



**HAL**  
open science

## Modèles de dégradation et politique de maintenance

Christian Paroissin

► **To cite this version:**

Christian Paroissin. Modèles de dégradation et politique de maintenance. Journées MAS et Journée en l'honneur de Jacques Neveu, Aug 2010, Talence, France. inria-00495676

**HAL Id: inria-00495676**

**<https://inria.hal.science/inria-00495676>**

Submitted on 28 Jun 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Modèles de dégradation et politique de maintenance

Session organisée par **Christian Paoissin**

Les modèles de dégradation ont fait l'objet de nombreux articles sur la dernière décennie (voir [2] pour un état de l'art dans le domaine, en particulier le chapitre par Abdel-Hameed). Il existe plusieurs approches possibles pour modéliser la dégradation d'un système. Deux grandes familles peuvent être considérés :

1. les modèles de dégradation continue ;
2. les modèles à espace fini d'états (ou modèles multi-états).

Dans le premier cas, on modélise l'évolution en temps d'une grandeur (positive). En générale, l'évolution est croissante dans le temps. On s'intéresse alors à des processus stochastiques à trajectoires croissantes, ou du moins croissantes en moyenne. Les trois modèles les plus fréquemment étudiés sont les suivants : le processus gamma, le processus de Poisson composé et le mouvement brownien. On notera qu'ils appartiennent à la classe des processus de Lévy. Dans le second cas, on suppose que l'ensemble possible des états du système est fini, chaque état représentant un niveau de dégradation du système (il peut alors exister une relation d'ordre partielle ou totale entre les états). En l'absence d'actions de maintenance, le processus évolue en général d'un état vers un autre état plus dégradé traduisant une dégradation accrue du système. Dans tous ces modèles, il est également possible de prendre en compte des variables explicatives qui influent sur la vitesse de dégradation des systèmes. Diverses approches ont été proposées [1] : effets sur la tendance et/ou la variance à travers de fonctions de lien, changement de l'échelle de temps, etc. Ces modèles peuvent être ensuite utilisés pour définir une politique de maintenance optimale selon un critère donné.

### Références :

- [1] M.-L.T. Lee and G.A. Whitmore. Threshold regression for survival analysis: modeling event times by a stochastic process reaching a boundary. *Statist. Sci.*, 21(4): 501–513, 2006.
- [2] M.S. Nikulin, N. Limnios, N. Balakrishnan, W. Kahle and C. Huber-Carol (Eds.) *Advances in Degradation Modeling Applications to Reliability, Survival Analysis, and Finance* (2010) Birkhäuser, Boston.

### Adresse de l'organisateur :

Session : Modèles de dégradation et politique de maintenance

Journées MAS 2010, Bordeaux

Christian PAROISSIN

Laboratoire de Mathématiques et de leurs Applications (UMR CNRS 5142)

Fédération de Recherche IPRA (FR CNRS 2952)

Université de Pau et des Pays de l'Adour

Avenue de l'Université

64000 Pau France

E-mail : [cparoiss@univ-pau.fr](mailto:cparoiss@univ-pau.fr)

<http://web.univ-pau.fr/~cparoiss/>

Session : Modèles de dégradation et politique de maintenance

Session : Modèles de dégradation et politique de maintenance

## **Modélisation de dégradations de composants par processus stochastiques avec prise en compte de covariables**

par **Antoine Grall**, Anne Barros, Mitra Fouladirad, Yannick Lefebvre et Emmanuel Remy

Le matériau de certains composants des centrales nucléaires se dégrade au cours de l'exploitation. On cherche à modéliser l'évolution de cette dégradation, qui dépend principalement du temps écoulé depuis la mise en service de la centrale. Plusieurs autres covariables statiques sont également réputées pour leur influence sur l'évolution de la dégradation : elles sont toutes relatives aux caractéristiques (type et composition) du matériau et elles sont supposées parfaitement connues. Des essais en réacteurs expérimentaux et des contrôles menés in situ ont permis d'obtenir, pour chaque composant et chaque type de matériau, quelques valeurs successives de l'indicateur de dégradation à différentes durées d'exploitation. Ainsi, pour chaque composant, on dispose d'une "trajectoire" de dégradation caractéristique d'un matériau. Ces données ont été exploitées au fur et à mesure de leur obtention pour établir différents modèles physiques plus ou moins complexes. Ces modèles sont tous de la forme :

