



**HAL**  
open science

## **Radar ULB fondé sur la Technique de Sous-Echantillonnage Cohérent**

O Hamdi, M Schutz, B. Lenoir, S. Farah, S. Reynaud, A Delias, G. Neveux,  
C. Decroze, Denis Barataud

► **To cite this version:**

O Hamdi, M Schutz, B. Lenoir, S. Farah, S. Reynaud, et al.. Radar ULB fondé sur la Technique de Sous-Echantillonnage Cohérent. 21ème Journées Nationales Micro-ondes (JNM), May 2019, Caen, France. hal-02465532

**HAL Id: hal-02465532**

**<https://unilim.hal.science/hal-02465532>**

Submitted on 4 Feb 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.

## Radar ULB fondé sur la Technique de Sous-Echantillonnage Cohérent

O. Hamdi<sup>1</sup>, M. Schutz<sup>1,2</sup>, B. Lenoir<sup>2</sup>, S. Farah<sup>3</sup>, S. Reynaud<sup>3</sup>, A. Delias<sup>4</sup>, G. Neveux<sup>1</sup>, C. Decroze<sup>1</sup>, D. Barataud<sup>1</sup>

<sup>1</sup> XLIM, UMR CNRS 7252, 123, av. Albert Thomas, 87000 Limoges

<sup>2</sup> INOVEOS, rue Jacques Chaminade, 19100 Brive la Gaillarde

<sup>3</sup> CISTEME, 12, rue Gémini, 87068 Limoges

<sup>4</sup> AMCAD Engineering, 20, rue d'Atlantis, 87068 Limoges  
oussama.hamdi@xlim.fr

**Résumé** – Une architecture originale de système de radar Ultra Large Bande (ULB) est présentée. Elle est fondée sur une technique de sous-échantillonnage entrelacé cohérent (Coherent interleaving sampling (CIS)) grâce à l'utilisation d'un récepteur à base d'échantillonneur-bloqueur large-bande (Track and Hold Amplifier (THA)). Le récepteur de ce radar ULB possède une bande passante RF très large [DC-5] GHz. Dans la maquette de démonstration de ce radar, un générateur d'impulsions ultra courtes (100 ps) à base de portes logiques a été conçu. Dans un souci d'intégration, la maquette fonctionne aussi avec une horloge commune qui assure la cohérence entre l'émission et la réception. Une démonstration de type radar SAR (Synthetic Aperture Radar) est réalisée avec cette architecture. Elle permet l'obtention d'images et la détection d'échos faibles avec une dynamique d'environ 40 dB et une résolution en profondeur de l'ordre du centimètre.

### 1. Introduction

Les systèmes Radar ULB [1] utilisent des signaux dont le spectre dépasse une décade et se situe dans la bande 100MHz-10GHz [2], [3]. L'imagerie Radar ULB s'est beaucoup développée ces dernières années. Elle couvre un large champ applicatif : la défense, la sécurité civile, le biomédical par exemple. Elle permet en effet de pénétrer à travers les matériaux non conducteurs avec une résolution centimétrique. Différentes formes d'ondes peuvent être utilisées : FMCW « Frequency Modulated-Continuous Wave » [4], séquences PN (Pseudo Noise) [5] ou à sauts de fréquences SFCW « Stepped Frequency Continuous Wave » et impulsives [6]. Dans les radars à impulsions ULB, la bande passante peut atteindre plusieurs GHz, de sorte qu'un Convertisseur Analogique-Numérique (CAN) pouvant échantillonner à cette vitesse avec une résolution de 10 à 14 bits est très difficile à concevoir.

L'étude proposée consiste à réaliser la mesure directe du signal radar grâce à une technique CIS. Depuis une dizaine d'années, l'amélioration des performances technologiques des CAN a permis de réaliser des échantillonneurs quasi temps-réel avec des bandes passantes maximales limitées comprises entre 1 et 2 GHz associée à une résolution de 14 bits. Il est toutefois possible de mesurer directement un signal radar ULB reçu

dans le domaine temporel associant un CAN avec un THA avec une fréquence d'échantillonnage maximale de plusieurs GSa/s (2 à 4 GSa/s) [7], [8], [9].

