

# Digue de protection contre la mer de la commune des Moutiers-en-Retz et du SIVOM du Port du Collet

## Prise en compte des remarques de la DREAL sur l'EDD

---

Version 3 du 25/11/2016 (validé avec la CC de Pornic et vu avec la DREAL) suite à la réunion du 14/11/2016

L'ensemble des remarques sont reprises directement dans le corps de l'EDD. Les remarques les plus notables sont discutées ci-après.

### **1. Remarque : réaliser les simulations avec deux cycles de marées**

Les scénarios 1 et 6 avec deux cycles de marées sont présentés en annexe 3.

### **2. Zone protégée**

Les modifications intégrées dans l'EDD sont :

La zone protégée est définie par l'extension maximale des scénarios modélisés.

La zone protégée des tronçons de digue 1 à 13 (comprenant les tronçons de dunes 10 et 11) est représentée en rouge sur la figure suivante. La zone protégée est incluse dans les limites du PPRL. Dans la suite de l'étude cette zone protégée est partagée en 4 cellules de submersion : Hermitage, bourg des Moutiers, Port du Collet et zone des marais.

La zone protégée du tronçon 14 n'est pas représentée. Elle s'étend au Sud sur le département de la Vendée et le territoire de la commune de Bouin.

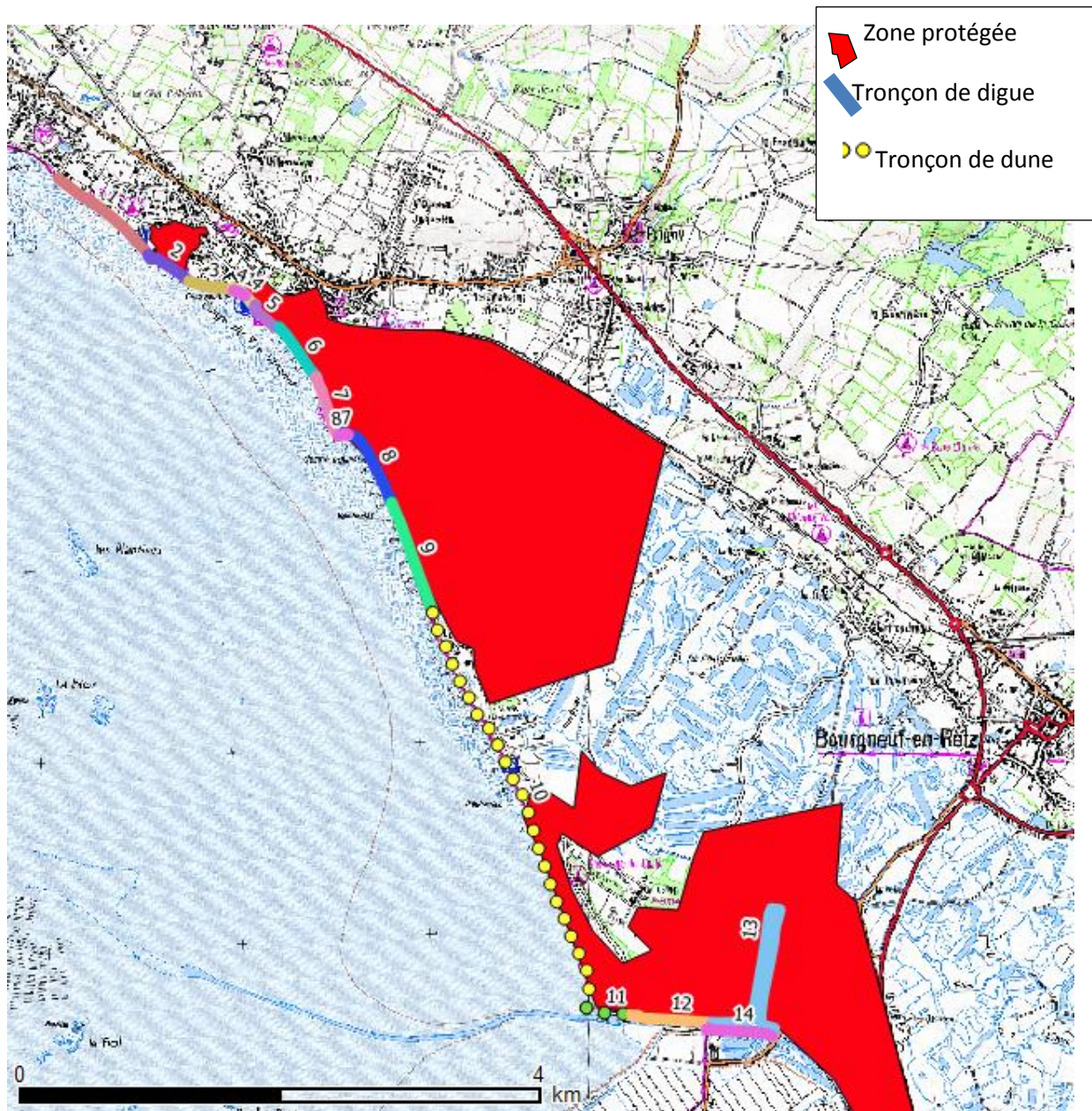


Figure 2-1 : Définition de la zone protégée

### 3. Niveau de protection et de sûreté

#### a) Discussion sur les probabilités d'occurrence des franchissements

Deux méthodes d'estimation des probabilités d'occurrence ont été utilisées.

