

Analyse de la performance d'un système d'endiguement complexe Exemple de Châtelailon-Plage

Performance analysis of a complex coastal protection system Example of Chatelaillon-Plage

J. Dugor¹, E. Ageorges², M. Dupont³, J. Baills¹, D. Rihouey¹

¹Casagec Ingénierie, Anglet, dugor@casagec.fr

²SILYCAF, Châtelailon-Plage, e.ageorges@chatelaillonplage.fr

³SILYCAF, Communauté d'Agglomération de La Rochelle, mathieu.dupont@agglomeration-larochelle.fr

Résumé

L'article décrit les principales étapes permettant d'évaluer les performances du système d'endiguement sur la commune de Châtelailon-Plage selon le nouveau décret digue de 2015. Ce site d'étude est particulier car la ville s'est développée sur l'emplacement d'anciens marais endigués. La topographie est donc basse et la zone urbanisée est encerclée entre, d'une part l'océan et d'autre part par les marais rétro-littoraux.

La définition du système d'endiguement doit donc prendre en compte l'environnement des digues de protection qui aura un rôle sur leurs performances.

Tout d'abord, une méthode est mise en place pour définir les niveaux de protection apparents et les niveaux de sûreté de chaque secteur homogène en fonction des différents modes de submersion possibles. Un modèle numérique permet de calculer les sollicitations hydrauliques au pied de chaque ouvrage.

Ensuite, un ensemble d'hypothèses est considéré concernant la performance hydraulique des ouvrages (débordement, franchissement) afin d'évaluer leur niveau de protection apparent ou leur niveau de sûreté. La plupart des ouvrages qui protègent la zone urbanisée de la grande Plage de Châtelailon sont sensibles aux franchissements par paquets de mer. Une analyse sur les niveaux de plage est donc effectuée pour définir les altitudes limites qui garantissent l'objectif de protection affiché.

De plus, une analyse de l'influence des marais rétro-littoraux sur le risque de submersion de Châtelailon a été réalisée et deux scénarios ont été pris en compte : la défaillance fonctionnelle des ouvrages de l'exutoire et un niveau d'eau initial élevé dans les marais.

In fine, cette étude illustre quelques exemples de difficultés techniques qui peuvent être rencontrés pour la définition des niveaux de protection selon la nouvelle réglementation.

Mots-Clés

Système d'endiguement ; marais ; franchissements par paquets de mer ; niveaux de protection ; zone protégée

Abstract

This article describes main steps to assess performance of the Chatelaillon-Plage coastal protection system regarding the new French regulation on hydraulic safety: "decret digue 2015". Main issues on this location is development of the urban area have been done over old dyked marshes. This low-lying town is surrounded between, on one hand by the ocean and on the other hand by marshes.

Thus, the coastal protection system has to take into account the coastal structure surroundings which will have impacts on their performances.

First of all, an original method is set up to define the different apparent protection levels according to the various possible flood modes.

A numerical model is described and allows calculating the hydraulic solicitation at the toe of each coastal structure.

Then, apparent protection levels are defined with assumptions regarding either overtopping or dyke breaches.

Most of the embankments which protect the urbanized area of la Grande Plage de Châtelailon are concerned by waves overtopping.

An analysis on beach level is achieved to define minimal altitude regarding the protection level displayed.

Furthermore, an analysis of the influence of the marshes is carried out to evaluate flood risk on Châtelailon. Two scenarios were taken into account: the failure of the exit gate and an initial high water level in marshes.

Finally, this study illustrates some examples of technical problems which can be observed for the definition of the protection levels according to the new French regulations.

Key Words

Coastal protection system, marshes, wave overtopping, protection level, protected area

Introduction

L'urbanisation de Châtelaiillon-Plage s'est développée en quelques dizaines d'années à la fin du 19^e siècle sur l'emplacement d'anciens marais endigués. Pour ce faire, un perré discontinu en maçonnerie a été aménagé sur l'estran qui était à l'époque constitué d'un « platin » rocheux, localement vaseux, submergé à marée haute, sans véritable plage de sable. Aujourd'hui, le front de mer est constitué d'un ouvrage longitudinal continu et d'une plage sableuse anthropique dont la largeur peut atteindre 100 m sur certains secteurs. Cette plage a été obtenue principalement grâce à 4 rechargements (apports extérieurs) pour un volume total de 580 000 m³ entre 1989 et 2015. L'altitude des terrains urbanisés à l'arrière de la protection côtière est majoritairement inférieure aux niveaux atteints lors de l'événement de référence « Xynthia ».

Depuis le 31 août 2011, le Syndicat Intercommunal du Littoral d'Yves, de Châtelaiillon-Plage, de Fouras et de l'Île d'Aix (SILYCAF) est devenu le gestionnaire des ouvrages du front de mer de Châtelaiillon-Plage qui ont été classés en 2015 (classe B) au titre du décret de 2007. La plage et le talus sableux en arrière intègrent ce système de défense. Sur le secteur Nord, un linéaire de digue de l'ordre de 1 km géré par SNCF Réseau a fait l'objet d'un arrêté de classement différencié (classe B également).

