Application de la méthode VSC pour la gestion d'un parc d'infrastructures portuaires et maritimes

**Benoît THAUVIN¹, Claire MARCOTTE²,
Nicolas ROUXEL¹, Nicolas BOURNETON³**

1. CETE de l'Ouest, Département Laboratoire de Saint-Brieuc, 5 rue Valles, 22015 Saint Brieuc, France.
*Benoit.Thauvin@developpement-durable.gouv.fr ;
Nicolas.Rouxel@developpement-durable.gouv.fr*
2. CETE Nord Picardie, 2 rue de Bruxelles, 59019 Lille cedex, France.
Claire.Marcotte@developpement-durable.gouv.fr
3. CETE de l'Ouest, Département Infrastructures Mobilité Risques et Environnement, Rue Viviani, BP 46223, 44262 Nantes Cedex 2, France.
Nicolas.Bourneton@developpement-durable.gouv.fr

Résumé :

La méthode VSC (dite des Visites Simplifiées Comparées) constitue un outil d'aide à la gestion patrimoniale d'infrastructures. Elle a été développée au sein du réseau scientifique et technique du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement. Initialement dédiée aux ouvrages d'art terrestres (ponts, murs de soutènement) (LCPC, 2006), les concepts génériques sur lesquels elle repose ont permis son application à d'autres domaines tels que les voies navigables, les établissements de signalisation maritime (phares et balises), les sentiers littoraux et les infrastructures portuaires (CETMEF, 2011). En s'appuyant notamment sur la structuration du patrimoine et sur la réalisation de visites périodiques ciblées et de courte durée (visites simplifiées comparées), elle permet d'évaluer l'ensemble des ouvrages d'un patrimoine selon trois axes fondamentaux : un axe mécanique pour apprécier la capacité des infrastructures à résister aux sollicitations (charges d'exploitation, agressions de l'environnement), un axe d'usage pour s'assurer que l'exploitation des ouvrages s'exerce en toute sécurité pour les usagers (exploitant, plaisancier, etc) et un axe stratégique intégrant les enjeux liés à l'utilisation des ouvrages. L'analyse croisée de ces trois axes conduit alors à l'établissement d'un programme raisonné et argumenté des opérations de surveillance et de maintenance. Les différents déploiements opérationnels de la méthode montrent qu'elle est particulièrement bien adaptée pour répondre aux contraintes et aux problématiques de gestion et de surveillance des infrastructures portuaires.

Mots-clés :

Gestion du patrimoine – Infrastructures portuaires – Gestion – Maintenance – Indice d'état

1. Gestion des infrastructures portuaires

1.1 Contexte

Le littoral français compte 564 ports de toutes natures. Leurs infrastructures sont relativement anciennes (plus de 60% d'entre elles sont antérieures à 1955). Les légitimes préoccupations environnementales sont par ailleurs contraignantes pour les projets de nouvelles infrastructures et la déconstruction des anciennes. La surveillance et la maintenance des infrastructures existantes deviennent donc un défi majeur pour les gestionnaires qui se doivent, par conséquent, d'optimiser leurs interventions, dans un contexte portuaire particulièrement contraignant.

1.2 Contraintes et spécificités

Le patrimoine des infrastructures portuaires est riche d'une grande variété d'ouvrages : quais sur pieux, parois moulées, rideaux de palplanches, caissons, gabions, écluses, ponts mobiles, etc. Les sollicitations mécaniques et environnementales (charges d'exploitation et attaque de l'eau de mer par exemple) auxquelles ils sont soumis, en font également des ouvrages critiques. De plus, dans bien des cas, les ouvrages ont été modifiés au cours du temps (superposition de structures par exemple), rendant plus complexe la connaissance de leur constitution et de leur fonctionnement mécanique. Les ouvrages s'inscrivent dans un fonctionnement global du port et chacun d'entre eux a donc un rôle particulier : protections contre la mer, soutènements, chargement et déchargement de marchandises, amarrage et accostage, etc. Les enjeux liés à l'utilisation des ouvrages, qu'ils soient économiques, touristiques, environnementaux (maintien du trait de côte par exemple), voire même de sécurité publique (lutte contre les submersions marines par exemple), conditionnent donc les modalités de gestion d'un parc d'ouvrages. Les conditions météo, de marée et d'accès ainsi que le fait qu'une grande partie des ouvrages soient constamment immergés constituent enfin des contraintes qu'il convient d'intégrer dans les modalités de surveillance de ces ouvrages.

