

# ED SMAER

## Sujet de thèses 2013

Laboratoire : **Laboratoire de Génie Electrique de Paris (LGEP)**

Etablissement de rattachement : Supélec, CNRS UMR-8507, UPMC Paris 06, Paris Sud 11

Directeur de thèse et section CNU: Florence Ossart (Professeur – UPMC – 63<sup>ème</sup> section)

Codirection et section CNU:

Titre de la thèse : Gestion énergétique de systèmes autonomes par commande optimale stochastique

Programme associé :

Collaborations dans le cadre de la thèse :

Le sujet peut être publié sur le site web de l'EDSMAE : OUI

### Résumé du sujet :

Cette étude s'inscrit dans la problématique générale d'amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes de toute nature. La réponse passe par le développement de systèmes utilisant des énergies renouvelables et la mise en œuvre de systèmes hybrides multi-sources. L'optimisation énergétique de tels dispositifs suppose de travailler aussi bien au niveau du composant qu'au niveau du système, avec la mise en place d'une gestion optimisée de l'énergie : la puissance demandée doit être répartie au mieux entre les différentes sources, de façon à minimiser la consommation globale du dispositif.

Dans ce contexte, l'équipe « Conception, commande et diagnostic » du Laboratoire de Génie Electrique de Paris s'intéresse plus particulièrement aux systèmes autonomes utilisant l'énergie électrique dans le cadre de deux applications: les véhicules hybrides et les réseaux électriques isolés.

Le travail de thèse proposé s'inscrit dans cette thématique et consiste à étudier et développer des stratégies de commande optimale, dédiées à la *commande en temps réel* et à la *gestion des incertitudes* liées à l'état du système, de son environnement et de la demande de puissance.

En effet, les outils d'optimisation actuels nécessitent de connaître la totalité des informations sur la durée de l'étude. Il est alors possible d'optimiser le système, mais dans un environnement strictement contrôlé. Il est évident que les conditions réelles de fonctionnement présentent nécessairement des incertitudes qui doivent être prises en compte par des méthodes d'optimisation adaptées. Le caractère aléatoire de ces incertitudes nécessite une approche stochastique, dont le résultat ne sera pas nécessairement optimal pour une situation donnée, mais le sera en moyenne sur l'ensemble des situations rencontrées.

A terme, la finalité des outils d'optimisation développés au cours de travail est double :

- servir de base au développement d'algorithmes de commande en temps réel ;
- être utilisés en simulation pour conduire des analyses de sensibilité de la consommation énergétique du système afin d'en dimensionner les organes sur des critères approchant au mieux les conditions réelles de fonctionnement.

Cette deuxième finalité rejoint un travail de thèse actuellement en cours, en partenariat avec PSA Peugeot Citroën, sur la conception optimale de chaînes de traction hybrides.

Ce sujet s'adresse à des candidats titulaires d'un master (ou équivalent) en sciences de l'ingénieur (orientation génie électrique) ou en mathématiques appliquées.

Site du LGEP : <http://www.lgep.supelec.fr>

## Sujet développé

### Contexte :

Cette étude s'inscrit dans la problématique générale d'amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes de toute nature, afin de faire face à l'augmentation continue de la demande énergétique dans nos sociétés et de prendre en compte la nécessaire réduction des émissions de CO<sub>2</sub> ainsi que la raréfaction des ressources en énergie fossile.

La réponse passe par la multiplication de systèmes utilisant des énergies non conventionnelles renouvelables, et par la mise en œuvre de systèmes hybrides multi-sources. L'optimisation énergétique de tels dispositifs suppose de travailler aussi bien au niveau du composant qu'au niveau du système, avec la mise en place d'une gestion optimisée de l'énergie : la puissance demandée doit être répartie au mieux entre les différentes sources, avec pour objectif de minimiser la consommation globale du dispositif.

Dans ce contexte, l'équipe « Conception, commande et diagnostic » du Laboratoire de Génie Electrique de Paris s'intéresse plus particulièrement aux systèmes autonomes utilisant l'énergie électrique, dans le cadre de deux applications: les véhicules hybrides (thermique/électrique ou pile à combustible/électrique) et les réseaux électriques isolés (utilisation d'énergies renouvelables produites localement).

### Objectifs :

Le travail de thèse proposé concerne l'optimisation de la gestion énergétique d'un système autonome qui exécute une mission soumise à des perturbations. Il s'agit d'étudier et de développer des stratégies de commande optimale, dédiées à la *commande en temps réel* et à la *gestion des incertitudes* liées à l'état du système, de son environnement et de la demande de puissance. Les applications visées sont d'une part les véhicules hybrides, d'autre part les réseaux locaux autonomes multi-sources.

Dans le cas d'un véhicule hybride, la mission consiste à réaliser un trajet donné, et les incertitudes concernent le trafic, d'éventuels détours, la météo, le type de conduite, l'exigence de confort. Pour les réseaux autonomes, il s'agit de fournir une certaine puissance au cours du temps en différents points du réseau, avec des incertitudes sur la disponibilité ou l'efficacité instantanée des différentes sources d'énergie.

Au-delà des caractéristiques différentes des applications, il existe une problématique commune et la réflexion sur les outils à mettre en place gagne à être mutualisée, même si les choix finaux sont adaptés à l'application.

