



HAL
open science

Système de planification de la maintenance pour la gestion et la maîtrise des risques associés aux infrastructures de génie civil

Jérôme Boéro, Humberto Yáñez-Godoy, Y. Billard, Franck Schoefs

► To cite this version:

Jérôme Boéro, Humberto Yáñez-Godoy, Y. Billard, Franck Schoefs. Système de planification de la maintenance pour la gestion et la maîtrise des risques associés aux infrastructures de génie civil. 17e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement, Oct 2010, La Rochelle, France. hal-01008995

HAL Id: hal-01008995

<https://hal.science/hal-01008995>

Submitted on 29 Sep 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

SYSTÈME DE PLANIFICATION DE LA MAINTENANCE POUR LA GESTION ET LA MAÎTRISE DES RISQUES ASSOCIÉS AUX INFRASTRUCTURES DE GÉNIE CIVIL

DECISION-MAKING AND MAINTENANCE PLANNING SYSTEM BASED ON RISK ANALYSIS FOR SUSTAINABLE MANAGEMENT OF CIVIL ENGINEERING INFRASTRUCTURES

Boéro J., Yáñez-Godoy H., Billard Y.
Société : Oxand S.A
Adresse : 49 Avenue Franklin Roosevelt
77210 Avon, France
jerome.boero@oxand.com

Schoefs F.
Société : Université de Nantes, CNRS,
Institut de Recherche en Génie Civil et
Mécanique (GeM)
Adresse : UMR 6183, Faculté des Sciences
et des Techniques, 2 rue de la Houssinière,
44000 Nantes, France
franck.schoefs@univ-nantes.fr

Résumé

Les infrastructures de génie civil prennent une place de plus en plus forte dans notre société et contribuent pleinement à son développement durable. Face à de multiples enjeux, les gestionnaires se doivent de garantir l'exploitation dans la durée de parcs d'ouvrages hétérogènes et vieillissants, dans les meilleures conditions de sécurité, de disponibilité et de coûts. Il est donc essentiel pour les gestionnaires d'optimiser les moyens disponibles en les affectant là où leur efficacité sera la plus grande. Pour atteindre ces objectifs, un système de gestion durable des infrastructures de génie civil basé sur l'analyse de risques est proposé. Sa finalité consiste à fournir aux gestionnaires une vision globale du niveau de performance des ouvrages par l'intermédiaire du « risque » et une prévision pluriannuelle des besoins de maintenance sur la base d'une comparaison multi-enjeux. La démarche, ainsi que ses aboutissements, sont illustrés sur un cas concret dans le domaine portuaire.

Summary

Civil engineering infrastructures play an important role in our society and strongly contribute to its sustainable development. Facing multiple issues, managers must guarantee the ageing structures operation with a controlled safety availability conditions and reasonable costs. Also it is essential for managers to optimize the budget and the human resources assigned by affecting them where their efficiency will be the most important. To reach these goals, a sustainable risk based management system for civil engineering infrastructures is presented. Its purpose consists in supplying to the owners an overall vision of the asset performance in a "risk" based context and a multi-annual forecast of the budget of maintenance based on the comparison of multiple issues. This approach, as well as these outcomes, is illustrated in a concrete case relating to a port.

1 Introduction

Sous les fortes pressions économiques actuelles, la durée d'exploitation des infrastructures de génie civil est souvent prolongée, dans des conditions de service qui peuvent parfois s'avérer plus sévères que celles prévues à la conception. Dans ce contexte où les actifs vieillissent, les coûts de maintenance augmentent et peuvent atteindre des niveaux très significatifs. C'est donc dans une logique d'optimisation des moyens disponibles en les affectant là où leur efficacité sera la plus grande, que les gestionnaires sont amenés à répondre à deux questions majeures : « Quels sont les risques associés aux ouvrages en service ? » et « Quelles sont les actions à planifier pour maîtriser ces risques ? ». Ces différents aspects placent les gestionnaires d'infrastructures de génie civil dans une position délicate pour maintenir un niveau de performance acceptable dans lequel la gestion par les risques est particulièrement bien adaptée.

