

# Avis de Soutenance

Monsieur Maxime WAWRZYNIAK

OPTIQUE ET RADIOFREQUENCES

Soutiendra à huis clos ses travaux de thèse intitulés

*Système Passifs Radio Fréquences Innovants Transparents Hybrides de nanocelluloses et nanofils d'argent*

dirigés par Monsieur Tan Phu VUONG

Soutenance prévue le **jeudi 20 janvier 2022** à 13h30

Lieu : Grenoble INP - Minatec - 3, Parvis Louis Néel , CS 50257 - 38016 Grenoble Cedex 1

Salle : Amphi Phelma

## Composition du jury proposé

M. Tan Phu VUONG	Grenoble INP	Directeur de thèse
M. Xavier CASTEL	Université Rennes 1	Rapporteur
Mme Evangéline BENEVENT	Université Aix-Marseille	Rapporteuse
M. Ke WU	Ecole Polytechnique de Montréal	Examineur
Mme Aline ROUGIER	CNRS DELEGATION AQUITAINE	Examinatrice
M. Yves GROHENS	UNIVERSITE BRETAGNE SUD - LORIENT VANNES	Examineur
M. Dominique RAULY	Université Grenoble Alpes	Examineur
M. Gaël DEPRES	Arjowiggins	Invité
Mme Erika VANDELLE	Thalès	Invitée

**Mots-clés :** Electronique Imprimée, Encre conductrice transparente, Radiofréquence, Nanocelluloses, Systèmes passifs,

## Résumé :

Le développement croissant des systèmes de télécommunication s'est fortement accru ces dernières années, notamment pour le domaine de l'Internet des Objets, du bâtiment intelligents ou encore pour celui des emballages intelligents. Ces nouveaux dispositifs nécessitent des fonctions spécifiques comme la flexibilité et la transparence pour faciliter leur intégration dans les objets du quotidien. Le secteur de l'électronique imprimée qui met en œuvre des encres fonctionnelles par procédés d'impression permet le développement de dispositifs radio-fréquences flexibles et performants. Plus récemment, le développement d'encres conductrices et transparentes ouvre de nouvelles voies de conception et d'intégrations. Cependant, la transparence évolue généralement au détriment des performances électriques. Cette thèse porte donc sur le développement de systèmes radio-fréquences (RF) passifs et transparents à l'aide de procédés d'impressions tel que la sérigraphie. Pour atteindre cet objectif, trois stratégies sont proposées. La première stratégie porte sur l'ouverture du design de l'antenne, appelée maillage, permettant de laisser passer la lumière au travers du dispositif. En effet, les encres conductrices conventionnelles utilisent des particules d'argent, les rendant opaques. Une étude portant sur la forme du maillage d'antennes dipôles imprimées par sérigraphie a ainsi été réalisée. Une seconde étude a été réalisée sur l'influence de l'ouverture de maille sur les propriétés optiques et RF d'antennes Coplanaire à Guides d'ondes (CPW). Les résultats ont ainsi montré une transparence optique pouvant atteindre 85% associée à une chute faible de 55% du gain

réalisé. La seconde stratégie porte sur le développement d'encre conductrices transparentes. Les encres commerciales actuelles présentent en effet des propriétés de conduction trop faibles pour des dispositifs RF efficaces. Les nanofils d'argent ont été identifiés comme ayant un fort intérêt au vu de leur propriétés élevées de conduction et de transparence lorsqu'ils sont organisés sous forme de réseau. De récents travaux ont montré une synergie des nanofils d'argent avec la nanocellulose, polymère biosourcé et renouvelable, permettant l'obtention de propriétés optiques et électriques prometteuse en couches minces imprimées. L'optimisation de la formulation a ainsi permis l'obtention d'une nouvelle encre conductrice compatibles avec les spécifications RF présentant une résistance surfacique de  $2 \Omega \cdot \text{sq}^{-1}$  pour une transparence de 72%. Les antennes imprimées avec cette encre présentent des résultats RF légèrement en dessous d'une encre conventionnelle mais reste en adéquation pour des dispositifs efficaces. Une antenne récupératrice d'énergie à 1.8 GHz a aussi été imprimé avec une puissance récupérée de 0.5  $\mu\text{W}$ . Le maillage d'antennes CPW utilisant cette encre a également été expérimenté et à l'obtention d'antennes transparentes à 99% associés à de faible gain réalisé. Enfin, la troisième stratégie repose sur l'utilisation des 2 stratégies précédentes. Dans un premier cas, les performances optiques seront recherchées tout en maintenant les performances RF. Pour cela, l'intégralité des éléments de l'antenne ont été imprimés avec une encre conventionnelle non-transparente à l'exception du patch maillé à l'aide de l'encre conductrice transparente précédemment formulé. La transparence du patch atteint ainsi 98% pour des performances RF semblables aux antennes uniquement imprimés par encre conventionnelle. Le second cas consiste à remplir les ouvertures entre les lignes argent de l'antenne maillée par l'encre conductrice transparente afin d'améliorer sensiblement les performances RF de l'antenne pour un impact limité de 4% en transparence optique. Les performances RF décroît respectivement de 37 % et 17 % avec ces deux nouvelles stratégies. Ces résultats prometteurs ouvrent la voie vers l'intégration de dispositifs RF transparents pour le smart packaging et les bâtiments connectés.