

Vers le diagnostic et le pronostic des Machines Synchrones à Aimants Permanents

Garance Vinson^{1,2}, Pauline Ribot², Thomas Prado¹, Michel Combacau², Jean-Charles Maré³

1: **Messier-Bugatti-Dowty**, 78140 Velizy-Villacoublay, France

2: **CNRS LAAS**, 7 av du Colonel Roche, Univ. de Toulouse, LAAS-UPS, 31400 Toulouse, France

3: **Institut Clément Ader**, 31000 Toulouse, France

garance.vinson@safranmbd.com

GTS3

21 Novembre 2013

INTRODUCTION

→ Contexte

- Electrification des actionneurs aéronautiques
 - Gain en masse, maintenance facilitée, mais attention à la fiabilité!
- Augmentation des exigences en disponibilité opérationnelle
- → Intérêt de superviser l'état de santé des équipements
 - Disponibilité opérationnelle
 - Organisation des opérations de maintenance

→ Ce qui existe

- De nombreuses méthodes pour le diagnostic
- De + en + de méthodes pour le pronostic
- En général, dédiées à une application

→ Ce qui n'existe pas encore

- Intégration du diagnostic et du pronostic en une même méthode
- Généricité pour tout type d'équipement, complexe et hétérogènes
 - Hydraulique, électrique, mécanique, etc.



INTRODUCTION

→ Objectif

- Développer une méthode générique de diagnostic et de pronostic

→ Méthode

- Les méthodes à base de modèles, par comparaison avec les méthodes guidées par les données, sont plus facilement génériques et adaptables
- → **Un cadre générique de modélisation est conçu**

Il représente le comportement de l'équipement, et l'évolution de son état de santé

- → **Une méthode de suivi de l'état de santé est construite**

Elle est basée sur le cadre de modélisation

Application

Machines Synchrones
à Aimants Permanents



/01/

Le cadre de modélisation générique

Le cadre consiste en deux parties:

→ Un modèle structurel et fonctionnel, qui représente :

- Les comportements nominaux et en fautes, sous forme de plusieurs modes
- Les interactions entre les composants du système

→ Un modèle de vieillissement, qui représente :

- L'évolution de l'endommagement du système dans le temps
- L'effet d'un composant endommagé sur les autres
- La propagation de perte de performance dans le système

LE RÉSEAU FONCTIONNEL (RIBOT ET AL. (2009))

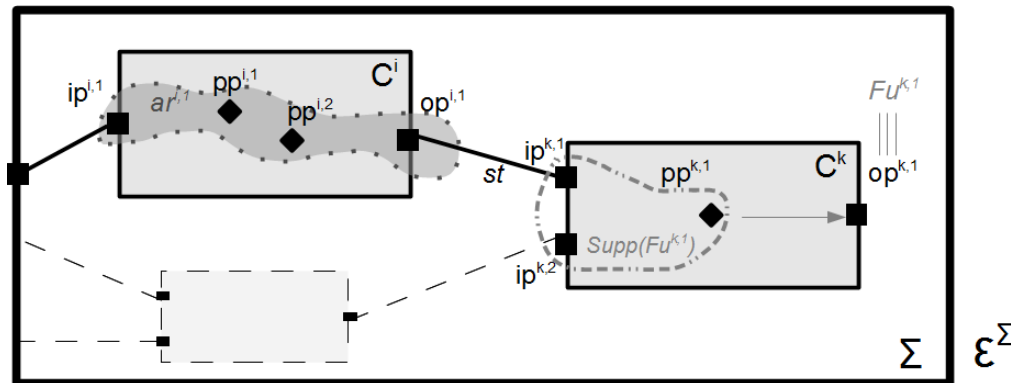
→ Les quantités physiques (ou informations) sont modélisées par des paramètres p

- Paramètre d'entrée ip
 - Paramètres de sortie op
 - Paramètres privés pp
- ↳ Liés par la structure st

→ Valeurs des paramètres

- Deux paramètres structurellement connectés ont toujours la même valeur $v(p,t)$
- L'ensemble des valeurs possibles pour un paramètre dans un mode (nominal, dégradé, de faute) est le rang $r(p)$, spécifique au mode