Dans le cadre de l'article proposé, un système d'aide à la décision pour la gestion durable des infrastructures de génie civil basé sur l'analyse de risques est présenté. Les fondements méthodologiques de ce système de gestion reposent sur les trois grandes étapes suivantes : (1) identification par famille d'ouvrages des points les plus sensibles (modes de défaillance ou dangers) ; (2) estimation des risques pour chaque ouvrage ; (3) élaboration de programmes pluriannuels de maintenance basés sur la hiérarchisation des risques.

La finalité du système de gestion consiste à aider les gestionnaires à gérer et maîtriser les risques associés au vieillissement des infrastructures tout en optimisant les ressources allouées. Cette démarche, ainsi que les bénéfices escomptés, sont illustrés sur un cas concret dans le domaine portuaire.

2 Objectifs attendus du système d'aide à la décision

Pour un gestionnaire d'infrastructures de génie civil, disposer d'un schéma directeur de maintenance de ses ouvrages est un enjeu capital. Par ailleurs, l'importance de cet enjeu croît avec le temps face au vieillissement des infrastructures, très souvent couplé à des restrictions budgétaires. L'objectif principal est donc d'identifier et de justifier les actions de maintenance engagées comme les plus pertinentes par rapport au budget alloué.

A cet effet, le système d'aide à la décision proposé permet l'élaboration du schéma directeur de maintenance en fonction des objectifs à terme que doit remplir le parc d'ouvrages. Pour cela, il doit donc être basé sur un pronostic de l'évolution de la performance technique des ouvrages (vieillessement), mais aussi des enjeux associés. Il résulte du schéma directeur, les orientations à court, moyen et long terme, ainsi qu'une priorisation des actions de maintenance et des allocations de budget correspondantes. Pour l'ingénieur, les avantages de cette approche sont : la formalisation de la politique de maintenance dans un cadre méthodologique bien défini ; l'identification des points sensibles des ouvrages ; la hiérarchisation des actions de

maintenance selon des critères technico-économiques ; la communication des résultats (actions à entreprendre et effets si non accomplies). Pour le décideur, les avantages sont également multiples : la vision globale des risques et des coûts de maintenance pour traiter les risques jugés inacceptables ; la prise en compte des véritables enjeux pour l'entreprise ; la mise à disposition d'un baromètre de la performance du patrimoine comme gage de qualité.

3 Elaboration et déploiement du schéma directeur de maintenance d'un grand complexe portuaire

3.1 Rôle et décomposition fonctionnelle d'un port

Pour remplir ses diverses missions, un port comporte un ensemble d'installations qui concernent les fonctions relatives aux navires ou celles relatives aux opérations à terre (Boéro et al., 2009). La consolidation du maillon « Port » au cœur de la chaîne de transport nécessite donc l'exploitation d'installations garantissant des conditions optimales de rapidité, de sécurité, de fiabilité et de coût (cf. Figure 1).

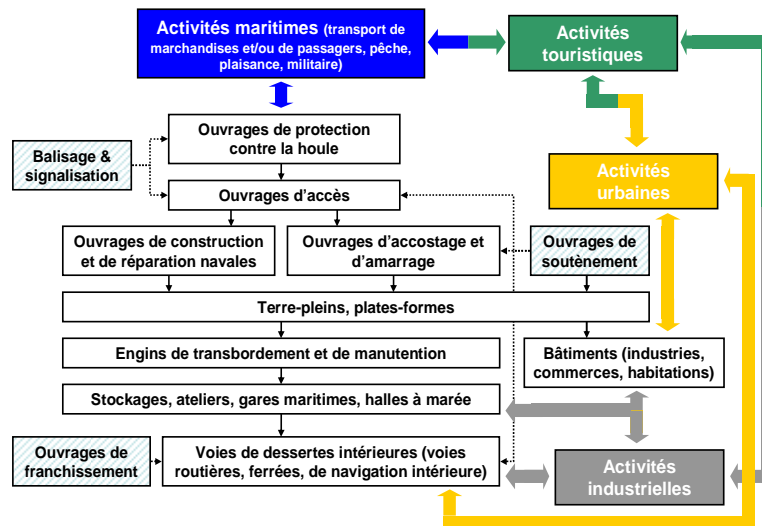


Figure 1. Activités en interactions avec les domaines fonctionnels du système « Port » d'après Boéro et al. (2008).

