



HAL
open science

Transitoire de vitesse d'un turbogénérateur avec contact rotor-stator

Sébastien Roques, Mathias Legrand, Carlo Stoisser, Patrice Cartraud,
Christophe Pierre

► To cite this version:

Sébastien Roques, Mathias Legrand, Carlo Stoisser, Patrice Cartraud, Christophe Pierre. Transitoire de vitesse d'un turbogénérateur avec contact rotor-stator. 8e Colloque national en calcul des structures, May 2007, Giens, France. hal-01491491

HAL Id: hal-01491491

<https://hal.science/hal-01491491v1>

Submitted on 17 Mar 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Transitoire de vitesse d'un turbogénérateur avec contact rotor-stator

Sébastien Roques* — Mathias Legrand** — Carlo Maria Stoisser***
— Patrice Cartraud* — Christophe Pierre**

* *GeM, Pôle Structure et Couplage - École Centrale de Nantes*
1 rue de la Noë, 44321 Nantes cedex 3
{sebastien.roques,patrice.cartraud}@ec-nantes.fr

** *McGill University, McDonald Engineering Building*
817 Sherbrooke West Montreal H3A 2K6, Canada
{mathias.legrand,christophe.pierre}@mcgill.ca

*** *Département Analyses Mécaniques et Acoustique, EDF R&D*
1 avenue du Général de Gaulle, 92141 Clamart
carlo.stoisser@edf.fr

RÉSUMÉ. Un modèle de turbogénérateur a été développé pour calculer la réponse dynamique transitoire d'une ligne d'arbres, avec prise en compte du contact arbre-stator. Dans ce modèle, la vitesse de rotation de l'arbre est considérée comme une variable, ce qui permet de calculer de façon plus réaliste la décélération angulaire due à la friction lors de l'interaction arbre stator. La méthode des multiplicateurs de Lagrange est utilisée pour le calcul de la force de contact. L'influence du modèle de carter et des hypothèses pour la détection du contact sont étudiées ici.

ABSTRACT. A model of a turbogenerator has been developed to compute the transient dynamical response of the shaft line with shaft-to-stator contact. In this model, the rotating speed of the rotor is considered as a variable, which allows for the angular deceleration due to rubbing to be calculated in a more realistic representation of the interaction. Lagrange multipliers method is applied to compute contact forces. The influence of the casing model and some assumptions for the contact detection are studied.

MOTS-CLÉS : Transitoire de vitesse, contact rotor-stator, rubbing, multiplicateurs de Lagrange

KEYWORDS: Speed transient, rotor-to-stator contact, rubbing, Lagrange constraints

1. Introduction

Pour les groupes turbo-alternateurs (GTA) du parc nucléaire français, la situation accidentelle de référence lors du dimensionnement est définie par le départ d'une ailette terminale des corps basse pression. Le dimensionnement consiste alors à vérifier que les structures palières sont capables de supporter l'effort résultant du balourd généré par cette perte d'ailette dans l'instant qui suit l'accident et lors du passage des vitesses critiques en phase de ralentissement. En effet, lors de cette phase, les déformations importantes de la ligne d'arbres peuvent provoquer des contacts durs entre le rotor et le stator (Muszynska, 2005) susceptibles de modifier le comportement dynamique de la ligne d'arbres et les efforts agissant aux paliers. De plus, la contrainte en torsion au niveau des plateaux d'accouplement doit être calculée afin de valider la tenue de la ligne d'arbres.

Dans notre étude, un code éléments finis permettant de modéliser un transitoire de vitesse a été développé afin d'étudier la réponse dynamique du GTA lorsque l'arbre vient à interagir avec le diaphragme (redresseur de flux). Ainsi l'objectif consiste à valider la tenue de la ligne d'arbres lors du passage des vitesses critiques et d'analyser l'effet de la décélération angulaire due au contact sur la dynamique de la turbine. Différentes hypothèses pour la détection du contact entre l'arbre et le carter flexible sont étudiées en recherchant un compromis précision/coût de calcul.