La méthode générale de croisement d'un niveau statique et d'une houle au large (avec un vent constant) est utilisée sur l'ensemble des secteurs. C'est la méthode présentée dans la version initiale de l'EDD

Sur le boulevard de l'Océan, nous avons, dans un 2<sup>ème</sup> temps, affiné la méthode employée pour mieux prendre en compte l'effet du vent qui s'avère être primordial. Cette méthode est ajoutée dans version 2 de l'EDD. Cette méthode est mise en œuvre uniquement sur le boulevard de l'Océan car cela correspond au secteur où les enjeux sont les plus nombreux et que la définition précise de l'aléa est primordiale.

#### Tous secteurs (sauf boulevard de l'Océan)

Dans l'EDD, nous avons calculé des périodes de retour du couple niveau marin / houle au large. Puis pour ces couples, nous avons calculé les débits de franchissement sur chaque tronçon et avons défini pour chaque classe de probabilité un débit de franchissement correspondant (cf chapitre 8.2.2.2) en retenant :

- Classe 5 (probabilité 1 à 1/10) : valeur maximale des combinaisons de période de retour 10 ans,
- Classe 4 (probabilité 1/10 à 1/100) : valeur maximale des combinaisons de période de retour 100 ans,
- Classe 3 (probabilité 1/100 à 1/1000) : valeur maximale des combinaisons de période de retour 1000 ans,
- Classe 2 (probabilité 1/1000 à 1/10000) : valeur maximale de la combinaison Xynthia

#### Approche sur le boulevard de l'Océan

Nous considérons que la zone en arrière est protégée pour un débit de franchissement de 5 l/s/ml, autrement dit, elle est à « pied sec » en dessous de ce seuil<sup>1</sup>.

**Nous calculons la probabilité combinée des couples vent / niveau de la marée conduisant à ce débit de 5 l/s/ml sur le boulevard de l'océan en situation actuelle et situation projetée (cf annexe 1).**

La forme chasse-mer est prise en compte en considérant qu'elle réduit de 20% le débit de franchissement.

Nous trouvons que :

- **Le niveau de protection associé à l'état actuel est de 1 an**, ce qui correspond à des couples vent-niveau statique de : 25 m/s-3,36 mNGF ou 15 m/s - 3,51 mNF ou 9 m/s – 3,96 mNGF ou 4 m/s – 4,0 mNGF.

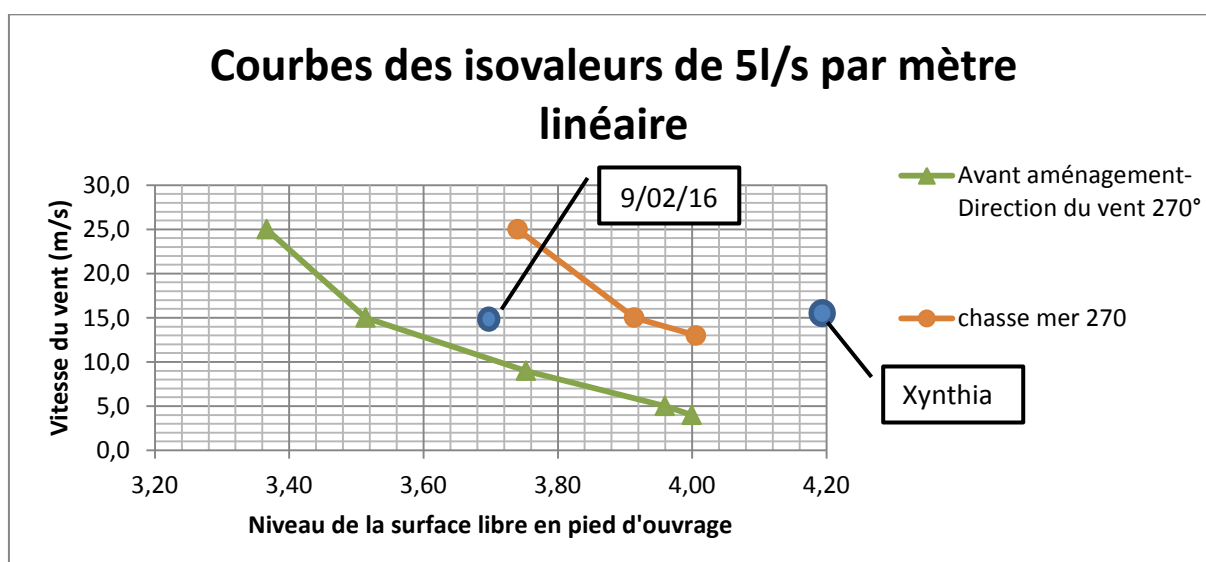
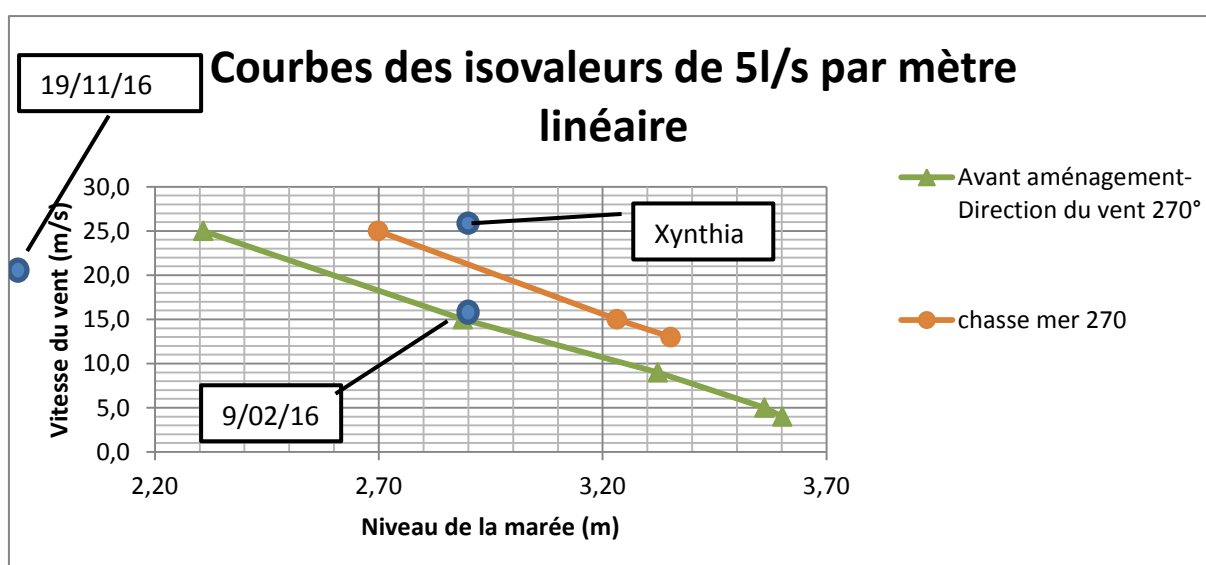
---

