



**HAL**  
open science

## **Endommagement des ouvrages historiques ou de transport de la côte Atlantique dû à l'environnement marin : méthode de diagnostic et de réparation, maintenance : projet MEDACHS**

Sylvie Yotte, Manuela Salta, Michel Rousseau, Isabel Ana Rodriguez-Maribona, Alan O'Connor, Jean-Bernard Memet, Bertrand Marsset, Jean-Denis Lanvin, Xavier Dérobert, Afonso Roque-Povoa, et al.

### ► **To cite this version:**

Sylvie Yotte, Manuela Salta, Michel Rousseau, Isabel Ana Rodriguez-Maribona, Alan O'Connor, et al.. Endommagement des ouvrages historiques ou de transport de la côte Atlantique dû à l'environnement marin : méthode de diagnostic et de réparation, maintenance : projet MEDACHS. Annales du Bâtiment et des travaux publics, 2005, 5, pp.37-41. hal-01006795

**HAL Id: hal-01006795**

**<https://hal.science/hal-01006795v1>**

Submitted on 27 Apr 2017

**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

# **ENDOMMAGEMENT DES OUVRAGES HISTORIQUES OU DE TRANSPORT DE LA CÔTE ATLANTIQUE DÛ À L'ENVIRONNEMENT MARIN : MÉTHODE DE DIAGNOSTIC ET DE RÉPARATION, MAINTENANCE : PROJET MEDACHS**

**Sylvie YOTTE<sup>1</sup>, Manuela SALTA<sup>2</sup>, Michel ROUSSEAU<sup>3</sup>, Isabel Ana RODRIGUEZ-MARIBONA<sup>4</sup>,  
Alan O'CONNOR<sup>5</sup>, Jean-Bernard MEMET<sup>6</sup>, Bertrand MARSSET<sup>7</sup>, Jean-Denis LANVIN<sup>8</sup>,  
Xavier DÉROBERT<sup>9</sup>, Afonso ROQUE POVOA<sup>10</sup>, Denys BREYSSE<sup>1</sup>,  
Stéphanie BONNET<sup>11</sup>, Karim Aït MOKHTAR<sup>12</sup>**

<sup>1</sup>CDGA, Centre de Développement des Geosciences Appliquées,

Avenue des Facultés, Université Bordeaux 1, 33405 Talence Cedex, France

<sup>2</sup>LNEC, Département Matériaux, Avenida do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

<sup>3</sup>Conseil Général de Gironde (CG33), Esplanade Charles de Gaulle, 33000 Bordeaux, France

<sup>4</sup>Labein, Cuesta de Olabeaga 16, 48013 Bilbao, Espagne

<sup>5</sup>Dublin Trinity College, Department of Civil Engineering,  
Museum Building, Trinity College Dublin, Dublin 2, Ireland

<sup>6</sup>Laboratoire ARC'ANTIQUE, 26, rue de la haute forêt, 44300 Nantes, France

<sup>7</sup>Port Autonome de Nantes-Saint-Nazaire

<sup>8</sup>CTBA, Allée de Boutaut, BP 227, 33028 Bordeaux Cedex, France

<sup>9</sup>LCPC, Route de Bouaye, BP4129, 44341 Bouguenais Cedex, France

<sup>10</sup>EP, Praça da Portagem, 2809-013 Almada, Portugal

<sup>11</sup>GeM, Université de Nantes, 1, quai de Tourville, BP 13522, 44035 Nantes Cedex 1, France

<sup>12</sup>LEPTAB, Université de La Rochelle, 23, avenue Albert Einstein, 17071 La Rochelle Cedex 9, France

# 1. L'ESPACE ATLANTIQUE

L'Espace Atlantique regroupe l'Irlande, l'Écosse, les régions Cumbria, Lancashire, Greater Manchester, Cheshire, Merseyside, Worcestershire and Warwickshire, Avon, Gloucestershire and Wiltshire, Dorset and Somerset, Cornwall and Devon, Staffordshire, Herefordshire, Shropshire, West Midlands, les 22 Unitary Authorities of Wales, Northern Ireland, Highlands and Islands, South Western Scotland en Angleterre, les régions Aquitaine, Poitou-Charentes, Pays de la Loire, Bretagne, Basse-Normandie, Haute-Normandie, Limousin, Centre, Midi-Pyrénées en France, les régions Galicia, Asturias, Cantabria, Navarra, País Vasco, La Rioja, Castilla y León, Andalucía (Huelva, Cádiz et Sevilla), Canarias de l'Espagne, le Portugal. Ces régions sont en apparence très diverses et ont peu de chose en commun au niveau développement. En fait on va retrouver dans toutes ces régions des faiblesses communes qui posent problème avec le déplacement du centre de gravité de l'Europe vers l'Est dû à l'élargissement. Une solution pour éviter un déclin économique serait de développer une économie touristique basée sur le patrimoine historique.

