

## Descriptif détaillé du projet de thèse

### I. Sujet de recherche choisi et contexte scientifique

La thèse s'inscrit dans le cadre du projet FUI Sural-Hy (Système de suralimentation hybride pour les moteurs à essence à fort downsizing) labélisé par I-Trans et Moveo. Le projet vise à développer une solution technologique innovante associant l'hybridation et la suralimentation électrique permettant d'améliorer la consommation des moteurs Essence en allant plus loin dans la voie du « downsizing ». La solution proposée est l'association d'un compresseur d'air électrique (aussi appelé e-Charger) visant à suralimenter le moteur à bas régime (en complément d'un turbo-compresseur) en association avec un système de récupération d'énergie électrique au freinage (système Valeo StARS+X) qui correspond à un alerno-démarreur et à un stockeur d'énergie (pack de super-capacités). Cette solution technologique permet de répondre aux attentes des constructeurs qui cherchent des solutions pour aller plus loin dans le downsizing des moteurs. Tout l'intérêt de cette solution technologique vient de :

- la disponibilité quasi instantanée de l'air de suralimentation et donc du couple, à bas régime,
- la « gratuité » de l'énergie électrique de suralimentation venant de la symétrie entre les phases de freinage (récupération d'énergie) et d'accélération (utilisation de l'énergie).

Pour ces simulations, un certain niveau de contrôle moteur et véhicule doit donc être représenté et adapté à chaque solution technologique. Il n'est pas prévu de réaliser chaque fois un développement spécifique, mais de retenir un niveau de complexité qui permette d'être représentatif des performances de l'architecture étudiée, et d'en dégager les avantages et inconvénients spécifiques d'un point de vue contrôle moteur. Cette analyse rentrera en compte pour dresser une comparaison exhaustive des différentes solutions.

En parallèle avec les études de simulation préliminaires conduites par LMS-Imagine et visant à dimensionner et à orienter le développement de la solution optimale StARS+X et e-Charger, une thèse sera initiée et se poursuivra au LAMIH (Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines) dans l'équipe Modélisation et Commande des Systèmes Industriels et Biomécaniques (MCSIB) sous la direction de TM Guerra. L'objet de la thèse sera de développer un simulateur complet du système considéré StARS+X et e-Charger, intégrant le moteur à combustion interne à allumage commandé, avec notamment des modèles physiques poussés pour les composants principaux (machine

électrique, stockeur d'énergie et compresseur électrique), de valider le modèle en lien avec les résultats expérimentaux qui seront obtenus au banc moteur.

Une fois le modèle défini, l'objet de la thèse sera de développer les lois de contrôles et de réaliser l'optimisation énergétique du système avec un objectif de consommation carburant minimale. Ainsi de réaliser les études paramétriques nécessaires à analyser la sensibilité des paramètres principaux (performance roue compresseur P/P-débit, vitesse de rotation de la roue compresseur, taille du stockeur d'énergie, profil de roulage, conditions de roulage, type de transmission, véhicule considéré  $\delta$  ), et d'analyser la robustesse du système aux variations paramétriques.

## II. Etat du sujet dans le laboratoire et l'équipe d'accueil

Le LAMIH intervient en Automatique sur les thèmes de recherche suivants :

- Modèles non linéaires, LMI, systèmes à retards, stabilité, stabilisation
- Gestion énergétique optimale des véhicules hybrides, observateurs non linéaires
- Analyse du mouvement humain
- Contrôle Moteur et Restauration Fonctionnelle

et dans les champs d'application suivants :

- Traction : motorisation hybride, moteur thermique avec EGR, pile à combustible
- Robotique mobile coopérative
- Biomécanique station debout, marche, apprentissage du geste sportif
- Simulation de mouvement E/S de véhicule par des personnes à mobilité réduite

Le LAMIH, laboratoire de recherche reconnue dans le domaine de l'automatique, apportera son expertise dans le domaine de la modélisation, du contrôle et de l'optimisation de systèmes. En particulier, l'axe automatique apportera ces compétences en ce qui concerne l'optimisation de lois de commande sur le système proposé.

