

## Sujet de stage de Master 2 – Printemps 2026

### Modélisation de dégradation multivariée et durée de vie restante pour la maintenance prévisionnelle

**Profil recherché :** Etudiant.e de Master 2 ou de dernière année d'école d'ingénieur.es en Probabilités Appliquées, Statistique, Science des Données. Compétence en programmation en R, Python, Matlab ou Julia.

**Mots-clés :** Processus Stochastiques, Statistique Mathématique, Fiabilité, Science des Données.

**Lieu :** LIST3N, Université de Technologie de Troyes (UTT)

En collaboration avec GIPSA-Lab, Université Grenoble Alpes (UGA) & CNRS, Grenoble et le laboratoire M2P2 de l'Ecole centrale Méditerranée et Aix Marseille Université

**Encadrement principal (à l'UTT) :** Elham Mosayebi, Antoine Grall (elham.mosayebi1@utt.fr, antoine.grall@utt.fr)

**Encadrement secondaire (au M2P2 et à GIPSA-lab) :** Mitra Fouladirad, Christophe Bérenguer ([mitra.fouladirad@centrale-med.fr](mailto:mitra.fouladirad@centrale-med.fr), [christophe.berenguer@grenoble-inp.fr](mailto:christophe.berenguer@grenoble-inp.fr))

**Durée :** 5 ou 6 mois à partir de février/mars 2026.

**Rémunération :** Gratification de stage standard : 4.35€ par heure de stage, soit environ 670€ par mois.

#### Contexte

La modélisation de dégradation multivariée occupe une place croissante dans l'étude des systèmes d'ingénierie modernes, notamment grâce à l'essor de l'Internet industriel des objets (IIoT) et des technologies de surveillance reposant sur de multiples capteurs. Dans de tels systèmes, plusieurs caractéristiques de performance sont mesurées simultanément afin de suivre l'état de santé et la performance fonctionnelle des composants. Les processus stochastiques constituent des modèles appropriés pour capturer l'aléa dépendant du temps de ces caractéristiques. Les processus stochastiques courants incluent les processus de Wiener, gamma et inverse gaussien [1]. Les caractéristiques de performance surveillées sont souvent interdépendantes en raison d'environnements opérationnels partagés, de conditions de fonctionnement communes et de la structure interne du système. Les modèles de dégradation univariés traditionnels ne parviennent pas à représenter ces interdépendances et ces comportements stochastiques, ce qui peut conduire à des prédictions inexactes de l'état du système. Pour relever ces défis, des modèles stochastiques de dégradation multivariée ont été développés afin de prendre simultanément en compte l'évolution de plusieurs signaux de dégradation corrélés ainsi que les incertitudes découlant à la fois de l'environnement de fonctionnement et du procédé de mesure. Les études se répartissent en deux grands groupes : les modèles basés sur des distributions conjointes bivariées et multivariées présentant la propriété d'infinie divisibilité et pouvant ainsi être convertis en un processus stochastique multivarié [2,3] ; et les modèles fondés sur l'assemblage de processus stochastiques univariés au moyen de copules [4,5]. Fang et al. [6] ont également proposé un modèle de dégradation multivariée reposant sur le processus inverse Gaussien, qui intègre des effets aléatoires suivant une distribution normale multivariée.

La durée de vie restante (RUL) d'un système est un indicateur clé en pronostic et gestion de la santé des systèmes (PHM). Une estimation fiable de la RUL permet une planification proactive de la maintenance, réduisant le risque de défaillances inattendues et minimisant les coûts opérationnels. En exploitant des données de dégradation multivariées, le modèle proposé peut suivre efficacement plusieurs processus de défaillance, prendre en compte leurs interdépendances et fournir des informations prédictives sur le temps de service restant du système. Cette capacité est particulièrement cruciale dans les applications critiques pour la sécurité, où la prédiction en temps opportun des défaillances des composants ou du système influence directement la fiabilité opérationnelle et l'atténuation des risques. Dans l'ensemble, l'intégration de la modélisation stochastique multivariée

avec l'estimation de la RUL constitue un outil puissant pour la maintenance prédictive, permettant de concevoir des programmes de maintenance optimisés, d'améliorer la fiabilité des systèmes et de soutenir une prise de décision éclairée dans des environnements industriels riches en capteurs. À mesure que les systèmes industriels deviennent de plus en plus interconnectés et riches en données, de tels modèles joueront un rôle central dans la réalisation du plein potentiel du PHM et des stratégies de maintenance prédictive.

### **Objectifs et contenu du stage**

Le stage vise à étudier et à mettre en œuvre différents modèles de dégradation existants et à étudier le calcul de la RUL. À cette fin, la première phase sera dédiée à l'étude et l'utilisation du modèle de dégradation multivarié introduit par Feng et al. [6]. Ce cadre permet au modèle de saisir à la fois l'hétérogénéité unitaire et la dépendance entre caractéristiques de performance, fournissant ainsi une représentation réaliste de la dégradation du système dans des produits d'ingénierie complexes. Une comparaison avec d'autres modèles pourra être envisagée.

La seconde étape sera associée à la caractérisation de la panne ou de l'incapacité du système à remplir sa mission. Elle consistera à proposer différentes caractérisations de défaillance et à les associer à des combinaisons spécifiques des composantes du processus multivarié. L'objectif sera d'évaluer et d'étudier la RUL associée à ces caractérisations.

