



Institut pour la Maîtrise des Risques
Sûreté de Fonctionnement - Management - Cindyniques

**" Méthodes d'évaluation de la sûreté des
structures vieillissantes - Panorama et
benchmarking "**

Projet de l'IMdR n° P10-2

Copyright IMdR - 2014/04

Contractant : Alaa CHATEAUNEUF

Collaborateurs : Younes AOUES et Rafic FADDOUL

IMdR - 12 avenue Raspail - 94250 GENTILLY
Tél: 33 (0)1 45 36 42 10 - Fax: 33 (0)1 45 36 42 14
www.imdr.eu - contact@imdr.eu



Institut pour la Maîtrise des Risques
Sûreté de Fonctionnement - Management - Cindyniques

**" Méthodes d'évaluation de la sûreté des
structures vieillissantes - Panorama et
benchmarking "**

Projet de l'IMdR n° P10-2

Chefs de Projet :

MM Mathieu REIMERINGER/Gaëtan PROD'HOMME, INERIS

Contractant : Alaa CHATEAUNEUF

Collaborateurs : Younes AOUES et Rafic FADDOUL

IMdR - 12 avenue Raspail - 94250 GENTILLY
Tél: 33 (0)1 45 36 42 10 - Fax: 33 (0)1 45 36 42 14
www.imdr.eu - contact@imdr.eu

L'Institut pour la Maîtrise des Risques tient à remercier :

- **Messieurs Mathieu REIMERINGER et Gaëtan PROD'HOMME, INERIS** qui ont dirigé cette étude,
- **les sociétés** qui ont souscrit à ce projet **et leurs collaborateurs** qui ont participé à sa réalisation :



M. Olivier BORLET



M. Horacio DA COSTA



M. Bassam BARAKAT

M. Gabriel LE BOËTTE



M. Philippe BRYLA

M. Florian MAURIS



M. Mathieu REIMERINGER

M. Gaëtan PROD'HOMME



M. Pierre STEVENIN



M. Luc DIELEMAN

Mlle Suzhe YANG

- son **Délégué Technique, M. John OBAMA**, et son **Vice-Président, M. André LANNROY**, qui ont contribué à cette étude,
- le contractant **M. Alaa CHATEAUNEUF** et son équipe **M. Younes AOUES** et **M. Rafic FADDOUL**

Synthèse du projet

Contexte et enjeux

L'évaluation de la sûreté des structures vieillissantes est essentielle pour assurer le bon fonctionnement des systèmes et des installations. Le besoin d'une méthodologie cohérente et adaptée se ressent de plus en plus dans différents secteurs industriels, compte tenu de l'âge avancé de beaucoup d'équipements actuels, d'une part, et de la faible capacité de réinvestissement, d'autre part. Par ailleurs, suite aux accidents marquants des dernières décennies, les évolutions sociétales et réglementaires vis-à-vis de la perception et de la gestion des risques imposent au gestionnaire d'accorder une attention de plus en plus forte au suivi de l'état de sûreté des systèmes dont il est responsable. Les développements récents de diverses méthodologies, plus ou moins spécifiques, ne permet pas d'avoir une vision complète et cohérente de l'ensemble des méthodes et outils disponibles pour l'évaluation de la sûreté des structures.

Cette évaluation nécessite la connaissance de l'état précis de la structure elle-même, de son historique, de son environnement et des évolutions potentielles dans le temps. La consistance de l'évaluation n'est possible qu'à travers une représentation réaliste des incertitudes sur l'état de la structure, l'environnement, les mécanismes de dégradation et le système de management (inspection, monitoring, maintenance et réparation). En plus du diagnostic, permettant l'évaluation de l'état actuel de sûreté, le pronostic vise l'évaluation de la durée de vie résiduelle du point de vue technico-économique.

Les gestionnaires ont besoin d'une méthodologie présentant un cadre systématique fournissant des orientations sur les composants à hauts risques, par l'évaluation des modes de défaillance, de leur probabilités et conséquences, dans un premier temps, et par l'introduction des résultats dans les modèles de décision, dans un second temps. La méthodologie doit se baser sur le retour d'expérience disponible dans les bases de données, l'expérience du métier (managers, ingénieurs et opérateurs) et les modèles d'évaluation du risque, ainsi que les expériences dans d'autres secteurs industriels et experts.

