

GC'2013

ESTP Cachan

Diagnostic, surveillance et renforcement des structures

LE DIAGNOSTIC D'OUVRAGES PORTUAIRES ANCIENS UN OUTIL D'AIDE A LA GESTION

Bertrand COLLIN

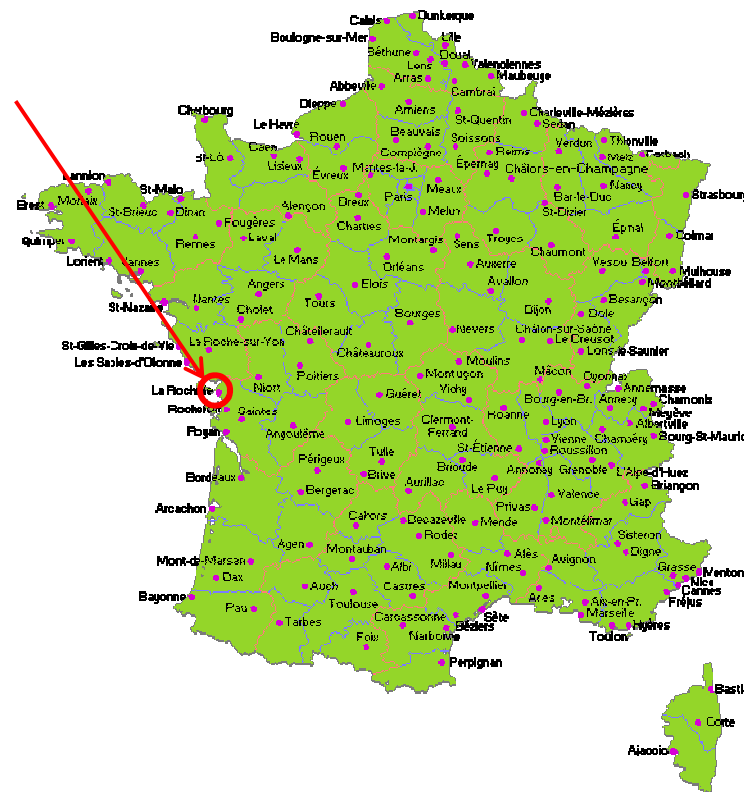
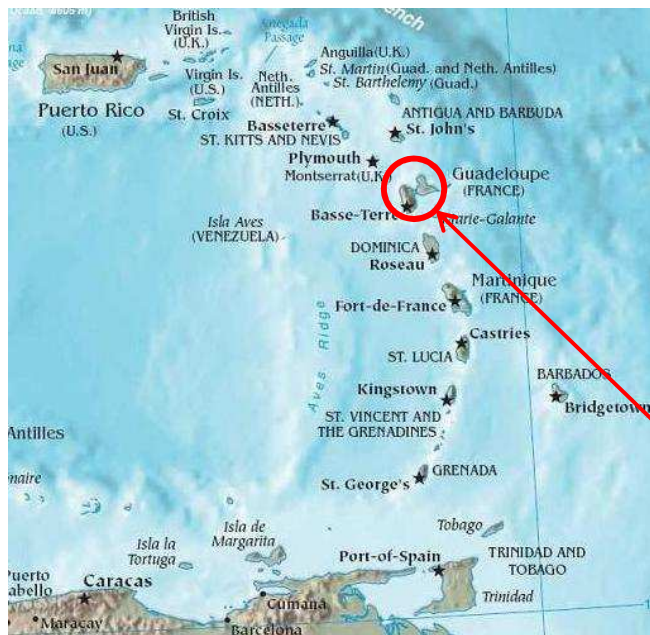
CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

- Diversité du patrimoine d'ouvrages maritimes français
- Diversité des conditions environnementales
- Contraintes d'exploitation fortes
- **Evolution des conditions d'exploitation**
- **Extension de la durée de vie**

