

# Mesures de vitesse de détonation au sein de matériaux énergétiques

A. LEFRANÇOIS - J. LUC - P. DELCOR - M. GENETIER - Y. BARBARIN / CEA – Gramat  
S. MAGNE - G. LAFFONT - P. FERDINAND / CEA – Saclay

Cet article présente trois méthodes expérimentales de mesure de vitesse de détonation au sein de matériaux énergétiques ainsi qu'une première comparaison expérience-calcul de l'utilisation de fibres optiques à réseau de Bragg. L'objectif est de valider des modèles de transition choc-détonation des explosifs secondaires, étape indispensable pour l'amélioration des processus de conception et de qualification de ces matériaux, et également pour l'évaluation de leur vulnérabilité. Les techniques expérimentales présentées, qui mesurent l'évolution en continu de la vitesse de choc ou de détonation, sont très novatrices car elles permettent d'étudier de manière distribuée et faiblement intrusive les phases transitoires d'initiation ou d'extinction.

Les ondes de choc, qui se propagent généralement à des vitesses comprises entre 2 et 10 km/s (ou mm/ $\mu$ s), dépassent, par définition, la vitesse du son dans le matériau étudié. Dans le cas d'un explosif, on parle alors de détonation.

Trois techniques optiques de mesure de vitesse sont utilisées; elles concernent la fibre optique percée, la fibre nue et la fibre à réseau de Bragg (FBG). La première méthode fait appel à des fibres multimodes de PMMA (polyméthacrylate de méthyle) et à l'ionisation d'une série de trous séparés par un pas submillimétrique [1]. La deuxième méthode utilise des fibres monomodes et une technique d'interférométrie laser [2,3].

La troisième méthode est basée sur l'utilisation d'une fibre optique FBG [4,5]. Un réseau de Bragg est un réflecteur spectralement sélectif grâce à une alternance submicronique de l'indice de réfraction réalisé par interférences laser ultraviolettes au sein du coeur de fibres optiques monomodes. Pour cette étude, un réseau de Bragg avec un pas de modulation d'indice continûment variable (chirped grating) est inséré au sein du montage explosif. Ce type de réseau peut être vu comme une mise en série des modulations élémentaires de l'indice de réfraction, dont la période évolue linéairement avec l'abscisse. En pratique, la longueur d'onde réfléchie évolue linéairement avec la position, ce qui permet un étalement du spectre réfléchi

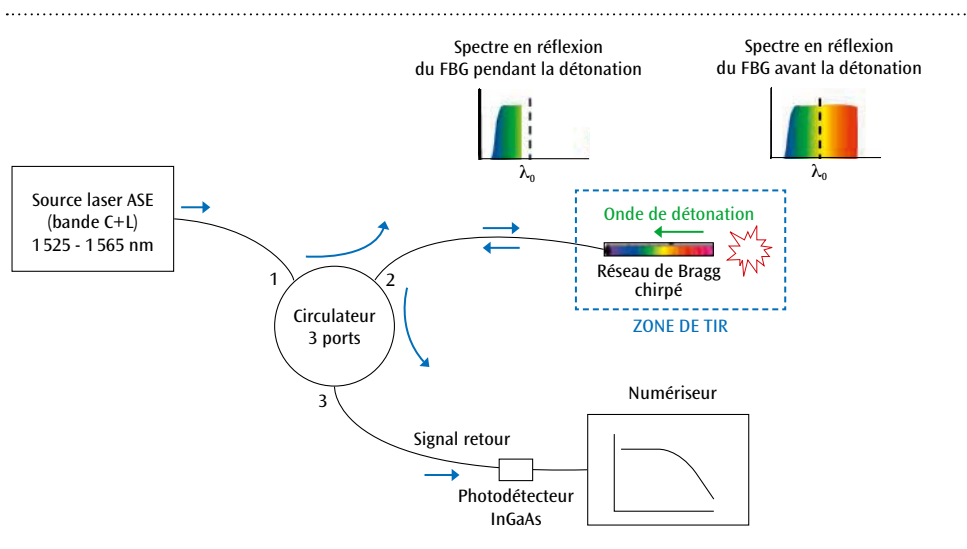


Figure 1. Synoptique du montage optique FBG.