<sup>1</sup> Ce seuil de 5 l/s/ml est considéré dans l'EDD initial comme le seuil entraînant un premier niveau d'inondation dommageable. D'autre part, l'évènement du 9 février 2016 a été modélisé à 4,4 l/s/ml avec une légère inondation (en partie liée aux goémons) ce qui nous semble bien corroborer cette hypothèse.

- **Le niveau de protection associé à l'état aménagé est de 18 ans**, ce qui correspond à des couples vent-niveau statique de : 25 m/s-3,74 mNGF ou 15 m/s – 3,91 mNGF ou 13 m/s – 4,0 mNGF.

Nous avons également sur ces graphiques positionnés :

- l'évènement du 6 février 2016 : Niveau de la marée = 2,89 mNGF, Niveau statique en pied d'ouvrage (= au Port du Collet) = 3,70 mNGF et vitesse du vent (16 m/s).
- La tempête Xynthia : Niveau de la marée = 2,91 mNGF, Niveau statique en pied d'ouvrage (= au Port du Collet) = 4,20 mNGF et vitesse du vent (27 m/s).
- Pour exemple tempête du 19/11/2016 (week-end dernier) : Niveau de la marée = 1,8 mNGF, Niveau statique en pied d'ouvrage (= au Port du Collet) = non connu et vitesse du vent (40 nœuds soit 20 m/s).



#### Incidence d'un épisode pluvieux

La pluviométrie journalière associée aux phénomènes de tempête est considérée avec un maximum de 30 mm en se basant sur les évènements connus (cf annexe 1).

En considérant que ¼ du volume ruisselé journalier arrive pendant une durée de marée haute avec un coefficient de ruissellement de 0,4, ce volume peut être comparé aux débits de franchissements franchis (sur 2 heures en fonction de la variation de la marée) :

Secteur	BV (km <sup>2</sup> )	Volume ruisselé pour PJ30 mm	Volume ruisselé pour PJ10 mm	Linéaire de franchissement	Débit de franchissement état aménagé	Volume de franchissement état aménagé
Boulevard de l'Océan	0,4	1200 m <sup>3</sup>	400 m <sup>3</sup>	310 m	5 l/s/ml	11 000 m <sup>3</sup>
Pontereau	2	6000 m <sup>3</sup>	2000 m <sup>3</sup>	20 m	5 l/s/ml	720 m <sup>3</sup>

Sur le boulevard de l'Océan, le volume induit par la pluviométrie est faible à l'échelle des débits de franchissement. Sur le Pontereau, les débits de ruissellement sont importants au regard du débit de franchissement. Leur combinaison peut amener à l'inondation de la zone basse avec un volume de 4000 m<sup>3</sup> de stockage existant avant de toucher les 1ers enjeux surélevés.

## 5. Synthèse

Nous proposons donc de retenir à l'issue de l'EDD, les niveaux de protection suivants.

