



Revue Paralia, Volume 2 (2009) pp 6.13-6.24

Mots-clés : Patrimoine, Ouvrages portuaires, Retour d'expérience, Gestionnaires, Enquête.

Gestion technique des ouvrages portuaires en France Partie 1: Description du patrimoine

Jérôme BOERO^{1,2}, Franck SCHOEFS², Bruno CAPRA³, Nicolas ROUXEL⁴

¹ OXAND S.A.,

49 avenue Franklin Roosevelt, 77210 Avon, France.

jerome.boero@oxand.com

² 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, 44000 Nantes, France.

franck.schoefs@univ-nantes.fr

³ OXAND S.A.,

49 avenue Franklin Roosevelt, 77210 Avon, France.

bruno.capra@oxand.com

⁴ CETE de l'Ouest,

5 rue Valles, 22015 Saint-Brieuc, France.

Nicolas.Rouxel@equipement.gouv.fr

Résumé :

Cet article traite de l'étude du patrimoine portuaire français avec comme objectif de fournir des éléments qui puissent être utilisés en analyse de risques.

La fonction et la position des ouvrages dans le système « port » sont identifiées et leur importance stratégique relative pour l'économie, le tourisme et la défense nationale est soulignée.

Les résultats sont présentés en concentrant l'analyse sur les niveaux d'hétérogénéités observés, spécialement en ce qui concerne la description des techniques constructives, des matériaux utilisés et de l'âge des ouvrages qui composent le patrimoine.

*Soumis le 17 novembre 2008, accepté le 20 avril 2009, en ligne le 21 décembre 2009.
Version traduite non certifiée, publiée sous la responsabilité des auteurs de l'article.*

Pour citer la version originale de cet article :

BOERO J., SCHOEFS F., CAPRA B., ROUXEL N. (2009). *Technical management of French harbour structures - Part 1: Description of built assets*. Revue Paralia, n° 2, pp 6.1–6.11.

DOI: 10.5150/revue-paralia.2009.006 (disponible en ligne – <http://www.paralia.fr> – available online)

1. Introduction

La maintenance des ouvrages portuaires est un enjeu économique et touristique majeur. Le défi des gestionnaires d'ouvrages consiste à garantir l'exploitation d'ouvrages vieillissants (quais, formes de radoub, digues, etc.) dans des conditions de sécurité et de disponibilité exigées et avec des coûts maîtrisés (AIPCN, 2001 ; AIPCN, 2008). De plus, les opportunités de développement des ports maritimes sont de plus en plus limitées à cause de contraintes environnementales grandissantes et des surfaces disponibles décroissantes pour la construction d'aménagements à des coûts raisonnables.

De nos jours, les décisions de maintenance sont souvent prises sans vision globale des risques associés. C'est pourquoi elles donnent souvent lieu à des échanges longs et difficiles entre les responsables qui portent des enjeux différents : techniques, stratégiques, financières, etc. La plupart du temps, la maintenance est curative (après des événements non prévus) ou préventive, avec des coûts élevés (anticipation d'évènements prévisibles) et plus rarement, prédictive ou conditionnelle (prédiction des évolutions). Les décisions dépendent généralement des contraintes financières, d'exploitation et de sécurité. En outre, dans certains cas, les ouvrages sont exploités dans des conditions plus sévères que celles prévues initialement. Dans ces conditions, les gestionnaires doivent faire face à deux risques majeurs : des coûts de maintenance ou des coûts de sécurité et d'indisponibilité non contrôlés.

Pour aborder cette problématique, le projet GEROM (GEstion par les Risques des Ouvrages Maritimes et fluviaux) est né au sein du GIS MRGenCi (Groupement d'Intérêt Scientifique « Maîtrise des Risques en Génie Civil ») et repose sur un partenariat entre la société Oxand et l'Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique de Nantes. Le projet GEROM se déroule de 2006 à 2009. Il vise à :

- a) Collecter tous les éléments nécessaires au développement d'une méthodologie optimisée de gestion technique.
- b) Aider les gestionnaires à tracer et optimiser leurs décisions en ce qui concerne la gestion durable de leurs ouvrages.

Dans une première phase, avec le support du CETE de l'Ouest (Ministère de l'Ecologie, de l'Energie et du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire), une enquête nationale a été conduite auprès des gestionnaires au sujet de la gestion technique des ouvrages portuaires maritimes.

