



**HAL**  
open science

## Mesure ultra-rapide à distance et sans fil de la surpression aérienne en environnement extrême

Jérémie Fourmann, Hervé Aubert, Patrick Pons, J Luc, A Lefrançois

► **To cite this version:**

Jérémie Fourmann, Hervé Aubert, Patrick Pons, J Luc, A Lefrançois. Mesure ultra-rapide à distance et sans fil de la surpression aérienne en environnement extrême. Journées Nationales Microondes (JNM), Jun 2015, Bordeaux, France. hal-01237537

**HAL Id: hal-01237537**

**<https://hal.science/hal-01237537>**

Submitted on 3 Dec 2015

**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.

## Mesure ultra-rapide à distance et sans fil de la surpression aérienne en environnement extrême

J. Fourmann<sup>1,2</sup>, H. Aubert<sup>1,2</sup>, P. Pons<sup>1,2</sup>, J. Luc<sup>3</sup>, A. Lefrançois<sup>3</sup>  
<sup>1</sup> CNRS, LAAS, 7 Avenue du colonel Roche, F31400 Toulouse, France  
<sup>2</sup> Univ. de Toulouse, LAAS, F-31400 Toulouse, France  
<sup>3</sup> CEA DAM, BP80200, 46500 Gramat  
 jeremie.fourmann@laas.fr

### Résumé

Cette communication propose une solution sans fil et analogique pour la mesure de surpression aérienne en environnement extrême. La solution sans fil proposée apporte de nombreux avantages en termes de simplicité, compacité et robustesse de mesure par rapport à la solution filaire classiquement utilisée. Elle offre également la possibilité de réaliser des mesures de pression dans la boule de feu lors d'une explosion. Après une étude système de la liaison sans fil proposée, le transducteur du capteur de pression dynamique sera présenté. Ses performances seront évaluées sous tube à choc.

### 1. Introduction

Dans le cadre d'applications de défense et de sécurité, il est nécessaire de caractériser la surpression aérienne pour valider les équations d'état des produits de détonation [1]. La libération des gaz lors d'une explosion, à des vitesses supérieures à celle du son dans l'air, génère une discontinuité de pression (pic-détente). La variation de la pression au cours du temps présente alors un front de montée très bref (de l'ordre de la nanoseconde) suivi d'une phase positive et négative (voir Figure 1).

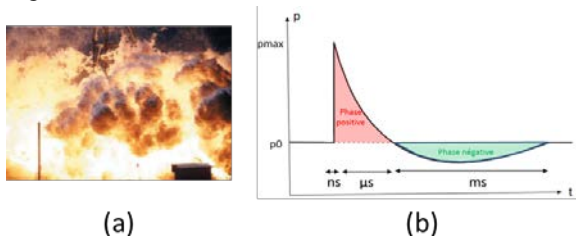


Figure 1. (a) Boule de feu lors d'une explosion et (b) variation de la pression au cours du temps à proximité d'une boule de feu.

La mesure sans distorsion notable d'une telle variation de pression nécessite une chaîne de mesure dont la bande passante (à -3 dB) doit être d'au moins 10 MHz. De plus, cette mesure doit s'effectuer dans un environnement extrême : la température dans la boule de feu est supérieure à 1000 °C et la pression peut atteindre

une centaine de MPa [1][2]. Par ailleurs des câbles de plus d'une dizaine de mètres sont actuellement utilisés pour déporter le système d'acquisition du capteur de surpression aérienne placé dans la boule de feu. Ces câbles dégradent le rapport signal sur bruit du fait de leurs pertes, de la distorsion qu'ils génèrent sur le signal à mesurer, des vibrations et de l'échauffement qu'ils subissent lors de la mesure. Pour pallier à ces problèmes de mesure en environnement extrême une mesure sans fil et à distance est proposée dans cet article.

### 2. Système analogique de lecture à distance et sans fil de la pression dynamique

Le système proposé est une simple liaison sans fil et analogique fonctionnant en modulation de fréquence (voir Figure 2).