Son passé maritime a laissé aux régions de l'Espace Atlantique un ensemble de bâtiments nombreux et varié (demeures bourgeoises, fortifications, installations portuaires...). Une proposition de dynamisation de l'Espace Atlantique serait de s'appuyer sur ces atouts pour développer les activités touristiques. En effet l'Espace Atlantique possède quelques faiblesses économiques qui pourraient le handicaper avec l'arrivée des nouveaux membres de l'est de l'Europe.

Une part de l'activité touristique traditionnelle s'appuie sur les vestiges du passé. En effet de vieux monuments bien mis en valeur représentent une valeur sûre pour un office du tourisme. Les anciens bâtiments industriels ou miniers représentent aussi un atout pour une région pour peu qu'ils soient sécurisés, mis en valeur, et présentent une activité qui a lourdement marqué la région.

## 1.1. Freins au développement touristique

Ce développement économique n'est possible sur le long terme que si les collectivités locales, les propriétaires sont en mesure d'en assurer la maintenance, les réparations et de faire un diagnostic correct sur l'état de ce patrimoine. De même les touristes devront accéder aux différents sites. Or les ouvrages d'art sont une composante essentielle d'un réseau de transport routier (ponts) ou maritime (quai). À ce titre ils sont un élément des circuits touristiques comme les croisières par exemple. Le problème de maintenance, de réparation, de diagnostic se pose alors de la même façon.

## 1.2. Entretien des bâtiments

L'état des bâtiments historiques dépend de leur localisation, de la qualité de réalisation initiale et des différents ajouts et réparations, de l'environnement et de son histoire. Tous ces facteurs influent sur leurs dégradations passées ou à venir. Le problème se pose alors de faire un entretien préventif ou bien de réparer à chaque dégradation dangereuse.

## 1.3. Qualité des transports sur zone

La qualité du transport sur zone conditionne l'image que garde le touriste : il s'agit d'éviter les travaux en haute saison touristique, de préserver la beauté ou l'apparence des structures (ponts, quais...) ; en effet un pont ou un quai avec des armatures apparentes, laisse une idée de ruine ou d'absence d'entretien nuisant à l'image que garde le touriste du pays.

## 1.4. La gestion de ce patrimoine

Il est donc nécessaire en amont du développement de produits touristiques s'appuyant sur des infrastructures et des monuments, de développer une politique de maintenance de ces supports. Une telle politique génère des économies importantes :

- L'arrêt des visites sur un site où les travaux relatifs à une infrastructure peuvent être planifiés à une période de non-affluence ;
- Le coût d'une intervention de maintenance est moins élevé que celui d'une opération de réparation (par exemple dans les monuments historiques) ;
- L'image du site est améliorée dans l'inconscient des touristes si il n'y a jamais de problème de sécurité et si l'accès à certains lieux n'est jamais empêché pour cause de travaux ;
- La destruction de pans entiers de monuments anciens (perte culturelle non chiffrable et perte économique) est évitée.

En amont du problème de maintenance, un enjeu d'importance apparaît : la maîtrise des procédés de réparation spécifique aux matériaux de construction anciens, et la connaissance des produits permettant de réaliser une réparation durable respectant le monument et le site, sans perdre la qualité historique et artistique du monument. Ce problème propre à la maintenance des édifices anciens se pose de deux façons :

- évaluation des produits et des méthodes de poses existants ;
- développement de nouveaux procédés.

En effet on constate que le problème principal de malfaçon rencontré, par les propriétaires privés surtout, ne provient non pas forcément du produit choisi mais d'une méthode d'application incorrecte. Pour cette raison la création d'un site Web présentant les différents problèmes (relatifs aux produits, aux procédés, aux politiques de maintenance) permettra la diffusion de ces connaissances et par là assurera le rayonnement des entreprises liées au projet et des laboratoires de recherche de l'Espace Atlantique. D'autre part la diffusion européenne des bonnes pratiques via le site (en anglais, espagnol, français et portugais) offrira des retombées économiques sur d'autres régions européennes.