ETAT DES LIEUX DU PATRIMOINE
EVALUATION DES PERFORMANCES ET DE LA DUREE DE VIE
MAINTENANCE CORRECTIVE ET PREVENTIVE

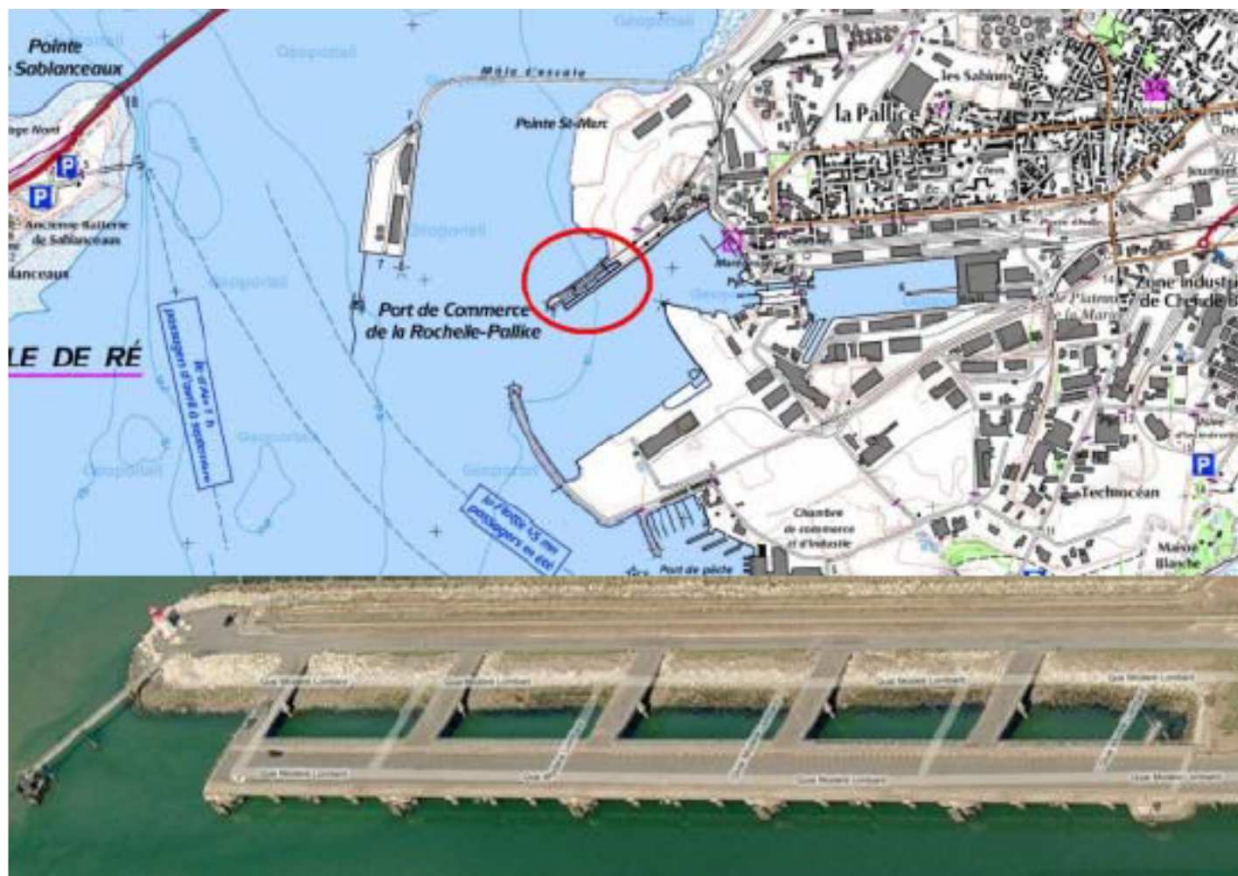
PRESENTATION DE DEUX ETUDES DE CAS

Le quai Modéré Lombard à La Rochelle



L'apponement de Jarry à la Guadeloupe

QUAI MODERE LOMBARD

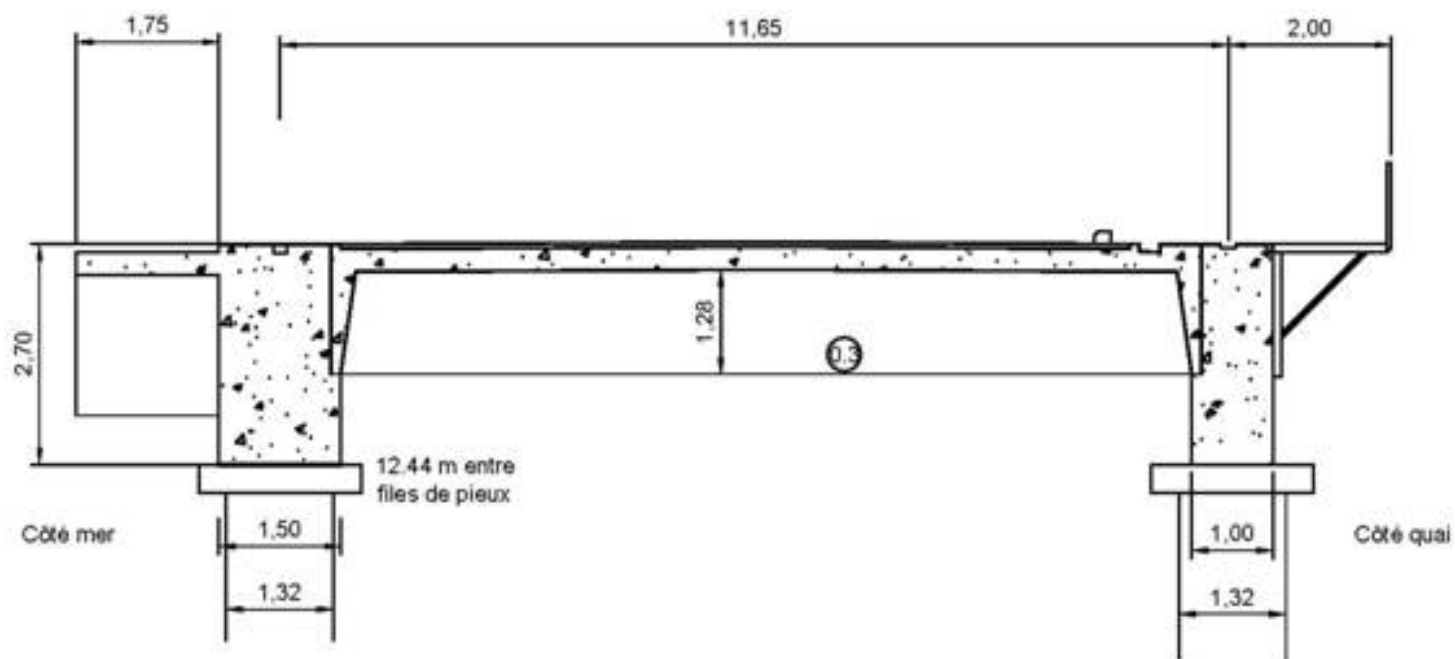


Implantation et vue générale du quai Modéré Lombard.

