

Sujet de Thèse : **Modélisation d'un système de distribution de flux par un Modèle Graphique Probabiliste Dynamique appliqué au pronostic de durée de vie résiduelle.**

Dates : 2017/10/01 - 2020/09/30  
Les candidats doivent nous faire parvenir leurs candidatures et CV détaillés pour le **5 avril dernier délai**.

Directeur(s) : Philippe WEBER, Christophe SIMON

CRAN :

Description : Cette thèse a pour but de contribuer au développement des recherches sur le Health Management c'est-à-dire la gestion de l'état de santé des systèmes complexes. Dans un contexte de management opérationnel et de sûreté de fonctionnement des systèmes, nous proposons d'étudier comment la modélisation par un Modèle Graphique Probabiliste Dynamique (MGPD) permet le diagnostic de l'état de santé d'un système, le pronostic de ses performances et de l'évolution des dégradations et l'estimation de sa durée de vie résiduelle.

Cette thèse a pour but de contribuer aux verrous scientifiques suivants :

- la modélisation de systèmes complexes pour l'aide à la décision dans un univers incertain : en proposant une méthode adaptée aux nouveaux enjeux de la sûreté de fonctionnement visant à évaluer des systèmes de distribution de flux;
- la propagation des incertitudes dans la modélisation de systèmes complexes : en particulier l'incertitude sur l'évolution de l'environnement d'exploitation, l'incertitude sur la propagation des événements dans l'évaluation probabiliste de sûreté, et notamment le cas des incertitudes épistémiques liées au manque de connaissance ;
- le diagnostic de l'état de santé d'un système et le pronostic des performances, des dégradations et de la durée de vie résiduelle d'un système.

En ce qui concerne le support applicatif, nous nous intéressons plus particulièrement aux systèmes de distribution de flux. Ces flux peuvent être des flux d'information, des flux d'énergie, ou des flux de matières. Le support applicatif présente l'intérêt de la complexité en raison du nombre de variables, mais aussi de leurs interdépendances. Par ailleurs, on notera un intérêt sociétal, car ces systèmes correspondent aux infrastructures critiques support du fonctionnement de nos sociétés : réseau de distribution d'eau potable, réseaux de distribution d'électricité, réseau de distribution de chaleur, de pétrole ou de gaz.

L'objectif de cette thèse est d'étudier comment un MGPD permet de modéliser à la fois la dégradation des composants, mais aussi l'impact de ces dégradations sur les performances du système. La dégradation des composants est en générale inconnue et nécessite un arrêt du système pour être observée ce qui est impossible durant l'exploitation du système. Cependant, un ensemble de grandeurs observables sur le système peuvent

caractériser la dégradation et par conséquent la durée de vie résiduelle du système.

Les MGPD permettent une approche multiétat adaptée à la modélisation de ce type de systèmes (Weber et Simon 2016). Une approche basée sur des modèles probabilistes est proposée par (Si et al. 2011). Cette approche permet de calculer la loi de probabilité de chaque composant et d'en déduire la durée de vie résiduelle du système. D'autres auteurs (Thanh et al. 2014, Tobon-Mejia et al. 2012) proposent l'utilisation de HMM (Hidden Markov Model) ou de HSMM (Hidden Semi-Markov Model) pour modéliser le processus non observable de dégradation et le relier à des observations de leurs conséquences.

Nous avons proposé des contributions en modélisation probabilistes pour la modélisation de la fiabilité des composants en intégrant l'impact de l'environnement et des contraintes de fonctionnement par IO-HMM (Weber et al. 2004, Ben Salem et al. 2006) ainsi que pour la modélisation de l'impact de la fiabilité des composants sur les niveaux fonctionnels des systèmes par réseaux bayésiens (Medina-Oliva et al. 2015). Les algorithmes d'apprentissage et d'inférence des MGPD disponibles aujourd'hui rendent exploitables ces modèles complexes pour une exploitation dans une problématique de pronostic.

Nous avons également travaillé sur la modélisation de l'incertitude épistémique et des connaissances incomplètes en fiabilité et en maîtrise des risques (Simon et al. 2008) et plus particulièrement pour la modélisation des performances des systèmes multiétats (Simon et Weber 2009), ce qui correspond bien au problème de connaissance du processus de dégradation des composants. Enfin, nous avons intégré l'aspect dynamique dans cette modélisation des processus incertains (Weber et Simon 2008).