Dans cet article, est présentée une nouvelle architecture de radar ULB temporel fondé sur le CIS. La section 2 présente le principe de fonctionnement de la technique CIS. La section 3 présente le démonstrateur du radar SAR et les résultats obtenus. Dans la section 4, une comparaison de la maquette radar ULB proposée avec un radar à impulsions disponible dans le commerce est effectuée et discutée.

### 2. La technique de sous-échantillonnage cohérent CIS

Le principe du CIS peut être utilisé avec des systèmes d'échantillonnage « Sample and Hold » sans feedback et « Track and Hold » [10]. En effet, ces systèmes tolèrent une grande différence de niveau entre deux échantillons successifs. Ce principe permet d'avoir un récepteur de meilleure précision car il ne fait pas appel à un générateur de retard. C'est pourquoi la technique d'échantillonnage cohérent permet d'améliorer la dynamique de mesure des systèmes de réception des signaux ULB [11]. Le CIS [12] est une technique de mesure d'un signal périodique de période  $T_f$  sur  $M$  cycles. L'acquisition effective du signal est réalisée en capturant  $N$  échantillons avec une période d'échantillonnage réelle  $T_{er}$ . Les  $N$  points mesurés à la fréquence d'échantillonnage réelle  $f_{er}$  sont ensuite réordonnés pour avoir une période  $T_f$  échantillonnée à  $f_{ev}$ .  $f_{ev}$  correspond à la fréquence d'échantillonnage virtuelle.

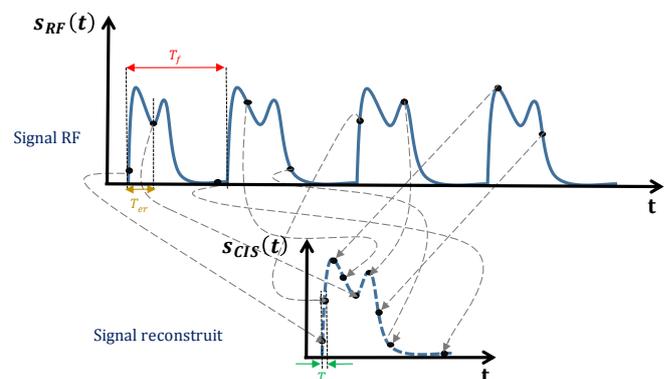


Figure 1. Principe de fonctionnement du CIS.

Donc, une période  $T_f$  est égale au nombre d'échantillons  $N$  multiplié par la période d'échantillonnage virtuelle  $T_{ev}$  selon les équations (avec  $N$  et  $M$  sont premiers entre eux):

$$N.T_{er} = M.T_f \quad (1)$$

$$T_{ev} = \frac{T_{er}}{M} \quad (2)$$

### 3. Application radar SAR

La maquette (Figure 2) radar ULB est conçue pour fonctionner dans la bande 3-5 GHz. Cette maquette du radar ULB réalisé fonctionne avec un quartz (Crystal Oscillator SI530) qui génère une fréquence de 622.08 MHz avec une stabilité de fréquence de  $\pm 7$  ppm. Ce signal est envoyé à l'entrée d'un synthétiseur numérique direct (Direct Digital Synthesizer DDS). Il alimente également le diviseur de fréquence qui génère un signal à 19.44 MHz. Ce dernier est utilisé à l'entrée du générateur d'impulsions ultra courtes basé sur l'utilisation de portes logiques. Le rôle de ce générateur d'impulsions est de transformer le signal d'horloge sinusoïdal 19,44MHz du diviseur de fréquence en une impulsion ultra-courte dont la largeur est inférieure à 100ps.

La sortie du DDS constitue le signal d'horloge commune au THA et au CAN. Il permet donc d'appliquer le CIS. Un filtrage passe bas est nécessaire en sortie de certains étages du banc (Quartz, diviseur de fréquence, DDS) afin de filtrer les fréquences harmoniques parasites.

La réception s'effectue avec un THA large bande [DC-5GHz] avec une fréquence d'échantillonnage maximale de 2Géch/s et un CAN 14 bits avec une gamme dynamique théorique de 84dB. Le signal basse fréquence à 19.44MHz est également réutilisé par un autre canal du CAN afin de synchroniser l'émetteur et le récepteur.