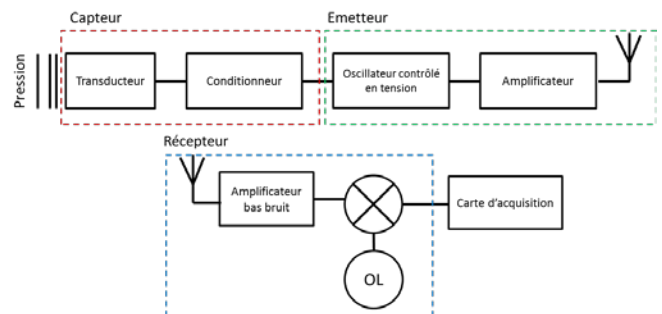
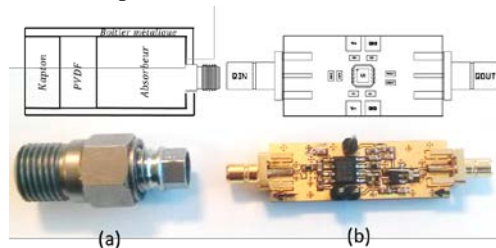


Figure 2. Schéma bloc du système de liaison sans fil à modulation de fréquence (porteuse à 5.8 GHz)

La chaîne d'émission permet de moduler en fréquence le signal issu du capteur. Pour ce faire la tension recueillie aux bornes du capteur est utilisée comme tension de commande du VCO. Pour ne pas réduire la bande passante du signal piézo-électrique une adaptation de l'impédance d'entrée est réalisée à l'aide d'un conditionneur. Le VCO doit suivre les variations très rapides du signal issu du capteur. Lorsqu'il est soumis à une variation abrupte de la tension de commande, la fréquence délivrée par le VCO se stabilise au-delà d'un temps de latence qu'il est important de minimiser dans notre application. Le temps de réponse du VCO choisi (15 ns) est tout à fait compatible avec le temps de

réponse du capteur (de l'ordre de la centaine de ns). Le signal modulé en fréquence est ensuite amplifié avant d'être émis par l'intermédiaire d'une antenne. Du côté de la réception, le signal reçu est amplifié par un amplificateur faible bruit et son spectre est ensuite translaté vers les basses fréquences à l'aide d'un mélangeur et d'un oscillateur local opérant à 5.8 GHz. Le profil de pression est alors déduit de l'analyse de ce signal en bande de base. Le capteur est nécessairement actif (alimenté) du fait de la présence du conditionneur. La puissance à l'émission est fixée à +20 dBm ce qui devrait permettre, selon nos simulations, d'atteindre une portée de quelques dizaines de mètres (distance entre le capteur et le conditionneur).

L'élément sensible du capteur de pression est un film de Polyfluorure de Vinylidène (PVDF). L'épaisseur de ce film polymère piézo-électrique est de l'ordre du micromètre et sa bande passante (théorique) est de l'ordre du MHz [3]. Le capteur est constitué d'un transducteur (Figure 3(a)) et d'un conditionneur (Figure 3(b)). Le conditionneur est un étage suiveur à entrée FET avec une bande passante de 10 MHz.



**Figure 3. (a) Transducteur à base de film piézo-électrique PVDF et (b) le conditionneur réalisé.**

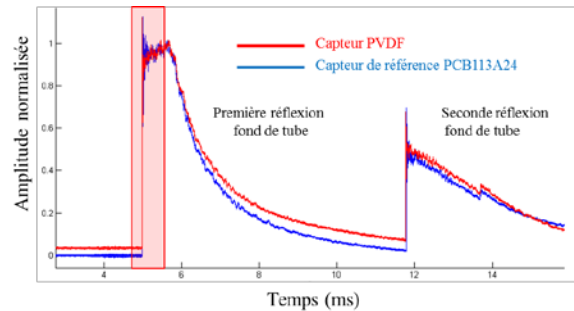
Les performances de ce capteur pour la mesure de la surpression aérienne ont été mesurées à l'aide d'un tube à choc (Figure 4(a)). Ce tube est composé d'une partie haute pression dans laquelle le gaz moteur est introduit et d'une partie basse pression contenant le gaz de travail (ou gaz à étudier). Ces deux parties sont séparées par un diaphragme dont la rupture entraîne la propagation d'une onde de choc. Cette onde progresse dans le gaz de travail à vitesse supersonique. Elle est réfléchiée à l'extrémité du tube à choc où est placé le capteur (Figure 4(b)). La pression des ondes (incidente et réfléchiée) peut être estimée à partir des conditions initiales du gaz de travail et à partir de la mesure de la célérité de l'onde incidente [2].



