



Développement d'un outil d'aide à la gestion des digues de l'île de Ré

**Jérémy DUGOR¹, Hervé RAULT², Emilie TIRARD², Didier RIHOUEY¹,
Julien BAILLS¹, Jentsje VAN DER MEER³**

1. Casagec Ingénierie, SAS, 18 rue Maryse Bastié, 64600 Anglet, France.
contact@casagec.fr
2. Communauté de Communes de l'Ile de Ré, 3 rue du Père Ignace, 17410 Saint-Martin-de-Ré, France.
herve.rault@cc-iledere.fr; emilie.tirard@cc-iledere.fr
3. Van Der Meer Consulting B.V, Ljouwerterdyk 55 A, 8491 ML Akkrum, the Netherlands.
jm@vandermeerconsulting.nl

Résumé :

Le littoral de l'île de Ré est composé d'une soixantaine de kilomètres de protection côtière dont l'exposition et la vétusté sont très hétérogènes. Le retour d'expérience de la tempête Xynthia a montré que l'apparition de la majorité des brèches observées avait été provoquée par les franchissements de paquets de mer ou par les surverses.

Le présent papier décrit le développement d'un outil, partiellement basé sur la modélisation numérique, qui permet de prioriser la surveillance et la maintenance des digues en fonction du risque de franchissement de celles-ci.

Dans un premier temps, plusieurs combinaisons d'évènements extrêmes sont modélisées permettant de propager les vagues à la côte en fonction du niveau d'eau. Ensuite, les éventuels franchissements sont calculés sur chaque tronçon d'ouvrage grâce aux recommandations de la seconde édition du manuel Eurotop.

La création d'un abaque correspondant permet d'évaluer les franchissements par secteur en fonction des conditions prévues.

Mots-clés :

Risque, Alerte, Franchissement par paquets de mer, Surverse, Submersion, Brèche, Digue, Gestionnaire d'ouvrage, Outil d'aide à la gestion, Entretien.

1. Introduction

L'île de Ré, située sur la façade Atlantique française, est protégée par un grand linéaire d'ouvrages (environ 68 km, voir figure 1) dont l'exposition, la typologie et la vétusté varie énormément. Des surveillances sont organisées régulièrement par les services techniques de la Communauté de Communes de l'Ile de Ré en cas de tempêtes.

Thème 7 – Risques côtiers



Figure 1. Localisation de l'île de Ré et des différentes typologies d'ouvrages.

Entre deux tempêtes hivernales, il est parfois difficile d'inspecter l'ensemble du linéaire de protection afin de repérer les zones de faiblesses et ainsi prévenir les risques de brèches. Dans ce contexte, un outil basé sur les prévisions météorologiques et la modélisation a été développé pour recenser les secteurs soumis aux risques de franchissements par paquets de mer ou de surverse. Le retour d'expérience de la tempête Xynthia a mis en évidence que le mode de rupture préférentiel de la plupart des digues a été les franchissements (par paquets de mer ou par surverse).

2. Description de l'outil

2.1 Principe de fonctionnement

L'outil se base d'une part sur la prévision fournie par différents modèles opérationnels (données d'entrée) et d'autre part sur un abaque constitué de plusieurs combinaisons de niveaux d'eau et de vagues qui permettent de ramener les données de prévisions au droit de chaque protection côtière de l'île. Une fois que les conditions hydrodynamiques sont connues au pied des ouvrages, l'analyse des franchissements par paquets de mer ou des surverses permet de déterminer des seuils de risque.

2.2 Données d'entrée

Les prévisions de niveaux d'eau sont fournies par les modèles développés dans le cadre du projet HOMONIM (Historique, Observation, Modélisation des Niveaux Marins) en

partenariat avec Météo France et le SHOM (MICHAUD *et al.*, 2015). Les prévisions de houle sont basées sur le code Wavewatch III qui, grâce aux récentes paramétrisations en eaux peu profondes (ARDHUIN *et al.*, 2010), permet d'étendre le modèle MFWAM (LEFEVRE *et al.*, 2009) déjà utilisé à une échelle régionale, aux zones côtières avec des tailles de mailles de l'ordre de 200 m. Ce modèle de propagation de houle est couplé au modèle de circulation.

