

# Traitement de signal linéaire pour conversion de fréquence

Comme pour de nombreuses applications, le Laser MégaJoule (LMJ) nécessite l'utilisation de la lumière ultraviolette. Cependant, on ne sait amplifier de manière cohérente et efficace que de la lumière infrarouge. Il convient donc de changer de « couleur » après amplification. On parle alors de conversion de fréquence (ou de longueur d'onde). Malheureusement, tout système de conversion de fréquence engendre des distorsions de l'impulsion laser par un filtrage non linéaire du spectre. Pour le LMJ, ces distorsions participent à l'endommagement des optiques et sont néfastes pour l'interaction avec la cible : elles doivent donc être limitées au mieux. Pour cela, nous avons proposé une solution innovante qui consiste à utiliser de simples fonctions de transfert linéaires insérées en début de chaîne avant toute amplification. L'ensemble de ces résultats permettra d'optimiser de manière significative les performances du Laser MégaJoule.

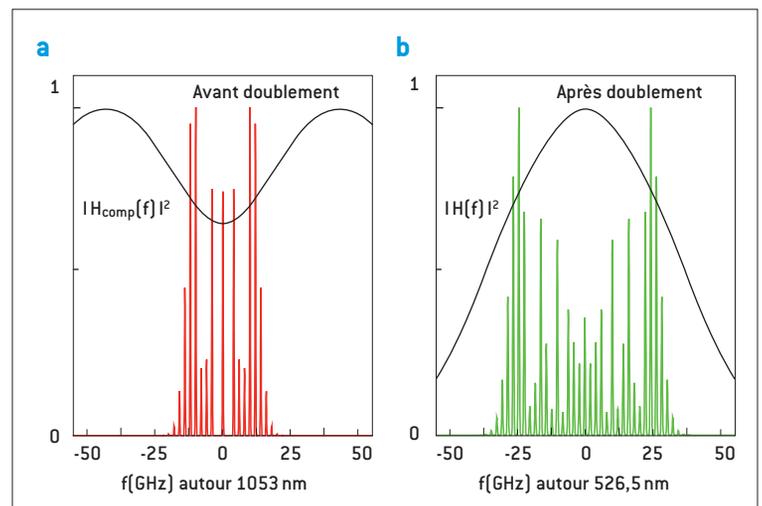
S. Vidal • J. Luce • S. Hocquet • D. Penninckx CEA - Cesta  
C. Gouédard CEA-DAM Île-de-France

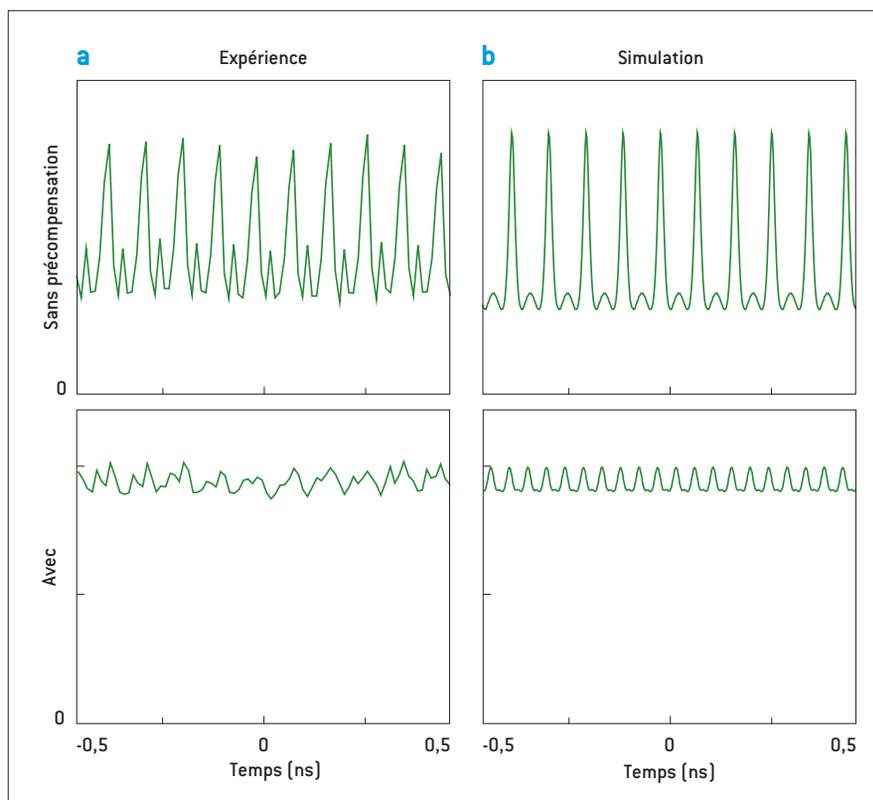
La conversion de fréquence dans le domaine optique n'a été rendue possible que suite à l'invention du laser au début des années 1960 qui permet d'atteindre des intensités élevées. Ce processus non linéaire repose sur le fait que lorsque la matière est soumise à un rayonnement électromagnétique sinusoïdal intense, elle le réémet mais légèrement distordu : des fréquences harmoniques du rayonnement incident sont créées. Il est alors possible de favoriser cette production de fréquences harmoniques et ainsi de faire, par exemple, de la sommation, de la soustraction ou du doublement de fréquences optiques. Pour cela, il faut respecter deux conditions : la conservation de l'énergie et celle de la quantité de mouvement des photons. La conservation de l'énergie fixe les fréquences mises en jeu (*i.e.* les longueurs d'onde) et celle de la quantité de mouvement nécessite d'utiliser des matériaux dans des conditions particulières, par exemple des cristaux taillés suivant un angle précis qui dépend des fréquences concernées. Dans le cas du LMJ, l'impulsion infrarouge est en partie doublée en fréquence (couleur verte) avec un cristal de KDP. Le reste de l'impulsion non doublée est sommé dans un cristal de DKDP avec l'impulsion doublée pour générer une impulsion à la fréquence triple, dans l'ultraviolet.