### Etat actuel

Cellule de submersion	Niveau de protection	Commentaire
Pontereau	10 ans	L'aléa débordement de cours d'eau (ruissellement) est possible sur ce secteur. Il n'est pas intégré dans le niveau de protection défini dans le cadre de la submersion marine.
Boulevard de l'Océan	1 an	Equivalent à des couples vent-niveau statique de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 25 m/s - 3,36 mNGF</li> <li>• 15 m/s - 3,51 mNF</li> <li>• 9 m/s – 3,96 mNGF</li> <li>• 4 m/s - 4,00 mNGF</li> </ul>
Zone des marais	50 ans	Le niveau de protection correspond à la probabilité d'ouverture d'une brèche
Port du Collet	100 ans correspondant à un niveau statique de 3,9 mNGF.	L'effet de la houle n'entre pas en compte.
Falleron	10 ans	Le niveau de protection est fixé par les probabilités d'instabilité d'ensemble et de défaillance des ouvrages traversants. Le niveau de protection pourrait sinon être considéré à 4,20 mNGF (Xynthia)

### Etat projeté

Cellule de submersion	Niveau de protection	Commentaire
Pontereau	Xynthia	L'aléa débordement de cours d'eau (ruissellement) est possible sur ce secteur. Il n'est pas intégré dans le niveau de protection défini dans le cadre de la submersion marine. Ce niveau de protection inonde les parties basses du camping mais elle ne touche pas les bâtiments en dur.
Boulevard de l'Océan	18 ans	Equivalent à des couples vent-marée de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 25 m/s – 3,74 mNGF</li> <li>• 15 m/s – 3,91 mNF</li> <li>• 13 m/s – 4,00 mNGF.</li> </ul> Le niveau de protection en considérant le 3 <sup>ème</sup> niveau de protection fonctionnel (batardeau privé/public, murs privé/public) est > Xynthia.
Zone des marais	50 ans	Pas de modification par rapport à l'état actuel
Port du Collet	Xynthia correspondant à un niveau statique de 4,20 mNGF.	L'effet de la houle n'entre pas en compte.
Falleron	10 ans	Pas de modification par rapport à l'état actuel

## 6. Annexe 1

### a) Objectifs

L'objectif est de déterminer le niveau de protection apporté par les ouvrages de front de mer de Moutiers en Retz.

Selon le référentiel technique des digues fluviales et maritimes, le niveau de protection correspond à la situation dans laquelle *on n'a pas d'entrée d'eau dans la zone protégée (ZP) à travers le système de protection ou dans une quantité limitée et acceptable par le système d'assainissement et de drainage de la ZP (par exemples des embruns ou faibles projections en milieu maritime). La ZP peut néanmoins être inondée par d'autres phénomènes (remontée de nappe, ruissellement, ...).*

Cette définition revient à chercher la période de retour de l'évènement conduisant à un débit de franchissement seuil qui permette de gérer les écoulements à l'intérieur de la zone bâtie et qui ne vienne pas provoquer de désordres au droit de la protection.

A partir de la simulation des situations réelles de crise, un débit de 5 l/s/ml peut être retenu.

### b) Méthode

Plusieurs situations peuvent provoquer un débit de franchissement de 5 l/s/ml. Elles correspondent à des combinaisons entre le niveau statique et la houle en pied d'ouvrage.

Le niveau statique est la résultante de 4 termes :

- La marée
- Le set-up
- La hauteur anémométrique
- La hauteur barométrique.

Le set up et la hauteur anémométrique sont des facteurs dépendant du vent et une relation existe entre vagues en pied d'ouvrage et niveau statique. Les différentes simulations réalisées selon des conditions variables de niveau marin montrent que le set up ne dépend quasiment pas du niveau marin (cf tableaux fin de document).

Par ailleurs, les vagues en pied d'ouvrages sont dépendantes du vent et non de la houle au large. Le tableau reporté en fin d'annexe montre que la hauteur significative en pied en l'absence de vent est faible et dépend du niveau statique et non de la valeur de la houle au large (du moins pour des houles suffisamment importantes).

Nous pouvons donc mettre en limite du modèle une houle océanique moyenne. Elle ne viendra pas influencer les résultats de manière significative pour les valeurs de vent qui sont nécessaires pour occasionner des débits de franchissement de 5 l/s/ml. Pour information, la houle au large en entrée dans le modèle est celle observée lors de l'évènement Xynthia (4 mètres).

Le set up et la hauteur anémométrique sont des facteurs dépendant du vent et une relation existe entre vagues en pied d'ouvrage et niveau statique. Niveau statique et vagues ne sont pas des variables indépendantes mais la marée est indépendante des conditions de vent.

Le vent est également dépendant de la hauteur barométrique mais la relation est difficile à déterminer.

Si on fixe la hauteur barométrique, alors le débit de franchissement dépend seulement des conditions de vent (dont dépendent le set up, la surcote anémométrique et la hauteur de vagues) et le niveau de marée.

Sous condition de fixer une surcote barométrique représentative des évènements de tempêtes, l'estimation d'un débit de franchissement demande donc de combiner les probabilités d'apparition de niveaux de marée et de conditions de vent.

La probabilité d'obtenir un débit de franchissement inférieur à une valeur donnée peut se définir ainsi :

$$P(q < qs) = \int_{h_{min}}^{h_{max}} f(x) \int_{v(h_{min})}^{v(h_{max})} g(v) dv dx$$

où  $\left\{ \begin{array}{l} f(x) : \text{densité de probabilité attachée au niveau de marée} \\ g(v) : \text{densité de probabilité attachée au vent} \\ h_{min} : \text{niveau de marée minimal} \\ h_{max} : \text{niveau de marée maximal} \\ v(h) : \text{relation entre } v \text{ et } h \text{ à } q \text{ fixé.} \end{array} \right.$

Soit la somme :

$$P_{finale} = \sum_{h_{min}}^{h_{max}} dp(h). dh. P(v(h))$$

La probabilité d'obtenir un débit de franchissement supérieur à une certaine valeur passe par l'estimation de la probabilité combinée du vent et de la marée à Moutiers. L'étude statistique est localisée au niveau du Boulevard de l'Océan pour deux directions différentes du vent Ouest et Sud-Ouest et pour deux états de la digue : avant et après le nouvel aménagement.