La préparation de cette enquête nationale a été basée sur la méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance Et de leur Criticité) (VILLEMEUR, 1988; HALDI, 1997) qui est de plus en plus appliquée aux infrastructures portuaires et hydrauliques (SORENSEN & BURCHARTH, 2004 ; PEYRAS *et al.*, 2006 ; BILLARD *et al.*, 2006 ; BILLARD *et al.*, 2007 ; BOERO *et al.*, 2006), notamment pour la définition de programmes de maintenance (surveillance, entretien et réparation). Notre objectif était d'identifier et d'acquérir de l'information qui puisse être intégrée dans une analyse de

risques appliquée aux ouvrages portuaires. Du fait des nombreux thèmes abordés durant cette enquête nationale, les résultats sont présentés en deux parties. Cet article traite de la première partie et se concentre en particulier sur :

- a) Les fonctions des ouvrages (digues, écluses, formes de radoub, quais, appontements, ponts, bâtiments, routes, etc.) et le positionnement des ouvrages dans le système « port » (analyse fonctionnelle).
- b) Leur importance stratégique pour l'économie, le tourisme, la défense nationale, etc., la sécurité des biens et des personnes, la protection de l'environnement, les coûts directs (maintenance) et indirects (disponibilité, image de marque) (analyse des conséquences, des enjeux).
- c) Les techniques constructives, âges, matériaux, caractéristiques géométriques, environnement (facteurs qui affectent la fréquence d'apparition des modes de défaillance).

2. Procédure d'enquête nationale sur la gestion technique des ouvrages portuaires

2.1 Objectifs

Les objectifs de l'enquête étaient de :

- a) Faciliter le partage d'expérience entre les gestionnaires d'ouvrages portuaires et les différents acteurs de ce projet.
- b) Dresser un panorama du patrimoine portuaire français existant, des pratiques actuelles de maintenance (politiques et stratégies de maintenance, retour d'expérience sur les pathologies des ouvrages, efficacité des techniques de réparation, etc.) et des besoins dans ce domaine.

2.2 Périmètre spatio-temporel

Cette enquête s'est déroulée du 24 janvier au 12 mai 2006, et a été complétée au cours du premier trimestre 2007. Le périmètre géographique couvre un total de 7 Ports Autonomes (PA), 16 Ports d'Intérêt National (PIN) et trois Ports Militaires (PM) localisés le long des côtes en France métropolitaine. Le statut des PA a changé depuis la loi du 4 juillet 2008 et ses décrets d'application, en particulier ceux du 9 octobre 2008.

Les 532 ports, dont la gestion a déjà été décentralisée depuis 1984, et gérés par les Conseils Généraux ou les villes n'ont pas été intégrés à l'enquête à cause de leur grand nombre. Cependant, certains d'entre eux ont été interrogés (sans support d'enquête) afin de disposer d'une vision plus globale.

A la suite de la décentralisation récente des PIN depuis le 01^{er} janvier 2007, ce statut n'existe plus. Dans cet article, ce statut a été conservé afin de faire la distinction avec les ports déjà décentralisés depuis 1984.

Les répondants à l'enquête sont les gestionnaires techniques des ouvrages portuaires, et les sources suivantes ont été utilisées pour identifier les contacts :

- a) Les partenaires du projet GEROM.
- b) Le club des ouvrages maritimes (rapports de réunions).
- c) L'AITPE 2005 (annuaire de l'Association des Ingénieurs TPE).
- d) Les sites web des ports.

2.3 Procédure d'enquête

La procédure d'enquête a comporté plusieurs étapes en commençant par la recherche de contacts potentiels, l'appel téléphonique pour valider la pertinence des contacts identifiés et l'envoi par courriel d'un court questionnaire pour présenter le projet, suivi par une interview d'environ deux heures.

Cette procédure a permis d'obtenir un nombre important de réponse. En effet, sur 23 ports contactés (PA, PIN, PM), 19 ont retourné le questionnaire rempli et ont été interrogés, ce qui représente environ 85% des gestionnaires visés.