Il est important de souligner que les parties du patrimoine qui contribuent au développement d'autres activités dites secondaires (industries, tourisme, urbanisme et service, etc.) en liaison ou non avec ses fonctions primaires (activités maritimes) font également partie intégrante du système « Port ».

Les ouvrages qui constituent un patrimoine portuaire peuvent être regroupés par domaines fonctionnels afin d'être positionnés plus facilement dans le système. Un domaine fonctionnel est un ensemble homogène d'ouvrages participant à la même fonction générale d'utilisation. L'imbrication des différents domaines fonctionnels pour constituer le système « Port », ainsi que leurs interactions avec les activités primaires et secondaires, sont présentées sur la Figure 1.

Le rôle du système « Port » ne peut être assuré que si tous les domaines fonctionnels sont performants. Par exemple, pour un port de commerce :

- le navire entrant dans le port doit pouvoir atteindre rapidement et aisément son poste d'accostage, cela l'oblige souvent à traverser divers bassins, pertuis et écluses avant d'arriver à quai ;
- la marchandise doit pouvoir être transbordée rapidement ou s'il y a lieu, stockée plus ou moins longtemps sur le port en vue de sa réexpédition et cela au moindre coût. Enfin, elle doit transiter, par des moyens de transport terrestres (routes, voies ferrées) et/ou des voies de navigation intérieure, du port jusqu'aux embranchements avec les réseaux de transports extérieurs.

Dans le cadre du projet GEROM (Gestion par les Risques des Ouvrages portuaires Maritimes et fluviaux), mené en partenariat entre la société OXAND et l'Institut de Recherche en génie Civil et Mécanique de Nantes, l'analyse quantitative du patrimoine portuaire français a mis en évidence des hétérogénéités en termes :

- de techniques constructives, soulignant ainsi l'inventivité des ingénieurs pour faire face aux défis des travaux maritimes, mais aussi la multiplicité et la complexité des comportements mécaniques associés aux structures ;
- d'âge, dont la partie la plus récente du patrimoine est à forts enjeux pour le développement économique local, national, voire européen.

Ce caractère hétérogène du patrimoine place les gestionnaires dans un contexte délicat pour maintenir un niveau de performance acceptable, dans lequel la gestion par les risques est bien adaptée.

3.2 Fonctionnalités et spécificités du système d'aide à la décision

Compte tenu des objectifs attendus par le schéma directeur de maintenance, de la connaissance des enjeux et du rôle fonctionnel des installations portuaires, l'utilisation de la notion de risque comme critère de hiérarchisation, et par conséquent de décision, nécessite que le système de gestion développé puisse :

- être appliqué à n'importe quel ouvrage en prenant en compte ses spécificités et soit capable de les comparer entre eux ;
- intégrer le retour d'expérience (historique des actions de maintenance, résultats d'inspection, etc.) afin de prédire le vieillissement pour aboutir à une planification dans le temps ;
- permettre l'exploration de tous les modes de défaillance et être modulable pour s'ajuster à un niveau de détail suffisant par rapport aux objectifs fixés par le gestionnaire et en cohérence avec sa pratique de maintenance ;

– intégrer les différents types d'enjeux (humains, économiques, environnementaux, financiers, sociaux, politiques, etc.) et être accessible au personnel technique et aux équipes dirigeantes.