## 2. LE PROJET MEDACHS

Le premier objectif du projet est de mieux comprendre les phénomènes de dégradation. Le deuxième est de mettre au point des méthodes de réparation, et de protection en tenant compte des acquis de la première partie. Dans un troisième temps on cherchera à mieux prévoir l'évolution de l'état d'un ouvrage afin de pouvoir proposer une politique de maintenance de l'ouvrage.

## 2.1. Connaître les phénomènes

Le projet porte sur quatre matériaux de construction (la pierre, le béton armé, le bois, et l'acier). Les modes de dégradation vont être simulés en laboratoire. Cela permettra d'approfondir les connaissances sur la cinétique, les mécanismes, les paramètres environnementaux ayant une influence sur les mécanismes.

Le travail en réseau de laboratoires permettra la mise en œuvre de recherches complémentaires et non pas concurrentes (ce qui se passe habituellement). De cette façon il va être possible d'avancer plus vite et donc d'aller plus loin dans la connaissance de ces phénomènes. Les partenariats ainsi constitués pourront se prolonger après la fin du projet européen ce qui rendra les laboratoires plus compétitifs en Recherche et Développement.

### 2.1.1. Pierre et mortier ancien

Les pierres de construction pour les monuments anciens proviennent en général des carrières environnantes. L'idée ici est de tester les pierres des différentes carrières en brouillard salin pour connaître leur cinétique de dégradation en fonction

- de la carrière d'origine,
- de l'exposition,
- de l'humidité ambiante.

Les mortiers anciens ainsi que les mortiers de réparation seront testés aussi, les mortiers anciens seront fabriqués avec la même méthode que celle identifiée sur les monuments étudiés. Les mécanismes de dégradation sont bien connus : infiltration d'eau, cycles gel-dégel, cycles cristallisation-dissolution.

Connaissant leur cinétique de dégradation en fonction de l'atmosphère il sera possible d'une part d'évaluer les possibilités de dégradation d'une structure en pierre mais aussi de modéliser sa dégradation dans le temps.

Les méthodes de protection et de réparation seront aussi testées afin de prévoir (soit empiriquement soit par la modélisation) l'effet des interventions sur la structure.



**Photo 1 : Forteresse de Blaye en Gironde, l'étude au niveau maçonnerie portera sur la Porte de Liverneuf. Une partie sera équipée de capteur pour connaître l'effet de l'atmosphère sur les pierres.**

### 2.1.2. Béton armé

L'objectif final est de mieux cerner la durée de vie effective d'une structure en béton armé, d'établir des protocoles pour l'évaluation des méthodes de protection et de réparation, et d'avancer sur des règles de conceptions pour des structures en mer. On va donc réaliser des essais afin de trouver des relations entre les résultats des essais utilisés dans les divers laboratoires et aussi avec les phénomènes réels. Par la suite on étudiera l'influence de différents paramètres : humidité extérieure, température (la température, le degré d'hygrométrie moyens ne sont pas les mêmes entre le nord et le sud de l'Arc Atlantique), taux d'ions chlorure, degré de microfissuration, etc. Les méthodes de réparation et de protection seront aussi testées dans le but de connaître leur efficacité et leur durabilité.



**Photo 2 : Le pont de Younghaon Irlande est un pont en béton armé. Il sera un des supports pour l'étude de fiabilité et de maintenance des ouvrages en béton armé.**

### 2.1.3. Acier

L'objectif est ici à partir de structures existantes immergées, ou en zone de marnage dans les ports de Nantes-Saint-Nazaire et de Bordeaux. La démarche va consister en l'étude des cinétiques de corrosion en fonction des milieux, puis l'insertion de ces cinétiques dans un modèle va permettre de prévoir l'évolution dans le temps des structures étudiées.



**Photo 3 : Peniche est un port sur la côte portugaise. La structure étudiée ici sert à mettre hors eau les bateaux pour en faire la maintenance. Dans ce cas on s'intéresse à l'état de corrosion de la structure, et aux risques induits par la dégradation de l'ouvrage à plus ou moins long terme.**

#### 2.1.4. Bois

L'objectif est ici à partir de structures existantes sur le domaine maritime de Gironde au moins pour l'une d'entre elles. Une bibliographie sur les cinétiques de dégradation et sur les moyens de protection sera réalisée, et mise sur le site web. Une étude des moyens de mesures applicables au bois permettant de retrouver l'état réel de la structure a commencé. Le développement d'un modèle de chaque structure étudié permettra de simuler le vieillissement de la structure ou de vérifier sa dangerosité (au sens du risque d'effondrement sur un hôte de passage). Dans le cas du premier exemple traité (cabane ostréicole) les tests sur les matériaux après démolition permettront de valider une partie de la démarche, en particulier l'estimation de l'état réel de la structure.



