

# Faisabilité du calcul de réponses en fonctionnement d'un alternateur à partir de données expérimentales

M. Corus, A. Mikchevitch (EDF / R&D / AMA)

## Contexte et objectifs

Le taux d'indisponibilité du parc nucléaire français est fortement lié aux alternateurs. Compte tenu de leur vieillissement et de la prolongation de la durée d'exploitation des centrales, des programmes importants de rénovation ont été mis en œuvre : rebobinage ou permutation de stators, rebobinage des rotors 900 MW, rebobinage des rotors 1300 MW à l'étude. Cependant, malgré les rénovations, quelques alternateurs peuvent présenter des niveaux vibratoires élevés. Le CNEPE a dernièrement effectué, à la demande de DPN, une cartographie des vibrations au niveau des carcasses qui permet d'estimer le risque d'un niveau vibratoire élevé après rénovation. Pour certains alternateurs 900 MW CPO/CP1, des niveaux vibratoires proches des seuils d'alarme ont été relevés aussi bien sur les circuits magnétiques que sur les cages de développantes.

Ces niveaux importants peuvent exister sur des stators non rénovés, mais également sur des stators rebobinés en STAR Cuivre.

Les solutions permettant de limiter les niveaux vibratoires sont souvent intrusives (reprise de calage, technologie STAR Inox, etc.), et il est difficile d'estimer précisément leur effet avant le redémarrage. De même, l'efficacité de solutions plus simples, telles que les absorbeurs dynamiques, est aussi difficile à évaluer a priori.

Ce manque de prédictibilité peut conduire EDF à engager plus de moyens que nécessaire pour limiter les niveaux de réponse.

Aussi, afin de limiter les coûts et durées d'arrêt, mais aussi d'anticiper d'éventuels dysfonctionnements avant le redémarrage, on souhaite évaluer l'efficacité de ces solutions. Pour cela, on veut se doter d'un outil permettant de prédire les niveaux de réponse en fonctionnement de ces matériels à partir de données mesurées pendant l'arrêt.

## Démarche

Cette étude propose une solution permettant d'estimer les niveaux vibratoires sur le circuit magnétique avant redémarrage, à la fois sur la base des essais réalisés, mais aussi d'un modèle numérique représentatif de l'alternateur et d'un modèle analytique des efforts électromagnétiques exercés sur le circuit magnétique. On ne cherche pas ici à construire un modèle recalé de l'alternateur, mais il faut cependant disposer d'un modèle dont les caractéristiques dynamiques sont proches de celles mesurées sur site. On a utilisé ici une CAO entièrement conçue sous SALOME.

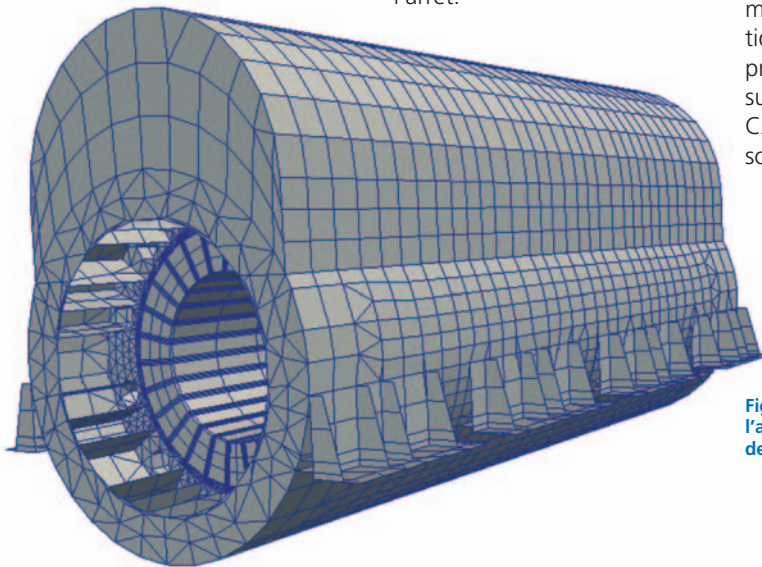


Figure 1 : Maillage du modèle de l'alternateur retenu pour l'étude de faisabilité.

# Faisabilité du calcul de réponses en fonctionnement d'un alternateur à partir de données expérimentales

M. Corus, A. Mikchevitch (EDF / R&D / AMA)

L'approche classique de calcul de réponse en fonctionnement suppose l'utilisation d'un modèle éléments finis (E.F.) recalé du matériel d'intérêt pour fournir une estimation sûre du résultat. Or, dans le cas des alternateurs, la complexité des matériels et la variabilité des comportements mesurés sur site rend illusoire le recalage d'un modèle pour chaque alternateur. L'alternative proposée ici repose sur la construction d'un modèle hybride, démarche déjà utilisée précédemment avec succès dans le cadre de la modification structurale. La démarche n'est pas détaillée dans la suite, seuls le principe et les différentes étapes sont rappelés. L'idée de base consiste à extrapoler le modèle expérimental à l'aide du modèle E.F. complet de l'alternateur pour construire la partie dynamique de la réponse. En revanche, la partie statique sera construite en s'appuyant uniquement sur le modèle E.F., d'où la nécessité de disposer d'un modèle réaliste.

