

Dans le cadre du projet ADEME **SILENSEAS** sur les navires du futur, l'IRCCyN, en collaboration avec STX, propose à Nantes un poste **d'ingénieur de recherche** sur le sujet suivant :

## Paquebot à propulsion hybride vélique-électrique de nouvelle génération : commande des voiles et de l'usine électrique

Le projet *Silenseas* a pour but principal de développer et réaliser un **démonstrateur de recherche industrielle à échelle 1 d'un paquebot à propulsion hybride vélique – électrique** de grande envergure. Ce paquebot innovant, propre et économe, aura l'objectif d'atteindre **25% de réduction de la consommation en combustible et en émissions atmosphériques par rapport aux paquebots actuels à propulsion classique**. Le projet SILENSEAS est porté par un consortium très représentatif de la filière navale, et piloté par le constructeur naval STX France,

Parmi les solutions de rupture à développer pour atteindre les objectifs ambitieux de ce projet le travail proposé dans le cadre de ce contrat portera sur les aspects suivants relatifs au *contrôle-commande* :

- Développement des stratégies de commande pour le **réglage des voiles** de manière **automatique**. L'idée est de calculer à tout instant un réglage de voile permettant d'obtenir la poussée longitudinale désirée (en fonction de la trajectoire, des conditions de mer, du niveau d'hybridation de la poussée, ...).
- **Conception d'un système optimisé de gestion énergétique de l'usine électrique** du navire en exploitation. Il s'agit là de développer une solution énergétique hybride, s'appuyant sur de nouvelles sources de production ou de stockage énergétique pilotées ou non.

Il s'agira donc dans la **première partie** du travail (**6 mois**) de concevoir une solution de contrôle commande de voiles de grandes dimensions.

Les solutions au problème de pilotage automatique de voiles sont peu nombreuses dans la littérature essentiellement à cause des phénomènes non linéaires du système. Ces travaux cités traitent pour la plupart de voiliers, et non de bateaux de grande dimension. Les stratégies de commande envisagées devront être capables d'appréhender de façon efficace les relations différentielles non linéaires décrivant le système piloté dans le but de fournir l'angle optimal d'orientation (voire la surface) des voiles pour une force désirée.

[1] J. Abril, J. Salom, et O. Calvo, Fuzzy control of a sailboat, Int. J. Approximate Reasoning, vol.16, pp.359-375, 1997.

[2] H. Erckens, G.-A. Büsser, C. Pradalier, et R.Y. Siegwart, Navigation strategy and trajectory following controller for an autonomous sailing vessel, IEEE Robotics and Automation Magazine, pp.45-54, Mars, 2010.

[3] P. Herrero, L. Jaulin, J. Vehi, et M.A. Sainz, Guaranteed set-point computation with application to the control of a sailboat, Int. J. Control Autom. Syst., vol.8, no.1, pp.1-7, 2010.

[4] A. Schlaefer, et O.Blaurock, Robotic Sailing, Proc. of the 4th International Robotic Sailing Conference, Springer, 2011.

Il s'agira dans une **deuxième partie** (**12 mois**) de définir le système opérationnel de contrôle-commande de l'usine électrique visant à produire l'énergie requise au meilleur coût. Ce

système réalisera la fonctionnalité de gestionnaire énergétique des sources et stockeurs de l'usine électrique.

Sur les navires de croisière traditionnels, la production d'énergie est réalisée par des groupes diesel alternateurs. Ceux-ci fournissent l'énergie électrique alimentant les moteurs de propulsion ainsi que tous les équipements du bord. L'architecture classique est constituée d'un réseau à 11kV alimentant les gros consommateurs du bord (moteurs de propulsion, propulseurs transversaux, groupe froid de climatisation), d'un réseau en 440V principalement pour les équipements machine, et enfin d'un réseau 110/220V pour la partie hôtelière. Le fractionnement des sources d'énergie permet d'assurer une certaine redondance et de faire fonctionner ces sources proches de leurs points de fonctionnement optimums (aux alentours de 85% de charge).

La mise en œuvre d'une propulsion hybride (diesel-électrique-voile) sur un navire de croisière constitue pour ce type de navire une innovation en rupture, qui questionne les pratiques actuelles quant à la gestion de l'usine électrique de bord. Il s'agit à cet égard d'un véritable saut technologique, visant à remplacer une partie de la gestion actuelle reposant pour beaucoup sur l'expérience de la conduite de navires traditionnels et l'arbitrage par le personnel de bord, par un algorithme de commande visant à l'optimisation de l'efficacité énergétique en présence de la propulsion vélique. La définition d'un PMS (Power Management System) de nouvelle génération constitue le résultat recherché.

