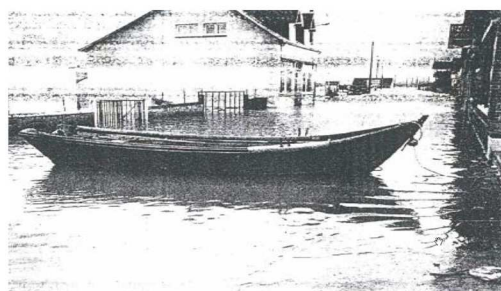


Direction Départementale des Territoires et de la Mer de Seine-Maritime

Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'Inondation du bassin versant de la Saône et de la Vienne

Phase 1.2. : Caractérisation des aléas et des enjeux,
établissement de la cartographie

Volet 4 : Caractérisation de l'aléa submersion marine



Informations qualité du document

Informations générales

Auteur(s)	Camille LEQUETTE, Guillaume GHESQUIERE, Amel MECHROUH, Olivier BRICARD, Merieme BELHADJ
Titre du projet	Plan de Prévention des Risques Naturels Littoraux et d'inondation du bassin versant de la Saône
Titre du document	Phase 1.2 : Caractérisation des aléas et des enjeux, établissement de la cartographie
Date	23/06/2021
Référence	WAJI002A2/LBP32745L

Historique modifications

Version	Date	Rédigé par	Visé par :
V1	10/06/2016	CLe, GGe, AMe	
V2	17/06/2016	CLe, GGe, AMe	JPi
V3	04/08/2016	Mb	OB
V4	19/12/2017	OB	OB
V5	28/09/2019	OB	OB
V6	30/06/2020	OB	OB
V7	12/05/2021	OB	OB
V8	15/06/2021	OB	OB

Table des matières

1 Table des matières

1	Les grandes étapes de la méthode de caractérisation de l'aléa submersion marine.....	9
1.1	Présentation de la zone d'étude.....	9
1.2	Le phénomène de submersion marine	11
1.3	Les étapes de la qualification de l'aléa submersion marine	13
2	Statistique des houles.....	14
2.1	Données disponibles	14
2.2	Climat des houles du large.....	15
2.3	Houles extrêmes.....	21
2.3.1	Détermination des houles extrêmes par secteur directionnel.....	21
2.3.2	Houles extrêmes considérées dans le cadre du PPRL.....	23
3	Etude des niveaux d'eau	25
3.1	Données sur les niveaux d'eau	25
3.1.1	Niveau de référence.....	25
3.1.2	Marée astronomique.....	25
3.1.3	Surcotes et décotes.....	26
3.1.4	Niveaux d'eau extrêmes	27
3.2	Corrélation entre houle et niveaux d'eau.....	32
3.2.1	Présentation de la méthode de CIRIA.....	32
3.2.2	Choix du coefficient de corrélation.....	32
3.2.3	Résultats obtenus.....	33
4	Détermination de l'évènement de référence	35
4.1	Définition de l'évènement de référence	35
4.2	Evènement historique considéré	35
4.3	Caractéristiques de l'évènement historique.....	37
4.3.1	Tempête du 26 février 1990.....	37
4.3.2	Tempête du 10 mars 2008	39
4.4	Comparaisons des périodes de retour	47
5	Propagation des houles du large à la côte.....	48
5.1	Le modèle de propagation des houles	48
5.2	Le profil des fonds	49

5.3	Cas de calculs modélisés	51
5.4	Résultats issus des modélisations numériques	53
5.4.1	Hauteurs significatives.....	53
5.4.2	Wave setup et niveaux d'eau extrêmes	55
6	Digue de Quiberville/Sainte-Marguerite-sur-Mer	56
6.1	Ouvrages sur le littoral d'étude.....	56
6.2	Digue de Quiberville.....	58
6.2.1	Description	58
6.2.2	Gestion des aménagements.....	60
6.2.3	Inspection des aménagements	60
6.3	Détermination du profil de calcul	72
7	Caractérisation de l'aléa submersion marine	74
7.1	Débordements par surverse	74
7.2	Franchissements par paquets de mer	75
7.2.1	Détermination des cycles de marées.....	76
7.2.2	Analyse des résultats sur les volumes de franchissement :	81
7.2.3	Prise en compte de la digue de Quiberville dans la caractérisation de l'aléa et détermination de l'événement de référence	81
7.2.4	Synoptique du modèle	84
7.2.5	Vérification du choix de l'événement de référence retenue.....	84
7.3	Quantification de la submersion marine.....	86
7.3.1	Hypothèses prises en compte.....	86
7.3.2	Estimation quantitative de la submersion marine.....	87
7.4	Qualification de l'aléa submersion marine	89
7.4.1	Paramètres à prendre en compte pour caractériser l'aléa	89
7.4.2	Zoom sur le camping en front de mer	91
7.5	Zones spécifiques disposant d'un sur-classement d'aléa	92
7.5.1	Les bande de chocs mécaniques et de projections.....	92
7.5.2	Bande de précaution lié à la digue de Quiberville.....	92
7.5.3	Localisation des zones spécifiques.....	94
7.6	Qualification de l'aléa submersion marine retenue	95
7.6.1	Aléa très fort.....	95
7.6.2	Aléa fort	95
7.6.3	Aléa moyen.....	95
7.6.4	Aléa faible	95
	Annexes	96

Liste des figures

Figure 1 : Illustration du phénomène de débordement et ou de surverse.....	11
Figure 2 : Illustration du phénomène de rupture.	12
Figure 3 : Schéma de la démarche de définition de l'aléa	13
Figure 4 : Localisation des points ANEMOC disponibles	14
Figure 5 : Rose des houles au large.....	17
Figure 6 : Roses des houles au large par classe de Hs (m)	18
Figure 7 : Diagramme de distribution des occurrences du Hs (m)	19
Figure 8 : Diagramme log de dépassement des Hs (m)	19
Figure 9 : Houles extrêmes au point ANEMOC 3356	22
Figure 10 : Référentiel altimétrique	25
Figure 11 : Niveaux extrêmes de pleines mers en Manche (Nord de la France) – Période de retour de 100 ans (SHOM version 2008 et 2012).....	28
Figure 12 : Période de retour pour les niveaux extrêmes à Quiberville	29
Figure 13 : Correspondance et coefficients de corrélation (Rock Manual, CEREMA, DTECEMF)	32
Figure 14 : Corrélation entre houle au large et niveaux d'eau extrêmes – Evènements centennaux	34
Figure 15 : Marégramme de Dieppe lors de la tempête du 26 février 1990	37
Figure 16 : Analyse des niveaux d'eau à Dieppe lors de la tempête du 26 février 1990.....	39
Figure 17 : Principaux dégâts causés par le passage de la tempête de Mars 2008 « Johanna » sur les côtes bretonnes et de la Manche – Carte (non exhaustive) – (Source : Déclarations de dégâts transmises aux DDE, quotidiens Ouest-France, Le Télégramme et Le Trégor)	40
Figure 18 : Trajectoire de la dépression « Johanna » et situation synoptique au 10 mars 2008 à 06h00 UTC – (source : Météo-France)	40
Figure 19 : Évolution synoptique le 10 mars 2008 entre 06 h 00 UTC et 12 h 00 UTC (source : Météo-France)	41
Figure 20 : Conditions de vent et de pression atmosphérique enregistrées dans les stations de Ouessant et de Penmarc'h entre le 9 mars et le 11 mars 2008 – (source : Météo-France)	42
Figure 21 : Évolution synoptique entre le 10 mars 2008 18 h 00 UTC et le 11 mars 2008 00 h 00 UTC (source : Météo-France)	43
Figure 22 : Evolution des paramètres météorologiques sur le site de Dieppe après le passage d'un petit front froid secondaire le 10 mars 2008 vers 17h45 UTC.....	44
Figure 23 : Surcote à Dieppe lors de la tempête du 10 au 11 mars 2008 ; données SHOM et DDE	45
Figure 24 : Vitesse du vent moyennée (sur 10 minutes) et surcote à Dieppe le 10 mars 2008 ; Données Météo-France	46

Figure 25 : Période de retour des tempêtes du 26 février 1990 et du 10 mars 2008	47
Figure 26 : Localisation du profil de modélisation SWAN1D	49
Figure 27 : Profil de modélisation avec SWAN1D.....	50
Figure 28: Ouvrages littoraux sur le site d'étude.....	57
Figure 29 : Localisation des épis (source : SOGREAH, 2005).....	65
Figure 30 : Caractéristiques des épis (SOGREAH, 2005).....	66
Figure 31 : Schéma de l'ancien clapet vu de l'aval (SOGREAH, 2005) et de la section de la buse	71
Figure 32: Localisation des profils d'étude	72
Figure 33 : Résumé des profils d'étude	73
Figure 34 : Couples Niveau d'eau / Hs des événements centennaux et de l'évènement historique	76
Figure 35 : Analyse des niveaux d'eau à Dieppe lors de la tempête du 26 février 1990.....	77
Figure 36 : Cycles de marées pour l'évènement de tempête du 26-02-1990.....	78
Figure 37: Cycles de marées pour l'évènement centennal n°1 en situation actuelle déterminés statistiquement	79
Figure 38: Cycles de marées pour l'évènement centennal n°8 en situation actuelle déterminés statistiquement	79
Figure 39: Cycles de marées pour l'évènement centennal n°12 en situation actuelle déterminés statistiquement	80
Figure 40 : Cycles de marées pour les événements centennaux en situation actuelle déterminés statistiquement	80
Figure 41 : Démarche simplifiée de prise en compte de digue de Quiberville (guide PPRL, mai 2014)	82
Figure 42 : Localisation de la brèche	82
Figure 43 : Evolution des volumes de submersion pour le cas 8	84
Figure 44: Evolution des volumes de submersion pour le cas 12	85
Figure 45 : Evolution des volumes de submersion pour le cas 13.....	85
Figure 46 : Démarche simplifiée de choix de la méthode de caractérisation de l'aléa submersion marine (guide PPRL, mai 2014).....	86
Figure 47 : Carte d'aléa submersion marine pour l'évènement centennal cas 8 en état actuel .	87
Figure 48 : Carte d'aléa submersion marine pour l'évènement centennal cas 8 à l'horizon 2100	88
Figure 49 : Possibilité de déplacement des personnes en fonction de la vitesse d'écoulement et de la hauteur d'eau (source ; guide méthodologique du PPRLN).....	89
Figure 50 : Vitesse maximale pour une brèche dans la digue pour le cas 8 à l'horizon 2100 (rouge vitesse>1 m/s ; 0.5m/s<orange <1 m/s ; jaune < 1 m/s).....	90
Figure 51 : Définition de la bande de précaution derrière un ouvrage (Guide PPRL, mai 2014)	92
Figure 52 : Altimétrie au droit de la brèche modélisée coté terre	93
Figure 53 : Bandes de précaution et secteur soumis aux chocs de vagues et projections	94

Liste des tableaux

Tableau 1 : Diagramme de corrélation Hs (m) / Dir (°N)	16
Tableau 2 : Diagramme de corrélation Hs (m) / Tp (s) tout secteur confondu.....	20
Tableau 3 : Résultats statistiques au point ANEMOC 3356	24
Tableau 4 : Niveaux caractéristiques de la marée astronomique d'après l'annuaire des marées du SHOM (2014)	26
Tableau 5 : Estimation des surcotes extrêmes de Dieppe (CEREMA, DTECEMF, 2013)	27
Tableau 6 : Bilan des niveaux d'eau extrêmes.....	30
Tableau 7 : Tableau des corrélations pour Quiberville	33
Tableau 8 : Tempêtes sur le littoral de Quiberville (1979 à 2003).....	35
Tableau 9 : Tableau des cas de calculs SWAN 1D.....	52
Tableau 10 : Hauteurs significatives de houle devant le site	54
Tableau 11 : Niveaux d'eau extrêmes devant le site.....	55
Tableau 12 : Etat des épis	68
Tableau 13 : Estimation des franchissements maximum sur chaque zone d'ouvrage, au pic de la pleine mer.....	81
Tableau 14 : Volume de franchissement et niveau marin pour trois événements (cas 8, Cas 12 et cas 13)	84
Tableau 15 : qualification de l'aléa (extrait du guide PPRLN – Mai 2014)	90

1 Les grandes étapes de la méthode de caractérisation de l'aléa submersion marine

1.1 Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de la Saône possède une superficie d'environ 303 km². Ce bassin versant est drainé par trois cours d'eau pérennes : La Saône (33 km), et ses affluents la Vienne (15 km) et le Traversin (2 km). La Saône prend sa source (nombreuses sources) à Varvannes. En période de hautes eaux les sources peuvent apparaître en amont de la RN 29. En période de basses eaux les sources apparaissent au niveau de la Fontaine Saint Sulpice. La Saône dispose d'un bras non pérenne qui remonte des sources jusqu'à Yerville.