$$Deg_d = G(\text{caractéristiques matériau}) + H(\text{caractéristiques matériau}) \times d^\alpha$$

où  $Deg_d$  est la valeur de l'indicateur de dégradation suivi au bout de la durée  $d$  de fonctionnement de la centrale depuis sa mise en service et où  $G(\cdot)$  et  $H(\cdot)$  désignent des fonctions pouvant aller, selon le modèle étudié, de la fonction analytique simple dont la forme fait sens physiquement (et dont les paramètres sont ajustés statistiquement) à un code basé sur la résolution numérique d'équations physiques complexes. L'approche physico-statistique qui a été adoptée par EDF pour les modélisations simples ( $G(\cdot)$  et  $H(\cdot)$  fonctions analytiques dont la forme est déterminée par des arguments physiques et dont les paramètres sont ajustés statistiquement) a été menée dans un cadre classique de régression, en supposant que l'indicateur de dégradation  $Deg$  est une variable aléatoire de loi gaussienne, de moyenne  $F_1(\text{caractéristiques matériau}) \times d^\alpha$  et d'écart-type  $F_2(\text{caractéristiques matériau})$ . Ainsi, pour un conservatisme visé de 97,5%, le modèle physico-statistique retenu au final est le suivant :

$$Deg_d = 1,96 \times F_2(\text{caractéristiques matériau}) + F_1(\text{caractéristiques matériau}) \times d^\alpha .$$

L'objet des travaux présentés a consisté, comme alternative à la modélisation statistique existante, à adopter le formalisme des processus stochastiques gamma avec prise en compte des caractéristiques matériau comme

Journées MAS 2010, Bordeaux

covariables statiques, de sorte à analyser la faisabilité méthodologique d'une telle approche et à évaluer les potentielles répercussions en termes de prévision de la durée d'atteinte du seuil de dégradation limite admissible du composant étudié. L'originalité des travaux tient dans le fait qu'on a cherché à profiter de l'information physique disponible et apportée par la fonction  $F_1(\cdot)$  conditionnant la trajectoire moyenne du processus. Pour ce faire, on a adopté une modélisation des paramètres du processus gamma tenant compte de fonctions indicatrices sur  $F_1(\cdot)$  et sur  $d$ . Les paramètres du processus ont été ensuite estimés par maximum de vraisemblance à partir des données recueillies. Des études de sensibilité ont été menées pour analyser la robustesse d'estimation aux données et une étude comparative des deux approches, régression et processus stochastique, a été conduite pour analyser l'impact en termes de prévision de la durée d'atteinte du niveau de dégradation seuil.

*Adresses :*

Antoine GRALL

Laboratoire de Modélisation et Sécurité des Systèmes  
Institut Charles Delaunay (FRE CNRS 2848)  
Université de Technologie de Troyes  
12 rue Marie Curie  
BP 2060  
10010 Troyes cedex, France  
E-mail : [antoine.grall@univ.fr](mailto:antoine.grall@univ.fr)

Anne BARROS

Laboratoire de Modélisation et Sécurité des Systèmes  
Institut Charles Delaunay (FRE CNRS 2848)  
Université de Technologie de Troyes  
12 rue Marie Curie  
BP 2060  
10010 Troyes cedex, France  
E-mail : [anne.barros@utt.fr](mailto:anne.barros@utt.fr)

Mitra FOULADIRAD

Laboratoire de Modélisation et Sécurité des Systèmes  
Institut Charles Delaunay (FRE CNRS 2848)  
Université de Technologie de Troyes  
12 rue Marie Curie  
BP 2060  
10010 Troyes cedex, France  
E-mail : [mitra.fouladirad@utt.fr](mailto:mitra.fouladirad@utt.fr)

Session : Modèles de dégradation et politique de maintenance

Journées MAS 2010, Bordeaux

Yannick LEFEBVRE

Schlumberger Carbon Services

1 rue Henri Becquerel

92140 Clamart, France

E-mail : [yfefebvre@clamart.oilfield.slb.com](mailto:yfefebvre@clamart.oilfield.slb.com)

