

## Analyse bayésienne d'un modèle de maintenance imparfaite

Auteurs : CORSET, F.<sup>1</sup>, Dijoux, Y.<sup>2</sup>, Doyen L.<sup>1,2</sup>, Gaudoin, O.<sup>2</sup>, Garnero, M.-A.<sup>3</sup>, Lacombe, S.<sup>3</sup>, Remy, E.<sup>3</sup>

### Coordonnées des auteurs :

<sup>1</sup> LabSAD, Université Pierre Mendès France,  
MRI

BSHM, 1251 avenue centrale BP 47

38040 GRENOBLE Cedex 09

Tél. : 01 53 42 94 50

[Franck.Corset@upmf-grenoble.fr](mailto:Franck.Corset@upmf-grenoble.fr)

<sup>3</sup> EDF R&D – Département

6 quai Watier,

BP 49, 78401 Chatou, Cedex

Tél : 01 30 87 72 44

[Marie-Agnes.Garnero@edf.fr](mailto:Marie-Agnes.Garnero@edf.fr)

<sup>2</sup> Institut National Polytechnique de Grenoble  
Laboratoire LMC, BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9

Tél. : 04 76 63 57 08

[Olivier.Gaudoin@imag.fr](mailto:Olivier.Gaudoin@imag.fr)

Type de présentation désirée : orale

### **Domaines :**

Accidentologie		Fiabilité des systèmes informatiques	Risques projets	<b>X</b>	REX
Aide à la décision		Optimisation	Risques financiers		Soutien logistique
Durée de vie et prolongation		Impacts des organisations	Risques environnementaux et de santé		Sûreté de fonctionnement des systèmes
Facteurs humains		Législation	Modélisation	<b>X</b>	Statistiques avancées
Fiabilité des structures	<b>X</b>	Maintenance	Normalisation		Sécurité

### **OBJECTIFS :**

L'objectif de cette communication est de présenter une analyse bayésienne d'un modèle de maintenance imparfaite, dans le cas où un seul type de maintenance (ici la maintenance corrective) est considéré. Le modèle paramétrique que nous proposons permet de traduire l'efficacité de la maintenance via la valeur d'un de ces paramètres permettant de prendre en compte aussi bien les maintenances minimales que les maintenances parfaites. L'inférence bayésienne sur ce paramètre consiste à transcrire une information issue d'avis d'experts sur cette efficacité en loi a priori sur ce paramètre. Dans cette étude, nous considérons deux lois a priori, la loi beta et la loi uniforme. Nous comparons l'estimateur de maximum de vraisemblance et différents estimateurs bayésiens en faisant varier les lois a priori. La démarche est appliquée à des données de maintenance de matériels EDF.

### **CONTEXTE :**

Tout au long de leur vie opérationnelle, les systèmes industriels sont soumis à des actions de maintenance préventive et corrective. Une maintenance efficace permet la prolongation de la durée d'exploitation des matériels, ce qui constitue un enjeu capital pour les

entreprises. Il est donc important de construire des modèles des effets des maintenances des systèmes réparables complexes et de développer des méthodes permettant d'évaluer leur efficacité. Classiquement, on suppose soit que les maintenances remettent les matériels à neuf (AGAN : As Good As New), soit qu'elles ne font que les remettre en fonctionnement dans le même état qu'auparavant (ABAO : As Bad As Old). La réalité se trouve naturellement entre ces deux extrêmes. On parle alors de maintenance imparfaite.

Une première collaboration entre l'INP Grenoble et EDF [1] a permis de construire des modèles de maintenance imparfaite réalistes. L'évaluation de l'efficacité de la maintenance a été effectuée à l'aide de méthodes statistiques fréquentielles. Or, dans le contexte industriel particulier dans lequel nous travaillons, nous disposons d'une part de très peu de données de retour d'expérience du fait de la grande fiabilité des matériels, et d'autre part, nous disposons de l'existence d'avis d'experts. Une approche bayésienne, mieux adaptée qu'une approche fréquentielle en présence de ces deux facteurs, nous semble donc prometteuse. Cette approche n'a pratiquement pas été abordée jusqu'à maintenant [2]. Nous présentons ici quelques résultats d'une nouvelle collaboration, ayant permis de mettre en oeuvre une démarche bayésienne sur les modèles de maintenance imparfaite.

