



Compte rendu de la Commission Machines Tournantes de l'AFM du 21 mars 2017

GE OIL & GAS Thermodyn – 480 Allée Gustave Eiffel
71200 Le Creusot - France

Présents



- GE OIL & GAS Thermodyn : Thomas ALBAN, Benjamin DEFOY et Pierre LABOUBE
- EDF R&D : Amine HASSINI et Antoine KUCZKOWIAK
- AIR LIQUIDE : Laurent BARRA
- KTR : Eric CZEKALSKI
- TECHNIVIB : Sébastien PUJOS
- DBVIB : Damien PELISSON
- AMEC FOSTER WHEELER : Philippe SANDRIN
- GE Power Conversion : Xavier DELEPINE et Alban TOUREL
- INSA Lyon, LaMCoS : Régis DUFOUR et Jarir MAHFOUD
- VIBRATEC : Hervé GOUTAGNY

1- Présentation de GE OIL&GAS Thermodyn – Pierre LABOUBE et Thomas ALBAN.

GE Oil& Gas (1300 personnes) est réparti sur 3 sites en France: Le Creusot, Condé-sur-Noireau, Fougerolles. Il existe par ailleurs beaucoup d'autres sites GE en France (GE Healthcare, ALSTOM, ...). Le groupe est animé par une volonté de développer la R&D en France ainsi que la collaboration avec des sociétés extérieures (2 thèses CIFRE en cours). La partie commerciale est localisée sur Paris tandis que le Creusot regroupe la R&D, la fabrication et les services.

Petite historique : création en 1833 : Schneider puis Creusot Loire, Framatome et GE (en 2000).
Première turbine à vapeur construite en 1905, premiers compresseurs à pistons dans les années 50 et premiers compresseurs centrifuges en 1970.

Sur le CREUSOT : 500 personnes réalisent 220 M€ de CA dont 85% à l'export. Plus de 2000 unités installées dans le monde.

Les produits réalisés par GE OIL & GAS sont principalement :

- des compresseurs centrifuges de basse et moyenne pression (< 250bar) incluant les lignes de produit ICL (Integrated Compressor Line) et DHD
- des turbines à vapeur de petites et moyennes puissances (< 50 MW) – Turbines à action pour génération électrique ou propulsion

Les marchés actuels des compresseurs centrifuges sont principalement l'exploration et la production on-shore / off-shore, le pipeline et stockage de gaz ainsi que le raffinage et la pétrochimie. En ce qui concerne les turbines, les marchés sont le raffinage et la pétrochimie, la marine, les cycles combinés, les centrales solaires. Le marché GE est mondial avec une forte implantation en Russie (environ 400 machines).

Les avantages des compresseurs ICL sont leur compacité, le bruit et la masse réduites par rapport à des machines de design classiques et l'absence d'huile (Paliers Magnétiques Actifs). La première machine a été mise en service en 1987 et a fonctionné plus de 140000 h.

Les moyens d'essai sur le site du Creusot sont assez conséquents : banc d'essai extérieur capable de tester des machines jusqu'à 25MW, 250bars de pression et 12MW de puissance au niveau des aéro-réfrigérants ; bancs d'essais spécifiques pour tester des étages de compression.
Les efforts R&D du site sont portés afin de couvrir le maximum d'applications clients.

2- Visite du site de production

Les différentes phases de conception et d'assemblage des compresseurs / turbines ont été présentées au cours de la visite : technologie de fabrication des roues de compresseur, assemblage des roues sur les arbres, montage des aubes sur les turbines, bancs d'équilibrage, présentation et discussion autour des paliers (PMA et paliers fluides), assemblage des corps de compresseur et mise en groupe sur les socles.

3- Présentations

Comportement dynamique des machines tournantes montées sur Paliers Magnétiques sous sollicitations sévères. Jarir MAHFOUD – INSA de Lyon

Présentation du travail déjà réalisé ainsi que de la thèse en cours (avec Clément JARROUX) sur le contrôle des paliers magnétiques (thèse CIFRE avec GE). Il s'agit de développer des nouvelles stratégies de contrôle du comportement de rotor sous sollicitation extrême par l'intermédiaire du pilotage des PMA. 2 contrôleurs ont été développés : basé sur le contrôle flou et sur les quantités polaires.

Le travail théorique a été réalisé (modèles) dans un premier temps sur un modèle réduit et complété par une validation expérimentale sur une maquette (essais réalisés sur le banc 6 axes du Lamcos de l'INSA afin de simuler des sollicitations extérieures à la machine).

Un banc d'essai industriel a aussi été développé au Creusot afin de tester les phases d'atterrissage du rotor (approche numérique complétée par des essais), l'objectif étant de prédire les efforts transmis lors des phases critiques afin de prévoir les défaillances de roulement (actuellement les roulements doivent être démontés tous les 5 atterrissages pour contrôle).

Les limitations de l'équilibrage de rotors de turbines sur site. Damien PELISSON – DBVIB

Dans le cadre des opérations de maintenance, des équilibrages de turbine (correction du balourd existant) ont lieu in-situ. En ce qui concerne les turbines, la vitesse de rotation se situe la plupart du temps à proximité au-delà de la première fréquence critique. Les déformations sont donc localisées et les plans d'équilibrage « idéaux » ne peuvent être atteints, ce qui rend parfois l'équilibrage difficile ou impossible à réaliser.

Des niveaux vibratoires importants peuvent être relevés suite à des opérations de maintenance (potentiellement liés à des ailettes ne provenant pas du fournisseur initial, de manque de précautions dans les opérations de maintenance, ...). L'effet thermique peut aussi avoir un impact important sur les niveaux vibratoires (une variation importante de température peut induire de la dilatation).