Malheureusement, la conversion de fréquence n'est parfaitement efficace que pour une fréquence particulière. Le rendement de conversion dépend donc de la fréquence, ce qui définit « l'acceptance spectrale ». Tant que l'impulsion à convertir possède un spectre étroit, on peut considérer la conversion de fréquence comme idéale. La forme des impulsions du LMJ ne les prédispose pas à avoir un spectre large, mais des contraintes de propagation rendent indispensable un élargissement important du spectre par une modulation de phase. Si le spectre n'est pas parfaitement conservé lors de la propagation,

cette modulation de phase se transforme alors en une modulation d'intensité qui déforme l'impulsion. Ces déformations, lorsqu'elles sont importantes, peuvent entraîner un endommagement accéléré des optiques et sont néfastes pour l'interaction avec la matière. Il convient donc de réduire au mieux ces distorsions. Lorsque les distorsions sont linéaires, il est facile de les pré- ou post-compenser en ajoutant un filtre linéaire inverse. Si les distorsions sont non linéaires, comme dans le cas de la conversion de fréquence, ce problème de traitement de signal est beaucoup plus complexe.

Figure 1. Spectre typique d'une impulsion modulée en phase avant (a) et après (b) doublement de fréquence. La courbe  $|H(f)|^2$  représente l'acceptance spectrale de la conversion de fréquence pour une intensité donnée. La courbe  $|H_{comp}(f)|^2$  est la fonction de transfert linéaire utilisée lors de la première expérience [4].





**Figure 2.** Résultats de la deuxième expérience [5]. Intensité de l'impulsion doublée en fréquence en fonction du temps. [a] : résultats expérimentaux sans (haut) et avec (bas) précompensation ; [b] : simulation des expériences. Idéalement, on recherche un signal constant en intensité.

Il est possible de montrer que, pour une intensité donnée, la conversion de fréquence d'un signal à spectre large peut être vue comme une conversion de fréquence idéale suivie d'un filtrage linéaire [1]. Il est donc théoriquement possible de post-compenser ce filtrage linéairement. Mais, en pratique, en aval de la conversion de fréquence, les intensités sont telles et l'énergie si précieuse que cette technique est inenvisageable : tout traitement de signal doit se faire en amont de la conversion de fréquence, rendant le problème fortement non linéaire. Nous avons cependant eu l'intuition qu'il était possible de trouver un simple filtre linéaire réduisant fortement les distorsions (figure 1). Des simulations numériques, dont nous avons publié les résultats [2], nous ont convaincus de l'intérêt de cette technique, un brevet ayant été déposé en 2008 [3].

Ces deux dernières années, nous avons mis en œuvre ce dispositif en laboratoire [4,5]. Les résultats sont à la hauteur de nos espérances. Pour simplifier, l'expérience est réalisée en doublement de fréquence d'une impulsion et non en triplement de fréquence. Dans une première expérience [4], nous avons précompensé les effets de l'acceptance spectrale dans le cas où l'impulsion est quasiment complètement convertie en fréquence comme c'est le cas pour le LMJ. On parle alors de saturation. Nous avons montré que même s'il fallait optimiser le filtre linéaire de précompensation pour l'intensité considérée, le même filtre réduisait de manière significative les distorsions sur un domaine d'intensité très important. Le filtre de précompensation est un simple « interféromètre à deux ondes » réalisé avec des fibres optiques. Lors d'une deuxième expérience [5], nous avons introduit des composants optiques supplémentaires, appelés réseaux diffractifs, qui ajoutent

un filtrage en phase à l'acceptance spectrale en amplitude. C'est aussi le cas pour le LMJ. Le filtre de précompensation est alors légèrement plus complexe. Les résultats de précompensation sont présentés sur la figure 2. Le parfait accord entre résultats expérimentaux et modélisations nous assure de l'extrapolation au cas du LMJ.

La suite de ces travaux concerne maintenant l'étude des marges de dimensionnement et l'application d'une telle technique à des impulsions non modulées en phase mais plus courtes pour des lasers de radiographie.

## RÉFÉRENCES

- [1] S. HOCQUET, D. PENNINGCKX, E. BORDENAVE, C. GOUÉDARD, Y. JAOUËN, "FM-to-AM conversion in highpower lasers", *Appl. Opt.*, **47**, p. 3338-3349 [2008].
- [2] S. HOCQUET, G. LACROIX AND D. PENNINGCKX, "Compensation of frequency modulation to amplitude modulation conversion in frequency conversion systems", *Appl. Opt.*, **48**, p. 2515-2521 [2009].
- [3] S. HOCQUET, D. PENNINGCKX, C. GOUÉDARD, « Dispositif de réduction des distorsions temporelles induites dans des impulsions lumineuses par un système convertisseur de fréquence optique non linéaire », brevet n° FR 08-58954 [2008].
- [4] S. VIDAL, J. LUCE, D. PENNINGCKX, "Experimental demonstration of linear precompensation of a non-linear transfer function due to second-harmonic generation", *Optics Letters*, **36**(1), p. 88-90 [2011].
- [5] S. VIDAL, J. LUCE, D. PENNINGCKX, "Compensation of phase-to-amplitude modulation conversion in a complete frequency conversion system with an all-fiber system", *Optics Letters*, **36**(17), p. 3494-3496 [2011].