Chapitre VI : Simulations numériques

Les deux chapitres précédents mettent en place les sous modèles nécessaires pour traiter les phénomènes physiques concernés dans l’effet Morton. Ce chapitre présente les simulations complètes de l’effet Morton en régime transitoire en utilisant les outils mis aux points. Ces sous modèles numériques sont couplés en suivant la stratégie de modélisation synthétisé au chapitre 1, ce qui établit le modèle complet et non linéaire de l’effet Morton. Les simulations se sont basées sur le **B**anc de l’**E**ffet **M**orton (**BEM**) dédié à la compréhension de ce phénomène. Les résultats issus des simulations numériques sont ensuite comparés avec les résultats expérimentaux. Cette comparaison permet de valider ce modèle de l’effet Morton et de réaliser les analyses en régime transitoire. Les outils validés dans ce chapitre sont utilisés au chapitre 5 pour les analyses de stabilité de l’effet Morton.

# Modèle complet et non linéaire de l’effet Morton

## Approche du moyennage du flux thermique dans le temps

Lors de la simulation de l’effet Morton en régime transitoire, les phénomènes avec l’échelle de temps petite (milli seconde) comme la vibration synchrone sont couplés avec les phénomènes caractérisés par l’échelle de temps grande (des minutes voir des heures) tel que le transfert de la chaleur et la déformation thermique. Dans une approche classique, ce couplage nécessite d’un pas de discrétisation temporelle petit à la grandeur du temps dynamique pour simuler la durée longue à la grandeur du temps thermique. Par conséquence, la simulation a besoin d’un effort de calcul onéreux. Afin de réduire le temps de calcul, une nouvelle méthode nommée " approche du moyennage de flux thermique dans le temps " est proposée dans la simulation complète de l’effet Morton.

Cette approche suppose que quand le rotor se comporte avec la vibration synchrone, les orbites des vibrations synchrones ne changent guère pendant certaines périodes de rotation. Ainsi, il devient possible d'utiliser un flux thermique moyenné dans une période de rotation pour déterminer la température du rotor dans le temps. Toutefois, ce flux thermique ne reste que valable pour une durée de temps courte. Une fois l’orbite synchrone s’est suffisamment évoluée, le flux thermique moyenné devrait être renouvelé.

Ce flux thermique moyenné est calculé à partir du flux thermique instantané obtenu à chaque position dynamique sur l’orbite synchrone (**Figure *1***). En supposant que l'orbite synchrone est décrite par positions, la résolution de l'équation d'énergie du film lubrifiant couplée à l'équation de Reynolds généralisée à chaque position donne le flux thermique instantané exposé au rotor. En outre, la condition aux limites thermique entre le rotor et le film mince n'est pas simple en raison du repère mobile du rotor et du repère fixe du film mince.

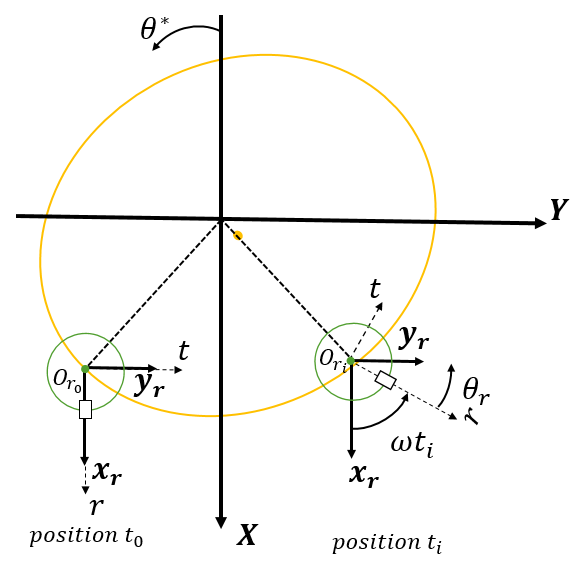


Figure 1 : système de références et avec le rotor aux positions et

Pour une orbite synchrone établie, la première position est définie lorsque l'axe du repère mobile passe par l'axe du repère fixe. A l'instant, le rotor est à la position où l'angle de rotation est. Considérant la rotation propre du rotor, la relation entre le flux thermique obtenu de la résolution de l’équation de l’énergie dans et le flux thermique exposé au rotor dans peut être exprimée dans Eq.1. La relation entre les températures et exprimées dans les deux repères est similaire.