Dans le cadre des actions du Programmes d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI), d'importants travaux ont été entrepris pour conforter la plage et les cordons dunaires qui jouent un rôle primordial dans la défense contre les submersions marines. En effet, la plage connaît une problématique d'érosion régulière, ce qui nécessite un entretien permanent (reprofilage, rechargement, entretien des ouvrages de maintien des ouvrages de protection contre l'érosion...).

De plus, en arrière du front de mer, des marais rétro-littoraux s'étendent sur une superficie d'environ 800 hectares et sur 3 communes. Le Syndicat intercommunal d'aménagement hydraulique (SIAH) des marais de Saint-Jean-Des-Sables est en charge de la gestion des niveaux d'eau dans ces marais. L'exutoire du marais vers l'océan se trouve à Saint-Jean-des-Sables, au Nord du front de mer où des aménagements hydrauliques permettent de réguler le niveau d'eau du marais.

Au 1^{er} Janvier 2018, la communauté d'Agglomération de la Rochelle a pris la compétence GEMAPI et devient gestionnaire des problématiques inondations sur le secteur. Une convention est passée avec le SILYCAF pour assurer la passation de compétence après l'achèvement des travaux en cours.

Dans le cadre du décret digue de 2015, le SILYCAF a produit une demande d'autorisation pour le système d'endiguement complet du front de mer de Châtelaiillon-Plage qui englobe tous les ouvrages du front de mer, la digue SNCF Réseau et de nombreux ouvrages annexes dont la plage, les épis, les brise-lames, les ouvrages hydrauliques de gestion du niveau d'eau du marais et le remblai ferroviaire. C'est dans ce contexte complexe que cet article vise à évaluer l'ensemble de ces éléments et de comprendre comment ils contribuent à la protection de la zone urbanisée.

Description de la zone d'étude

La zone d'étude s'étend sur un linéaire d'environ 4 km de littoral du canal de Saint-Jean-des-Sables (limite Nord) au port de plaisance de Châtelaiillon-Plage (limite Sud). La particularité de Châtelaiillon réside dans sa situation, installée entre l'océan à l'Ouest et les marais à l'Est. Le point culminant de la zone urbanisée entre le port le canal de Saint-Jean-des-Sables ne dépasse pas 9 m NGF et l'altitude moyenne est d'environ 4 m NGF située sous le niveau d'eau de référence (tempête Xynthia : 4,6 m NGF).

Au Nord, le quartier de Saint Jean des Sables est protégé par le perré et par le remblai ferroviaire.

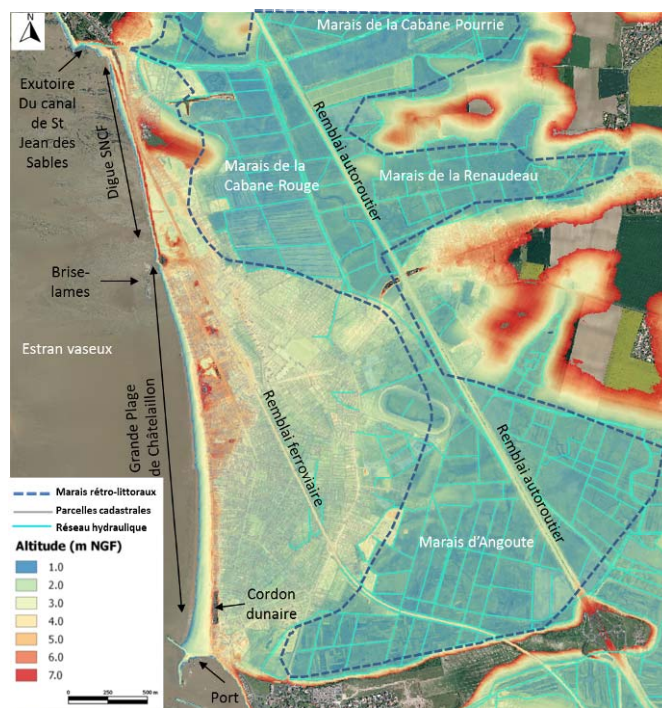


FIGURE 1 : DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone urbaine la plus dense se situe en face de la Grande Plage de Châtelaiillon. Il s'agit d'une zone urbaine littorale en bordure d'une plage sableuse dont la largeur est plus importante au Sud (le long de la digue du port de plaisance) qu'au Nord à l'exception de la zone particulière du brise-

lames construit en 2014 puis réensablée en 2015.

L'estran vaseux sur le secteur est plat et large. À basse-mer, la ligne d'eau peut se retirer à plus d'un kilomètre du front de mer.

Les marais rétro-littoraux qui ceignent la zone urbanisée trouvent leurs exutoires au niveau du canal de Saint Jean des Sables. Hormis le rôle d'irrigation pour l'agriculture, ces marais ont un rôle de stockage en cas de fortes précipitations. Ils permettraient également un ressuyage plus efficace en cas de forte submersion. Une station de pompage près de l'exutoire permet de rejeter à la mer les excédents.

Les zones basses sont délimitées au Sud par la butte des boucholeurs. Au Nord et à l'Est, les terrains sont également plus élevés derrière le canal exutoire des marais. Un remblai autoroutier traverse les marais.

