
Projet GEROM : Résultats d'enquête nationale et méthodologie de gestion d'un parc d'ouvrages portuaires

J. Boéro**, F. Schoefs*, M. Roisin**,

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

** Société OXAND SA, 36 bis avenue F. Roosevelt, F- 77210 Avon

RÉSUMÉ. Cet article présente une enquête menée au sein du projet GEROM et visant à questionner les exploitants de structures portuaires sur leur patrimoine et leurs pratiques actuelles de maintenance. Les résultats sont commentés avec un angle « analyse de risque » et l'illustration d'une analyse de risque quantitative est proposée sur une écluse.

ABSTRACT. This paper deals with a national investigation within the GEROM project that aims to analyse the patrimony of harbours owners and the actual practice of maintenance. Results are analysed with a special care to the use in risk analysis and a risk analysis is applied to a lock for illustration.

MOTS-CLÉS : AMDEC, maintenance, gestion, ouvrages portuaires.

KEYWORDS: risk analysis, maintenance, harbours structures.

1. Introduction

La maintenance du patrimoine portuaire existant est un enjeu de société majeur. En effet, ces ouvrages constituent une articulation économique et touristique capitale et peuvent être, dans certains cas, les supports de modifications profondes de nos sociétés (autoroutes de la mer). La problématique des exploitants de ports recoupe celle d'exploitants d'actifs industriels. Il s'agit principalement d'exploiter dans la durée un parc de quais vieillissant, dans les meilleures conditions de sécurité, de coûts et de disponibilité, tout en protégeant sa valeur patrimoniale. Pour autant, les écosystèmes présents sont en général fragiles et le vieillissement de ces ouvrages, dont la déconstruction est la phase ultime, peut être d'un impact non négligeable sur l'environnement dont il faut tenir compte dans le cadre du développement durable.

Aujourd'hui, les décisions d'entretien et de renouvellement d'infrastructure sont prises annuellement, sans vision globale de l'impact durable sur la disponibilité et le coût d'exploitation. Ces décisions donnent lieu à des échanges souvent longs et difficiles entre responsables, qui pratiquent différents langages, cohérents avec les enjeux qu'ils portent : technique, exploitation, financier... En l'état actuel des choses, la maintenance est le plus souvent curative (en réponse à des événements non prévus) ou préventive (en anticipation à des événements prévisibles au regard du retour d'expérience) et, plus rarement, prédictive (sur la base d'une prédiction des évolutions à venir).

Ces décisions sont généralement pilotées par des contraintes budgétaires (maintenance courante), soit par des contraintes d'exploitation ou de sécurité (maintenance exceptionnelle). Dans le cadre de leurs pratiques habituelles de maintenance, les ports prennent donc deux risques majeurs : (1) le risque de perdre le contrôle de leurs coûts directs de maintenance, s'ils s'imposent un niveau de sécurité et de disponibilité, (2) le risque de perdre le contrôle de leurs coûts d'indisponibilité, s'ils s'imposent un niveau de sécurité et de maintenance.

Les ports peuvent être amenés à poursuivre l'exploitation d'un ouvrage vieilli dans des conditions de service parfois plus sévères que celles prévues à la conception. Cette poursuite d'exploitation ne fait pas systématiquement l'objet d'une décision formelle, faute de méthode d'instruction objective. En conséquence, le port peut être conduit : (1) soit à stopper l'exploitation d'un ouvrage encore utilisable, ce qui reportera la charge sur d'autres ouvrages anciens ou nécessitera de nouvelles dépenses d'investissement pour la construction d'ouvrages neufs, (2) soit à poursuivre l'exploitation dans des conditions de sécurité mal maîtrisées.

Le projet GEROM (GEstion par les Risques des Ouvrages Maritimes et fluviaux ; 2005-2008) repose sur un partenariat entre la société OXAND et l'Institut de Recherche en génie Civil et Mécanique et a émergé au sein du groupement d'intérêt scientifique MRGenCi. Il vise à répondre à certains de ces enjeux. Dans une première phase avec l'appui du CETE de l'Ouest, une enquête nationale a été

réalisée auprès des acteurs portuaires afin de mieux connaître leur patrimoine et leurs pratiques.

Cet article vise à restituer une partie de cette enquête en centrant la problématique sur les niveaux d'hétérogénéité en termes de conséquences (exploitation, caractère stratégique, ...), de matériaux ou d'âge, de pratique de gestions et de statuts, d'organisation des opérations de maintenance, de connaissance du patrimoine. Un exemple concret illustrera ensuite l'application de l'analyse de risque à un parc d'ouvrages portuaires particulier.