Les étapes du calcul sont les suivantes :

- Recherche d'une relation entre le vent et le niveau statique à débit de franchissement égal à 5 l/s/ml
- Lien entre le set up et le vent,
- Lien entre la surcote anémométrique et le vent,
- Recherche d'une relation entre le vent et la hauteur de marée à débit de franchissement égal à 5 l/s/ml
- Estimation de la densité de probabilité de la marée
- Estimation de la densité de probabilité du vent
- Probabilité d'obtenir un débit de franchissement supérieur à 5 l/s/ml.

### c) Valeur de la surcote barométrique

Le tableau ci-après présente les pressions issues des cartes de pressions de la base de données de la NCEP (National center for Environmental Prediction, NOAA) à des dates correspondant aux tempêtes connues sur Moutiers en Retz. La pluviométrie est issue de Météociel.

Date tempêtes	Centre de pression hPa	Pression Moutiers hPa	Pluviométrie 24 heures (Saint-
---------------	------------------------	-----------------------	--------------------------------



			Nazaire)
16/11/1940	975	995	
20/02/1969	985	985	
22/23 et 27/02/1971	985	-	
16/10/1987	970	985	1 mm
11/02/1990	965	990	0 mm
27/02/1990 : Vivian	950	>1000	0 mm
10/1994	985		
24/10/1999	980	990	51,6 mm
25/12/1999 Lothar	965	>1000	19 mm
27/12/1999 Martin	965	970	29,4 mm
25/09/2000	>1000	>1000	0 mm
24/01/2009 : Klaus	963	972	20,6 mm
9/02/2009 : Quinten	978	980	6,4 mm
27-28/02/2010 : Xynthia	960	970	12-4,8 mm
16/12/2011 : Joachim	975	995	14,5 mm
25/12/2013 : Dirk	945	990	12,2 mm
1/2/02/2014	960	1010	21 mm (le 1 <sup>er</sup> )
16/09/2015	985	985	10,2 mm
11/01/2016	980	985	11,2 mm
09/02/2016	975	990	15,2 mm
13/02/2016	980	985	6 mm

On constate que le centre des dépressions voit des pressions minimales au passage de la France pouvant aller jusqu'à 945 hPa (Dirk). Sur les 21 évènements, 8 ont des pressions minimales inférieures à 975 hPa.

Le passage des dépressions ayant pu générer des tempêtes en France s'établit du nord de l'Espagne au sud de l'Irlande. Aux Moutiers, sur les 21 tempêtes recensées, 3 montrent des creux de l'ordre de 970 hPa : Klaus, Xynthia et Martin. Les surcotes barométriques sont alors de l'ordre de 40 à 45 cm. La moyenne des surcotes est de 23 cm.

Afin de se placer dans une situation sécuritaire, on considèrera une surcote de 40 cm.

#### d) Estimation de la relation niveau statique/vent à débit de franchissement égal à 5 l/s/ml

Dans un premier temps, différentes conditions combinées sont testées avec le modèle SWAN, qui nous donne le niveau de set up et celui de la surface libre mais également la hauteur et la période des vagues en pied d'ouvrage. Ensuite leur débit de franchissement est calculé grâce à la formulation du TAW. Seules les conditions qui donnent un débit de franchissement égal à 5 l/s/m sont retenues pour la situation avant aménagement.

Ce débit de 5 l/s/ml est retenu comme la limite du « pied sec » par estimation. Ce critère est généralement retenu comme « acceptable » pour une digue enherbée (cf GODA). Il est également basé sur l'évènement du 9 février 2016. Cet évènement modélisé nous indique un franchissement de 4 l/s/ml. Il avait entraîné une légère inondation de la place du Général de Gaulle (notamment du fait de la présence de goémon ayant bouché les grilles d'eaux pluviales).

Le chasse mer augmente de 20% l'efficacité du mur du point de vue des débits de franchissement (cf rapport d'avant-projet §3.5.3). Nous estimons alors que le niveau de protection de 5l/s/ml correspond approximativement à un débit de franchissement de 6 l/s/ml pour un mur droit à cote

identique. Les conditions qui donnent un débit de franchissement égal à 6 l/s/ml avec un mur droit sont alors retenues.