2.4 Thèmes

Les différents thèmes sélectionnés correspondent aux différentes étapes du cycle de gestion technique du patrimoine :

- a) Connaître : quel patrimoine doit être géré ?
- b) Organiser : quelles sont les ressources disponibles et comment doivent elles être structurées ?
- c) Estimer : quelle est la performance du patrimoine au regard de ses fonctions et quels sont les risques associés ?
- d) Prévoir : comment prédire l'évolution des risques ?
- e) Evaluer : quels sont les risques acceptables à court et long terme ?
- f) Définir : quelles sont les actions disponibles pour maîtriser les risques ?
- g) Planifier : quelles sont les actions à privilégier, en considérant les contraintes de maintenance (financière, technique et d'exploitation) ?
- h) Capitaliser : quelles informations doivent être capitalisées pour optimiser le cycle de gestion du patrimoine ?

3. Rôle et importance du système portuaire français

Le système portuaire français a un rôle essentiel : d'un côté pour l'économie française, le tourisme et l'industrie ; et de l'autre pour la défense nationale, voir même européenne.

3.1 Ports militaires

La France est, avec la Grande Bretagne, le seul pays membre de l'Union Européenne qui possède une marine à vocation mondiale : elle doit être capable d'être présente sur

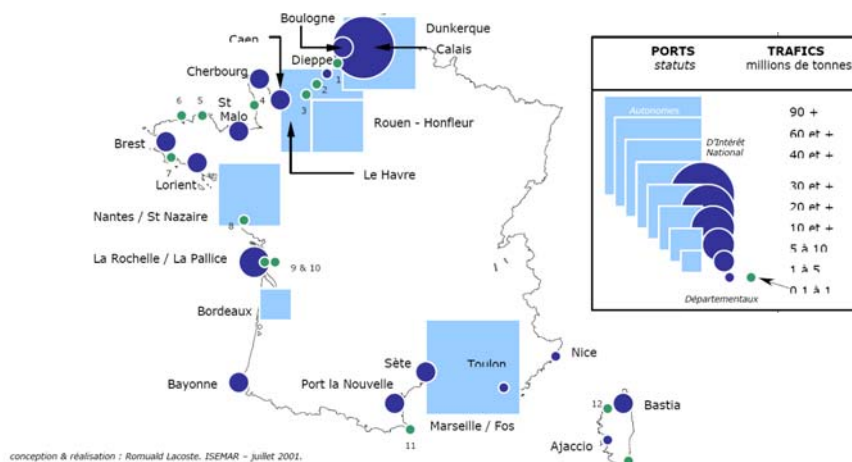


Figure 2. Trafic des ports français en 2000 (Trafic 2000 des ports maritimes métropolitains et des DOM – TOM, ISEMAR, Juillet 2001).

Les Ports Autonomes traitent plus de 80% du trafic de marchandises acheminé par voie maritime. Les Ports d'Intérêt National traitent le reste et plus de 80% du trafic passagers.

En conséquence, les enjeux associés aux ports militaires et commerciaux reposent sur un ensemble d'installations pour lesquelles la maintenance est nécessaire.

4. Analyse fonctionnelle

Le système « port » étudié contient toutes les installations qui remplissent les fonctions portuaires relatives à l'accueil des navires et aux opérations à terre (activités primaires). La part du patrimoine qui contribue au développement d'activités secondaires (activités industrielles, touristiques et urbaines, etc.) est aussi considérée. Toutes les installations susceptibles d'interagir avec les activités primaires et secondaires sont présentées sur la figure 3.

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

- a) Le navire doit pouvoir accéder rapidement et facilement à un ouvrage d'accostage et d'amarrage. Pour cette raison, le navire est parfois obligé de traverser plusieurs bassins, pertuis et écluses avant d'arriver au niveau d'un ouvrage d'accostage et/ou d'amarrage.
- b) Les marchandises doivent pouvoir être déchargées ou si nécessaire stockées rapidement pour une durée plus ou moins longue dans le port dans l'attente d'être transférées, tout ceci à moindre coût.
- c) Finalement, les marchandises sont acheminées soit vers une industrie de transformation implantée dans la zone portuaire ou transitent par l'intermédiaire de dessertes terrestres (routes, voies ferrées) et/ou de voies de navigation intérieure.

