

# Outil de classement des tours aéroréfrigérantes

C. Toulemonde (EDF / R&D / MMC), J.-L. Fléjou (EDF / R&D / AMA),  
P. Sémété, N.-C. Tran (EDF / R&D / MMC)

## Contexte et objectifs

La géométrie des aéroréfrigérants est extraordinaire avec des hauteurs proches des 200 mètres pour des épaisseurs de coque au col de l'ordre de 30 centimètres seulement, ce qui donne des élancements compris entre 500 et 1000. Les chargements climatiques auxquels les tours sont soumises (température, vent, humidité, ...), notamment lorsqu'ils sont extrêmes, ne peuvent être connus de façon déterministe. Enfin, le comportement du béton armé est non linéaire puisqu'il ne reprend pas de la même manière les efforts en traction et en compression. La surface de ces ouvrages est énorme (plusieurs hectares), et il n'est pas économiquement et techniquement possible de faire des relevés exhaustifs des propriétés matériaux. Les questions scientifiques et techniques que pose la tenue dans le temps de ces ouvrages sont donc complexes.

EDF est propriétaire d'une trentaine de ces grandes tours aéroréfrigérantes, majoritairement sur son parc électro nucléaire. Ces tours évoluent et les services d'ingénierie planifient des travaux de maintenance pour les renforcer afin de garantir une durée d'exploitation optimale.

Pour aider à rationaliser l'ordre des travaux et le budget associé, EDF a besoin - en complément des avis d'experts - de se doter d'un outil capable de classer les ouvrages sur la base de critères objectifs, tenant compte des particularités de chacun d'entre eux. Chaque tour est singulière, elle se distingue au travers de ses nombreuses caractéristiques (conception, géométrie, propriétés des matériaux) mais aussi selon l'amplitude des chargements auxquels elle est exposée. Les cinq chargements retenus sont le poids propre, le tassement différentiel, les gradients de température et d'humidité, et le vent.

Pour être capable de classer les priorités des travaux à entreprendre sur les tours il est donc nécessaire de connaître leur identité précise et de concevoir une chaîne de calcul ergonomique capable de produire la géométrie, le maillage, et la réponse à l'ensemble des chargements mécaniques retenus pour en déduire un indicateur de risque de ruine. Les travaux que nous menons pour collecter et rationaliser les données ne sont pas exposés ici, le présent document se concentre sur la chaîne d'outils, il en présente le principe, la manière avec laquelle nous avons mis au point les modèles mécaniques et dresse ses perspectives de modélisation et de déploiement.

## Principe et implémentation

Pour répondre à cet exercice difficile nous avons dû naturellement poser des hypothèses simplificatrices. En attendant l'arrivée prochaine dans *Code\_Aster* d'éléments de coque dédiés au béton armé pouvant prendre en compte les non-linéarités spécifiques liées à l'humidité, l'hydratation, la thermique, la corrosion, nous avons modélisé la tour à l'aide d'éléments volumiques et utilisé un comportement élastique linéaire. Pour nous placer dans des situations de chargement dimensionnantes, nous avons raisonné en cumulant les situations les plus pénalisantes : température et humidité extérieures basses, vitesse de vent élevée. A chaque tour correspond un indicateur de risque estimé sur la base du cumul des efforts engendrés dans cette situation extrême. L'indicateur est donné par le post-traitement du champ de contrainte dans la section de béton armé la plus sollicitée dans la coque.

# Outil de classement des tours aéroréfrigérantes

C. Toulemonde (EDF / R&D / MMC), J.-L. Fléjou (EDF / R&D / AMA), P. Sémété, N.-C. Tran (EDF / R&D / MMC)

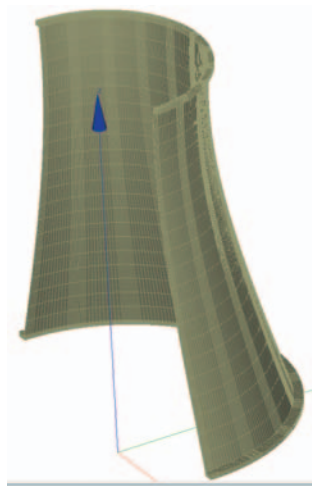


Figure 1 : Maillage d'aéroréfrigérant réalisé avec SALOME.

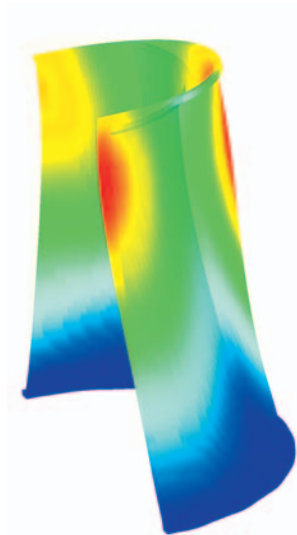


Figure 2 : Déformée sous l'effet du vent.



Figure 3 : Déformée sous l'effet de la température.

Dans la pratique, nous avons développé en *Python* les différents éléments de cet outil. *Python* est un langage informatique commun à *SALOME* et à *Code\_Aster*, nous l'avons aussi utilisé pour enchaîner les étapes et post-traiter les calculs. Ce choix est notre objectif, une implémentation de la méthodologie dans *Salome-Meca*. *Code\_Aster* est utilisé pour estimer la réponse des tours aux cinq chargements retenus. Afin que l'étude soit paramétrable par les données présentes dans la carte d'identité de la tour à étudier nous procédons en utilisant des fichiers modèles (template) dont les variables sont substituées à la volée lors de l'exécution de l'étude par un script *Python* dédié.

## Mise au point des modèles

Parmi les cinq chargements pris en compte certains sont simples à mettre en œuvre car les paramètres sont connus par des mesures, les tassements des appuis des tours sont relevés périodiquement par exemple. Le chargement hydrique en fonctionnement est estimé sur la base d'une humidité saturée à l'intérieure (l'eau y ruisselle) et sur des conditions climatiques saisies par l'utilisateur pour l'extérieur. Le chargement de vent de tempête provient d'une précédente étude de mécanique des fluides réalisée par le département MFEE d'EDF R&D.

Pour le chargement thermique, nous avons pu bénéficier d'une campagne expérimentale menée sur le site de Cruas. La température extérieure et le déplacement de la tour ont été mesurés pendant plusieurs mois, en fonctionnement et à l'arrêt. Nous avons calibré les paramètres et hypothèses du modèle thermique grâce à ces mesures.

La comparaison des cartes d'indicateurs produite pour les différents chargements montre que les chargement hydriques et thermiques ont une influence a priori prépondérante sur la réponse mécanique des tours.

## Perspectives

Cette première version de l'outil de classement des tours aéroréfrigérantes sera améliorée dans sa prédictibilité grâce aux travaux en cours de développement dans *Code\_Aster* concernant le comportement du béton armé. Aujourd'hui un modèle de poutre multi fibres 1D dédié a été développé et sera restitué dans la version 11.2. Les travaux de modélisation pour étendre cette approche aux éléments coques 2D sont en cours.

Sur le chapitre du déploiement, la première version de l'outil de classement fera l'objet d'une livraison pour tests à EDF SEPTEN dans le printemps 2012. La collecte du retour d'expérience des utilisateurs sera utilisée pour corriger et améliorer l'outil. Des améliorations des hypothèses et du modèle seront mises en œuvre en parallèle. Enfin, pour 2014 nous projetons d'intégrer l'outil, ainsi que les développements en mécanique non linéaire dans *Salome-Meca*.