

## **Estimation du RUL et décision post-pronostic d'un système piles à combustible multi-stacks**

Présentation : Marine JOUIN

Contributeurs :Rafael GOURIVEAU, Nathalie HERR, Daniel HISSEL, Marine JOUIN, Jean-Marc NICOD, Marie-Cécile PERA, Christophe VARNIER, Nouredine ZERHOUNI

*Institut FEMTO-ST, Fédération FCLAB  
UBFC (UFC/CNRS/ENSMM/UTBM)*

Nous considérons dans cette présentation un système piles à combustibles composé de différents « stacks » (sources élémentaires) contribuant dans leur ensemble à la fourniture d'un service énergétique.

Le profil de mission et les conditions opératoires de chaque stack impactent naturellement la durée de vie de celui-ci, mais affectent également le service dans son ensemble. Par suite, définir une stratégie d'utilisation du système piles à combustible pour satisfaire un service n'est pas intuitif, et c'est le système vieillissant dans son ensemble qui doit être considéré. Les travaux présentés s'articulent ainsi autour de deux axes fortement complémentaires.

Nous proposons d'abord une approche de pronostic de pile à combustible permettant d'estimer la durée de vie résiduelle de celle-ci en fonction d'un profil de mission stationnaire ou variable. Nous exploitons à ce niveau un modèle de comportement dont les paramètres (évoluant avec le temps et la dégradation) sont identifiés par l'algorithme des moindres carrés et adaptés par filtrage particulaire.

Sur cette base, nous formulons une décision post-pronostic afin de satisfaire un objectif d'ensemble : définir une stratégie d'engagement individuel (de chacun des stacks) pour optimiser la durée de vie du système complet. Nous développons à ce niveau une approche d'optimisation basée sur la programmation linéaire en nombres entiers permettant de tendre vers l'optimal théorique.

## **Modélisation de la phase de démantèlement d'un système complexe**

Eric Villeneuve et François Pérès INPT-ENIT

La gestion de la fin de vie des systèmes complexes devient une préoccupation majeure pour les constructeurs, du fait d'une part des enjeux liés au développement durable de plus en plus importants et, d'autre part, des perspectives de profits économiques qu'offrent la valorisation de ces systèmes. Le thème de la présentation s'inscrit dans ce cadre et adresse en particulier la problématique du démantèlement d'aéronefs en fin de vie. Deux approches seront considérées.

La première aborde le problème de la détermination du bon niveau de déconstruction consistant à définir les produits valorisables à obtenir à partir du système, leur filière de valorisation et les opérations permettant de les obtenir. Une démarche de modélisation des trajectoires de déconstruction est introduite permettant d'intégrer différentes sources d'incertitude inhérente au domaine de la gestion des systèmes en fin de vie. Cette approche est basée sur l'utilisation des réseaux bayésiens pour l'analyse et l'optimisation des meilleures stratégies.

La deuxième s'inscrit dans le cadre de la gestion des connaissances appliquée à la déconstruction des avions en fin de vie avec pour objectif l'aide à la décision par l'évaluation des risques. Pour répondre à cet objectif, nous avons développé des mécanismes d'aide à la décision hybridant les retours d'expérience statistique et cognitif pour évaluer les risques sur les zones critiques d'un système. L'approche proposée permet la combinaison des avis d'experts du domaine avec des statistiques issues d'une base de données en utilisant les fonctions de croyance. L'évaluation des risques est réalisée par le traitement des connaissances combinées au moyen d'un modèle utilisant les réseaux évidentiels dirigés

## **Modélisation de la détérioration basée sur les données de surveillance conditionnelle et estimation de la durée de vie résiduelle**

Thanh Trung LE, Florent CHATELAIN, Christophe BERENGUER

Univ. Grenoble Alpes, GIPSA-lab, F-38000 Grenoble, France

CNRS, GIPSA-lab, F-38000 Grenoble, France

Les travaux de recherche présentés dans cette présentation s'inscrivent dans le cadre du projet Européen SUPREME « SUSTAINABLE PREDICTIVE MAINTENANCE FOR PRODUCTION EQUIPMENT ». Le but principal est de développer des outils avancés pour la maintenance prédictive afin d'améliorer l'efficacité et de réduire le temps d'arrêt et la consommation d'énergie des équipements de production. Etant une étape avancée de la maintenance conditionnelle, la maintenance prédictive se base non seulement sur l'information de diagnostic mais aussi sur la prédiction de l'évolution du niveau de détérioration et/ou de la vie résiduelle (Remaining Useful Life - RUL) de l'équipement. Pour ce faire, la modélisation des processus de détérioration et l'estimation de la RUL jouent un rôle très important.

Dans cette présentation, on s'intéresse particulièrement sur la modélisation de la détérioration où multiple modes de détérioration coexistent et concourent même dans un seul composant. Cette situation peut se produire souvent dans la réalité, surtout quand l'équipement fonctionne dans un environnement dynamique où il y a plusieurs facteurs qui peuvent affecter son processus de détérioration. Pour prendre en compte telle coexistence des différentes modes de détérioration, on propose dans cette présentation des modèles de type multi-branche basés sur le modèle d'espace d'état. Deux classes de modèle seront présentées. La première modélise la santé de l'équipement par des états discrets comme l'état normal, l'état dégradé ou l'état de défaillance, etc. Alors que la seconde considère que les indicateurs de santé de l'équipement sont continus. A travers des études numériques, on montre l'intérêt et les avantages des modèles de type multi-branche en estimant la RUL, en particulier quand on les compare avec des modèles standards qui sont monobranche.

## **Hybrid Dynamic Classifier for Single and Multiple Drift-like Fault Diagnosis in a Class of Hybrid Dynamic Systems: Application to Wind Turbine Converters**

Houari Toubakh, Moamar Sayed-Mouchaweh

Mines-Douai, IA, 59500, France

Hybrid dynamic systems (HDS) combine both discrete and continuous dynamics. Discretely Controlled Continuous Systems (DCCS) is an important class of HDS in which the system switches between several discrete modes in response to discrete control events issued by a discrete controller. Their continuous dynamics depend on the discrete mode in which the system is. Wind turbine converters are an example of DCCS. Faults in converters may impact significantly the availability and the production performance of wind turbines. These faults can occur as a gradual abnormal change in the values of parameters describing the system continuous dynamics in a discrete mode. In this case, they entail a drift in the system operating conditions until the failure takes over completely. Detecting this drift in early stage allows reducing the power production losses as well as the wind turbine unavailability and maintenance costs. However, this drift can be observed only when the system is in the discrete modes where the continuous dynamics described by the affected parameters are active. Consequently, this paper proposes an approach based on the use of hybrid dynamic classifier able to monitor a drift in normal operating conditions of the converter in discrete modes where the continuous dynamics are impacted by a single or multiple parametric fault. This allows keeping the useful patterns representative of the drift and therefore to detect it in its early stage.