

## DESCRIPTIF DETAILLE DU PROJET DE THESE

### Titre de la thèse (sujet de recherche) :

Diagnostic et observation robuste d'une classe de systèmes dynamiques hybrides. Application au convertisseur multicellulaire (embarqué) pour le transport.

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

- Au niveau du LAMIH, ce travail, s'inscrit dans le cadre de l'équipe MCSIB (Modélisation et Commande des Systèmes Industriels & Biomécaniques) en liaison avec l'axe commande. Notons que les thématiques : systèmes hybrides et observation robustes, sont fortes au sein de l'équipe. En effet, récemment ont été proposés des observateurs, par des membres de l'équipe MCSIB, reposant sur le principe de modes glissants, dont la convergence se fait en temps fini.

- Au niveau régional et national, dans cette action, nos travaux autour des SDH s'inscrivent dans le cadre des activités et préoccupations du groupe SDH du GDR MACS. Ils concernent différentes classes de SDH (systèmes à commutations avec ou sans saut, avec ou sans mémoire discrète, systèmes autonomes, ainsi que des systèmes avec des dynamiques continues et des dynamiques discrètes). Dans ce contexte, nos contributions portent sur le problème de la synthèse d'observateurs, de l'identification paramétrique et du diagnostic pour ces classes de systèmes.

- Au niveau international, et dans le cadre du CPER 2007-2013, le LAMIH pilote le Campus interdisciplinaire de recherche, d'innovation technologique et de formation à vocation Internationale centré sur la Sécurité et l'intermodalité des Transports de surface CISIT. Les travaux envisagés, s'inscrivent dans cette action. Ils visent à donner une recherche « amont » de haut niveau permettant de consolider la position du LAMIH dans ce domaine et à terme faire des validations expérimentales dans le domaine du transport où les notions de systèmes hybrides et de retards sont très présents (exemple : les entraînements électromécaniques, systèmes de conversion d'énergie, des réseaux de production et de distribution de l'énergie et des systèmes robotiques, des systèmes de transport, ...).

### Directeur de thèse :

Pr. Mohamed DJEMAI

Tel : 33(0)327511494, Email mohamed.djemai@univ-valenciennes.fr

Co-encadrant : Dr. Michael Defoort, MCF

Tel : 33(0)327511494, Email michael.defoort@univ-valenciennes.fr

-----

### Contexte scientifique :

Depuis les dix dernières années, le thème des systèmes dynamiques hybrides (SDH) connaît une évolution considérable. En effet, les communautés scientifiques des informaticiens et des automaticiens se rejoignent et une branche commune émerge. Ceci d'autant plus fort qu'il représente un enjeu économique d'envergure dans les technologies de l'information et de la communication.

Un système dynamique hybride est un système faisant intervenir explicitement et simultanément des phénomènes ou des modèles de type dynamique continu et événementiel (Figure 1). Un SDH permet de représenter globalement l'interdépendance d'éléments dynamiques continus-discrets au sens classique d'équations différentielles ou d'équations aux différences, soumis à des éléments décisionnels discrets ou à événements discrets qu'ils soient de types déterministes et/ou stochastiques. De telles représentations sont caractéristiques de diverses situations :

- Couplage entre un niveau décisionnel discret et des dynamiques continues ; c'est le cas de la commande hiérarchisée de systèmes de transport par exemple.
- Couplage intervenant lors d'une synthèse par bouclage avec multi-régulateurs où le choix du régulateur dépend du comportement lié au point de fonctionnement du système ; c'est le cas par exemple de la commande multi-objectifs.
- Couplage entre différents modes de système incluant des commutations entre ces différents modes ; c'est le cas d'un système faisant intervenir des commutateurs (ou une diode) par exemple
- Système continu commandé en mode de fonctionnement sain ou dégradé, ici la variable discrète est stochastique et représente la défaillance.

