



Projet IMdR 4/2004 **L'arbre de fautes bayésien**

Chef de Projet :
Monsieur Régis FARRET (INERIS)
Contractant :
Monsieur C. A. CLAROTTI

Le projet n° 4/2004 de l'IMdR intitulé « L'arbre de fautes bayésien » a été réalisé en 2005-2006. Les souscripteurs qui y ont participé sont EDF, INERIS, Joint Research Centre - ISPRA et MBDA.

Les principaux apports du projet

L'intérêt principal du projet réside dans les liens qu'il établit, par la théorie bayésienne, un pont entre différentes communautés trop souvent déconnectées dans les études réelles : les analystes travaillant sur la « fiabilité des composants », ceux qui se concentrent sur la « fiabilité des systèmes », et enfin les personnes intéressées par la gestion des « incertitudes paramétriques dans les codes de calcul ». Ce lien est effectué fort à propos dans un contexte d'aide à la décision, et met en valeur le risque associé à certaines pratiques pourtant courantes : efficacité des redondances en terme de fiabilité, pénalisation excessive de l'estimation de la probabilité de défaillance pour se prémunir des incertitudes.

Tout d'abord, le projet a mis en valeur les dangers de l'approche dite pseudo-bayésienne, qui consiste à découpler totalement l'analyse du REX au niveau composant de l'analyse de risques au niveau système. Cette absence de communication se traduit tout simplement par un défaut rédhibitoire pour une étude de sûreté. En effet, l'évaluation pseudo-bayésienne de la probabilité de défaillance est approximative dans le « mauvais sens » : on démontre théoriquement qu'elle est optimiste pour les systèmes rencontrés usuellement en sûreté de fonctionnement. Ce résultat novateur apporté par le projet remet en outre en cause certaines idées reçues, comme l'efficacité surévaluée des redondances.

De plus, le lien entre les approches « composants » et « système » est effectué en abordant une dimension des incertitudes souvent négligée par le passé dans les analyses de fiabilité des systèmes. La modélisation aléatoire des durées de fonctionnement et de réparation prend en compte notre méconnaissance sur la fiabilité réelle des composants. Les paramètres des lois de probabilité ne sont plus des constantes connues, mais des variables aléatoires. Ce problème revient à évaluer l'impact des incertitudes sur les paramètres d'entrée (les taux de défaillance, de réparation et les probabilités de défaillance à la sollicitation des composants du système) d'un code de calcul (l'arbre de défaillances) sur les sorties de ce code (la probabilité de défaillance, qu'elle soit sous la forme de fiabilité ou de disponibilité). Ce type de calculs se généralise bien au-delà de la fiabilité des systèmes (mécanique, environnement, etc.), et a été largement étudié ces dernières années dans la littérature probabiliste / statistique.

Il n'existe pas dans ces travaux de consensus sur la grandeur numérique à utiliser pour la prise de décision, mais un quantile élevé de la variable aléatoire de sortie (e.g. 95%) est souvent utilisé lorsqu'il s'agit de sûreté. Le présent projet a formalisé le problème des incertitudes dans le contexte particulier d'une décision de sûreté portant sur un système modélisé par arbres de défaillances, et cette formalisation donne des arguments forts qui nous orientent vers l'utilisation de la valeur moyenne de la variable aléatoire de sortie (i.e. dans ce cas précis la moyenne a posteriori de notre « probabilité conditionnelle de défaillance »). Concrètement, le projet permet donc de prendre une décision de sûreté pertinente sans être excessivement conservatif (le quantile à 95% de la probabilité de défaillance étant évidemment supérieur à la moyenne).

Enfin, le projet utilise une approche originale pour mener la démarche à son terme. A la simulation de Monte-Carlo que l'on associerait à une quantification par BDD est préférée une approche basée sur des majorations de l'événement indésirable utilisant les coupes minimales. Ces approximations semblent à première vue nuire à la qualité des résultats (voire même nous ramener quelques années

en arrière en nous privant des avancées les plus récentes dans le domaine). Mais elles sont en fait raisonnables puisqu'elles permettent par ailleurs d'avoir recours à des méthodes d'intégration numériques dont la précision est mieux contrôlée que dans l'approche par simulation. On ressort donc de l'analyse avec deux approches concurrentes, ce qui est forcément positif, puisque cela évite d'être dépendant d'une seule approche et de ses limites, et amène à réfléchir sur les hypothèses propres à chacune d'entre elles.

Perspectives

Dialogue entre les différentes communautés (système / composant)

Si le dialogue entre les différentes communautés (système / composant) a déjà été mentionné dans les résultats de ce projet, il est également pertinent de la mentionner en perspective. Ce dialogue est en effet nécessaire pour mener des études de fiabilité robustes prenant en compte toutes les incertitudes en jeu.

Collecte et analyse du REX, d'autant plus important que le principe d'ajout de redondance a une efficacité réduite

De plus, le projet a démontré que les incertitudes pesant sur les paramètres de fiabilité réduisent l'efficacité des redondances. Et puisque la redondance ne permet pas toujours de pallier notre manque de connaissances en augmentant « à volonté » la fiabilité du système étudié, l'importance de la collecte et de l'analyse du REX devient encore plus flagrante.

Juger de la qualité et de l'efficacité de la maintenance pour rester dans le cadre exponentiel

En ce qui concerne les défaillances en fonctionnement, les résultats obtenus sont valables pour des matériels dont la durée de vie est exponentielle. Il est naturel de s'interroger sur la validité de ces résultats lorsque cette hypothèse n'est pas vérifiée, typiquement lorsque le vieillissement rentre en jeu. On insistera néanmoins sur l'importance d'un autre thème de recherche : l'efficacité de la maintenance. En effet, la maintenance a pour objectif de contrôler le vieillissement ; si celle-ci est adaptée, le cadre exponentiel reste vérifié et la prise en compte du vieillissement dans les arbres de fautes n'est plus nécessaire. Des travaux sur l'efficacité de la maintenance existent d'ores et déjà, mais ce thème reste relativement neuf et constitue donc une perspective de recherche importante.

Développer un logiciel d'arbre de fautes bayésien, pour appliquer à des systèmes réels

Le présent projet propose de nombreux développements mathématiques applicables à tout système réel, mais la mise en oeuvre informatique s'est limitée à des exemples simples encore éloignés d'applications industrielles. Tous les éléments sont néanmoins à disposition pour développer un logiciel d'arbre de fautes bayésien ; disposer de ce logiciel sera nécessaire pour poursuivre l'analyse des apports du projet sur la base de cas réels.

Facteurs d'importance : comment les définir ? Quels sont les mieux adaptés ?

Une étude de fiabilité basée sur un arbre de défaillances n'a pas pour seul intérêt de quantifier une probabilité de défaillance. Elle permet également d'identifier par le biais des facteurs d'importance les « points faibles » du système i.e. les composants qui seront le plus souvent mis en cause lors d'une défaillance du système. Néanmoins, la prise en compte des incertitudes sur les paramètres de fiabilité remet en cause la pertinence des facteurs d'importance usuels, dont la construction ne permet pas de traduire l'influence du REX sur la probabilité de l'événement redouté. Approfondir le sujet des facteurs d'importance dans le cadre de l'arbre de fautes bayésien ressort donc comme une priorité.