

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 : [ylefebvre@clamart.oilfield.slb.com](mailto:ylefebvre@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