Le Traversin (source à 2 km en amont de Val de Saône dans une ancienne cressonnière) conflue avec la Saône au niveau de Val-de-Saône. La Vienne (bassin versant d'une superficie d'environ 97 km²) conflue ensuite la Saône au niveau d'Ambrumesnil. La Saône se jette dans la Manche entre les communes de Quiberville-sur-Mer et Sainte-Marguerite-sur-Mer. Il s'agit d'un fleuve côtier de petite taille, semblable dans sa configuration géologique à d'autres fleuves voisins comme la Scie ou la Varenne.

Des vallons secs peuvent apporter des eaux supplémentaires dans le fleuve lors de conditions hydrologiques particulières.

La figure page suivante présente une localisation de la zone d'étude. Le secteur d'étude est également plus étendu que le strict contour du bassin versant de la Saône. Par conséquent, certaines communes ont vu intégrer l'intégralité de leur territoire dans cette étude.



1.2 Le phénomène de submersion marine

Il existe 3 grands types de phénomènes de submersion :

- Le débordement et la surverse = débordement dans zone basse ;
- La rupture = débordement avec variation de la cote du terrain naturel ;
- Le franchissement par paquets de mer.

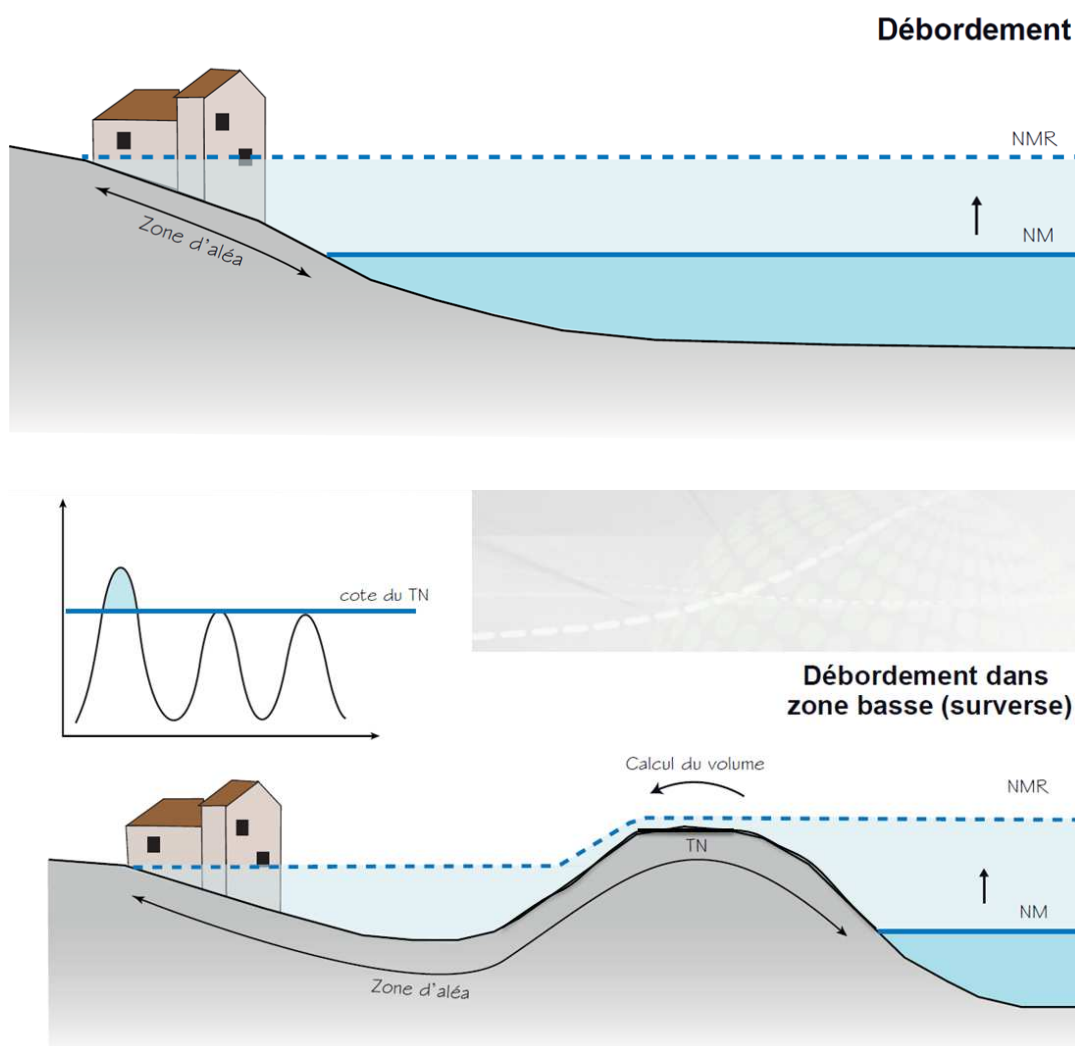


Figure 1 : Illustration du phénomène de débordement et ou de surverse.

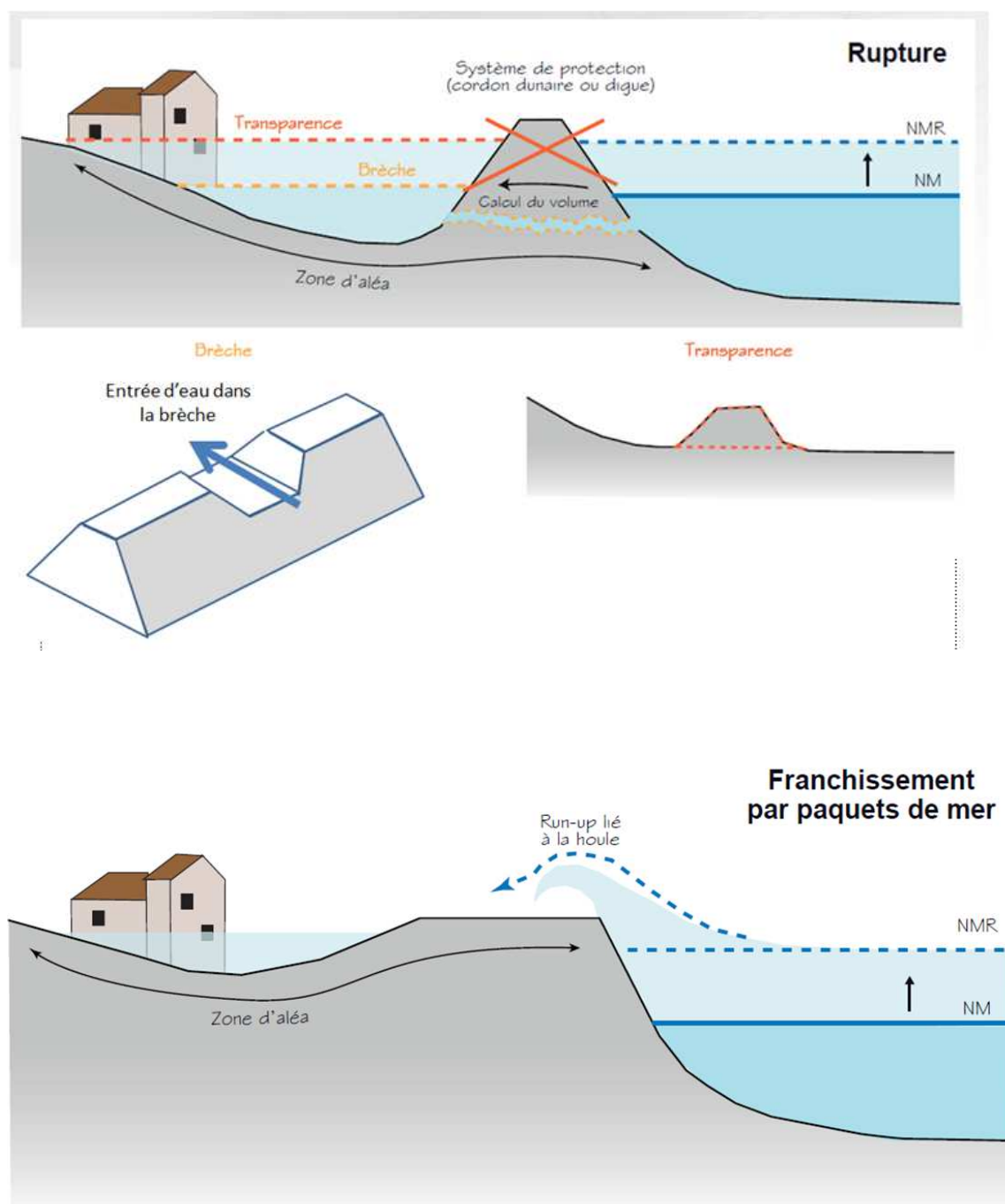


Figure 2 : Illustration du phénomène de rupture.

1.3 Les étapes de la qualification de l'aléa submersion marine

Ce chapitre développe la méthodologie nécessaire à la qualification de l'aléa de submersion marine. La méthodologie est issue du guide du PPRLIN de mai 2014 réalisé par la Direction Générale de la Prévention des Risques. - Service des Risques Naturels et Hydrauliques.
Elle a été adaptée dans le cadre de ce PPRLI par rapport aux spécificités locales et ce, en accord, avec la DDTM 76 et le CEREMA.

La caractérisation de cet aléa submersion passe par 6 étapes à savoir :

Etapes de la définition de l'aléa submersion	Outils spécifiques
1 – Définition des événements à retenir pour l'analyse : tempêtes historiques de période de retour > ou = à 100 ans et événements théoriques de période de retour 100 ans	Analyse statistique
2 – Définition du niveau marin de référence (NMR)	Modélisation maritime pour définir pour chaque tronçon de côte chacun des 2 paramètres référence (les plus contraignant), parmi le panel des événements analysés.
3 – Définition des volumes franchis de référence	
4 – Choix du scénario de référence pour chaque bassin de risque Définition de l'évènement de référence pour chaque tronçon Définition de l'hypothèse de défaillance de la structure de protection de chaque tronçon (si existante)	Modélisation terrestre des volumes entrants à terre
5 – Caractérisation de l'aléa à terre : définition de l'enveloppe de submersion et de ses caractéristiques hydrauliques	
6 – Qualification de l'aléa : Faible / Modéré / Fort / Très Fort	

Figure 3 : Schéma de la démarche de définition de l'aléa

Les étapes techniques 1 à 6 (cf. Figure 3 : Schéma de la démarche de définition de l'aléa) sont décrites dans les chapitres suivants de cette manière :

- Etape 1 : regroupe les chapitres :
 - Statistiques des houles ;
 - Etude des niveaux d'eau ;
- Etape 2, 3 et 4 regroupe les chapitres :
 - Définition de l'évènement de référence ;
 - Propagation des houles du large à la cote ;
 - Digue de Quiberville / Sainte-Marguerite-sur-Mer.
- Etape 5 et 6 : Caractérisation de l'aléa submersion.

2 Statistique des houles

Les houles extrêmes ont été déterminées à l'aide de la méthode P.O.T. (Peak Over Threshold) ou méthode dite du renouvellement par seuil.

Les données de houle disponibles pour les analyses statistiques sont présentées ci-après.