3.3 Processus du système d'aide à la décision basé sur l'analyse de risques

L'élaboration d'un schéma directeur de maintenance d'ouvrages portuaires à l'aide du système d'aide à la décision basé sur l'analyse de risques présenté ici repose sur les trois grandes étapes décrites ci-après (cf. Figure 2) :

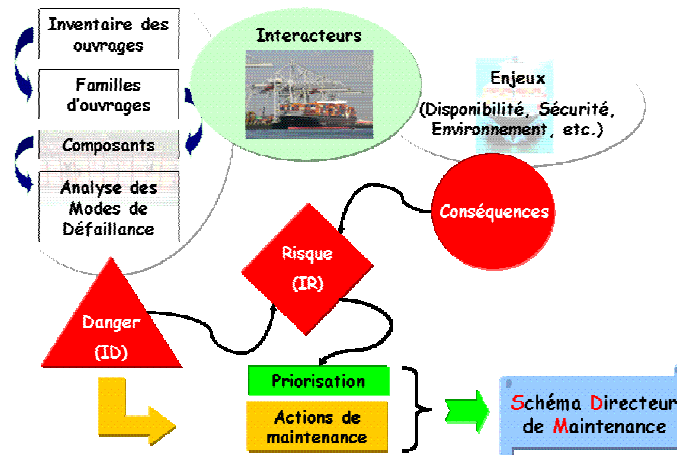


Figure 2. Processus du système d'aide à la décision basé sur l'analyse de risques.

3.3.1 Etape 0 : Analyse préliminaire

L'étape préliminaire consiste à établir l'inventaire des ouvrages compris dans le périmètre du patrimoine étudié ; constituer les différentes familles d'ouvrages par rapport à leurs fonctions principales (cf. Figure 1), puis les différentes sous-familles par rapport à des critères purement techniques (technologies constructives, matériaux, etc.). Cette étape a également pour but de bien connaître les enjeux associés aux ouvrages, mais aussi de comprendre les objectifs fixés par les gestionnaires, comme par exemple le niveau de maintenabilité par rapport auquel est jugée la performance des ouvrages. Pour un maître d'ouvrages face à une problématique de maintenance de ses infrastructures portuaires, les enjeux sont souvent la disponibilité requise de l'ouvrage, l'exploitation de ce dernier en toute sécurité à la fois pour les biens et les personnes, le respect de l'environnement.

3.3.2 Etape 1 : Analyse de dangers des ouvrages et définition des modes d'actions

Une analyse fonctionnelle est alors menée par famille d'ouvrages afin d'identifier les composants structurels génériques, mais aussi certaines spécificités propres à un nombre limité d'ouvrages (ouvrages réparés ou renforcés par exemple). La décomposition en éléments structurels pour la sous-famille « quai constitué par un écran de soutènement en palplanches » est illustrée sur la figure 3.

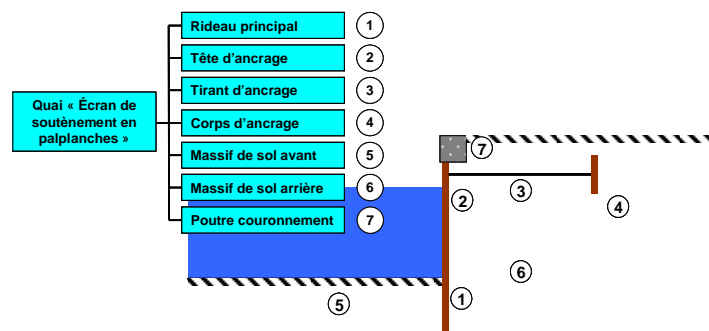


Figure 3. Décomposition en éléments structurels d'un quai constitué par un écran de soutènement en palplanches.

Il s'ensuit, pour chaque famille, une identification des dangers (ou modes de défaillance) associés aux différents composants. Par exemple, pour la sous-famille « quai constitué par un écran de soutènement en palplanches », « la perte de résistance mécanique avec pour cause la corrosion de l'acier en milieu marin » est l'un des dangers possibles pour le composant « rideau principal ».

Enfin, par ouvrage et pour chaque danger identifié, un indice de danger (niveau de fréquence) est affecté. Les indices de danger sont définis à partir du retour d'expérience capitalisé au sein de systèmes de notation. Ces derniers sont développés à partir d'outils de simulation, tel que le logiciel SIMEOTM Consulting par exemple, pour la modélisation des processus de vieillissement des composants en béton armé (Crouigneau et al., 2008). Lorsque les phénomènes sont trop complexes à modéliser, des experts interviennent pour évaluer de manière transparente, et contradictoire, les valeurs des indices de danger.