Explosif	Vitesse de détonation (km/s)	
	Expérimentation	Simulation numérique
V401	8,8 (± 5,8%)	8,6 (± 0,3%)
PBXN109	7,3 (± 0,8%)	7,5 (± 0,4%)
B2238	8,1 (± 1,4%)	7,9 (± 0,2%)

**Tableau 1.** Comparaison expériences FBG - calculs.

sur plusieurs dizaines de nanomètres. Il est habituellement utilisé en télécommunications optiques comme filtre large bande pour discriminer des raies spectrales, ou pour assurer une compensation de dispersion chromatique dans les boîtiers de réception. Dans notre cas, le principe consiste à mesurer en temps réel l'évolution «quasi linéaire» de la puissance lumineuse réfléchie par le réseau de Bragg "chirpé" au fur et à mesure de sa destruction par l'onde de choc afin d'analyser sa propagation au sein du montage explosif au cours du temps.

Les réseaux de Bragg utilisés possèdent un taux de réflexion proche de 99% et une longueur adaptable inférieure à 10 cm. La **figure 1** présente le montage optique. La lumière provenant d'une source laser fibrée est injectée sur le port n°1 d'un circulateur optique à trois ports. La lumière sortant du port n°2 est envoyée au réseau de Bragg testé. La lumière réfléchie par ce réseau remonte au port n°2 et sort par le port n°3, puis est mesurée par un photodétecteur préamplifié. La tension de sortie est enregistrée sur un oscilloscope numérique rapide.

La quantité de lumière réfléchie par le réseau de Bragg est une fonction linéaire de l'intégrale du spectre de Bragg. La fonction de transfert de ce réseau doit être calibrée avant les expériences de détonique. Il s'agit de relier le flux lumineux mesuré par la photodiode avec la longueur résiduelle du réseau. Ce calibrage de l'ensemble de la chaîne métrologique est essentiel et nécessite l'usage d'une fibre dédiée. Des fibres d'un même lot de fabrication sont utilisées alors pour chaque expérimentation.

Les potentialités de cette dernière méthode ont pu être évaluées lors d'une expérimentation réalisée au CEA - Gramat [1]. Lors de cette expérimentation, trois explosifs (V401, PBXN109 et B2238) initiés par un booster ont été assemblés (diamètre 30 mm; longueur

totale 60 mm - 3 x 20 mm) dans le but d'observer les différentes vitesses de détonation et de les comparer aux valeurs obtenues par simulations numériques 2D axisymétriques réalisées avec le code hydrodynamique Ouranos. Les valeurs d'incertitude sont calculées à partir des régressions linéaires dans les deux cas. Un bon accord expérience-calcul est obtenu (**tableau 1**), permettant d'envisager d'appliquer cette méthode à l'étude des phases transitoires.

## Références

- [1] S. MAGNE *et al.*, "Real-time distributed measurement of detonation velocities inside high explosives with the help of chirped fiber Bragg gratings", *Proc. SPIE*, 19-22 May 2013, Kraków, Poland, **8794**, 87942K (2013).
- [2] D. R. GOOSMAN *et al.*, "Optical probes for continuous Fabry-Perot velocimetry inside materials", *Proc. SPIE*, 20-24 september 2004, Alexandria, VA, United States, **5580**, 517 (2005).
- [3] P. A. FRUGIER *et al.*, "PDV and shock physics: application to nitromethane shock-detonation transition and particles ejection", *Proc. SPIE*, 21 August 2009, United States, **7429**, 742913 (2009).
- [4] J. BENTEROU *et al.*, "Embedded fiber-optic Bragg grating detonation velocity sensor", *Proc. SPIE*, 17-23 April 2009, Orlando, FL, United States, **7316**, 73160E-1 (2009).
- [5] G. RODRIGUEZ *et al.*, "Chirped fiber Bragg grating detonation velocity sensing", *Rev. Sci. Instr.*, **84**(1), 015003 (2013).