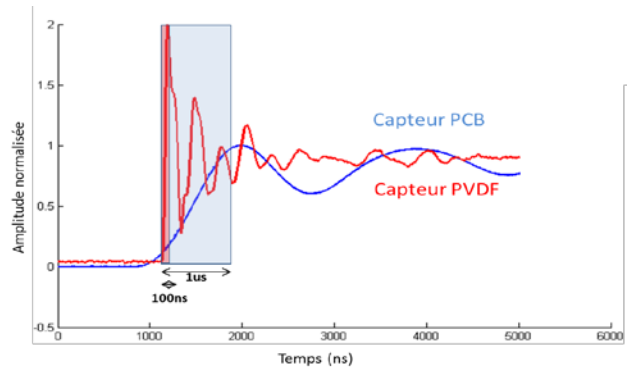
**Figure 4. (a) Tube à choc du CEA Gramat et (b) montage du capteur en fond de tube.**

La figure 5 représente les signaux issus du capteur PVDF et d'un capteur de référence PCB113A24 soumis

à une onde de choc de pression ayant un palier de 4 MPa et un front de montée de quelques ns. Le temps de montée mesuré à l'aide du capteur PVDF est de 100 ns (Figure 6).

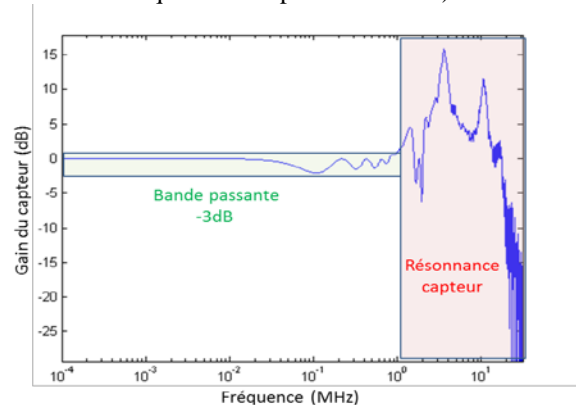


**Figure 5. Pression mesurée en fond de tube à choc à l'aide de deux capteurs : le capteur PVDF (courbe rouge) et un capteur commercial de référence PCB113A24 (courbe bleue).**



**Figure 6. Zoom sur le premier front de montée.**

Comme attendu, la bande passante mesurée à -3 dB est de 1 MHz (Figure 7). Les premières résonances indésirables du capteur apparaissent au-delà de 1 MHz et sont responsables des oscillations parasites sur la mesure (filtrées numériquement en post-traitement).



**Figure 7. Réponse en fréquence du capteur PVDF.**

### 3. La liaison sans fil

Une étude spécifique portant sur le régime transitoire du VCO utilisé à l'émission a montré que la transmission sans fil proposée ne devrait pas dégrader de façon notable les performances dynamiques du capteur réalisé. La Figure 8 présente le schéma de la liaison sans fil réalisée.

