



Sujet de stage de Master 2 – Printemps 2025

Modélisation aléatoire et inférence statistique pour des processus de dégradation avec 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 Jean Kuntzmann (LJK), équipe ASAR, Université Grenoble Alpes, Grenoble, France.

Encadrants : Laurent Doyen et Olivier Gaudoin, laurent.doyen@univ-grenoble-alpes.fr, olivier.gaudoin@univ-grenoble-alpes.fr.

Durée : 5 ou 6 mois à partir de février/mars 2025.

Rémunération : Gratification de stage standard : 4.35€ par heure de stage, soit environ 600€ par mois.

Contexte : Ce stage s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre le Laboratoire Jean Kuntzmann et EDF R&D. Le projet porte sur la dégradation des générateurs de vapeur des centrales nucléaires. Plusieurs indicateurs de dégradation sont mesurés, qui dépendent de conditions de conception et d'exploitation hétérogènes. Les phénomènes de dégradation peuvent être partiellement compensés par différents types de maintenances. Les maintenances permettent de réduire les niveaux de dégradation sans les remettre à zéro : on dit qu'elles sont imparfaites. EDF R&D a constitué une base de données comprenant toutes les informations collectées : dates et types des maintenances, niveaux de dégradation mesurés.

Des dégradations trop élevées pouvant entraîner un dysfonctionnement du générateur, il est important de pouvoir prédire le plus précisément possible l'évolution des processus de dégradation. Cela nécessite l'utilisation de modèles aléatoires, comme par exemple les processus de Wiener, dans lesquels il faut inclure l'effet des maintenances imparfaites. Ces modèles ont des paramètres inconnus, qu'il faut estimer par des méthodes statistiques au vu des données collectées.

Objectifs et contenu du stage : Le but du stage est de développer et d'implémenter des méthodes statistiques pour analyser la base de données d'EDF R&D en utilisant des modèles de dégradation avec maintenance imparfaite. Dans le cadre de la collaboration entre le LJK et EDF R&D, un

premier modèle de dégradation unidimensionnelle à réduction arithmétique de dégradation, dit ARD_{∞} [1, 2] a été expérimenté. Un code a été développé en Julia pour visualiser les données, estimer les paramètres du modèle ARD_{∞} à partir des données et simuler des trajectoires de dégradation et de maintenance à partir de cette famille de modèles. Après une première étape de prise en main du contexte industriel, des modèles mathématiques et des outils informatiques, la seconde étape du stage sera l'implémentation d'un second modèle, dit ARD_1 , en utilisant les résultats de [3].

Diverses directions pourront être considérées par la suite. Par exemple :

- Proposer un modèle pour lequel les efficacités des différents types de maintenance sont différenciées.
- Prendre en compte le fait que certaines données sont manquantes ou censurées.
- Construire un modèle de dégradation avec effet partiel de la maintenance en s'inspirant de [4].
- Etudier la dépendance entre les divers indicateurs de dégradation mesurés en utilisant des modèles de dégradation multivariés [5, 6].
- Prendre en compte l'effet de facteurs externes (covariables) pouvant avoir un effet sur les niveaux de dégradation.

Les codes seront écrits en Julia, mais il n'est pas nécessaire d'avoir une connaissance préalable de ce langage de programmation.

Le stage s'effectuera dans les locaux du LJK à Grenoble et comprendra des interactions suivies entre le stagiaire et les ingénieurs d'EDF R&D.

Possibilités de poursuite en thèse : Le stage pourra donner lieu à une poursuite sous forme de thèse au sein du LJK. Outre la possibilité de candidater à une bourse de l'école doctorale, l'équipe ASAR du LJK est porteuse de 2 soumissions de projets de recherche ([ANR](#) et [MIAI](#)) qui, s'ils sont acceptés, incluent des financements de thèse sur des sujets connexes et en lien avec EDF R&D.

Références

[1] 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.

[2] Bautista L., Castro I.T., Bérenguer C., Gaudoin O., Doyen L., Parameter estimation in a ARD_{∞} Wiener degradation and maintenance model under different observation schemes, *submitted*, 2024.

[3] 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.

[4] Leroy M., Bérenguer C., Doyen L., Gaudoin O., Modelling and inference for a degradation process with partial maintenance effects, *Quality and Reliability Engineering International*, 1-22, 2024.