|  |  |
| --- | --- |

Après la résolution de l'équation d'énergie 3D dans le repère fixe , le flux thermique instantané à la surface du rotor exprimé dans le repère mobile est écrit :

|  |  |
| --- | --- |

Le flux thermique moyennéobtenu en se basant sur l’orbite synchrone est ainsi déterminé par:

|  |  |
| --- | --- |

où le pas de temps dynamique est donnée par

Ce flux thermique moyenné est ensuite appliqué comme une condition aux limites au modèle thermique du rotor. La résolution de l’équation de chaleur en régime transitoire permet d’avoir le champ de température à la surface du rotordans le temps.

## Algorithme de l’effet Morton

La simulation transitoire de l’effet Morton est effectuée en utilisant un schéma illustré à la Figure 2. Ce schéma couple le modèle thermomécanique du rotor et le modèle dynamique du système rotor-palier à chaque pas de temps de l’effet Morton. Ce pas de temps représente une durée courte dans laquelle le flux thermique moyenné est supposé constant. Le couplage est réalisé par un échange des informations thermo-mécaniques. Ces dernières contiennent :

* le champ de température à la surface du rotor à l’issu du modèle thermomécanique
* la déforamtion thermique du rotor à l’issu du modèle thermomécanique
* le flux thermique moyenné dans le temps calculé grâce aux modèles dynamique et du palier couplés.

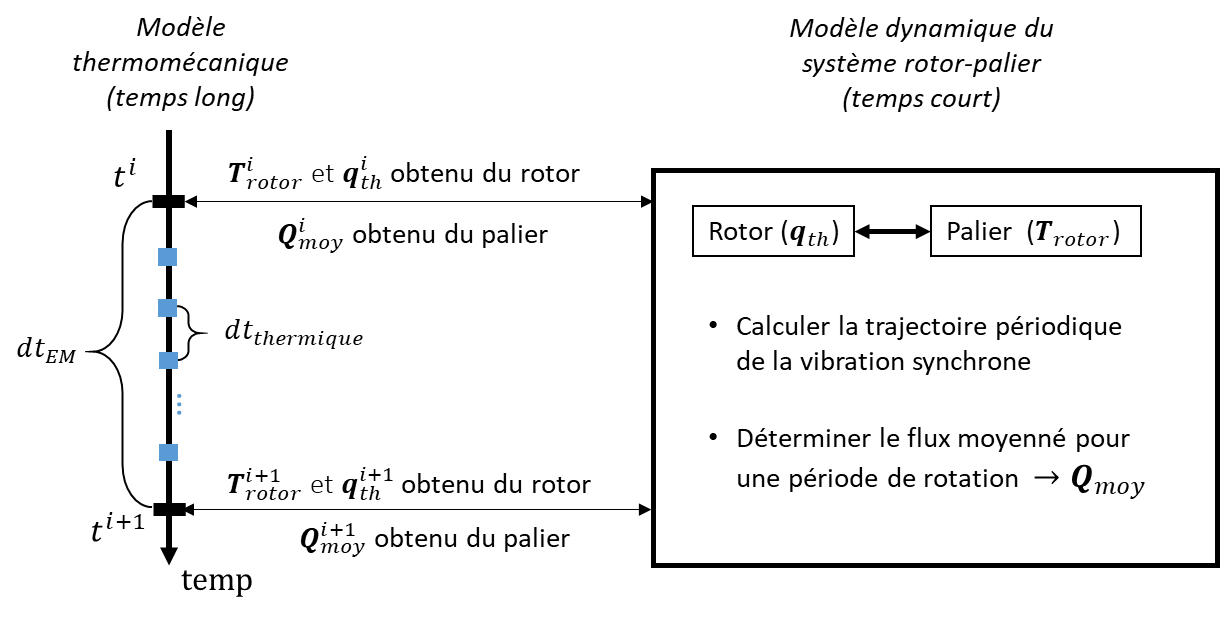


Figure 2 : schéma de la simulation en régime transitoire de l’effet Morton

À l’instant , la température et la déformation thermique provenant du modèle thermomécanique sont injectées au modèle dynamique du système rotor-palier. La déformation thermique crée une source d’excitation synchrone qui influence la réponse dynamique au balourd, alors que la température est imposé à l’interface fluide-rotor comme une condition aux limites pour résoudre l’équation de l’énergie du film.