Impact des joints labyrinthes sur le comportement dynamique d'un Groupe Moto-Pompe Primaire. Mohamed Amine HASSINI – EDF R&D

Cette étude concerne l'impact des joints labyrinthe sur le comportement dynamique de la ligne d'arbre d'un groupe Moto-Pompe Primaire (GMPP). Le besoin réside dans la nécessité d'améliorer les modèles et d'établir des méthodologies de modélisation.

Le GMPP (d'une tranche de 1300 MW) à une vitesse de rotation de 1485 rpm, un débit de 25 000 m³/h et l'arbre de la pompe à une longueur de 7 m. Le guidage radial est réalisé à l'aide de 2 paliers à patins (paliers hydrodynamiques). Le guidage axial est réalisé grâce à une double butée à patins oscillants. Dans le circuit primaire, l'étanchéité est réalisée à l'aide d'une garniture mécanique et de joints labyrinthe (température de l'eau 300°C).

La première modélisation réalisée ne permettait pas de retrouver le comportement expérimental (premier mode de flexion bien positionné en fréquence mais amortissement du mode incorrect). 3 pistes sont envisagées pour améliorer le comportement (calcul de l'équilibre NL de la ligne d'arbres (flexion multi-appui), méthode de calcul des coefficients dynamiques des paliers avec prise en compte de la thermique, exploration de l'impact des joints labyrinthes).

La dernière piste (impact des joints labyrinthes) permet d'obtenir des résultats satisfaisants sur le modèle. Pour cela un modèle de fermeture simplifié a été réalisé (résolution des équations par Bulk Flow, utilisation du code Saturne). Il est toutefois nécessaire de caler correctement le débit de fuite pour avoir les bonnes raideurs de joint (une variation de 1% du débit induit 25% d'écart sur les raideurs).

Analyse et validation vibratoire des machines : de la prédiction à la production. Alban TOUREL et Xavier DELEPINE de GE PC

La problématique des vibrations réside dans le fait qu'elles résultent du produit de l'excitation (mécanique ou électrique) par le comportement dynamique de la structure (composée de différents sous-ensembles). Ces vibrations doivent répondre à des valeurs contractuelles ou à des problématiques de fatigue vibratoire.

La gamme des machines proposées par GE PC est très vaste : petites et grosses machines, avec des conditions de fixation variables, des fixations de stator différentes, des technologies de rotor variables d'où la difficulté d'anticiper le comportement vibratoire des machines.

Une démarche d'analyse vibratoire est utilisée par GE au cours des différentes étapes de réalisation du produit (prédiction et design, production, analyse puis validation).

Cette démarche repose sur l'utilisation d'une base de données exhaustive mais aussi sur l'utilisation de différents outils (calculs analytiques, FEA, mesures : bump tests, ODS), spécifiques en fonction des composants à caractériser.

Les objectifs finaux de cette approche sont de mieux cerner les paramètres influents sur le comportement de la machine mais aussi d'optimiser le design des machines et de minimiser les risques de défaillance.

Travaux en cours sur la caractérisation vibratoire des ailettes à ailerons : Antoine KUCZKOWIAK d'EDF R&D

Sur les turbo-alternateurs (parc EDF), les ailettes libres sont remplacées par des ailettes à ailerons dans le but de sécuriser l'exploitation (au-delà d'une certaine vitesse de rotation, les ailettes entrent en contact au niveau de leurs étauçons : les modes localisés d'ailette sont remplacés par des modes d'ensemble et de roue).

Des essais BVM (ou tip timing) ont été réalisés sur le parc afin de valider le comportement vibratoire des ailettes à ailerons et d'appréhender le comportement vibratoire des ailettes liaisonnées (des mesures réalisées lors de la montée en régime permettent de mettre en évidence l'apparition du contact entre ailettes). Les travaux en cours consistent à construire un modèle numérique permettant de caractériser le comportement de ces ailettes.

4- Informations diverses

Il a été décidé de tenir la commission machines tournantes une seule fois par an.

La prochaine session pourrait se tenir à l'INSA de Lyon en mars 2018 si aucun industriel ne se manifeste.

La liste des prochaines conférences internationales sur la dynamique des rotors est présentée ci-dessous :

- ASME IDETC, - Cleveland, August 6-9, 2017
Symposium Rotating Systems and Rotor Dynamics (VIB/MSNDC), organisé par Pennachi, Shen, Nataraj, Dufour
- IGTI-Turbo Expo, Charlotte: 26-30 juin 2017
- SIRM 2017, Graz, Austria, February 15-17 2017 (Présentation soit en allemand soit en anglais)
<https://www.tugraz.at/en/events/sirm-2017/home/>
- Medyna (Dynamique des rotors sur PMA), Session PMA organisée par Patrick Keoghs, Jarir Mahfoud, Séville 25-27 avril 2017
- IFToMM Rotordynamics: Milan 2014, Rio de Janeiro 2018, organisée par Katia Cavalca.
- VIBRATION ENGINEERING AND TECHNOLOGY OF MACHINERY (VETOMAC). Lisbon 10-13 September 2018.
<http://www.conf.pt/index.php/vetomac>.
- IMechE-VIRM: Vibration of Rotating Machinery, 2016: Manchester, VIRM12 - 2020 : R. Dufour et J. Mahfoud ont proposé aux organisateurs du VIRM que le VIRM2020 se fasse à Lyon. Attente de la décision de l'IMechE. Il faut tabler sur 150 inscrits.

5- Remerciements

La CMT a été enchantée par l'accueil très professionnel de GE Oil & Gas et par la haute qualité des échanges. Les conférences, la visite, les échanges ont apporté des connaissances de premier plan. La CMT adresse toute sa gratitude à GE Oil & Gas pour l'excellence de cette journée.