## III. Programme et échéancier de travail

Le programme prévu pour le déroulement de la thèse est prévu en trois phases :

Oct. 2010 . Juil. 2011 :

- Etude en Simulation de différentes architectures de suralimentation pour moteur essence fortement « downsized »

Aout. 2011 . Juin. 2012 :

- Développement en simulation des stratégies de contrôle de la boucle d'air et d'optimisation énergétique
- En parallèle, identification et validation des modèles énergétiques sur les bancs de essais et démonstrateurs

Juil. 2012 . Sept. 2013 :

- Validation des lois de commande énergétiques sur les plateformes expérimentales
- Test de robustesse en utilisant différents scénarios

#### **IV. Retombées scientifiques et économiques attendues**

##### **Retombées scientifiques du projet**

Comme évoqué précédemment, la voie du downsizing des moteurs a été engagée par la grande majorité des constructeurs en Europe, suivi par le marché US, toutefois nous arrivons aujourd'hui à un seuil, 30% à 35% de réduction de cylindrée environ, qui pour être franchi nécessite la levée d'un certain nombre de verrous techniques que sont :

- L'augmentation de couple à bas régime
- La réduction du temps de disponibilité du couple maximum
- L'augmentation de la capacité de charge maximale des moteurs

Tout ce ceci doit se faire sans engendrer de dégradation de rendement par ailleurs (augmentation des frottements par augmentation de la charge, dégradation de l'avance à l'allumage, réduction du taux de compression, augmentation de la richesse  $\phi$ ), ce qui rendrait les solutions proposées inexploitable. Ce projet permettra à l'ensemble des partenaires, de valider la levée des verrous techniques et, dans son domaine de réaliser des innovations (architecture, produits, brevets  $\phi$ ) permettant d'aller plus loin dans la voie vertueuse du downsizing des moteurs.

Par ailleurs, ce projet s'inscrit pleinement dans la stratégie de hybridation et d'électrification du véhicule apportant une plus grande flexibilité d'utilisation et ainsi un meilleur rendement global. Ne pas oublier que ce projet apporte une solution innovante au downsizing en passant par de l'hybridation via une alterno-démarrreur BSG et un compresseur d'air électrique.

Plus spécifiquement pour le LAMIH, cette thèse doit permettre de mettre en œuvre et de renforcer son savoir faire dans le domaine de l'optimisation énergétique des groupes motopropulseur et d'accroître son rayonnement auprès des industriels du projet ainsi que au sein du pôle de compétitivité I-Trans.

### **Retombées industrielles et économiques du projet**

La solution technique proposée, vise à pouvoir placer un véhicule à moteur essence, de type Segment D entre 105g/km (4.4L/100kms) et 115g/km (4.8L/100kms) de émissions de CO<sub>2</sub> sur cycle normalisé européen (NEDC). Si le projet SURAL-HY confirme le positionnement technico-économique de la solution e-Charger & StARS+X, cela pourrait permettre d'engager des investissements industriels pour répondre au marché, sur les sites industriels suivants de la région **Nord-Pas de Calais** :

- Usine de Valeo Etaples, située dans le Nord, actuellement usine pilote StARS & StARS+X
- Usine de Douvrin, située dans le Nord, produisant actuellement le moteur essence D4F, entrée de gamme Renault

### **V. Collaborations prévues et liste des publications**

Les principales collaborations prévues sont celles mises en œuvre avec les différents partenaires dans le cadre du projet Sural-Hy. Les compétences de Valeo dans le domaine des systèmes électriques (machines et électronique) et des composants moteurs d'une part, de LMS-Imagine dans la simulation système moteur, de Renault en tant que fabricant d'automobiles et donc maître d'intégration des systèmes complexes, de THY Engineering dans le domaine du design de turbocompresseurs, du CRITT M2A dans le domaine des essais moteurs et turbomachines, de Kintesys dans le domaine du contrôle moteur et des lois de contrôle, du CEVAA dans le domaine de la vibro-acoustique, et enfin du LAMIH dans le domaine de l'automatique assurent une cohérence à ce partenariat pour le développement de cette thèse et de l'innovation associée.

LAUBER J., GUERRA T-M., DAMBRINE M. (2010). Air-fuel ratio control in a gasoline engine. *International Journal of Systems Sciences*, pp. 0-0.

KHIAR D., LAUBER J., GUERRA T-M., FLOQUET T., COLIN G., CHAMAILLARD Y. (2008). Turbocharged SI engine modelling and control strategy. *International Journal of Vehicle Design (Special Issue Advanced Traction/Braking Vehicle Control)*, 48 (3-4), pp. 255-270.

KHIAR D., LAUBER J., FLOQUET T., COLIN G., GUERRA T-M., CHAMAILLARD Y. (2007). Robust Takagi-Sugeno fuzzy control of a spark ignition engine. *Control Engineering Practice*, 15 (12), pp. 1446-1456.

DELPRAT S., LAUBER J., GUERRA T-M., RIMAUX J. (2004). Control of a parallel hybrid powertrain: optimal control. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 53 (3), pp. 872-881.

LAUBER J., GUERRA T-M., PERRUQUETTI W. (2003). IC Engine: tracking control of an inlet manifold with EGR. *SAE Transactions Journal of Passenger Cars: Electronic and Electrical Systems*, 20, pp. 913-917.