Dans un premier temps, les méthodes pour trouver la trajectoire périodique de la vibration synchrone du rotor (méthode de shooting ou méhode classique cf. Ch.XX.X.X ) sont utilisées. Dans cette méthode, le schéma d’intégration temporelle de Newmark combiné avec la méthode de Newton-Raphson est mise en place pour résoudre l’équation de mouvement. A chaque pas de temps dynamique, les efforts du palier sont calculés par la résolution de l’équation de Reynolds couplée avec l’équation de l’énergie. En même temps, le champ de flux thermique à l’interface fluide-rotor est calculé pendant la résolution thermo-hydrodynamique. Ce flux thermique instantané est enregistré pour préparer l’approche du moyennage du flux thermique dans le temps.

Ensuite, une fois que la trajectoire périodique de la vibration synchrone est obtenue, le flux thermique moyenné pendent une période est évalué. Celui-ci est renvoyé au modèle thermomécanique et est appliqué comme une condition aux limites. L’intégration temporelle de l’équation de la chaleur permet ainsi d’estimer le champ de température du rotor à l’instant du temps . En se basant sur ce champ de température, la déformation thermique est calculé. La procédure est répétée à avec ces nouvelles informations thermomécanique et l’algorithme de l’effet Morton est illustré grâce à la figure XX.