2.1 Données disponibles

Les données de houle utilisées pour notre étude proviennent de l'Atlas ANEMOC (Atlas Numérique des Etats de Mer Océniques et Côtiers) issu d'une collaboration entre le CEREMA, DTECEMF et EDF. Ces données résultent de simulations numériques de houle effectuées avec le logiciel TOMAWAC de la suite logicielle TELEMAC. Grâce à cette base de données, des séries temporelles de valeurs de houle en certains points de la façade Atlantique sont à notre disposition. Ces séries s'étendant sur une période de 23 ans et 8 mois (de Janvier 1979 à Août 2002) avec un pas de temps horaire permettent de réaliser des études statistiques. Elles fournissent entre autre les principales caractéristiques de la houle telles que la hauteur significative H_s , la période T_p , la direction et l'étalement directionnel.

Les points de houles qui nous intéressent dans le secteur d'étude sont présentés sur la figure ci-après :



Source: <http://anemoc.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/carte2/>

Figure 4 : Localisation des points ANEMOC disponibles

Parmi ces trois points intéressants, le point COAST 3356 est celui qui est le plus représentatif du climat des houles au large de Quiberville (secteur de provenance des houles les plus fortes). Ce point servira de données d'entrée à l'étude.

Ainsi, dans le cadre de ce PPRL, il a été analysé les données statistiques de houle disponibles pour le point de houle COAST 3356 situé par 19.1 m de fond.

Comme il est indiqué sur le guide méthodologique du PPRL, nous utilisons les données de houle ANEMOC à défaut de mesures in situ réalisées sur une durée suffisamment longue pour établir des statistiques de houles extrêmes au large du site. Toutefois, nous attirons l'attention sur le fait que ces valeurs de houle sont des résultats de simulations numériques et non des mesures réalisées en mer. Ainsi, ces résultats donnent une indication mais présentent une marge d'erreur plus grande par rapport à des mesures in-situ réalisées sur une période de temps similaire.

2.2 Climat des houles du large

Les statistiques du climat des houles du large ont été analysées et sont présentées ci-après.

L'analyse des houles du large a été réalisée au point de houle COAST 3356 (par 19.1 m de fond).

Une analyse d'histogrammes et de corrélogrammes, H_m0/Dir et H_m0/T_p a été réalisée.

Le diagramme de corrélation H_s (m) / Dir (°N) est présenté sur la figure ci-après.

	[0 - 10[	[10 - 20[	[20 - 30[	[30 - 40[	[40 - 50[	[50 - 60[	[60 - 70[	[70 - 80[	[80 - 90[	[90 - 100[	[100 - 110[	[110 - 120[	[120 - 130[	[130 - 140[	[140 - 150[	[150 - 160[	[160 - 170[	[170 - 180[	[180 - 190[	[190 - 200[	[200 - 210[	[210 - 220[	[220 - 230[	[230 - 240[	[240 - 250[	[250 - 260[	[260 - 270[	[270 - 280[	[280 - 290[	[290 - 300[	[300 - 310[	[310 - 320[	[320 - 330[	[330 - 340[	[340 - 350[	[350 - 360[	CUMUL
[0 - 0,25[	0,98%	1,50%	0,50%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	1,99%	2,51%	1,24%	0,91%	0,75%	0,69%	0,71%	0,66%	0,75%	13,23%
[0,25 - 0,5[	2,09%	3,69%	0,78%	0,04%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,05%	0,21%	9,29%	8,93%	2,18%	1,41%	1,18%	1,02%	1,03%	1,11%	1,45%	34,51%
[0,5 - 0,75[	0,85%	2,11%	0,75%	0,16%	0,04%	0,03%	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,00%	0,01%	0,01%	0,02%	0,02%	0,03%	0,05%	0,13%	0,51%	7,78%	2,82%	0,59%	0,31%	0,29%	0,27%	0,26%	0,37%	0,44%	17,89%
[0,75 - 1[	0,32%	0,95%	0,57%	0,13%	0,04%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,02%	0,04%	0,04%	0,07%	0,12%	0,23%	0,94%	4,82%	1,61%	0,35%	0,20%	0,15%	0,15%	0,13%	0,16%	0,20%	11,28%
[1 - 1,25[	0,16%	0,37%	0,33%	0,10%	0,03%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,03%	0,08%	0,17%	0,32%	1,17%	2,97%	1,23%	0,28%	0,14%	0,12%	0,08%	0,07%	0,10%	0,11%	7,88%
[1,25 - 1,5[	0,06%	0,21%	0,18%	0,03%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,04%	0,11%	0,29%	1,05%	1,87%	0,83%	0,24%	0,10%	0,05%	0,05%	0,05%	0,08%	0,08%	5,32%	
[1,5 - 1,75[	0,04%	0,09%	0,03%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,03%	0,06%	0,24%	0,73%	1,27%	0,56%	0,15%	0,06%	0,02%	0,04%	0,03%	0,02%	0,03%	3,42%	
[1,75 - 2[	0,02%	0,06%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,04%	0,13%	0,41%	0,85%	0,48%	0,10%	0,04%	0,02%	0,02%	0,02%	0,01%	0,02%	2,25%
[2 - 2,25[	0,01%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,02%	0,08%	0,33%	0,58%	0,35%	0,06%	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	1,52%	
[2,25 - 2,5[	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,03%	0,19%	0,42%	0,29%	0,05%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,05%
[2,5 - 2,75[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,10%	0,28%	0,25%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,71%	
[2,75 - 3[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,15%	0,18%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,39%	
[3 - 3,25[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,07%	0,12%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,20%	
[3,25 - 3,5[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,03%	0,08%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,12%	
[3,5 - 3,75[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,08%	
[3,75 - 4[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	
[4 - 4,25[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	
[4,25 - 4,5[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	
[4,5 - 4,75[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	
[4,75 - 5[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	
[5 - 5,25[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
[5,25 - 5,5[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
[5,5 - 5,75[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
CUMUL	4,55%	9,02%	3,15%	0,47%	0,13%	0,05%	0,04%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,01%	0,02%	0,03%	0,08%	0,11%	0,26%	0,60%	1,55%	5,73%	32,40%	20,42%	5,28%	3,21%	2,61%	2,32%	2,31%	2,51%	3,07%	100,00%

Tableau 1 : Diagramme de corrélation Hs (m) / Dir (°N)

La rose des houles tout secteur confondu est présentée sur la figure ci-après :

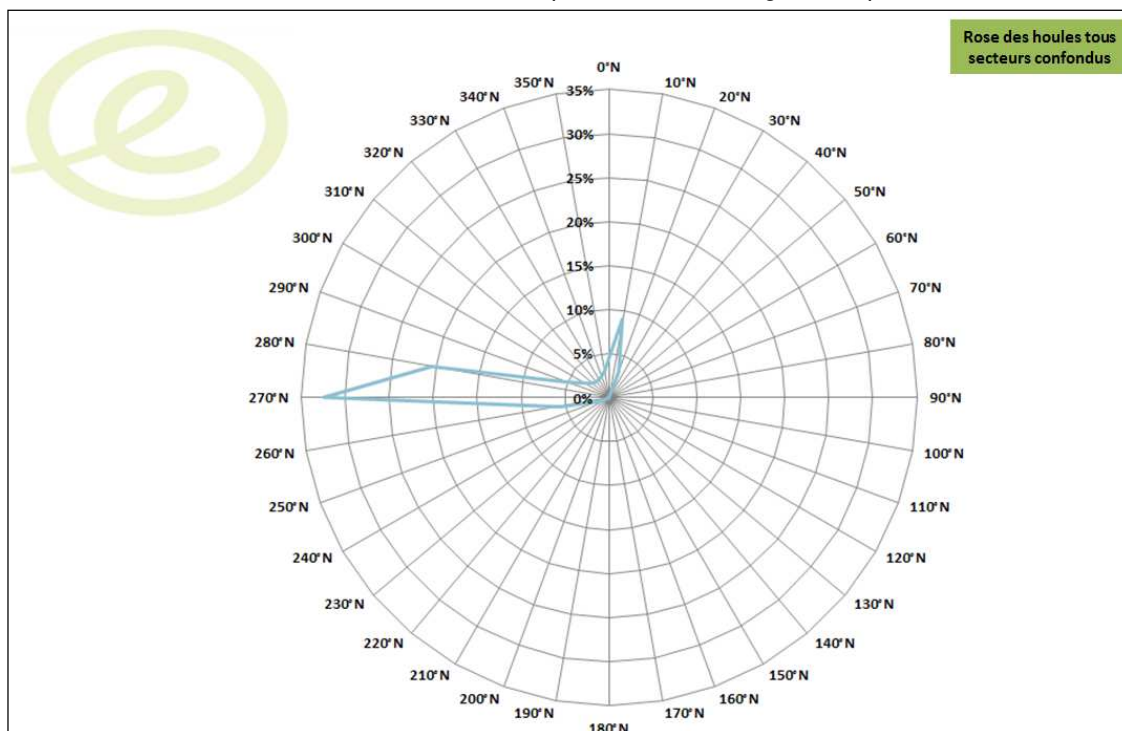


Figure 5 : Rose des houles au large

Le diagramme de corrélation Hs/Dir et la rose des houles permettent de constater que le littoral d'étude est soumis aux houles de deux incidences principales :

- Les houles d'Ouest à Ouest-Nord-Ouest (N260° à N300°) qui représentent 67,0% des houles,
- Les houles de Nord-Nord-Est (N350° à N30°) qui représentent 19,8 % des houles.

Sur les 23 ans de données disponibles (01/01/1979 au 31/08/2002), les hauteurs de houle Hs (m) s'étendent entre 0 et 5.5 m et les périodes de houle Tp (s) s'étendent entre 2 et 20 s. Les roses des houles ci-après permettent d'analyser l'orientation des houles incidentes, par 20m de fond, pour chaque classe de Hs (m) par pas de 0,25 m.

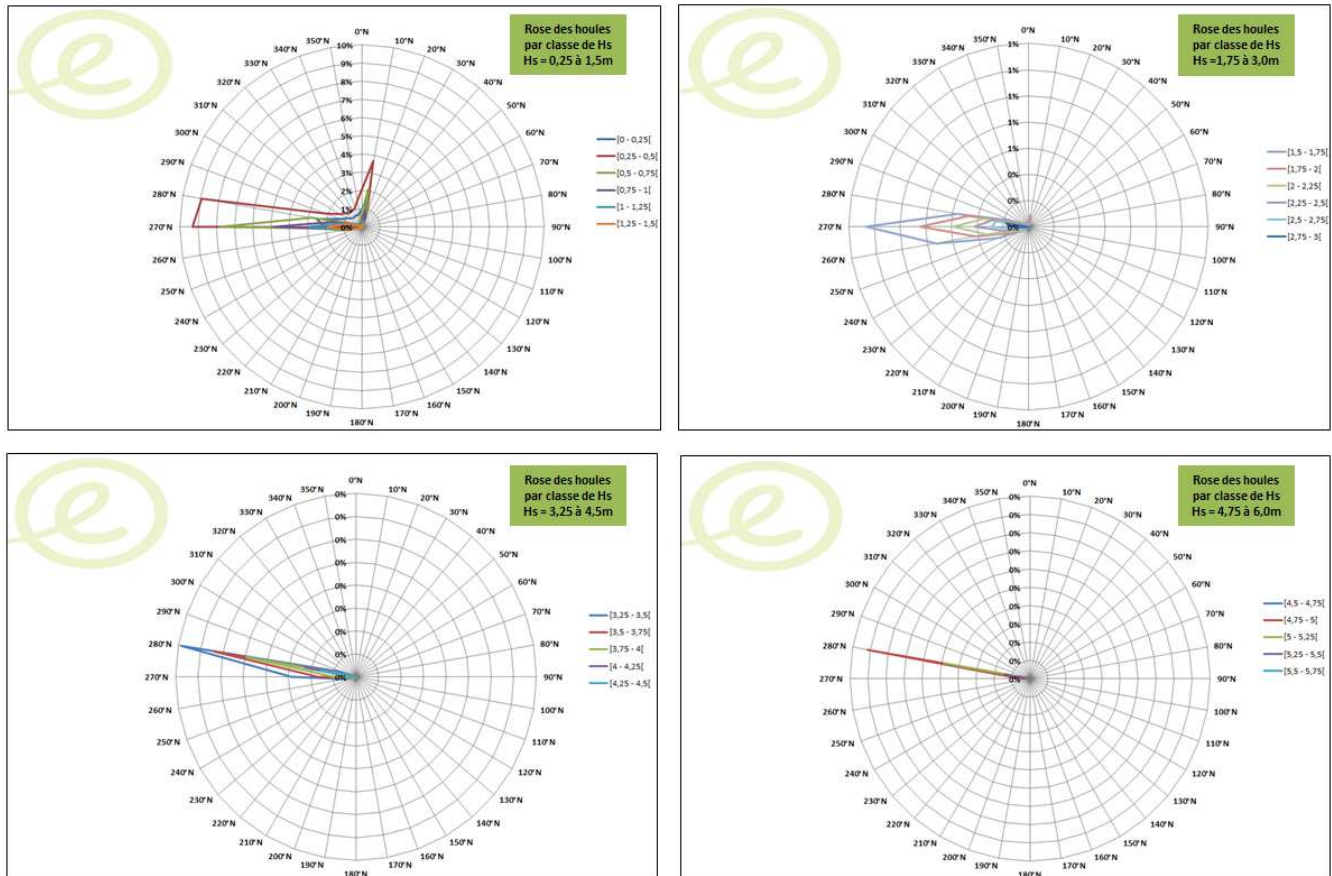


Figure 6 : Roses des houles au large par classe de Hs (m)