2. Objectifs et périmètres de l'enquête nationale du projet GEROM

2.1. Questionnement et objectifs

Le questionnement qui a présidé à la réalisation de l'enquête nationale menée au sein du projet GEROM est basé sur les fondamentaux de l'analyse de risque par la méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) et des programmations d'Inspection-Maintenance-Réparation basées sur cette analyse. Ces programmations peuvent être simulées *a priori*, à l'aide du logiciel SIMEO_Maintenance, au bénéfice du décideur. Cette méthodologie permet d'analyser les mécanismes de défaillance, les probabilités d'occurrence ou les fréquences associées, les conséquences (enjeux sociaux, économiques, juridiques, écologiques), puis de définir les actions disponibles (inspection, réparation, maintenance). On a alors pour objectif de renseigner les points suivants :

Pour l'analyse fonctionnelle nécessaire à l'analyse des Modes de Défaillance et de leur Criticité : (i) Analyse typologique : réponse typologique aux fonctions économiques (typologie de quais liée au trafic, à l'environnement, à l'hydraulique, à l'époque), (ii) Analyse patrimoniale quantitative : linéaire de quai et age.

Pour l'analyse des conséquences nécessaire à la mesure des Effets : (i) Analyse patrimoniale économique : fonctions générales du port liées au trafic (nature et quantité), (ii) Analyse patrimoniale quantitative : trafic (part marchandise) et linéaire de quai, (iii) Analyse des effectifs et capacité de réaliser des opérations urgentes.

2.2. Périmètre de l'enquête

Cette enquête a été réalisée pour l'essentiel du 24 janvier au 12 mai 2006 puis complétée au premier trimestre 2007. Le périmètre géographique de l'enquête se limite aux 7 ports autonomes (PA), 16 ports d'intérêt national (PIN) et 3 ports militaires (PM) situés le long du littoral en France métropolitaine. Les 532 ports, déjà décentralisés, dont la gestion est assurée par les Conseils Généraux des départements et/ou par les Communes n'ont pas été intégrés à l'enquête en raison de leur grand nombre. Toutefois, certains d'entre eux ont été interviewés (sans support d'enquête) afin d'avoir une bonne vision des pratiques de gestion de ces ports et

leurs attentes dans le domaine. Les répondants recherchés sont les responsables de la gestion technique des différents ports.

La recherche des répondants auprès des différents ports s'est effectuée grâce aux sources suivantes : (i) les partenaires du projet GEROM (OXAND, GeM, ERA Maritime), (ii) l'AITPE 2005 (Annuaire des Ingénieurs des Travaux Publics de l'Etat), (iii) les sites Internet des ports autonomes, des Directions Départementales de l'Equiperment (PIN).

2.3. Processus d'enquête et niveau de réponse

Le processus d'enquête est le suivant : (1) recherche des contacts (points d'entrée), si possible les personnes chargées de la gestion technique des ouvrages portuaires, (2) appel téléphonique pour : valider la pertinence des contacts, présenter sommairement le projet et le processus d'enquête, (3) envoi du questionnaire par courriel. Un délai d'une semaine est accordé aux répondants afin de le retourner, (4) retour du questionnaire rempli, dans la majorité des cas après relance téléphonique, (5) prise de rendez-vous, (6) interview d'une durée de 2h environ. Le mode d'enquête a permis d'obtenir un très bon niveau de réponse : 80 % des gestionnaires ciblés soit 205 km de linéaires de quai concernés.

3. Résultats de l'enquête

3.1. Analyse typologique

On présente en figure 1, la distribution, en mètres linéaires, de la typologie des quais. Elles sont classées de droite à gauche par ordre d'apparition chronologique même si postérieurement aux six premières les techniques coexistent. La grande majorité des quais est en maçonnerie puis viennent les caissons en béton armé, les quais sur pieux métalliques, les rideaux de palplanche et les blocs en béton. Cette figure illustre l'inventivité des ingénieurs face aux défis des travaux maritimes (portance médiocre des sols, obtention de tirants d'eau de plus en plus importants, ...) mais place les gestionnaires devant une gestion d'autant plus délicate avec des principes de fonctionnement mécaniques et des modes de défaillances multiples. Une partie de la réponse se trouve dans le suivi de ces ouvrages et l'instrumentation des ouvrages plus récents (Schoefs *et al.*, 2004, Yanez-Godoy *et al.*, 2006). Ce double niveau d'hétérogénéité (concept et matériau) est un des verrous que souhaite lever le projet GEROM.