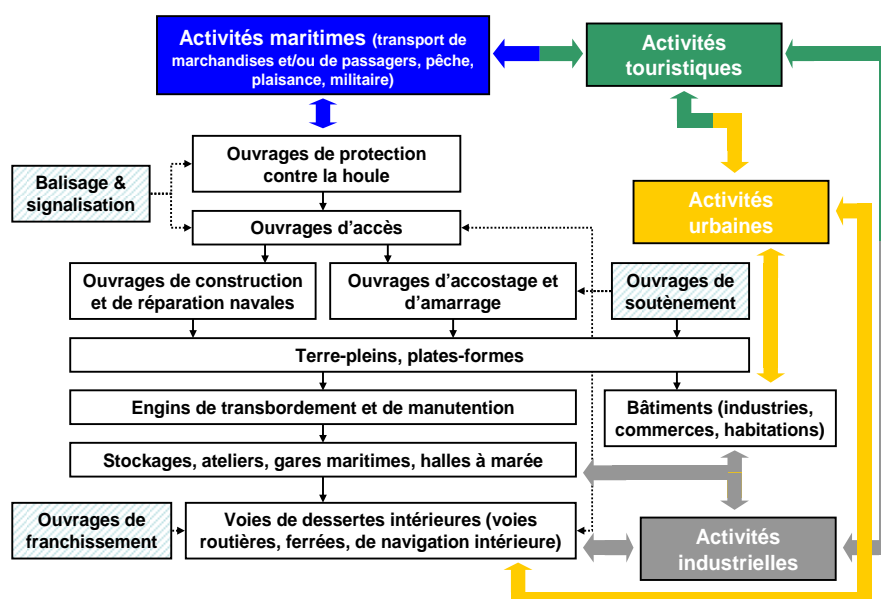


Figure 3. Activités en interaction avec les ouvrages qui composent le système « port ».

5. Analyse patrimoniale quantitative

Dans cet article, seuls les ouvrages d'accostage et d'amarrage sont étudiés. Les engins de manutention, terre-pleins, entrepôts et hangars sont exclus de l'analyse. Le patrimoine appartient principalement à des organismes publics et seules quelques installations sont la propriété de compagnies privées. Dans cette analyse, seule la longueur des ouvrages est considérée comme indicateur de classement des ouvrages portuaires. La comparaison des ouvrages d'accostage et d'amarrage réalisés avec des techniques constructives variées peut ainsi être effectuée. La surface « hauteur x longueur » des ouvrages est sans doute mieux adaptée, mais cette information n'était pas disponible lors de l'enquête.

5.1 Analyse des techniques constructives

Cette information n'était pas disponible pour les ports militaires, aussi seuls PA et les PIN sont pris en compte. La distribution, en kilomètres linéaires, des techniques constructives utilisées pour les ouvrages d'accostage et d'amarrage est présentée sur la figure 4.

Elles sont classées de la droite vers la gauche par ordre chronologique d'apparition mais, après les six premières, les techniques coexistent dans le temps.

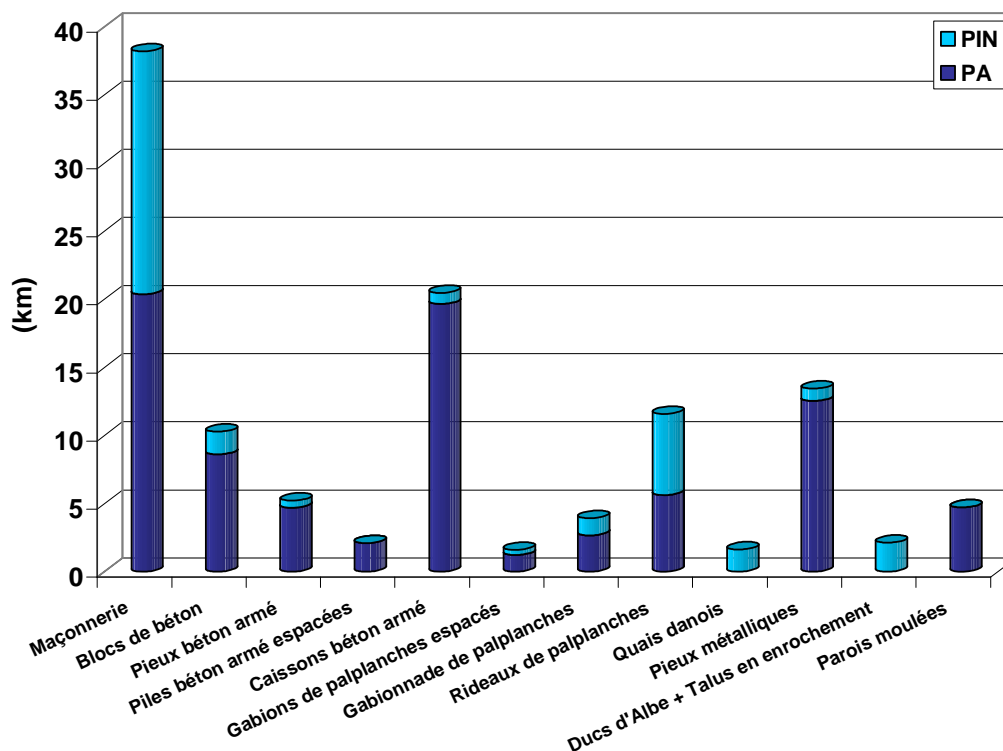


Figure 4. Distribution des techniques constructives des ouvrages d'accostage et d'amarrage.

