

Sujet de thèse  
 Institut FEMTO-ST (UBFC - ENSMM/UFC/UTBM)  
**contribution à une approche de pronostic orientée décision**

**Directeurs**

Christophe Varnier - MCF HDR ([Christophe.Varnier@ens2m.fr](mailto:Christophe.Varnier@ens2m.fr))

Noureddine Zerhouni - PR ([zerhouni@ens2m.fr](mailto:zerhouni@ens2m.fr))

**mots clés** : aide à la décision, pronostic orienté décision, optimisation

## 1 Contexte

Durant la dernière décennie, de nombreux travaux ont été menés dans le domaine du PHM (*Prognostics and Health Management*) (figure 1), [3]. La majorité des résultats publiés concerne l'étape principale du pronostic [9], [7]. Le but du pronostic est de calculer la durée de vie résiduelle (RUL - Remaining Useful Life) d'un composant ou d'un système, à partir de données issues de mesures, d'observations ou de l'environnement. L'équipe PHM a acquis une forte expertise sur cette étape. Les approches proposées sont de différentes natures soit orientées données soit hybrides. Les méthodes orientées données se basent sur une phase d'apprentissage préalable et sur les données recueillies en ligne pour prédire l'évolution de la durée de vie. Les approches hybrides intègrent quant à elles des modèles des dégradations du système physique en complément des données.

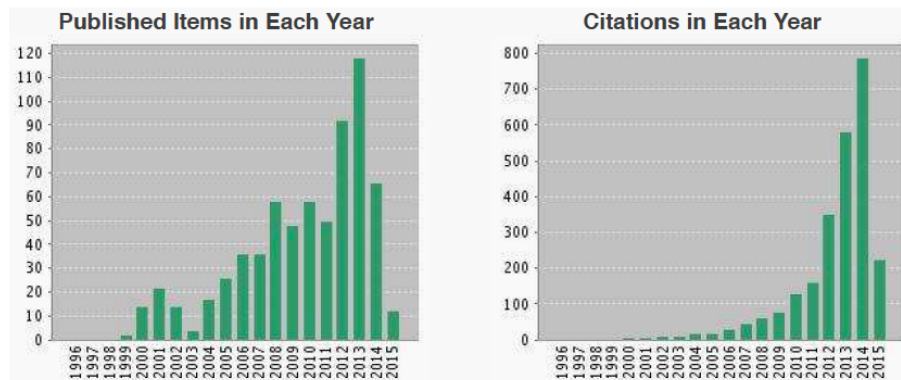


FIGURE 1 – Publications sur le domaine PHM (Web of Science)

Il apparait de plus en plus clair que cette phase de pronostic n'est pas une fin en soi. Elle doit seulement fournir des informations pertinentes permettant de décider d'actions de maîtrise à mettre en œuvre pour maintenir le système à un certain niveau de performances. Des travaux émergent ainsi pour appréhender la phase de décision qui suit immédiatement le pronostic [1], [6]. Les approches de décision dépendent de plusieurs facteurs tels que l'horizon de décision, la granularité du système étudié ou encore la criticité du composant surveillé. On trouve ainsi des travaux qui proposent d'adapter la commande d'un système aux évolutions de son état de santé [8], d'agir sur la politique de maintenance du système en



optimisant le coût de maintien en condition opérationnelle [2] ou d'optimiser les missions affectées à un équipement pour fournir un service minimum [1]. L'équipe PHM de FEMTO-ST a d'ailleurs contribué dans cette étape avec les travaux de thèse de N. Herr [5], [4].

## 2 Problématique

Dans les quelques travaux présentés précédemment, les étapes de pronostic et de décision du domaine PHM sont toujours vues comme indépendantes. Le seul lien est le résultat du pronostic qui constitue une donnée d'entrée de la phase de décision. Ceci n'est en fait qu'une simplification car en réalité les deux sont intimement liés.

En effet, pour être efficace le pronostic a besoin de connaître les conditions opérationnelles futures d'un système pour tenir compte des sollicitations à venir. En même temps les décisions d'actions peuvent conduire à changer les conditions opérationnelles pour agir sur les sollicitations du ou des systèmes. Un problème se pose alors puisque le pronostic et la décision ont mutuellement besoin des résultats de l'autre.

L'ensemble de ces aspects sont très peu prospectés dans l'état de l'art international.

Ce sujet de thèse a pour objectif de donner les premiers éléments de réponse à cette problématique :

- Une approche de pronostic orientée décision similaire à celles déjà développées pour le pronostic peut être envisagée. Elle devra cependant être suffisamment proactive afin de tenir compte des modifications de conduite des systèmes au cours du temps, des changements de conditions opérationnelles, etc.
- Faisant suite au pronostic, la nature de l'action envisagée à moyen ou long terme (typiquement une maintenance prévisionnelle) n'a pas d'impact sur l'évolution de la dégradation en cours. En revanche, les problèmes décisionnels qui en découlent se trouvent impactés par la nature non déterministe et "mouvante" des données manipulées : l'incertitude sur le RUL évoluant avec le temps, de nouvelles approches de décision doivent être imaginées.

En résumé, l'objectif est d'optimiser l'interaction "itérative" entre les phases de pronostic et de décision. Un axe de travail consiste à s'orienter sur des méthodes d'optimisation multicritères.

