

LA GESTION DURABLE PAR LES RISQUES DES INFRASTRUCTURES DE GENIE CIVIL

B. Capra, B. Gérard, O. Bernard

OXAND S.A., AVON

Résumé

Les normes de dimensionnement des ouvrages prescrivent des règles de bonne construction qui sont basées sur le retour d'expérience et l'utilisation, plus récente, d'approche semi-probabilistes. Ces règles sont applicables à toute la structure et visent une durée de vie donnée. Les approches performantielles sur les matériaux permettent de mieux concevoir un matériau durable lors de la conception. Cependant, toutes les spécificités d'un ouvrage ne sont pas prises en compte lors du dimensionnement (environnement local et charges réelles, qualité de mise en œuvre). Cet article présente une méthodologie de gestion durable des structures basée sur la prise en compte de modélisations du vieillissement et d'analyses de risques. Ces informations constituent des éléments d'aide à la décision pour les maîtres d'ouvrage en vue d'une gestion optimisée de la maintenance des ouvrages. Quelques cas concrets sur lesquels la méthodologie a été appliquée sont présentés.

Mots-clés

Gestion – Durable - Risques – Vieillissement - Structures

1. INTRODUCTION

La gestion des infrastructures dans les pays industrialisés est à une période charnière. Jusqu'à présent, la majorité des efforts se sont concentrés sur le développement de nouvelles infrastructures pour une société en pleine croissance. Une partie du budget a été prévue pour leur maintenance mais les contraintes budgétaires permettent rarement de combler l'ensemble des besoins. Dans un contexte où les actifs ont vieilli, les coûts de maintenance augmentent, et vont continuer à augmenter, de manière de plus en plus conséquente. Il est donc essentiel d'optimiser les moyens disponibles en les affectant là où leur efficacité sera la plus grande.

Toute la difficulté réside dans la définition de l'optimum (technique, économique, social,...). Chaque intervenant dans l'acte de construire a sa propre notion de l'optimisation qui n'est pas forcément compatible avec celle des autres.

D'un point de vue technique, on a longtemps considéré la conception et la construction d'un ouvrage comme les actes essentiels au détriment du vieillissement. A l'heure où le parc des structures vieillit globalement, l'aspect de la prolongation de la durée de vie, et avec quelle sécurité résiduelle comparé au design initial, devient un enjeu important pour les maîtres d'ouvrages. Les approches performantielles permettent de mieux appréhender le vieillissement par l'intermédiaire des paramètres de durabilité adéquat vis-à-vis d'une durée de vie requise. Néanmoins, ces paramètres ne prennent pas en compte des éléments locaux tels que l'environnement, le climat et les charges réelles d'une structure de même que des problèmes de mise en œuvre.

Lorsque des problèmes apparaissent, et qu'il est nécessaire de prendre des mesures, un certain nombre d'éléments sont nécessaires à la prise de décision :

- techniques : spécificités de la structure, retour d'expérience sur son passé, son état de dégradation, son évolution ;
- éléments financiers : coûts et impact des réparations, impact d'une défaillance.

Les méthodologies d'analyse de risque permettent de formaliser la prise en compte de ces éléments en une démarche unifiée qui permet de comparer différentes possibilités et de choisir la plus adéquate en fonction des contraintes spécifiques au cas étudié.

2. PRINCIPES DE L'ANALYSE DE RISQUE

Il est encore trop courant que les personnels en charge de la maintenance de structures vieillissantes réparent, selon une logique curative, ce qui est le plus urgent, voire déjà défaillant, compte tenu des contraintes budgétaires. La notion de mécanismes de vieillissement et de hiérarchisation globale des interventions de maintenance est encore trop peu utilisée.

En génie civil, la notion de risque sert généralement à décrire les aspects de sécurité des constructions (probabilité de défaillance lors du dimensionnement d'une structure dans le cadre des approches semi-probabilistes réglementaires par exemple). Elle se cantonne donc souvent à l'aspect purement technique des choses et n'intègre pas les conséquences d'une défaillance éventuelle. Par conséquent, ces approches ne permettent pas une stratégie de surveillance et de maintenance optimale car elles négligent les conséquences du vieillissement autres que structurales.

