Théorie : Pour atteindre ce but, un interféromètre de Michelson est nécessaire. Cet appareil consiste à diviser un faisceau laser en deux sous-faisceaux possédant chacun 50% de la puissance d'origine. Ensuite, chacun de ces derniers parcourt un chemin optique légèrement différent avant de se recombiner sur une photodiode. Lorsque les deux faisceaux se recombinent, leurs champs électriques s'additionnent. S'ils n'ont aucun retard ou un retard équivalent à un multiple entier de leur longueur d'onde, ils interfèrent constructivement. Au contraire, lorsque le retard est de la moitié de la longueur d'onde, les deux champs s'annulent, ce qui crée de l'interférence destructive. À la figure 1, on voit le trajet optique de l'interféromètre, où chaque sous-faisceau se reflète sur son miroir. Il suffit donc de déplacer l'un des deux miroirs pour varier la différence de marche et ainsi l'interférence qui en résulte. Pour les lasers à impulsions ultra-courtes, cet appareil est très utile. Pour que l'interférence ait lieu, les deux faisceaux doivent se superposer temporellement. Si le décalage est trop grand entre les deux trajets optiques, les impulsions arriveront l'une après l'autre, donc il n'y aura aucune interférence. Lorsqu'ils seront parfaitement superposés (les deux miroirs à la même distance), l'interférence sera totale. En déplaçant progressivement un miroir tout en mesurant la puissance de la photodiode, on obtient un profil d'intensité sinusoïdale dans une enveloppe gaussienne.



Résultats

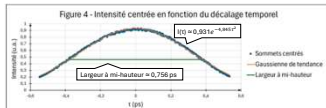
La figure 2 montre les données brutes obtenues lors du test de l'autocorrélateur avec le laser NKT AeroPULSE FS 20. Le sinus est difficilement visible étant donné le nombre très élevé de cycles. Une asymétrie de l'enveloppe gaussienne est visible et est causée par le déplacement non régulier du miroir, ce qui n'est pas un problème pour obtenir la durée d'impulsion.



La figure 3 montre les sommets trouvés par un algorithme. Seulement l'intensité de ces sommets est importante pour définir le profil gaussien.



La figure 4 illustre les maximums trouvés précédemment après avoir adapté l'axe des abscisses. Il y a un décalage d'une longueur d'onde entre chaque sommet. Donc, le retard temporel entre chaque point est connu, soit la longueur d'onde du laser divisé par la vitesse de la lumière dans l'air. Notons que le graphique est symétrique et que la durée d'impulsion est calculée à l'aide de la gaussienne de tendance.



La durée d'impulsion est égale à la largeur à mi-hauteur de l'autocorrélation divisée par la racine carrée de deux. Donc, comme cette dernière est de 0,756 ps, la durée d'impulsion est de 0,535 ps, soit 535 femtosecondes.

Méthodologie

Fonctionnement : Pour déplacer le miroir, un moteur pas à pas est utilisé, celui-ci fait tourner une vis micrométrique maintenue par deux roulements à billes. Celle-ci pousse le miroir, tandis qu'un ressort tire ce dernier dans le sens contraire. Pour obtenir des résultats reproductibles, un interrupteur de fin de course est utilisé pour recalibrer à chaque test. Toutes ces composantes sont maintenues ensemble sur la plaque optique par des pièces imprimées en 3D. Le circuit électrique est soudé sur une carte de circuit imprimé et est connecté à un microcontrôleur Arduino GIGA R1. Pour utiliser l'appareil, il suffit de l'alimenter et de le brancher dans un ordinateur, ensuite une interface utilisateur programmée en Python sert à le contrôler. Lorsqu'un test se lance, l'application envoie le signal de départ à l'Arduino, qui fait tourner le moteur d'un pas et envoie ensuite une donnée à l'application. Après avoir récupéré toutes les données, celles-ci sont automatiquement analysées pour former trois graphiques affichés dans l'interface. Le résultat final, soit la durée d'impulsion du laser, est aussi affichée. De plus, six fichiers textes sont créés pour analyser manuellement les données au besoin.

Démarche : Préalablement, de nombreux tests ont été réalisés avec un laser Hélium-Néon, en améliorant le prototype jusqu'à avoir des résultats concluants. Ensuite, l'autocorrélateur a été testé avec un laser picoseconde (le Fianium Hylase-25 - 9ps) pour continuer d'améliorer l'appareil. Finalement, d'autres tests ont été effectués sur le laser femtoseconde (le NKT AeroPULSE FS 20 - 450fs).

Conclusion

Analyse : L'objectif a été atteint, l'autocorrélateur est fonctionnel et les résultats sont reproductibles.

Avantages : L'autocorrélateur fonctionne pour des durées d'impulsion allant jusqu'à quarante picosecondes puisque le déplacement du miroir par le moteur pas à pas peut se faire sur une distance de vingt millimètres. La majorité des autocorrélateurs disponibles sur le marché fonctionnent uniquement pour de courtes durées d'impulsions (typiquement <1ps). De plus, il est peu coûteux grâce aux nombreuses pièces imprimées en 3D.

Développement futur : Il serait possible d'utiliser un cristal de seconde harmonique pour obtenir l'autocorrélation de deuxième ordre. Aussi, l'autocorrélateur pourrait être testé sur d'autres lasers.