Avec une connexion directe entre la sortie du générateur d'impulsions (plan  $\alpha_{out}$ ) et le récepteur (plan  $\alpha_{in}$ ) et en appliquant la technique d'échantillonnage CIS, le banc radar ULB permet d'effectuer une mesure équivalente dans le domaine temporel de l'impulsion ultra-courte générée.

La figure 3 montre la mesure dans le domaine temporel de l'impulsion générée à la sortie du générateur d'impulsions. Cette mesure est effectuée avec une fréquence d'échantillonnage virtuelle de 972 GHz ( $f_{vs}$ ). On obtient une largeur d'impulsion inférieure à 100ps à mi-hauteur, correspondant à une largeur de bande spectrale supérieure à 10 GHz. Ce résultat valide le principe de mesure de sous-échantillonnage par CIS ainsi que la synchronisation complète de la plate-forme radar ULB.

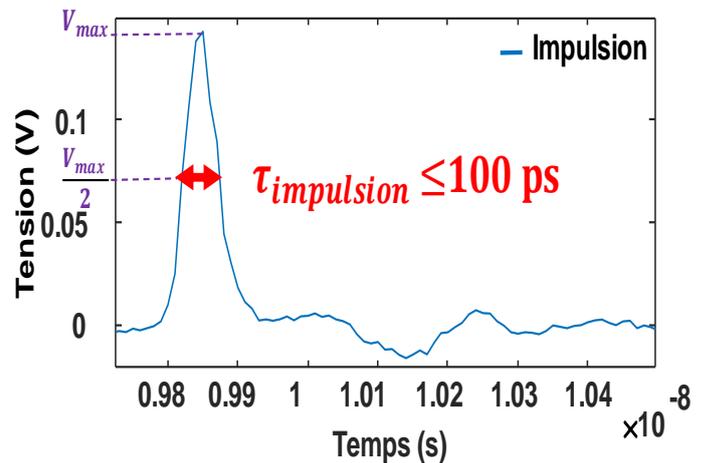


Figure 3. Mesure dans le domaine temporel de l'impulsion ultra-courte issue du générateur réalisé.

Sur la base de l'architecture précédente, un système radar SAR a été mis en place. Ce système radar se compose de deux antennes Vivaldi espacées de 15 cm. Les antennes sont déplacées sur un rail de 140 cm, avec un pas de déplacement de 2 cm.

Le signal généré par le générateur d'impulsion est amplifié avec un gain de 30 dB. Un Amplificateur Faible Bruit (LNA: Gain=21 dB, Facteur de bruit = 1,5 dB) est ajouté à l'entrée de la chaîne de réception pour améliorer le SNR global du récepteur.