### Démarche de l'étude :

On distingue actuellement deux types de commande. La première approche, dite heuristique, est basée sur un ensemble de règles empiriques appliquées pour déterminer à chaque instant une commande « pertinente » en fonction de la demande et de l'état du système. La seconde approche, mathématiquement beaucoup plus élaborée et rigoureuse, consiste à utiliser les outils de l'optimisation pour minimiser la consommation totale du véhicule pour une mission donnée.

La commande heuristique, facile à mettre en œuvre et d'exécution rapide, s'appuie sur des données instantanées et paraît donc naturellement adaptée au temps réel et à la prise en compte des aléas. Mais les règles empiriques peuvent être complexes à élaborer, et elles ne sont ni optimales, ni robustes. A l'inverse, la commande optimale est développée dans un

contexte mathématique solide, mais les algorithmes actuels supposent la connaissance *a priori* de la totalité de la mission, et la prise en compte des différentes contraintes du système les complique rapidement. Elles ne sont donc pas adaptées à notre problème, en leur état.

L'enjeu du travail de thèse est de développer une approche optimale rigoureuse qui intègre les incertitudes sur le déroulement de la mission. Le caractère aléatoire des incertitudes à gérer impose une *approche stochastique*, dont le résultat ne sera pas nécessairement optimal pour une situation donnée, mais le sera en moyenne sur l'ensemble des situations rencontrées.

Par exemple, le conducteur d'un véhicule hybride sait qu'il veut aller du point A au point B en consommant le moins de carburant possible, mais il peut rencontrer différents aléas qui perturbent la mission. Un détour pour éviter un bouchon modifie l'itinéraire sur plusieurs kilomètres, alors qu'un coup de frein pour éviter un obstacle est une perturbation ponctuelle, mais susceptible de se reproduire régulièrement. Il conviendra donc de répertorier et d'analyser les types de perturbations susceptibles de se produire, puis de réfléchir aux outils permettant de les traiter, avec des choix éventuellement adaptés au type de perturbation rencontré.

L'approche stochastique peut et doit être complétée par des informations en temps réel facilement fournies par le système de navigation : type de route suivie, fluidité de la circulation, humeur du conducteur... de façon à adapter les paramètres des distributions statistiques. On peut également intégrer des exigences de confort plus ou moins fortes, selon les choix du conducteur (arrêt de la climatisation si le coût énergétique global de la mission devient trop important suite à certaines perturbations).

La finalité des outils d'optimisation développés au cours de travail est double :

- servir de base au développement d'algorithmes de commande en temps réel ;
- être utilisés en simulation afin de réaliser des analyses de sensibilité de la consommation énergétique aux différents organes du système étudié, puis de dimensionner ceux-ci sur des critères approchant au mieux les conditions réelles de fonctionnement.

Cette deuxième finalité est complémentaire d'un travail de thèse actuellement en cours, en partenariat avec PSA Peugeot Citroën, sur la conception optimale de chaînes de traction hybrides.

### **Etapes de travail :**

Les principales étapes de ce travail sont les suivantes :

- Choix de quelques systèmes-types représentatifs de la problématique traitée ; analyse des sources d'incertitudes dans ces systèmes et de leurs conséquences potentielles en termes de consommation énergétique.
- Etude bibliographique ; choix des méthodes de commande optimales stochastiques adaptées aux systèmes étudiés.
- Mise en œuvre des méthodes de commande retenues ; étude comparative en termes de compromis entre la qualité de l'optimisation réalisée et la puissance de calcul demandée ; validation par comparaison avec des résultats de mesure.
- Analyse systématique du comportement des méthodes étudiées ; étude de sensibilité de la consommation aux différents paramètres des systèmes étudiés ; établissement de recommandations pour la conception de la chaîne de traction.

A l'issue de la thèse, nous aurons développé notre expertise dans le domaine de la commande optimale en temps réel avec prise en compte des incertitudes, tant au niveau théorique qu'au niveau des applications visées.

Ces travaux se dérouleront au sein de l'équipe « Conception, commande et diagnostic » du LGEP. Ils s'appuieront sur l'expertise de l'équipe dans les domaines de la modélisation, de la conception, de l'optimisation et de la commande des systèmes électriques. Ils bénéficieront également des partenariats déjà établis avec des industriels (PSA Peugeot Citroën, doctorat exécutif en cours).

### **Références de l'équipe :**

- *“Hybrid powertrain design using optimal control strategies Roy”, F. Roy, F. Ossart, C. Marchand – soumis à EVS27 Symposium, 27<sup>th</sup> Electrical Vehicle Symposium, Nov. 2013.*
- *“A distributed model predictive control scheme for reducing consumption of hybrid fuel cell systems” Mariethoz, S. ; Bethoux, O. ; Hilaiet, M. IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society - Digital Object Identifier: 10.1109/IECON.2012.6389175 - Publication Year: 2012 , Page(s): 868 - 873*
- *“Analyses of energy management strategies for a PEMFC/UC electric vehicle” Bethoux, O. ; Remy, G. ; Riera, J. ; Serra, M. ; Azib, T. - Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2012 IEEE - Digital Object Identifier: 10.1109/VPPC.2012.6422778 - Publication Year: 2012 , Page(s): 956 - 961*