Pour être capable d'utiliser les risques comme un critère de hiérarchisation permettant d'établir une stratégie de surveillance et de maintenance, il faut que la méthode utilisée :

- Soit assez générale pour être appliquée à n'importe quel type d'infrastructure et soit capable de les comparer ;
- Puisse intégrer aussi bien les données « maison » que le retour d'expérience ou encore les données extérieures disponibles ;
- Puisse permettre l'exploration de tous les modes de défaillance ;

- Puisse être modulable et s'ajuster au niveau de détail exigé : du simple composant à un parc d'infrastructures ;
- Puisse intégrer les différents types d'enjeux : humains, économiques, environnementaux, financiers, sociaux, politiques, etc.
- Puisse intégrer les processus de vieillissement ;
- Puisse être accessible au personnel technique ;
- Puisse être accessible aux équipes dirigeantes ;
- Puisse aboutir facilement à une stratégie de surveillance et de maintenance ;
- Puisse aider à l'élaboration, ou la comparaison, de plans de financement ;

3. APPROCHE PAR LA CARTOGRAPHIE DES RISQUES

Dans notre approche, le risque R n'est pas seulement défini par sa probabilité de défaillance (ou fréquence F) mais plutôt par le produit de sa probabilité multipliée par la gravité de ses conséquences :

$$R = F \times G \quad (1)$$

Cette définition est depuis longtemps utilisée dans les domaines de la finance, des assurances ou dans les domaines à risques élevés comme les industries spatiales ou nucléaires mais s'applique également domaine du génie civil. Un critère additionnel lui est souvent associé : la « détectabilité », c'est-à-dire la possibilité de détecter les signes d'une défaillance à venir (par un monitoring par exemple).

Dans la modélisation du processus de vieillissement, le critère "évolutif" des infrastructures peut également être ajouté.

La gestion par les risques peut être décomposée en plusieurs activités:

- L'identification des risques consiste à identifier toutes les fonctions d'un système comme tous ses composants pour lesquels une défaillance conduirait à une perte d'une ou plusieurs fonctions du système.
- L'estimation des risques consiste à estimer (quantitativement ou qualitativement) la probabilité et les conséquences d'un mode de défaillance.
- L'évaluation des risques est l'étape où l'on associe le risque au seuil de tolérance ou d'acceptabilité du responsable d'une infrastructure.
- Le traitement des risques et la gestion des risques consistent à trouver une solution à un risque inacceptable.

On attribue à chaque mode un niveau de fréquence (probabilité) et une gravité (conséquences), ceci en proche collaboration avec les propriétaires/dirigeants du système à considérer. Ces niveaux peuvent être exprimés par des valeurs numériques, si disponibles, ou à l'aide de tables étalonnant certains niveaux à des intervalles représentatifs, définis de manière qualitative et/ou qualitative. Ces grilles doivent être définies d'après le secteur d'application et la perception des gérants des infrastructures. Ainsi, plusieurs définitions de gravité peuvent être établies pour traduire les différents niveaux de conséquence, qu'ils soient humains, économiques, financiers, politiques, etc.

Une fois que tous les modes de défaillance ont été définis et affectés d'une criticité, ils peuvent être rentrés dans un histogramme basé sur leur classe de criticité (par couleurs), ce qui permet la hiérarchisation des modes de défaillance et leur visualisation. Appliqué à la globalité de l'infrastructure, il est possible de créer une cartographie utilisant soit des valeurs numériques soit un code de couleurs.