*Photo 4 : Cabanon en bois typique du port ostréicole de Gujan Mestras. Pour des raisons de sécurité une cabane en mauvais état doit être détruite. Pour des raisons d'ordre touristique, il faudrait les conserver. L'enjeu de l'étude est d'évaluer l'état de la cabane et d'en déduire les risques associés à sa conservation.*

## 2.2. Mieux mesurer pour mieux évaluer

Les mesures constituent un moyen pour accéder à la connaissance de l'état de dégradation d'un matériau ou d'un ouvrage.

Deux niveaux de mesures sont envisagés : les mesures en laboratoire pour aider les équipes de recherche à étudier les dégradations des matériaux et les mesures sur le terrain pour évaluer l'état d'un ouvrage. Dans les deux cas il y aura des expérimentations destinées à savoir quelle technique donne de meilleures indications pour quel cas. Par exemple, dans le cas du bois, la méthode A est mieux adaptée pour du bois mouillé que la méthode B, mais dans le cas d'attaque par des micro- ou macro- organismes la méthode B donne de meilleurs résultats.

### 2.2.1. Mesures en laboratoire

Il s'agira de tester un certain nombre de méthodes pour identifier laquelle est la mieux adaptée à quels matériaux, quelle combinaison de mesures permet la meilleure évaluation du dommage et quelle méthode peut être transposable sur site. Parmi ces méthodes se trouvent :

- GDOES : Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy. C'est une technique largement utilisée dans l'automobile et les industries de l'acier ;
- Analyse d'image sur échantillons, ou sur les façades : la méthode n'a rien de nouveau, mais on va par exemple l'appliquer systématiquement dans la mesure de la dégradation des pierres, afin d'en tirer des paramètres quantitatifs qualifiant la dégradation, et corrélés aux essais mécaniques.

### 2.2.2. Mesures sur site

Il s'agit dans ce cas de contrôle non destructif. Deux aspects sont développés : quelle stratégie de mesure on peut utiliser (nombre, position des capteurs) pour obtenir une évaluation fiable de la dégradation d'un ouvrage complet ; d'autre part quelles informations peut fournir chaque méthode et comment on peut les combiner. Le radar sera principalement utilisé, pour lequel une étude d'un an sera réalisée sur la dégradation du béton armé. Ces mesures pourront être couplées avec de l'infrarouge, et des mesures de résistivité électrique. Les essais sur les matériaux permettront dans un premier temps d'étalonner et de tester des relations données obtenues par l'appareil de mesure, dégradation du matériau.

Ce travail sur les mesures débouchera sur un guide méthodologique d'une part, et pourra suivant les résultats, ouvrir de nouveaux débouchés pour certaines méthodes de mesures en laboratoire.

## 2.3. Maintenance et fiabilité

Quelques structures seront étudiées, en particulier un monument de la citadelle de Blaye, une structure en bois, des ponts en béton armé et un quai du Port de Nantes. L'étude se fait en deux étapes : l'établissement d'un modèle, et la mise au point d'une politique de maintenance optimale pour la structure.

Cela nécessite un échange d'information constant entre les différents niveaux : entre ceux qui travaillent sur la maintenance et les gestionnaires de l'ouvrage pour fixer les objectifs, entre ceux qui travaillent sur les modèles et ceux qui travaillent sur la maintenance ainsi que ceux qui travaillent sur les dégradations (connaissance des cinétiques). Le schéma de la figure 1 résume le projet ainsi que les échanges d'information (flèches pleines pour les informations, flèches trait pour les questionnements).

## 3. CONCLUSION : LE SITE WEB, L'ASSOCIATION ET LES CONGRÈS

Pendant le projet un site Web sera développé, l'accès à ce site sera gratuit et mettra en ligne des informations à destination des PME et des collectivités locales. Ces informations reprendront les résultats des travaux de la première et éventuellement de la deuxième étude. Il comportera entre autres des pages expliquant comment appliquer correctement les solutions réparatrices et les risques liés à une mauvaise application ou à un mauvais choix de solution ;

des informations sur la maintenance uniquement destinées (par le contenu) aux collectivités locales et un volet expliquant comment on peut évaluer l'état d'une structure.