2. Présentation du code éléments finis

2.1. Modélisation du GTA

La ligne d'arbres est constituée d'arbres représentés par des poutres droites en rotation utilisant la théorie de Timoshenko, de disques rigides, de masses concentrées représentant les balourds (cf. figure 1(a)). L'originalité de cette modélisation réside dans le fait de considérer la position angulaire du rotor comme une inconnue du problème. La prise en compte des effets gyroscopiques dans le modèle permet de coupler naturellement les vibrations de torsion à celles de flexion. Les énergies sont développées à l'ordre 3 du fait du couplage et seules les vibrations de traction/compression sont indépendantes. Concernant les paliers, le comportement non-linéaire du film d'huile a été linéarisé et des matrices de raideur et d'amortissement ont ainsi pu être extraites. Les équations du mouvement sont ensuite obtenues par application des équations de Lagrange. Les détails de ce modèle sont donnés dans (Roques *et al.*, 2006a, Roques *et al.*, 2006b). À ce stade, les équations du mouvement sont déjà non linéaires même sans considérer le contact.

Le modèle de stator considéré dans cette étude (cf. figure 1(b)) est constitué d'une couronne intérieure discrétisée en éléments finis poutre courbe de type Euler-Bernoulli (Legrand, 2005) et d'ailettes modélisées par des éléments finis poutre droite classiques.

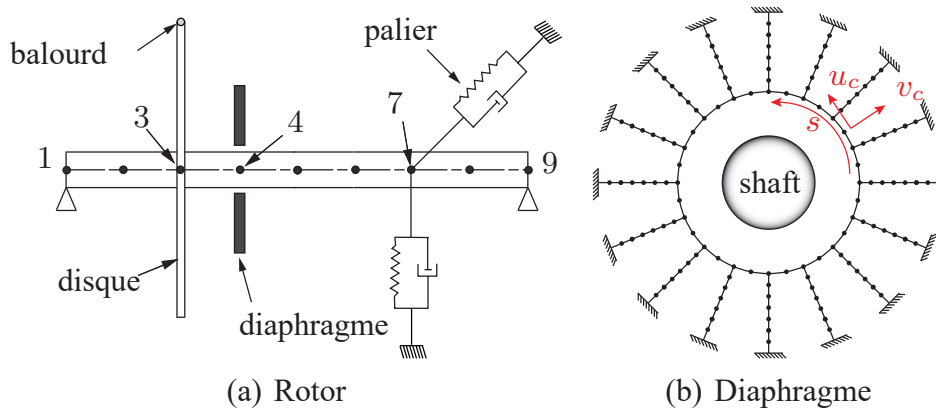


Figure 1. Modélisation de la ligne d'arbres et du diaphragme

2.2. Détection du contact

Une approche maître-esclave a été utilisée pour la détection du contact, le maître étant le rotor. On suppose que le contact a lieu en un seul point situé sur la section droite du rotor (point C , figure 2). Le calcul de la fonction distance $g(\xi_R, \xi_S)$ entre le rotor et le stator est non-linéaire : la position du point de contact dans la configuration déformée correspond à un minimum global de cette fonction distance. Ainsi, une re-