Pour des raisons pratiques, les niveaux d'eau récupérés pour la présente étude sont extraits à proximité du marégraphe de La Pallice. Ils tiennent compte des phénomènes météorologiques (vent et pression), de la surcote induite par les vagues et de l'interaction avec les courants.

Les prévisions de vagues sont récupérées sur un point d'extraction au large (point de la bade de données ANEMOC 2697), correspondant aux données d'entrée de l'abaque.

2.3 Création d'un abaque de combinaisons (niveaux d'eau / vagues) et modélisations côtières

Sur la base des travaux d'analyse statistique des conditions de vagues (ANEMOC – BENOIT *et al.*, 2008) et des niveaux d'eau extrêmes (CETMEF, 2013), des probabilités conjointes de couples d'état de mer et de niveau d'eau ont été calculés grâce aux recommandations du CETMEF (KERGADALLAN, 2013) afin de définir un nombre limité d'évènements extrêmes.

En premier lieu, 30 évènements ont été sélectionnés avec des périodes de retour distinctes (1, 5, 20, 50, 100 et 225 ans). Pour chaque évènement, trois directions d'incidence de houle sont considérées (240°, 270° et 300°N). Ainsi, ces 90 scénarios couvrent un large panel d'évènements extrêmes. Ces scénarios ont été simulés à l'aide d'un modèle couplé Telemac-Tomawac (DUGOR *et al.*, 2016) permettant d'obtenir les conditions de houles et les niveaux d'eau au pied de chaque ouvrage. Ces résultats permettent d'évaluer les risques de franchissements par paquets de mer ou de surverse.

A chaque pas de temps, le scénario le plus proche des conditions hydrodynamiques prévues est sélectionné.

2.4 Calcul des franchissements

Dans un premier temps, en fonction du niveau d'eau et des revanches de crête de chaque ouvrage, le risque de surverse est évalué. Ensuite, des calculs de débit moyen de franchissements par paquets de mer sont réalisés en fonction des caractéristiques des structures de protection et des conditions hydrodynamiques en pied d'ouvrage. Les formules fournies par le manuel Eurotop (VAN DER MEER *et al.*, 2016) sont utilisées. Dans cette seconde édition d'Eurotop, de nouvelles avancées permettent d'améliorer sensiblement les prévisions de franchissements par paquets de mer (influence des avant-côtes peu profondes, pentes de perrés très raides, franchissements pour des revanches de crête proche de zéro ou négatives, etc.).

Thème 7 – Risques côtiers

Etant donné la très grande variété de typologies des protections de l'île de Ré, l'application des nouvelles recommandations d'Eurotop sur l'ensemble des ouvrages de l'île fut un réel challenge. Pour chaque digue, il est nécessaire de suivre un arbre de décision (voir figure 2) afin d'appliquer la formule adaptée.

