



HAL
open science

Application de la fibre optique aux chocs et à la détonique

Yohan Barbarin, Sylvain Magne, Alexandre Lefrançois, Virgile Guyot, Jérôme Luc

► **To cite this version:**

Yohan Barbarin, Sylvain Magne, Alexandre Lefrançois, Virgile Guyot, Jérôme Luc. Application de la fibre optique aux chocs et à la détonique. Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG), Jul 2017, Limoges, France. cea-02549159

HAL Id: cea-02549159

<https://cea.hal.science/cea-02549159v1>

Submitted on 21 Apr 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

APPLICATION DE LA FIBRE OPTIQUE AUX CHOCS ET A LA DETONIQUE

Yohan Barbarin¹, Sylvain Magne², Alexandre Lefrançois¹, Virgile Guyot¹ et Jérôme Luc¹

¹ CEA, DAM, CEA-Gramat, F-46500 Gramat, France

² CEA LIST, Laboratoire Capteurs Architectures Electroniques, F-91191 Gif-sur-Yvette cedex, France

yohan.barbarin@cea.fr

RÉSUMÉ

Pour la physique des chocs et de la détonique, plusieurs grandeurs physiques dont la vitesse de choc et la pression sont mesurées dynamiquement à la surface ou au cœur de matériaux inertes et énergétiques. Les fibres optiques et les lasers fibrés ont apporté une grande flexibilité de mise en œuvre et les réseaux de Bragg permettent de mesurer à cœur ces grandeurs physiques. Différentes configurations sont présentées et comparées aux principales métrologies classiques.

MOTS-CLEFS : choc, pression, vitesse, réseau de Bragg, hydrodynamique

1. INTRODUCTION

Dans le domaine des chocs et des matériaux énergétiques, des grandeurs physiques expérimentales sont indispensables pour alimenter des équations d'états nécessaires aux outils de simulations hydrodynamiques. Les phénomènes transitoires comme une transition choc-détonation (TCD) sont très riches pour les expérimentateurs et les théoriciens. Les grandeurs physiques idéalement enregistrées durant une expérience de choc ou de détonique sont la position de l'onde de choc ou de détonation, sa vitesse, son profil transverse et le niveau de pression à plusieurs profondeurs dans le matériau. La gamme de vitesse est [4-10] km/s, la gamme de pression est [1 – 100] GPa. Les phénomènes durent typiquement quelques μ s à quelques dizaines de μ s. La fréquence d'acquisition requise est supérieure à 100 MHz. Plusieurs systèmes optiques fibrés sont présentés dans les chapitres suivants.

2. VELOCIMETRIE HETERODYNE POUR LA MESURE DE VITESSE DE CHOC

Depuis l'invention et l'utilisation intensive des VISAR (*Velocity Interferometer System for Any Reflector*) [1], les systèmes ont évolué vers des systèmes fibrés au cours des années 2000. La mesure de vitesse de choc à l'interface du matériau d'étude et un matériau dit « fenêtre » car transparent permet, par les relations de Rankine-Hugoniot, de remonter au niveau de pression du choc. La polaire de choc du matériau fenêtre (PMMA ou LiF) doit être connue. Les systèmes fibrés utilisés au CEA sont appelés VH (Vélocimétrie Hétérodyne, en anglais *Photonic Doppler Velocimetry*) [2]. Le CEA Gramat utilise communément des systèmes VH personnalisés dans des lanceurs projetant des cibles à des vitesses de 100 à 2000 m/s sur des matériaux inertes ou énergétiques. Suivant les montées en vitesses, différents outils de traitement du signal sont utilisés [3]. La VH est largement utilisée sur un générateur de rampe de compression nommé GEPI (Générateur Electrique de Pressions Intenses) qui permet d'atteindre des contraintes maximales de l'ordre de 100 GPa avec un temps de montée caractéristique de 450 ns [4].

3. MESURE A CŒUR DE VITESSE DE CHOC ET DE DETONATION PAR FBG

Le concept de la mesure de la vitesse de choc ou de détonation en utilisant un réseau de Bragg (FBG) à pas variable (Chirped FBG) est illustré en Fig. 1 a) et le système nommé BraggFast est en Fig. 1 b). Le long du CFBG, la longueur d'onde réfléchi correspond à une position. Quand une onde de détonation avance, le niveau de choc est supérieur au seuil d'endommagement (~ 16 GPa) et le CFBG est raccourci au fur et à mesure. Le système fonctionne aussi pour des

niveaux de choc inférieurs en adaptant la largeur des spectres du CFBG et de la source. Dans ce mode, la partie choquée du CFBG est décalée vers les basses longueurs d'onde et se retrouve en dehors du spectre de la source. Pour les deux modes, en mesurant l'intensité du spectre réfléchi, un signal de type rampe est mesuré et permet de suivre l'onde de choc en fonction du temps. Le LANL et LLNL ont initié le concept [5]. Le CEA a réalisé ses premières expériences début 2010 [6] et a proposé une méthode de calibrage basée sur la mesure du spectre initial [7]. Pour plus de précision le *chirp* est mesuré une fois le CFBG monté dans la cible avec un réflectomètre OFDR [8].

