

# Projet IMdR P04-7

## Réseaux bayésiens et retour d'expérience en sûreté de fonctionnement

**Chef de Projet :**  
**Monsieur Gilles DEBACHE – DASSAULT AVIATION**

**Contractants :**  
**BAYESIA S.A.**  
**CRAN UMR 7039, Nancy-Université, CNRS**

Le projet P04-7 de l'IMdR intitulé « Réseaux bayésiens et retour d'expérience en sûreté de fonctionnement » a été réalisé en 2007. Les souscripteurs qui y ont participé sont DASSAULT AVIATION, EDF – R&D, INERIS, RATP, RENAULT et SNCF.

### Synthèse

Les réseaux bayésiens se sont imposés de nos jours comme un des cadres de modélisation les plus prometteurs en matière de maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement. Ils sont particulièrement adaptés au recueil et à la représentation des connaissances dans les domaines entachés d'incertitudes et permettent la mise en œuvre efficace et parfaitement rigoureuse des calculs probabilistes et des analyses statistiques. Le projet IMdR P04-7 « Réseaux bayésiens et retour d'expérience en sûreté de fonctionnement » fait le point sur les résultats acquis, les travaux de recherche en cours et les perspectives de ce domaine d'application des réseaux bayésiens.

Les principales contributions de ce projet, correspondant aux différentes tâches abordées, sont :

- Un état de l'art de l'utilisation des réseaux bayésiens dans des applications de sûreté de fonctionnement ;
- Une réflexion sur l'adaptation des méthodes génériques à base de réseaux bayésiens aux spécificités des études probabilistes dans ce domaine ;
- Un guide méthodologique qui résume les bonnes pratiques d'utilisation des réseaux bayésiens en sûreté de fonctionnement et maîtrise des risques ;
- L'étude de plusieurs cas d'analyse de risque ou de sûreté de fonctionnement fournis par les souscripteurs au projet.

L'étude bibliographique entreprise pour dresser l'état de l'art a mis en évidence un nombre important de publications scientifiques, depuis la fin des années 1990 et en forte croissance ces dernières années, proposant des approches à base de réseaux bayésiens pour l'analyse des risques, la sûreté de fonctionnement des systèmes, le diagnostic ou la maintenance. Ces publications présentent des applications dans des domaines industriels aussi variés que le nucléaire, le transport automobile, aérien, ferroviaire ou maritime, le développement logiciel, etc. Ce qui distingue probablement le plus les réseaux bayésiens par rapport aux méthodes classiques utilisées dans ces domaines est leur polyvalence : le même cadre de modélisation permet d'aborder des problématiques aussi diverses que la prévision ou le diagnostic, l'optimisation, l'analyse de données de retour d'expérience, la détection d'écart et l'actualisation des modèles. L'effort d'appropriation de ce formalisme et des méthodes associées ainsi que, dans beaucoup de situations, l'effort même de modélisation peuvent donc souvent être amortis au cours de plusieurs études et applications qui auraient traditionnellement demandé l'utilisation de méthodes et modèles différents.

Cette polyvalence des réseaux bayésiens rend cependant nécessaire une réflexion sur la meilleure manière d'exploiter leur potentiel dans le domaine de la sûreté de fonctionnement. Nous avons identifié au cours du projet un certain nombre de particularités de ce domaine nécessitant des adaptations et des recommandations méthodologiques spécifiques : la rareté de certaines données de retour d'expérience, l'omniprésence des variables numériques de nature continue, les exigences particulièrement fortes sur la validation des modèles. Ces points ont fait l'objet d'approfondissements théoriques et algorithmiques pour aboutir à des recommandations opérationnelles ou à l'identification

des pistes de recherche les plus prometteuses (notamment en matière de discrétisation dynamique). Un guide méthodologique a ensuite été élaboré, en intégrant les résultats de ces réflexions et des conseils issus de la littérature de spécialité et de l'expérience des auteurs.

Les sept études de cas proposés par les souscripteurs ont permis d'illustrer l'intérêt des réseaux bayésiens pour des problématiques diverses et représentatives de sûreté de fonctionnement et d'étayer les recommandations méthodologiques issues du projet.

Deux des cas étudiés se sont focalisés sur l'analyse statistique des données de retour d'expérience à l'aide des méthodes d'apprentissage de réseaux bayésiens. Le cas d'étude proposé par Dassault Aviation a visé la mise en évidence des relations entre les différentes dégradations constatées lors des retours chez le fabricant d'un certain type d'équipement et des facteurs impactant la durée de bon fonctionnement de l'équipement entre deux retours. Le cas proposé par Renault a permis d'illustrer l'apport des réseaux bayésiens pour la construction et l'analyse de modèles explicatifs de taux d'incidents et de taux d'usure.

Quatre autres études ont privilégié la construction et la validation des modèles à partir des connaissances des experts. Un des cas proposés par EDF concerne l'analyse des risques d'un système technique-humain et organisationnel pris dans son environnement et de leurs impacts sur les enjeux de sûreté, disponibilité et maintien dans la durée du système. Le réseau bayésien construit dans le cadre de l'étude de cas INERIS modélise des scénarios d'accidents dans une installation classée et les barrières de sécurité mises en place, afin d'estimer la probabilité d'occurrence annuelle de phénomènes dangereux. Dans l'étude du cas proposé par la RATP un modèle prévisionnel de la disponibilité d'un système de ventilation et de désenfumage des lignes souterraines du métro a été élaboré. L'étude proposée par la SNCF a visé l'évaluation de l'apport des réseaux bayésiens dynamiques pour la modélisation et l'analyse de différentes stratégies de maintenance des installations fixes des lignes à grande vitesse.

Le deuxième cas d'étude proposé par EDF, situé à l'intersection entre les approches statistiques et celles reposant sur l'expertise, a permis d'illustrer l'actualisation bayésienne à partir de données de retour d'expérience des a priori d'un modèle expert de dégradation.

L'état de l'art et les réflexions entreprises dans le cadre de ce projet, ainsi que les études de cas réalisées, permettent de conclure sur la maturité scientifique et technique des méthodes à base de réseaux bayésiens et sur leur fort intérêt pour les études probabilistes d'analyse des risques et de sûreté de fonctionnement. Des efforts de recherche restent néanmoins à faire pour améliorer les performances de ces méthodes et élargir leur champ d'application, notamment en ce qui concerne les extensions dynamiques, orientées objets et décisionnelles des réseaux bayésiens.