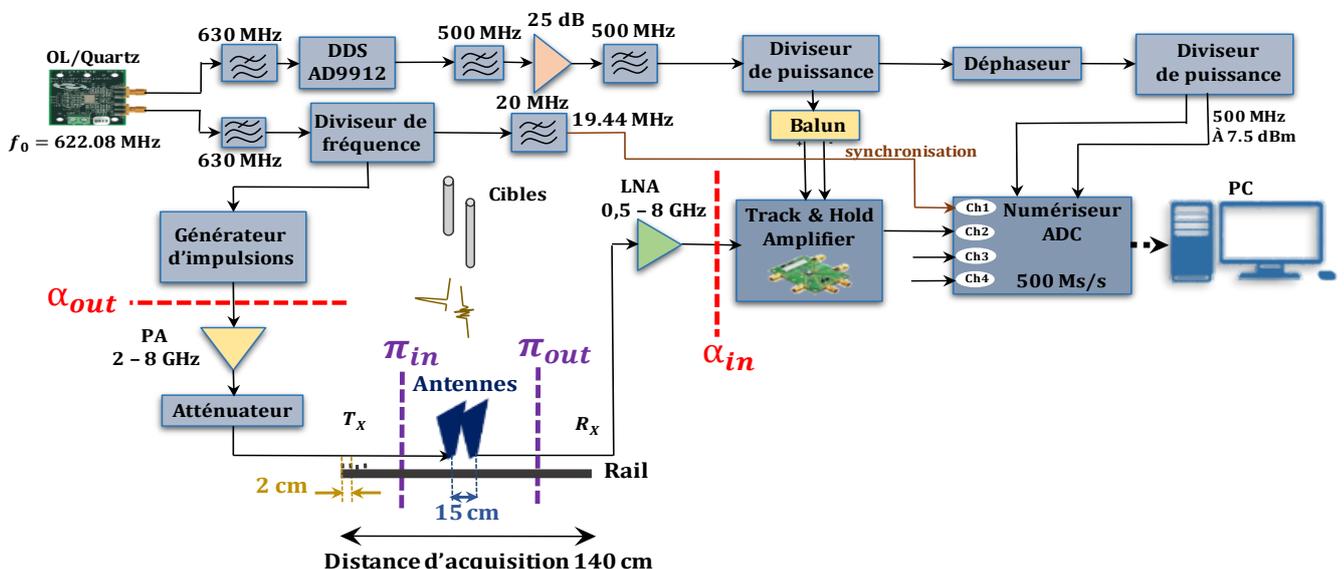


Figure 2. Schéma de la maquette radar ULB réalisée.

Des écho-radar retournés par les cibles (2 cylindres métalliques) situés à 2,5 m et 3 m des antennes ont été mesurés. Après traitement des données numérisées par le CAN, un algorithme de “backpropagation” est appliqué pour réaliser l'image radar dans le plan azimutal (Figure 4b).

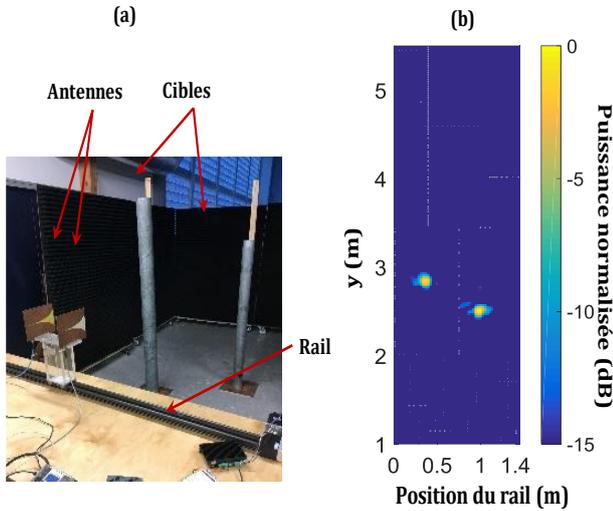


Figure 4. Photo des cibles avec les antennes (a), cartographie des deux cibles (b).

Le radargramme obtenu sur la Figure 3b permet une très bonne détection des 2 cibles avec une dynamique du récepteur évaluée à environ 40 dB pour ce système innovant de radar ULB à CIS. Ses principaux intérêts sont ceux de la largeur de bande passante du récepteur (5 GHz pour le démonstrateur) et sa très forte dynamique. Il permet donc de détecter des échos faibles retournés par des cibles avec une résolution en profondeur de l'ordre du centimètre.

#### 4. Comparaison du système radar ULB proposé avec un radar à impulsion (PulsON410)

Dans cette section, l'objectif est de valider les performances de la maquette radar ULB par rapport à un système de référence commercial, le module radar pulsé PulsON410 de Time Domain [13].

Pour effectuer une comparaison réaliste, la puissance transmise de la maquette ULB proposée a été adaptée pour correspondre à celle de la plate-forme PulsON410.

De plus, les deux signaux ont été filtrés dans la même bande de fréquences [3-5] GHz. Dans chaque cas, une moyenne de 64 acquisitions par mesure est effectuée. Les Figures 5 et 6 montrent la forme d'onde transmise dans le domaine temporel et le spectre correspondant.

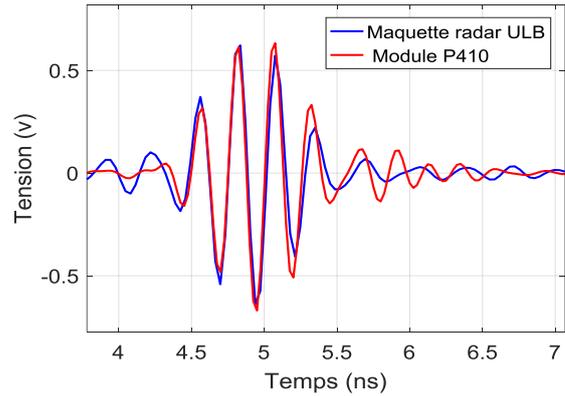


Figure 5. Formes d'onde mesurées des impulsions générées par la maquette radar ULB proposée et le module P410.