La détermination des actions de maintenance est effectuée par famille d'ouvrages et consiste à élaborer des catalogues d'actions en identifiant toutes les actions possibles pour traiter chaque danger : de « aucune action » à « renouvellement », avec des indications spécifiant le coût unitaire, les délais d'intervention. Ces actions peuvent être de type curatif, préventif ou prédictif. Une action est affectée pour chaque danger, et ceci pour chaque ouvrage. Le choix d'affectation à un danger de tel ou tel type d'action est piloté par son indice de danger.

3.3.3 Etape 2 : Analyse de risques des ouvrages

Enfin, par ouvrage et pour chaque danger identifié, une gravité définie par enjeu (conséquences) est affectée. Le couplage de l'indice de danger à la gravité permet d'établir un indice de risque. On obtient donc pour chaque danger, un indice de danger et un indice de risque pour chaque enjeu. Les deux enjeux généralement retenus lors de l'application de la méthodologie de gestion par les risques aux ouvrages portuaires sont la sécurité des biens et des personnes, ainsi que la disponibilité. La gravité vis-à-vis de l'enjeu « disponibilité » est quantifiée par un coût d'indisponibilité qui représente la perte d'exploitation due au temps d'indisponibilité d'un ouvrage si un danger identifié sur celui-ci se produit.

3.3.4 Etape 3 : Elaboration de programmes pluriannuels de maintenance

Cette étape consiste à hiérarchiser les risques par enjeu, grâce aux indices de risques (IR) calculés lors de l'étape 2 ou par l'intermédiaire d'un indice de risque global, c'est-à-dire sans distinction des enjeux si ces derniers ont été monétarisés. C'est à ce stade que les gestionnaires sont sensibilisés à la détermination d'un seuil de risque acceptable. Les actions à mener sur chaque ouvrage sont ensuite consolidées, en raisonnant uniquement sur les risques jugés inacceptables. Cette phase a pour objectif d'aboutir à un ensemble d'actions sur chaque ouvrage, puis par famille et à l'échelle du parc, qui soit cohérent, réaliste et qui prenne en compte les contraintes d'intervention spécifiques aux ouvrages portuaires.

Enfin, la priorisation et la planification pluriannuelle sont établies sur la base des indices de risques, en tenant compte des contraintes du gestionnaire (budgets disponibles par année, ressources humaines, etc.). La planification pluriannuelle des actions de maintenance nécessite de tenir compte du paramètre temps. Les indices de risques de chaque danger (mode de défaillance) sont ainsi quantifiés à plusieurs échéances différentes sur la période de service étudiée. Etant donné que l'indice de risque résulte du couplage de l'indice de danger à la gravité, l'évolution temporelle de chacune de ces deux grandeurs doit être définie (cf. Figure 4).

L'évolution des indices de risques obtenus pour un danger donné, associée au seuil de risque acceptable défini lors de l'étape 3, permet d'associer une échéance limite avant laquelle l'action doit être réalisée pour ce danger.

La planification peut également reposer sur une analyse économique : différents scénarios de maintenance sont alors simulés pour identifier lesquels sont les plus efficaces en termes de coûts et de diminution du risque global.