Expérimentalement, le réseau de Bragg fait typiquement 20, 50 ou 100 mm et est placé soit le long d'une génératrice d'un cylindre soit à cœur sur l'axe de révolution. Dans le cas d'une sphère, il est placé sur un rayon. Pour étudier une TCD, une géométrie dite du « coin » est utilisée [9]. Les mesures de référence sont principalement des aiguilles chronométriques à contact ou une caméra à balayage de fente (CBF). La mesure par CBF consiste à visualiser une bande perforée placée en contact de l'échantillon sur une génératrice. Les avantages d'un CFBG sont principalement la mesure continue, la mesure à cœur, la mesure sur des profils non rectilignes. Le seul inconvénient se limite à l'expérience requise pour intégrer un CFBG dans les matériaux cibles.

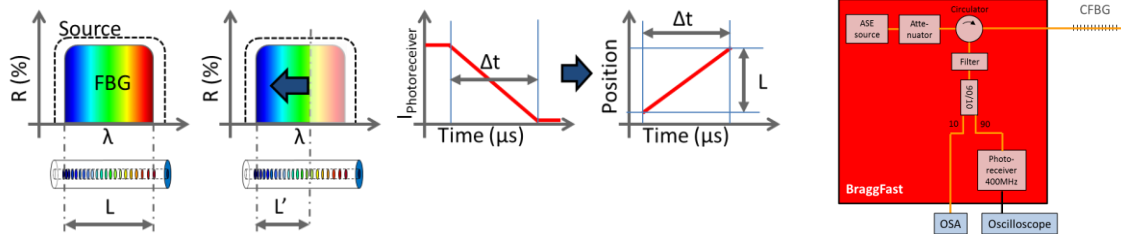


Fig. 1 : a) Principe de la mesure de vitesse de choc et détonation par CFBG b) Système BraggFast

Le même système est utilisé pour mesurer la courbure d'une onde de choc. Le CFBG est placé perpendiculairement avec son extrémité au sommet du choc (*i.e.* au centre d'un cylindre). Connaissant la vitesse du choc établie (avec un 2^{ème} CFBG), le profil de l'onde est déduit [10].

4. MESURE DE PRESSION A CŒUR PAR SPECTROMETRIE DYNAMIQUE DE FBG

La mesure du profil de pression durant un choc est basée sur l'utilisation d'un spectromètre rapide qui analyse la longueur d'onde centrale du réseau de Bragg. Le réseau de Bragg utilisé fait 50 mm de longueur et est centré en limite haute de la bande télécom L à 1605 nm. Cela permet de couvrir une gamme de pressions [0 – 8] GPa. Il est légèrement chirpé avec une largeur de spectre de 4 nm pour suivre la position du choc le long du réseau de Bragg. Quand un choc est couplé dans un réseau de Bragg, sa largeur décroît à la vitesse du choc et les longueurs d'onde correspondant à la partie choquée sont décalées vers les basses longueurs d'ondes. Le modèle opto-mécanique validé expérimentalement prédisant ces décalages de Bragg non-linéaire fait l'objet d'un autre article [11]. La métrologie de référence est l'emploi de fines jauges de contrainte [12] qui fournissent des mesures ponctuelles sur quelques mm². Un CFBG est moins « intrusif » et peut offrir une mesure du profil de pression mais la pression maximale est limitée à la limite élastique de la silice (~8GPa).

Le premier spectromètre dynamique étudié est basé sur un réseau de diffraction en optique intégrée (*Arrayed Waveguide Grating: AWG*) [13], largement utilisé dans les télécommunications optiques pour le multiplexage en longueur d'onde (WDM). Pour notre application [14], un AWG a été réalisé sur mesure pour couvrir la bande C+L avec 40 voies. La largeur spectrale de chaque voie est de 200 GHz soit ~1,6 nm à 1550 nm (Fig. 2 a). Les avantages de l'AWG sont l'absence d'alignements optiques, un faible encombrement, un couplage entre les voies négligeable et de faibles pertes optiques. La bande passante du système est limitée par celles des photorécepteurs utilisées soit 400 MHz. Ce spectromètre a été utilisé sur une série d'expériences de chocs dans l'aluminium 6061T6 avec des niveaux entre 1 et 6 GPa qui ont notamment permis de valider notre modèle opto-mécanique [11]. La résolution de ~1,6 nm demandait à être améliorée et un second type de spectromètre a été étudié.