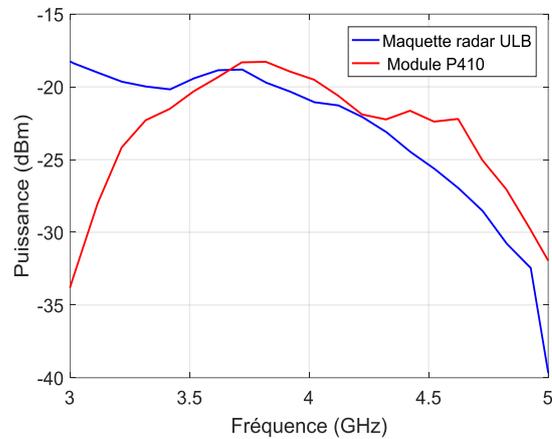


Figure 6. Spectres mesurés des impulsions générées par la maquette radar ULB proposée et le module P410.

Les mesures d'une cible métallique sphérique, avec un diamètre de 6 cm, sont réalisées avec les deux systèmes pour des positions différentes de la cible (entre 1 et 5 mètres avec des pas de 50 cm). La Figure 7 montre les images SAR obtenues avec un algorithme de “backpropagation”, pour une position cible de 2 mètres.

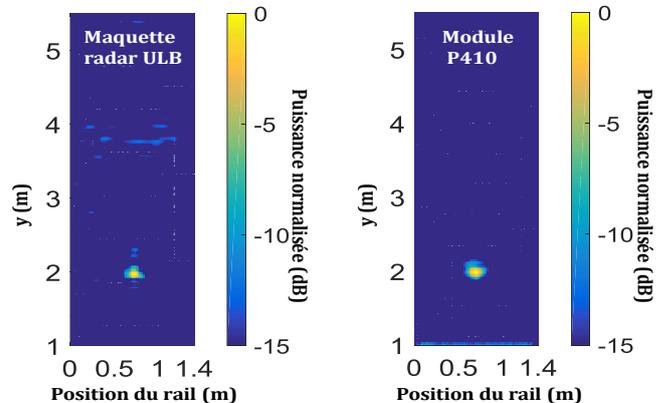


Figure 7. Images SAR obtenues avec un algorithme de backpropagation, pour une position cible de 2 mètres.

Un facteur de mérite appelé rapport crête/bruit (PNR) peut être calculé à partir de ces images. Le PNR est défini comme la puissance normalisée moyenne contenue dans la signature du cible ( $P_{norm} \geq 0.5$ ) divisée par la puissance normalisée moyenne de l'image ( $P_{norm} < 0.5$ ).

$$PNR = 10 \cdot \log \left( \frac{\frac{1}{N_x \cdot N_y} \sum_x \sum_y (P_{norm} \geq 0.5)}{\frac{1}{N_x \cdot N_y} \sum_x \sum_y (P_{norm} < 0.5)} \right) \quad (3)$$

Le facteur de mérite est calculé pour toutes les positions de la cible et comparé pour les deux systèmes. La figure suivante illustre la variation du PNR par rapport à la position de la cible.