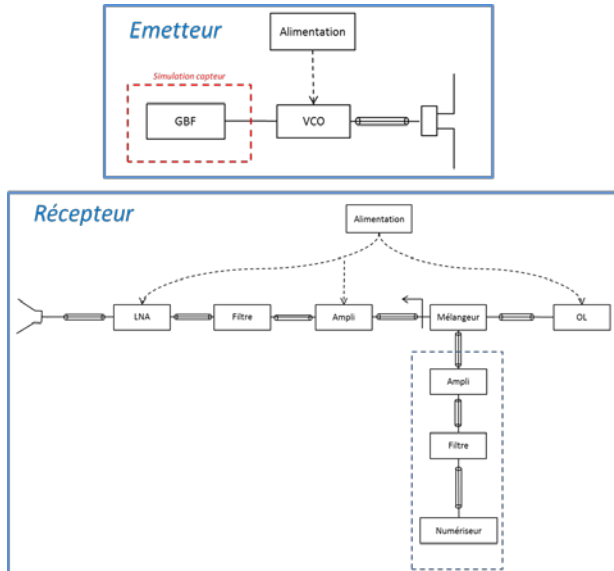


Figure 8. Schéma de la solution sans fil proposée.

La partie émettrice représentée sur la Figure 8 est constituée d'un générateur basse fréquence (GBF) permettant de simuler la réponse du capteur de pression et du VCO. Un amplificateur interne au VCO permet de générer une puissance de sortie de +10 dBm qui sera ensuite rayonnée par l'intermédiaire d'une antenne de type dipôle demi-onde facilement intégrable dans le capteur. La partie émettrice a été réalisée en vue de son intégration dans le capteur de pression présenté dans la section précédente. La consommation en courant pour +10 dBm de puissance de sortie est de 100 mA lors de l'émission.

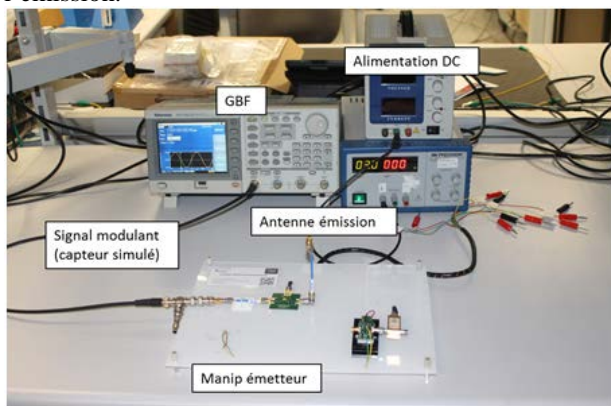


Figure 9. Partie émettrice.

La partie réceptrice est composée d'une antenne cornet, le signal HF est ensuite amplifié puis filtré par un amplificateur faible bruit (LNA). Un abaissement de fréquence est réalisé à l'aide d'un mélangeur. Le signal obtenu est ensuite abaissé en fréquence autour de

100 MHz, amplifié puis filtré, amplifié et finalement numérisé.

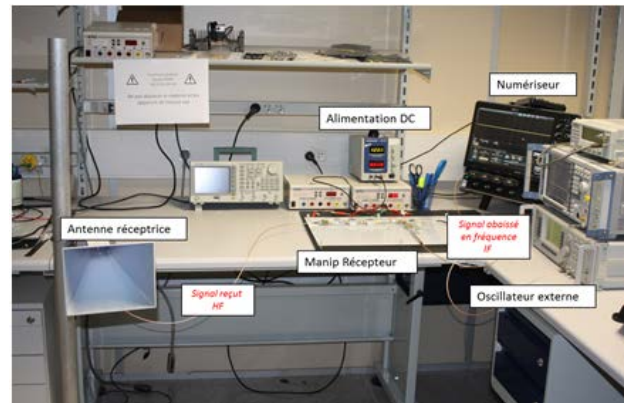


Figure 10. Partie réceptrice.

L'expérience est réalisée *indoor* (dans une salle du laboratoire) et la distance séparant l'émetteur du récepteur est de 2 mètres.