Description des éléments de protection

Le système d'endiguement de Châtelailion (découpé en tronçons homogènes, cf. figure 2) comprend du Nord au Sud :

- Perré en enrochements de St Jean des Sables (Tronçon 1) d'un linéaire d'environ 200 m dont la côte de crête d'ouvrage varie entre 4,9 et 5,1 m NGF. Fonction : protection du système de ressuyage ;
- Digue en maçonnerie « SNCF » (Tronçons 2 à 7) de 1 km et dont l'altitude de crête de digue varie entre 5 et 7 m NGF. Fonction : blocage des entrées d'eau ;
- Digue d'Orbigny (Tronçon 8) de linéaire 375 m et d'altitude de crête entre 7 et 7,4 m NGF. Cette digue est composée d'un perré en maçonnerie et d'enrochements en partie basse. Fonction : blocage des entrées d'eau ;
- Digue de Châtelailion (Tronçon 9 à 14) comprenant un perré en béton avec un parapet chasse-mer de 1 km (tronçons 9 à 11) et dont la crête d'ouvrage varie entre 5,5 m NGF et 7,05 m NGF et un talus sableux (tronçons 12 à 14) de longueur 830 m ayant une altitude de plus de 5,2 m NGF. Fonction : blocage des entrées d'eau ;
- Digue en maçonnerie du Port (Tronçon 15) de 350 m ayant une crête à 6,20 m NGF avec un point bas à 4 m NGF au niveau de l'accès à la jetée. Fonction : protection portuaire et blocage des entrées d'eau.

En plus de ces éléments qui composent le système d'endiguement, des ouvrages annexes permettent d'améliorer les performances de la protection globale. Ils sont énumérés ci-après ainsi que leur description fonctionnelle :

- Les épis du canal de Saint-Jean-des-Sables (Protection des clapets anti-retour) ;
- Le canal de Saint-Jean-des-Sables et les marais (stockage et ressuyage) ;
- La station de pompage avec le système de vannage de Saint-Jean-des-Sables (ressuyage) ;
- Le remblai SNCF (blocage des entrées d'eau) ;
- L'épi du marché (Maintien du sable de la plage) ;

- L'émissaire pluvial de la rue de la Plage (Maintien du sable de la plage et évacuation eaux pluviales) ;
- Le cordon dunaire (tronçon n°13) de Châtelailion-Plage (Blocage des entrées d'eau et maintien du trait de côte) ;
- La Grande plage de Châtelailion (Dissipation de la houle et activités balnéaires) ;
- Le tenon défecteur - épi de l'Eperon au sud de la plage de Châtelailion (Protection contre les vagues et maintien des sables) ;
- Le brise-lames du port (Dissipation de la houle).

L'ensemble de ces éléments constitue le système d'endiguement de Châtelailion –Plage et son environnement.

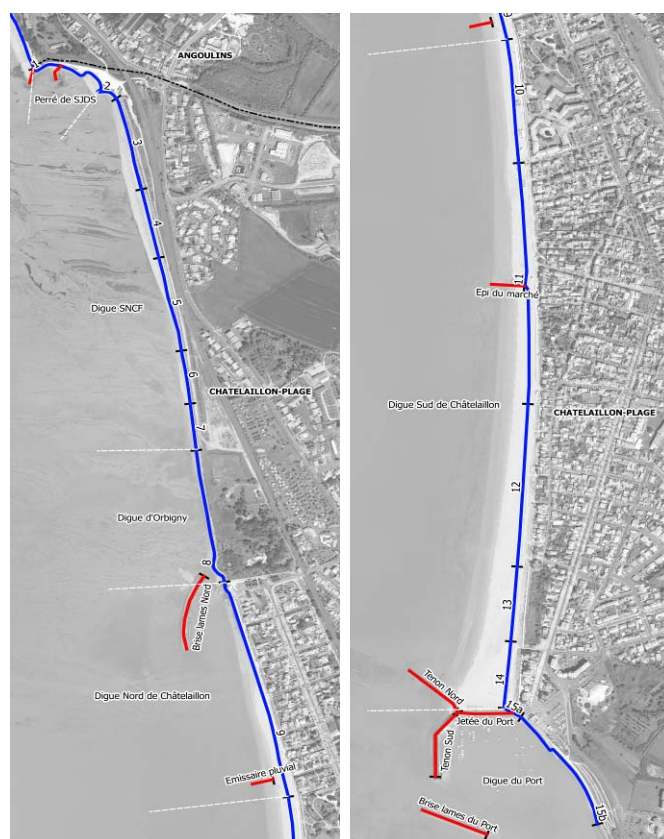


FIGURE 2 : DESCRIPTION DES ELEMENTS DE PROTECTION (EN BLEU) ET DES OUVRAGES ANNEXES (EN ROUGE)

Méthode de calcul des niveaux de protection

Définition des niveaux de protection

Une des nouveautés issues du décret digue de 2015 est que le niveau de protection est apprécié au regard d'un niveau marin. Les composantes de ce niveau marin à considérer ne sont pas précisées et laissent la place à l'appréciation au contexte local.

Pour le secteur de Châtelailion, il est nécessaire de tenir compte de l'effet des vagues à la côte.