3.2. Analyse patrimoniale quantitative

On cherche ici à évaluer le linéaire exploité et son âge. Sur les 205 km analysés durant l'enquête, 64 % (130 km) sont gérés par les Ports Autonomes, 24 % (50 km) par les Ports d'Intérêt National et 12 % (25 km) par les Ports Militaires. En figure 2, on présente l'âge du patrimoine en détaillant cette information par type de

gestionnaire. On observe tout d'abord que l'essentiel du patrimoine a été construit il y a plus de 25 ans. Toutefois tous les gestionnaires n'ont pas un patrimoine équivalent : (i) les Ports d'Intérêt National gèrent un patrimoine pour l'essentiel antérieur au vingtième siècle (essentiellement en maçonnerie), (ii) les Ports Militaires ont un patrimoine essentiellement lié aux périodes de reconstruction après guerre et donc antérieur à 1955, (iii) les Ports Autonomes, de statut plus récent et au développement fortement lié au développement économique, ont un patrimoine pour l'essentiel construit entre 1955 et 1980.

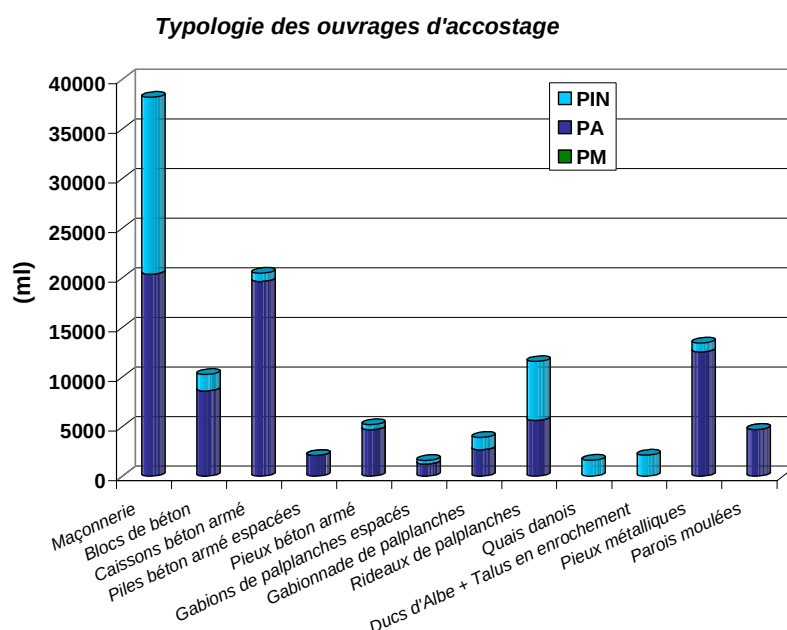


Figure 1. Répartition de la typologie des quais en mètres linéaires

Ces résultats peuvent être mis facilement en parallèle avec les données d'investissement en infrastructures portuaires publiées en mars 1994 par l'Observatoire économique des statistiques des transports : en francs constants 1980, cet investissement est de l'ordre de 1400 millions de francs de 1957 à 1970, puis il augmente fortement jusqu'en 1975 avec en moyenne 2500, dépassant même les 3000 en 1975 et s'établit jusqu'à la fin des années 80 au niveau de 700 millions d'euros.

Au travers du ratio de millions de tonnes de marchandises par kilomètre linéaire, l'enquête a fourni des données intéressantes: un tiers des PIN traite un tonnage très faible sous les 100 Mt/km, un autre tiers un tonnage de l'ordre de 0.5 Mt/km, et le reste un tonnage de 1 Mt/km et enfin les PA ont un ratio dépassant les 2 Mt/km avec en moyenne 3 Mt/km. On notera qu'un PIN a un profil très particulier dû au

dynamisme du trafic transmanche et atteint 6 Mt/km. L'analyse patrimoniale économique amène à des analyses spécifiques à chaque port et n'est pas discutée ici.

Enfin en terme de risque, la disposition ou non d'un personnel affecté à la maintenance peut garantir rapidement une action curative ou la rédaction d'une consultation. On constate que les ports autonomes ont en moyenne 3 personnes affectées à la maintenance des ouvrages et que les ports d'intérêt national disposent de 7 personnes (hors personnes affectées aux ouvrages mobiles).