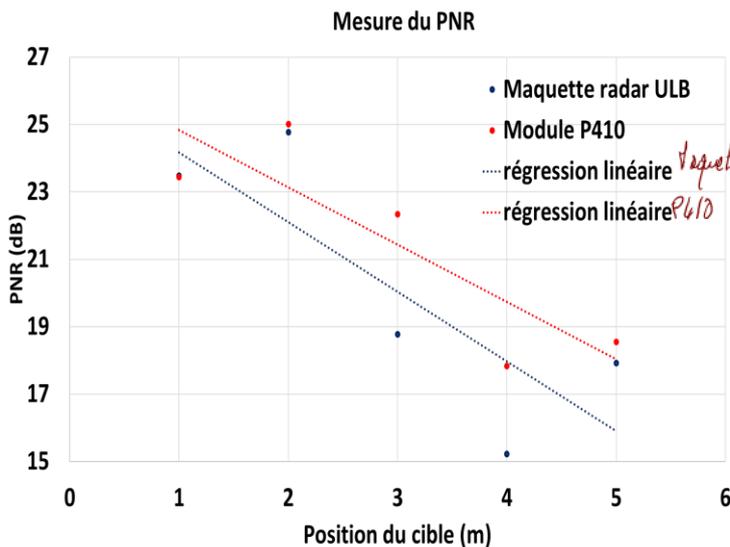


Figure 8. Variation du PNR en fonction de la position de la cible.

Les valeurs du PNR des deux systèmes sont similaires. Cette comparaison valide le mode de fonctionnement de la maquette radar ULB proposée et permet d'obtenir des performances similaires avec le module P410.

## 5. Conclusion

Cet article décrit en détail une nouvelle architecture de système radar ULB dont l'originalité réside dans le fait qu'elle est fondée sur l'utilisation de la technique de sous-échantillonnage cohérent (CIS). Cette technique, associée de manière cohérente et synchronisée à un générateur d'impulsions ultra courtes réalisé avec des portes logiques, constitue la seconde originalité de ce radar. Une démonstration de détection des cibles placés à 3 m des antennes Vivaldi a permis de démontrer l'intérêt de cette maquette qui permet d'obtenir des résolutions centimétriques en profondeur.

Les performances du système proposé ont été comparées à celles du module P410 de Time Domain. La maquette radar ULB proposée n'exploite pas encore tout le potentiel du CAN, qui pourrait être utilisé avec trois dispositifs THA large bande pour fournir une agilité en fréquence [DC-18GHz]. Cette architecture générique pourrait donc être embarquée pour diverses applications,

comme les radars à pénétration de sol (GPR) ou vision à travers les murs.

Une des perspectives de ce travail consiste à intégrer le système radar développé pour pouvoir, par exemple, l'embarquer sur des drones.

## Références

- [1] T. W. Barrett, "History of ultrawideband (uwb) radar and communication: pioneers and innovators", Progress in Electromagnetic Symposium, Cambridge, MA, p.366, July 2000.
- [2] Jiabing Zhu and Yi Hong, "An Analysis of Through-Wall Radar Based on UWB Impulse Technique", East China Research Institute of Electronic Engineering Hefei, China.
- [3] Jurgen Sachs, "Handbook of Ultra-Wideband Short-Range Sensing".
- [4] N. Maaref, et al, "Ultra-wideband Frequency Modulated Continuous Wave Synthetic Aperture radar for Through-the-Wall localization", European Radar Conference, pp. 609-612, October. 2009.
- [5] J. Wu, et al, "Compressive sensing for sense-through-wall UWB noise radar signal", Communications and Networking in China, 6th International ICST conference, pp. 979-983, August 2011.
- [6] P. Piljae, et al, "An analysis of through-wall radar based on UWB impulse technique", 11th International Radar Symposium, pp. 1-5, June 2010.
- [7] V. Mérelle, A. Gaugue, J. Khamlichi, G. Louis and M. Ménard, "A new high speed, high bandwidth acquisition platform for impulse UWB see through-the-wall radar," 2014 IEEE International Conference on Ultra-WideBand (ICUWB), Paris, 2014, pp. 202-206.
- [8] Vincent MÉRELLE, "UWB Pulse Radar for Micro-Motion Detection", 8th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS), Sept. 2016.
- [9] Yoshihiro Masui, et al, "Differential equivalent time sampling receiver for breast cancer detection", IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS), October 2017.
- [10] Kassem EL AKHDAR, "Contribution à la mesure temporelle calibrée ultra-large bande de multipôles non linéaires microondes", Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2013.
- [11] Guangming Shi, et al, "UWB Echo Signal Detection with Ultra-Low Rate Sampling Based on Compressed Sensing", IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS, APRIL 2008.
- [12] Boyan Valtchanov, et al, "Enhanced TRNG based on the coherent sampling", Laboratoire Hubert Curien.
- [13] Time Domain, <http://www.timedomain.com>.