



**Sujet de Thèse de Doctorat en co-tutelle (ETS Montréal – U Lille)
Partenaires industriels IREQ et EDF R&D**

**Outil de modélisation numérique pour l'investigation de défauts dans les
alternateurs hydrauliques.**

Contacts : **Abdelmounaïm Tounzi (U Lille – L2EP) abdelmounaim.tounzi@univ-lille.fr**
Antoine Tahan (ETS – Dépt de mécanique) Antoine.Tahan@etsmtl.ca
Jean-Pierre Ducreux (EDF R&D) Jean-pierre.ducreux@edf.fr
Arezki Merkhouf (IREQ) merkhouf.arezki@ireq.ca

Contexte

Les alternateurs utilisés dans les centrales hydrauliques sont principalement constitués de machines synchrones à pôles saillants à grand nombre de paires de pôles. Comme toute machine de puissance, le suivi de leur état de fonctionnement et la détection précoce d'éventuels défauts permet d'assurer leur longévité mais également de maintenir une continuité de fonctionnement qui peut s'avérer primordiale. Dans le cas du diagnostic, plusieurs approches sont proposées par des industriels pour pouvoir détecter divers défauts tels les excentricités statiques, dynamiques ou encore des courts-circuits rotoriques. Ces approches sont généralement basées sur la mesure et l'analyse de grandeurs physiques (vibrations, champ rayonné, induction d'entrefer ...) mais nécessitent évidemment une connaissance préalable des signatures des défauts à détecter. Par ailleurs, chacune d'entre elles présente des avantages et des inconvénients avec une fiabilité de détection qui peut être altérée par plusieurs paramètres inhérents à la machine, suite aux imperfections dues à la construction et/ou aux contraintes de fonctionnement, et/ou à l'éventuelle occurrence d'autres défauts que celui à diagnostiquer.

La robustesse de la détection nécessite donc de disposer de signatures des défauts avec des indicateurs sur leurs sévérités et des seuils d'alerte mais également de pouvoir discriminer entre des défauts simultanés et quantifier l'impact de variations géométriques et/ou physiques (conductivité des barres amortisseur par exemple).

Pour pouvoir constituer une base de signatures de défauts, la modélisation numérique par éléments finis constitue aujourd'hui l'approche la plus adaptée. En effet, cette

approche tient compte des caractéristiques géométriques et de matériau de manière précise et permet de modéliser une machine donnée dans différents cas de fonctionnement, sains et en défauts, et d'aboutir ainsi à l'évolution de diverses grandeurs. Toutefois, cette modélisation s'effectue sur la base des valeurs 'nominales' des différents plans de construction de la machine et requiert bien évidemment leurs connaissances pour chaque machine étudiée. Dans l'optique du déploiement d'une méthodologie de diagnostic sur la globalité du parc hydraulique, ce dernier point peut constituer une difficulté de taille. En effet, la mise en place des alternateurs de ce parc s'est étalée sur des décennies. Par conséquent, les machines sont issues de plusieurs fabricants avec des technologies différentes et, dans certains cas, les données nécessaires à leur simulation ne sont disponibles que de manière fragmentaire.

Dans ce contexte, l'objet des travaux projetés est de se doter d'un outil de modélisation numérique générique applicable à une grande majorité des machines existantes qui permet de simuler le fonctionnement de ces dernières en présence de différents défauts et de pouvoir, d'une part, quantifier l'effet d'un défaut donné sur diverses grandeurs d'intérêt et, d'autre part, investiguer l'impact de diverses imperfections sur ces grandeurs.

Outre un gain de temps pour effectuer de nouvelles simulations, un tel outil permettrait

- d'étudier la sensibilité de quelques variables mesurables à l'occurrence d'un défaut et de déterminer l'éventuelle corrélation entre l'évolution de ces variables et la sévérité du défaut.
- De quantifier l'influence de divers paramètres géométriques de la machine sur ces variables en régime sains et en défauts
- De déterminer la grandeur, ou l'ensemble de grandeurs, la plus propice à la détection d'un défaut donné.
- De statuer sur les possibilités de discrimination entre divers défauts dans le cas d'une machine idéale puis en présence d'imperfections (machine réelle)
-

Déroulement

Ces travaux nécessiteraient les étapes suivantes :

- Au travers de l'analyse des alternateurs des parcs d'EDF et d'Hydro-Québec, recenser les principales technologies des machines utilisées
- Développer un outil numérique paramétré dédié permettant de générer automatiquement les géométries des principales technologies retenues en 2D
- Développer un outil numérique pour générer les bobinages en fonction de séquences d'enroulement tout en prévoyant la possibilité d'y inclure des contournements de bobines (pontages) à modéliser
- Modéliser les machines en fonctionnement sains et investiguer l'effet de quelques-unes des imperfections et/ou des détails géométriques (Taille et géométrie des encoches, entrefer parasite introduit par la liaison à la jante, rayon de courbure des pôles, hauteur et largeur des barres d'amortisseurs ou diamètre et position des barreaux amortisseurs, saillance de pôles, ovalisation du stator ...)
- Développer un outil pour générer des défauts 'courants' (excentricités statiques, dynamiques, combinées, courts-circuits rotoriques)

- Etudier l'impact des défauts sur les grandeurs suivantes : Induction d'entrefer, champ rayonné, tensions, courants de phase et de circulation, courant du Neutre
....
- Quantifier l'impact des imperfections et/ou des détails géométriques sur les grandeurs d'intérêt
- Etudier l'influence du point de fonctionnement (à vide et pour différentes charges)

Suivant les avancées des travaux, d'autres défauts pourront être également investigués tels

- les défauts des barres amortisseurs
- les défauts des connexions entre pôles
- les contournements de bobines.