L'analyse de ces roses des houles montre que :

- Les houles de Nord-Nord-Est sont présentes uniquement pour les Hs < 2 m.
- Les houles d'Ouest sont les houles majoritaires sur le littoral d'étude, que ce soit pour les houles usuelles (faibles) ou pour les houles de tempête. On constate que :
 - Les houles usuelles d'Ouest arrivent principalement avec une incidence de N270°-N280°,
 - Les houles de tempête d'Ouest arrivent principalement avec une incidence de N280°-N290°.

Les figures ci-après présentent le diagramme de distribution des occurrences de la houle par classe de Hs (m) ainsi que le graphique de dépassement des houles en format logarithmique.

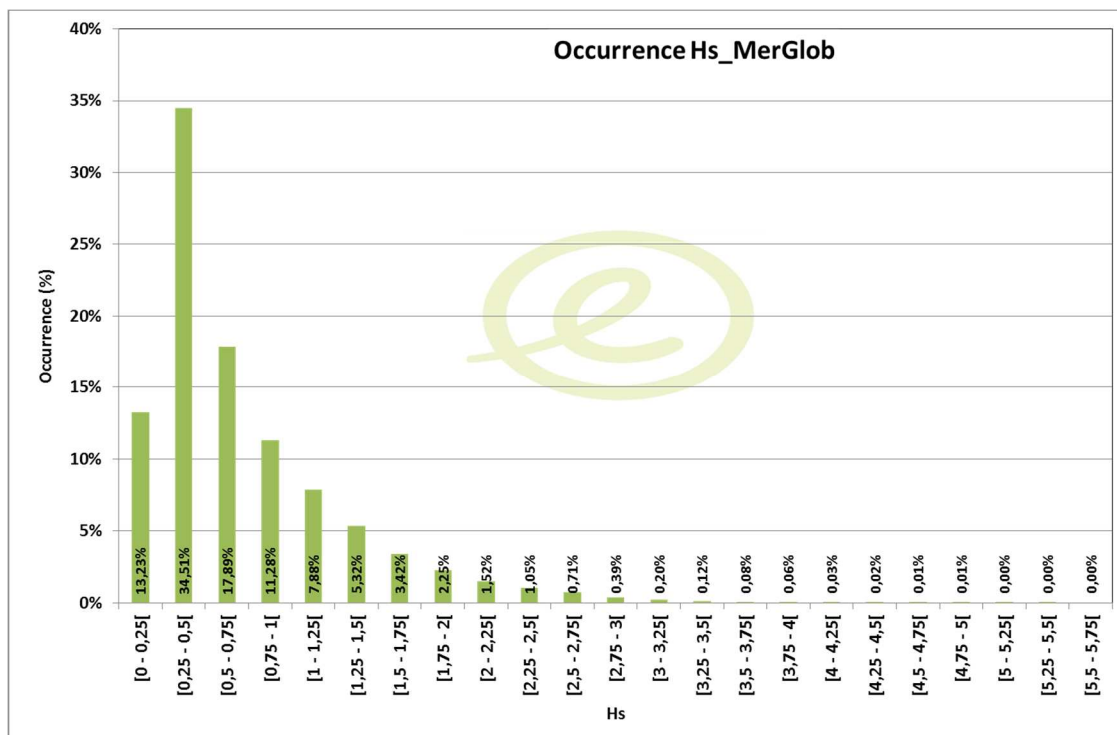


Figure 7 : Diagramme de distribution des occurrences du Hs (m)

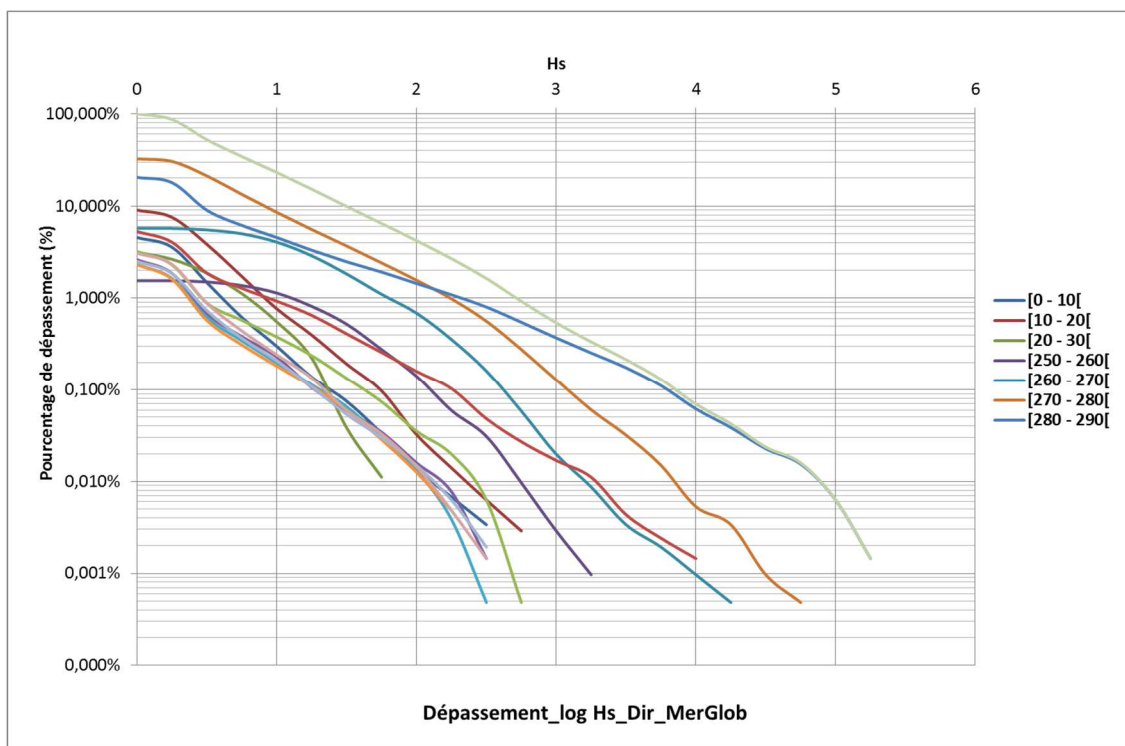


Figure 8 : Diagramme log de dépassement des Hs (m)

L'analyse des figures amène les commentaires suivants :

- Dans l'ordre décroissant de fréquence d'occurrence des houles, on a :
 - $0,25 \text{ m} \leq H_s < 0,5 \text{ m} = 34,5 \%$,
 - $0,5 \text{ m} \leq H_s < 0,75 \text{ m} = 17,9 \%$,
 - $0,0 \text{ m} \leq H_s < 0,25 \text{ m} = 13,2 \%$,
 - $0,75 \text{ m} \leq H_s < 1,0 \text{ m} = 11,3 \%$,
 - $1,0 \text{ m} \leq H_s < 1,25 \text{ m} = 7,9 \%$,
 - $1,25 \text{ m} \leq H_s < 1,5 \text{ m} = 5,3 \%$,
 - Etc...
- Tout secteur d'incidence des houles confondu, 76,9 % des houles sont inférieures à $H_s = 1,0 \text{ m}$.
- On notera que tout secteur d'incidence confondu :
 - 4.2 % des houles ont un $H_s \geq 2,0 \text{ m}$,
 - 0,5 % des houles ont un $H_s \geq 3,0 \text{ m}$,
 - 0,07 % des houles ont un $H_s \geq 4,0 \text{ m}$,

	[0 - 2[	[2 - 4[	[4 - 6[	[6 - 8[	[8 - 10[	[10 - 12[	[12 - 14[	[14 - 16[	[16 - 18[	[18 - 20[	[20 - 22[	CUMUL
[0 - 0,25[	0,00%	0,27%	3,80%	3,44%	3,43%	1,74%	0,42%	0,08%	0,03%	0,00%	0,00%	13,23%
[0,25 - 0,5[	0,00%	1,95%	11,07%	6,24%	8,34%	5,23%	1,30%	0,30%	0,09%	0,02%	0,00%	34,51%
[0,5 - 0,75[	0,00%	1,23%	10,33%	3,60%	1,66%	0,77%	0,22%	0,07%	0,01%	0,00%	0,00%	17,89%
[0,75 - 1[	0,00%	0,15%	7,17%	3,48%	0,40%	0,06%	0,01%	0,01%	0,00%	0,01%	0,00%	11,28%
[1 - 1,25[	0,00%	0,02%	4,03%	3,68%	0,15%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	7,88%
[1,25 - 1,5[	0,00%	0,00%	1,59%	3,57%	0,16%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	5,32%
[1,5 - 1,75[	0,00%	0,00%	0,35%	2,83%	0,24%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	3,42%
[1,75 - 2[	0,00%	0,00%	0,06%	1,88%	0,31%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,25%
[2 - 2,25[	0,00%	0,00%	0,01%	1,05%	0,45%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,52%
[2,25 - 2,5[	0,00%	0,00%	0,00%	0,50%	0,54%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,05%
[2,5 - 2,75[	0,00%	0,00%	0,00%	0,13%	0,58%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,71%
[2,75 - 3[	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	0,36%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,39%
[3 - 3,25[	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,19%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,20%
[3,25 - 3,5[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,10%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,12%
[3,5 - 3,75[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,08%
[3,75 - 4[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%
[4 - 4,25[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%
[4,25 - 4,5[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%
[4,5 - 4,75[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
[4,75 - 5[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
[5 - 5,25[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
[5,25 - 5,5[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
[5,5 - 5,75[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
CUMUL	0,00%	3,61%	38,41%	30,43%	16,98%	7,98%	1,95%	0,47%	0,14%	0,03%	0,00%	100,00%

Tableau 2 : Diagramme de corrélation H_s (m) / T_p (s) tout secteur confondu

D'après le tableau précédent, on constate que :

- Les périodes des houles sont essentiellement comprises entre $T_p = 4$ et 8 s dans 68,8 % des cas.
- Les houles longues entre $T_p = 12$ et 20 s sont peu nombreuses avec seulement 2,6 % et sont présentes pour les houles de faibles hauteurs ($H_s < 1$ m).
- Les cas les plus fréquents au large (70.7% du temps) sont compris entre $0 \text{ m} \leq H_s < 1 \text{ m}$ et entre $4 \text{ s} \leq T_p < 12 \text{ s}$.
- Les houles les plus fortes qui atteignent le littoral d'étude ont des périodes comprises entre $T_p = 10$ et 14 s et des hauteurs de houle comprises entre $H_s = 4,5$ à $5,5$ m.