1.3 Besoins

La problématique portuaire conduit à la nécessité de structurer le parc des ouvrages portuaires afin d'élaborer une stratégie de surveillance et de maintenance qui facilite notamment le dialogue entre les multiples acteurs des ports : maître d'ouvrage, gestionnaire, concessionnaire, capitainerie, etc. tout en tenant compte des enjeux liés à l'utilisation des ouvrages. Les conditions de gestion conduisent également à remettre en cause la systématisation, lourde et coûteuse, des inspections détaillées et à s'orienter vers des démarches optimisées sur le plan technico-économique. Enfin, les spécificités portuaires requièrent une méthodologie de surveillance qui soit adaptée à la variété des structures et aux conditions d'accès difficiles et qui tienne compte des conditions de sécurité de l'exploitation des ouvrages.

2. Présentation de la méthode VSC

La méthode VSC consiste à évaluer tous les ouvrages d'un patrimoine selon trois axes indépendants (CETMEF, 2011) : un axe mécanique pour évaluer la fonction mécanique de l'ouvrage, un axe d'usage pour évaluer le confort et la sécurité des usagers et un axe stratégique pour évaluer l'importance de l'ouvrage au sein du patrimoine (figure 1). Chaque axe est lié à un indice : indice d'état mécanique (IEm), indice d'état d'usages (IEu) et indice stratégique (IS). L'évaluation de l'Indice Stratégique relève de la responsabilité du gestionnaire. L'évaluation des indices d'état (mécaniques et d'usage) s'appuie sur la réalisation de visites simplifiées comparées. Les visites sont dites simplifiées car elles sont de courte durée et sont ciblées sur les points critiques des structures constituant les ouvrages. L'analyse croisée des différents indices permet alors de définir des priorités d'actions (surveillance, études, maintenance) nécessaires d'une part à la meilleure connaissance des ouvrages et d'autre part à leur remise en état.

Figure 1. Principe d'évaluation des ouvrages selon trois axes.

Le déploiement de la méthode VSC s'articule autour de plusieurs étapes. La *structuration du patrimoine* (1^{ère} étape) comprend le recensement des ouvrages, de leur localisation et de leur fonction d'utilisation. Elle conduit au classement des ouvrages en groupes et familles et améliore ainsi la lisibilité du patrimoine en termes de connaissance fonctionnelle et d'enjeux. L'indice stratégique (IS) est évalué à l'issue de ce travail. La *décomposition des ouvrages en objets* (2^{nde} étape) permet de tenir compte des structures de génie civil constituant les ouvrages et qui conditionnent leur comportement mécanique et leur vieillissement. Cette étape comprend également l'affectation, à chaque objet, d'éléments d'usages, ensemble des dispositifs permettant d'assurer le confort et la sécurité des usagers. La réalisation périodique de *visites VSC* (3^{ième} étape) des ouvrages constitue la phase opérationnelle de la méthodologie. Ces visites portent sur l'ensemble des objets constituant chaque ouvrage et permettent d'identifier d'éventuelles anomalies sur les structures et les éléments d'usages. Une visite VSC n'est pas une inspection détaillée ni une auscultation spécialisée. En revanche, elle

Thème 4 – Ouvrages portuaires et offshore

pourra conclure à la nécessité d'une inspection détaillée ou d'investigations complémentaires en cas d'anomalie ou de doute sur l'intégrité de l'ouvrage. L'évaluation (4^{ième} étape), pour chaque ouvrage et chaque objet, d'un indice d'état mécanique (IEm) et d'un indice d'état d'usages (IEu), s'appuie sur une bibliothèque d'identifiants constituant une grille d'aide à la cotation. La méthode définit quatre niveaux d'indices fonctions du niveau d'endommagement, de la nature et de l'échéance de l'action à mettre en œuvre (tableau 1). L'identification des actions (5^{ième} étape) nécessaires à la remise en état des ouvrages et des objets découle directement de l'évaluation précédente. La définition des priorités d'intervention (6^{ième} et dernière étape) constitue la phase ultime du déploiement de la méthode. Elle résulte de l'analyse croisée des indices d'état (IEm, IEu) et de l'indice stratégique (IS).