Comme les modes de défaillance ont été décrits en termes de fonctions et de composants, il est possible d'identifier quels composants contribuent le plus au risque global ou à la criticité d'un système. Associés à une analyse économique, différents scénarios de maintenance peuvent être simulés pour identifier lesquels sont les plus efficaces en termes de coûts ou de diminution de criticité globale. La figure suivante présente un exemple d'analyse de risque appliquée au cas d'un aéroréfrigérant de centrale nucléaire :

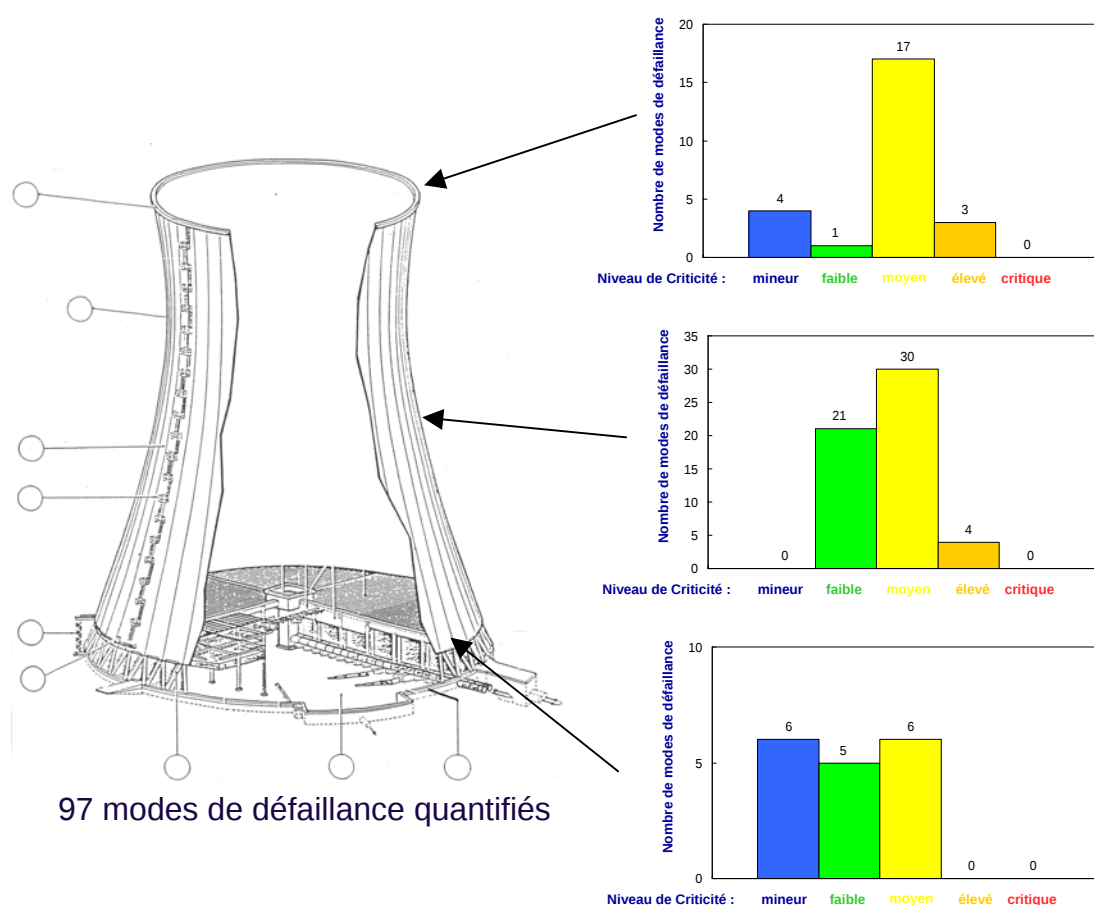


Figure 1. Cartographies des risques sur un aéroréfrigérant.

4. PREVISION ET ACTUALISATION DU VIEILLISSEMENT

La modélisation des processus de vieillissement est un élément important dans le processus d'analyse de risque car c'est elle permet d'évaluer à quelle échéance le risque deviendra inacceptable. Dans un contexte de structures réelles, les modèles déterministes sont parfois insuffisants car les valeurs moyennes des paramètres ne sont pas capables de représenter la variabilité inhérente à toute construction

(environnement climatique local, variabilité intrinsèque des caractéristiques des matériaux, défauts de mise en œuvre,...). On peut alors obtenir un risque nul « théorique » en moyenne, alors que l'on observera des dommages réels sur l'ouvrage.