QUAI MODERE LOMBARD – CARACTERISTIQUES

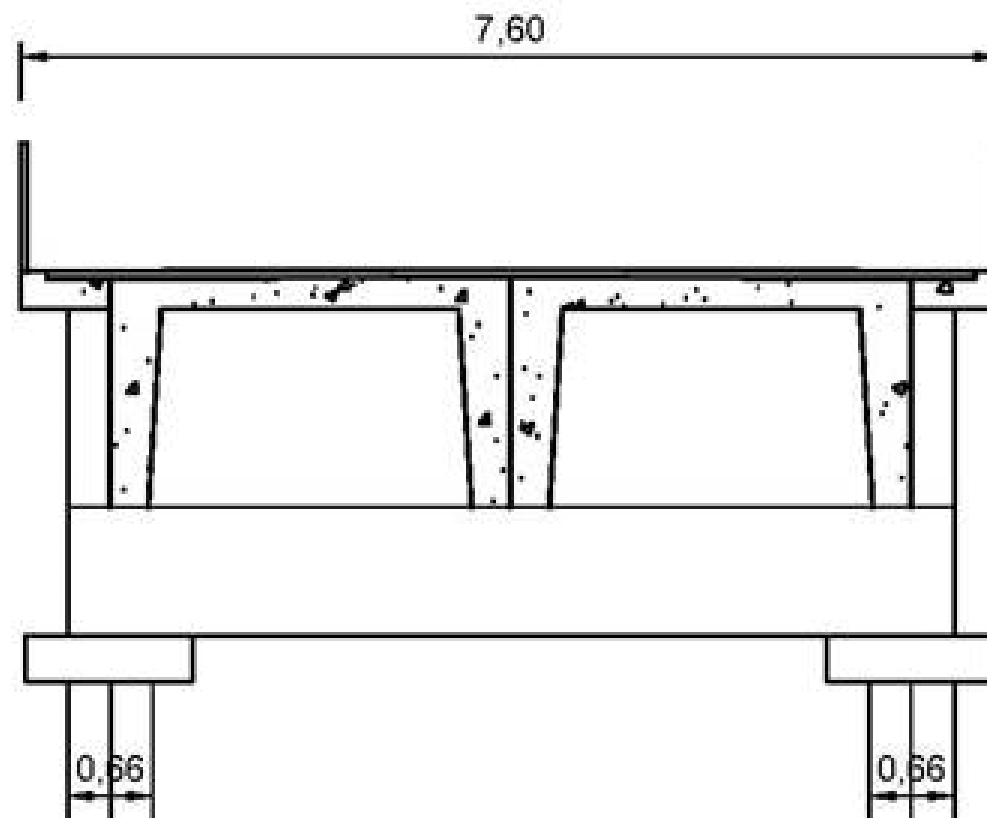
- ❖ Extension du quai : réalisée entre 1987 et 1988 pour installer un portique de 520 tonnes et reprendre des efforts d'accostage et d'amarrage de 10 tonnes
- ❖ Longueur totale de 288 mètres, largeur de 14,50 m
- ❖ Deux files de pieux métalliques avec par file, une poutre en béton armé constituée d'éléments préfabriqués clavés par bétonnage sur les pieux.
- ❖ Les deux poutres sont équipées de rails et forment une voie de grue d'espacement 11,70 mètres.
- ❖ La couverture du quai est assurée par des caissons préfabriqués en "U" dont les nervures font office d'entretoises.
- ❖ L'extension du quai est reliée à une digue de protection par cinq passerelles transversales en béton armé, chaque passerelle, d'une longueur de 30,50 mètres et d'une largeur de 7,6 mètres, comportant deux travées continues reposant sur une culée côté digue et sur une pile en mer.

QUAI MODERE LOMBARD – CARACTERISTIQUES



Coupe en travers type du quai.

QUAI MODERE LOMBARD – CARACTERISTIQUES



Coupe transversale type des passerelles

QUAI MODERE LOMBARD

PROBLEMATIQUE : FAISABILITE D'UNE AUGMENTATION DU NIVEAU DE SERVICE

❖ Objectif du Grand Port Maritime de La Rochelle

remplacement du portique actuel d'une capacité de 92 tonnes par des ouvrages plus performants, comme prévu initialement dans le projet d'extension du quai

❖ Etudes et vérifications du dimensionnement

- en 2006, pour une grue sur rails d'une capacité de 480 tonnes;
- en 2010, pour un portique d'une capacité de 380 tonnes.

QUAI MODERE LOMBARD

PROBLEMATIQUE : FAISABILITE D'UNE AUGMENTATION DU NIVEAU DE SERVICE

❖ CONCLUSIONS DES ETUDES

le dimensionnement originel établi avec les règles de calcul du B.A.E.L. 83 ne répond pas aux exigences réglementaires actuelles du B.A.E.L. 91

- ❖ pas de prise en compte du retrait du béton,
- ❖ traitement distinct de la flexion longitudinale et de la traction,
- ❖ pas de prise en compte des effets de torsion lors des accostages,
- ❖ dépassement systématique de la capacité réglementaire au droit des zones d'accostage.

QUAI MODERE LOMBARD

PROBLEMATIQUE : FAISABILITE D'UNE AUGMENTATION DU NIVEAU DE SERVICE

❖ **PRECONISATIONS**

le remplacement du portique de 92 tonnes par un portique de 380 tonnes est autorisé sous réserves

- ❖ vérification du "bon état" du quai : pas de fissuration mécanique importante ou de zones d'armatures mises à nu et corrodées
- ❖ limitations d'exploitation : stationnement du portique hors ouvrage lors de l'accostage des navires de fort tonnage, positionnement du portique entre les axes des passerelles lors de l'accostage des navires de plus faible tonnage