2.3 Houles extrêmes

Les houles extrêmes sont déterminées à partir des séries chronologiques des points ANEMOC à l'aide de la méthode de renouvellement par seuil aussi appelée méthode POT (Peak Over Threshold). L'analyse de ces houles s'effectuera au point ANEMOC le plus au large correspondant au point en entrée du modèle numérique construit ci-après.

Les houles extrêmes de période de retour jusqu'à 100 ans permettront de définir les événements de période de retour centennale servant à caractériser les aléas submersions du PPRL.

Une fois la méthode POT appliquée, les données de tempêtes retenues sont approchées à l'aide de la loi de Distribution Généralisée de Pareto qui est ensuite utilisée pour déterminer les extrapolations de 5, 10, 50 et 100 ans. Les seuils de tempêtes retenus ont été déterminés par l'opérateur afin d'obtenir le meilleur ajustement possible (utilisation des lois statistiques exponentielles, Pareto et Gumbel).

Des tests d'individualisation de tempête ont également été réalisés en suivant le principe suivant : deux tempêtes sont distinctes à partir du moment où la hauteur de houle H_s retenue a diminué de moitié avant une seconde tempête.

L'indépendance entre les événements est donnée par une durée d'au moins 3 jours entre chaque pic retenu. Enfin, les intervalles de confiance représentés sur les graphiques sont de 90%. La valeur médiane est retenue pour les calculs.

2.3.1 Détermination des houles extrêmes par secteur directionnel

Dans le cadre de l'étude de l'aléa submersion, les directions de houle les plus défavorables en termes d'agitation doivent être définies. Pour ce faire, une analyse des houles extrêmes pour toutes directions et pour trois secteurs directionnels, rassemblant 80% des états de mer simulés ainsi que l'ensemble des houles de plus de 3.5m de H_s ($N260^\circ$ - $N300^\circ$, $N300^\circ$ - $N340^\circ$ et $N340^\circ$ - $N20^\circ$), a été effectuée au point ANEMOC 3356 situé au large du site d'étude et situé aussi en entrée du modèle numérique de propagation des houles (cf. 2.3.2).

Les résultats de l'analyse sont présentés et schématisés sur le graphique et la figure ci-après.

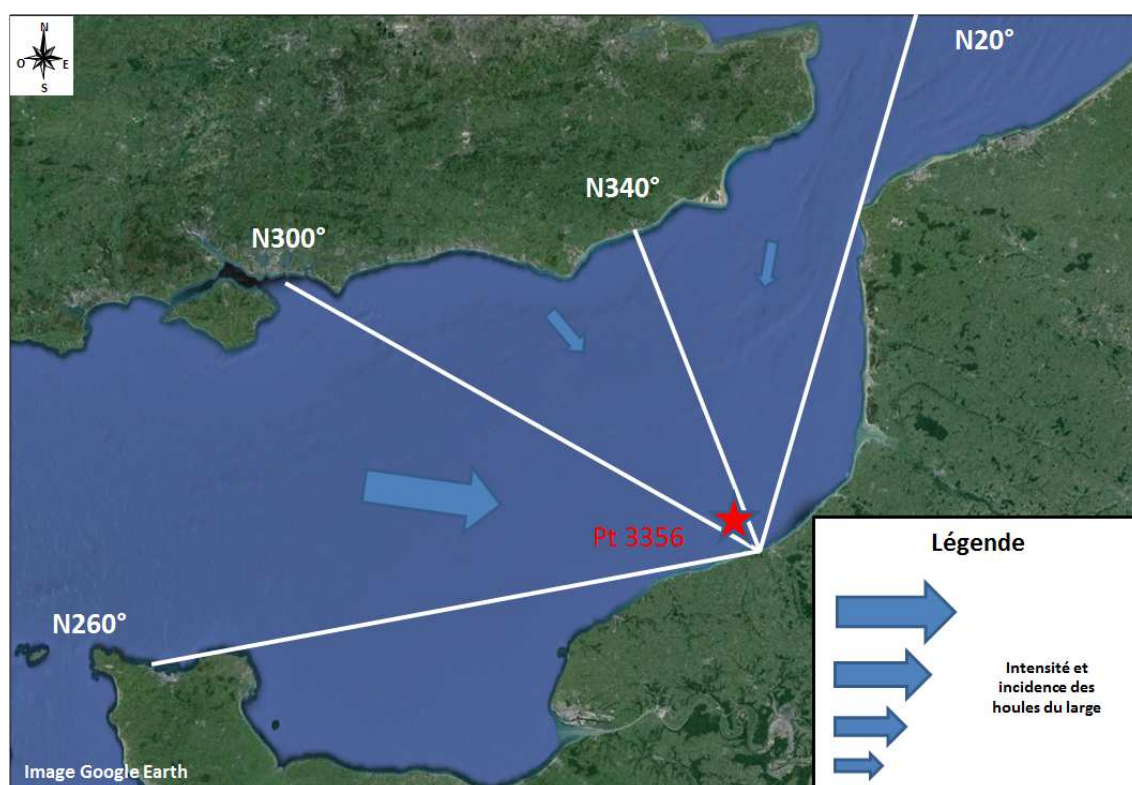
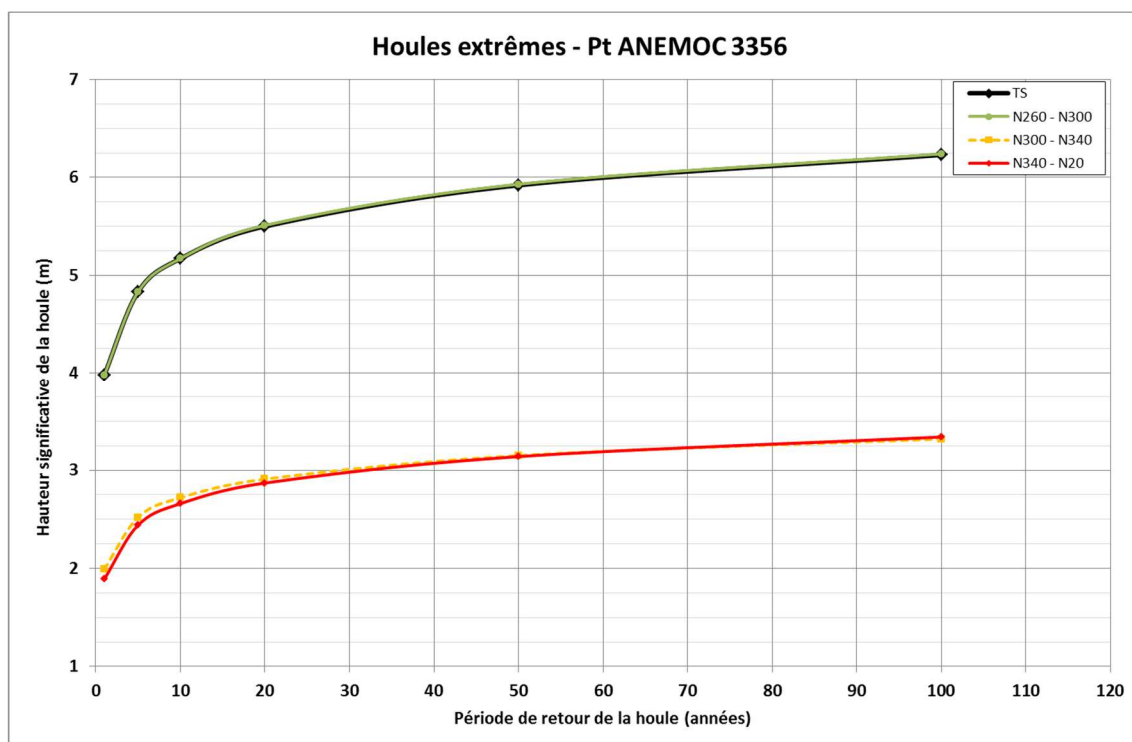


Figure 9 : Houles extrêmes au point ANEMOC 3356

Cette analyse nous permet de mettre en évidence les secteurs directionnels de houles les plus défavorables pour le site d'étude du PPRL.

On remarque que les houles les plus fortes au large sont (dans un ordre décroissant d'agitation) :

- N260°-N300°,
- N300°-N340°,
- N340°-N20°.

L'analyse des houles extrêmes réalisée sur l'ensemble de l'échantillon des données de houle, que nous appelons ici « Tous Secteurs ou TS », donne des résultats similaires à l'analyse des houles extrêmes sur le secteur N260°-N300°.

On constate sur les statistiques au large par direction que les houles de Nord-Ouest à Nord-Nord-est sont relativement faibles par rapport au secteur Ouest et apportent moins d'agitation devant le littoral d'étude.

Dans l'optique de déterminer l'aléa submersion à la côte, nous étudierons les secteurs directionnels de houle susceptibles de générer le plus d'agitation sur le littoral.

Dans le cadre du PPRL, l'incidence de houle la plus défavorable est N260°-N300°.

2.3.2 Houles extrêmes considérées dans le cadre du PPRL

Nous rappelons que les houles extrêmes sont déterminées à partir des séries chronologiques des points ANEMOC à l'aide de la méthode de renouvellement par seuil aussi appelée méthode POT (Peak Over Treshold) (cf. 2.3).

Les périodes associées sont issues de corrélogrammes Hs/Tp réalisés pour chaque secteur angulaire considéré. La période associée pour chaque houle de période de retour est celle qui présente l'occurrence la plus importante.

Les résultats statistiques, pour les houles extrêmes retenues dans le cadre du PPRL, obtenus en suivant cette méthodologie sont présentés ci-après. Dans les tableaux ci-après sont présentés, en plus des caractéristiques des houles extrêmes (Hs et Tp pour les périodes de retour 1 an, 5 ans, 10 ans, 50 ans et 100 ans), les valeurs de seuil considérées et le nombre de tempêtes par an considérées sur la période 1979-2003.

Secteur		Période de retour	Hs (m)	Tp (s)	Seuil	Nombre de tempêtes par an
W	[N260° - N300° [	1 an	4,0	10	2,5 m	7,4
		5 ans	4,8	11		
		10 ans	5,2	11		
		50 ans	5,9	12		
		100 ans	6,2	13		
NW	[N300° - N340° [	1 an	2,0	6	1,0 m	5,5
		5 ans	2,5	7		
		10 ans	2,7	7		
		50 ans	3,2	8		
		100 ans	3,3	8		
N	[N340° - N020° [	1 an	1,9	6	1,0 m	6,6
		5 ans	2,4	7		
		10 ans	2,7	7		
		50 ans	3,1	8		
		100 ans	3,3	8		

Tableau 3 : Résultats statistiques au point ANEMOC 3356

Remarque : la colonne « seuil » indique la valeur de houle (en m) à partir de laquelle a été considérée une tempête. (cf. explication de la méthode au 2.3).

Les houles les plus dommageables dans le cadre du PPRL la Saône et Vienne sont les houles en provenance de l'Ouest (N260° à N300°).

3 Etude des niveaux d'eau

3.1 Données sur les niveaux d'eau

Le niveau de la mer est la conjugaison des trois phénomènes suivants : la marée astronomique, les surcotes (et décotes) et l'élévation moyenne du niveau de la mer au large liée au changement climatique.

Nous considérerons dans ce PPRL que le niveau de marée à Quiberville peut être interpolé linéairement entre les niveaux d'eau des villes de Dieppe et Saint-Valéry-En-Caux, respectivement situées environ 12 km à l'Est et 16 km à l'Ouest, sur un littoral similaire.

Les surcotes météorologiques seront prises égales à celles de Dieppe.

3.1.1 Niveau de référence

L'ensemble des cotes altimétriques évoquées dans cette étude sera rapporté au zéro NGF ou zéro du nivellement général français.

A titre informatif, le zéro du nivellement général se situe au-dessus du zéro hydrographique (0 m ZH ou 0 m CM) correspondant au niveau des plus basses mers (à +4,37 m CM d'après le guide du SHOM 2014) (cf. Figure ci-après).