Tableau 1. Principe d'évaluation de l'état des ouvrages.

	Évaluation de l'état		Actions		
IE	Mécanique	Usage	Niveau	Type	Echéance
1	Désordres mécaniques graves – Risque de ruine immédiate	Problèmes de sécurité immédiate	Mise en sécurité immédiate		Immédiat
2	Désordres mécaniques graves sans risque de ruine immédiate	Situation créant des difficultés d'exploitation	Renforcement ou réparation	Curatif	Court terme
3	Dégradation des matériaux ou désordres mécaniques sans gravité	Situation créant des problèmes d'inconfort	Entretien spécialisé ou réparation	Préventif	Moyen terme
4	Bon état structurel	Bon état des éléments d'usage	Entretien courant		Long terme

3. Evaluation stratégique

La connaissance exhaustive de l'étendue du patrimoine, de l'utilisation des ouvrages et des enjeux associés constituent un préalable indispensable à l'évaluation stratégique. Ces données permettent d'organiser le patrimoine et de hiérarchiser les ouvrages entre eux. L'évaluation de l'indice stratégique (IS), qui caractérise l'importance de l'ouvrage au sein du patrimoine, relève de la responsabilité du gestionnaire. Par analogie avec les indices d'état, l'échelle d'évaluation de l'indice stratégique varie de 1 pour les ouvrages très stratégiques à 4 pour les ouvrages peu stratégiques. Pour l'aider dans cette démarche d'évaluation, la méthode VSC s'appuie dans un premier temps sur le classement des ouvrages en groupes et familles selon l'utilisation des ouvrages

(tableau 2). En distinguant par exemple les ouvrages de protection contre la mer, des ouvrages de chargement et de déchargement, la structuration du patrimoine par fonction d'utilisation, permet de mieux apprécier les enjeux liés aux ouvrages et améliore la lisibilité du fonctionnement global du port.

Tableau 2. Exemple de groupe et familles.

Groupe	Famille	Description
<i>Protection contre la mer</i>	<i>Protection contre les submersions</i>	<i>Ouvrages implantés en bordure de littoral ou à l'intérieur des terres et protégeant les zones arrières des submersions</i>
	<i>Ouvrages de protection de plan d'eau</i>	<i>Ouvrages abritant ou protégeant un plan d'eau de la houle ou du clapot</i>
	<i>Ouvrages de maintien du trait de côte</i>	<i>Protection, maintien et fixation du trait de côte</i>

Dans un second temps et pour affiner la prise en compte des enjeux liés à l'utilisation des ouvrages (enjeux économique, touristique, patrimoniale voire de sécurité publique), le gestionnaire définit un processus d'évaluation de l'indice stratégique (IS) sur la base de critères tels que la valeur économique de l'ouvrage (valeur ajoutée de la marchandise, valeur équivalente à neuf, valeur ajoutée perdue en cas d'indisponibilité), le type de trafic exploité (passagers, vrac liquide, vrac solide, conteneurs, etc.), la substituabilité de l'ouvrage (report possible sur un autre ouvrage en cas de défaillance), la facilité d'intervention sur l'ouvrage etc. A l'issue de cette réflexion, le gestionnaire doit s'assurer de la cohérence géographique et territoriale de son évaluation stratégique (figure 2), (LCPC, 2006).

Figure 2. Cohérence géographique et territoriale de l'évaluation stratégique.

4. Evaluation mécanique et d'usages

Lors des étapes amont de déploiement de la méthode VSC, les ouvrages sont recensés et chacun d'entre eux est décomposé en objets. La décomposition se fait transversalement (figure 3) et longitudinalement. Chaque objet est alors affecté d'une structure et d'éléments d'usages.

Figure 3. Décomposition d'un quai en objets.