L'objectif de l'évaluation est de mettre à la disposition du décideur des informations qualitatives et quantitatives qui pourront être exploitées pour la gestion du risque. Cette évaluation comprend *l'analyse du risque*, qui implique l'identification de l'aléa, l'estimation de la probabilité d'occurrence des événements indésirables et l'évaluation des conséquences potentielles, d'une part, et *l'évaluation du risque*, qui nécessite la définition du seuil d'acceptabilité du risque et la comparaison des alternatives et des variantes et options, d'autre part.

Dans ce cadre, le présent projet a pour objectif d'identifier les méthodologies utilisées dans différents secteurs industriels, d'en dégager les concepts fondamentaux, les conditions d'application, les avantages et les inconvénients. Il s'agit également de proposer des pistes d'amélioration et de définir les liens entre les approches adoptées et les possibilités de transfert de méthodologies d'un domaine industriel à un autre. Un benchmark composé de trois exemples industriels est établi pour la comparaison des différentes méthodologies, en termes d'analyse des données, de prise en compte des incertitudes et de gestion de la sûreté de la structure.

Contenu du projet

Etat de l'art sur les méthodologies d'évaluation de la sûreté

L'étude des méthodologies existantes a montré que les approches adoptées sont le plus souvent très spécifiques au domaine d'application visé, avec des hypothèses et des limites qui sont difficilement extrapolables. Les développements de ces méthodologies sont essentiellement pilotés par la culture, les traditions et les sensibilités du secteur industriel concerné. L'absence de cadre général est très gênante lorsqu'il s'agit de faire évoluer une méthodologie existante, d'adopter une nouvelle méthodologie dans un cadre industriel, ou de comparer des alternatives et des enjeux issus d'approches différentes. L'état de l'art sur les méthodologies existantes dans différents secteurs industriels a permis de définir trois familles principales :

- **Méthodologies basées sur le classement**, dans lesquelles l'évaluation se fait par des scores d'inspection et d'expertise, alloués à chaque composant. Ces scores permettent l'évaluation des indicateurs de l'état de santé de la structure et de ses composants, aboutissant à une cotation générale de la structure et à une priorisation des actions à mener. Cette approche est plutôt déterministe et qualitative. Elles nécessitent principalement des données d'observation simples et permet de traiter, des structures importantes en termes de tailles et de nombre de composants, avec des efforts raisonnables. Toutefois, elles ne peuvent être appliquées qu'aux scénarios dont la gravité des conséquences économiques est faible ou moyenne.
- **Méthodologies basées sur la criticité**, dans lesquelles les conséquences et la probabilité de défaillance sont obtenues par des approches génériques et des référentiels spécifiques au secteur industriel ; elles sont donc difficilement extrapolables à d'un secteur à un autre. Les phénomènes de dégradation et la fiabilité des inspections sont pris en compte pour l'évaluation de la criticité, pour le calcul de la durée de vie résiduelle et pour la planification des interventions. Ces méthodologies sont semi-probabilistes, impliquant des approches qualitatives, quantitatives ou semi-quantitatives. Elles nécessitent la construction d'une base de données importante sur les taux de défaillances et l'influence des différents facteurs sur l'évolution de l'état des structures. La qualité des données et l'effort d'évaluation sont des paramètres déterminants pour le choix des approches qualitatives et quantitatives à prendre en compte dans l'application pratique de cette méthodologie.
- **Méthodologies basées sur la fiabilité**, dans lesquelles l'analyse fine de la fiabilité structurale vis-à-vis de chacun des modes de défaillance est effectuée pour l'état actuel et prévisionnel ; la dégradation aléatoire doit être considérée dans le cadre d'une modélisation mécanique du vieillissement de la structure. L'évaluation de l'espérance du coût du cycle de vie permet l'optimisation du plan d'inspection et de maintenance, sous des contraintes de budget et de fiabilité. Ces méthodologies sont purement probabilistes et quantitatives. Elles nécessitent de nombreuses données statistiques sur les matériaux et sur l'état de la structure ainsi que des modèles de comportement précis. Elles sont adaptées aux structures relativement simples, mais à hauts risques, dans lesquelles les scénarios sont interdépendants. L'analyse de la décision permet d'aboutir à une optimisation effective de la gestion de la sûreté et du plan d'investissement à court et à long termes.