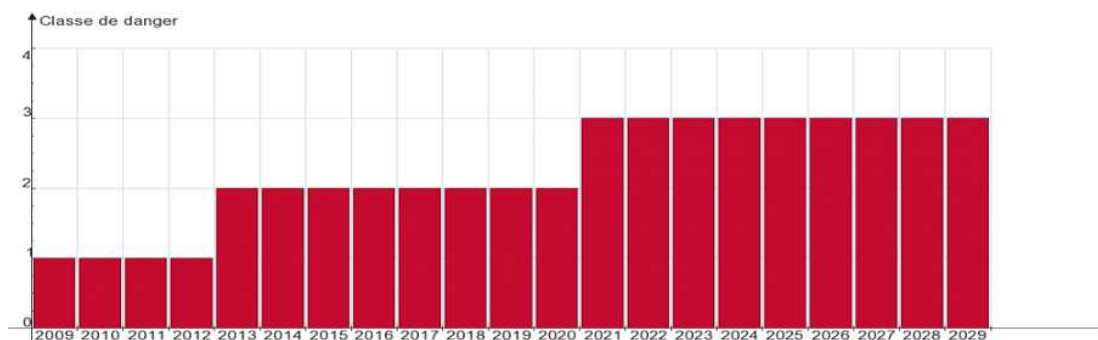


Figure 4. Evolution d'un indice de danger sur la durée de service étudiée en cohérence avec les objectifs temporels du schéma directeur de maintenance.

3.4 Supports d'aide à la décision mis à la disposition des gestionnaires

Les résultats du système d'aide à la décision sont donc :

- l'inventaire des ouvrages étudiés, les analyses fonctionnelles de chaque famille d'ouvrages, ainsi que les cartographies des dangers (performance technique) de chaque ouvrage et/ou de l'ensemble du parc ;
- les cartographies des risques de chaque ouvrage et/ou de l'ensemble du parc, ainsi que le classement des ouvrages suivant leur indice de risque (classement pour chaque enjeu ou classement unique si une règle est établie pour comparer les enjeux entre eux). Ce classement permet d'identifier les points les plus critiques du parc d'ouvrages et qui vont nécessiter un traitement adapté. Un exemple de cartographie des risques associés à l'enjeu « disponibilité » est présenté sur la figure 5.

DISPONIBILITE	1 : < 10 TED	2 : 10 à 1 000 TED	3 : 1001 à 100 000 TED	4 : > 100 000 TED
6 : Quasiment certain	15	17	20	24
5 : Très probable Déjà observé sur site	2 11	16	6 19	23
4 : Probable	3 7	5 2 12	18 5 18	7 1 22
3 : Improbable Jamais observé, mais redouté	19 19 4	14 14 8	16 19 13	20 19 21
2 : Très improbable Jamais observé	7 10 2	13 16 5	54 63 9	31 33 14
1 : En accord avec les normes	7 7 1	8 10 3	64 71 6	42 47 10

Figure 5. Exemple de cartographie des risques associés à l'enjeu « disponibilité » avant et après actions pour une année donnée.

L'indice de risque relatif à l'enjeu « disponibilité » est défini par le croisement, au sein de la grille de risque, d'une perte d'exploitation (colonnes) et d'un niveau de probabilité annuelle de réalisation du risque (lignes). Cette probabilité est directement associée à l'indice de danger. La perte d'exploitation est exprimée en TED (Tonnage Equivalent Divers) afin d'établir une équivalence en termes de valeur ajoutée entre les différents types de marchandises qui transitent par les installations portuaires : pétrole brut, produits pétroliers, gaz naturel, minerais, charbon, engrais, céréales, etc. Les nombres situés le plus à droite dans chaque case de la grille, allant de 1 (risque le moins critique) à 24 (risque le plus critique), permettent de hiérarchiser de manière relative la criticité des risques en fonction de leur positionnement dans la grille. Les chiffres entourés à gauche et respectivement à droite de chaque case représentent le nombre de risques, avant et respectivement après actions de traitement (visites sommaires, inspections détaillées, réparations, etc.), correspondant aux différents indices de risque (1 à 24). Dans l'exemple présenté, le seuil de risque acceptable est fixé à 10. Il convient toutefois de rappeler que seuls les risques dont la criticité est supérieure au seuil d'acceptabilité sont traités. Cette cartographie permet de suivre l'évolution de la criticité des risques dans le temps et donc de mesurer l'efficacité de la politique de maintenance adoptée. La cartographie des risques constitue également le support décisionnel sur lequel est basée la priorisation des actions de maintenance ;

– le programme des actions à réaliser et les échéances associées (en rappelant qu'il s'agit de parades pour maîtriser des risques qui sont, ou seront, inacceptables), le détail de chaque action recommandée (technique, coût, délais, etc.), ainsi que les masses financières à mobiliser à court, moyen et long terme. A titre d'exemple, la répartition du budget annuel de maintenance par type d'actions pour une échéance de temps donnée est présentée sur la figure 6.