4.1 Evaluation mécanique

L'évaluation mécanique vise à s'assurer que l'ouvrage est en capacité à reprendre les sollicitations mécaniques (houle, charges d'exploitation, outillages, etc.) et environnementales (agressivité chimique de la mer, des produits stockés et d'éventuelles pollutions) auxquelles il est soumis. Chaque objet est donc défini par une structure constituée par l'association d'un fonctionnement mécanique et d'un matériau (mur poids en maçonnerie par exemple). Le déploiement de la méthode s'appuie sur un catalogue de structures prédéfinies. Chaque structure dispose d'un identifiant mécanique. Ce dernier constitue la règle de cotation qui permet, à l'issue de la visite VSC, d'évaluer l'indice d'état mécanique (IEm). L'identifiant mécanique comporte une liste des processus de dégradations susceptibles d'être observés sur la structure et la règle de cotation détaillée correspondante. Contrairement à de nombreuses méthodes, ce ne sont pas les désordres individuels qui sont évalués mais leur concomitance (figure 4). A noter que les identifiants mécaniques sont donnés à titre indicatif car l'évaluation relève de la responsabilité du visiteur. Pour les ouvrages dont une partie est immergée en permanence, il convient, lors des phases amont de déploiement de la méthode, de définir si l'observation des seules parties aériennes ou découvrantes à marée basse suffit à l'évaluation de l'état de la structure. Dans le cas contraire, l'évaluation de l'indice d'état mécanique (IEm) nécessite la programmation de visites subaquatiques plus ou

moins ciblées selon la structure : affouillements, désorganisations et cavités dans le cas des structures en maçonnerie par exemple. Pour certaines structures, l'analyse des relevés bathymétriques (régulièrement programmés par les gestionnaires de port) peut être une aide à l'évaluation. En fonction des constatations effectuées lors de la visite VSC et du niveau de l'indice d'état mécanique (IEm), des actions mécaniques sont proposées pour ramener la structure à IEm=4 (tableau 3).

Identifiant mécanique	IEm
<p>Repérer :</p> <ul style="list-style-type: none"> •Inclinaison anormale du parement vers la mer encadrée par des fractures, ... caractérisant un déversement •Défaut d'alignement en plan avec des fractures d'orientation verticale encadrant la zone concernée, ... caractérisant un glissement de pied. •Défaut d'alignement en plan comportant une fracture horizontale avec décalage et encadré de fractures d'orientation verticale, ... caractérisant un glissement différentiel interne. •Affouillement sans cavité. •Bombement associé à une désorganisation profonde des joints de pose, ... caractérisant une décohésion de la maçonnerie. 	IEm=2

Figure 4. Extrait d'un identifiant mécanique (Mur poids en maçonnerie).

Tableau 3. Catégories d'actions mécaniques pour IEm=1 et IEm=2.

Niveau des actions	Indice d'état mécanique	Catégories d'actions	
1	IEm=1	<ul style="list-style-type: none"> • Actions immédiates de mise en sécurité • Diagnostics et investigations complémentaires • Travaux provisoires • Haute surveillance • Travaux de remplacement à l'identique • Travaux de suppression de l'existant 	Actions immédiates de mise en sécurité
2	IEm=2	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnostic et investigations complémentaires • Etudes et recherche de dossiers • Travaux provisoires • Travaux de renforcement des structures et des fondations • Surveillance renforcée • Travaux de remplacement à l'identique • Travaux de suppression de l'existant 	Actions curatives

4.2 Evaluation d'usages

L'évaluation d'usages vise à s'assurer que l'exploitation de l'ouvrage s'effectue dans des conditions qui garantissent la sécurité des multiples usagers du port (marins, dockers, lamaneurs, agents d'exploitation, public, etc.). Chaque objet est donc affecté d'éléments d'usages. Les éléments d'usages sont les équipements et superstructures, sur ou à proximité de l'objet, qui contribuent au confort et à la sécurité des usagers et qui garantissent le niveau de service requis (échelles, défenses d'accostage, garde-corps, signalisation, revêtement de terre-plein, bollards par exemple). Chaque élément d'usages dispose d'un identifiant d'usages. Ce dernier constitue la règle de cotation qui permet, à l'issue de la visite VSC, d'évaluer l'indice d'état d'usage (IEu) de l'élément considéré. L'identifiant d'usages définit les seuils de gêne à l'exploitation et de sécurité. Ces seuils doivent être cohérents avec le niveau de service fixé le gestionnaire. Ce niveau requis d'usages est un compromis entre une exigence trop élevée qui garantirait un confort et une sécurité d'exploitation maximale mais serait trop contraignante en terme d'exploitation et une exigence trop faible qui ne garantirait pas la sécurité des usagers et engagerait sa responsabilité en cas d'incident. En fonction des constatations de la visite VSC et du niveau de l'indice d'état d'usages (IEu), des actions d'usages sont proposées pour ramener l'élément d'usage considéré à IEu=4 (mise en sécurité, travaux provisoires, travaux d'entretien, renforcement, remplacement, suppression).