La grande majorité des ouvrages sont en maçonnerie, suivis des quais en blocs béton, des quais en caissons béton armé, des appontements constitués par une plate-forme en béton armé supportée par des pieux métalliques, des quais en rideaux de palplanches et des quais en parois moulées. Cette figure illustre l'ingéniosité des concepteurs face aux défis de conception des ouvrages maritimes, cependant cela implique aussi que les gestionnaires sont confrontés à des décisions de maintenance délicates au regard des principes de fonctionnement mécaniques et des modes de défaillance multiples.

Une partie de la réponse se situe dans la surveillance des ouvrages et l'instrumentation des plus récents (DELATTRE & MESPOULHE, 1999 ; GATTERMANN *et al.*, 2001 ; SCHOEFS *et al.*, 2004 ; YANEZ-GODOY & SCHOEFS, 2006 ; YANEZ-GODOY *et al.*, 2008), en particulier en vue de la réévaluation de leur fiabilité (YANEZ-GODOY *et al.*, 2006). Ce double niveau d'hétérogénéité (technique de construction et matériau) est un des objectifs que le projet GEROM souhaite atteindre.

5.2 Analyse de l'âge des ouvrages

La distribution des âges des infrastructures portuaires est présentée sur la figure 5 pour les trois statuts de ports maritimes considérés. Même si la majeure partie des ouvrages a été construite il y a plus de 25 ans, les gestionnaires n'ont pas un patrimoine équivalent :

- a) les PIN gèrent un patrimoine datant pour la plus grande partie d'avant le XX^{ème} siècle (surtout en maçonnerie).
- b) les PM possèdent un ensemble d'infrastructures d'âge essentiellement borné par la période de reconstruction après la seconde guerre mondiale, et donc antérieur à 1955.
- c) les PA ont un patrimoine construit beaucoup plus récemment, principalement entre 1955 et 1980.

Ceci peut s'expliquer par un statut plus récent et une croissance fortement liée au développement économique.