La figure suivante représente l'évolution de la probabilité de perte de 5% de section d'acier par corrosion en fonction de l'âge de l'aéroréfrigérant et pour différentes zones :

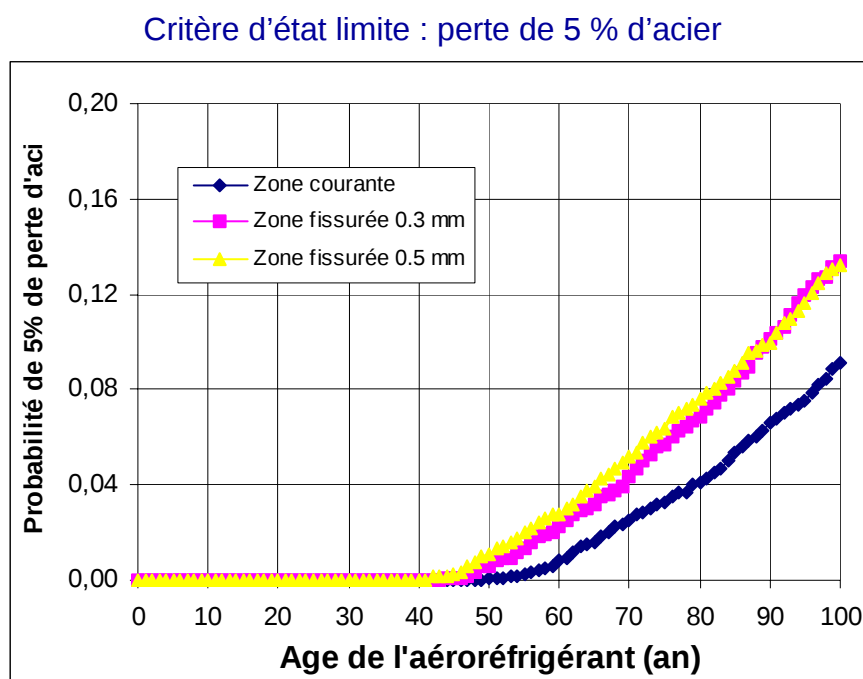


Figure 2. Evolution de la probabilité de perte de 5% d'acier en fonction de l'âge de l'aéroréfrigérant.

Généralement, peu de données sont disponibles pour déterminer des lois statistiques des différents paramètres du problème probabiliste. L'utilisation des techniques bayésiennes est alors un outil puissant qui permet d'actualiser la prévision, et donc les risques, au fur et à mesure de l'acquisition des données par monitoring par exemple.

La figure 3 représente l'évolution de l'avancement moyen d'un front de carbonatation au cours du temps ainsi que les fractiles à 5% et 95% associés. Après mesures sur la résistance à la compression réelle du béton à 25 ans, la prévision est actualisée (diminuée dans le cas présent) et l'incertitude diminuée (resserrement des fractiles autour de la valeur moyenne).

