



English version below

Sujet de stage de Master 2 – Printemps 2026

Tests d'adéquation aux processus de dégradation avec ou sans maintenance imparfaite

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

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

Lieu : Laboratoire de Mathématiques et de leurs Applications de Pau (LMAP), Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

En collaboration avec le Laboratoire Jean Kuntzmann (LJK), équipe ASAR, Université Grenoble Alpes (UGA), Grenoble, France.

Encadrant principal (UPPA) : Christian Paroissin, christian.paroissin@univ-pau.fr.

Encadrant secondaire (UGA) : Olivier Gaudoin, olivier.gaudoin@univ-grenoble-alpes.fr.

Durée : 5 ou 6 mois à partir de février/mars 2026, fin au plus tard fin juillet 2026.

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

Contexte : La gestion des actifs industriels et l'allongement de leur durée de vie, grâce à la surveillance de leur état de fonctionnement et à une maintenance efficace, constituent un enjeu industriel majeur. Dans ce contexte, le niveau de dégradation des actifs industriels critiques est régulièrement mesuré à l'aide de capteurs. L'évolution de ce niveau de dégradation est modélisé à l'aide de processus stochastiques [1], dont les plus usuels sont les processus de Wiener et les processus Gamma. A l'aide de méthodes statistiques appropriées, il est possible d'estimer les paramètres de ces modèles, ce qui permet de calculer des indicateurs de fiabilité, comme la durée de vie résiduelle, et de mettre en place une politique de maintenance optimale.

Cependant, on ne peut avoir confiance dans les prévisions effectuées et dans la politique de maintenance mise en place que si le modèle de dégradation utilisé est approprié pour les données mesurées. Il est donc indispensable de vérifier que c'est le cas. Or il s'avère que ce problème a été très peu étudié dans la littérature. La collaboration entre l'UPPA et l'UGA a pour objectif de compenser cette lacune en développant des outils statistiques de sélection et

validation de modèles de dégradation. Une façon de faire est de mettre en place des tests statistiques d'adéquation aux modèles de dégradation. Quand il n'y a pas de maintenance, de rares travaux s'intéressent aux tests d'adéquation aux processus de Wiener et aux processus Gamma [2, 3, 4].

En pratique, les actifs étudiés sont soumis à des actions de maintenance, qui permettent de réduire les niveaux de dégradation sans les remettre à zéro : on dit que ces maintenances sont imparfaites. Des modèles de processus de dégradation avec maintenance imparfaite ont été proposés, dont les plus connus sont les modèles ARD (Arithmetic Reduction of Degradation [5,6]). Il n'existe à ce jour aucun test d'adéquation pour ces modèles.

Objectifs et contenu du stage : Le but du stage est d'étudier et d'implémenter les tests d'adéquation aux modèles de dégradation existant, et d'étudier leur généralisation aux modèles de maintenance imparfaite.

Le stage commencera par l'implémentation des tests d'adéquation aux processus Gamma proposés par Grall-Maës [2] et Verdier [3]. Le premier est un test de type Kolmogorov-Smirnov, extrêmement simple quand les observations des niveaux de dégradation sont périodiques, et qui nécessite une adaptation basée sur le pont Gamma dans le cas contraire. Le second combine trois tests statistiques portant respectivement sur la stationnarité, l'indépendance et le caractère gamma de la loi des accroissements de dégradation. On étudiera la possibilité d'adapter ces procédures aux processus de Wiener.

Dans un deuxième temps, on étudiera l'approche non-paramétrique proposée par Zheng et al [4]. La statistique de test est basée sur une mesure de similarité entre des trajectoires de dégradation observée et des trajectoires de dégradation simulées. Les valeurs critiques utilisées pour le test sont obtenues par bootstrap paramétrique. L'avantage de ce type de méthode est d'être valable pour n'importe quel processus de dégradation.

Dans un troisième temps, on étudiera l'adaptation de ces méthodes aux modèles de maintenance imparfaite, comme les modèles ARD_1 et ARD_∞ [5,6].

La qualité des tests proposés sera évaluée sur des données simulées grâce à des simulations intensives. Enfin, l'ensemble des méthodes précédentes seront appliquées à des données de dégradation de systèmes de production d'électricité d'EDF.

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

Modalités de candidature : Envoyer un CV et une lettre de motivation avant le 16 décembre 2025 à christian.paroissin@univ-pau.fr et olivier.gaudoin@univ-grenoble-alpes.fr.

Un entretien oral, en visioconférence, aura lieu entre les 5 et 7 janvier 2026.

Références

- [1] Kahle W., Mercier S., Paroissin C., *Degradation processes in reliability*, John Wiley & Sons, 2016.
- [2] Grall-Maës E., Use of the Kolmogorov-Smirnov test for Gamma process. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 226(6), 624-634, 2012.

- [3] Verdier G., Goodness-of-fit procedure for gamma processes. *Computational Statistics*, 39(5), 2623-2650, 2024.
- [4] Zheng J., Wang Y., Chen Y., Xie M., Automated verification of degradation models using goodness-of-fit test based on similarity measures and parametric bootstrap, *City University of Hong Kong*, Preprint, 2025.
- [5] Mercier S., Castro I.T., Stochastic comparisons of imperfect maintenance models for a gamma deteriorating system, *European Journal of Operational Research*, 273, 237–248, 2019.
- [6] Leroy M., Bérenguer C., Doyen L., Gaudoin O., Statistical inference for a Wiener-based degradation model with imperfect maintenance actions under different observation schemes, *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 39(3), 352-371, 2023.