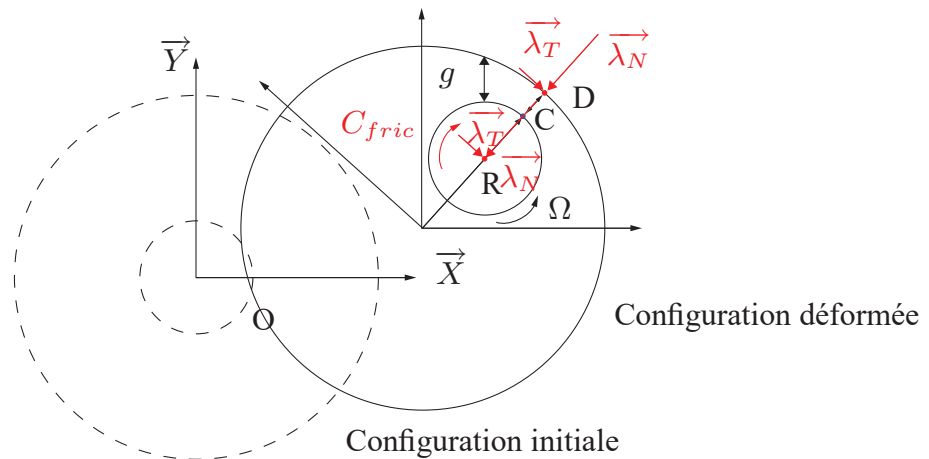


Figure 2. Détection du contact

cherche non-linéaire étant coûteuse en temps de calcul, différentes hypothèses ont été émises pour la détection de l'instant de contact :

- 1) hypothèse 1 : on suppose que le point de contact D (cf figure 2) sur le carter se situe à la même position angulaire que le point C ;
- 2) hypothèse 2 : on calcule de façon analytique la fonction jeu g et on minimise cette fonctionnelle non-linéaire pour trouver le point de contact en configuration déformée.

Pour obtenir la matrice de contact dans la méthode des multiplicateurs de Lagrange, la fonction distance est linéarisée (Legrand, 2005).

2.3. Algorithme général

Cette étude a pour but de calculer la réponse d'un corps basse pression en condition accidentelle : opérant à régime nominal, la turbine est alors déconnectée du réseau, la perte de l'ailette terminale est modélisée par un balourd important et seuls les frottements fluide et aérodynamique (Fortin, 1993) ralentissent le rotor.

Le couplage entre la ligne d'arbres et le diaphragme est réalisé au moyen d'un effort de contact entre les deux structures : la méthode des multiplicateurs de Lagrange (Taylor *et al.*, 1991), qui garantit la condition d'impénétrabilité des structures, est incluse dans un schéma temporel explicite, les différences finies centrées, pour obtenir la composante radiale de la force de contact. La composante tangentielle est déduite de la loi de Coulomb en phase de glissement. Le couple résistant est alors obtenu par calcul du moment résultant.

Étant donné le caractère non-linéaire des équations du mouvement, la résolution finale se fait à l'aide d'un algorithme de type Newton-Raphson à chaque itération temporelle. En notant X les déplacements généralisés du rotor et φ la position angulaire du rotor, le principe de l'intégration temporelle est énoncé dans l'algorithme 1.

```

Initialisation de  $X$  et  $\varphi$  à  $t_0$  et  $t_1$ 
Pour  $n$  de 2 à  $n_{fin}$  faire
  Prédiction de  $(X^{n+1}, \varphi^{n+1})$ 
  Itération pour résoudre les équations non-linéaires du mouvement
  Tant que ( $\| \text{Résidu des équations} \|^2 \leq \varepsilon$ ) faire
    Si (Si non pénétration) Alors
       $\lambda_N = 0$ 
    Sinon
      Calcul des multiplicateurs de Lagrange
      Correction avec les forces de contact normale  $\lambda_N$  et tangentielle  $\lambda_T = \mu\lambda_N$  et le couple résistan  $C_{fric} = \mu R\lambda_N$ 
    Fin Si
    Nouveau candidat  $(X^{n+1}, \varphi^{n+1})$ 
  Fait
  Si ( $\varphi_{n+1} < \varphi_n$ ) Alors
    Arrêt du calcul
  Fin Si
  Sauvegarde des résultats
  Incrémentation du pas de temps
Fin Pour

```

Algorithme 1: Procédure d'intégration temporelle

L'hypothèse 2 de détection de contact nécessite une mise à jour (MAJ) de la position du point de contact dans le solveur itératif. Dans le code, il est possible de ne pas mettre à jour cette position de contact, ce qui diminue le temps de calcul.