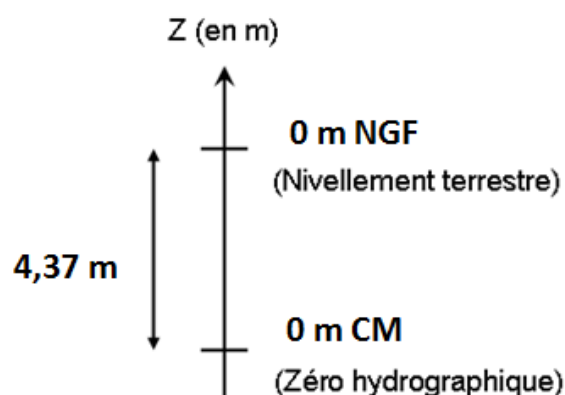


Figure 10 : Référentiel altimétrique

Le SHOM indique des zéro géographique à 4.448 m NGF-IGN69 pour Dieppe et à 4.275 m NGF-IGN69 pour Saint-Valéry-en-Caux. Le zéro géographique déterminé à Quiberville est situé entre ces 2 valeurs à 4.37 m NGF-IGN69.

3.1.2 Marée astronomique

Les fluctuations du niveau de la mer sont essentiellement liées à la marée astronomique.

La marée est de type semi-diurne (2 cycles de marée par jour). On parle de marées de type semi-diurnes lorsque les composantes diurnes sont négligeables devant les composantes semi-diurnes. Il y a alors deux pleines mers et deux basses mers par jour, d'importances sensiblement égales. Ce type de marée est prépondérant en Atlantique et en Manche.

La détermination des niveaux d'eau caractéristiques est issue du SHOM (« Références altimétriques maritimes – Edition 2014 », (cf. [C1])).

Les caractéristiques des niveaux de mer (en m NGF et m CM) interpolés à Quiberville sont données dans le tableau suivant :

Quiberville			
Cycles de marée	Abbréviations	Cote (m CM)	Cote mNGF)
Plus Haute Mer Astronomique	PHMA	9,89	5,51
Pleine Mer de Vive Eau	PMVE	9,14	4,76
Pleine Mer de Morte Eau	PMME	7,23	2,85
Niveau Moyen	NM	4,85	0,47
Basse Mer de Morte Eau	BMME	2,51	-1,87
Nbasse Mer de Vive Eau	BMVE	0,78	-3,60
Plus Basse Mer Astronomique	PBMA	-0,06	-4,43

Tableau 4 : Niveaux caractéristiques de la marée astronomique d'après l'annuaire des marées du SHOM (2014)

On constate que le marnage peut atteindre près de 10 m dans ce secteur d'étude.

On retiendra que globalement, les trois niveaux d'eau principaux sont :

- PMVE (Coeff. 95) = +9,14 m CM ou +4,76 m NGF,
- NM = +4,85 m CM ou +0,47 m NGF,
- BMVE (Coeff. 95) = +0,78 ou -3,60 m CM.

3.1.3 Surcotes et décotes

A la marée astronomique, viennent s'ajouter des surcotes ou des décotes ponctuelles du niveau moyen de la mer pouvant avoir pour origines :

- Les facteurs météorologiques (pression atmosphérique et vent) :
 - Un vent de terre pousse l'eau vers le large et provoque une décote, alors qu'un vent de mer accumule l'eau au rivage et provoque une surcote.
 - Une variation de 1 hPa en pression atmosphérique se traduit par une variation du niveau de la mer de 1 cm. Pour une dépression, on constate une augmentation du niveau de la mer (phénomène d'aspiration) et l'inverse pour un anticyclone (phénomène de pression).
- Le déferlement de la houle au large à la côte : « l'effet de set-up » est fonction de la hauteur et de la période des vagues et peut atteindre des valeurs décimétriques lors des tempêtes. Cet effet est nul dans les ports car le déferlement est inexistant.
- La configuration du littoral : les effets dynamiques dus aux vents, aux courants, aux déferlements des vagues, etc... sont très dépendants de la morphologie du rivage.

Lors des tempêtes, les deux effets générateurs de surcotes (dépression et vent de mer) coexistent et de ce fait, toute tempête survient avec des niveaux hauts de la mer.

Une étude intitulée « Analyse des surcotes extrêmes le long des côtes métropolitaines » et commandée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie a été réalisée en 2013 par le CEREMA, DTECEMF.

Celle-ci présente une analyse des surcotes extrêmes sur les principaux ports métropolitains dont le port de Dieppe.

Leur échantillon de données de surcotes horaires s'étend sur 39,4 années (1954-2012).

Pour leur analyse des surcotes extrêmes, ils ont travaillé sur deux lois différentes : la loi exponentielle et la loi GPD. D'après le CEREMA, DTECEMF, il n'existe pas à ce niveau de critère permettant à dire d'expert de privilégier le choix d'une loi par rapport à l'autre. Les estimations obtenues avec la loi GPD sont plus sécuritaires (borne haute de l'intervalle de confiance plus élevée), le CEREMA, DTECEMF a tendance à favoriser cette dernière solution.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-après :

Loi exponentielle – Seuil : 59 cm						
Période de retour (années)	5	10	20	50	100	1000
Surcote de Pleine mer (cm)	92	102	112	125	134	167
Intervalle de confiance à 70% (cm)	88 - 96	97 - 107	106 - 118	117 - 132	126 - 143	154 - 179
Loi GPD – Seuil : 59 cm						
Période de retour (années)	5	10	20	50	100	1000
Surcote de Pleine mer (cm)	93	107	122	147	169	268
Intervalle de confiance à 70% (cm)	88 - 98	98 - 115	108 - 136	122 - 172	132 - 205	156 - 381

Tableau 5 : Estimation des surcotes extrêmes de Dieppe (CEREMA, DTECEMF, 2013)

On constate par exemple que pour une période de retour décennale ($T_r=10$ ans), les valeurs de surcotes atteignent environ 105/110 cm.

Surcote de pleine mer maximale observée sur la période de données : 169 cm le 16/10/1987.

3.1.4 Niveaux d'eau extrêmes

Le SHOM a édité en 2012 un rapport intitulé « Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France (Manche et Atlantique) ». Cette version est la mise à jour du premier rapport édité en 2008. Le SHOM recommande de considérer, lorsque les deux valeurs de niveau sont différentes entre les deux versions 2008 et 2012, la valeur la plus sécuritaire.

Ces rapports indiquent pour les périodes de retour 5 ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans les niveaux d'eaux extrêmes de pleine mer et de basse mer pour 18 ports de référence dont le port de Dieppe (37,7 ans de mesure : 01/01/1954 au 25/11/2009).

Les résultats obtenus sont issus d'une méthode statistique s'appuyant sur l'estimation des distributions statistiques des surcotes à partir de séries d'observation disponible (observations de marées dans le port de référence tels que Brest et Concarneau et dans les autres ports dits secondaires).

Concernant les valeurs de niveaux d'eau, des variations ont été décelées entre les versions 2008 et 2012. Dans ces cas-là, la note méthodologique du CEREMA, DTECEMF (Note méthodologique relative au produit « *Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France* » Edition 2012) a été appliquée. Il a donc été retenue pour les ports secondaires, en présence de variations, « la valeur maximum entre le niveau marin proposé dans le produit de 2008 et celui du produit 2012 » afin d'être le plus sécuritaire.

Ces niveaux tiennent compte :

- D'un niveau de marée PMVE : pleine mer de vives eaux (coefficient 95) ;
- D'une surcote liée aux phénomènes météorologiques (vent + pression).

Précisons que ces valeurs ne prennent pas en compte :

- La surcote liée à l'action des vagues à la côte : phénomène de setup lié à la hausse du niveau de l'eau due au déferlement des vagues (sera calculé dans le 5.4.2).
- La hausse future du niveau des mers due au changement climatique. Dans le cadre d'un PPRL, il est signifié d'intégrer systématiquement au niveau marin de référence une surcote de 20 cm constituant une première étape de prise en compte du changement climatique (cf. [B3]).

La détermination des niveaux extrêmes s'est faite par lecture des cartes établies par le SHOM pour des périodes de retour de 5, 10, 20, 50 et 100 ans (exemple cf. Figure 11).

Dans le cadre de ce PPRL, les cartes servant de référence sont celles de la Manche Est.

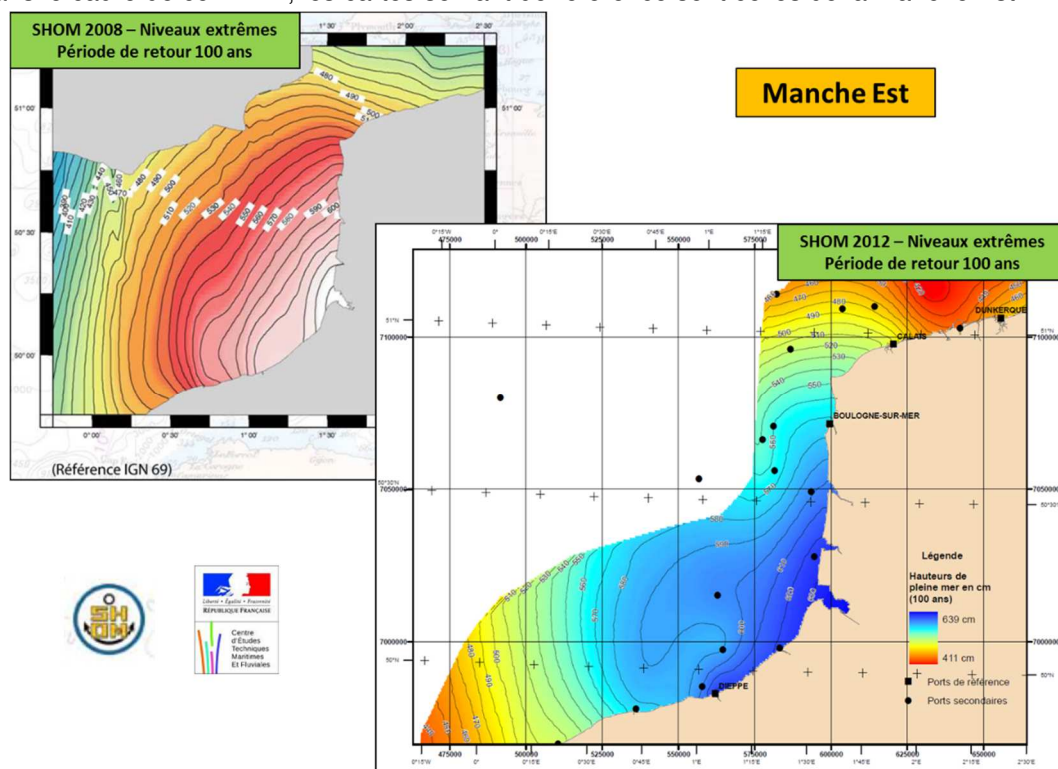


Figure 11 : Niveaux extrêmes de pleines mers en Manche (Nord de la France) – Période de retour de 100 ans (SHOM version 2008 et 2012)

Le graphique ci-après présente l'analyse des niveaux extrêmes réalisée pour Quiberville.

Le graphique ci-après se lit de la manière suivante :

- Les valeurs des points rouges sont issues des niveaux extrêmes du SHOM (cf. ci-avant).
- Pour les valeurs de niveau d'eau extrêmes des périodes de retour plus petites, une extrapolation des valeurs a été réalisée en utilisant une courbe de tendance.