Il s'agira dans cette thèse de transposer et de capitaliser l'expérience de ces travaux antérieurs dans un contexte de pronostic sur la base d'un MGPD plus efficace compte tenu des connaissances disponibles sur le système. Nous proposons d'étendre la modélisation classique des modèles de la famille des HMM vers les MGPD pour permettre une propagation temporelle de l'incertitude sous la forme d'intervalles de probabilités afin de résoudre le problème de pronostic. Cette recherche comprend l'extension des algorithmes d'apprentissage et d'inférence. Les variantes du modèle HMM seront envisagées pour intégrer le contexte opérationnel dans le pronostic.

L'enjeu est majeur, car le pronostic de la dégradation des composants du système permet de définir des stratégies soit de pilotage soit de maintenance par rapport à la durée de vie résiduelle du système, et ainsi réduire la probabilité d'occurrence d'un arrêt pour cause de dysfonctionnement du système soit en réduisant la vitesse de dégradation pour s'accorder à un plan de maintenance préventif soit en planifiant les interventions de maintenance de manière proactive.

Cette thèse sera encadrée par Philippe WEBER Professeur des Universités au CRAN et Christophe SIMON Maître de Conférences au CRAN, tous deux membres du Projet : Sûreté de fonctionnement, PHM et maintenance des systèmes complexes (S-PHM2) du département : Ingénierie des Systèmes Eco-Techniques (ISET) et du projet : Commande tolérante - Diagnostic de défauts et Sûreté (CDuSûr) du département : Contrôle - Identification – Diagnostic (CID), du CRAN (UMR 7039).

## Références

- Weber P., Simon C., *Systems Dependability Assessment: Benefits of Bayesian Networks Models*. Wiley-ISTE, 146 pages, August 2016, ISBN: 978-1-84821-992-2
- Medina-Oliva G., Weber P., Iung B. Industrial system knowledge formalization to aid decision making in maintenance strategy assessment. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 37, (2015), pp. 343–360.
- Thanh Trung Le, Florent Chatelain, Christophe Berenguer. Hidden Markov Models for diagnostics and prognostics of systems under multiple deterioration modes. *European Safety and Reliability Conference (ESREL 2014)*, Sep 2014, Wroclaw, Poland. Taylor & Francis – CRC Press/Balkema, *Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the ESREL 2014*, pp. 1197-1204, 2014. <hal-01027509>
- Diego Tobon-Mejia, Kamal Medjaher, Noureddine Zerhouni, Gérard Tripot. A data-driven failure prognostics method based on mixture of gaussians hidden markov models. *IEEE Transactions on Reliability*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2012, 61 (2), pp.491-503. <10.1109/TR.2012.2194177>. <hal-00737585>
- Si X.S., Wang W., Hu C-H., Zhou D-H. Remaining useful life estimation – A review on the statistical data driven approaches. *European Journal of Operational Research* Volume 213, Issue 1, 16 August 2011, Pages 1–14, doi: 10.1016/j.ejor.2010.11.018
- Simon C., Weber P. Evidential networks for reliability analysis and performance evaluation of systems with imprecise knowledge. *IEEE Transactions on Reliability*, 58, 1, March (2009), pp. 69-87. DOI : 10.1109/TR.2008.2011868
- Simon C., Weber P., Evsukoff A.G. Bayesian networks inference algorithm to implement Dempster Shafer theory in reliability analysis. Special Issue “Bayesian networks in dependability” guest editors Montani S. and Boudali H., in *Reliability Engineering and System Safety*, 93, 7, (2008), pp. 950-963. DOI : 10.1016/j.ress.2007.03.012
- Weber P., Simon C. Dynamic evidential networks in system reliability analysis: A Dempster Shafer approach. Session invitée, 16th *Mediterranean Conference on Control and Automation*, Ajaccio, France, June 25-28, (2008), 603-608.
- Ben Salem A., Muller A., Weber P. Dynamic Bayesian Networks in system reliability analysis. 6th *IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes*, Beijing, P.R. China, 30 august, (2006), pp. 481-486.
- Weber P., Munteanu P., Jouffe L. Dynamic Bayesian Networks modelling

the dependability of systems with degradations and exogenous constraints. 11th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, INCOM'04. Salvador-Bahia, Brazil, April 5-7th, (2004).