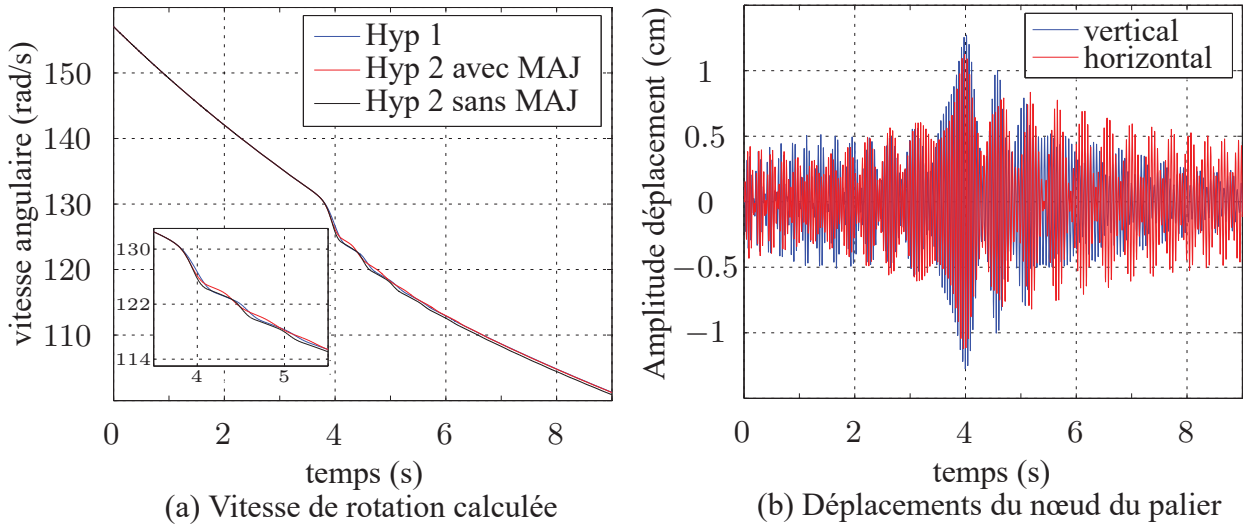


Figure 3. Influence de l'hypothèse de contact

Hypothèse de détection	1	2 avec MAJ	2 sans MAJ
Temps CPU (s)	10779	37293	6800
Effort max au palier (10^5 N)	5.6256	5.2615	5.5921
Effort max de contact (MN)	3.2156	6.9557	9.9149
Pénétration résiduelle (10^{-2} mm)	5.5607	5.8215	12.044

Tableau 1. Récapitulatif des résultats sur l'influence du carter

3. Résultats

Le modèle de rotor utilisé pour les simulations est illustré sur la figure 1(a). Le jeu initial arbre-carter étant de 8mm. La convergence des résultats avec le pas de temps et la condition d'imperméabilité ont déjà été montrés (Roques *et al.*, 2006b).

L'influence des hypothèses sur la détection du contact est alors étudiée : la vitesse de rotation calculée ainsi que les déplacements au palier sont tracés dans la figure 3. Le tableau 1 résume les principaux résultats. L'hypothèse 1, qui n'est valide que jusqu'au premier impact, permet d'obtenir des résultats approchés sur l'évaluation des forces au palier et sous-estime les efforts de contact. Le fait de ne pas mettre à jour la position de contact dégrade la précision du calcul et conduit à surestimer les forces de contact, cf. figure 4(b), même si le temps de calcul est réduit. Néanmoins, dès lors que l'on s'éloigne de la zone de contact (calcul des efforts aux paliers, cf. figure 4(a)), ou qu'on s'intéresse à des quantités plus globales (telle que la vitesse de rotation de l'arbre, cf. figure 3(a)), les résultats sont faiblement dépendants de l'hypothèse de détection de contact retenue.

