

Model Ageing Fuel cell System

Encadrement

- Directeur de thèse : Samir Jemei (MCF HDR UBFC, FEMTO-ST/ENERGIE, 50%).
- Encadrante : Nadia Steiner (MCF UBFC, FEMTO-ST/ENERGIE, 50%).

Spécialité

Sciences – Diplôme de Docteur de Génie Electrique.

Mots clés

Système Pile à Combustible, Défaut, Modèle de Vieillessement, Pronostic, Décision, Système multi-stack.

Contexte général de la thèse

Le déploiement à grande échelle de la pile à combustible (PAC) ne se fera que si elle est suffisamment compétitive face aux autres solutions conventionnelles. On résume souvent les principaux verrous à lever dans le tryptique coût-performance-durabilité : en effet, il est essentiel que ces nouvelles technologies puissent, à coût non-prohibitif, offrir une continuité de service et garantir des performances acceptables pour les utilisateurs. Cela passe forcément par le développement de systèmes robustes, tolérants aux défauts et résistants au vieillissement.

C'est un point central à étudier en amont, couplé à la mise au point d'indicateurs fiables de leurs défaillances. Ainsi, il est important d'appréhender son fonctionnement et son contrôle afin de ralentir les dégradations avant l'apparition d'une défaillance. Pour cela, la discipline du Prognosis and Health Management (PHM) permet de suivre et d'estimer en continu l'état de santé d'un système, de prédire sa durée de vie résiduelle, et de prendre les décisions visant à la préserver afin de mener à bien sa mission.

L'équipe SHARPAC du département Energie mène de nombreux travaux sur le pronostic de PAC depuis de nombreuses années qui ont notamment permis de conforter son assise internationale sur ces sujets et d'obtenir des résultats probants.

Néanmoins, une pile à combustible doit être entourée d'un certain nombre d'auxiliaires pour fonctionner correctement. Nous parlons alors de Système Pile à Combustible (SPAC) qui est multi-physique et multi-échelle et de fortes interactions existent entre les composants du système. Il convient donc d'appréhender le vieillissement de chacun des composants ainsi que les différentes interactions afin d'obtenir un modèle de vieillissement global : Il sera alors possible d'établir le pronostic du système pile à combustible.

Aujourd'hui et à notre connaissance, ce type de modèle n'existe pas dans la littérature tout comme le pronostic d'un système pile à combustible. Ce travail de thèse permettra d'explorer ces différentes voies grâce à l'appui des compétences développées autour de la pile à combustible et de son pronostic depuis de nombreuses années au sein de notre équipe.

Objectifs scientifiques

Les objectifs principaux de cette thèse concernent, en premier lieu, l'établissement d'un modèle de vieillissement du système PAC puis de fournir la durée de vie restante du système grâce au pronostic et enfin de déterminer des lois de stratégie d'engagement visant à augmenter la durée de vie du système PAC. Plusieurs volets seront traités :

- **Essais expérimentaux longues durées** sur les composants du système. Des campagnes d'essais de longues durées seront menées afin de générer des bases de données conséquentes nécessaires à l'établissement et à la validation des modèles. Les essais concerneront principalement les éléments ayant des parties tournantes tels que le groupe moto-compresseur et la pompe du circuit de refroidissement. Le système d'humidification des gaz devra également être considéré.
- **Modélisation et lois de vieillissement** des composants. Les données expérimentales couplées à la connaissance physique des composants devront permettre d'établir un modèle hybride de vieillissement de chaque élément du système considéré.
- **Modèle de vieillissement du système PAC et interactions du vieillissement des composants.** Les systèmes PAC, de par leur technologie, ont des comportements difficilement appréhendables. La nature non linéaire des phénomènes, le caractère réversible ou non des dégradations, et les interactions entre composants rendent effectivement difficile une étape de modélisation de vieillissement [2]. Il est donc nécessaire de **développer un modèle complet de vieillissement** d'un système PAC en fonction des conditions opératoires.
- **Lois de propagation/évolution des défauts dans le temps (hypothèse : pas de bouclage avec le décision).** La dynamique des dégradations est plutôt lente alors qu'un défaut est plutôt détectable rapidement. Il peut s'avérer difficile de dissocier ce qui est de l'ordre d'une réponse instantanée d'un défaut de ce qui est dû à la dégradation. Il est donc important de développer des lois de propagation des défauts existants qui décrivent le comportement du

système PAC en tenant compte de l'influence de la dégradation sur l'état du système. Ces lois devront être intégrées dans le modèle global de vieillissement.

- **Pronostic du système PAC.** Le pronostic du système PAC sera développé en s'appuyant sur des méthodes hybrides (model-based and data-based) développées dans notre équipe [5, 6, 7]. La nouveauté consisterait, ici, de définir un pronostic prenant en compte des lois de propagation des défauts dans le temps. L'autre volet innovant est de faire du pronostic d'un système multi-PAC. En effet, afin d'être au plus proche des développements industriels actuels, nous nous plaçons dans le cadre d'un système PAC modulaire composé de plusieurs PAC.

- **Engagement des PAC.** L'utilisation d'un système multi-PAC permettra, entre autre, d'augmenter la durée de vie du système global en prenant en compte les états de santé de chacune des PAC composants le système. En effet, le but est de définir l'engagement des différentes PAC en fonction de leur vieillissement et du profil mission à respecter.