Le niveau de protection est alors déterminé par le niveau marin maximal que peut atteindre l'eau sans que la zone

protégée soit inondée en raison du débordement, du contournement ou de la rupture des ouvrages de protection. De plus, la valeur maximale du niveau de protection qui peut être attribuée à un système d'endiguement est donnée par la valeur minimale entre le niveau de sûreté et le niveau de protection apparent du système [4]. Une analyse est donc réalisée par la suite pour déterminer ces deux niveaux.

Détermination du mécanisme d'entrée d'eau le plus probable pour chaque tronçon homogène

Un diagnostic approfondi a été réalisé sur chaque tronçon pour déterminer le mécanisme le plus probable provoquant des entrées d'eau. Dans le cadre de cette étude, six mécanismes d'entrée d'eau sont étudiés :

- Surverse : Comparaison de la cote de crête avec le niveau d'eau statique ;
- Franchissements par paquets de mer : Estimation par les formules de l'Eurotop V2 [8] ;
- Erosion externe : Critère de Pilarczyk [6] ;
- Erosion interne : Règles de Bligh [2] ;
- Glissement du talus côté terre : Analyses des pentes ;
- Rupture de batardeau : Estimation des sollicitations hydrauliques.

Pour les tronçons 1 à 7 et 12 à 15, étant donné que le terrain naturel à l'arrière est équivalent aux crêtes des perrés, les franchissements par paquets de mer sont la source d'entrée d'eau principale dans la zone protégée (cf. figure 3). Ainsi, le niveau de protection apparent de ces tronçons correspond au niveau marin le plus bas entraînant des franchissements par paquets de mer négligeables dans la zone à protéger.



FIGURE 3: EXEMPLE DE FRANCHISSEMENTS PAR PAQUETS DE MER SUR LE PERRÉ DE SAINT-JEAN-DES-SABLES

Pour le tronçon 8 (digue D'Orbigny), les entrées d'eau les plus probables sont issues de la rupture de l'ouvrage par érosion externe. Le niveau de sûreté pour cet ouvrage correspond donc au niveau d'eau le plus bas pouvant entraîner une rupture de l'ouvrage par érosion externe.

Pour les tronçons 9 à 11 (digue du front de mer de Châtelailon), l'entrée d'eau la plus probable dans la zone protégée est le risque de rupture des batardeaux. Le niveau de sûreté pour ces tronçons correspond au niveau d'eau le plus

bas pouvant entraîner une possible rupture des batardeaux. Étant donné la configuration des batardeaux, l'hypothèse de rupture est considérée dès que les franchissements deviennent significatifs (> 1 l/s/m)

Analyse de performance des différents tronçons

Ainsi, pour les tronçons 1 à 7 et 12 à 15, le niveau de protection apparent est le niveau d'eau maximal entraînant des franchissements négligeables (les entrées d'eau par paquets de mer sont limitées et immédiatement évacuées par le système de ressuyage s'il existe : notion de « pieds secs »). L'hypothèse est choisie ici de considérer les franchissements négligeables lorsque les débits sont inférieurs à 0,1 l/s/ml. Cette valeur sécuritaire a été choisie en raison des systèmes de ressuyage inadaptés à contenir des franchissements par paquets de mer.

Pour les tronçons 9 à 11, le niveau de sûreté est le niveau d'eau maximal pouvant entraîner une rupture des batardeaux. La principale cause de rupture de ces équipements est l'impact des vagues. L'hypothèse est choisie de considérer une rupture probable des batardeaux lorsque les franchissements par paquets sont supérieurs à 1 l/s/ml.

Pour le tronçon 8 (digue D'Orbigny), compte tenu de l'altitude de crête de l'ouvrage, les franchissements par paquets de mer sont faibles. Cependant, l'ouvrage est en mauvais état, le risque de rupture par érosion externe est probable. Ainsi, sur ce tronçon, le niveau de sûreté de l'ouvrage est donné par le niveau d'eau le plus bas pouvant entraîner un risque de rupture de l'ouvrage.

Mise en place d'un modèle numérique

L'outil hydraulique bidimensionnel utilisé pour la représentation du secteur de Châtelailon est basé sur le système logiciel TELEMAR. Ce logiciel repose sur la méthode des éléments finis associée à un maillage de calcul constitué de facettes triangulaires de tailles et de formes variables permettant un découpage adapté de la topographie et donc la prise en compte des géométries complexes de la zone d'étude.

Deux modèles hydrauliques ont été réalisés pour représenter la submersion terrestre :

- Un modèle maritime qui permet de représenter les phénomènes marins (marée, propagation des vagues et surcotes de tempête et donc l'emprise englobe l'ensemble des Pertuis Charentais de l'embouchure de la Gironde jusqu'aux Sables-d'Olonne ;
- Un modèle terrestre qui permet de représenter les submersions (par surverse, par franchissement par paquets de mer et par défaillance d'ouvrage) et également les phases de propagation et de ressuyage.

Le maillage déstructuré utilisé par le système TELEMAR permet de raffiner les zones d'intérêt ou comportant des processus hydrauliques complexes (déferlement, surverse d'ouvrage, brèches...) tout en gardant une taille acceptable

sur les zones moins stratégiques ou ayant une topographie simple.