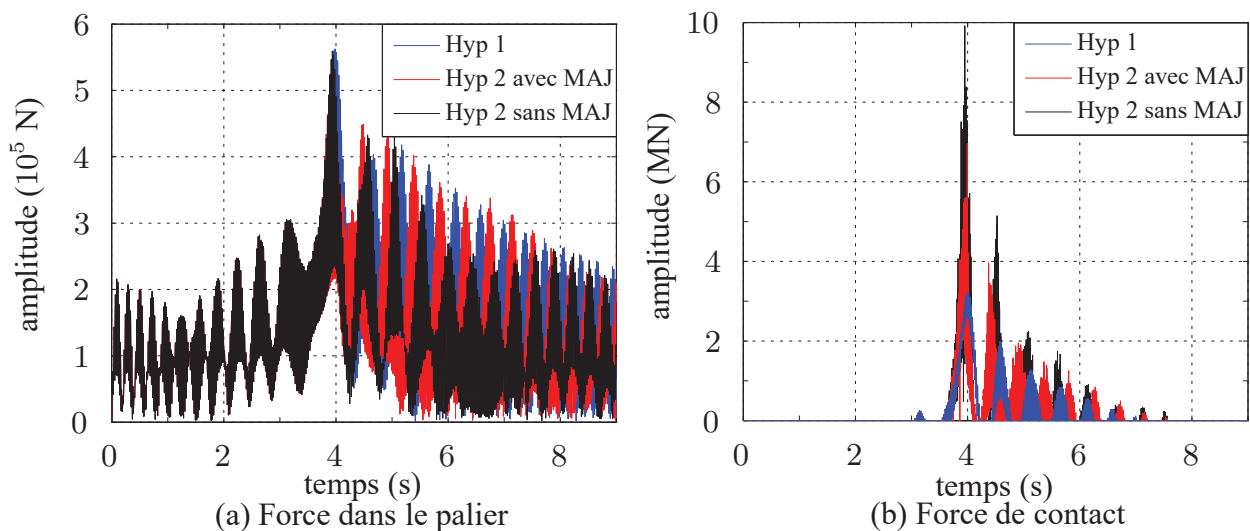


Figure 4. Résultats en efforts avec différentes hypothèses de détection de contact

4. Conclusions et perspectives

Une maquette numérique a été développée pour analyser les transitoires de vitesse d'un GTA avec interaction rotor-stator et a permis d'étudier différentes hypothèses pour la détection du contact. Différentes approximations dans le traitement du contact ont été étudiées. Les résultats obtenus montrent qu'elles dégradent les valeurs des efforts locaux de contact. En revanche, une bonne précision peut être obtenue sur les autres quantités d'intérêt, avec un gain significatif sur le temps de calcul.

Des essais expérimentaux à venir seront réalisés pour valider le code développé. Enfin et la gestion du contact poutre-poutre dans un espace 3D est en cours d'implémentation.

5. Bibliographie

- Fortin T., « Modélisation de ralentissement de GTA », *Rapport interne EDF R&D – HP-65/93/189*, 1993.
- Legrand M., Modèles de prédiction de l'interaction rotor/stator dans un moteur d'avion, PhD thesis, École Centrale de Nantes, 2005.
- Muszynska A., *Rotordynamics*, Taylor & Francis, 2005.
- Roques S., Stoisser C., Cartraud P., Legrand M., Pierre C., Peseux. B., « Modeling of rotor speed transient with rotor-to-stator contact », *7th IFToMM – Conference on Rotor Dynamics, Vienna, Austria, September, 2006a*.
- Roques S., Stoisser C., Cartraud P., Legrand M., Pierre C., Peseux. B., « Modélisation d'un transitoire de vitesse d'un groupe turbo-alternateur avec contact rotor-stator », *XV^e Colloque Vibrations, Chocs et Bruit, Ecole Centrale de Lyon, Juin, 2006b*.
- Taylor R., Carpenter N., Katona M., « Lagrange constraints for transient finite element surface contact », *Int. Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 32, p. 103-128, 1991.