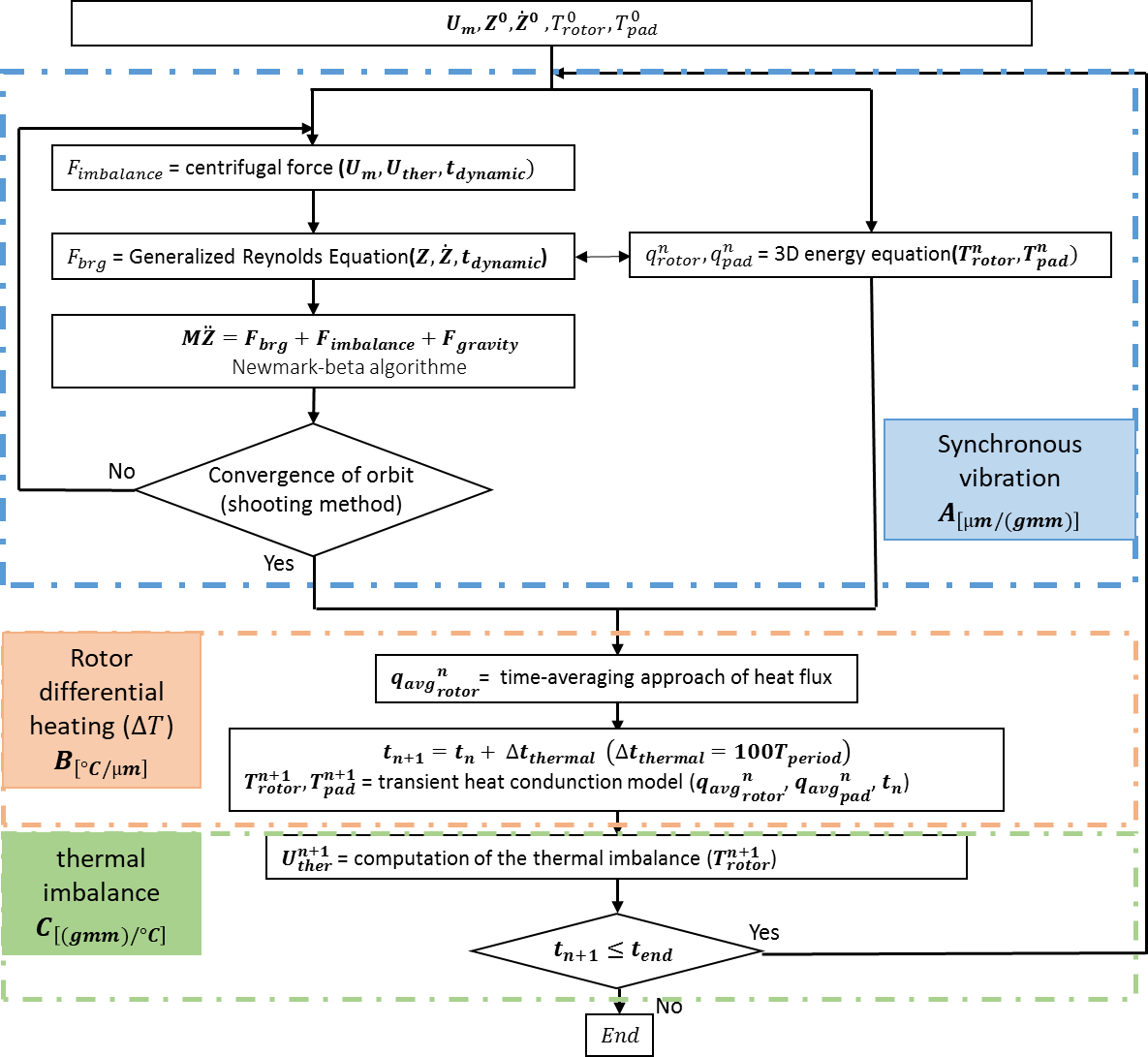


Figure 3 : Algorithme de l’effet Morton

Il faut souligner qu’en réel, le flux thermique moyenné utilisé par le modèle thermique est inconstant dans le pas de temps . La température estimée à est obtenu uniquement sur les informations thermique à . Par conséquent, l’intégration temporelle de l’équation de la chaleur est effectuée avec un schémas explicite. Pour assurer la stabilité du schéma, il faut bien choisir le pas de temps thermique en fonction de l’équation (XXX).

# Description du Banc de l’Effet Morton (BEM)

La simulation complète de l’effet Morton s’est basé sur les configurations du BEM construit au laboratoire de l’institut Pprime. Ce banc d’essais possède deux configuration : une configuration courte du rotor creux de 430mm et une configuration longue du rotor creux de 700mm. L’origine de la mise en place ces deux rotors creux était que le rotor de 430mm initialement conçu se comportait avec l’effet Morton stable pendant les essais. En espérant reproduire l’effet Morton instable, le deuxième rotor qui se mesurait 700mm a été conçu et fabriqué.

Pour les deux configurations, les rotors sont creux afin d’avoir une grande différence de la température au rotor . Le diamètre intérieur et extérieur des rotors est respectivement 35mm et 45mm. Le même roulement à billes et le même palier circulaire servent à supporter les rotors. Le palier hydrodynamique se situe du côté opposé au moteur (NDE), alors que le roulement à billes est installé sur côté du moteur (DE).

## Caractéristiques du palier testé

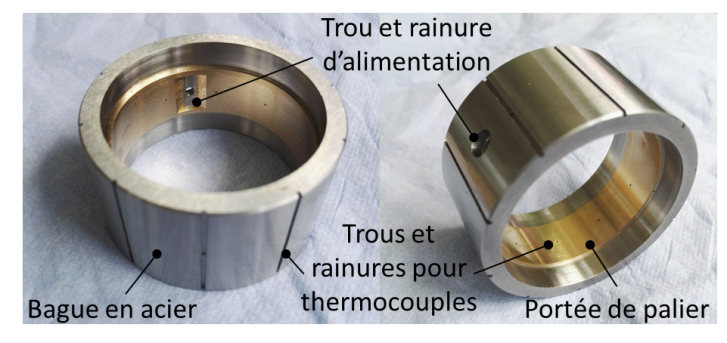


Figure 4 : Palier testé

Le palier testé est un palier lisse circulaire (Figure 4) avec rainure axiale positionnée en haut du coussinet. Il est réalisé en bronze fritté avec ajout de particules de Téflon (PTFE) améliorant ainsi les caractéristiques de frottement et d’usure. Sa longueur est de 15 mm et son jeu radial est de 50 µm, la portée en bronze est frettée dans une bague en acier. Les caractéristiques du palier sont synthétisé dans le tableau.