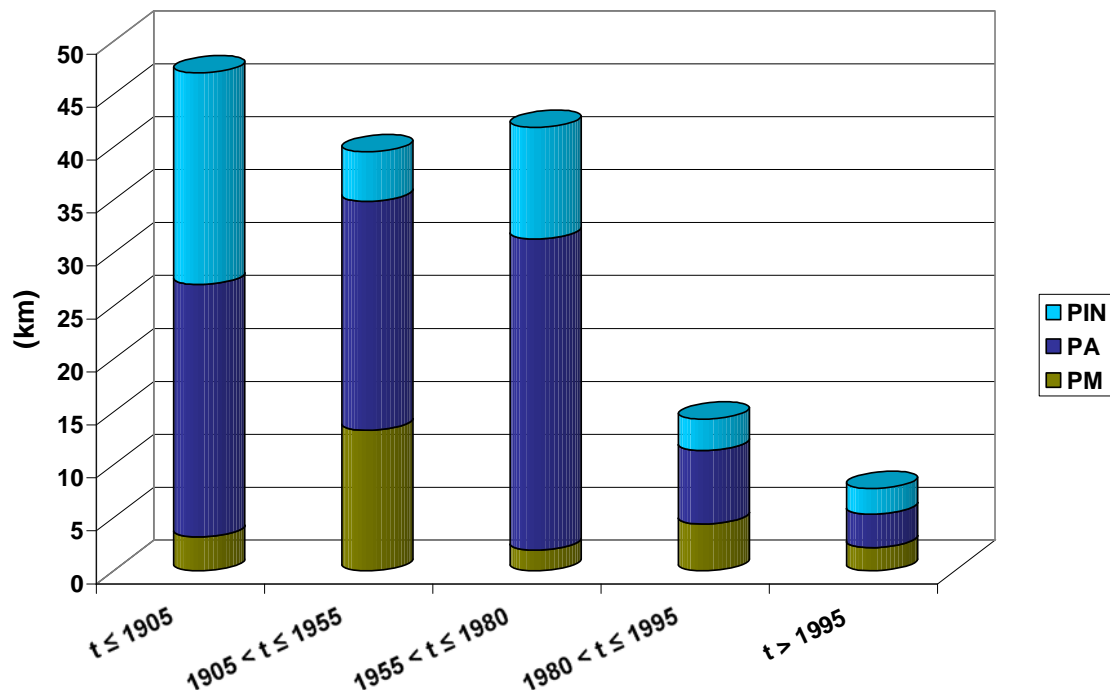


Figure 5. Distribution de l'âge des ouvrages d'amarrage et d'accostage.

L'analyse de ces résultats peut être approfondie en étudiant le niveau d'investissement des aménagements portuaires non militaires publié en mars 1994 par l'Observatoire Economique des Statistiques de Transport. Même si les investissements concernent la totalité des infrastructures portuaires, la tendance d'évolution reste similaire : en francs constants (année de référence : 1980), environ 1400 millions de francs (213 millions d'euros) ont été investis de 1957 à 1970, les investissements ont ensuite augmenté de manière importante jusqu'en 1975 avec 2500 millions de francs en moyenne (381 millions d'euros), dépassant même 3000 millions de francs (457 millions d'euros) en 1975 pour s'établir ensuite à la fin des années 80 à une valeur de 700 millions de francs (107 millions d'euros).

5.3 Analyse économique

Approximativement 205 km d'ouvrages d'accostage et d'amarrage ont été analysées durant l'enquête ; 64% (130 km) sont gérés par les PA, 24% (50 km) par les PIN et 12% (25 km) par les PM.

Pour comparer le rôle économique de ces ouvrages, nous considérons le tonnage brut des marchandises tel que publié par la DGMT (2006). Au travers du ratio « millions de tonnes bruts de marchandises par kilomètre linéaire » (Mt / km), l'enquête aboutit à des données intéressantes : un tiers des PIN traite un très faible ratio inférieur à 100 t / km, un autre tiers, un ratio de l'ordre de 0,5 Mt / km, et le reste de l'ordre de 1 Mt / km ; les PA ont un ratio dépassant 2 Mt / km avec 3 Mt / km en moyenne.

Un Port d'Intérêt National a un profil très particulier dû à la fluidité et au dynamisme du trafic transmanche et atteint 6 Mt / km. L'analyse économique détaillée nécessite ensuite des études spécifiques dans chaque port et n'est pas discutée ici.

Cette information pourrait être complétée par une analyse spécifique qui considère la valeur et la nature des marchandises. Cependant comme cette information a une très forte variabilité, les auteurs ont préféré ne pas poursuivre d'investigations dans ce sens.

6. Conclusions

Cet article présente la première partie des résultats d'une enquête nationale, menée en 2006-2007, sur la gestion technique des infrastructures des ports maritimes. Les résultats montrent une hétérogénéité significative entre les ouvrages, en âge et en technique constructive.

La grande majorité des ouvrages sont en maçonnerie ce qui correspond à la part la plus ancienne du patrimoine bâti. Après la seconde guerre mondiale, d'autres techniques de construction furent utilisées pour s'adapter aux caractéristiques des navires, aux conditions de sites et aux critères économiques. En conséquence, le patrimoine bâti est hétérogène.

Pour conduire une analyse plus détaillée, des indicateurs autres que la longueur peuvent être utilisés pour guider des recommandations de maintenance. Par exemple, la surface en kilomètres carrés pourrait être utilisée dans des travaux de recherche futurs comme un facteur plus précis pour quantifier les enjeux liés à la maintenance.

7. Remerciements

Cette étude est conduite au sein du projet GEROM (contact: franck.schoefs@univ-nantes.fr), projet financé par la société OXAND et intégré au sein du Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) MRGenCi. Les auteurs remercient le CETE de l'Ouest pour sa contribution à la phase d'enquête et tous les gestionnaires qui ont consacré du temps à ce projet.