- Mots clés : Pronostic, durée de vie résiduelle, sûreté de fonctionnement, modèle graphique probabiliste dynamique.
- Conditions : Durée : 3 ans
- Lieu : CRAN - FST, Vandoeuvre-lès-Nancy
- Profil du candidat : Nous sommes à la recherche d'un(e) candidat(e) fortement motivé(e) ayant un diplôme de Master en automatique, en mathématiques appliquées ou en informatique/intelligence artificielle, et démontrant un goût prononcé pour la recherche méthodologique.
- Département(s) : ISET  
Cette thèse s'inscrit dans le LABCOM : PHM-Factory (CRAN – PREDICT) supporté par le CRAN, elle est plus particulièrement rattachée au Projet : Sûreté de fonctionnement, PHM et maintenance des systèmes complexes (S-PHM2) du département : Ingénierie des Systèmes Eco-Techniques (ISET).
- Financement : Allocation doctorale de l'École Doctorale IAEM Lorraine

### Sujet en anglais

This thesis aims to contribute to the development of research in Health Management: management of the state of health of complex systems. In a context of operational management and system reliability, we propose to study how Dynamic Probabilistic Graphic Model (MGPD) allows the diagnosis of the state of health of a system, the prognosis of its performance and the evolution of degradations and the estimation of its remain useful life.

This thesis aims to contribute to the following scientific topics:

- modeling of complex systems for decision support in an uncertain universe: by proposing a method adapted to the new challenges of the dependability to evaluate systems of distribution of flows;
- propagation of uncertainties in the modeling of complex systems: in particular the uncertainty about the evolution of the operating environment, the uncertainty about the propagation of events in the probabilistic safety assessment, and in particular uncertainties epistemic linked to lack of knowledge;
- diagnosis of a system and the prognosis of performance, degradation and remain useful life of a system.

For application support, we are interested in flow distribution systems: for information, energy, or materials. This support presents the interest of complexity by the number of variables but also by their interdependencies. Moreover, it is of societal interest because these systems correspond to the critical infrastructure supporting the functioning of our societies: drinking water distribution network, electricity distribution networks, heat, oil or gas distribution networks.

The objective of this thesis is to study how MGPD allows to model: the degradation of the components and the impact of these degradations on the performance of the system. The degradation of the components is generally unknown and requires a shutdown of the system to be observed which is impossible during operation of the system. However, a set of

observable quantities on the system can characterize the degradation and consequently the residual life of the system.

The MGPDs allow a multi-state approach adapted to the modeling of this type of systems (Weber and Simon 2016). In addition (Thanh 2014, Tobon-Mejia 2012) propose the use of HMM (Hidden Markov Model) or HSMM (Hidden Semi-Markov Model) to model the unobservable process of degradation and link it to observations of their consequences.

We proposed contributions for the modeling of component reliability by integrating the impact of the environment and operational constraints by IO-HMM (Ben Salem 2006) as well as for modeling the impact of component reliability on the functional levels of systems by Bayesian networks (Medina-Oliva 2015). The learning and inference algorithms of the MGPDs available today make these complex models exploitable for prognosis.

We also worked on the modeling of epistemic uncertainty and incomplete knowledge in reliability and risk control (Simon 2008) and more specifically for the modeling of the performance of multi-state systems (Simon and Weber 2009), which corresponds well to the problem of knowledge of the process of degradation of the components. Finally, we have integrated the dynamic aspect of this modeling of uncertain processes (Weber and Simon 2008).

The aim of this thesis is to translate and to adapt the experience of this previous work in the context of prognosis on the basis of a more effective MGPD given the knowledge available on the system. We propose to extend the classical modeling of models from the HMM family to the MGPD to allow a temporal propagation of the uncertainty in the form of probability intervals in order to solve the prognostic problem. This research includes the extension of learning and inference algorithms. The variants of the HMM model will be considered to integrate the operational context into the prognosis.

The issue is a major issue because the prognosis of the degradation of a system makes it possible to define strategies of control or maintenance in relation to the remains useful life of the system. Thus it reduces the probability of occurrence of a shutdown due to malfunction of the system and by reducing the rate of degradation with a preventive maintenance plan or by proactively maintenance interventions.