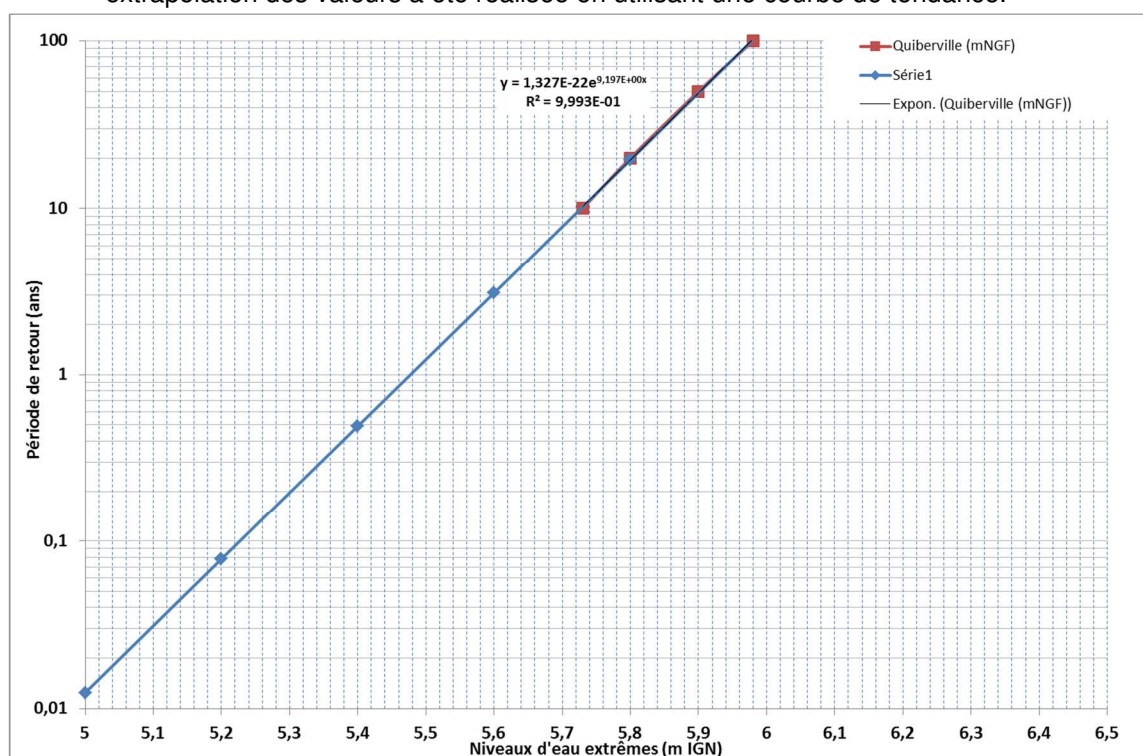


Figure 12 : Période de retour pour les niveaux extrêmes à Quiberville

Le tableau ci-après présente les niveaux d'eaux extrêmes :

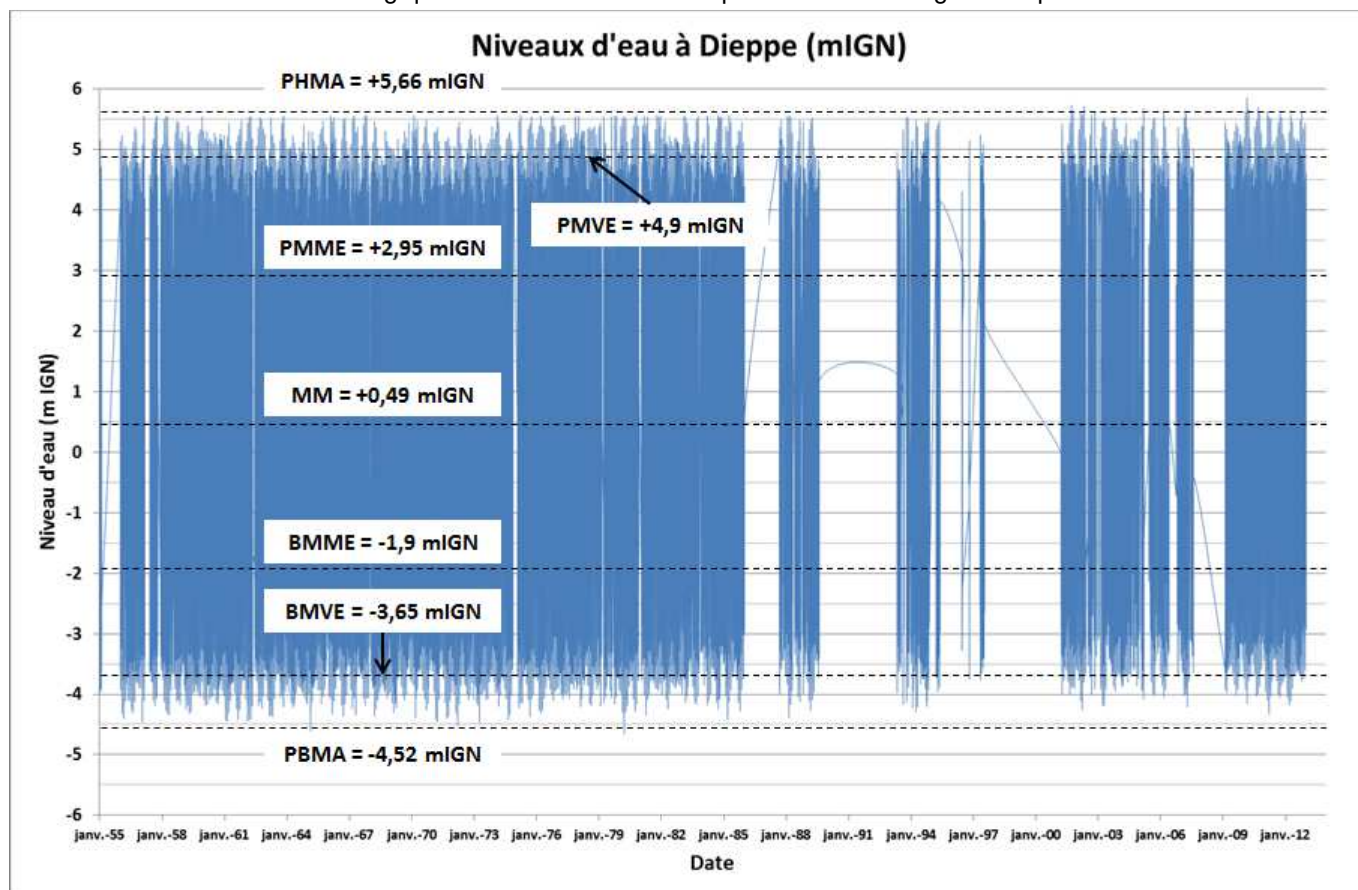
Tr du niveau d'eau (ans)	Commune
	Quiberville
	Niveau d'eau (en mIGN)
0,02	5,06
0,05	5,15
0,1	5,23
0,2	5,30
0,5	5,40
1	5,48
2	5,55
5	5,65
10	5,73
20	5,80
50	5,90
100	5,98

Tableau 6 : Bilan des niveaux d'eau extrêmes

EGIS a récupéré la série chronologique complète des niveaux d'eau au marégraphe de Dieppe sur la période 1955 à 2012.

Les observations du marégraphe sont la propriété de l'IGN, du SHOM et sont mises à disposition sur le site des Réseaux de référence des observations marégraphiques (refmar.shom.fr).

La série chronologique des niveaux d'eau est présentée sur la figure ci-après :



Nous avons inclus sur cette figure les valeurs statistiques principales de la marée astronomique à Dieppe.

On constate qu'il y a des manques sur cette base de données sur les périodes 1985-1987, 1989-1992, 1995-2001 et 2007-2008.

Nous verrons par la suite que ces manques seront dommageables lors de la définition des cycles de marée des événements de tempêtes historiques (cf. chapitre 0).

3.2 Corrélation entre houle et niveaux d'eau

Les périodes de retour des houles extrêmes ainsi que les niveaux d'eau ont été jusqu'à présent étudiés de manière indépendante. Afin d'établir la chronique de l'évènement centennal et la chronique de l'évènement le plus fort, ces données vont être combinées en appliquant la méthode de CIRIA (cf. Rock Manual, CEREMA, DTECEMF).

3.2.1 Présentation de la méthode de CIRIA

Cette méthode prend en compte le degré de corrélation entre les deux variables (période de retour de la houle et période de retour des niveaux d'eau). Quatre catégories de corrélation sont définies : « aucune corrélation », « faiblement corrélés », « corrélés » et « fortement corrélés ». On associe un coefficient de corrélation à ces différentes catégories.

Dans la catégorie « aucune corrélation », les houles et les niveaux d'eau sont totalement indépendants et on affecte à cette catégorie un coefficient de corrélation égal à 2.

Le facteur de corrélation de 20 correspond à la catégorie « faiblement corrélés ». C'est une configuration où la dépendance est modeste. Ce coefficient est utilisé partout où l'on peut s'attendre à une certaine corrélation, même si l'on ne dispose pas de preuve particulière de celle-ci.

Le facteur de corrélation de 100 correspond à la catégorie « corrélés ». Dans ce cas-là on considère qu'il y a une bonne corrélation entre les deux variables. C'est le cas où des vents forts, se déplaçant le long d'une zone où la mer se rétrécit, produisent à la fois des surcotes et une forte houle.

Le coefficient de 500 correspond à la catégorie « fortement corrélés ». Il est adapté dans les zones où l'on peut s'attendre à une forte corrélation entre les surcotes et la hauteur de la houle et où la marée astronomique est faible.

Ces coefficients de corrélation permettent d'établir une correspondance entre les périodes de retour de la houle et les périodes de retour des niveaux d'eau. Cette correspondance est présentée dans le tableau ci-dessous.

Période de retour du niveau des eaux (en années)	Période de retour de la hauteur de la houle (années) pour chaque facteur de corrélation donné ci-dessous			
	2	20	100	500
0.02	14	100	–	–
0.05	6	57	–	–
0.1	2.8	28	100	–
0.2	1.4	14	71	–
0.5	0.6	6	28	100
1	0.28	2.8	14	71
2	0.14	1.4	7	35
5	0.06	0.6	2.8	14
10	0.03	0.28	1.4	7
20	–	0.14	0.7	4
50	–	0.06	0.28	1.4

Figure 13 : Correspondance et coefficients de corrélation (Rock Manual, CEREMA, DTECEMF)

3.2.2 Choix du coefficient de corrélation

Sur l'ensemble du littoral de la Bretagne et de la Manche, les niveaux extrêmes ne sont pas totalement indépendants de la hauteur de houle au large. L'origine, ou le facteur aggravant commun, de ces deux phénomènes étant souvent un évènement de tempête assez localisé.

Cependant, il est possible que l'influence d'une houle formée très loin de la zone d'étude puisse arriver sans aucune conjonction avec une surcote. De plus, les niveaux d'eau liés à la marée sont complètement déterministes et indépendants des conditions de tempête. C'est pour cela que la catégorie de corrélation choisie est « faiblement corrélée » dans le secteur d'étude.

On choisira donc un coefficient de corrélation $C=20^1$.

En effet, les autres coefficients possibles que sont $C=100$ et 500 apportent une corrélation trop importante qui ne correspond pas à la situation en Manche où le niveau d'eau est faiblement corrélé à la hauteur des houles.

Le coefficient $C=2$ indiquant aucune corrélation est, à l'inverse, trop faible car il existe tout de même une corrélation avec les houles de tempêtes qui engendrent des surcotes influant sur le niveau d'eau.

3.2.3 Résultats obtenus

Les résultats obtenus de la combinaison : niveaux extrêmes / houle au large **pour une période de retour de 100 ans** sont présentés dans les tableaux ci-après.

Tableau des corrélations de Quiberville			
Période de retour de la hauteur d'eau (ans)	Niveau d'eau (m IGN)	Période de retour de la houle (ans)	Hs (m)
0,02	5,06	100	6,24
0,05	5,15	57	6,00
0,1	5,23	28	5,65
0,2	5,30	14	5,31
0,5	5,40	6	4,89
1	5,48	2,8	4,52
2	5,55	1,4	4,18
5	5,65	0,6	3,77
10	5,73	0,28	3,20
20	5,80	0,14	2,67
50	5,90	0,06	1,80
100	5,98	0,03	1,05

Tableau 7 : Tableau des corrélations pour Quiberville

Les résultats obtenus de la combinaison : niveaux extrêmes / houle au large pour une période de retour de 100 ans sous forme de graphique sont présentés ci-après :

¹ Ce coefficient de corrélation a également été retenu dans le cadre des 3 études suivantes : « Etude de l'aléa submersion marine sur le site de la grande plage de Gâvres » (DHI, 2007), « Détermination de l'aléa submersion marine – Ploemeur/Sarzeau » (EGIS Eau, 2012) et « Plan de Prévention des Risques Naturels et Littoraux » (EGIS, 2013).