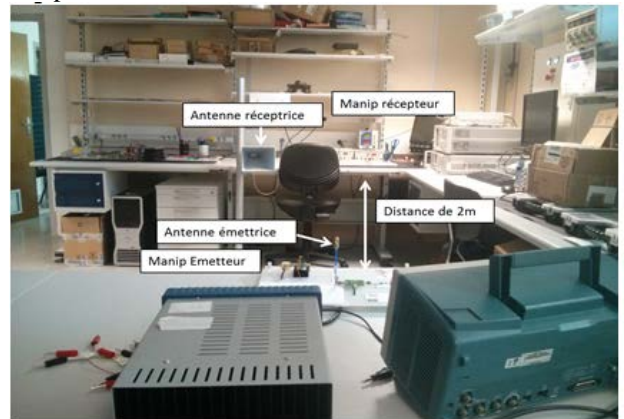
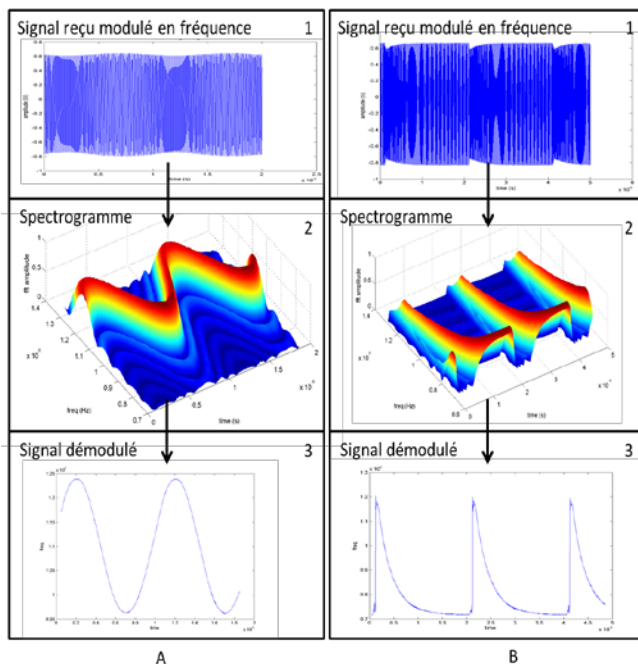


Figure 11. Test de la liaison sans fil.

Une première expérience consiste à émettre un signal sinusoïdal à une fréquence de 1 MHz. Le signal numérisé est représenté sur la Figure 12(a1). Une fois le signal numérisé une transformée de Fourier glissante (STFT) permet de déduire le spectrogramme du signal (Figure 12(a2)). Un algorithme de recherche des maxima permet d'extraire le signal démodulé (Figure 12(a3)). Une fois le signal démodulé, la correspondance tension-fréquence du VCO peut être appliquée pour estimer l'amplitude du signal modulant. La deuxième expérience consiste à émettre cette fois-ci un signal simulant la réponse d'un capteur de pression lors d'une explosion (signal constitué d'un pic avec un temps de montée de 10 ns suivi d'une détente de 2  $\mu$ s). Ce signal est représenté sur la Figure 5.





**Figure 12. Traitement numérique des signaux reçus**

Comme attendu les signaux démodulés sont très voisins des signaux modulateurs. Ce travail a permis de valider le principe de la liaison sans fil proposée pour la transmission de signaux à large bande de fréquence tels que les signaux de mesure de surpression aérienne lors d'expériences de détonique. L'aspect totalement analogique de la partie émettrice permet, du fait de sa simplicité, une intégration aisée dans le capteur tout en garantissant la bande passante nécessaire pour transmettre les signaux dynamiques du capteur.

#### 4. Perspectives

Les travaux futurs porteront sur l'analyse des limites de la solution sans fil analogique proposée en termes d'exactitude, de bruit de mesure et de distorsion sur le signal. L'étude de l'éventuelle perturbation sur la liaison sans fil de la boule de feu lors d'une explosion sera aussi réalisée.

#### 5. Bibliographie

- [1] P. Krehl, "History of Shock Waves", *Explosions and Impact*. Springer, pp. 845-1028, 2009.
- [2] V E. Bean, "Development of Dynamic Pressure and Temperature", *Metrologia*, vol. 30, pp. 747-750, 1994.
- [3] F. Bauer, "PVDF shock sensors: applications to polar materials and high explosives", *Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, IEEE Transactions on*, vol. 47, n° 6, pp.1448-1454, Nov. 2000.
- [4] Hittite, "VCOs & PLOs - SMT", HMC358 datasheet, 2014