## **METHODE :**

D'un point de vue mathématique, la suite des instants de maintenance d'un matériel réparable peut être modélisée par un processus aléatoire ponctuel. Le cas AGAN correspond aux processus de renouvellement et le cas ABAO aux processus de Poisson non homogènes. Récemment, des modèles intermédiaires ont été proposés [3]. Parmi ceux-ci, nous avons retenu les modèles à réduction arithmétique de l'âge (ARA1).

Ces modèles comportent d'une part des paramètres liés à l'intensité de défaillance initiale du matériel, indépendamment de toute maintenance, et d'autre part un paramètre d'efficacité de maintenance. En général, on choisit une intensité initiale de type Weibull, à deux paramètres :  $\beta$  (paramètre de forme) et  $\alpha$  (paramètre d'échelle). Le paramètre  $\rho$  d'efficacité de maintenance vaut 0 pour une maintenance ABAO et 1 pour une maintenance AGAN. Evaluer l'efficacité de la maintenance revient à estimer ce paramètre, au vu des données de maintenance issues du retour d'expérience.

Nous distinguons deux cas d'études. Le premier cas suppose que les deux paramètres de l'intensité initiale sont connus. L'inférence bayésienne consiste à construire une loi a priori sur le paramètre d'efficacité de maintenance. Le deuxième cas suppose que les trois paramètres sont inconnus. Pour une démarche bayésienne, il est donc nécessaire de choisir trois lois a priori pour les trois paramètres du modèle. Pour le paramètre d'efficacité de maintenance, nous avons choisi une loi beta. Pour le paramètre d'échelle, nous avons choisi une loi gamma et pour le paramètre de forme une loi uniforme sur l'intervalle [1,6]. Cette dernière hypothèse suppose que les experts ont comme a priori un vieillissement intrinsèque du système. Les estimateurs bayésiens sont les moyennes des lois a posteriori, exprimées à l'aide d'intégrales multiples. Ces estimateurs sont calculés à partir de simulations de Monte Carlo.

## **RESULTATS :**

Dans un premier temps, nous avons effectué l'étude bayésienne proposée à partir de données simulées. Dans le cas où les paramètres de l'intensité initiale sont connus, nous avons réalisé des simulations de 5000 jeux de données. Les qualités de chaque estimateur (bayésien et maximum de vraisemblance), sont mesurées par leurs moyennes et variances empiriques. On constate que l'estimateur de maximum de vraisemblance se comporte bien dès que la taille de l'échantillon est supérieure à 20. Pour des tailles inférieures, l'approche bayésienne permet une nette amélioration en terme de biais et de variance des estimateurs. Nous avons également simulé des situations où les avis d'experts sont fortement biaisés ou peu précis. Nous comparons tous ces estimateurs via l'erreur quadratique moyenne qui prend en compte à la fois le biais et la variance des estimateurs.

Dans le cas où les paramètres de l'intensité initiale sont inconnus (plus proche de la réalité), nous avons simulé 500 jeux de données. Le comportement des estimateurs est ici très différent. Nous remarquons que l'estimateur de maximum de vraisemblance de l'efficacité de maintenance peut être fortement biaisé, même lorsque la taille de l'échantillon est grande. Une approche bayésienne permet de réduire fortement les variances empiriques des estimateurs. Néanmoins, pour ce modèle, seul le paramètre de forme est bien estimé. Une étude précédente avait déjà remarqué ce comportement sur l'estimateur de maximum de vraisemblance.

Dans un deuxième temps, nous avons appliqué cette démarche sur des données réelles. Ces données proviennent d'un composant de stator pour différentes tranches de centrales d'EDF [4]. Les avis d'experts sur ces données ne portaient que sur l'efficacité de la maintenance. L'estimateur de maximum de vraisemblance de l'efficacité de maintenance est, pour ces données, très proche de 1. Les avis d'experts, eux, donnent une valeur de  $\rho$  très proche de 0. Avec un faible nombre de données, l'estimateur bayésien de  $\rho$  est lui aussi très proche de 0, ce qui signifie que les maintenances correctives sont considérées comme minimales. Les estimateurs de maximum de vraisemblance et bayésiens du paramètre de forme sont proches et légèrement supérieurs à 1, ce qui traduit un léger vieillissement intrinsèque du système.