QUAI MODERE LOMBARD

PROBLEMATIQUE : FAISABILITE D'UNE AUGMENTATION DU NIVEAU DE SERVICE

OBJECTIFS DU DIAGNOSTIC

DETERMINER DANS QUELLES CONDITIONS
LES RESERVES PEUVENT ETRE LEVEES

APPONTEMENT DE JARRY

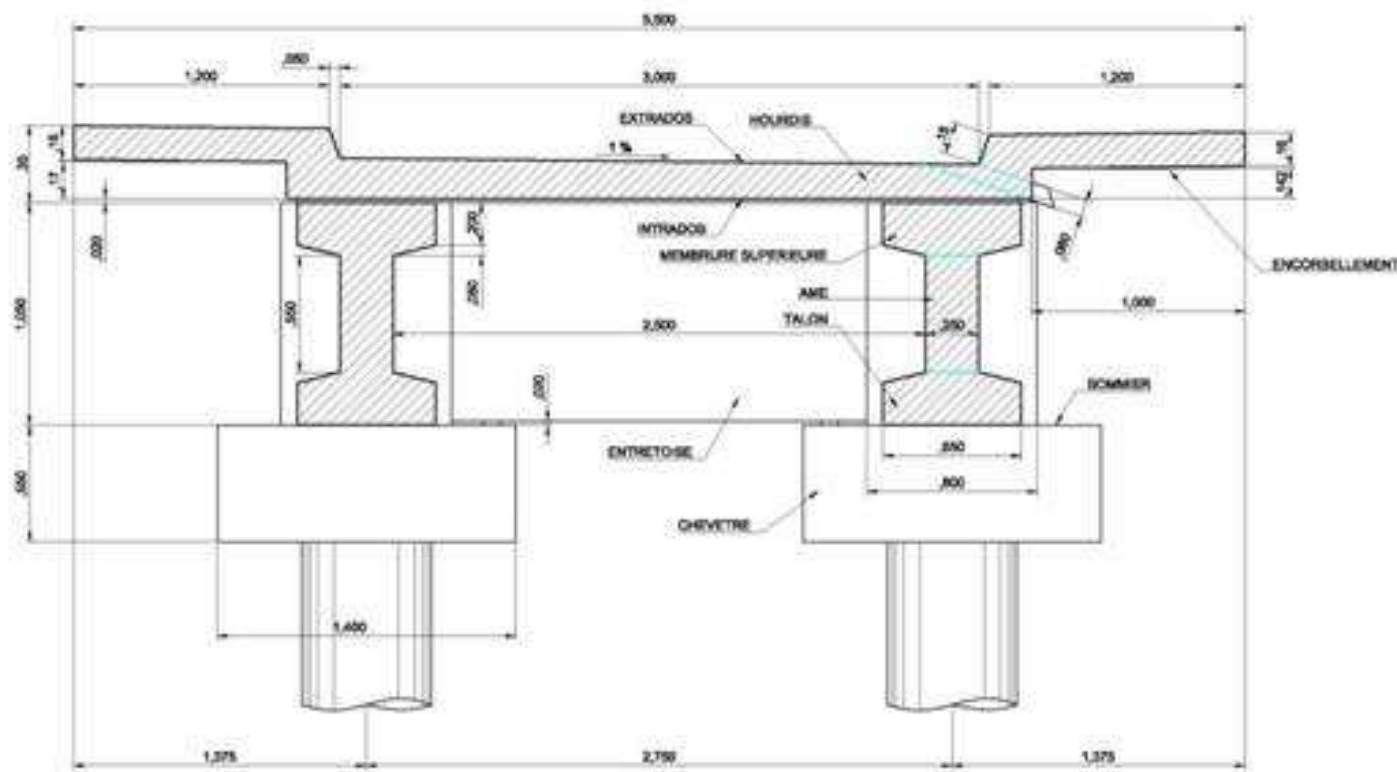


Implantation et vue générale de l'appontement de Jarry

APPONTEMENT DE JARRY – CARACTERISTIQUES

- ❖ Quai n°9 de la centrale thermique de Jarry Nord
- ❖ Ouvrage construit en 1983
- ❖ Trois ensembles de structures à poutres préfabriquées en béton armé entretoisées sur appuis et reposant sur des pieux métalliques :
 - une passerelle d'accès à onze travées d'une longueur de 165 mètres pour une largeur de 5,50 mètres,
 - une zone de retournement de 17,75 mètres pour une largeur de 11,40 mètres
 - une plate-forme de déchargement d'une longueur de 18,50 mètres pour une largeur de 7,15 mètres.
- ❖ Duc d'Albe en béton armé d'une longueur de 7 mètres et d'une largeur de 6,06 mètres

APPONTEMENT DE JARRY – CARACTERISTIQUES



Coupe type sur passerelle d'accès



APPONTEMENT DE JARRY

PROBLEMATIQUE : CONSERVATION DE L'OUVRAGE

OBJECTIFS DU DIAGNOSTIC

CONDITIONS DU MAINTIEN DU NIVEAU DE
SERVICE COMPTE TENU DE L'AGE DE
L'OUVRAGE ET DES DESORDRES CONSTATES
PAR L'EXPLOITANT

PROBLEMATIQUE GENERALE DU DIAGNOSTIC

Objet du diagnostic

Le diagnostic a pour objet de fournir des éléments techniques objectifs pour

- évaluer l'état d'une structure,
- proposer les préconisations nécessaires à la remise à niveau,
- examiner la faisabilité des projets de prolongation de durée de vie, d'aménagement ou de changement de destination.

PROBLEMATIQUE GENERALE DU DIAGNOSTIC

Evaluation « Structure et matériaux »

Le diagnostic doit intégrer et associer des informations relatives aux matériaux et à la structure.

- **le diagnostic "matériaux"** est établi à partir de mesures réalisées in situ et sur prélèvements. Il est destiné à évaluer les caractéristiques réelles des matériaux constitutifs – essentiellement béton et acier – sur la base d'investigations menées sur des zones considérées comme représentatives de l'ensemble de la structure.
- **Le diagnostic "structure"** est élaboré en combinant l'analyse de relevés de défauts, de mesures géométriques et de modélisations numériques. Il aboutit à un avis sur les performances et le fonctionnement réels de la structure et permet d'identifier des anomalies de fonctionnement.