L'objectif est de représenter le plus fidèlement possible la topographie et particulièrement les obstacles (ouvrages de protection, remblais, marais, fossés, etc.) qui vont contraindre la submersion marine tout en gardant des temps de calcul acceptables.

La figure 4 (ci-après) présente l'emprise du modèle numérique. Les zones blanches côté terre correspondent à des altitudes hautes, non franchissables.

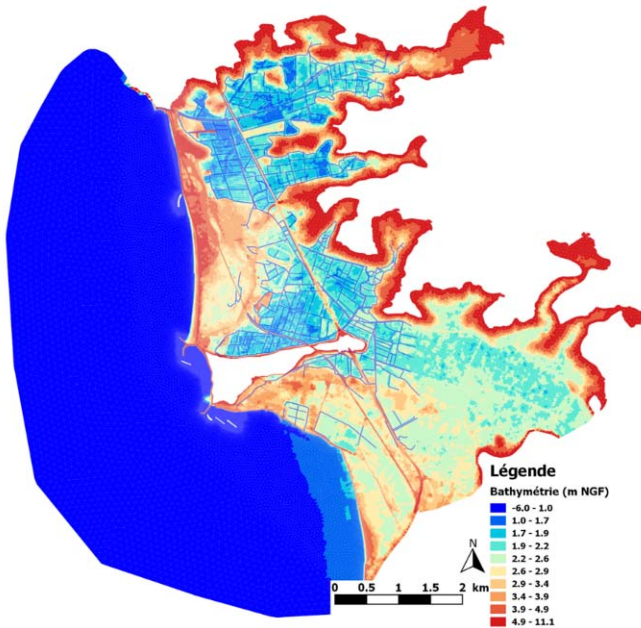


FIGURE 4 : EMPRISE DU MODELE. L'ECHELLE DE COULEUR REPRESENTE L'ALTITUDE (M NGF).

Définition des scénarios de modélisation

Les niveaux d'eau extrêmes correspondent à la combinaison des niveaux de la marée astronomique et aux surcotes dépressionnaires. Le SHOM et le CETMEF [7] ont produit en 2012 une étude complète sur les statistiques des niveaux d'eau extrêmes sur la façade Manche et Atlantique et donc notamment au niveau du marégraphe de La Rochelle-La Pallice (port de référence de la zone d'étude). Pour prendre en compte les périodes de retour des événements historiques, les récents travaux de Bulteau [3] ont permis d'actualiser ce travail.

Les données d'états de mer au large du pertuis d'Antioche issues de la base de données ANEMOC [1] sur une période de 23 ans ont été analysées afin d'étudier la climatologie extrême.

Le CETMEF [5] préconise une méthode pour définir la période de retour d'un événement global combinant un état de mer extrême et un niveau d'eau extrême en fonction de leur dépendance.

Ainsi, 12 scénarios ont été définis correspondant à 4 périodes de retour particulières (1 an, 10 ans, 100 ans et 1 000 ans)

avec trois scénarios par période de retour, afin d'avoir des combinaisons ayant des vagues importantes concomitantes à des niveaux d'eau plus faibles et inversement.

Calcul des franchissements par paquets de mer

Les scénarios combinant niveau d'eau et houle ont ainsi été simulés grâce au modèle numérique mis en place dans le cadre de cette étude. Pour chaque scénario, la houle et le niveau d'eau au pied de chaque ouvrage est récupéré afin de calculer les franchissements par paquets de mer. Des séries temporelles de volume franchissant les ouvrages sont ainsi créées sur tout le littoral à l'aide des formules ci-dessous [8].

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{mo}^3}} = \frac{0,026 \cdot \gamma_b \cdot \xi}{\sqrt{\tan(\alpha)}} \cdot \exp\left(-2,5 \cdot \frac{R_c}{H_{mo}} \cdot \frac{1}{\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_p \cdot \xi}\right)^{1,8}$$

Avec : $S_0 = \frac{2\pi \cdot H_{mo}}{g \cdot T_m^2 \cdot (1 - \xi)}$ la cambrure des vagues et $\xi = \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{S_0}}$ le paramètre de déferlement.

Les coefficients $\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_p$ représentant respectivement les facteurs d'amortissements correspondant à la présence d'éventuelles bermes, la rugosité des revêtements des ouvrages et l'influence de l'angle d'incidence des vagues. Les bermes et l'incidence des vagues ne sont pas des facteurs d'amortissement ne permettent pas d'amortir les vagues à la côte, ces facteurs sont donc égaux à 1 pour l'ensemble des tronçons. Pour la rugosité, le tableau suivant donne les principales valeurs utilisées en fonction des protections.

TABLEAU 1 : COEFFICIENTS DE RUGOSITE POUR LE CALCUL DES FRANCHISSEMENTS PAR PAQUETS

	Perré en maçonnerie	Enrochements imperméables 1 couche	Talus sableux
Coefficients de rugosité γ_f	1	0,6	0,9

Détermination du niveau de protection du système d'endiguement

Cette méthode a ainsi permis de définir un niveau de protection apparent ou un niveau de sûreté minimal par tronçon homogène. Le niveau de protection global du système d'endiguement de Châtelailon est le niveau le plus faible entre les niveaux de protection apparents et les niveaux de sûreté des différents tronçons du système d'endiguement. Le niveau de protection retenu est un niveau marin de 3,3 m NGF. Ce niveau est peu élevé au regard de l'événement de référence Xynthia, 1,2 m plus haut.