→ Fonctions élémentaires et fonctions objectifs



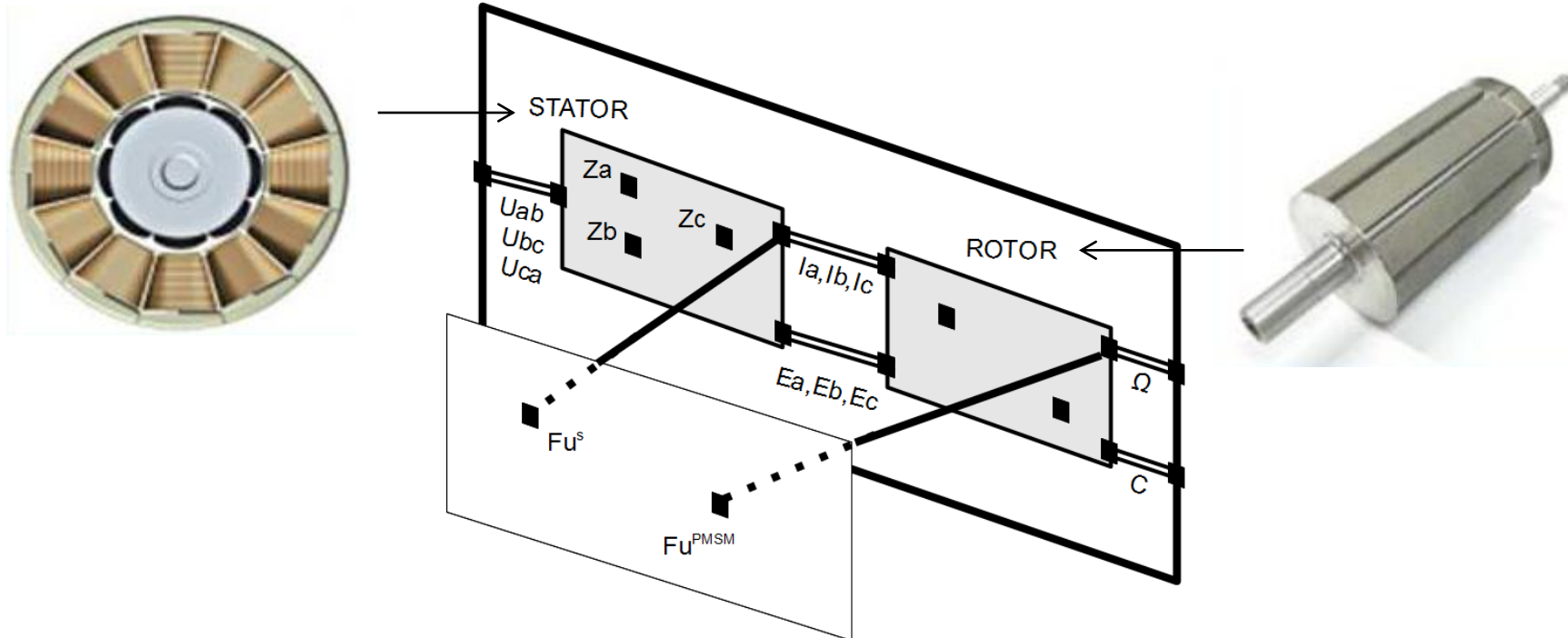
LE RÉSEAU FONCTIONNEL - APPLICATION

→ Fonction objectif:

- Produire une vitesse de rotation constante , en accord avec les tensions d'alimentation, quelque soit le couple appliqué par l'environnement sur l'arbre moteur

→ Les composants:

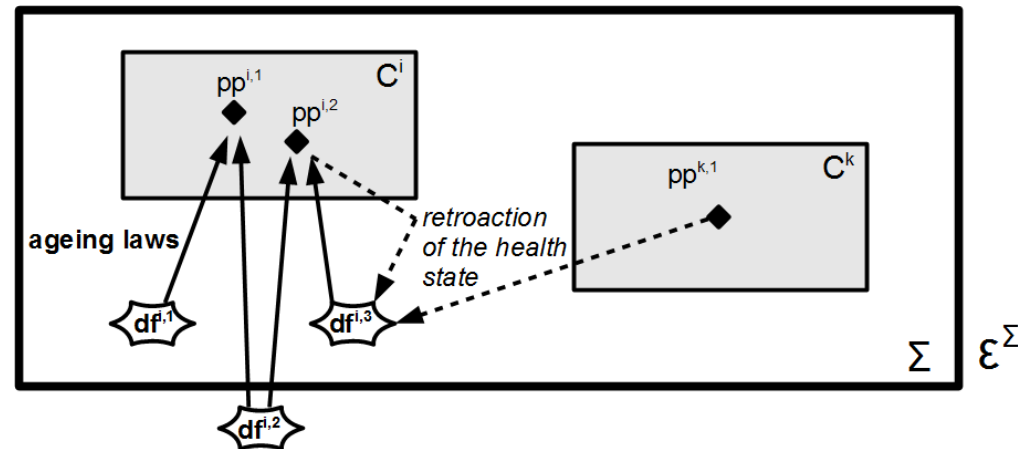
- Le stator produit les courants de phase I_a, I_b, I_c
- Le rotor produit la vitesse mécanique Ω



LE RÉSEAU DE VIEILLISSEMENT

→ L'état de santé = les paramètres privés

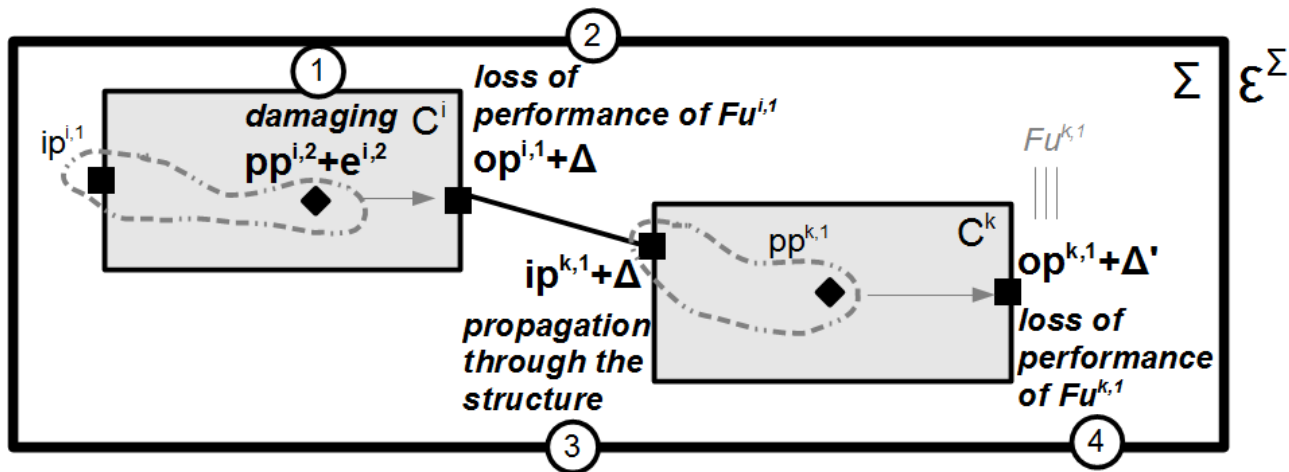
- Endommagement : $e^{i,j}(t) = \text{distance}(v(pp^{i,j},t), pp_0^{i,j})$
- Faute $\rightarrow e^{i,j}(t) > e_f$
- Stress = facteurs d'endommagement df .
- Loi de vieillissement $ag^{i,j}$ = relation entre e et $\{df\}$ – physique ou statistique
- Rétroaction de l'état de santé du système sur lui même = fonction $f_{df}: e(t) \nearrow \rightarrow v(df,t) \nearrow$



LE RÉSEAU DE VIEILLISSEMENT

→ Les paramètres de sortie permettent de représenter la performance

- La perte de performance de la fonction $Fu^{i,k}$ est $def^{i,k} = \text{distance}(op^{i,k}_{opt}, v(op^{i,k}, t))$.
- Défaillance $\rightarrow def^{i,k}(t) > def^{i,k}_f$
- Alors la fonction n'est plus disponible: $Av(Fu^{i,k}, t) = 0$
- Il y a une propagation de perte de performance dans le système