PROBLEMATIQUE GENERALE DU DIAGNOSTIC

Ecueils pour les ouvrages anciens

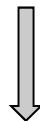
- Données d'entrée souvent incomplètes voire manquantes
- Difficultés liées aux accès, aux contraintes d'exploitation et à l'environnement
- Question du choix de l'échantillonnage des zones à investiguer
- Prise en compte des évolutions des règlements de calcul
- Référentiels techniques parfois flous en ce qui concerne le diagnostic « matériaux »
- Contraintes budgétaires.
- Cahiers des charges restrictifs

Le programme de diagnostic doit être élaboré en tenant compte de ces différents éléments, parfois incompatibles, tout en gardant pour objectif l'obtention de résultats exploitables et fiables.

PROBLEMATIQUE GENERALE DU DIAGNOSTIC

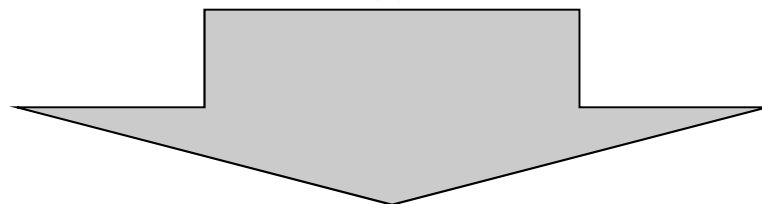
Du diagnostic au préconisations

DIAGNOSTIC



INCONNUES ET IMPRECISIONS

(données d'entrée, représentativité des mesures, étendue des investigations)



PRECONISATIONS

QUAI MODERE LOMBARD – PROGRAMME DU DIAGNOSTIC

- Analyse des données d'entrée disponibles et visite préliminaire
 - Phasage de construction, plans d'exécution
 - Etudes de faisabilité de remplacement du portique
- Inspection détaillée complète des parties émergées
 - Relevé des défauts existants sur l'ensemble des éléments de structure et des équipements ;
 - Faisabilité de la levée des réserves quant au "bon état" de la structure
 - Choix des zones à investiguer au titre du diagnostic "matériau" ;
- Vérification d'un certain nombre de données géométriques, sur des zones identifiées comme sensibles du point de vue du fonctionnement ;
- Vérification de l'état de vieillissement du béton armé, décidée en raison des conditions environnementales et des défauts observés lors de la visite préliminaire du site mais non prévue initialement.

QUAI MODERE LOMBARD – LE PROGRAMME DE DIAGNOSTIC

<i>Objet du contrôle</i>	<i>Zones investiguées</i>	<i>Techniques utilisées</i>
<i>Cotes principales</i>	<i>Ensemble de la structure</i>	<i>Mesure directe sur site</i>
<i>Enrobage des armatures</i>	<i>Poutres principales et caissons</i>	<i>RADAR et sondages</i>
<i>Ferraillage longitudinal des poutres principales</i>	<i>Poutre côté mer et poutre côté quai</i>	<i>RADAR et sondages</i>
<i>Ferraillage transversal des poutres principales</i>	<i>Sur appui et à mi portée</i>	<i>RADAR et sondages</i>
<i>Résistance en compression du béton</i>	<i>Poutres principales</i>	<i>Scléromètre</i>
<i>Objet du contrôle</i>	<i>Zones investiguées</i>	<i>Techniques utilisées</i>
<i>Diamètres résiduels des aciers apparents corrodés</i>	<i>Caissons</i>	<i>Mesure directe sur site</i>
<i>Carbonatation du béton</i>	<i>Poutres principales et caissons</i>	<i>Mesure directe sur site</i>
<i>Potentiels de corrosion des aciers</i>	<i>Poutres principales et caissons</i>	<i>Corrosimètre</i>
<i>Profils de concentration en chlorures</i>	<i>Poutres principales</i>	<i>Analyses en laboratoire</i>

Géométrie, caractéristiques et matériaux : détails des contrôles effectués

APPONTEMENT DE JARRY – PROGRAMME DE DIAGNOSTIC

- Inspection détaillée complète des parties émergées et immergées avec des mesures d'épaisseur par ultrasons sur les pieux métalliques et la vérification par perçage du niveau des bouchons de béton de remplissage des pieux
- vérification de la géométrie de l'appontement et des flèches des poutres longitudinales par des mesures topométriques
- contrôle dimensionnel des éléments de structure, de la géométrie et des sections des armatures pour valider les données d'entrée
- vérification des caractéristiques de durabilité du béton armé
- vérification par le calcul de la tenue des éléments de structure aux charges d'exploitation, en tenant compte des observations et des mesures faites sur site
- vérification de la tenue aux cyclones et aux séismes, au regard des règles de calcul actuelles.