Emmanuel REMY

EDF R&D Département "Management des Risques Industriels"

6 quai Watier, BP 49

78401 Chatou cedex, France

E-mail : [emmanuel.remy@edf.fr](mailto:emmanuel.remy@edf.fr)

Session : Modèles de dégradation et politique de maintenance

Session : Modèles de dégradation et politique de maintenance

## **Développement d'une approche conditionnelle pour l'entretien des chaussées**

par **Bruno Castanier**, Thomas Yeung et Mariem Zouch

Notre objectif est de construire un modèle décisionnel pour l'optimisation de la période d'inspection de la chaussée ainsi que des actions d'entretien associées en fonction d'un processus de fissuration longitudinale stochastique. Dans ce contexte, un entretien consiste à une remise à zéro de l'indicateur de fissuration sans pour autant pouvoir considérer la chaussée neuve. Son efficacité se traduit donc sur la loi d'évolution de la fissuration. Par ailleurs, cette efficacité est fonction de la nature de l'action mise en place et aussi du niveau de fissuration de la chaussée avant entretien. Pour résoudre ce problème de maintenance, nous avons étendu la notion d'état de la chaussée en couplant indicateur de fissuration en surface et potentiel de fissuration qui reflète l'état de la couche de fond. La construction de la loi du processus bivarié est justifiée par des considérations mécaniques de fissuration et des propriétés mathématiques nécessaires pour l'optimisation du critère. Durant l'exposé, après avoir posé brièvement le problème d'entretien des chaussées, nous présenterons le formalisme mathématique du critère de décision, la méthode d'optimisation basée sur les Processus de Décision Markoviens ainsi qu'un résultat numérique pour illustrer les performances de notre modèle.

### *Adresses :*

Bruno CASTANIER  
Ecole des Mines de Nantes  
La Chantrerie  
4 rue Alfred Kastler BP 20722  
44307 Nantes Cedex 3, France  
E-mail : [bruno.castanier@emn.fr](mailto:bruno.castanier@emn.fr)

Thomas YEUNG  
Ecole des Mines de Nantes  
La Chantrerie  
4 rue Alfred Kastler BP 20722  
44307 Nantes Cedex 3, France  
E-mail : [thomas.yeung@emn.fr](mailto:thomas.yeung@emn.fr)

Journées MAS 2010, Bordeaux

Mariem ZOUCH

Ecole des Mines de Nantes

La Chantrierie

4 rue Alfred Kastler BP 20722

44307 Nantes Cedex 3, France

E-mail : [marien.zouch@emn.fr](mailto:marien.zouch@emn.fr)

Session : Modèles de dégradation et politique de maintenance

Session : Modèles de dégradation et politique de maintenance

## **Politique de maintenance adaptative pour un système soumis à une dégradation indirectement observable**

par **Khac Tuan Huynh**, Anne Barros et Christophe Bérenguer

On s'intéresse à la modélisation d'un phénomène de dégradation de type propagation de fissure et à la nature des politiques de maintenance préventives que l'on peut mettre en oeuvre pour prévenir la rupture du matériel. L'originalité et l'intérêt des travaux présentés ici résident dans :

- le choix du modèle de dégradation. On reprend les travaux présentés dans [1] et [2] où partant de la loi de Paris-Erdogan, on introduit un aléa qui est censé représenter la variabilité de l'évolution du phénomène de dégradation et on construit ainsi un processus markovien à accroissements non-stationnaires.
- la prise en compte des techniques de mesure. On considère que le niveau de dégradation réel n'est pas directement observable, et qu'il faut l'estimer à partir de données mesurées corrélées.
- la mise en oeuvre de politiques de maintenance conditionnelles et dynamiques (ou adaptatives). Dans ce contexte de dégradation non stationnaire et inobservable directement, nous nous interrogeons sur l'intérêt de politiques qui s'adaptent à l'état courant du système via des aspects conditionnels (la nature des actions de maintenance dépend de l'état courant du système) et dynamiques (les dates des actions de maintenance dépendent de l'état courant du système). Ces politiques sont par nature plus performantes que celles qui s'appuient uniquement sur l'état moyen du système, son temps de fonctionnement ou le temps calendaire, mais leur coût peut être disproportionné dans certaines configurations : cela dépend du coût d'inspection, du coût de panne, de la dynamique du phénomène de dégradation, etc.