La démarche peut être synthétisée comme suit :

## Réalisation d'une analyse modale expérimentale du composant à étudier

- Identification du comportement dynamique ;
- Construction d'un modèle réduit sur la base des modes propres, fréquences propres, amortissements modaux, masses modales et déformées.

## Construction d'un modèle éléments finis réaliste de la structure à étudier

■ Ce modèle doit représenter correctement la dynamique de la structure d'intérêt (géométrie, déformées de mêmes allures, et fréquences propres de même ordre de grandeur), sans nécessiter de recalage précis.

## Construction du modèle hybride

- Expansion des modes expérimentaux sur le modèle E.F. ;
- Calcul de la partie statique de la réponse sur le modèle E.F. ;
- Calcul de la projection de l'effort dynamique sur la base modale expérimentale ;
- Calcul de la réponse de l'alternateur par superposition modale.

## Résultats

L'implémentation de la méthodologie est quasiment directe dans *Code\_Aster*, compte tenu des travaux récents réalisés autour des méthodes de modification structurale et de sous structuration dynamique. Les efforts retenus pour réaliser cette étude correspondent à la partie fluctuante de la pression électromagnétique tournante en 4 lobes, supposée uniforme sur la longueur du circuit magnétique,

$$P(x, \theta, t) = A \sin(\omega t + 4\theta) \cdot \vec{i}_r$$

où  $x$  correspond à la direction de l'axe du stator, et où  $\vec{i}_r$  indique la direction radiale.

Les calculs ont été réalisés en considérant un amortissement forfaitaire de 2% pour l'ensemble des modes identifiés. Cet amortissement est représentatif de ce qui peut être identifié après analyse modale. On obtient, pour le circuit magnétique et les voiles, des déformées présentant les allures données par la figure 2.

Cette déformée fait intervenir principalement les modes d'ovalisation du circuit magnétiques, situés autour de la fréquence d'excitation. Les déformées calculées à l'aide de ce modèle hybride sont cohérentes avec celles obtenues à partir des calculs réalisés en 2005 à l'aide d'un modèle E.F. recalé d'alternateur, utilisant la même forme pour les efforts électromagnétiques. Ceci permet de valider la démarche.

Néanmoins, les résultats obtenus ne sont satisfaisant qu'au voisinage des mesures. En effet, la déformée calculée sur le dôme de l'alternateur, fortement amplifiée, n'apparaît pas réaliste. On trouve donc là les limites de la méthode. Les déformées calculées avec le modèle éléments finis, dans la mesure où celui-ci n'est pas recalé, ne représentent pas fidèlement les transferts d'énergie entre les différentes parties de la structure. Pour être prédictif sur l'ensemble de la carcasse, il faudrait donc intégrer des mesures plus globales, ou bien disposer d'un modèle de meilleure qualité. La construction d'un modèle E.F. de la carcasse est un défi important et l'instrumentation globale d'un alternateur semble être une alternative plus réaliste, même si elle sera délicate à réaliser en pratique.

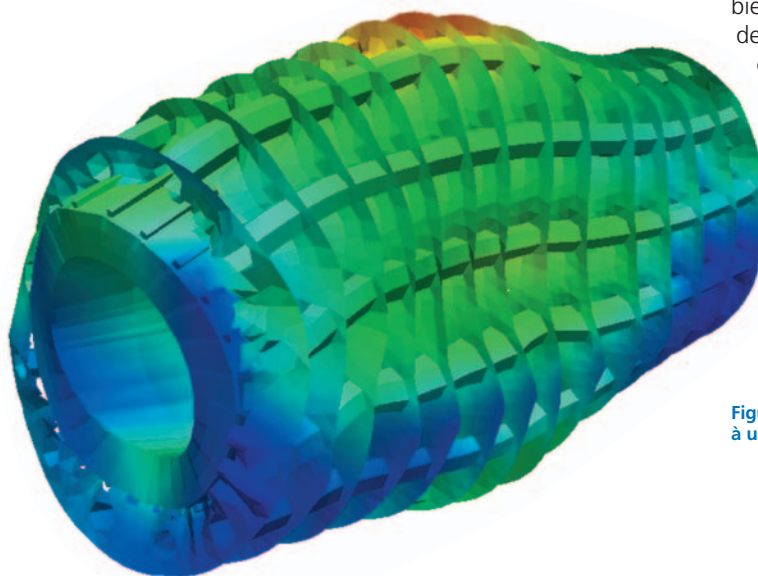


Figure 2 : Réponse de la structure à une sollicitation à 100 Hz.