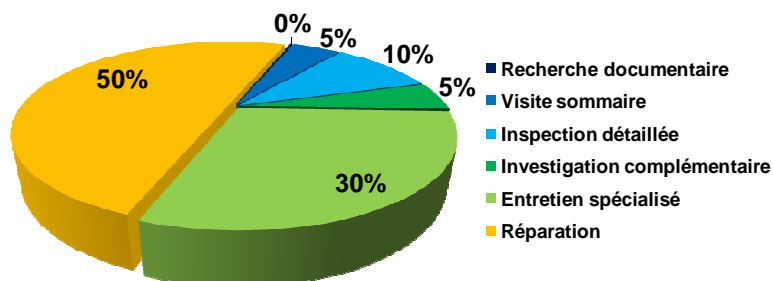


Figure 6. Exemple de répartition du budget annuel de maintenance par type d'actions pour une année donnée.

4 Conclusion

Les personnes en charge de la maintenance des ouvrages de génie civil sont pour la plupart dans une logique de maintenance curative où il s'agit de réparer des structures vieillissantes dans l'urgence avec de fortes contraintes budgétaires. Cependant, à l'heure actuelle, la minimisation des arrêts d'exploitation, l'optimisation des budgets de maintenance et le maintien du patrimoine dans la durée sont capitaux face aux enjeux associés aux ouvrages de génie civil.

Adopter une méthodologie de gestion par les risques telle que proposée dans cet article, pour l'élaboration de schémas directeurs de maintenance, permet aux gestionnaires de disposer d'éléments d'aide à la décision en vue d'une gestion optimisée des ouvrages de génie civil. Cette approche, intégrée dans le logiciel SIMEO™ Maintenance a pour finalité de : formaliser la politique de maintenance dans un cadre méthodologique bien défini ; disposer d'une vision globale des risques et donc du niveau de performance du patrimoine ; prévoir et répartir de façon cohérente le budget de maintenance à court, moyen et long terme sur la base d'une comparaison multi-enjeux ; dimensionner et organiser efficacement les ressources.

Le domaine d'application privilégié du système d'aide à la décision basé sur l'analyse de risques ne se limite pas à la gestion durable des infrastructures de génie civil. En effet, mis à part certaines spécificités liées au génie civil, notamment la durée de vie des ouvrages, les principes méthodologiques restent applicables à d'autres types d'actifs industriels, mais aussi à des processus ou à des projets.

5 Remerciements

Le projet GEROM a été mené au sein du GIS MRGenCI (contacts : franck.schoefs@univ-nantes.fr) et financé par la société Oxand.

6 Références

Boéro J., Schoefs F., Capra B., Rouxel N., 2008, Risk management of French harbours structures : stakes, current practices and needs - Experience feedback of owners, 1st International Conference Medachs (Construction Heritage in Coastal and Marine Environments. Damage, Diagnostics, Maintenance and Rehabilitation) - Interreg IIIB Atlantic Space - Project n°197, Theme 5: Management and maintenance, Lisboa, Portugal, 28-30 January 2008, 8 pages, actes sur CD-Rom.

Boéro J., Billard Y., Capra B., Lasne M., 2009, Elaboration de schémas directeurs de maintenance de parcs d'ouvrages portuaires basés sur une gestion par les risques, Thème 1 : Nouvelles formes de gouvernance et de financement, GC'2009, Cycle de vie des ouvrages : une approche globale, Cachan, 18 et 19 mars 2009, 8 pages.

Crouigneau S., Bourdon L., Billard Y., Person J.L., Schoefs F., 2008, Risk analysis to support operation and maintenance of an ageing dock-gate for the Port of Marseille Authority, 1st International Conference Medachs (Construction Heritage in Coastal and Marine Environments. Damage, Diagnostics, Maintenance and Rehabilitation) - Interreg IIIB Atlantic Space - Project n°197, Theme 3: Service life modeling and reliability, Lisboa, Portugal, 28-30 January 2008, 8 pages, actes sur CD-Rom.