Ce second spectromètre dynamique est basé sur la dispersion [15]. La source est un laser à blocage de modes qui offre un large spectre pour sonder le CFBG. La fréquence de répétition (100 MHz) fixe la fréquence d'acquisition du spectre. Le spectre du CFBG est converti en temps par des km de fibre monomode (SMF28). La longueur de cette fibre donne l'ouverture du spectromètre (*span*).. Une bonne résolution spectrale requière un système d'acquisition ultrarapide (*i.e.* photorécepteur 38 GHz et oscilloscope 33 GHz). La résolution obtenue est de ~ 0.10 nm sur 30 nm pour 18 km de fibre SMF28. Ce spectromètre a été testé sur des expériences de chocs avec de l'Aluminium [10] et du PMMA.

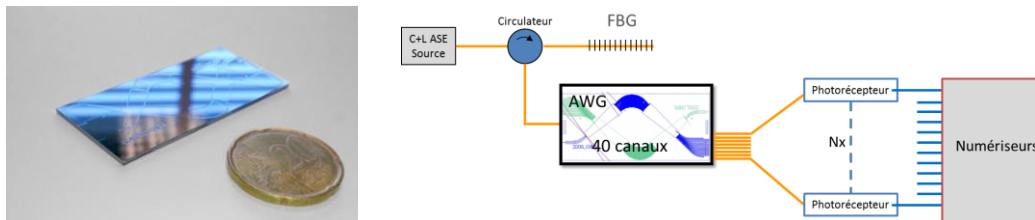


Fig. 2 : a) Photographie de l'AWG réalisé b) Spectromètre dynamique basé sur un AWG.

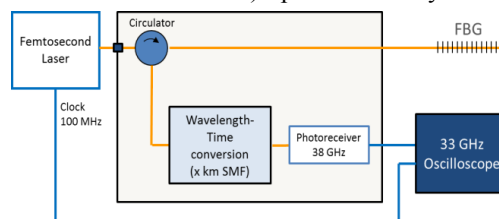


Fig. 3 : Spectromètre dynamique basé sur la dispersion et un système d'acquisition ultrarapide.

CONCLUSION

Les systèmes en optique fibrée à 1550 nm sont compacts, robuste, nécessitent peu de maintenance ou de réglages et facilitent la mise en place de la sécurité laser sur des sites complexes où d'autres risques sont présents. Ce papier décrit brièvement l'utilisation de la vélocimétrie hétérodyne pour la mesure de vitesse de chocs jusqu'à 10 kms/s. Par les relations de Rankine-Hugoniot, le niveau pression de choc peut être déduit. Le système BraggFast et l'emploi de réseaux de Bragg à pas variable permettent de suivre le front d'une onde de choc ou de détonation au cœur de matériaux inertes ou énergétiques et d'en déduire une vitesse. Enfin, deux types de spectromètres dynamiques (>100 MHz) ont été testés pour obtenir le profil de pression le long d'un réseau de Bragg inséré dans une cible. Un modèle opto-mécanique entre le CFBG et la cible a été validé expérimentalement.

REFERENCES

- [1] L. M. Barker, R. E. Hollenbach, J. Appl. Phys., vol. 43, no. 11, 1972, pp. 4669–4675
- [2] P. Mercier et al., International Society for Optics and Photonics, 2008.
- [3] Devlaminck J. et al. Review Of Scientific Instruments 85, 035109 (2014)
- [4] A. Lefrançois et al. IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 39, no. 1, 2011, pp. 288-293
- [5] J.J. Benterou et al., Proc. 34th International Pyrotechnics Seminar, 1, 2007, pp.309-322
- [6] S. Magne, et al., EWOF5 5, Proc. SPIE 8794, 2013, papier 87942K
- [7] Y. Barbarin et al., Proc. SPIE 9480, Fiber Optic Sensors and Applications XII, 2015, papier 94800S
- [8] S. Magne et al., Photonics and Fiber Technology, 2016, papier BM5B.3
- [9] V. Chuzeville et al. Proc. EuroPyro 2015, 2015, p.485
- [10] Y. Barbarin et al., Proc. OFS-25, 2017, papier 10323-398
- [11] S. Magne et al., JNOG, 2017, papier 116
- [12] Duan, Z. et al., Meas. Sci. Tech. vol. 22, pp. 1-5 (2011)
- [13] Y. Barbarin et al., IEEE PTL, vol. 16, no. 11, 2004, pp. 2478-2480
- [14] Y. Barbarin et al., Proc. SPIE 9960 OEAC (Interferometry XVIII), 2016, pp.35-40
- [15] Rodriguez G. et al. Optics Express 14219, (2015)