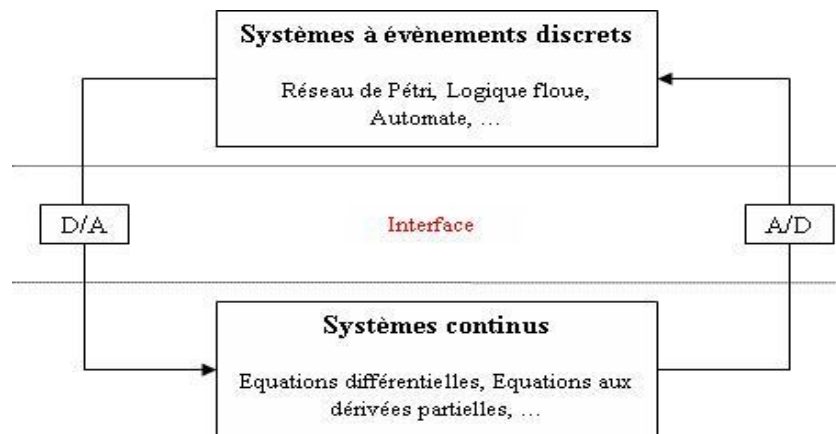


Figure 1 : Composition d'un SDH

Dans la pratique, parmi les systèmes les plus souvent rencontrés, on trouve les systèmes multi-modèles, regroupant plusieurs sous-modèles résultant soit d'une partition de l'espace d'état (systèmes linéaires par morceaux), soit des systèmes avec un changement de paramètres selon un signal le plus souvent discontinu et provenant d'une logique de décision (systèmes à commutations avec ou sans mémoire), soit des systèmes avec des éléments en commutations. Cette dernière catégorie inclue des éléments de commutations comme les relais, les zones mortes ou les hystérésis.

Les techniques traditionnellement employées pour l'étude des SDH présentant un comportement cyclique en régime permanent sont à base de modèles moyens ou de modèles échantillonnés linéarisés. Ces deux méthodes présentent différents problèmes : portée limitée pour les modèles moyens, problème lorsque la séquence des modèles est a priori inconnue pour les modèles échantillonnés. Néanmoins, des résultats récents concernant l'étude des SDH conduisent à envisager l'application de plusieurs techniques hybrides à base de commande optimale, de commande prédictive et de commande par modes glissants d'ordre un. Par conséquent, la synthèse de lois de commandes prenant en compte le caractère hybride du système est un objectif réaliste. L'implantation de ces lois passera nécessairement par la reconstruction de l'état complet à partir de mesures partielles. Ce problème est d'un intérêt pratique et économique indéniable (réduction du nombre de capteurs, diagnostic, etc.) et il est loin d'être résolu. Seuls quelques résultats concernant la classe des systèmes affines par morceaux existent.

Une classe particulièrement intéressante de SDH en termes d'applications est formée par les convertisseurs multicellulaires, qui peuvent facilement être embarqués et utilisés dans des domaines tels que les réseaux de transport, la traction ferroviaire, la propulsion de navire (navire grande vitesse), les distributions d'énergie. Ceci est dû aux besoins de plus en plus forts en termes de puissance et de rendement. En effet, l'apparition de structures de conversion multi-niveaux depuis le début des années 1980 assure la répartition de la contrainte en tension sur les différentes cellules tout en améliorant les formes d'onde (spectres harmoniques) des grandeurs de sortie. Ce sont des systèmes électriques qui contiennent des éléments en commutation et forment une classe de systèmes technologiques très répandue qui présente la caractéristique d'être à commutations.

## **Le programme et l'échéancier de travail:**

L'objectif général est de développer des outils pour l'observation et le diagnostic permettant de favoriser l'utilisation des convertisseurs multicellulaires pour assurer les fonctions de commande moteur dans le domaine des transports.