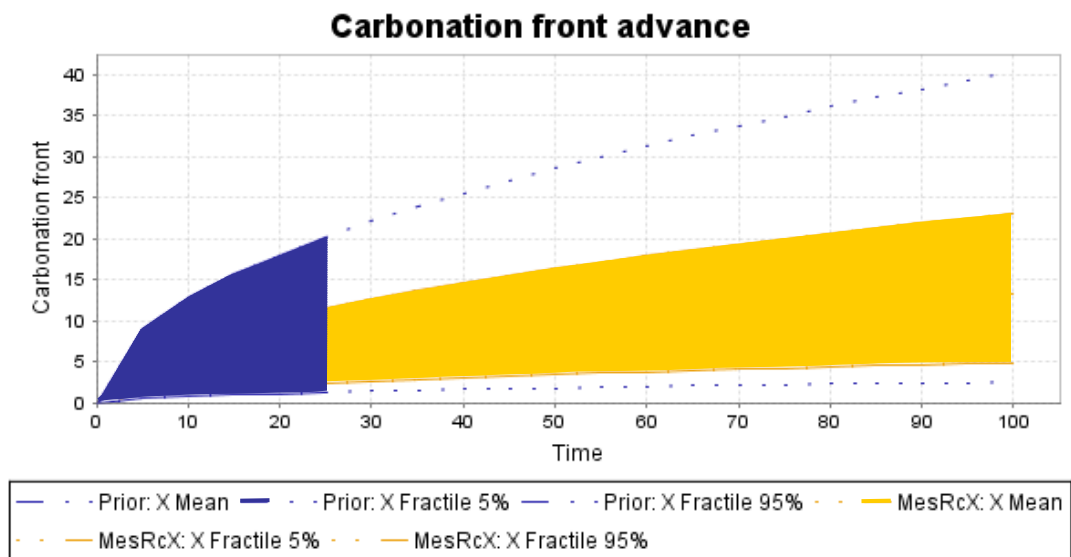


Figure 3. Actualisation bayésienne de l'évolution d'un front de carbonatation dans le béton.

5. LES GAINS

Le recours à l'analyse de risques génère de nombreux gains pour le propriétaire/exploitant de l'infrastructure. L'information sur les risques obtenue par la méthode permet tout d'abord de prévoir puis de mettre en place une stratégie d'inspection et d'instrumentation en se concentrant sur les composants qui présentent un risque maximal (probabilité et gravité). C'est également un outil puissant dans l'établissement d'une stratégie de maintenance qui peut accroître la durée de vie de la structure. Parallèlement, la combinaison de la méthode avec des outils financiers peut aider à optimiser les budgets dans les secteurs à enjeux. En outre, lorsque les mécanismes de vieillissement peuvent être prédits ou modélisés (par exemple, les processus de corrosion ou les réactions alcalis-granulats), il devient possible de projeter la stratégie à long terme pour prévoir l'évolution de l'infrastructure.

Cette stratégie est d'autant plus pertinente si elle devient « vivante » en étant couplée à un monitoring en temps réel qui permet de définir un planning d'évaluation et de maintenance actualisé. Un autre gain important apporté par l'analyse de risque est le fait de rapprocher les points de vue des ingénieurs et des gestionnaires. En effet, l'expérience montre qu'une telle approche fournit une base commune facilitant les échanges d'idées sur les priorités et les enjeux parmi les différents niveaux hiérarchiques.

Enfin, d'une manière plus globale, il apparaît que les gains financiers générés grâce à l'utilisation de l'analyse de risques peuvent être compris entre 20 et 100 fois le coût de l'analyse elle-même, auquel s'ajoute de l'ordre de 20% d'économie annuelle sur les plans de maintenance.

5. CONCLUSIONS

L'approche générale présentée ci-dessus a déjà été utilisée dans plusieurs domaines d'application. L'exemple présenté a montré que l'analyse de risques a permis d'évaluer différents composants d'un aéroréfrigérant (anneau supérieur, section intermédiaire, base). Les modes de défaillance les plus critiques varient selon le lieu étudié. Par conséquent, une stratégie de surveillance et de maintenance différenciée peut être appliquée pour chaque composant. L'utilisation de contrôles de prévention et de critères d'alerte (détection) permet de pallier aux risques. Aussi, les éléments fournis par le propriétaire/gestionnaire de l'ouvrage sont déterminants pour élaborer sa stratégie.

Cette méthode a été appliquée avec succès dans les domaines suivants : hydraulique, énergie nucléaire, portuaire, routes, ponts, canaux, tuyaux, et plus récemment pour du process industriel. Les analyses peuvent porter aussi bien sur un composant unique que sur l'ensemble d'un parc d'ouvrages. L'étendue des enjeux étudiés est très vaste : techniques, humains, économiques, financiers, environnementaux, etc.

Une idée reçue concernant l'analyse de risque est qu'elle se substitue à l'avis d'expert. Une telle vision est erronée car à chaque étape de l'analyse, les experts interviennent pour évaluer de manière transparente, et contradictoire, les valeurs associées aux probabilités de défaillance (fréquence qualitative) ou à la gravité des conséquences. L'analyse de risque, tout comme d'autres outils mis à la disposition des ingénieurs et des décideurs, ne se substitue pas au jugement mais vient le conforter, grâce à la formalisation, en fournissant des éléments d'aide à la décision objectifs.