## 3 Verrous scientifiques associés au sujet

Cette thèse vise à adresser les verrous scientifiques suivants (figure 2) :

- intégration de la notion de décision dans les algorithmes de pronostic : il faut nécessairement modifier les algorithmes de pronostic pour qu'ils ne se contentent plus de fournir la durée de vie résiduelle du système mais les évolutions de cette durée de vie en fonction d'un ensemble de scénarios considérant la variabilité possible des conditions opérationnelles et des actions (missions, maintenance prédictive, etc.)
- critère de convergence de l'itération : l'interaction entre le pronostic et la décision va certainement contraindre l'approche proposée à effectuer plusieurs itérations. Il sera alors nécessaire de garantir une convergence de l'approche itérative.

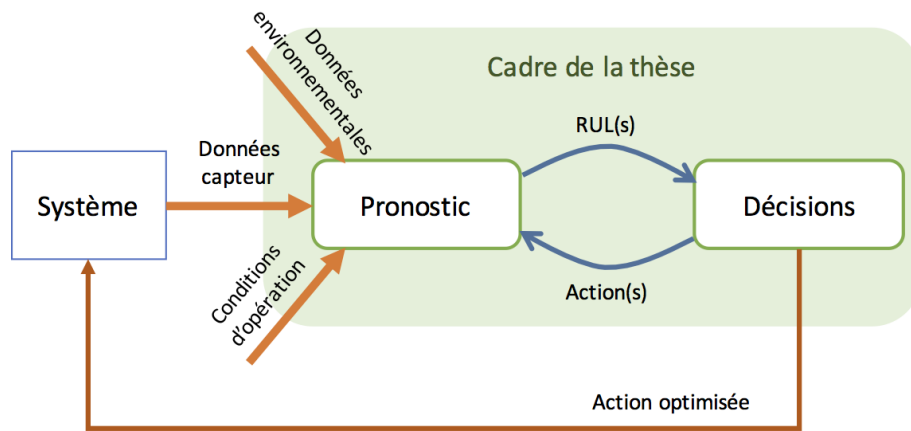


FIGURE 2 – Interaction pronostic-décision

- fréquence de prise de décision : outre le fait de devoir apporter dans la démarche une itération entre les phases de pronostic et de décision, il semble aussi primordial de déterminer l’horizon de décision le plus adapté. En effet, les décisions validées contribuent à modifier l’évolution prédite de l’état de santé. Il convient donc de savoir quand remettre à jour les décisions.

Ce sujet répond totalement à l’évolution de l’équipe PHM et à la consolidation de sa position à l’état de l’art international. Il s’agit là d’un sujet assez générique qui doit permettre de renforcer l’identité scientifique de l’équipe.

## 4 Équipe d’accueil et contexte de travail

La thèse proposé se déroulera au sein de l’équipe PHM du département AS2M de l’institut FEMTO-ST (UBFC-ENSMM/UFC/UTBM), situé dans les locaux de l’ENSMM.

Contact : Christophe Varnier ([christophe.varnier@ens2m.fr](mailto:christophe.varnier@ens2m.fr)).

Veillez accompagner l’acte de candidature :

- d’un CV détaillé (avec vos coordonnées complètes : adresse postale, électronique, téléphone)
- d’une lettre de motivation pour la recherche
- de vos relevés de notes
- de lettre(s) de recommandation ou des noms de personnes référentes.

## 5 Profil des candidats

Les compétence requises pour ce sujet sont :

- Méthodes d’optimisation
- Pronostic
- Programmation



## Références

- [1] E. Balaban and J. J. Alonso. An approach to prognostic decision making in the aerospace domain. In *Proc. of The Annual Conf. of the Prognostics and Health Management Society, Minneapolis, Minnesota*, pages 396–415, September 2012.
- [2] Radhouane Djeridi. *Contribution to the availability control of complex systems : proposal of proactive rescheduling method of the maintenance*. Theses, Arts et Métiers ParisTech, December 2010.
- [3] R. Gouriveau, K. Medjaher, E. Ramasso, and N. Zerhouni. Phm - prognostics and health management - de la surveillance au pronostic de défaillances de systèmes complexes. *Techniques de l'Ingénieur*, 2013.
- [4] N. Herr, J.-M. Nicod, and C. Varnier. Prognostic decision making to extend a platform useful life under service constraint. In *Proce. of IEEE Int. Conf. on Prognostics and Health management (PHM), Spokane, WA, June 22-25*, Spokane, Washington, June 22-25 2014. Best paper Award.
- [5] Nathalie HERR. *On the post-prognostics scheduling of heterogeneous and distributed platforms : discrete and continuous approaches*. Theses, Université de Franche-Comté., November 2015.
- [6] N. Iyer, K. Goebel, and P. Bonissone. Framework for post-prognostic decision support. In *Proc. of 2005 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT*, pages 1–10, March 4-11 2005.
- [7] Marine Jouin, Rafael Gouriveau, Daniel Hissel, Marie-Cécile Péra, and Nouredine Zerhouni. Joint particle filters prognostics for pemfc power prediction at constant current solicitation. *IEEE Transactions on Reliability*, pages 1–14, feb 2015.
- [8] X. Lei, P. Sandborn, R. Bakhshi, A. Kashani-Pour, and N. Goudarzi. Phm based predictive maintenance optimization for offshore wind farms. In *Proc. of IEEE Int. Conf. on Prognostics and Health Management, Austin, TX, June 22-25 2015*.
- [9] Ahmed Mosallam, Kamal Medjaher, and Nouredine Zerhouni. Data-driven prognostic method based on bayesian approaches for direct remaining useful life prediction. *Journal of Intelligent Manufacturing*, pages 1–20, jun 2014.