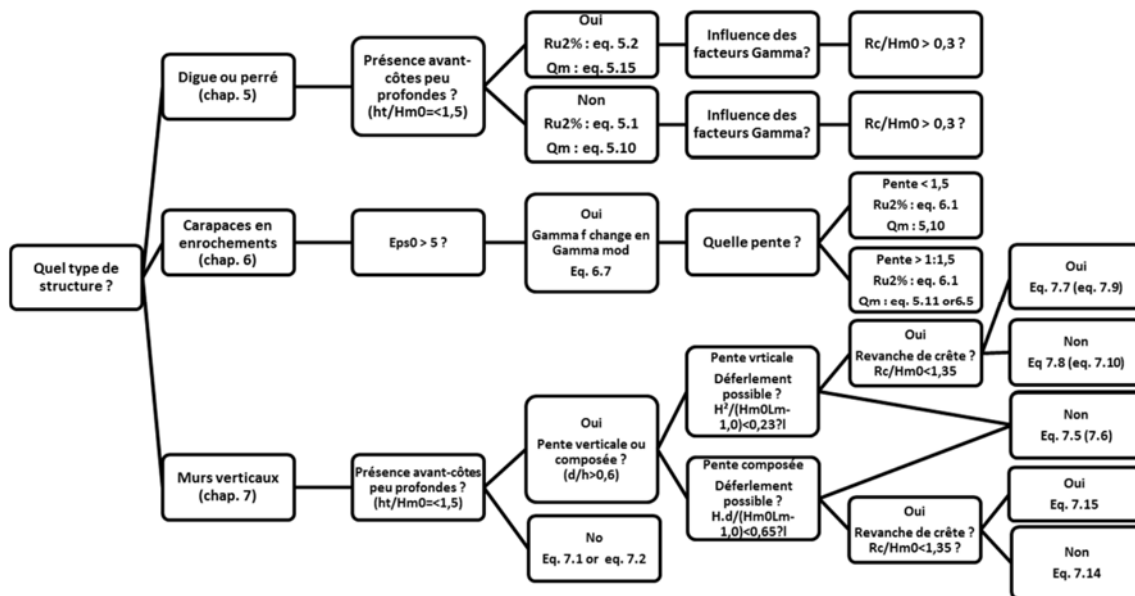


Figure 2. Arbre de décision à suivre pour déterminer la formule à utiliser pour le calcul de franchissements par paquets de mer.

Ce travail a ainsi été réalisé sur l'ensemble du linéaire de protection côtière pour attribuer une formule à chaque protection. Pour certains cas, plusieurs formules sont applicables d'autant plus que les estrans sableux sont perpétuellement en mouvement et peuvent modifier considérablement le comportement de l'impact des vagues sur les structures côtières.

2.5 Définition des seuils de risque

Pour la plupart des digues, la cote d'arase et la protection arrière des digues est déterminée par le débit limite de franchissement des vagues. Le manuel Eurotop donne des valeurs de débits moyens q limite pour différents types de digue. Pour une houle aléatoire, le débit qui franchit la crête peut varier considérablement. Dans certaines circonstances, le volume maximal franchissant V_{\max} peut alors avoir une incidence bien plus forte que les débits moyens critiques.

En accord avec la littérature et le retour d'expérience, plusieurs niveaux de franchissements ont été déterminés (voir tableau 1). Ces différents seuils seront à interpréter de manière différente selon le type de digue concerné par le gestionnaire (digue en maçonnerie, digue en béton, talus enherbé, etc.).

Tableau 1. Franchissements limites pour les digues, brise-lames et perrés utilisés.

<i>Pas de franchissements</i>	<i>Faibles franchissements</i>	<i>Franchissements</i>	<i>Franchissements importants</i>	<i>Surverse localisée</i>	<i>Surverse</i>
$q < 0,1 \text{ l/s/ml}$	$q > 0,1 \text{ l/s/ml}$	$q > 1 \text{ l/s/ml}$	$q > 10 \text{ l/s/ml}$	$Z_{\text{eau}} >$ points bas	$Z_{\text{eau}} >$ altitude de crête

In fine, l’outil donne pour résultats, un niveau de franchissement pour chaque digue de l’île à chaque pas de temps des prévisions.

3. Calage de la méthode et retour d’expérience

3.1 Incertitudes sur les données d’entrée

Afin d’apprécier l’incertitude liée aux prévisions des données d’entrée, des comparaisons ont été réalisées sur les tempêtes du début de l’année 2018. Les données du marégraphe de La Pallice et de la bouée houlographique Oléron sont confrontées aux données des modèles opérationnels (voir figure 3).



Figure 3. Comparaison des hauteurs significatives du modèle SHOM avec les données de la bouée houlographique Candhis Oléron 01704.

Les prévisions de niveau d'eau sont globalement très proches des mesures avec un biais de 9 cm. Concernant les hauteurs significatives, les résultats sont légèrement moins bons avec un biais de 39 cm.