APPONTEMENT DE JARRY – PROGRAMME DE DIAGNOSTIC

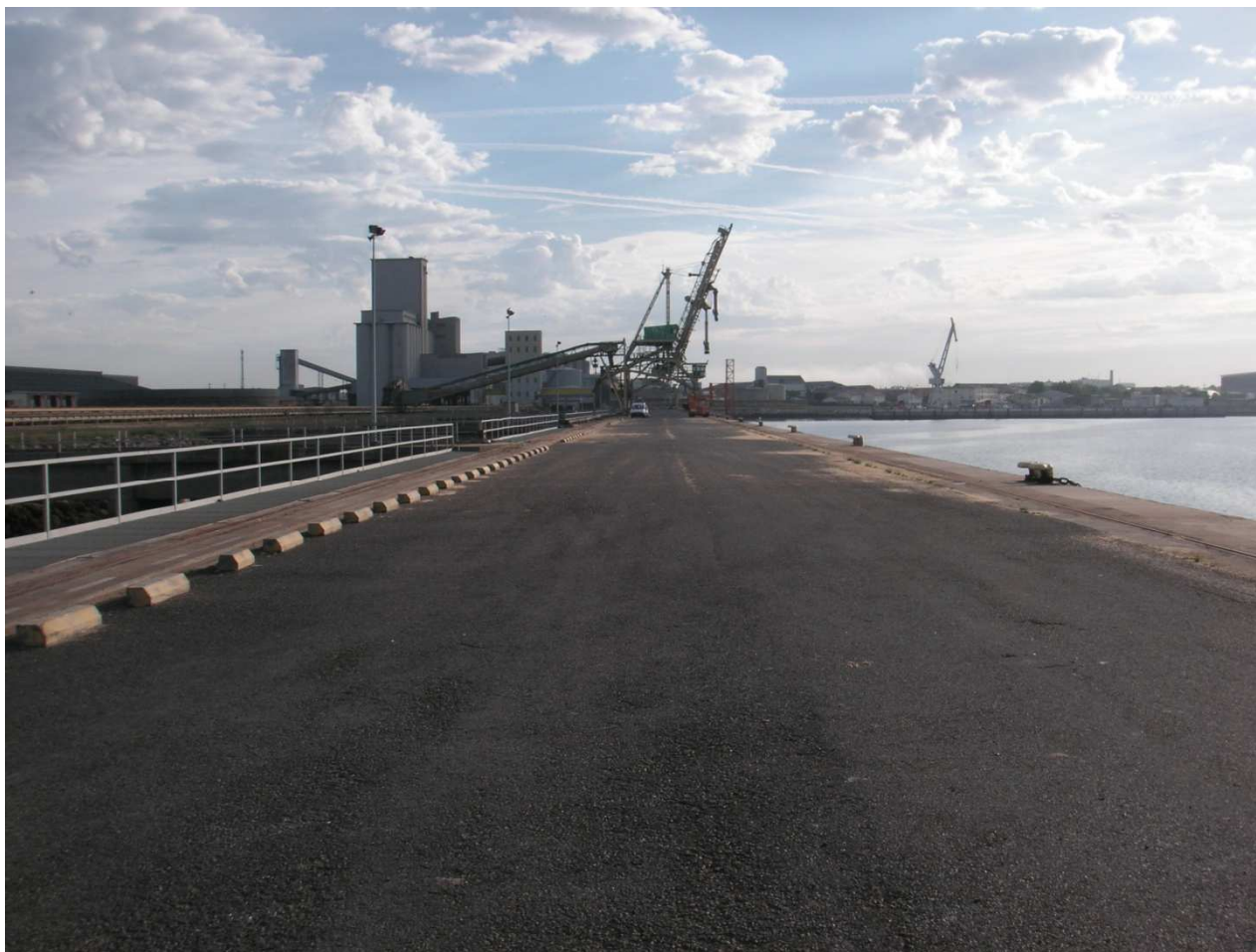
<i>Objet du contrôle</i>	<i>Zones investiguées</i>	<i>Techniques utilisées</i>
<i>Carbonatation du béton</i>	<i>Hourdis, âmes de poutres</i>	<i>Analyses en laboratoire</i>
	<i>longitudinales et chevêtres des appuis</i>	<i>sur carottes</i>
<i>Teneur en chlorures et en sulfates</i>	<i>Hourdis, âmes de poutres</i>	<i>Analyses en laboratoire</i>
	<i>longitudinales et chevêtres des appuis</i>	<i>sur carottes</i>
<i>Densité et porosité du béton</i>	<i>Hourdis, âmes de poutres</i>	<i>Analyses en laboratoire</i>
	<i>longitudinales et chevêtres des appuis</i>	<i>sur carottes</i>
<i>Examen visuel</i>	<i>Hourdis, âmes de poutres</i>	<i>Stéréomicroscopie sur</i>
	<i>longitudinales et chevêtres des appuis</i>	<i>carottes</i>
<i>Dosage de la silice</i>	<i>Hourdis, âmes de poutres</i>	<i>Analyses en laboratoire</i>
	<i>longitudinales et chevêtres des appuis</i>	<i>sur carottes</i>

Matériaux : détails des contrôles effectués

QUAI MODERE LOMBARD



QUAI MODERE LOMBARD



QUAI MODERE LOMBARD



QUAI MODERE LOMBARD



QUAI MODERE LOMBARD



QUAI MODERE LOMBARD





QUAI MODERE LOMBARD – SYNTHESE DES RESULTATS

- Dégradation des équipements
- Dégradation du matériau béton armé : corrosion des aciers (caissons)
- Décohésion superficielle du béton de la poutre principale côté « embruns »
- Caractéristiques conformes aux plans, à l'exception des profondeurs d'enrobage
- Teneurs en chlorures libres supérieure aux normes en vigueur, mais risque de dégradation relativement faible