REFERENCES :

[1] C. Domecq, L. Doyen, M.-A. Garnero, O. Gaudoin, S. Lacombe, et A. Lannoy. Evaluation de l'efficacité de la maintenance de matériels réparables. In 14ème Colloque National de Maîtrise des Risques et Sûreté de Fonctionnement, lambda mu 14, Bourges, octobre 2004.

[2] J.H. Lim, K.L. Lu, et D.H. Park. Bayesian imperfect repair model. Communications in Statistics - Theory and Methods, 27(4):965- 984, 1998.

[3] L. Doyen. Modélisation et évaluation des efficacités de la maintenance des systèmes réparables. Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 2004.

[4] F. Josse. Evaluation de la fiabilité d'une cage de développantes en fonction de l'amplitude de ses vibrations. Rapport Technique, EDF – R&D, 2002.

MOTS CLES

	Mots clés	Key words
	accident	accident
	action corrective	corrective action
	activité humaine	human activity
	allocation de fiabilité	reliability allocation
	amdec	fmeqa
	analyse fonctionnelle	functional analysis
X	analyse statistique	Statistical analysis
	arbre de cause	causal tree
	arbre de défaillance	fault tree
	arbre d'évènement	event tree
	assurance qualité	quality assurance
	automatisme	automation
	base de connaissance	knowledge base
X	bayésien	bayesian
	certification	certification
	collecte de données	data collection
	comportement	human behaviour
	utilisateur	
	contrainte	stress
	contrôle commande	control
	criticité	criticality
	cycle de vie	life cycle
	danger	hazard
	défaillance	failure
	défaut	defect
	densité de probabilité	probability density
	disponibilité	availability

données de fiabilité	reliability data
données de maintenance	maintenance data
données d'utilisation	feedback data
donnée manquante	missing data
durée de vie	life duration
dysfonctionnement	malfunctioning
ergonomie	ergonomics
erreur	error
erreur humaine	human error
étude de sensibilité	sensitivity analysis
expert	expert
facteur humain	human factor
faute	fault
fiabilité	reliability
fiabilité humaine	human reliability
formation	training
gravité	severity
homologation	approval
incident	near miss
interface homme	man machine
machine	interface
intégrité	integrity
intervalle de confiance	confidence interval
intrusion	intrusion
législation	legislation

	Mots clés	Key words (2)
	logiciel	software
	logistique	logistic
	lois de fiabilité	reliability laws
	Maintenabilité	maintainability
X	maintenance	maintenance
	maintenance préventive	preventive maintenance
	maintenance corrective	corrective maintenance (repair)
	maîtrise de risque	risk management
	markov (graph ou process)	markov (graph or process)
	mode de défaillance	failure mode
X	modélisation	modelling
	norme	standard
	moyens (méthodes, outils)	means (methods, tools)
	obsolescence	obsolescence
	opérationnel	operational
	organisation	organisation
	outil informatique	CASE tool
	plan d'expérience	design of experiment
	prévention	prevention
	prévision	prediction
	probabilité	probability
	procédure	procedure

	productivité	productivity
	prototypage	prototyping
	qualité	quality
	réglementation	rules
	rentabilité	profitability
	réseaux de Petri	Petri nets
	retour d'expérience	field data feedback
	risque	risk
	Sécurité - innocuité	safety
	Sécurité - confidentialité	security
	simulation	simulation
	simulation de Monte Carlo	Monte Carlo simulation
	soutien logistique	logistic support
	spécification	specification
X	statistique	statistical analysis
	stochastique	stochastic
	sûreté de fonctionnement	dependability
	système complexe	complex system
	système d'information	information system
	système informatique	computer system
	taux de défaillance	failure rate
	test	test
	testabilité	testability
	tolérance aux fautes	fault tolerance
	Weibull	weibull