## Abstract

In recent years, metamaterials have emerged as transformative materials that enable the development of innovative microwave components for a variety of applications. This the- sis presents the design, simulation, and implementation of a high-sensitivity microwave biosensor utilizing metamaterial resonators. By harnessing the unique magnetic and elec- tric properties of metamaterials, this biosensor enhances detection capabilities, achieving remarkable accuracy in identifying biomolecules at trace concentrations.

Focusing on split-ring resonators (SRR) and complementary split-ring resonators (CSRR), this research emphasizes miniaturization and improved sensitivity across GHz frequency ranges. Simulations were conducted using HFSS (High-Frequency Structure Simulator), where we analyzed the sensor’s electromagnetic response. The theoretical simulation re- sults were rigorously compared with experimental data, demonstrating the sensor’s robust performance. This biosensor’s ability to accurately detect molecular changes is attributed

to its effective manipulation of electromagnetic fields within the sensing region.

The findings of this research mark a significant advancement in microwave biosens- ing technology, with potential applications across biomedical diagnostics, environmental monitoring, and chemical analysis. This work lays the groundwork for next-generation biosensors that combine high sensitivity, compact design, and real-time detection capa- bilities, positioning them as pivotal tools in healthcare and environmental sciences.

**Keywords:** Biosensor, Metamaterials, Split-Ring Resonator (SRR), Complementary Split-Ring Resonator (CSRR), High-Frequency Structure Simulator (HFSS), Miniatur- ization, Sensitivity.

## Resume

Ces dernières années, les métamatériaux ont émergé comme des matériaux transforma- teurs, permettant le développement de composants micro-ondes innovants pour une var- iété d’applications. Cette thèse présente la conception, la simulation et la réalisation d’un biosenseur micro-onde à haute sensibilité utilisant des résonateurs en métamatéri- aux. En exploitant les propriétés magnétiques et électriques uniques des métamatériaux, ce biosenseur améliore les capacités de détection, atteignant une précision remarquable dans l’identification de biomolécules à des concentrations traces.

En se concentrant sur les résonateurs en anneaux fendus (SRR) et les résonateurs en anneaux fendus complémentaires (CSRR), cette recherche met l’accent sur la miniaturisa- tion et l’amélioration de la sensibilité dans les plages de fréquences GHz. Des simulations ont été réalisées à l’aide de HFSS (High-Frequency Structure Simulator), où nous avons analysé la réponse électromagnétique du capteur. Les résultats théoriques de simulation ont été rigoureusement comparés aux données expérimentales, démontrant la robustesse de la performance du capteur. La capacité de ce biosenseur à détecter avec précision les changements moléculaires est attribuée à sa manipulation efficace des champs électromag- nétiques dans la région de détection.

Les résultats de cette recherche marquent une avancée significative dans la technologie des biosenseurs micro-ondes, avec des applications potentielles dans le diagnostic biomédi- cal, le monitoring environnemental et l’analyse chimique. Ce travail jette les bases de biosenseurs de nouvelle génération qui combinent haute sensibilité, design compact et ca- pacités de détection en temps réel, les positionnant comme des outils essentiels dans les domaines de la santé et des sciences environnementales.

**Mots-clés:** Biosenseur, Métamatériaux, Résonateur en Anneaux Fendus (SRR), Ré- sonateur en Anneaux Fendus Complémentaires (CSRR), Simulateur de Structures à Haute Fréquence (HFSS), Miniaturisation, Sensibilité.