On obtient alors les courbes suivantes :

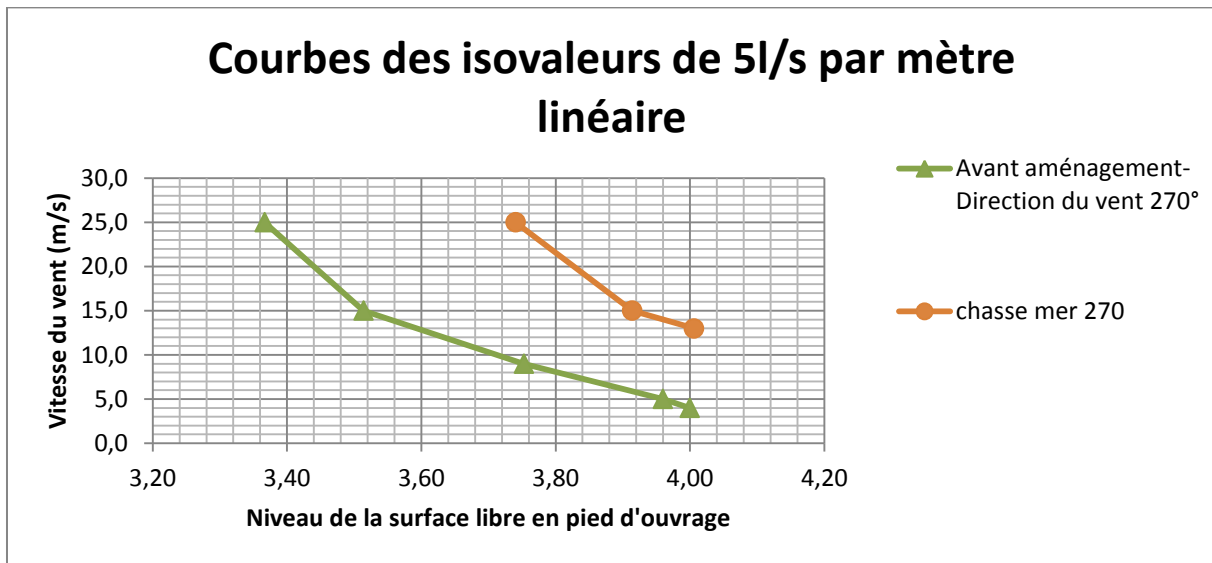


Figure 2 : Relation entre le niveau de la surface libre et la vitesse du vent

### e) Estimation de la relation niveau de marée/vent à débit de franchissement égal à 5 l/s/ml

On estime la valeur de la hauteur anémométrique avec le modèle Télémac.

Il est possible d'estimer alors la hauteur de la marée grâce à la relation suivante :

$$h_{marée} = h_{pied\ d'ouvrage} - h_{set\ up} - h_{anémométrique} - h_{barométrique}$$

On obtient alors les courbes suivantes :

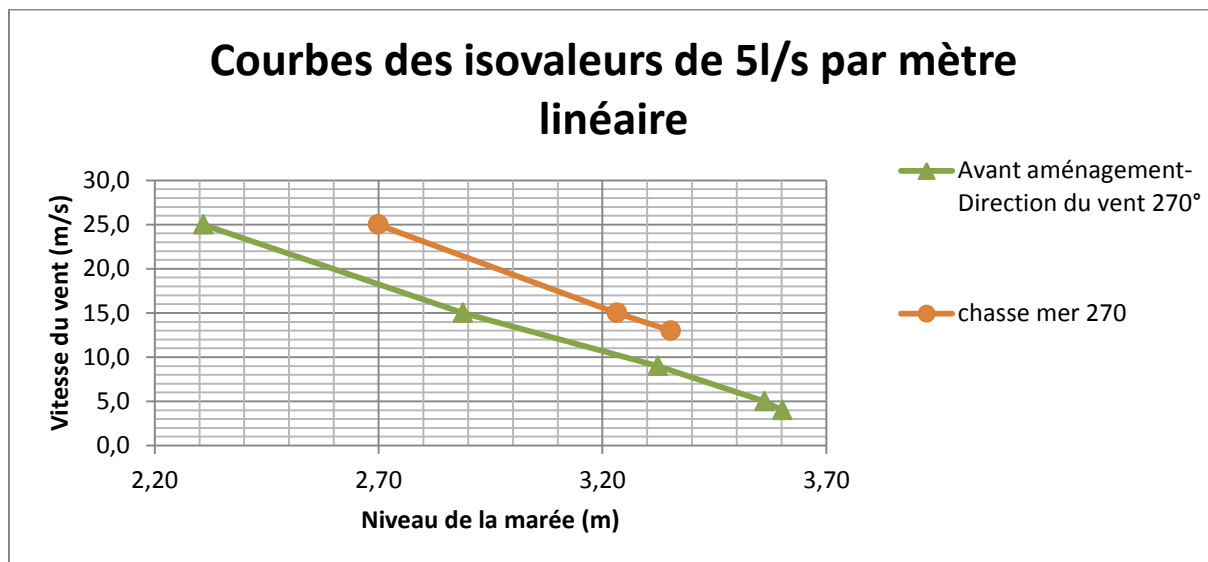


Figure 3 : Relation entre le niveau de la marée et la vitesse du vent

La direction du vent de 270° correspond aux débits de franchissement les plus importants. Dans la situation actuelle, les conditions de débit de franchissement à 5 l/s/ml sont obtenues pour des conditions de vent de marée liées par les relations suivantes :

- Avant aménagement :  $V \text{ en m/s} = -15,908 \text{ hmarée en mNGF} + 61,502$
- Après aménagement :  $V \text{ en m/s} = -19,693 \text{ hmarée en mNGF} + 82,055$

#### f) Densité de probabilité de la marée

La troisième étape est d'estimer la densité de probabilité de la marée à Saint Nazaire et du vent d'ouest et de sud-ouest. La densité de probabilité de saint Nazaire est disponible dans le document de 2012 du SHOM : « Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France (Manche et Atlantique) ».