8. Références

- AIPCN (2001). *Gestion du cycle de vie des infrastructures portuaires. Principes généraux*. Marcom Rapport du Groupe de Travail 31.
- AIPCN (2008). *Gestion du cycle de vie des infrastructures portuaires. Recommandations pratiques pour la mise en œuvre*. Marcom Rapport du Groupe de Travail 42.
- BILLARD Y., BERNARD O., LASNE M., SCHOEFS F. (2006). *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.
- BILLARD Y., BERNARD O., LASNE M., CAPRA B., SCHOEFS F., BOERO J. (2007). *Risk analysis and reliability of repaired concrete quays*. Proceeding of 10th I.C.A.S.P conference, July 31-August 3 2007, Kashiwa Campus, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, 8 pages.
- BOERO J., CAPRA B., SCHOEFS F., BERNARD O., LASNE M. (2006). *Analyse de risques pour la maintenance des structures portuaires : exemple de quais gabions soumis à de la corrosion*. IXèmes Journées Génie Civil - Génie Côtier, Brest, 12-14 septembre 2006, pp 585-592. [URL http://www.paralia.fr/Files/09_56__8p__boero.pdf]
- CLUSTER MARITIME FRANÇAIS (2006). *Le Cluster Maritime Français, Poids économique et social de la France maritime*. Brochure, 2006-2007.
- CNRS (2000). *Atlas permanent de la Mer et du Littoral n°5-Littoral français 2000*. P38, CNRS - Géolittomer - LETG UMR 6554.
- DELATTRE L., MESPOULHE L. (1999). *Etude expérimentale du comportement du quai en eau profonde du port de Calais*. Rapport, no. 65. Paris, France : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 193 p.
- DGMT -Direction Générale de la Mer et des Transports- (2006). *Ports maritimes, flottes de commerce, voies navigables*. Résultats 2005 provisoires.
- GATTERMANN J., BERGS T., RODATZ W. (2001). *Modified instrumentation and results of stress and deformation monitoring at the new quay wall construction – Container Terminal Altenwerder, Port of Hamburg*. Proceedings of the 8th International Conference on Structural Safety and Reliability (ICOSSAR'01), 17-22, June, 2001, Newport Beach, CA, USA.
- HALDI A. (1997). *Risque et sécurité des systèmes techniques*. Cours Postgrade, Module G2 : Analyse de risques, Département de Génie Civil, Laboratoire de Systèmes Energétiques (LASEN), EPFL.
- ISEMAR -Institut Supérieur d'Economie Maritime- (2001). *Trafic 2000 des ports maritimes métropolitains et des DOM – TOM*.
- MARINE NATIONALE. (2006). *Dossier d'Information Marine*. Publication du ministère de la défense. Bureau EMM/PILOTAGE, emm.pilotage@marine.defense.gouv.fr.

- PEYRAS L., ROYET P., SALMI A., SALEMBIER, BOISSIER D. (2006). *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, pp 615-631.
- SCHOEFS F., GERARD B., CASARI P., VERDURE L. (2004). *Stratégie d'instrumentation pour la gestion optimisée des ouvrages portuaires*. VIIIèmes Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil, Compiègne, France, 7-9 septembre 2004, pp 513-520. [URL http://www.paralia.fr/Files/08_57__8p__schoefs.pdf]
- SORENSEN J.D., BURCHARTH H.F. (2004). *Risk-based optimization and reliability levels of coastal structures*. International Forum on Engineering Decision Making, First Forum December 5-9, 2004, Stoos, Switzerland.
- VILLEMEUR A. (1988). *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels. Fiabilité, facteurs humains, informatisation*. Collection de la direction des études et recherches d'Electricité de France.
- YAÑEZ-GODOY H., SCHOEFS F. (2006). *Analyse comparée du chargement horizontal de deux quais sur pieux en service à partir d'instrumentations*. IXèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Brest, 12-14 septembre 2006, pp 653-662. [URL http://www.paralia.fr/Files/09_63__10p__yanes_godoy.pdf]
- YAÑEZ-GODOY H., SCHOEFS F., NOUY A., CASARI P. (2006). *Extreme storm loading on in-service wharf structures : interest of monitoring for reliability updating, numéro spécial "Fiabilité des matériaux et des structures et analyse des risques"*. Revue Européenne de Génie Civil, Volume 10, n° 5, Hermès / Lavoisier, pp. 565-581.
- YAÑEZ-GODOY H., SCHOEFS F., CASARI P. (2008). *Statistical Analysis of the Effects of Building Conditions on the Initial Loadings of On-piles Quays*. Structural Health Monitoring (SAGE), Vol. 7, pp 245-263.