Partant des travaux de [1], nous avons estimé l'état réel du système à partir de méthodes de type filtrage stochastique. Nous avons ensuite calculé par simulation de Monte Carlo les coûts de quatre politiques de maintenance présentant les aspects suivants : non-conditionnelle / non-dynamique, conditionnelle / non-dynamique, non-conditionnelle / dynamique, conditionnelle / dynamique. Nous avons étudié différentes configurations en nous interrogeant en particulier sur l'effet [3] :

- des coûts d'inspection,
- de la variance du processus de dégradation, et de sa non-stationnarité, de la qualité de l'estimation de l'état réel.

Session : Modèles de dégradation et politique de maintenance

La complexité de la situation qui est modélisée rend impossible, à notre avis, une modélisation analytique complète. La démarche présentée ici consiste donc à mettre en œuvre des outils de simulation relativement élaborés pour appuyer la réflexion en s'affranchissant des hypothèses classiques de stationnarité et/ou d'observation directe du phénomène de dégradation. L'objectif étant à terme de dégager des cas d'études et des situations pertinentes sur lesquels on peut envisager de développer des modèles analytiques plus poussés.

*Références :*

- [1] F. Cadini, E. Zio, D. Avram, Model-based Monte Carlo state estimation for condition-based component replacement, *Reliability Engineering and System Safety*, 94: 752–758, 2009.
- [2] J.W. Provan (editor). *Probabilistic fracture mechanics and reliability* (1987). Martinus Nijhoff Publishers.
- [3] K. T. Huynh, A. Barros and Ch. Bérenguer, Assessment of prognostic in maintenance decision-making for a deteriorating system under indirect condition monitoring, submitted to ESREL conference, 2010, Rhodes.

*Adresses :*

Khac Tuan HUYNH

Laboratoire de Modélisation et Sécurité des Systèmes  
Institut Charles Delaunay (FRE CNRS 2848)  
Université de Technologie de Troyes  
12 rue Marie Curie  
BP 2060  
10010 Troyes cedex, France  
E-mail : [tuan.huynh@utt.fr](mailto:tuan.huynh@utt.fr)

Anne BARROS

Laboratoire de Modélisation et Sécurité des Systèmes  
Institut Charles Delaunay (FRE CNRS 2848)  
Université de Technologie de Troyes  
12 rue Marie Curie  
BP 2060  
10010 Troyes cedex, France  
E-mail : [anne.barros@utt.fr](mailto:anne.barros@utt.fr)

Journées MAS 2010, Bordeaux

Christophe BÉRENGUER

Laboratoire de Modélisation et Sécurité des Systèmes

Institut Charles Delaunay (FRE CNRS 2848)

Université de Technologie de Troyes

12 rue Marie Curie

BP 2060

10010 Troyes cedex, France

E-mail : [christophe.berenguer@utt.fr](mailto:christophe.berenguer@utt.fr)

Session : Modèles de dégradation et politique de maintenance

Journées MAS 2010, Bordeaux

Session : Modèles de dégradation et politique de maintenance

## **Processus de renouvellement superposé et leurs applications à la modélisation de maintenance**

par **Maarten-Jan Kallen**

Imperfect maintenance or partial repairs such as the spot repair of steel coating systems is notoriously difficult to model. It is uncertain by how much such a partial repairs actually improves the state of an object and it is also uncertain how such a repair affects the overall rate of deterioration of the object. Starting from the idea that a steel plate may be thought of as a large grid of small cells with failures of each cell arriving according to a point process, we derive a specific type of finite-state semi-Markov process which models the state of the object. To do this, we use the concept of superposed renewal processes and show how this approach may be helpful in problems of maintenance optimization.

*Adresse :*

Maarten-Jan KALLEN  
HKV Consultants  
P.O. Box 2120  
8203 AC Lelystad, the Netherlands  
E-mail : [m.j.kallen@hkv.nl](mailto:m.j.kallen@hkv.nl)  
<<http://www.hkvconsultants.com>>

Session : Modèles de dégradation et politique de maintenance