Récemment ont été proposés des observateurs, reposant sur le principe de modes glissants, dont la convergence vers le système dynamique réel (et donc la reconstruction) se fait en temps fini. Après une période d'initialisation, l'observateur reconstruit exactement l'état du système dynamique réel à observer à condition que celui-ci appartienne à la classe des systèmes sous forme canonique observable. Cette nouvelle approche ouvre la voie à de nombreuses applications dont le diagnostic. Cependant, cette classe de systèmes est encore trop restreinte pour être pleinement utilisable. C'est pourquoi, l'un des objectifs de cette thèse est de synthétiser des observateurs en temps fini pour une classe plus générale de systèmes, notamment les systèmes perturbés et une classe de SDH en utilisant par exemple les modes glissants d'ordre supérieur avec action intégrale et/ou des arguments de majoration sur les fonctions de Lyapunov.

Il s'agira dans le cadre de cette thèse d'initier ce travail, par ordre plus ou moins chronologique :

- Etude bibliographique sur l'observation des SDH,
- Développement de la maquette du laboratoire (amélioration et finalisation de la maquette du convertisseur multicellulaire déjà présente au sein du laboratoire),
- Observation robuste pour une classe de systèmes dynamiques hybrides en utilisant des techniques de modes glissants,
- Application des résultats au diagnostic du convertisseur multicellulaire,
- Tests de validation

## **Retombées scientifiques et économiques attendues**

Le problème d'observation et de diagnostic des structures de convertisseurs multicellulaires est un défi technologique particulièrement important et d'actualité. Les difficultés théoriques sous-jacentes en font aussi un verrou scientifique très intéressant. Une étude théorique approfondie sera nécessaire pour proposer des algorithmes d'observation et de diagnostic génériques et performants. L'objectif est d'aller plus loin que la démarche actuelle qui consiste à utiliser des modélisations simplifiées ne prenant pas en compte explicitement la complexité de ces systèmes. Afin de tenir compte de cette réalité, la synthèse d'outils d'observation et de diagnostic doit être robuste vis-à-vis de différents types d'incertitudes en tenant compte des variations de la charge et des perturbations. Ceci permet de réaliser un système offrant une grande sécurité d'utilisation. Enfin, augmenter la disponibilité de tels systèmes consiste à mettre en œuvre des actions de prévention et de détection et localisation de défauts.

La retombée ultime serait de mettre en place un outil de diagnostic fiable afin de favoriser l'utilisation des convertisseurs multicellulaires dans le domaine du transport.

### Liste des publications portant directement sur le sujet :

1. H. Saadaoui, N. Manamanni, M. Djemaï, J.P. Barbot and T. Floquet, *Exact differentiation and sliding mode observers for switched Lagrangian systems*, in Nonlinear Analysis : Theory, Methods & Applications, special issue : Hybrid Systems and Applications, Ed. Elsevier, Volume 65, Issue 5, Pages 1050-1069, **2006**.
2. O. Benzineb, K. Benmansour, M. Djemaï, M. Tadjine and M.S. Boucherit, *Real time evaluation of adaptive / Hybrid Observer for Three Cells Converter*, In Med. J. of Measurement and Control, Vol. 4, N° 2, pp. 76-85, April, **2008**.
3. A. Mezhoud, S. Maradi, K. Benmansour, M. Djemaï and M. Tadjine, *On hybrid observability and sliding mode observer in Three Cells Converter*, Archives of Control Sciences, ACS, **2009**.
4. M. Djemai, K. Busawon K. Benmansour, and A. Maarouf, *Design and Implementation of a high order sliding mode controller for a DC motor using a multi-cellular converter*, 3rd IFAC Conference on Analysis and Design of Hybrid Systems (ADHS'09), Zaragoza, Spain, September 16-18, **2009**.
5. M. Defoort, M. Djemai, T. Floquet and W. Perruquetti, *Robust finite time observer design for multicellular converter*, Special Issue of IJSS on VSS methods for Hybrid Systems, 2010, .(**Accepted**)
6. M. Defoort and M. Djemai, *Synthèse d'un observateur en temps fini pour le convertisseur multicellulaire*, Conf. Int. Francophone d'Automatique, Nancy, France, Jun. **2010**.