

# Surveillance, Diagnostic et Pronostic en Temps Réel de Systèmes Hybrides : Application à des Bancs d'Essais CERTIA.

**Jawad KARIM**

*Directeur (s) de thèse :* Michel COMBACAU et Carine JAUBERTHIE

*Laboratoire d'accueil :*

LAAS-CNRS Groupe DISCO  
7, avenue du Colonel Roche  
31077 Toulouse

*Établissement d'inscription :*

Université Paul Sabatier  
118, route de Narbonne  
31062 Toulouse cedex 4

*Entreprise d'accueil :*

CERTIA  
ZA La Varenne-5, rue des artisans  
93196 Noisy-le-Grand cedex

**Résumé—Ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre des travaux de R&D au sein de CERTIA et vise à développer une démarche de conception d'un système automatique pour l'autodiagnostic et la maintenance préventive et prédictive en temps réel des bancs d'essais. La mise en œuvre de ce projet de recherche apportera une réponse appropriée aux besoins du maintien en mode opérationnel des machines tout au long de leur vie, ce qui permettra d'en améliorer la fiabilité, la sécurité et la disponibilité.**

**Mots-clés—Détection de défaillances, diagnostic, pronostic, modèle hybride, système autonome embarqué, système temps réel.**

## I. PROBLÉMATIQUE

Au cours de ces dernières années, le maintien en mode opérationnel des systèmes industriels est l'un des problèmes stratégiques qui se posent à l'industriel, depuis la conception d'une machine jusqu'à son exploitation. Aussi, la complexité et les contraintes dictées par les cahiers des charges imposent de faire un saut technologique en utilisant des moyens et des méthodes performantes pour améliorer la qualité des services.

Le moyen d'essai moderne est un processus combinant des technologies qui relèvent des plusieurs domaines, tel que la mécanique, l'hydraulique, la thermique, l'électronique et des technologies de l'information de plus en plus complexes. De ce fait, les bancs d'essais dont la complexité croît constamment, devenant des systèmes sensibles au vieillissement, à l'usure et à des défauts accidentels. Suite à ce développement, le support technique sera de plus en plus fréquemment confronté à des symptômes plus complexes (interactions de composants, défauts multiples, dégradation dans le temps, etc.). Les causes d'une panne pourront alors être

masquées. D'autant que la majorité des cas réels que l'on rencontre aujourd'hui se composent de pannes multiples, et fugitives. La supervision, composée de plusieurs fonctions (détection, diagnostic, pronostic, décision, reprise, etc.) nécessite la mise en œuvre de nouveaux outils propres à soutenir le service de support technique en apportant une aide au niveau fonctionnel du système en cause. Il est également nécessaire de prendre en compte les besoins du diagnostic dès la phase de conception d'une machine.

Ainsi CERTIA souhaite automatiser l'ensemble des opérations visant à la surveillance des éléments composant le banc d'essai. Ces objectifs sont ceux visés par des techniques de traitement des défaillances en ligne : surveillance de l'installation (principaux paramètres, comportements locaux, objectifs de la mission), détection des dysfonctionnements, localisation de l'élément à l'origine du défaut et identification du défaut (causes ayant conduit à la défaillance). Ces fonctions de base sont le socle sur lequel la sécurité opérationnelle du banc peut être notablement améliorée par des techniques de reconfiguration automatiques, notamment la plus simple consistant à arrêter en douceur (smooth shutdown) le processus en cours.

## II. OBJECTIF DES TRAVAUX

L'objectif de notre travail est de concevoir un système de diagnostic en temps réel (détection, isolation, et identification de fautes) fiable permettant de réduire les coûts de maintenance et ouvrir des nouveaux services tels que la maintenance préventive et/ou prédictive, la télésurveillance, la commande tolérante aux fautes...etc. Ainsi, nous pouvons bénéficier du retour d'expérience sur les pannes constatées.

Le premier objectif à remplir par ce système de surveillance et de supervision consiste à sécuriser les bancs d'essais et augmenter leurs disponibilités. Détecter le plus tôt possible toute déviation de comportement de la

machine par rapport à celui prévu est indispensable pour la mise en œuvre des actions préventives et correctives. Cette première fonctionnalité est assurée par la fonction de détection. Après avoir détecté une défaillance, la fonction diagnostic devient alors une tâche essentielle, qui consiste à localiser et éventuellement à identifier les défaillances et/ou les défauts qui affectent le système.

Notre démarche consiste à élaborer une approche de diagnostic temps réel qui tire partie des deux approches DX (communauté d'Intelligence Artificielle) et FDI (communauté de l'Automatique) basé sur la modélisation hybride de la machine. En effet, le diagnostic dit à base de modèles (model-based) repose sur une modélisation comportementale et structurelle du système à diagnostiquer, et son principe consiste à comparer le comportement prédit issu d'un modèle de représentation (de bon fonctionnement), au comportement réellement observé, afin de détecter les incohérences et en déduire les causes de dysfonctionnement (défauts d'instrumentation "capteurs ou actionneurs" ou défaut du processus "commande, Système d'information, etc."). Le maintien d'un bon fonctionnement de l'ensemble passe donc par la mise en place d'outils de détection des défaillances éventuelles et de systèmes de commande robuste tolérante face à ces pannes. De nombreux auteurs ont abordé le domaine de la surveillance industrielle mettant ainsi en évidence l'intérêt croissant manifesté par la communauté scientifique et les industriels par rapport à cette problématique. Nous pouvons citer les travaux suivants : [1] [2] [3] [4].