4.3 Evaluation de l'état des ouvrages

L'évaluation mécanique et d'usage des objets conduit à l'évaluation de l'indice d'état (IE) de l'ouvrage selon les modalités présentées sur la figure ci-après.

Figure 5. Evaluation de l'indice d'état (IE) d'un ouvrage.

5. Etat du patrimoine et planification des actions

A l'issue du déploiement de la méthode VSC, le gestionnaire dispose d'un recensement exhaustif de ses ouvrages et de leur constitution. Il dispose également d'une meilleure lisibilité fonctionnelle grâce à une structuration du patrimoine portuaire en groupes et familles (figure 6). Cette structuration est hiérarchisée à l'aide des indices stratégiques

(IS) pour tenir compte des enjeux. A l'issue d'une campagne de visites VSC, le gestionnaire est en mesure d'apprécier l'état de ses ouvrages grâce aux différents indicateurs que sont IE, IEm et IEu (figure 6). Ces indicateurs pourront être suivis dans le temps et constitueront un outil de restitution et de dialogue avec les différents acteurs du port. Ils peuvent également s'inscrire dans une démarche plus globale de SIG.

L'analyse croisée de l'indice d'état (IE) et de l'indice stratégique (IS) des ouvrages du port permet de définir des priorités d'intervention selon différents niveaux de précision possibles (ouvrage, objet, structure, éléments d'usages). Les modalités de cette analyse sont laissées au choix du gestionnaire. Il peut, par exemple, selon sa politique de gestion, privilégier l'aspect technique (mécanique et usage) par rapport à l'aspect stratégique, ou inversement (figure 7). A ce niveau, tous les choix de gestion sont possibles. Une règle doit cependant être impérativement respectée : les ouvrages d'indice d'état $IE=1$ sont prioritaires quel que soit leur indice stratégique (IS). Cette analyse constitue ainsi un outil d'aide à la décision pour le gestionnaire. A partir d'un tableau de bord des actions et moyennant une estimation du coût de chaque action, il est alors possible d'établir une programmation budgétaire pluriannuelle. Le gestionnaire peut également mener une analyse basée sur les actions à programmer. Sur un patrimoine portuaire, certaines actions sont classiques et répétitives et peuvent faire l'objet de campagnes d'intervention spécifique : changement des échelles, changement des défenses d'accostage, rejointoiement de maçonnerie, relevé bathymétrique, visites subaquatiques, etc.

Figure 6. Connaissance des enjeux et de l'état du patrimoine.

Figure 8. Exemple de choix de gestion.

6. Conclusions

Les premières expériences d'application de la méthode VSC pour la gestion d'un patrimoine d'infrastructures portuaires datent de 2002. Depuis, la méthodologie a été déployée sur différents ports d'envergures et de natures différentes : des ports anciennement d'intérêt national (PIN), des ports sous maîtrise d'ouvrage des régions, et un Grand Port Maritime (anciennement port autonome). Une application récente a également démontré l'intérêt et la pertinence de la méthodologie pour la gestion des ports de plaisance. Enfin, la méthode VSC, déjà appliquée à la gestion d'ouvrages côtiers de maintien du trait de côte et de lutte contre les submersions, est en cours de déploiement sur des patrimoines d'ouvrages hydrauliques (digues et barrages).

7. Références

- CETMEF (2011). *Application de la méthode VSC à la gestion d'un parc d'ouvrages portuaires*. Collection Etat de l'Art, CETMEF, Octobre 2011
- LCPC (2006) *VSC Méthode d'aide à la gestion de patrimoines*. Guide technique, Collection Techniques et Méthodes des laboratoires des ponts et chaussées, LCPC, Août 2006