Ce PMS pilotera un ensemble de sources énergétiques hétérogènes, comportant plusieurs génératrices diesels de différentes puissances à exploiter de manière optimale, tiendra compte en temps réel de la contribution vélique pour la propulsion. Il cherchera à valoriser les informations disponibles, connues à l'avance ou prédictibles avec un certain niveau de confiance (e.g. trajet retenu pour la croisière, carte des vents, des courants, etc.) afin d'accroître la performance énergétique globale.

L'algorithme de commande visé s'appuiera sur la théorie de la commande prédictive de systèmes dynamiques et l'utilisation d'automates à état fini. Il sera évalué sur son niveau de performance (économie énergétique) et son niveau de flexibilité.

- [1] L. Wang, "Model Predictive Control System Design and Implementation Using MATLAB", 2009, ISBN: 1848823304
- [2] J.M. Maciejowski. Predictive Control with Constraints. Prentice Hall, 2002
- [3] A. A. Moelja, and G.Meinsma. H2 control of preview systems. Automatica, 42(6):945–952, 2006.
- [4] A. Hazell, Discrete-time optimal preview control, PhD thesis, University of London, 2008.
- [5] Marro G., Zattoni E., H2-optimal rejection with preview in the continuous-time domain. Automatica 41(5): 815-821 (2005)
- [6] L. Grüne, J. Pannek, Nonlinear Model Predictive Control Theory and Algorithms, Springer, Series: Communications and Control Engineering, 2011, XII, 360 p.
- [7] [Dup10] F. Dupriez-Robin, "Dimensionnement d'une propulsion hybride de voilier, base sur la modélisation par les flux de puissance," Thèse de l'université de Nantes, 2010.
- [8] C. Fauvel, F. Claveau, and P. Chevrel, "Energy Management in multi-consumers multi-sources System : A Practical Framework," in Proc. IFAC World Congress, Cape Town, South Africa, 2014
- [9] S. Delprat, "Evaluation de stratégies de commande pour véhicules hybrides parallèles," Thèse de l'université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2002.
- [10] H. Fridén and H. Sahlin, "Energy Management Strategies for Plug-in Hybrid Electric Vehicles," Chalmers University of technology, Göteborg, Sweden, 2012.
- [11] S. Kachroudi, M. Grossard, and N. Abroug, "Predictive Driving Guidance of Full Electric Vehicles using Particle Swarm Optimization," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 61, no. 9, pp. 1–1, Nov. 2012.
- [12] T. Hofman, "Framework for Combined Control and Design Optimization of Hybrid Vehicle Propulsion Systems door," Technische Universiteit Eindhoven, 2007.
- [13] S. Wirasingha and A. Emadi, "Classification and review of control strategies for plug-in hybrid electric vehicles," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 60, no. 1, pp. 111–122, 2011.

**Profil du candidat :**

Le projet porte sur l'élaboration de lois de pilotage, qu'il s'agisse des voiles ou de la production d'énergie électrique. Il implique l'utilisation de modèles de précision juste nécessaire, assez simples pour servir de support aux lois de commande embarquées.

Une expérience en modélisation macroscopique des systèmes énergétiques serait un plus.

Le poste s'adresse à un **ingénieur** (ou assimilé) passionné par l'**Automatique** (cf. mots clés) et la question de la **transition énergétique** (cf. <http://www.economie.gouv.fr/files/la-nouvelle-france-industrielle.pdf> p64), ayant la capacité et le goût, pour un travail collaboratif à visée industrielle.

La réalisation d'une thèse de doctorat sur ce sujet n'est pas à exclure, si elle correspond au souhait du candidat.

**Mots clés :** Commande robuste & prédictive de systèmes hybrides.

**Durée :** 16 mois

**Date de démarrage :** à partir de Mars 2015

**Personnes à contacter :**

Philippe Chevrel: [philippe.chevrel@irccyn.ec-nantes.fr](mailto:philippe.chevrel@irccyn.ec-nantes.fr)

Franck Plestan : [franck.plestan@irccyn.ec-nantes.fr](mailto:franck.plestan@irccyn.ec-nantes.fr)

**Liens :**

Site de l'IRCCyN :

<http://www.irccyn.ec-nantes.fr/>