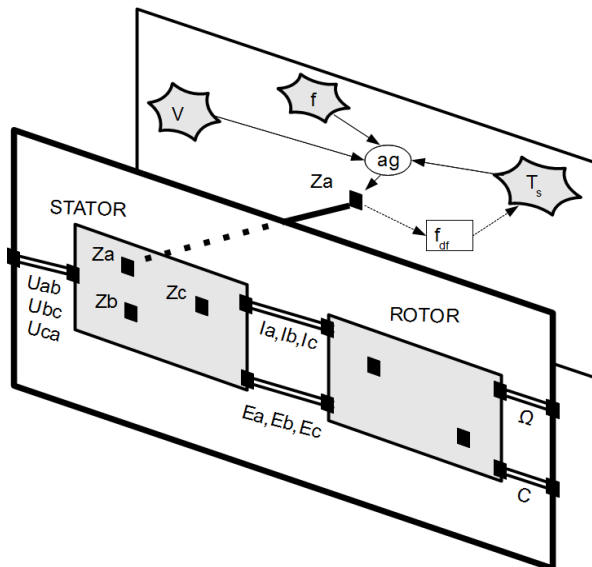
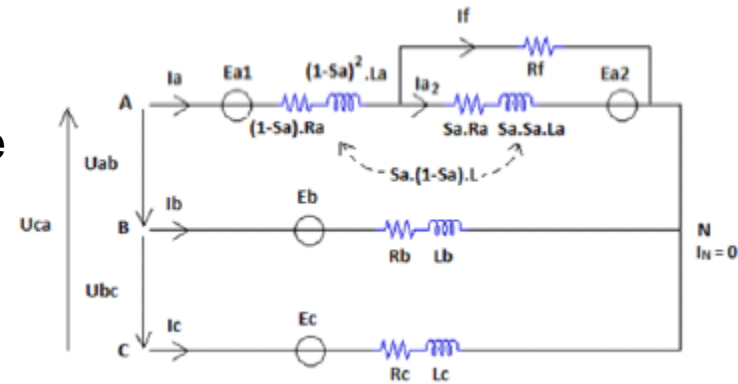


