

## Offre de Thèse

# Modélisation et caractérisation des composants hyperfréquences accordables sur silicium à jonctions intégrées

### Résumé du sujet :

Les applications dans le domaine des systèmes communicants se multiplient, et ce phénomène s'amplifie avec l'avènement de l'internet des objets (Internet of Things) et du tout-internet (Internet of Everything). La multiplication des normes des systèmes de télécommunications oblige à multiplier les dispositifs présents dans les front-ends radio à l'émission comme à la réception. Pour faire coexister toutes ces normes dans un même système, deux solutions s'offrent aux concepteurs : multiplier les composants, tels que les filtres ou les antennes par le nombre de normes, ou utiliser des **dispositifs accordables**.

Ainsi, la **flexibilité des dispositifs hyperfréquences est devenue un des enjeux majeurs** car elle permet une réduction de la taille des systèmes et une baisse du coût de fabrication. A l'heure actuelle, il existe différentes méthodes d'accordabilité permettant de rendre ces dispositifs flexibles. Cependant, pour plusieurs raisons (temps de réponse, tensions de commande, maîtrise technologique, performances électriques), l'utilisation de composants à semi-conducteurs reportés sur un circuit passif reste la voie la plus utilisée. L'interconnexion des éléments actifs et passifs provoque des effets parasites néfastes et une limitation de la montée en fréquence liée à la taille de l'élément actif reporté. Enfin, cette méthode de conception est relativement rigide et, par essence, limitée en ce qui concerne les dispositifs flexibles (dimensions et localisation du composant actif, nécessité vias métallisés). D'autre part les lignes de transmission sont conçues en optimisant leurs facteurs de qualité i.e. leurs pertes alors que les éléments actifs reportés sont optimisés en taille. Le résultat de leur association est un dispositif qui présente un faible facteur de qualité lié aux pertes de l'élément d'accord et une taille importante liée à l'empreinte de la partie passive.

Une **solution alternative et innovante de co-conception de fonctions hyperfréquences accordables**, telles que les antennes, les filtres et les switches (présent dans tous les systèmes communicants) a été développée [1]–[6]. La co-conception d'un dispositif passif et de son élément d'accord est basée sur **l'utilisation d'un substrat semi-conducteur** tel que le silicium par exemple. L'élément d'accord proposé, basé sur une jonction  $N^+PP^+$ , est réalisé à partir de jonctions semi-conductrices, fonctionnant en mode interrupteur ON / OFF, commandé par une tension de polarisation. Cet élément d'accord est ainsi **directement intégré dans le substrat** et permet de réaliser un via électrique dans l'épaisseur du substrat. Cette démarche novatrice de co-conception entre un circuit passif et son élément d'accord permet d'éliminer certaines contraintes de fabrication courantes (telles que le report de composant ou le perçage de via métallique) et de s'affranchir des effets parasites liés à l'interconnexion entre les composants passifs et actifs (dégradant les performances des circuits). De plus, **cette méthode présente un fort intérêt au niveau de la flexibilité de conception par le choix du positionnement et du dimensionnement des zones dopées**. En effet, les **diodes intégrées peuvent être soit localisées** (i.e. de petites dimensions), **soit distribuées** (i.e. de grandes dimensions) et prendre différentes formes.

En termes de modélisation de ces composants, il existe à l'heure actuelle, d'une part, des solutions de simulation des comportements électriques des jonctions semi-conductrices et, d'autre part, des solutions de simulation électromagnétique de circuits hyperfréquences. Cependant, la différence de dimensions entre les deux familles de composants pose des problèmes de maillage pour la simulation d'une fonction hyperfréquence et de son élément

d'accord dans sa globalité. Ainsi, pour pallier ce problème, **une solution de co-simulation de dispositifs hyperfréquences accordables** basée sur un couplage faible entre des simulations électriques de l'élément d'accord et des simulations électromagnétiques des composants hyperfréquences a été développée.

Basés sur la méthode innovante de co-conception de fonctions hyperfréquences accordables, les travaux de thèse permettront de proposer des solutions nouvelles de co-simulation plus fine alliant transport de charges des jonctions semi-conductrices et comportement électromagnétique global des dispositifs. Basés sur les concepts démontrés par les précédents travaux, le travail consistera également à caractériser les composants accordables, tels que des switches dans un premier temps en termes de tenue en puissance, de temps de commutation et de non-linéarités, et ceci en fonction de la taille et formes des zones dopées ainsi que des épaisseurs de substrats et des types de jonctions. Par la suite, basée sur les premiers résultats des composants accordables plus complexes seront envisager afin d'améliorer les performances de ces dispositifs (réduction des pertes de la fonction passive, amélioration du facteur de qualité des éléments actifs, amélioration de la tenue en puissance...). Enfin, les degrés de liberté liés à cette co-conception permettront de proposer de nouvelles topologies de dispositifs hyperfréquences (en termes de jonctions semi-conductrices et de fonctions accordables globales) ainsi que de répondre aux problématiques des nouvelles applications des systèmes communicants liées à la montée en fréquence.

Les circuits seront réalisés sur silicium chez notre partenaire : le laboratoire GREMAN à Tours.

**Mots-clés :** Antenne accordable, diodes PIN, diodes varactors, filtre accordable, jonctions semi-conductrices, silicium, silvaco, switch.

**Encadrants :** Rozenn Allanic, Denis Le Berre, Cédric Quendo

**Profil du candidat :** Bac+5  
Nationalité Européenne

**Compétences du candidat :** Physique des semiconducteurs (diodes PIN, diodes Varactors), Simulation et modélisation de composants hyperfréquences, Silvaco, HFSS, Comsol Multiphysics, Mesures (oscilloscope, analyseur de réseaux...)

**Comment postuler?** Envoyer un CV et une lettre de motivation avant le 12 avril 2023 à [Rozenn.Allanic@univ-brest.fr](mailto:Rozenn.Allanic@univ-brest.fr)

**Date de début visée:** Octobre-Novembre 2023

**Références :**

- [1] R. Allanic *et al.*, "Temperature Dependence of Tunable Resonators on FR4 and Silicon," in *Proc. Asia-Pacific Microwave Conf.*, 2017, pp. 8–11.
- [2] R. Allanic, Y. Quéré, D. Le Berre, and C. Quendo, "Intrinsically microwave tunable resonator designed on silicon," *Electron. Lett.*, vol. 52, no. 20, pp. 1697–1699, Sep. 2016.
- [3] R. Allanic, Y. Quéré, D. Le Berre, and C. Quendo, "A Novel Approach to Co-Design microwave Devices with Distributed Switches," in *Proc. Asia-Pacific Microwave Conf.*, 2016.

- [4] R. Allanic *et al.*, “Three-State Microwave Tunable Resonator Integrating Several Active Elements on Silicon Technology in a Global Design,” *IEEE Microw. Wirel. Components Lett.*, vol. 28, no. 2, pp. 141–143, 2018.
- [5] R. Allanic *et al.*, “Impact of the doped areas sizes in the performances of microwave SPST switches integrated in a silicon substrate,” in *2018 IEEE 22nd Workshop on Signal and Power Integrity (SPI)*, 2018, pp. 1–4.
- [6] C. Quendo, R. Allanic, D. Le Berre, and Y. Quéré, “Novel Approaches to Design Tunable Devices,” in *IEEE 18th Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON)*, 2017.