XXXX

## Caractéristiques du lubrifiant

## Configuration du rotor 430mm

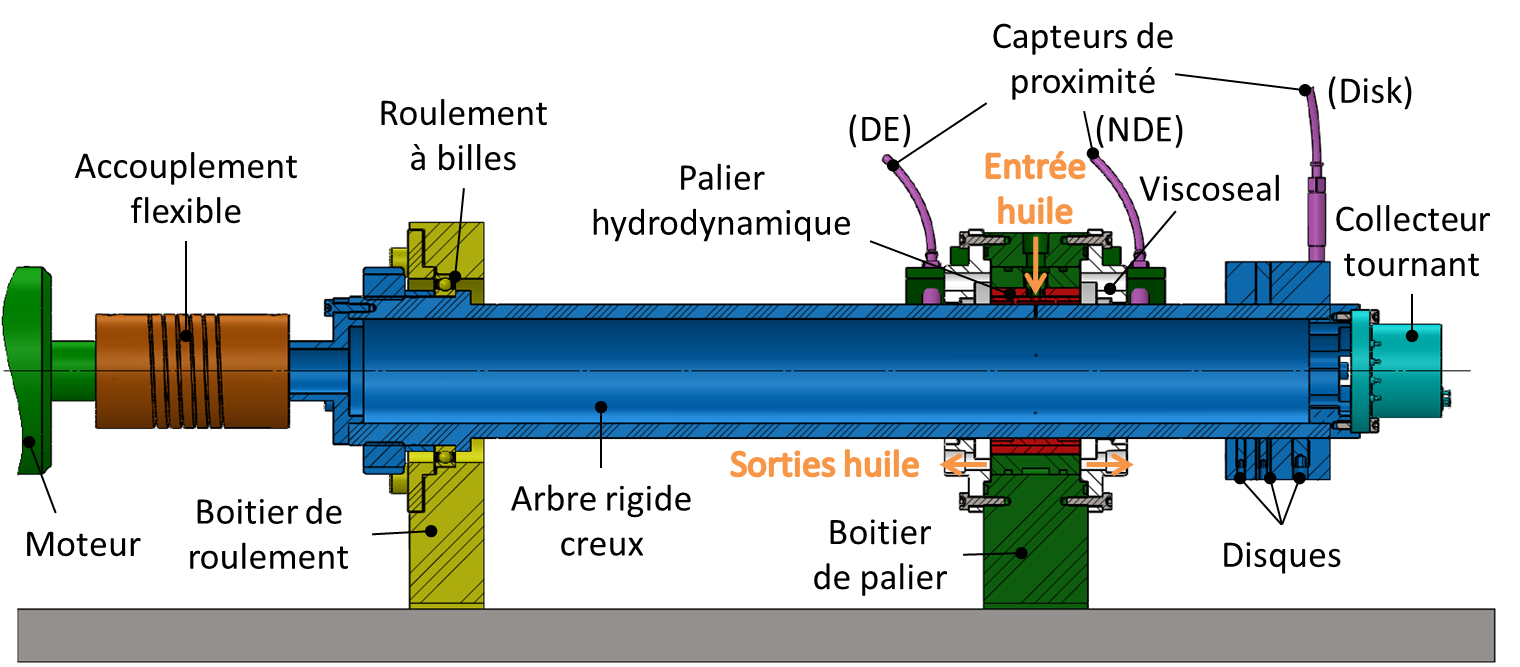


Figure 5 : Description du banc d'essais BEM []

## Configuration du rotor 700mm

# Résultats du rotor 430mm

# Résultats du rotor 700mm

# Conclusion

# Référence

Thibaud….