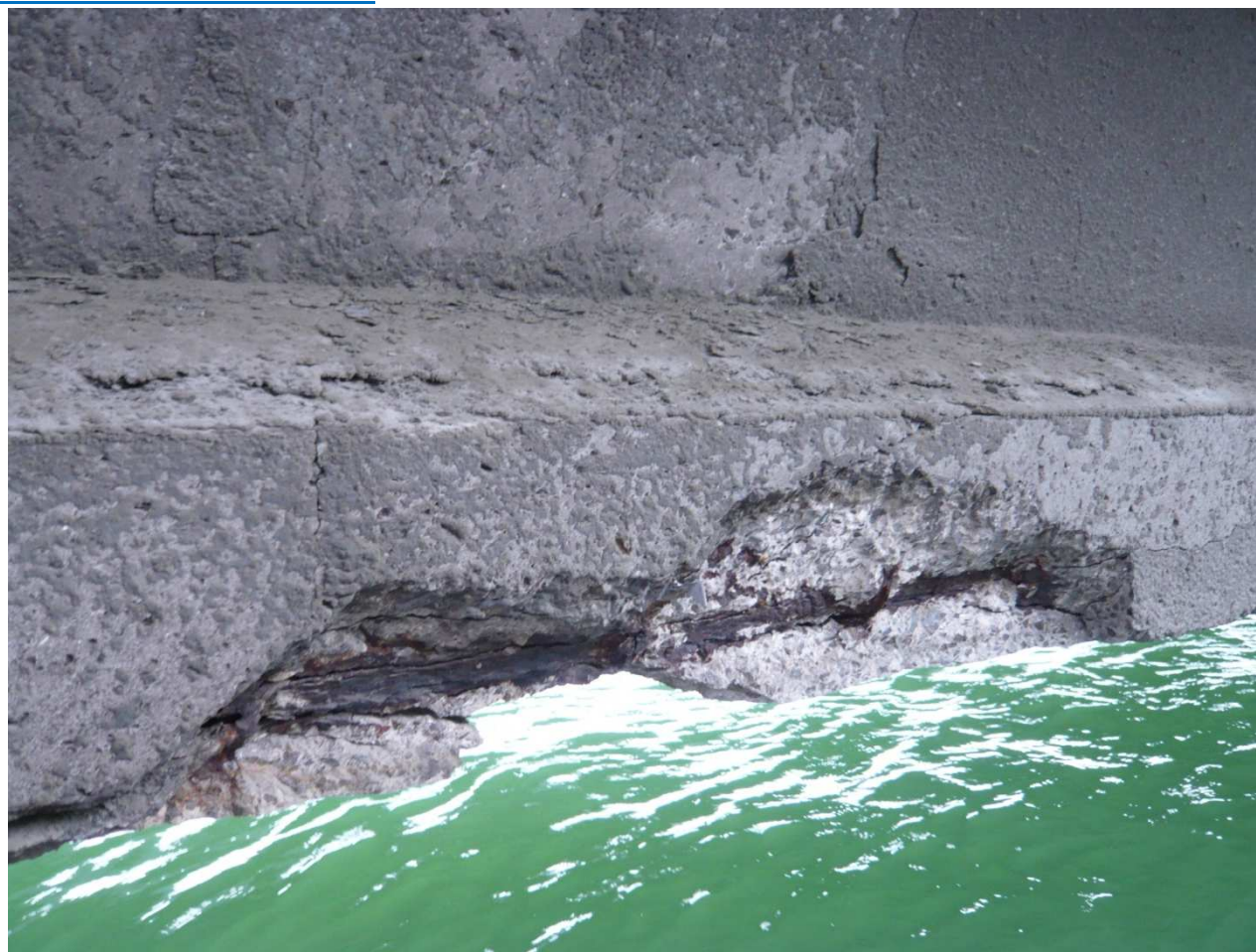
QUAI MODERE LOMBARD – CONCLUSION ET PRECONISATIONS

- **A court terme, sous réserve de la réparation du béton armé des caissons dégradés et, à moins grande échelle, de celui des poutres principales, la faisabilité du remplacement du portique actuel par un portique de capacité 380 tonnes est avérée.**
- **A plus long terme, une réflexion est à mener sur la faisabilité technique et économique de la mise en œuvre d'une protection des poutres vis-à-vis de la corrosion – déchloration, protection cathodique – et sur les actions de suivi préventif nécessaires pour vérifier et garantir le niveau de service de l'extension du quai Modéré Lombard.**

