



JCOM 2022  
FEMTO-ST-ENSMM  
Besançon  
13 juin 2022



## Analyseur de spectre radiofréquence à base de centres colorés NV du diamant

Simone Magaletti, Ludovic Mayer, Thierry Debuisschert  
*Thales Research and Technology, 1 Av. Augustin Fresnel, 91120 Palaiseau*

La détection en temps réel et l'analyse spectrale à large bande des signaux radiofréquences (RF) sont devenues aujourd'hui essentielles pour une large gamme de technologies telles que les communications sans fil, la médecine et la navigation. L'optimisation par radio cognitive des réseaux, l'analyse de la compatibilité électromagnétique (CEM), les radars, les communications sans fil, etc. sont quelques-unes des nombreuses applications qui nécessitent une analyse spectrale en temps réel sur une large bande de fréquences et avec une probabilité d'interception (POI) de 100 %.

Actuellement, la principale solution pour réaliser l'analyse spectrale en temps réel des signaux RF est l'analyseur de spectre électronique à transformée de Fourier rapide (FFT) [1]. Le signal RF est numérisé par un convertisseur analogique-numérique haute fréquence (ADC), puis traité par analyse de Fourier. Cependant, le taux d'échantillonnage et la consommation d'énergie de l'ADC limitent la bande passante en temps réel à plusieurs centaines de MHz.

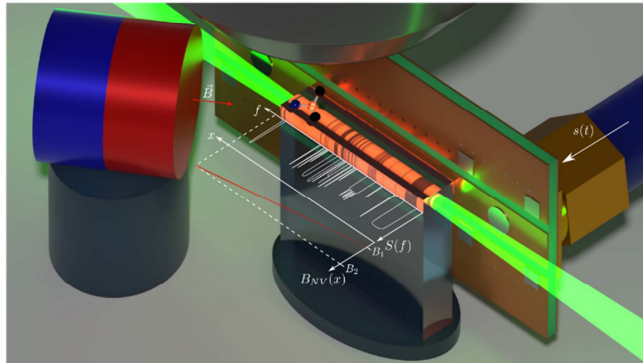
L'augmentation de la largeur de bande d'analyse peut être obtenue au moyen de solutions analogiques basées sur des approches photoniques, en transposant le signal RF dans le domaine optique puis traité pour récupérer l'information spectrale, par exemple en exploitant le creusement de trous spectraux dans des cristaux dopés aux ions terres rares, ce qui permet d'atteindre une bande passante instantanée de plusieurs dizaines de GHz avec une résolution en fréquence de plusieurs centaines de kHz et une large gamme dynamique ( $> 50$  dB) mais nécessite l'usage de température cryogénique [2].

Une technique alternative consiste à utiliser les propriétés quantiques de spin à température ambiante d'un ensemble de centres colorés azote-lacune (NV) du diamant pour détecter optiquement des signaux RF sans conversion analogique-numérique ni module de traitement optique.

L'utilisation des centres NV pour l'analyse spectrale de signaux hyperfréquences repose sur l'encodage spatial au moyen d'un gradient de champ magnétique de la fréquence de résonance d'un ensemble de centres NV contenu dans un cristal de diamant et éclairé par un faisceau laser de façon à transposer le contenu spectral instantané d'un signal radiofréquence d'intérêt sur le niveau local de photoluminescence (Figure 1). Le spectre de fréquence complet d'un signal complexe peut ainsi être reconstruit à partir de l'image de la distribution spatiale du signal de photoluminescence émis par les centres NV avec une probabilité d'interception proche de 100 % sur une large bande instantanée. La preuve de principe de cette technique avait été établie en démontrant notamment la couverture d'une bande large de quelques centaines de MHz autour de 2 GHz et où la limitation technique principale résidait dans la contrainte relative à l'alignement du champ magnétique par rapport aux centres NV [3].

Nous présentons ici une nouvelle réalisation pour résoudre ce problème [4]. Nous combinons un cristal de diamant avec une coupe spécifique et utilisons un unique aimant permanent pour générer le gradient. Nous démontrons l'analyse spectrale en temps réel sur une gamme de fréquence allant jusqu'à 25 GHz et nous étudions les principales caractéristiques physiques du centre NV considéré comme un détecteur de signaux RF. Les performances en termes de gamme de fréquences accessibles, de résolution spectrale, de seuil de détection de puissance et de résolution temporelle seront présentées.

(a)



(b)

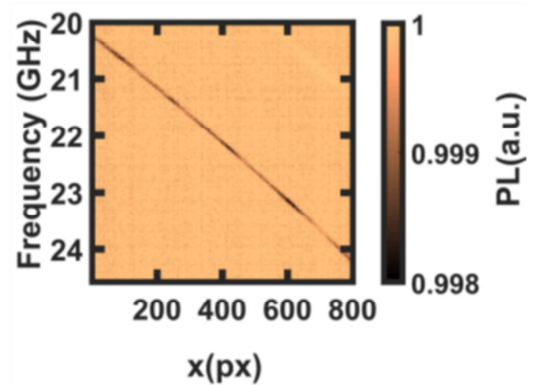


Figure 1. Analyse spectrale à base de centres colorés NV du diamant. (a) Principe de l'analyseur de spectre à base de centres NV. (b) Application à l'analyse spectrale dans la bande 20-25 GHz.

#### Références :

- [1] Rohde & Schwarz. Implementation of Real-Time Spectrum Analysis. White Paper.
- [2] A. Louchet-Chauvet, P. Berger, P. Nouchi, D. Dolfi, A. Ferrier, P. Goldner, and L. Morvan. "Telecom wavelength optical processor for wideband spectral analysis of radiofrequency signals". *Laser Physics*, 30(6):066203, may 2020.
- [3] M. Chipaux, L. Toraille, C. Larat, L. Morvan, S. Pezzagna, J. Meijer, and T. Debuisschert. "Wide bandwidth instantaneous radio frequency spectrum analyzer based on nitrogen vacancy centers in diamond". *Applied Physics Letters*, 107(23):233502, 2015.
- [4] S. Magaletti, L. Mayer, J.-F. Roch, T. Debuisschert, "Quantum Diamond Radio Frequency Signal Analyser based on Nitrogen-Vacancy centers", *Communications Engineering 2022* (accepted).



**JCOM 2022  
FEMTO-ST-ENSMM  
Besançon  
13 juin 2022**



, Alban Ferrier, Philippe Goldner, and Loïc Morvan. Telecom wavelength optical processor for wideband spectral analysis of radiofrequency signals. *Laser Physics*, 30(6):066203, may 2020.