### III. ÉTAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX

Durant cette première année de thèse, nous nous sommes d'abord concentrés sur une étude bibliographique de l'existant en matière de diagnostic des systèmes industriels. Cette étude est structurée en deux grandes parties : La première définit la problématique, les objectifs scientifiques et industriels, et le contexte des travaux. Nous avons présenté aussi de manière détaillée l'organisation globale du projet. Cette partie décrit, également, les spécifications techniques de l'architecture logicielle et matérielle du système d'autodiagnostic temps réel ; La deuxième partie propose un tour d'horizon des systèmes dynamiques hybrides et de leurs sûretés de fonctionnement. Elle présente les différentes méthodes de diagnostic de défaillances et leurs applications. Plus spécifiquement, on a abordé les différentes approches du diagnostic à base des modèles développés par les différentes communautés de recherche. Cette synthèse bibliographique nous a permis d'une part de mieux cerner le sujet de thèse et davantage s'orienter, et d'autre part de justifier le choix des approches à base de modèle, elle a fait l'objet d'un rapport LAAS [5].

A l'issue de cette synthèse bibliographique, un benchmark a été développé. L'objectif recherché est de pouvoir élaborer des modèles de composants à surveiller en tenant compte du plus grand nombre possible

d'éléments présents dans les bancs d'essais CERTIA. Le benchmark est appelé à appuyer l'analyse et l'étude des méthodes de détection de défaillances, de diagnostic, et de surveillance dans un milieu virtuel et servira pour dimensionner la structure de diagnostic. Il évoluera tout au long de l'étude. Ces méthodes seront intégrées dans l'application d'autodiagnostic qui sera soumise à différentes sollicitations, ainsi étudier son comportement en présence de défauts. La campagne de simulation sera structurée suivant un plan d'essais (ou plan d'expérience), ce plan va permettre de déterminer quels sont les essais les plus significatifs à effectuer pour étudier et valider les méthodes de diagnostic. Il tient compte des paramètres mis en jeu et du niveau de précision que l'on souhaite atteindre dans la connaissance du système.

Le benchmark (Figure 1) est composé d'un vérin de charge commandé par une servovalve qui a pour objectif de maintenir un effort constant au niveau de l'inertie à laquelle il est lié. En terme de commande, il s'agit de réguler l'effort du vérin de charge autour de sa consigne en agissant sur le courant de la servovalve afin de contrer les déplacements induits par l'actionneur avion.

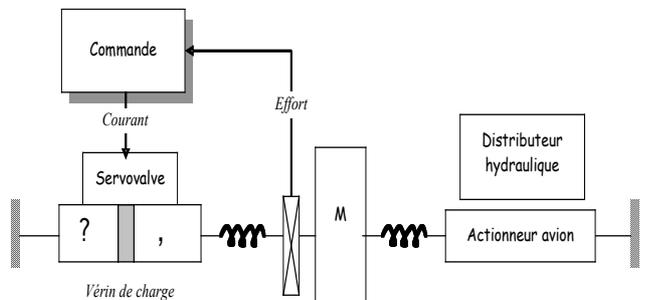


Figure 1 : synoptique du benchmark

### IV. CONCLUSION

Dans le cadre de notre application (les bancs d'essai) cette démarche (diagnostic à base de modèle) s'avère appropriée. En effet, dans le cadre de la réalisation de nos bancs d'essais. Nous utilisons une méthodologie de conception intégrée. Cette conception s'appuie sur la modélisation et la simulation dynamiques, mise au point dans le cadre de l'étude d'optimisation des asservissements d'effort, ainsi cette démarche a permis de bâtir une bibliothèque de modèles de composants constituant le banc, ces éléments sont issus de différents domaines de la physique (mécanique, hydraulique, électrique, etc.). Il est alors possible de réutiliser ces modèles de manière évolutive pour le diagnostic. Ce retour d'expérience a permis en outre de justifier le choix des approches à base de modèle, sous l'angle technique et économique. Nous envisageons donc, pour faire face aux différents aspects de complexité du procédé exposés, de nous inspirer des approches quantitatives et/ou qualitatives à base de modèle.

Notre objectif étant que cette approche s'intègre aux systèmes de commande/surveillance en temps réel embarqué sur les machines (bancs d'essais), et qui repose sur une modélisation comportementale du système essentiellement hybrides.

### Références

- [1] J. Zaytoon et coll, "les systèmes dynamiques hybrides,". Hermes sciences Publications-Paris, 2001.
- [2] M. Basseville, M.O. Cordier, "Surveillance et diagnostic de systèmes dynamiques : approches complémentaires du traitement du signal et de l'intelligence artificielle," Publication IRISA, no. 1004, 1996.
- [3] L. Travé-Massuyès, P. Dague, F. Guerrin , "Le raisonnement qualitatif pour les sciences de l'ingénieur," Hermes, paris, 1997.
- [4] J. De Kleer, B.C Williams, "Diagnosing multiple faults," Artificial intelligence 32(1), p.97-130, 1987.
- [5] J. Karim, " SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE : Surveillance, Diagnostic et Pronostic en Temps Réel de Systèmes Hybrides : Application à des Bancs d'Essais CERTIA" Rapport interne, 2006.