Compte tenu de l’incertitude des données d’entrée, un seuil de détection des niveaux d'eau de 5 à 10 cm est considéré et de 1 m pour les hauteurs significatives de la houle.

Thème 7 – Risques côtiers

3.2 Validation de l’outil avec les tempêtes du début d’année 2018

Afin de valider l'outil, une mise en situation a été réalisée pour les événements du début de l'année 2018. Les données de houle et de niveau d'eau ont été récupérées à partir des résultats des modèles de prévision et sont représentées sur la figure 4.

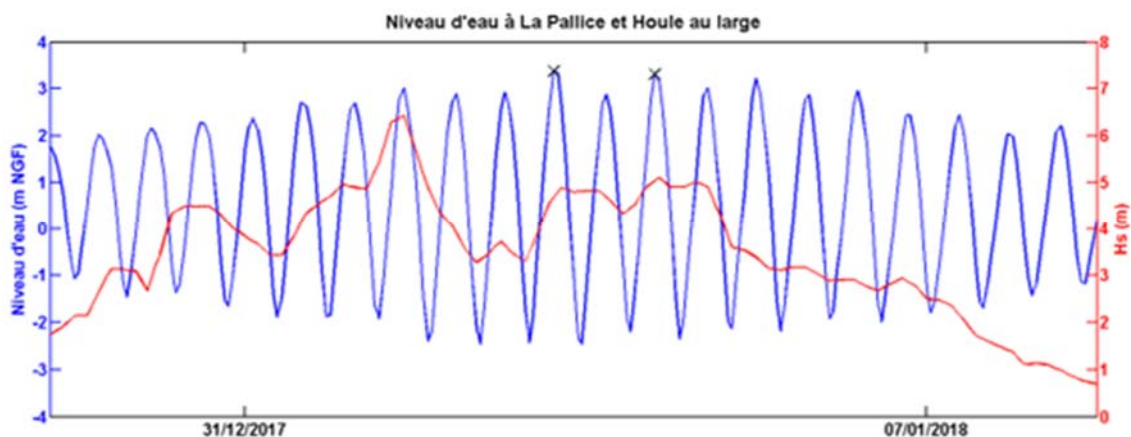


Figure 4. Hauteurs significatives au large (courbe rouge) et niveaux d'eau (courbe bleu) au marégraphe de La Pallice durant l'hiver 2017-2018. Les deux alertes détectées sont localisées par les croix noires.

Entre le 20 décembre 2017 et le 16 janvier 2018, compte tenu des seuils d'alerte, l'outil présente deux alertes :

- Le 03/01/2018 à 4h avec un niveau d'eau de 3,37 m NGF et une houle de 4,68 m ;
- Le 04/01/2018 à 5h avec un niveau d'eau de 3,31 m NGF et une houle de 5,03 m.

Les deux événements sont localisés sur la figure 4. Pour ces deux alertes, une quinzaine de tronçons homogènes présentent un risque de faible franchissement ($q > 0,1$ l/s/m).

Une inspection a été réalisée par les services techniques de la Communauté de Communes de l'île de Ré le 03/01/2018 sur plusieurs secteurs de digues pour apprécier les désordres apparus lors des différents événements. Ce retour d'expérience permet d'apprécier la finesse des prévisions de l'outil. Le tableau 2 compare les prévisions et les observations de terrains sur différents secteurs de l'île.




3.3 Discussion

Bien qu'il soit difficile de quantifier précisément les franchissements sur le terrain, dans l'ensemble, les prévisions de l'outil sont en cohérence avec les observations. Cependant, quelques franchissements observés sur le terrain n'ont pas été prévus par l'outil (par exemple sur le secteur du Pas des huîtres). Ce retour d'expérience permettra dans le futur d'ajuster les formules des franchissements en fonction des secteurs.

*XV^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil
La Rochelle, 29 au 31 mai 2018*

Par ailleurs, ces tempêtes ont généré uniquement de faibles franchissements ($> 0,1$ l/s/m). Il serait intéressant d'appréhender la qualité des prévisions de l'outil sur des volumes de franchissements plus importants

Tableau 2. Exemples de comparaison des observations terrain avec les prévisions de l'outil (source : Communauté de Communes de l'île de Ré).