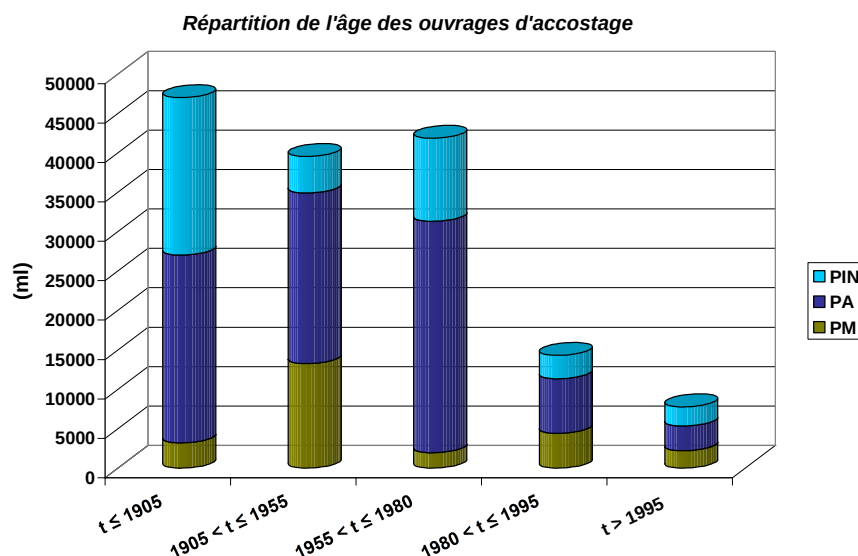


Figure 2. Répartition de l'âge des quais par type de gestionnaire

4. Illustration d'une AMDEC dans le secteur portuaire

4.1. Présentation d'un cas d'étude

Plusieurs travaux ont été menés en France sur l'application de l'AMDEC à des ouvrages hydrauliques ou portuaires (Peyras *et al.*, 2006, Billard *et al.*, 2006 et 2007, Boéro *et al.*, 2006). On s'intéresse ici à la maintenance d'un système d'accès à un port. Face à des infrastructures vieillissantes, le directeur d'exploitation souhaite disposer d'une priorisation objective des travaux de restauration et de maintenance compatible avec l'accroissement du trafic et le développement économique du port. Le système étudié est un parc d'ouvrages hétérogènes composé de jetées, de systèmes de balisage, de chenaux dragués, d'écluses, d'une station de relevage, et d'un avant-port. L'approche AMDEC utilisée repose sur les trois étapes : (i) analyse fonctionnelle, (ii) analyse de risques menant à la cartographie des risques et (iii)

propositions de stratégies de maintenance. Deux niveaux d'abstraction ont été définis pour la réalisation de l'analyse fonctionnelle et l'analyse de risques. Le premier niveau concerne le port dans son ensemble, et traite les ouvrages comme des composants macroscopiques du système. Le second niveau est utilisé pour étudier individuellement chaque ouvrage du parc et alimenter en données le premier niveau.

4.2. Résultats de l'AMDEC et commentaires

L'AMDEC a permis de hiérarchiser 47 modes de défaillance principaux selon leur criticité, au moyen d'une grille fréquence-gravité présentée en figure 3. La grille utilisée permet de croiser une quantification de la probabilité d'occurrence d'une défaillance (fréquence) 'F' avec une quantification de la gravité 'G' intégrant les enjeux du directeur d'exploitation (impact sur la sécurité des personnes, le trafic...). La criticité obtenue est ensuite corrigée d'un facteur de détectabilité 'D' de la défaillance (symptômes de la défaillance visibles lors des inspections mensuelles ou absence de moyen de détection...) et d'un facteur d'évolution 'E' (cinétique lente et prévisible ou effet de seuil...). Ces coefficients ont été ajustés par la société OXAND à partir du retour d'expérience et dires d'experts, en collaboration avec les services techniques du port. On présente en figure 4 la distribution des criticités correspondantes