**Possibilités de poursuite en thèse :** Le stage pourra donner lieu à une poursuite sous forme de thèse co-encadrée par le LIST3N, le Gipsa-Lab et le M2P2, au sein du projet PADAWAN financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR).

## Master's Thesis Internship Topic – Spring 2026

### Modeling of Multivariate Degradation and Remaining Useful Life for Predictive Maintenance

**Desired profile:** Master's student (second year) or final-year engineering student specializing in Applied Probability, Statistics, or Data Science. Programming skills in R, Python, Matlab, or Julia.

**Keywords:** Stochastic Processes, Mathematical Statistics, Reliability, Data Science.

**Location:** LIST3N, Université de Technologie de Troyes (UTT)

**In collaboration with** GIPSA-Lab, Université Grenoble Alpes (UGA) & CNRS, Grenoble, and the M2P2 laboratory at École Centrale Méditerranée and Aix-Marseille Université

**Primary supervisors (at UTT):** Elham Mosayebi, Antoine Grall (elham.mosayebi1@utt.fr, antoine.grall@utt.fr)

**Secondary supervisors (at M2P2 and GIPSA-Lab):** Mitra Fouladirad, Christophe Bérenguer (mitra.fouladirad@centrale-marseille.fr, christophe.berenguer@grenoble-inp.fr)

**Duration:** 5 or 6 months starting February/March 2026.

**Compensation:** Standard internship allowance: €4.35 per internship hour, i.e., approximately €670 per month.

#### Background

Multivariate degradation is increasingly prevalent in modern engineering systems, particularly as the Industrial Internet of Things (IIoT) and multi-sensor monitoring technologies become widespread. In such systems, multiple performance characteristics (PCs) are simultaneously measured to track the health and functional performance of components. Stochastic processes are suitable models for capturing the time-dependent randomness of such PCs. The common stochastic processes are Wiener, gamma, and inverse Gaussian (IG) processes [1]. The monitored performance characteristics are often interdependent due to shared operational environments, common operating conditions, and the internal structure of the system. Traditional univariate degradation models fail to capture these interdependencies and stochastic behaviors, potentially leading to inaccurate predictions of system health. To address these challenges, multivariate stochastic degradation models have been developed to simultaneously account for the evolution of multiple correlated degradation signals and the uncertainties arising from both the operating environment and the measurement process. The studies are categorized into two major groups: The models based on bivariate and multivariate joint distributions with infinitely divisible property and then suitable to be converted to a multivariate stochastic process [2,3], and the models based on joining the univariate stochastic processes via copulas [4,5]. Fang et al. [6] also proposed a multivariate degradation model based on the IG process, which incorporates random effects following a multivariate normal distribution.

The remaining useful life (RUL) of a system is a key metric in prognostics and health management (PHM). Reliable RUL estimation enables proactive maintenance scheduling, reducing the risk of unexpected failures and minimizing operational costs. By leveraging multivariate degradation data, the proposed model can effectively track the multiple failure processes, account for their interdependencies, and provide predictive insights into the system's remaining service time. This capability is particularly critical in safety-critical applications, where the timely prediction of component or system failures directly impacts operational reliability and risk mitigation. Overall, the integration of multivariate stochastic modeling with RUL estimation represents a powerful tool for predictive maintenance, enabling the design of optimized maintenance schedules, improving system reliability, and supporting informed decision-making in sensor-rich industrial environments. As industrial systems become increasingly interconnected and data-rich, such models will play a central role in realizing the full potential of PHM and predictive maintenance strategies.

### **Internship objectives and work to be done**

The internship aims to study and implement the existing multiple degradation models and to study the RUL calculation. To this end, the internship will begin with studying and employing the multivariate degradation model introduced by Feng et al. [6]. This framework enables the model to capture both unit-wise heterogeneity and PC-wise dependence, providing a realistic representation of system degradation in complex engineering products. A comparison with other models may be considered. The second step will consist of proposing different failure characterizations and associating them with specific combinations of the components of the multivariate process. The aim will be to evaluate and study the RUL related to these characterizations.

### **Possibilities for pursuing a PhD**

The internship may lead to a continuation in the form of a doctoral thesis co-supervised by LIST3N, Gipsa-Lab, and M2P2, as part of the PADAWAN project funded by the French National Research Agency (ANR).

### **Références**

- [1] Ye, Z. S., & Xie, M. (2015). Stochastic modelling and analysis of degradation for highly reliable products. *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 31(1), 16-32.
- [2] Wang, X., Balakrishnan, N., & Guo, B. (2015). Residual life estimation based on nonlinear-multivariate Wiener processes. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 85(9), 1742-1764.
- [3] Pan, Z., & Balakrishnan, N. (2011). Reliability modeling of degradation of products with multiple performance characteristics based on gamma processes. *Reliability Engineering & System Safety*, 96(8), 949-957.
- [4] Li, H., Deloux, E., & Dieulle, L. (2016). A condition-based maintenance policy for multi-component systems with Lévy copulas dependence. *Reliability Engineering & System Safety*, 149, 44-55.
- [5] Fang, G., Pan, R., & Hong, Y. (2020). Copula-based reliability analysis of degrading systems with dependent failures. *Reliability Engineering & System Safety*, 193, 106618.
- [6] Fang, G., Pan, R., & Wang, Y. (2022). Inverse Gaussian processes with correlated random effects for multivariate degradation modeling. *European Journal of Operational Research*, 300(3), 1177-1193.