

## ***Etude d'un système de maîtrise de l'anomalie électrique des navires en boucle fermée***

**Offre de thèse CIFRE NAVAL GROUP en collaboration avec DGA TN se déroulant à Grenoble entre le laboratoire de génie électrique de Grenoble (G2Elab) et le laboratoire d'électrochimie et physicochimie des matériaux et des interfaces (LEPMI).**

**Contexte :** Dans un contexte de furtivité, les champs électromagnétiques sous-marins générés par les navires produisent des anomalies détectables : celles-ci doivent d'être maîtrisées.

La présente étude porte sur la maîtrise du champ électrique se développant dans l'eau de mer à proximité de la partie immergée de la coque, appelé « signature électrique ». Ce champ électrique, dans ce milieu conducteur, dépend spontanément des différences de potentiels électrochimiques entre les différents matériaux en présence et des courants de couplage galvanique entre ceux-ci.

Les navires peuvent être équipés d'un système de Protection Cathodique par Courant Imposé (PCCI) qui consiste à injecter un courant continu via une source externe vers la coque afin de la maintenir sous polarisation cathodique ; celle-ci est alors protégée de la corrosion. Cependant, cette action vient moduler le champ électrique présent dans l'eau et influence directement la furtivité du navire.

En théorie, afin de garantir la discrétion des navires, le système de protection cathodique (PCCI) peut aussi être utilisé comme une contre-mesure. C'est-à-dire que les courants des différentes anodes de protection cathodique peuvent être réglés de telle sorte que la signature électrique du navire soit sous un seuil donné.

De précédents travaux ont montré la faisabilité du développement d'un système PCCI « optimisé et pilotable » avec des premières règles de positionnement des anodes. Une pré-étude a notamment été menée sur une configuration simple constituée de plusieurs zones à protéger (ZPC), chacune étant équipée d'une anode PCCI et d'une électrode de mesure de potentiel, ceci en présence de divers couplages de matériaux. Cette configuration a été modélisée par une représentation circuit équivalente et des simplifications ont permis une mise en équation analytique avec un nombre de paramètres pertinents et restreints. La résolution sous contraintes de ce système d'équations permet le calcul des courants optimaux. Selon les contraintes choisies, il est alors possible soit de minimiser la signature électrique seule mais en perdant potentiellement en niveau de protection galvanique, soit d'atteindre le double objectif conjoint de protection galvanique et de minimisation de la signature électrique.

**Objectifs :** A l'instar du ferromagnétisme de coque créant un champ magnétique qui est aujourd'hui de mieux en mieux maîtrisé grâce à la mise en œuvre de systèmes d'immunisation actifs reposant sur des mesures magnétiques embarquées, l'objectif de ces travaux de recherche est de développer un système asservi de discrétion électrique grâce aux anodes de la PCCI et des mesures embarquées accessibles (courants, potentiels de coque, etc.).

Il s'agira ainsi de mener des travaux de recherches afin de développer à terme ce système permettant de protéger une carène de la corrosion tout en minimisant la signature électrique de celle-ci. L'étude comportera deux volets, le premier sera théorique et numérique. Il consistera au développement de méthodes de calcul à implémenter dans des algorithmes, permettant de démontrer la faisabilité de l'approche. Plusieurs stratégies pourront être développées. Celles-ci seront comparées en fonction du nombre et du type de mesures disponibles. Le deuxième volet du travail sera expérimental pour permettre de tester, valider et faire évoluer les développements du premier volet en implémentant les approches sur un banc de mesure pilote.

**Déroulement :** La première étape consistera à la prise en main des travaux précédents et à une étude bibliographique. Elle permettra de faire un état de l'art des différentes approches disponibles.

Dans un second temps, une étude numérique dite « directe », avec le code de calcul « CORONS » développé au G2Elab et mis en œuvre par NAVAL GROUP et DGA TN. Cela permettra d'optimiser le nombre et la position d'anodes PCCI ainsi que les électrodes de mesure de potentiel en fonction d'éléments connus d'une part et inconnus d'autre part (dégradation de la peinture de la coque). Ceci, afin d'assurer un niveau de robustesse au regard du double objectif de protection contre la corrosion et la maîtrise de la signature électrique.

La troisième étape comportera la mise en œuvre d'approches dites « inverses » de modèles numériques plus ou moins complexes, permettant l'identification de l'état des matériaux de la carène à partir des mesures embarquées uniquement. Ces données permettront de prédire les niveaux de champ électrique et l'évolution des interfaces métal/eau en fonction des courants PCCI.

La quatrième étape comprendra la mise en œuvre expérimentale des résultats numériques avec des mesures électriques et électrochimiques sur maquette de dispositif à échelle réduite, à réaliser en environnement de synthèse (G2Elab/LEPMI) et/ou en environnement plus réaliste (DGA TN/ NAVAL GROUP).

### **Profil recherché :**

Bac +5

Appétence particulière pour des recherches à la fois théoriques (modélisations, méthodes numériques, etc.) et expérimentales (instrumentations et mesures) sur maquettes.

De bonnes connaissances dans les domaines suivants : Electromagnétisme ; électrochimie ; méthode numérique ; instrumentation ; électronique ; informatique industrielle.

### **Environnement :**

Les travaux se dérouleront essentiellement au G2Elab (Presqu'île Scientifique de Grenoble) et au LEPMI (Campus Universitaire de Grenoble) avec quelques déplacements sur divers sites de Naval Group et le site de DGA TN (Brest).

### **Références :**

A. GUIBERT, 2009, « Diagnostic de corrosion et prédiction de signature électromagnétique de structures sous-marines sous protection cathodique », [tel-00440258v1](#)

M. MINOLA, 2022, « Etude des mécanismes de corrosion et protection contre la corrosion pour la minimisation de la signature électrique des bâtiments de la marine », [tel-03686957v1](#)

M. NALE, 2022, « Développement et validation de modèles transitoires et multi-échelles de signatures électriques sous-marines de navires », [tel-03868879v1](#)

### **Candidature :**

Envoyer par email un CV accompagné d'une lettre de motivation ainsi que des relevés de notes M1 et M2.

### **Contacts :**

[olivier.pinaud@g2elab.grenoble-inp.fr](mailto:olivier.pinaud@g2elab.grenoble-inp.fr)

/

[didier.cavallera@naval-group.com](mailto:didier.cavallera@naval-group.com)

[virginie.roche@lepmi.grenoble-inp.fr](mailto:virginie.roche@lepmi.grenoble-inp.fr)

/

[cedric.goeau@intradef.gouv.fr](mailto:cedric.goeau@intradef.gouv.fr)