Version française ci-dessus

Master thesis - Spring 2026

Goodness-of-fit tests for degradation processes with ou without imperfect maintenance

Required profile: Master 2 or final-year engineering student in Applied Probability, Statistics, Data Science. Programming skills in R, Python or Julia.

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

Location : Laboratoire de Mathématiques et de leurs Applications de Pau (LMAP), Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

In collaboration with Laboratoire Jean Kuntzmann (LJK), ASAR team, Université Grenoble Alpes (UGA), Grenoble, France.

Main supervisor (UPPA) : Christian Paroissin, christian.paroissin@univ-pau.fr.

Secondary supervisor (UGA) : Olivier Gaudoin, olivier.gaudoin@univ-grenoble-alpes.fr.

Length : 5 or 6 months, starting in February/March 2026, end no later than the end of July 2026.

Salary: Standard internship gratification: €4.35 per hour, i.e. around €670 per month.

Context : The management of industrial assets and the extension of their service life, through monitoring their operating condition and effective maintenance, are major industrial challenges. In this context, the level of degradation of critical industrial assets is regularly measured using sensors. The evolution of this level of degradation is modeled using stochastic processes [1], the most common of which are Wiener processes and Gamma processes. Using appropriate statistical methods, it is possible to estimate the parameters of these models, which makes it possible to compute reliability indicators, such as residual lifetime, and to implement an optimal maintenance policy.

However, the predictions made and the maintenance policy implemented can only be trusted if the degradation model used is appropriate for the measured data. It is therefore essential to check that this is the case. However, it appears that this issue has been little studied in the literature. The collaboration between UPPA and UGA aims to fill this gap by developing statistical tools for selecting and validating degradation models. One way of doing this is to implement statistical goodness-of-fit tests for degradation models. When there is no maintenance, few studies have looked at goodness-of-fit tests for Wiener processes and Gamma processes [2, 3, 4].

In practice, the studied assets are subject to maintenance actions, which reduce the degradation levels without resetting them to zero: this maintenance is said to be imperfect. Models of degradation processes with imperfect maintenance have been proposed, the best known of which are the ARD (Arithmetic Reduction of Degradation) models [5,6]. To date, goodness-of-fit tests for these models do not exist.

Objectives and contents of the internship: The aim of the internship is to study and implement goodness-of-fit tests for existing degradation models, and to study their generalization to imperfect maintenance models.

The internship will begin with the implementation of the goodness-of-fit tests for Gamma process proposed by Grall-Maës [2] and Verdier [3]. The first one is a Kolmogorov-Smirnov type test, which is extremely simple when observations of degradation levels are periodic, and which requires an adaptation based on the Gamma bridge in other cases. The second one combines three statistical tests relating respectively to stationarity, independence, and the fact that the distribution of the degradation increments is gamma. The possibility of adapting these procedures to Wiener processes will be studied.

In a second step, the nonparametric approach proposed by Zheng et al [4] will be studied. The test statistic is based on a measure of similarity between observed degradation trajectories and simulated degradation trajectories. The critical values used for the test are obtained by parametric bootstrap. The advantage of this type of method is that it is valid for any kind of degradation model.

Thirdly, the adaptation of these methods to imperfect maintenance models, such as the ARD_1 and ARD_∞ models [5,6], will be studied.

The quality of the proposed tests will be assessed on simulated data using intensive simulations. Finally, all of the above methods will be applied to real degradation data of power generation systems from EDF.

Possibility of pursuing a PhD: The internship may lead to a PhD supervised jointly by LMAP and LJK, as part of the PADAWAN project funded by the French National Research Agency (ANR).

Application procedure: Send a CV and motivation letter before December 16, 2025, to christian.paroissin@univ-pau.fr et olivier.gaudoin@univ-grenoble-alpes.fr. An oral interview, via videoconference, will take place between January 5 and 7, 2026.

References

- [1] Kahle W., Mercier S., Paroissin C., *Degradation processes in reliability*, John Wiley & Sons, 2016.
- [2] Grall-Maës E., Use of the Kolmogorov-Smirnov test for Gamma process. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 226(6), 624-634, 2012.
- [3] Verdier G., Goodness-of-fit procedure for gamma processes. *Computational Statistics*, 39(5), 2623-2650, 2024.
- [4] Zheng J., Wang Y., Chen Y., Xie M., Automated verification of degradation models using goodness-of-fit test based on similarity measures and parametric bootstrap, *City University of Hong Kong*, Preprint, 2025.

[5] Mercier S., Castro I.T., Stochastic comparisons of imperfect maintenance models for a gamma deteriorating system, *European Journal of Operational Research*, 273, 237–248, 2019.

[6] Leroy M., Bérenguer C., Doyen L., Gaudoin O., Statistical inference for a Wiener-based degradation model with imperfect maintenance actions under different observation schemes, *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 39(3), 352-371, 2023.