Définition des zones protégées

La zone protégée potentielle est la zone soustraite à l'inondation qui serait causée par la submersion correspondante niveau de protection global sans système

d'endiguement. La zone protégée réglementaire étant librement fixée par le gestionnaire au sein de cette dernière. Une modélisation a donc été réalisée pour une configuration sans ouvrage et avec le niveau de protection global déterminée ci-avant de 3,3 m NGF.



FIGURE 5 : EMPRISE DE LA ZONE PROTEGEE UN NIVEAU DE PROTECTION DE 3,3 M NGF

Afin de caractériser les venues d'eau dangereuses en fonction des sollicitations hydrauliques, et en raison de l'hétérogénéité des ouvrages sur le linéaire d'étude, 3 niveaux marins ont été testés (3,3 ; 3,5 et 3,9 m NGF). Le niveau marin de référence du Plan de Prévention des Risques (PPR) a également été simulé. Les différentes cartes de venues d'eau réalisées permettent ainsi d'aider le gestionnaire pour l'organisation des situations de crise.

Étude de sensibilité aux différents niveaux de plage

Afin de comprendre la dynamique évolutive de la Grande Plage, une série de 37 topographies de 1991 à 2016 a été analysée. La plage de Châtelailon connaît une érosion chronique qui peut varier en fonction des conditions météoro-océaniques. Le comportement de la plage n'est cependant pas homogène en raison notamment d'une dérive littorale Nord-Sud. En effet, le secteur Nord (tronçons 9 à 11) est en érosion alors qu'au contraire, le secteur Sud de la plage (tronçons 12

à 14) est en engraissement.

Ainsi des travaux de rechargements et de reprofilage sont effectués sur les secteurs Nord pour maintenir un certain niveau de plage. Des topographies de contrôle sont ainsi réalisées régulièrement, notamment après les événements tempétueux et un système vidéo a également été mis en place permettant un suivi en continu. Dernièrement, un rechargement important a été nécessaire après les érosions causées par les tempêtes de début Janvier 2018 (Bruno, Carmen et Eleanor).

Dans le cadre de cette étude, deux morphologies de plage type ont été considérées afin d'étudier l'influence des niveaux de sable sur les franchissements par paquets de mer :

- Une situation « engraisée », (situation récente après rechargement de 2015 et opération de brouettage) ;
- Une situation de plage érodée (situation Post Xynthia).

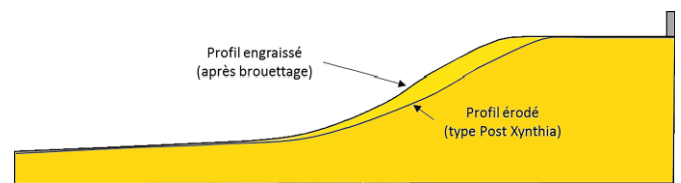


FIGURE 6: PROFILS DE PLAGE TYPE (SANS ECHELLE)

Ces profils types ont été extraits à partir de l'analyse des suivis topographiques depuis 1991.

Pour les deux niveaux de sable étudiés, les franchissements par paquets de mer sont calculés au niveau de la digue de Châtelailon (tronçons 9 à 14) pour plusieurs événements (niveau d'eau et vagues). Un exemple est donné ci-après pour le scénario du niveau de protection apparent 3,90 m NGF.

TABLEAU 1 : INFLUENCE DU NIVEAU DE PLAGE SUR LES FRANCHISSEMENTS PAR PAQUETS DE MER POUR LE SCENARIO DU NIVEAU DE PROTECTION APPARENT 3,90 M NGF :

Franchissement par paquets de mer (l/s/ml)		
Tronçon	Plage engraisée (Situation récente)	Plage érodée (Post Xynthia)
9a	< 0,1	< 0,1
9b	< 0,1	0,3
10	< 0,1	< 0,1
11	< 0,1	0,9
12	< 0,1	< 0,1
13	< 0,1	< 0,1
14	< 0,1	< 0,1

Bien que sur certains profils les franchissements soient négligeables, le volume de franchissement peut évoluer en situation de plage érodée. Le secteur 11, au niveau de l'épi de

la rue du Marché, voit son débit de franchissement augmenter significativement en raison de la faible largeur de plage en situation érodée.

La figure ci-après illustre la différence d'emprise de submersion entre une situation de plage érodée et une situation de plage engraisée pour un niveau marin de 3,9 m NGF.