[5] Jin G., Matthews D., Measurement plan optimization for degradation test design based on the bivariate Wiener process, *Quality and Reliability Engineering International*, 30, 1215-1231, 2014.

[6] Bautista L., Castro I.T., Bérenguer C., Gaudoin O., Doyen L., First hitting time distribution and cost assessment in a two-unit system with dependent degradation processes subject to imperfect maintenance. *Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers Part O: Journal of Risk and Reliability*, 1-25, 2023.



Master thesis - Spring 2025

Stochastic modelling and statistical inference for degradation processes with 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 Jean Kuntzmann (LJK), ASAR team, Université Grenoble Alpes, Grenoble, France.

Supervisors : Laurent Doyen and Olivier Gaudoin, laurent.doyen@univ-grenoble-alpes.fr, olivier.gaudoin@univ-grenoble-alpes.fr.

Length : 5 or 6 months, starting in February/March 2025.

Salary: Standard internship gratification: €4.35 per hour, i.e. around €600 per month.

Context : This internship is part of a collaboration between Laboratoire Jean Kuntzmann and EDF R&D. The project focuses on the degradation of steam generators in nuclear power plants. Several degradation indicators are measured, depending on heterogeneous design and operating conditions. Degradation phenomena can be partially compensated for by different types of maintenance. Maintenance actions enable degradation levels to be reduced without being reset to zero: they are said to be imperfect. EDF R&D has built up a database containing all the collected information: dates and types of maintenance, measured degradation levels.

Since excessive degradation can lead to generator malfunction, it is important to be able to predict the evolution of degradation processes as accurately as possible. This requires the use of stochastic models, such as Wiener processes, in which the effect of imperfect maintenance has to be included. These models have unknown parameters, which have to be estimated by statistical methods on the basis of the collected data.

Objectives and contents of the internship : The aim of the internship is to develop and implement statistical methods for analyzing EDF R&D's database using degradation models with imperfect maintenance. As part of the collaboration between LJK and EDF R&D, a first univariate degradation model with arithmetic reduction of degradation, denoted ARD_{∞} [1, 2] has been implemented. A code was developed in Julia to visualize the data, estimate the ARD_{∞} model parameters from the data and simulate degradation and maintenance trajectories based on this

family of models. After a first step of familiarization with the industrial context, mathematical models and computer tools, the second step of the internship will be the implementation of a second model, denoted ARD_1 , using the results of [3].

For the remainder of the internship, various directions of research can then be considered. For instance:

- Propose a model for which the efficiencies of the different types of maintenance are differentiated.
- Take into account the fact that some data may be missing or censored.
- Build a degradation model with partial maintenance effect, based on [4].
- Study the dependence between the various measured degradation indicators, using multivariate degradation models [5, 6].
- Take into account the effect of external factors (covariates) that may have an effect on degradation levels.

The codes will be written in Julia, but no prior knowledge of this programming language is required.

The internship will take place at the LJK in Grenoble, and will involve regular interactions between the intern and EDF R&D engineers.

PhD opportunities: The internship may lead to a PhD thesis in LJK. In addition to the possibility of applying for a doctoral school grant, the LJK's ASAR team has submitted 2 research projects ([ANR](#) et [MIAI](#)) which, if accepted, will include funding for a thesis on related subjects and in connection with EDF R&D.

References

- [1] 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.
- [2] Bautista L., Castro I.T., Bérenguer C., Gaudoin O., Doyen L., Parameter estimation in a ARD_∞ Wiener degradation and maintenance model under different observation schemes, *submitted*, 2024.
- [3] 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.
- [4] Leroy M., Bérenguer C., Doyen L., Gaudoin O., Modelling and inference for a degradation process with partial maintenance effects, *Quality and Reliability Engineering International*, 1–22, 2024.
- [5] Jin G., Matthews D., Measurement plan optimization for degradation test design based on the bivariate Wiener process, *Quality and Reliability Engineering International*, 30, 1215-1231, 2014.
- [6] Bautista L., Castro I.T., Bérenguer C., Gaudoin O., Doyen L., First hitting time distribution and cost assessment in a two-unit system with dependent degradation processes subject to imperfect maintenance. *Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers Part O: Journal of Risk and Reliability*, 1–25, 2023.