



Université Lille Nord de France  
Pôle de Recherche  
et d'Enseignement Supérieur

## Ecole doctorale régionale Sciences Pour l'Ingénieur Lille Nord-de-France - 072



**Titre : Etude de l'influence d'une barrière de diffusion en nickel sur un conducteur cuivre : application au bobinage des machines dédiées aux hautes températures**

**Financement prévu :** Université Artois / Région

**Cofinancement éventuel :**

**(Co)-Directeur de thèse : Prof . G. VELU**

**E-mail :** gabriel.velu@univ-artois.fr

**Co-directeur de thèse :**

**E-mail :**

**Laboratoire :** LSEE EA 4025

**Equipe :**

### **Descriptif :**

Les fils de cuivre émaillés recouverts d'une couche isolante fine à base de polymères organiques constituent une technologie mature qui a fait ses preuves depuis de longues années, aussi bien au cœur des moteurs électriques qu'au sein des transformateurs. Ils fonctionnent à des températures usuelles qui évoluent de 100°C à 240°C. Au-delà de cette gamme, les composants organiques perdent rapidement leurs propriétés électriques et mécaniques et il faut avoir recours à des composés inorganiques dont la porosité et la teneur naturelle en atomes d'oxygène est responsable d'une oxydation prématurée du cuivre, oxydation qui impacte notablement les performances du fil et réduit fortement son espérance de vie. Pour s'affranchir des problèmes d'oxydation, qui interviennent lors d'une utilisation au-delà de 200°C, il est possible de « passiver » le cuivre en ajoutant une couche plaquée de nickel dont les propriétés sont chimiquement neutres. La présence de cette couche de nickel, même dans des proportions très faibles, modifie les propriétés macroscopiques du fil, aussi bien d'un point de vue résistif que d'un point de vue magnétique. En effet, le nickel possède des propriétés magnétiques, certes faibles mais suffisantes, qui vont permettre à la couche ainsi déposée de canaliser une partie du flux magnétique créé par le courant circulant dans le fil. Ce fil présente donc une nature très inductive qui va lui conférer un comportement peu commun, un comportement qui tend à devenir très difficile à prédire lorsque la fréquence des courants augmente. Les phénomènes de peau et de proximité se trouvent en effet fortement perturbés par la présence du nickel et il devient délicat d'estimer la section utile du conducteur à l'aide des méthodes classiques reposant sur des ensembles d'hypothèses qui ne sont plus valides. Il est également indispensable de considérer les variations en température des propriétés magnétiques du nickel et ce jusque 355°C, température de Curie du nickel à laquelle ces propriétés disparaissent.

Dans ce sujet, très exploratoire, il est proposé d'étudier l'impact du nickel sur les propriétés électromagnétiques d'un bobinage. Les questions pour lesquelles le travail de thèse cherchera des réponses portent sur :

- la distribution des courants dans un conducteur de cuivre nickelé en fonction de l'épaisseur de nickel ;
- l'influence de la couche de nickel sur le comportement magnétique d'une bobine en dessous de 355°C ;
- le comportement de la bobine au-delà de 355°C,
- l'existence d'une épaisseur optimale de nickel en rapport avec les conditions d'utilisation du fil ainsi que la possibilité de la déterminer ;
- la possibilité d'employer un alliage nickel amagnétique ou un substitut du nickel plus performant ou moins impactant du point de vue environnemental.