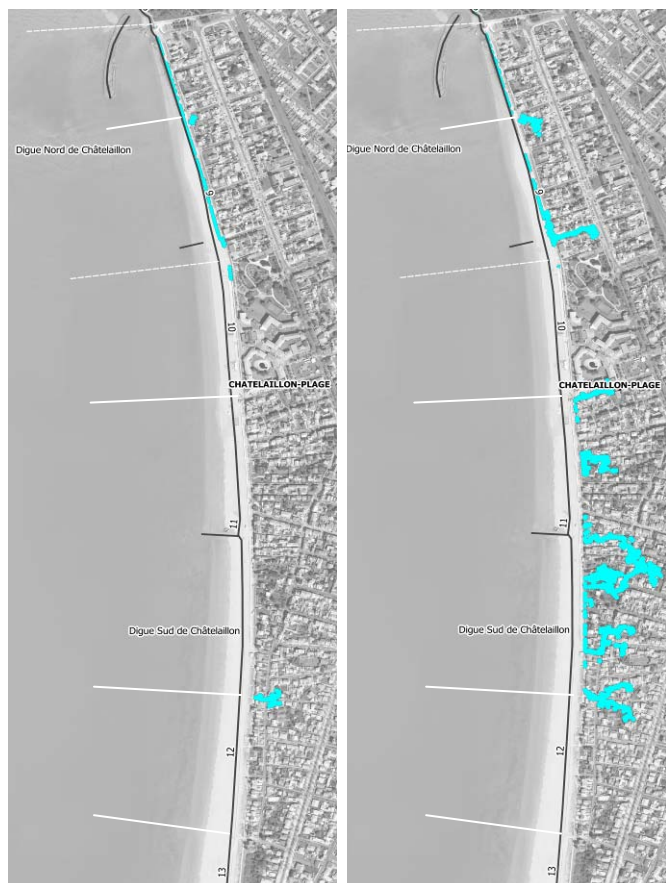


FIGURE 7 : DIFFERENCE ENTRE LES EMPRISES DE SUBMERSION AVEC UNE SITUATION DE PLAGE ENGRAISSEE (A GAUCHE) ET UNE PLAGE ERODEE (A DROITE)

Ce travail montre bien l'intérêt des travaux d'entretien des profils de plage (rechargement et brouettage) et leur influence sur les franchissements par paquets de mer et donc sur les risques de venues d'eau sur le littoral de Châtelailлон. Un travail a donc été réalisé afin de définir les niveaux de sable nécessaire pour garantir l'objectif du niveau de protection affiché. Ces niveaux de sables sont donnés par des profils type donnant des calculs de franchissements par paquets de mer négligeables. Ainsi le gestionnaire peut réaliser ses opérations de reprofilages ou de rechargement de plage en fonction du suivi topographique réalisé.

Analyse de l'influence des marais rétro-littoraux

Les marais rétro-littoraux sont alimentés par un bassin versant de 825 ha et l'exutoire du marais vers l'océan se trouve à Saint-Jean-des-Sables. Le Marais de Châtelailлон est géré avec un niveau unique, fixé à l'exutoire par la station de pompage de Saint-Jean-des-Sables. Les ouvrages présents sur le marais assurent donc un rôle de seuil plutôt que d'étagement de plan d'eau. Ils permettent d'assurer une continuité entre les différents canaux et donc de maintenir la libre circulation de l'eau dans le marais.

Dans le cadre de cette étude, les marais rétro-littoraux sont considérés comme un réservoir de stockage en arrière de la zone urbanisée. En effet, deux modes de submersion des marais sont étudiés :

- Par défaillance fonctionnelle du système de vannage et de la station de pompage de Saint-Jean-des-Sables ;
- Par remplissage via les zones urbanisées.

Dans le premier cas, les marais se remplissent en fonction du niveau marin et du niveau d'eau dans les marais. Une remontée d'eau est alors possible dans les zones agricoles puis dans des zones urbanisées.

Dans le deuxième cas, pour un événement extrême provoquant une inondation de la ville, les marais peuvent jouer un rôle de ressuyage plus ou moins efficace en fonction des niveaux d'eau initiaux.

Afin d'analyser l'influence des marais rétro-littoraux sur le risque de submersion de Châtelailлон, deux scénarios ont été pris en compte :

- La défaillance fonctionnelle des ouvrages de l'exutoire ;
- Un niveau d'eau initial élevé dans les marais (après un épisode pluvieux important par exemple).

Pour le premier scénario, l'ouverture accidentelle ou la défaillance des vannes de la station de Saint-Jean-des-Sables entraîne la submersion (pour un niveau de protection de 3,3 m NGF) de certains terrains agricoles mais aucun enjeu n'est impacté (cf. figure 8).



FIGURE 8: DIFFERENCE ENTRE LES EMPRISES DE SUBMERSION AVEC UN FONCTIONNEMENT NORMAL DES VANNES DE LA STATION DE POMPAGE (A GAUCHE) ET UNE OUVERTURE ACCIDENTELLE DES VANNES (A DROITE)

La défaillance fonctionnelle de cette station de pompage n'entraîne pas une augmentation majeure du risque de submersion.

Pour le second scénario, l'influence du niveau d'eau dans les marais ne se fera sentir uniquement en cas de submersion extrême où les volumes d'eau ayant submergés les zones urbaines s'écoulent dans les marais en arrière. Dans ce cas, le ressuyage des marais et des zones inondées prendra plus de temps que dans une situation où les marais seraient à un niveau d'eau « normal ». Le modèle numérique permet de quantifier les durées de ressuyage selon les scénarios.