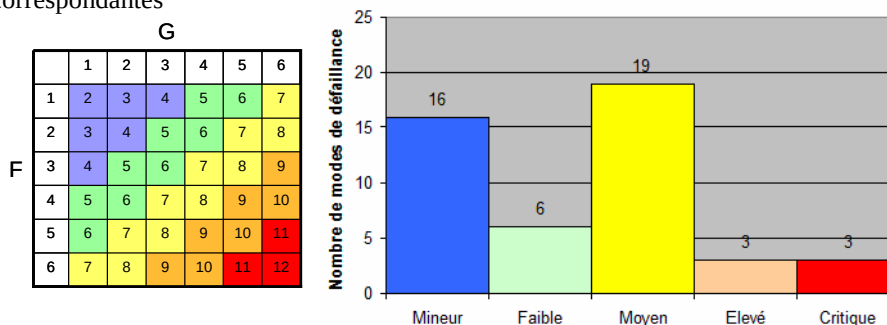


Figure 3. Grille d'évaluation de la criticité et distribution des criticités

L'AMDEC a mis en avant la criticité d'une écluse qui concentre les modes de défaillances les plus critiques. Ceux-ci concernent l'instabilité des bajoyers et des terre-pleins de l'écluse, causée principalement par la corrosion avancée des palplanches et le lessivage du remblai. La criticité élevée de ces modes de défaillances s'explique par leur fort impact sur les enjeux du maître d'ouvrage, par une forte incertitude sur les capacités mécaniques résiduelles, et par l'absence de moyens de détection. L'action prioritaire préconisée dans le cadre de la stratégie de maintenance a été de suivre un plan de caractérisation des désordres permettant de préciser la nature des études et travaux à entreprendre. La réalisation de cette action a également permis d'actualiser la cartographie de risques initiale en diminuant les incertitudes sur l'ouvrage. Grâce à l'utilisation de l'AMDEC comme un outil d'aide à la décision interactif et actualisable, les différentes actions à entreprendre peuvent

être priorisées de façon objective en intégrant l'investissement nécessaire à la réalisation de l'action pour le gain obtenu sur la criticité générale de l'accès au port.

5. Conclusion

L'article présente les résultats d'une enquête nationale du patrimoine portuaire menée en 2006-2007. Les résultats font apparaître une grande hétérogénéité des parcs d'ouvrages tant en âge qu'en typologie. On montre en particulier qu'en fonction du statut du port (port autonome, d'intérêt national et militaire), l'exploitant ne dispose pas du même patrimoine. Par ailleurs, afin d'exploiter cette enquête en vue d'analyses de risques, des ratios quantité de marchandise par linéaire de quai sont établis. Une analyse de risque type AMDEC sur une écluse illustre la nécessité de disposer de chacune de ces informations au niveau local.

6. Remerciements

Cette étude est menée au sein de GEROM, projet financé par la société OXAND. Les auteurs remercient le CETE de l'Ouest pour son concours à la phase d'enquête.

7. Bibliographie

- Boéro, J., Capra, B., Schoefs, F., Bernard, O., Lasne, M., « Analyse de risques pour la maintenance des structures portuaires : exemple de quais gabions soumis à de la corrosion », IX^{èmes} Journées Génie Civil - Génie Côtier, Brest-Aber Wrac'h 11-14 sept. 2006, pp. 42-49, 8 pages, Centre Français du Littoral, 2006.
- Billard, Y., Bernard, O., Lasne, M. et Schoefs F., «Risk analysis for survey optimisation of harbours», Proc. of the Third ASRANet colloquium 2006, Glasgow, UK, July 10-12, 2006, paper 028-109 on CD, 9 pages, 2006.
- Billard, Y., Bernard, O., Lasne, M., Capra, B., Schoefs, F. et Boreo, J., « Risk analysis and reliability of repaired concrete quays », Proceeding of 10th I.C.A.S.P conference, July31-August 3 2007, Kashiwa Campus, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, 8 pages, 2007
- Peyras, L., Royet, P., Salmi, A., Salembier, et Boissier, D. « Étude de la sûreté de fonctionnement d'un aménagement hydraulique de génie civil. Application à des ouvrages de protection contre les inondations de la ville de Nîmes ». Fiabilité des matériaux et des structures, analyse de risques, REGC civil Vol. 10 N° 5/2006, pp.615-631. 2006.
- Schoefs, F. Gerard, B. Casari, P. et Verdure, L., «Stratégie d'instrumentation pour la gestion optimisée des ouvrages portuaires», VIII^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil, Compiègne, Francia, 7-9 septembre, pp. 513-520, 2004.
- Yáñez-Godoy, H. et Schoefs, F., «Analyse comparée du chargement horizontal de deux quais sur pieux en service à partir d'instrumentations», IX^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Brest, 12-14 septembre 2006, pp. 12-21, 2006.