LE RÉSEAU DE VIEILLISSEMENT - APPLICATION

→ Un endommagement possible est le court-circuit entre spires d'une phase

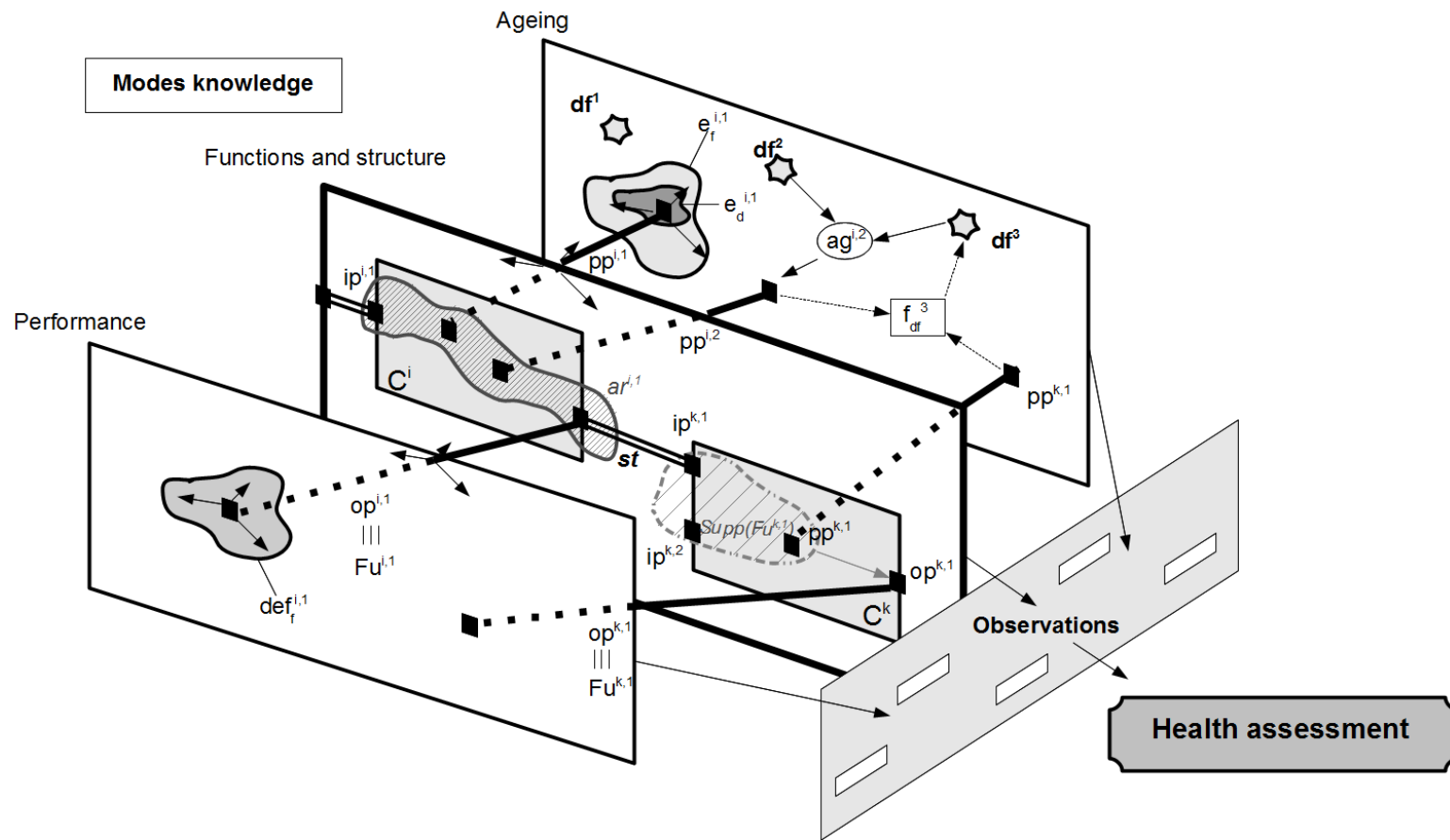
- Facteurs d'endommagement: amplitude V et fréquence f de la tension d'alimentation, et température statorique T_s .

- Court-circuit = modification de la résistance de phase
The damage is $e(t) = |R_{a,0} - R_a(t)|$.



La fonction de rétroaction: les courts-circuits entre spires entraînent une augmentation de T_s

Propagation de perte de performance: du stator vers le rotor à travers les courants de phase



→ On a toutes les informations nécessaires au diagnostic et au pronostic:

- “fonctionnel”: performances via les valeurs des paramètres de sortie
- “avancé”: physique des fautes via les valeurs des paramètres privés

/02/

La méthode de détermination de l'état de santé

→ Diagnostic:

- Observer le composant, déduire les valeurs des résidus observables
- Déduire le mode qui représente les comportements des composants: diagnostic locaux
- Déduire le mode du système par fusion des diagnostics locaux: diagnostic global

Sortie: état de santé courant du système

→ Pronostic:

- A partir du résultat de diagnostic, estimer les valeurs des résidus prédictibles, à partir:
 - Des lois de vieillissement
 - Des lois de rétroaction
- Pronostic: diagnostic du système, à des instants futurs

Sortie: état de santé futur du système + RUL

Les algorithmes sont développés (Matlab) et testés;

- Diagnostic: simulation avec un prototype virtuel + essais
- Pronostic: simulation avec des lois fictives mais réalistes

→ Conclusion

- Un cadre de modélisation générique a été proposé
- Une méthode formelle de diagnostic et pronostic à base de modèle est proposée
- Ceci est illustré par une application sur des Machines Synchrones à Aimants Permanents (CONFIDENTIELLE)

→ Perspectives

- Nécessité de réaliser des essais pour mieux connaître le vieillissement des MSAP!!!
- En général, nécessité de mieux connaître le vieillissement des équipements pour le pronostic
- Application à d'autres équipements, pompe hydraulique et actionneur complet

Merci