



جامعة محمد الخامس بالرباط  
Université Mohammed V de Rabat

**École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes**  
Centre d'Études Doctorales en Sciences et Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

## **AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT**

**Monsieur Achraf ELOUERGHI**

Soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat en Sciences de l'ingénieur

**Spécialité** : Génie Electrique

**Le Samedi 11 mai 2024 à 10h00 au Grand Amphi de l'ENSAM de Rabat**

**Intitulé de la thèse**

### **CONTRIBUTION À LA CONCEPTION ET À LA FABRICATION D'UN SMART HEALTH CARE BRA SYSTEM (HCBS) POUR LA DÉTECTION PRÉCOCE DU CANCER DU SEIN**

**Président :**

Pr. Ahmed HAMMOUCH, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

**Directeur de thèse :**

Pr. Larbi BELLARBI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

**Rapporteurs :**

Pr. Omar BOUATTANE, PES, ENSET, Université Hassan II, Casablanca

Pr. Seddik BRI, PES, EST, Université Moulay Ismail, Meknès

Pr. Adil SAADI, PES, ENSAM, Université Moulay Ismail, Meknès

**Examineurs :**

Pr. Atman JBARI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Abdelilah JILBAB, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

**Invité :**

Pr. Abdelhamid ERRACHID EL SALHI, Professeur des Universités, Université Lyon I, France



**Résumé :** Le taux de mortalité, dû au cancer du sein, ne cesse d'augmenter d'une année à l'autre, tant à l'échelle nationale (Maroc) qu'à l'échelle internationale. Pour réduire ce taux, un dépistage précoce, c'est-à-dire une détection d'une éventuelle tumeur dans sa phase embryonnaire, est nécessaire.

Pour y parvenir, des méthodes de dépistage du cancer du sein ont été développées. Citons entre autres la mammographie, l'imagerie par résonance magnétique, l'échographie mammaire, la thermographie infrarouge, ... Hormis leurs avantages, ces méthodes présentent des inconvénients et en particulier elles ne peuvent pas être caractérisées, à la fois, par une haute spécificité et une grande sensibilité. De ce fait, la précocité du dépistage sera remise en cause.

La détection par radiométrie microonde fait l'exception car la spécificité et la sensibilité associées sont toutes les deux élevées. Il en résulte que les cas des faux positifs sont peu fréquents. Cet avantage a permis aux chercheurs de s'intéresser à cette approche d'imagerie mammaire et de développer plusieurs types de systèmes radiométriques pour la détection en profondeur des tumeurs ; le radiomètre de Dicke en est un exemple. Dans ce sens, notre contribution s'est accentuée, dans un premier temps, sur la conception et sur la simulation de l'interface frontale miniature du radiomètre de Dicke et de son antenne miniature et ultra-large bande (ULB), dans sa version rigide et dans sa version flexible. La validation, de ces deux éléments simulés en bande S ([2 GHz, 4 GHz]), a été mise en évidence en simulant des fantômes mammaires (sain et malade) et en déduisant leurs impacts sur le signal capté par le radiomètre.

En parallèle à cette approche passive et non invasive, une autre méthode d'imagerie mammaire a été développée. Elle repose sur la détection d'une tumeur virtuelle en relevant la distribution thermique à la surface des deux fantômes mammaires (l'un est sain, l'autre est malade) et en s'intéressant à l'asymétrie thermique entre les deux fantômes. Cette mesure thermique s'effectue à l'aide d'un système de thermographie passif et non invasif, développé dans le cadre de la présente thèse. Ce système intègre des bio micro-capteurs très précis ( $\sim 0,1$  °C), ce qui favorise un dépistage à des stades précoces. Outre sa précision, ce système est intelligent, embarqué et habitronique, c'est-à-dire, porté dans un soutien-gorge. D'où l'appellation "Health Care Bra System" (HCBS) attribuée à ce système d'imagerie mammaire.

Le HCBS a été amélioré en introduisant la technologie IoMT (Internet des Objets Médicaux), ce qui permet de le connecter au réseau et permettre à une large population de femmes de l'utiliser périodiquement (y compris celles habitant dans une zone rurale ou se trouvant en situation de handicap) et bénéficier d'un dépistage précoce, en concertation directe ou à distance avec le médecin traitant.



**Mots-clés :** Bio micro-capteurs, cancer du sein, dépistage précoce, radiomètre, thermographie, antennes flexible, technologie IoMT.

**Abstract :** The breast cancer mortality rate continues to increase year after year, both nationally (Morocco) and internationally. To reduce this rate, early detection, i.e. the detection of a possible tumor in its embryonic phase, is essential.

To achieve this, breast cancer screening methods have been developed. Among others, we can cite mammography, magnetic resonance imaging, breast ultrasound, infrared thermography, etc. Apart from their advantages, these methods have disadvantages, particularly the inability to possess both high specificity and high sensitivity simultaneously. As a result, the early detection will be called into question.

Microwave radiometry stands out as an exception due to its high associated specificity and sensitivity. As a result, instances of false positives are infrequent. This advantage has led researchers to focus on this breast imaging approach and develop various radiometric systems for deep tumor detection; the Dicke radiometer is one such example. In this regard, our contribution has focused, at first, on the design and simulation of the miniature front-end interface of the Dicke radiometer and its miniature and ultra-wideband (UWB) antenna, in its rigid and flexible versions. The validation of these two simulated elements in S-band ([2 GHz, 4 GHz]) has been demonstrated by simulating mammary phantoms (healthy and malignant) and deducing their impacts on the radiometer gain.

In parallel with this passive and non-invasive approach, another breast imaging method has been considered. It is based on the detection of a virtual tumor by measuring the thermal distribution at the surface of the two mammary phantoms (one healthy, the other malignant) and analyzing the thermal asymmetry between them. This thermal measurement is conducted using a passive and non-invasive thermography system developed in the scope of this thesis. This system integrates highly precise bio micro-sensors (0.1 °C), which favors early-stage screening. In addition to its precision, this system is intelligent, embedded, and wearable, meaning it is integrated into a bra, hence the name "HealthCare Bra System" (HCBS) assigned to this breast imaging system.

The HCBS system has been enhanced by introducing the IoMT (Internet of Medical Things) technology, which allows a large population (women residing in rural areas or in a situation of disability) to benefit from remote screening to communicate their status to the attending physician.



جامعة محمد الخامس بالرباط  
Université Mohammed V de Rabat

**Keywords :** Breast cancer, bio micro-sensors, early detection, IoMT technology, microwave thermography, flexible antennas, radiometer.