La densité de probabilité de la marée est approchée par une loi de Weibull de paramètres :  $a=4.5$  et  $b=233$ .

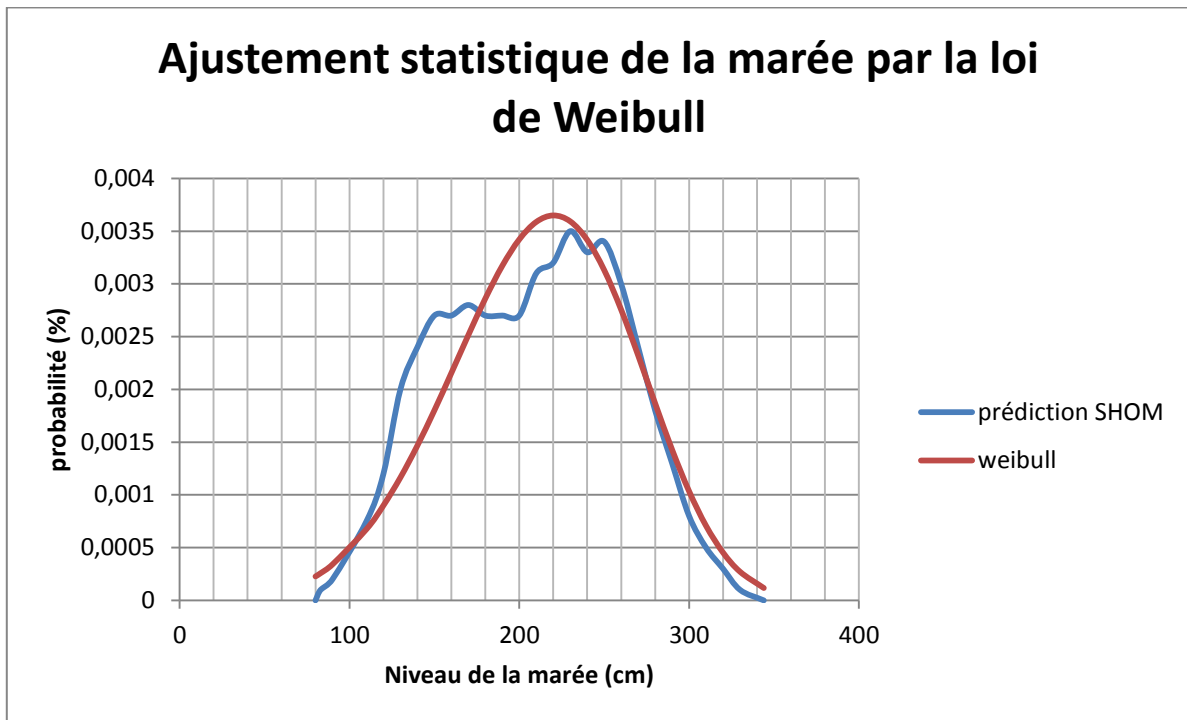


Figure 4 : Densité de probabilité de la marée (source : SHOM, 2012) et son ajustement statistique

#### g) Densité de probabilité du vent

Les vents fournis par la NOAA sont utilisés pour obtenir la densité de probabilité du vent à Moutiers. Dans la série de données, seules sont sélectionnées les valeurs qui ont une direction comprise entre 225 et 270°.

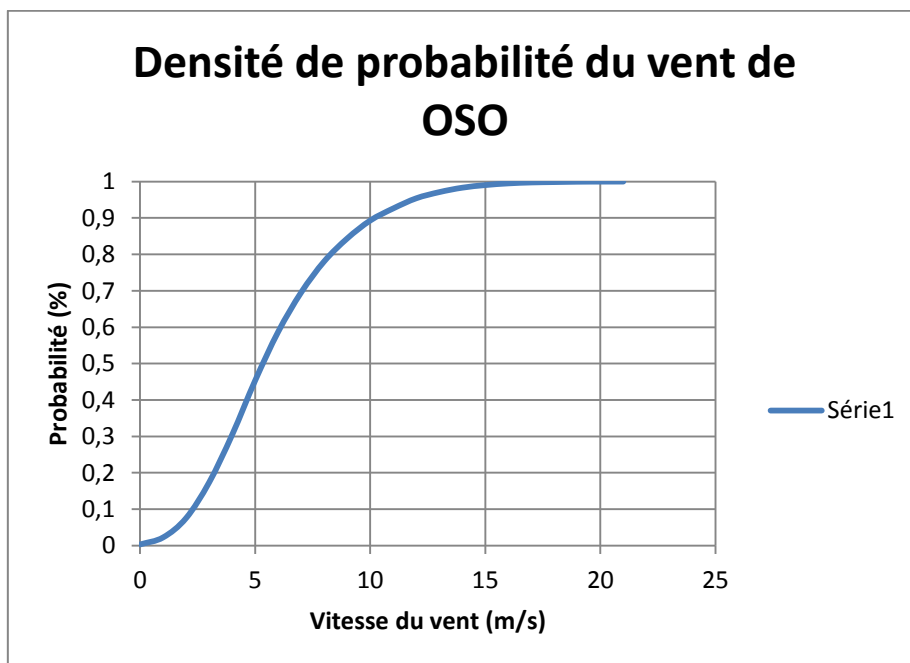


Figure 5 : densité de probabilité du vent OSO (source : NOAA)

L'ajustement statistique du vent suit une loi de Gumbel de paramètres :  $\mu=16.4$  et  $\alpha=1.4$ .