<i>Secteur</i>	<i>Photographie</i>	<i>Observation</i>	<i>Prévision</i>
<i>Trousse-Chemise (secteur 16)</i>		<i>Passage d'eau en faible quantité</i>	<i>Faibles franchissements ($> 0,1$ l/s/m)</i>
<i>Maladrerie (secteur 103)</i>		<i>Pas de passage d'eau visible</i>	<i>Pas de franchissements prévus</i>
<i>Pas des Huîtres (secteurs 60-61)</i>		<i>Lairesses de mer en crête</i>	<i>Pas de franchissements prévus</i>
<i>Martray (secteur 116)</i>	<i>Pas de photographie</i>	<i>Passage d'eau en faible quantité</i>	<i>Faibles franchissements ($> 0,1$ l/s/m)</i>

4. Conclusions

L'outil mis en place, basé sur un abaque constitué de plusieurs modélisations d'évènements extrêmes, permet d'évaluer le risque de franchissements sur l'ensemble des digues de l'île de Ré. Grâce à cet outil et à l'utilisation des prévisions de modèles opérationnels, le gestionnaire des ouvrages peut organiser la surveillance et l'entretien de son important linéaire de protection. Le calcul des franchissements par paquets de mer est basé sur les recommandations de la seconde édition du manuel Eurotop qui permet de prendre en compte la multitude des spécificités du linéaire d'ouvrage hétérogène de l'île de Ré. Au fur et à mesure des tempêtes, les observations recueillies sur le terrain permettront de valider et d'améliorer les calculs des franchissements.

Thème 7 – Risques côtiers

In fine, cet outil d'aide à la gestion peut également fonctionner en post-traitement. En effet, une ré-analyse statistique peut être effectuée sur une période donnée et ainsi déterminer les tronçons qui ont subi le plus de sollicitations.

5. Références bibliographiques

- ARDHUIN F., ROGERS E., BABANIN A., FILIPOT J. F., MAGNE R., ROLAND A., VAN DER WESTHUYSEN A., QUEFFEULOU P., LEFEVRE M., AOUF L., COLLARD F. (2010). *Semi-empirical dissipation source functions for ocean waves, part I : Definition, calibration and validation*. Journal of Physical Oceanography, Vol. 40, pp 1917-1941. <https://doi.org/10.1175/2010JPO4324.1>
- 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>
- CETMEF (2013). *Analyse des surcotes extrêmes de long des côtes métropolitaines*.
- DUGOR J., RIHOUEY D., VAN DER MEER J. (2016). *Modélisation du risque de submersion marine intégrant les défaillances d'ouvrages. Application à l'île de Ré*. JNGCGC, Toulon. <https://doi.org/10.5150/jngcgc.2016.072>
- KERGADALLAN X. (2013). *Analyse statistique des niveaux d'eau extrêmes. Environnements maritime et estuarien*. CETMEF.
- LEFEVRE J.M., AOUF L., BATAILLE C., ARDHUIN F., QUEFFEULOU P. (2009). *Apport d'un nouveau modèle de vagues de 3° génération à Météo France*. Actes de conférence des Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère. 27-29 janvier 2009, Toulouse, France.
- MICHAUD H., PASQUET A, BARAILLE R., LECKLER F., AOUF L., DALPHINET A., HUCHET M., ROLAND A., DUTOUR-SIKIRIC M., ARDHUIN F., FILIPOT J.F. (2015). *Implementation of the new French operational coastal wave forecasting system and application to a wave-current interaction study*. Proceedings of the 14th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, KeyWest, USA, 2015.
- VAN DER MEER J.W., ALLSOP N.W.H, BRUCE T., DE ROUCK J., PULLEN T., SCHÜTTRUMPF H., TROCH P., ZANUTTIGH B. (2016). *EurOtop, 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.