

Aubages des turbines à vapeur : évaluer le risque de fissuration sous chargement dynamique

L'utilisation d'un modèle numérique d'ailette couplé à des mesures de vibrations *in situ* permet d'évaluer les contraintes dynamiques subies par l'ailette.

Dans le parc international, des fissures importantes (de 30 à 100 mm) ont été décelées au niveau des pieds des ailettes terminales (zone d'attache au rotor) des corps basse pression de grande puissance. Pour EDF, maîtriser les risques industriels de l'apparition de ces défauts sur l'exploitation de son parc de turbines CP2-1300 MWe est un enjeu majeur. La démarche d'anticipation entreprise consiste à comprendre les phénomènes mécaniques à l'origine de ces fissures. Les ailettes en question équipant les turbines EDF mesurent environ 1,47 m de hauteur pour 35 à 20 cm de large. Au nombre de 77 sur le pourtour du rotor pour chacune des 2 roues terminales des 3 corps basse pression, leur technologie d'attache sur l'arbre est de type pied de sapin. Le diamètre d'une roue composée du rotor et des ailettes est de 5,6 m. Les forces centrifuges qui s'y exercent lorsque la turbine tourne à 1500 tr/min sont donc considérables.

A ce chargement centrifuge vient s'ajouter le chargement dynamique dû aux fortes vibrations de ces ailettes non liaisonnées (extrémités libres). Ce cumul de deux chargements est l'une des explications retenues pour l'origine de ces fissures ; la maîtrise du risque de fissuration implique la connaissance précise des contraintes dynamiques qui apparaissent dans ces composants durant leur fonctionnement.

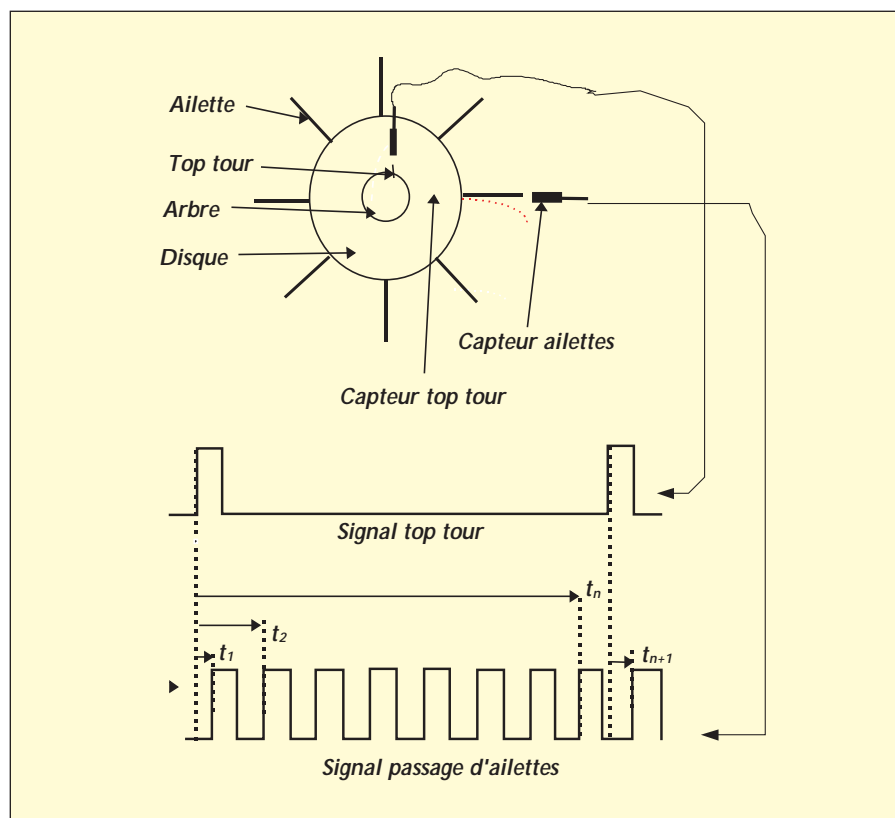
D'un point de vue modélisation, un modèle couplé de l'ailette et de son environnement aérodynamique précis ne nous est pas accessible à ce jour, on ne peut construire qu'un modèle de l'ailette centrifugée sans excitation extérieure.

D'un autre côté, la mesure directe des contraintes est difficile et coûteuse puisqu'elle nécessite de placer des capteurs sur le rotor. On lui préfère un système de capteur sans contact positionné sur l'enveloppe extérieure de la turbine qui mesure les amplitudes vibratoires. L'estimation des contraintes dynamiques qui apparaissent en pied d'ailette se fera par une méthode mixte qui combine mesure et modélisation éléments finis. On évaluera donc indirectement les contraintes modales en fonctionnement par la mesure de l'amplitude vibratoire de l'extrémité libre de l'ailette et par le calcul des modes de vibrations de l'ailette.