#### h) Etape 4 : Probabilité combinée du vent et de la marée

La dernière étape est de calculer la probabilité combinée des deux variables pour un vent de direction 270° (ouest) étant la condition la plus défavorable pour le franchissement.

La probabilité de franchissement de 5 l/s/m s'obtient en faisant la somme des probabilités conjointes.

	Avant aménagement	Après aménagement
<b>Probabilité finale</b>	0,15 %	0,008 %
<b>Période de retour</b>	1 an	18 ans

### i) Sensibilité à l'hypothèse de surcote barométrique

Si l'on considère la valeur moyenne des surcotes barométriques sur les tempêtes les plus importantes documentées au droit de Moutiers, La période de retour avant aménagement est de 2 ans alors qu'après modification du mur actuel, la période de retour passe à 55 ans.

Pour une faible élévation du niveau statique, la période de retour augmente significativement. La relation entre niveau statique et période de retour explique ce résultat. On rappelle ci après les niveaux de références estimés par le shom :

Période de retour (années)	Niveau aux Moutiers-en-Retz(m IGN69)
10	3,5
20	3,56
50	3,64
100	3,7
200	3,76
1000	3,9

Figure 6-6 : Niveaux extrêmes de pleine mer aux Moutiers-en-Retz dus à la marée astronomique et à la surcote (données du SHOM sans SETUP)

Scénarios simulés			Résultats pour le profil 1				
N° combinaison	Niveau marin (m NGF)	Hauteur de houle au large (m)	Hs (m)	Tp (s)	Setup (m)	Niveau marin Extrême avec setup (m NGF)	Q <sub>overtopping</sub> (l/s/ml)
1	3,12	9,76	0,26	16,06	0,04	3,16	2,5
2	3,3	8,53	0,43	14,16	0,02	3,32	3,6
3	3,5	6,77	0,48	14,16	0,01	3,51	8,9
4	3,12	10,41	0,26	16,06	0,04	3,16	2,5
5	3,34	8,65	0,45	14,16	0,02	3,36	4,7
6	3,56	6,89	0,51	14,16	0,01	3,57	11,3
7	3,12	11,22	0,26	16,06	0,04	3,16	2,6
8	3,38	9,15	0,47	14,16	0,02	3,40	6,6
9	3,64	7,06	0,54	16,06	0,01	3,65	16,1
10	3,12	11,97	0,26	18,22	0,04	3,16	2,8
11	3,43	9,5	0,48	16,06	0,02	3,45	6,0
12	3,7	7,19	0,57	16,06	0,01	3,71	20,7
13	3,12	12,37	0,26	18,22	0,04	3,16	2,8
14	3,47	9,8	0,51	16,06	0,02	3,49	7,9
15	3,76	7,31	0,59	16,06	0,01	3,77	25,2
16	3,12	13,12	0,26	18,22	0,04	3,16	2,9
17	3,56	10,59	0,56	16,06	0,02	3,58	14,1
18	3,9	7,6	0,66	16,06	0,01	3,91	36,7

Résultats des simulations pour le profil 1

Hs : hauteur significative, Tp : période de la houle, set up : surélévation à la côté liée à la houle

Scénarios simulés			Résultats pour le profil 1				
N° combinaison	Niveau marin (m NGF)	Hauteur de houle au large (m)	Hs (m)	Tp (s)	Setup (m)	Niveau marin Extrême avec setup (m NGF)	Q <sub>overtopping</sub> (l/s/ml)
1	3,12	9,76	0,25	7,53	0,09	3,21	2,4
2	3,3	8,53	0,40	5,16	0,08	3,38	2,8
3	3,5	6,77	0,53	5,16	0,07	3,57	9,9
4	3,12	10,41	0,25	7,53	0,09	3,21	2,4
5	3,34	8,65	0,42	5,16	0,08	3,42	3,2
6	3,56	6,89	0,58	5,16	0,07	3,63	16,4
7	3,12	11,22	0,25	7,53	0,09	3,21	2,4
8	3,38	9,15	0,45	5,16	0,08	3,46	4,2
9	3,64	7,06	0,66	1,88	0,07	3,71	26,9
10	3,12	11,97	0,25	6,64	0,09	3,21	2,4
11	3,43	9,5	0,48	5,16	0,08	3,51	5,6
12	3,7	7,19	0,71	1,88	0,07	3,77	37,6
13	3,12	12,37	0,25	6,64	0,09	3,21	2,4
14	3,47	9,8	0,51	5,16	0,07	3,54	8,0
15	3,76	7,31	0,72	1,88	0,06	3,82	49,0
16	3,12	13,12	0,25	6,64	0,09	3,21	2,4
17	3,56	10,59	0,58	5,16	0,07	3,63	16,6
18	3,9	7,6	0,96	2,13	0,05	3,95	96,1
Xynthia	4,2	4,29	1,02	5,16	0,03	4,23	184

Résultats des simulations pour le profil 1 avec vent de type Xynthia