APPONTEMENT DE JARRY



APPONTEMENT DE JARRY – RESULTATS



APPONTEMENT DE JARRY – RESULTATS



APPONTEMENT DE JARRY – SYNTHÈSE DES RESULTATS

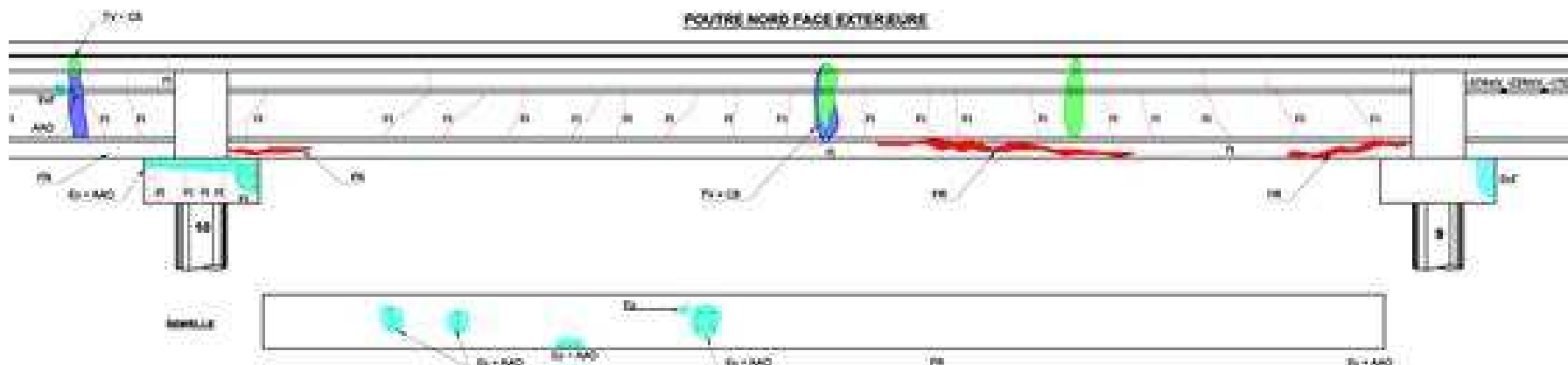


APPONTEMENT DE JARRY – SYNTHÈSE DES RESULTATS



APPONTEMENT DE JARRY – SYNTHÈSE DES RESULTATS

- Les pieux sont en bon état général, malgré des traces de corrosion visibles de façon plus ou moins étendue.
- Les parties émergées présentent de nombreux défauts,
 - vieillissement du béton armé (épaufrures, aciers apparents corrodés avec localement rupture des cadres de reprise de l'effort tranchant)
 - fissuration mécanique des poutres et des hourdis



APPONTEMENT DE JARRY – SYNTHÈSE DES RESULTATS

- Le contrôle dimensionnel des éléments de structure n'a pas révélé d'écart avec les plans BPE (bon pour exécution) ;
- les sections des aciers mesurées dans les zones où ils sont apparents sont conformes avec ces plans, mais des pertes d'épaisseur de l'ordre de 15 % dues à la corrosion ont été mesurées.
- Les relevés topométriques ont révélés des flèches anormales sur certaines poutres, sans corrélation avec d'autres défauts structuraux.
- Les mesures faites sur les prélèvements de béton et sur le site montrent des caractéristiques mécaniques satisfaisantes ;
- Les teneurs en chlorures sont supérieures à celle de la valeur limite fixée dans la norme NF EN 206-1, et la porosité est relativement importante ; ces deux derniers résultats indiquent une faible résistance à la pénétration des agents agressifs et des risques accrus de corrosion des armatures.

APPONTEMENT DE JARRY – SYNTHÈSE DES RESULTATS

- Les calculs, réalisés en tenant compte des données obtenues par les investigations, montrent qu'étant donné la perte de section des armatures par corrosion, le critère de fissuration préjudiciable et le manque de ferrailage de reprise des efforts tranchants, la plupart des poutres longitudinales ne sont pas aptes à subir les charges d'exploitation prévues.
- Même si, depuis sa mise en service, l'ouvrage a subi sans dommage structurel apparent le passage de Hugo (ouragan de classe 4) et celui d'autres cyclones et tempêtes tropicales de moindre importance, il ne répond pas aux règles actuelles de calcul cyclonique,
- L'ouvrage ne répond pas aux règles actuelles de calcul parasismique, sachant qu'un séisme important –un "big one" similaire à celui survenu en 1843– est attendu.

APPONTEMENT DE JARRY – CONCLUSIONS

- **Dégradations étendues des matériaux**
- **Fissuration due aux sollicitations mécaniques**
- **Déformations anormales des poutres**
- **Dimensionnement non conforme vis à vis des charges d'exploitation, des règles parasismiques et cycloniques**

APPONTEMENT DE JARRY – PRECONISATIONS

- **Investigations complémentaires**
 - analyses matériaux pour évaluer la faisabilité technique et économique de la déchloration qui pourrait améliorer la durabilité du béton armé ;
 - essais de chargement pour s'assurer que les poutres et notamment celles qui présentent des flèches anormales, se comportent correctement vis-à-vis des sollicitations.
- Réparation lourdes pour remettre l'ouvrage à niveau :

Le gestionnaire doit donc redéfinir au préalable ses besoins en termes de durée d'exploitation et de niveau de service pour opérer ensuite un choix entre différentes solutions, remplacement de la structure actuelle compris.

APPONTEMENT DE JARRY – PRECONISATIONS

OUVRAGE EN EXPLOITATION : MESURES CONSERVATOIRES

- **limitations d'accès et de tonnage**
- **mise sous surveillance renforcée par instrumentation pour prévenir les risques de ruine partielle et de pertes d'exploitation induites.**

CONCLUSION

- **DIAGNOSTIC** : INDISPENSABLE POUR EVALUER LE NIVEAU DE SERVICE ET LA DUREE DE VIE DES OUVRAGES, ETUDIER LA FAISABILITE DE PROJETS D'AMENAGEMENT ET PROGRAMMER EN CONSEQUENCE LA MAINTENANCE PREVENTIVE ET CORRECTIVE
- **DIAGNOSTIC** : COMBINAISON ENTRE DONNEES DOCUMENTAIRES, INVESTIGATIONS « STRUCTURE ET MATERIAUX » ET CALCULS
- **PROGRAMME DE DIAGNOSTIC** : ASSEMBLAGE D'UN ENSEMBLE D'ELEMENTS QUI DANS L'IDEAL DOIT ETRE AJUSTABLE POUR TENIR COMPTE DES RESULTATS OBTENUS A CHACUNE DES ETAPES (recherche documentaire, inspection visuelle, reconnaissances, caractéristiques des matériaux, résultats des calculs...)

CONCLUSION

- **DU DIAGNOSTIC AUX PRECONISATIONS : SUR OUVRAGES ANCIENS, NOMBREUX ECUEILS :**
 - imprécisions sur les données d'entrée qu'il n'est pas
 - problème de représentativité des sondages et investigations sur matériaux pour des structures souvent composites
 - écarts entre calculs et réalité
- **IMPORTANCE DE LA SURVEILLANCE ORGANISEE**
 - connaissance de l'état du patrimoine en temps réel : inspection, instrumentation
 - détection de l'apparition de défauts et d'anomalies
 - programmation organisée des actions de maintenance préventive et corrective
 - évaluation facilitée de la faisabilité de projets d'aménagement

MERCI DE VOTRE ATTENTION