Mesure des vibrations

Un capteur sans contact fixé sur le stator de la turbine mesure les écarts de temps

de passage des ailettes ❶. En multipliant la mesure par la vitesse de rotation, on obtient une distance correspondant à une amplitude de vibrations de l'ailette. Le traitement des signaux par des techniques de sous échantillonnage et de repliement de spectre permet d'évaluer sur ce dernier les amplitudes modales grâce aux hauteurs des pics. Les amplitudes des vibrations mesurées correspondent à une certaine "projection" de la déformée selon l'axe de mesure du capteur. Pour calculer le facteur déterminant la déformation réelle à partir de la déformation apparente mesurée par le capteur, il faut connaître finement, pour chaque mode, la position du sommet de l'ailette qui coupe le faisceau du capteur dans la configuration d'équilibre centrifugée.



❶ Schéma du principe de fonctionnement de la mesure des vibrations d'ailette sans contact

Aubages des turbines à vapeur : évaluer le risque de fissuration sous chargement dynamique (suite)

Position d'équilibre

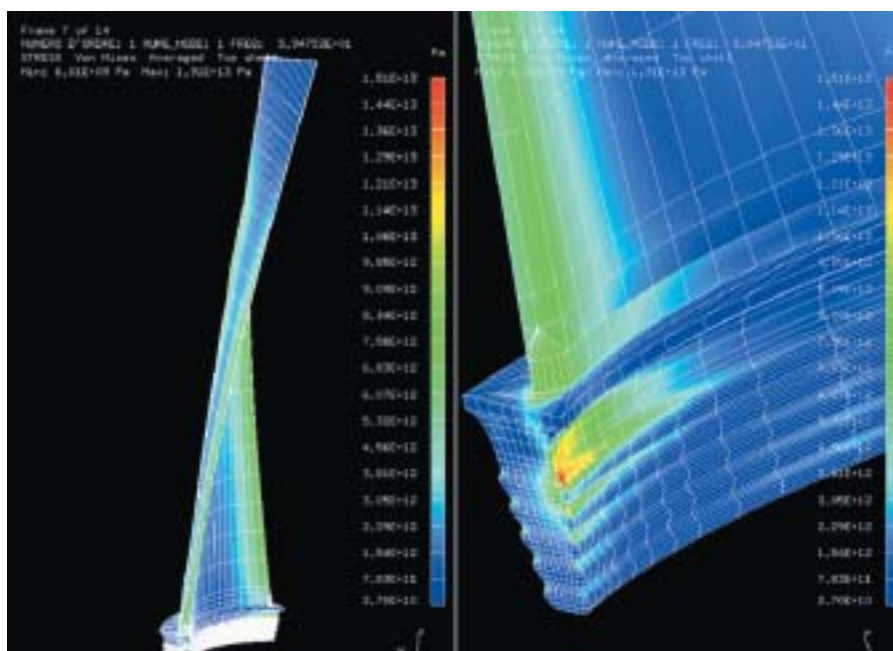
Le calcul de cette position de l'ailette sous la sollicitation centrifuge qui lui est imposée fait apparaître deux non-linéarités. D'une part, la force centrifuge qui s'applique sur l'ailette dépend du déplacement radial, son travail est donc non linéaire car fonction de l'allongement de l'ailette. D'autre part l'ailette, étant fine et vrillée selon sa hauteur, se dévrille lors de la mise en rotation sous l'effet de la force centrifuge. Le déplacement important qui en résulte ne permet pas de se placer dans les hypothèses classiques de petits déplacements.

Modèle Aster

On est donc conduit, pour la modélisation mécanique, à prendre en compte de grandes transformations (avec le modèle de SIMO MIEHE et l'effet rigidifiant de la force centrifuge. Ce calcul précis de la position d'équilibre délivre un déplacement maximal en sommet d'ailette deux fois moindre que celui obtenu par des approximations classiques linéaires (petites déformations, et résolutions linéaires). La modélisation *Aster* d'une ailette comporte 120 000 ddl en éléments finis 3D quadratiques HEXA20.

Calcul des modes

Une fois cette position établie, on calcule les modes propres de la structure définis comme des petits déplacements autour de la position d'équilibre. On voit à nouveau apparaître les termes de rigidité géométrique et centrifuge. A partir de ces déplacements, on calcule les contraintes modales. Ces dernières étant relatives à la normalisation choisie, en les multipliant par les amplitudes modales mesurées, on obtient alors, par sommation des contraintes de chacun des modes, la contrainte dynamique maximale en tout point de l'ailette [2](#).



[2](#) Mode1, 59.4 Hz, 1er mode de flexion tangentielle et contrainte dynamique maximale