Conclusion

La réglementation récente, notamment issue du décret digue de 2015, a poussé le gestionnaire à constituer son système d'endiguement avec de nombreux éléments de protection (digue SNCF, canal exutoire du marais, système plage et épis, etc.)

L'élaboration de l'étude de dangers nécessite donc la prise en compte de tous ces éléments pour définir leur rôle et leur influence au regard du risque submersion.

Dans ce cadre, un premier travail non présenté dans cet article, a consisté à définir tous les éléments intégrant le système d'endiguement et les ouvrages annexes qui permettent d'améliorer les performances de la protection.

Ensuite, une méthode a été mise en place pour définir les niveaux de protections apparents et les niveaux de sûreté sur chaque secteur homogène. Elle consiste à définir les modes de submersions les plus probables (surverse, franchissement ou rupture) en fonction des niveaux marins. Afin de calculer les niveaux marins, des statistiques sur les périodes de retour conjointes des combinaisons niveaux marins et hauteur de houle ont été réalisées. Ces différentes combinaisons ont été propagées à la côte grâce à un modèle numérique. Les franchissements par paquets de mer ont ensuite été calculés via les formules paramétriques de l'Eurotop V2 [8]. Une fois les sollicitations hydrauliques connues, les niveaux de protection apparents et de sûreté par secteur homogène ont pu être déterminés et ainsi le niveau de protection global du système d'endiguement défini. Ensuite, des simulations numériques ont été également réalisées pour déterminer les zones de venues d'eau dangereuses en fonction de différents niveaux marins dépassant le niveau de protection, ceci afin d'optimiser la connaissance des phénomènes de submersion et d'optimiser la gestion des situations de crise.

Pour la Grande Plage de Châtelailon notamment, le franchissement par paquets de mer est le mode de submersion principal. Les niveaux de la plage ont ainsi un rôle

déterminant dans les volumes franchissant. Une analyse a été réalisée sur le suivi topographique de la plage réalisé depuis 1991. Les calculs de franchissements par paquets de mer en situation de plage érodée ou en situation de plage rechargée démontrent que la morphologie de la plage joue un rôle significatif dans le risque de submersion. Ainsi, des niveaux de sable nécessaires pour garantir l'objectif du niveau de protection déterminé ont été définis. Le gestionnaire peut alors réaliser ses opérations de reprofilages ou de rechargement de plage en fonction du suivi topographique réalisé.

Enfin, une analyse de l'influence des marais rétro-littoraux sur le risque de submersion de Châtelailon a été réalisée et deux scénarios ont été pris en compte : dans un premier temps, la défaillance fonctionnelle des ouvrages de l'exutoire et dans un second temps, un niveau d'eau initial élevé dans les marais (après un épisode pluvieux important par exemple). Cette analyse a montré que pour un niveau d'eau élevé dans les marais, en cas de submersion avec un niveau marin proche du niveau de protection, l'impact du niveau d'eau dans les marais est négligeable. Cependant, en cas de submersion extrême, certaines parcelles situées en zone basse sont soumises à des niveaux d'eau plus importants.

Cette étude illustre quelques exemples de difficultés techniques qui peuvent être rencontrés pour la définition des niveaux de protection et les zones protégées ans la définition d'un système d'endiguement. La réglementation issue du décret digue de 2015 impose une nouvelle vision de la problématique risque submersion avec la mise en place de nouvelle méthode d'analyse. Ces problématiques qui peuvent être d'ordre technique sont liées à l'environnement du système d'endiguement (plages, typologies de digues, marais rétro-littoraux, etc.) qu'il est nécessaire d'étudier. De plus, ces éléments extérieurs auront également un impact sur l'organisation du gestionnaire qui devra s'assurer qu'il ait à minima une mise à disposition de tous les éléments du système d'endiguement et de leurs ouvrages annexes afin de pouvoir les suivre et les entretenir.

Références

- [1] Benoit M., Lafon F., Goasguen G. (2008). Constitution et exploitation d'une base de données d'états de mer le long des côtes françaises par simulation numérique sur 23 ans. Base ANEMOC en Atlantique – Manche – Mer du Nord. *European Journal of Env. and Civil Eng.*, Vol. 12(1-2), pp 35-50. <https://doi.org/10.1080/19648189.2008.9692994>
- [2] Bligh, W.G. (1910). Dams, barrages and weirs on porous foundations. *Engineering News*, vol. 64, pp 708-710.
- [3] Bulteau T., Idier D., Lambert J., and Garcin M. (2015). How historical information can improve estimation and prediction of extreme coastal water levels: application to the Xynthia event at La Rochelle (France).
- [4] CEREMA (2018). Étude de dangers de systèmes d'endiguement. Concepts et principes de réalisation des études.
- [5] CETMEF (2013). Analyse statistique des niveaux d'eau extrêmes, Environnement maritime et estuarien,
- [6] Pilarczyk K. W. (2000). Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering.

- [7] SHOM, CETMEF. « Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France » Edition 2012.
- [8] Van der Meer J. W., Allsop N.W.H., Bruce T., De Rouck J., Kortenhaus A., Pullen T., Schüttrumpf H., Troch P., Zanuttigh B. (2016). EurOtop II, Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. www.overtopping-manual.com.