LAUBER J., PERRUQUETTI W., GUERRA T-M. (2003). Moteur thermique : suivi de trajectoire pour un collecteur en présence d'EGR. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 37 (8), pp. 955-973.

KERKENI H., LAUBER J., LENDEK Z., GUERRA T-M. (2008). Estimation de la richesse par cylindre d'un moteur à combustion interne. *IEEE CIFA*, Bucarest, Roumanie, septembre.

KERKENI H., LAUBER J., LENDEK Z., GUERRA T-M. (2008). Individual cylinder air/fuel ratio observer on IC engine using Takagi-Sugeno's fuzzy model. *IEEE VPP*, Harbin, Chine, septembre.

LAUBER J., KHIAR D., GUERRA T-M. (2007). Air-fuel ratio control for an IC engine. *IEEE Vehicle Power and Propulsion*, Arlington, Texas, USA, septembre.

KHIAR D., LAUBER J., GUERRA T-M., FLOQUET T., COLIN G., CHAMAILLARD Y. (2007). Control strategy design for a turbocharged SI engine. *European Control Conference ECC07*, Kos, Grèce, juillet.

KHIAR D., LAUBER J., GUERRA T-M., FLOQUET T., CHAMAILLARD Y., COLIN G. (2006). Nonlinear modeling and control approach for a turbocharged SI engine. *IEEE IECON06*, Paris, novembre.

KHIAR D., LAUBER J., FLOQUET T., GUERRA T-M., COLIN G., CHAMAILLARD Y. (2006). Observateur à entrée inconnue pour l'estimation du couple instantané d'un moteur essence. *IEEE CIFA'06*, Bordeaux, mai.

KHIAR D., LAUBER J., FLOQUET T., GUERRA T-M. (2005). An observer design for the instantaneous torque estimation of an IC engine. *IEEE VTS-VPP 05*, Chicago, USA, septembre.

LAUBER J., KHIAR D., GUERRA T-M., PERRUQUETTI W. (2004). Commande floue des systèmes à retards : application à la régulation de richesse. *IEEE CIFA 2004*, Douz Tunisie, novembre.

LAUBER J., GUERRA T-M., PERRUQUETTI W. (2004). LMI conditions for continuous uncertain TS models in closed-loop with an observer: application to engine speed control. *IEEE VTS-VPP 04*, Paris France, octobre.

PERRUQUETTI W., LAUBER J., GUERRA T-M. (2004). Sliding mode control of a time-varying delay systems: application to air-fuel ratio control. *Workshop IEEE Variable Structure System*, Villanova Espagne, octobre.

LAUBER J., GUERRA T-M., PERRUQUETTI W. (2003). Disturbance rejection using Takagi-Sugeno fuzzy model: application to an IC engine. *IMACS/IEEE CESA'03*, Lille, France, juillet.

LAUBER J., PERRUQUETTI W., GUERRA T-M. (2002). Moteur thermique : suivi de trajectoire pour un collecteur en présence d'EGR. *IEEE CIFA 2002*, Nantes, France, juillet.

LAUBER J., GUERRA T-M., PERRUQUETTI W. (2002). IC Engine: tracking control of an inlet manifold with EGR. *ATT 2002, SAE, Automotive Transportation and Technology*, Paris, France, juin.

DELPRAT S., GUERRA T-M., PAGANELLI G., LAUBER J., DELHOM M. (2001). Control strategy optimization for an hybrid parallel powertrain. *2001 American Control Conference*, Arlington, Virginie, USA, juin.

DELPRAT S., GUERRA T-M., LAUBER J., PAGANELLI G., DELHOM M., RIMAUX S. (2000). Optimal control theory applied to a parallel hybrid power train. *ISATA 2000*, Dublin, Irlande, octobre.

KHIAR D., LAUBER J., GUERRA T-M., FLOQUET T. (2005). Stabilisation d'une classe de système non linéaires incertains : application à une régulation de richesse. *JDMACS05*, Lyon, janvier.

LAUBER J., GUERRA T-M., PERRUQUETTI W. (2003). Stabilisation et rejet de perturbations à l'aide de modèles flous de type Takagi-Sugeno: application au moteur thermique. *JDA'2003*, Presses Universitaires de Valenciennes, Valenciennes, pp. 131-136, janvier.

LAUBER J., KHIAR D., COLIN G., GUERRA T-M., CHAMAILLARD Y., FLOQUET T. (2005). Commande en couple d'un moteur thermique. *Journée Automatique et Automobile GT GDR CNRS*, LAP, Bordeaux, janvier.

LAUBER J., GUERRA T-M., PERRUQUETTI W. (2003). Commande robuste floue pour un moteur thermique. *Journées Automatique et Automobile*, LAP Bordeaux, France, novembre.