À la fin du projet le site sera un outil d'échange entre les PME d'une part et les centres de recherche d'autre part,

mais aussi entre les administrations et les centres de recherche. L'objectif est de créer un lien durable entre ces différents partenaires.

Ce projet est réalisé avec l'appui de la Commission européenne au travers du programme Interreg IIIB Espace Atlantique (projet n° 197).

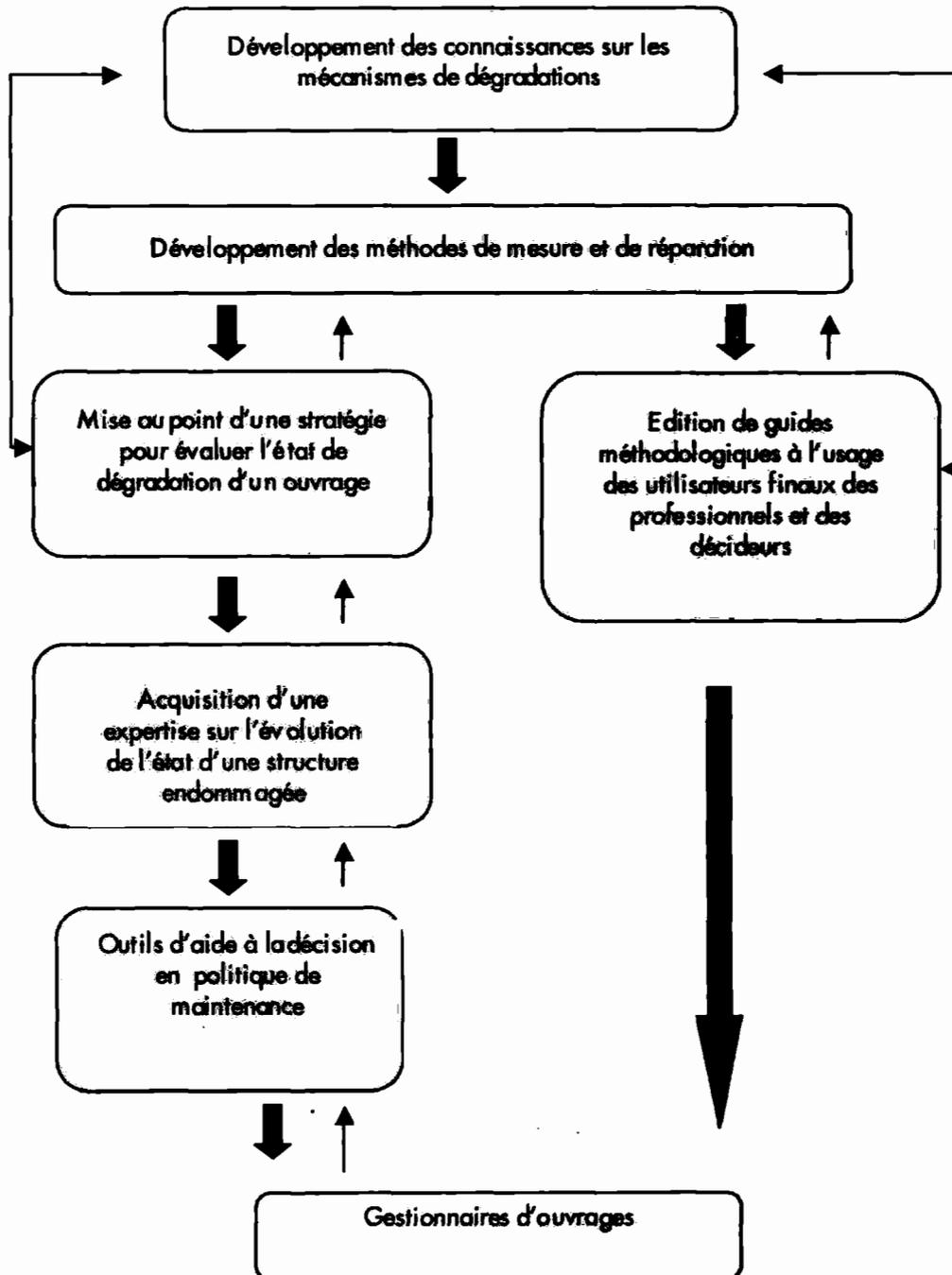


Figure 1 : Représentation schématique du projet et des échanges entre les différents niveaux.