Benchmark industriel

La mise en œuvre des méthodologies d'évaluation de la sûreté sur trois applications industrielles a pour but de montrer leurs capacités et performances, d'une part, et d'identifier les difficultés, les besoins en termes de données et de modèles, aussi bien que les points faibles ou sensibles, d'autre part. Les trois exemples choisis sont :

- **réservoir atmosphérique**, pour lequel nous disposons de données principalement qualitatives : la comparaison de la méthodologie basée sur la criticité et celle basée sur la fiabilité a souligné les difficultés pratiques, qui sont principalement dues au manque de coordination entre les besoins des méthodologies et les objectifs des interventions réellement effectuées sur le site ;
- **conduite forcée soumise à la corrosion**, pour laquelle des données quantitatives sont disponibles : les approches déterministes, semi-fiabilistes et fiabilistes sont appliquées pour montrer l'évolution des marges de sûreté entre les hypothèses à la conception et celles d'une évaluation précise de l'état de la structure existante ;
- **assemblage métallique d'un pont ferroviaire**, pour lequel des données assez sommaires sont disponibles : les validations règlementaires et les méthodologies basées sur le classement et sur la fiabilité montrent l'intérêt de la collecte et de la capitalisation des données, et de l'adoption d'une modélisation fine du comportement mécanique et des phénomènes de dégradation.

Analyse critique et pistes d'amélioration

Alors que la méthodologie basée sur le classement permet de faire un tri rapide des composants en fonction de leurs conditions d'état, la méthodologie fiabiliste permet l'évaluation précise de la sûreté, au prix d'une modélisation mécanique, physique et statistique complexe, qui peut être intéressante mais qui a aussi ses limites. La méthodologie basée sur la criticité présente un compromis entre ces deux approches, mais elle nécessite des adaptations et des améliorations avant son application pratique. Dans tous les cas, l'approche quantitative est privilégiée à l'approche qualitative qui ne permet réellement pas de prendre des décisions argumentées. Les pistes d'amélioration des méthodologies existantes se situent à plusieurs niveaux, dont les plus importantes sont :

- l'amélioration de la modélisation du système structural et de l'évaluation des conséquences pour tenir compte des interdépendances des composants et des interactions des scénarios ;
- l'évolution du concept de la matrice de criticité pour tendre vers une description continue des risques et pour diminuer la part arbitraire de la démarche ;
- l'élaboration d'une démarche cohérente d'évaluation du risque et de la durée de vie résiduelle ;
- le développement d'une méthodologie d'évaluation des scénarios rares ou sans historique.

Les méthodologies doivent être déployées de façon progressive, en leur donnant les moyens de s'enrichir au fur et à mesure, en fonction des besoins et des informations disponibles. Du point de vue pratique, il est indispensable de développer un système informatique pour la gestion de l'actif, permettant ainsi la capitalisation des connaissances et l'actualisation dynamique et efficace de l'évaluation de la sûreté.

Conclusions et perspectives

Ce projet présente une analyse détaillée des méthodologies d'évaluation de la sûreté, montrant leurs forces et faiblesses en s'appuyant sur un benchmark industriel dans des contextes variés. Il identifie les liens entre les méthodologies et propose des voies d'amélioration et une méthodologie dynamique et multi-niveaux combinant les trois méthodologies principales. L'importance de la capitalisation des données et la mise en place d'un système de gestion de la sûreté sont essentielles pour l'application d'une stratégie efficace permettant l'optimisation technico-économique de l'actif industriel.

En perspective de ce travail, il est utile de mettre l'accent sur l'intérêt d'envisager des développements ultérieurs, parmi lesquels :

- la standardisation de la démarche d'évaluation et la mise en place de référentiels méthodologiques ;
- la modélisation probabiliste des phénomènes de dégradation et de leur interaction ;
- la modélisation des incertitudes spatiales et temporelles des inspections et de collecte de données ;
- le développement d'une méthodologie de décision robuste pour la gestion des actifs à haut risque.

Une grande marge de progrès reste encore possible pour rendre les méthodologies actuelles plus attractives et surtout plus pertinentes lorsqu'il s'agit de prendre des décisions concernant la gestion de la sûreté et l'optimisation du cycle de vie des structures industrielles et de génie civil.