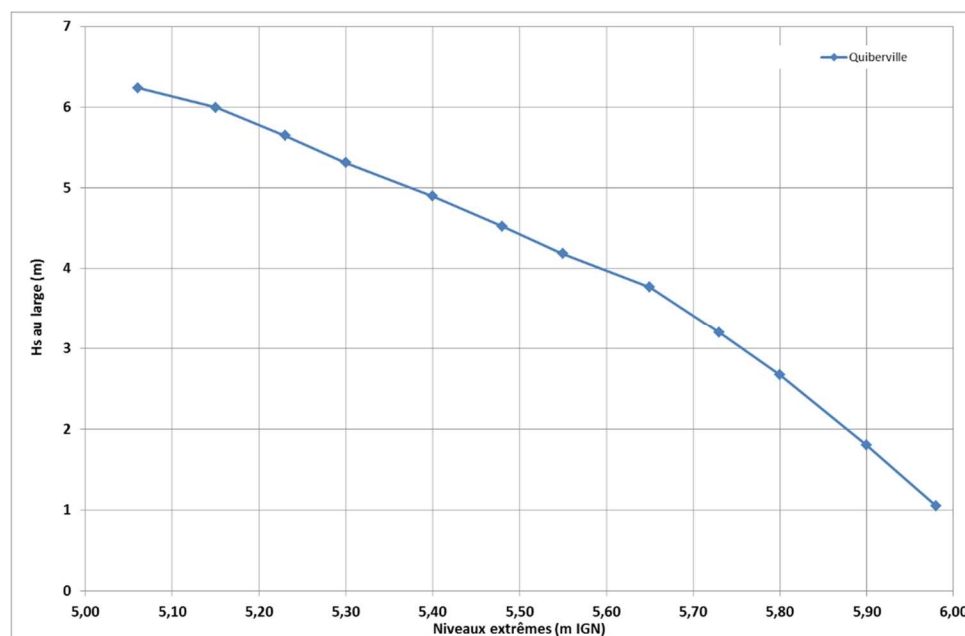


Figure 14 : Corrélation entre houle au large et niveaux d'eau extrêmes – Evènements centennaux

4 Détermination de l'évènement de référence

4.1 Définition de l'évènement de référence

Pour la submersion marine, l'aléa de référence est le plus fort des évènements suivants :

- L'évènement centennal calculé à la cote,
- L'évènement historique le plus fort connu, s'il est plus fort que l'évènement centennal.

4.2 Evènement historique considéré

Sur notre zone d'étude, plusieurs grands évènements historiques ont été répertoriés de manière plus au moins précise durant ces dernières décennies.

Le tableau ci-après recense les tempêtes les plus fortes ayant atteint le littoral sur la période de disponibilité des données de houle ANEMOC (1979 à 2003) :

Dates	ANEMOC 3356			
	PIC	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)
15/12/1979	15/12/79 13h	5,21	11,7	288
14/01/1981	14/01/81 20h	4,04	9,9	295
15/12/1981	15/12/81 01h	4,14	10,6	289
13/01/1984	13/01/84 13h	4,23	10,5	284
24/01/1984	24/01/84 01h	4,39	10,8	292
07/02/1984	07/02/84 01h	5,37	11,6	291
23/11/1984	23/11/84 19h	4,36	9,8	275
25/01/1990	25/01/90 18h	4,86	11,5	279
12/02/1990	12/02/90 02h	4,01	10,1	285
26/02/1990	26/02/90 13h	4,85	11,1	286
28/02/1990	28/02/90 20h	5,09	11,5	288
25/10/1992	25/10/92 17h	4,45	11,2	296
09/12/1993	09/12/93 01h	4,88	12,0	284
28/01/1994	28/01/94 00h	4,12	10,6	293
29/10/1996	29/10/96 01h	4,76	11,5	289
13/02/1997	13/02/97 12h	4,12	10,6	284
03/01/1998	03/01/98 18h	4,29	10,6	281
25 et 26/12/1999	25/12/99 01h	3,63	9,2	266

Tableau 8 : Tempêtes sur le littoral de Quiberville (1979 à 2003)

Par ailleurs, la tempête de Janvier 1995, pour laquelle les données ANEMOC mettent en évidence un Hs maximum au large de 3.25 m, n'est pas recensée dans le tableau ci-dessus (la

valeur de houle ne fait pas partie des houles les plus fortes enregistrées), mais a été concomitante avec une des 3 crues récentes de la Saône ; les 2 autres étant celles de décembre 1999 (Hs max au large de 3.6m), et de mai 2000 (Hs max au large de 2.0 m).

Enfin, d'autres tempêtes se sont abattues au cours du dernier siècle sur les plages de Haute-Normandie mais pour lesquelles des informations techniques manquent pour les décrire :

- La tempête du 15 et 16 janvier 1922 ;
- La tempête du 20 décembre 1918 et 30 août 1923 ;
- 15 novembre 1977 ;
- 12 janvier 1978 ;
- 27 et 28 février 2010 (Xynthia).

Pour chacune des tempêtes recensées dans le tableau ci-avant, nous avons analysé la marée astronomique prédite au même moment pour ne retenir que les tempêtes s'étant produites au moment des pleine-mers avec des coefficients forts.

D'après l'analyse des tempêtes de la phase 1.1, celles ayant engendrées le plus de dégâts en termes de submersion marine sont :

- La tempête du 23 novembre 1984,
- La tempête du 26 février 1990,
- La tempête du 10 Mars 2008.

D'après l'analyse de la concomitance entre les tempêtes et les cycles de marée, les tempêtes s'étant produites au moment des pleines mers de vive-eau (coefficient >95) sont :

- La tempête du 12 février 1990,
- La tempête du 26 février 1990,
- La tempête du 28 janvier 1994,
- La tempête du 29 octobre 1996,
- La tempête de 25 décembre 1999,
- La tempête du 10 Mars 2008.

En croisant les fortes tempêtes (pics des tempêtes synchronisés avec la pleine-mer) avec les dégâts recensés, nous retenons les deux tempêtes suivantes :

- La tempête du 26 février 1990,
- La tempête du 10 Mars 2008.

Ces 2 événements sont plus documentés que la tempête Xynthia car des spécialistes comme Costa se sont déplacés sur les plages de Normandie pour mesurer des paramètres de l'effet de la Houle, des amaigrissements de plages post tempête par exemple. Des échanges avec ces spécialistes ont permis de récupérer des données mesurées sur ces 2 tempêtes. Ainsi, ces 2 tempêtes sont décrites plus précisément dans les pages suivantes.

Caractéristiques de l'évènement historique

4.2.1 Tempête du 26 février 1990

Contrairement à la tempête du 10 mars 2008 où les données bibliographiques sont nombreuses (cf. 4.2.2), celle du 26 février 1990 est moins renseignée.

Cette tempête du 26 février 1990 qui a causé de nombreux dégâts et de la submersion s'est produit dans un contexte particulier. En effet, le début d'année 1990 a été marqué par de nombreuses tempêtes qui ont progressivement mis à mal le cordon de galets présent au pied de la digue. Celui-ci était fortement arasé au moment de la tempête du 26 février 1990.

Ainsi, la conjonction entre :

- Une marée astronomique élevée de coefficient 102,
- Une tempête se produisant au même moment que la pleine mer,
- Un cordon de galets amoindri au pied de la digue,
- Une houle de l'ordre de $H_s=4,85$ m (valeur au point ANEMOC 3356), soit une tempête de période de retour environ 5 ans,

a rendu cette tempête mémorable en termes de dégâts et de submersion.

Nous avons constaté lors de l'analyse des niveaux d'eau du marégraphe de Dieppe fournis par le REFMAR que les valeurs de niveaux enregistrés lors de la tempête du 26 février 1990 étaient manquantes.

Cependant, le Cerema, DTerNC Blois nous a fournis dans le cadre de ce PPRL, un document papier avec les niveaux mesurés au marégraphe de Dieppe (cf. ci-après).

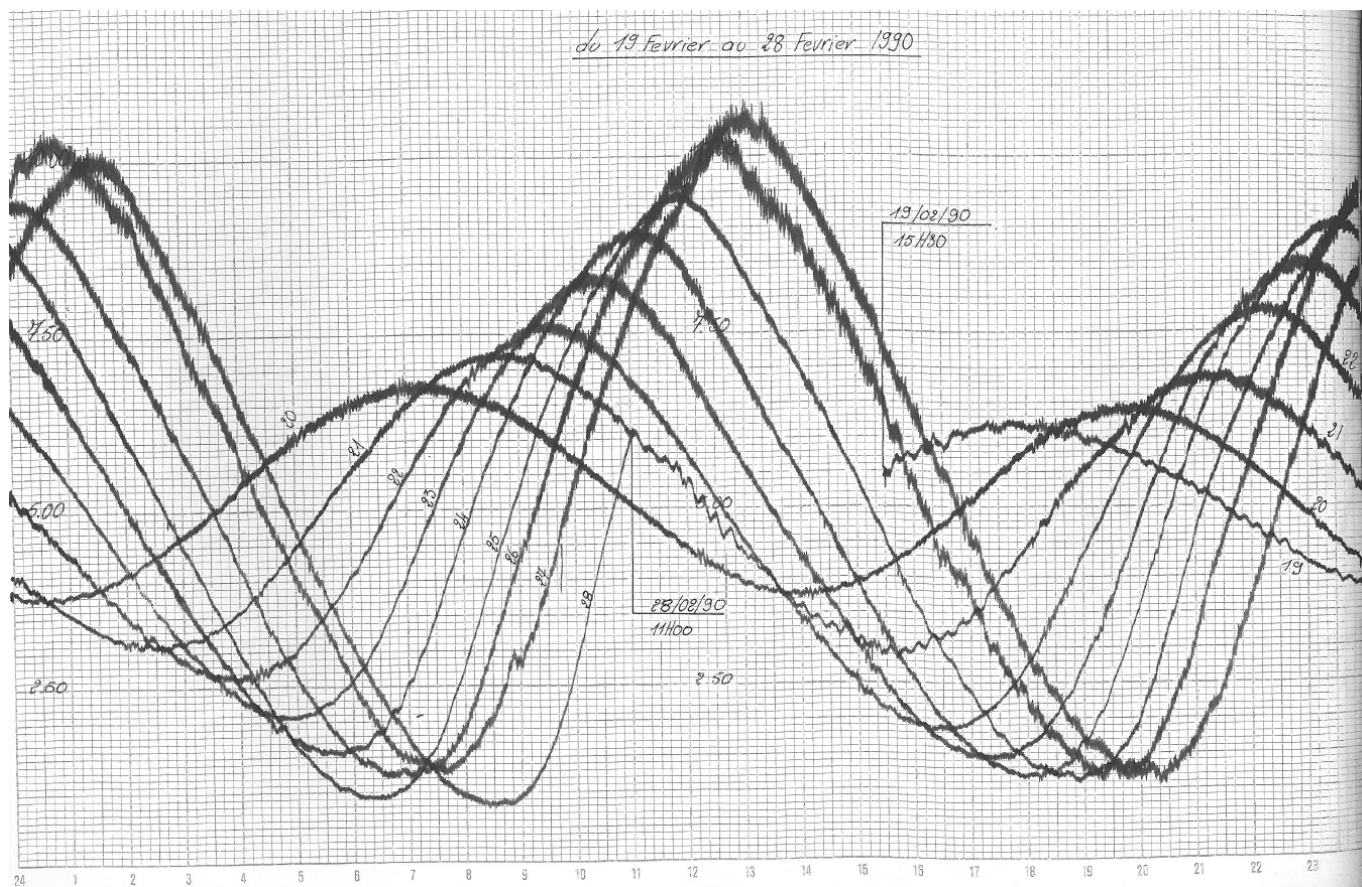


Figure 15 : Marégramme de Dieppe lors de la tempête du 26 février 1990

Nous avons analysé le marégramme ci-avant et l'avons retranscrit en format numérique et avons comparé les mesures enregistrées avec les prédictions du SHOM afin d'avoir une approximation de la surcote au moment de la tempête.

La figure ci-après présente cette analyse :

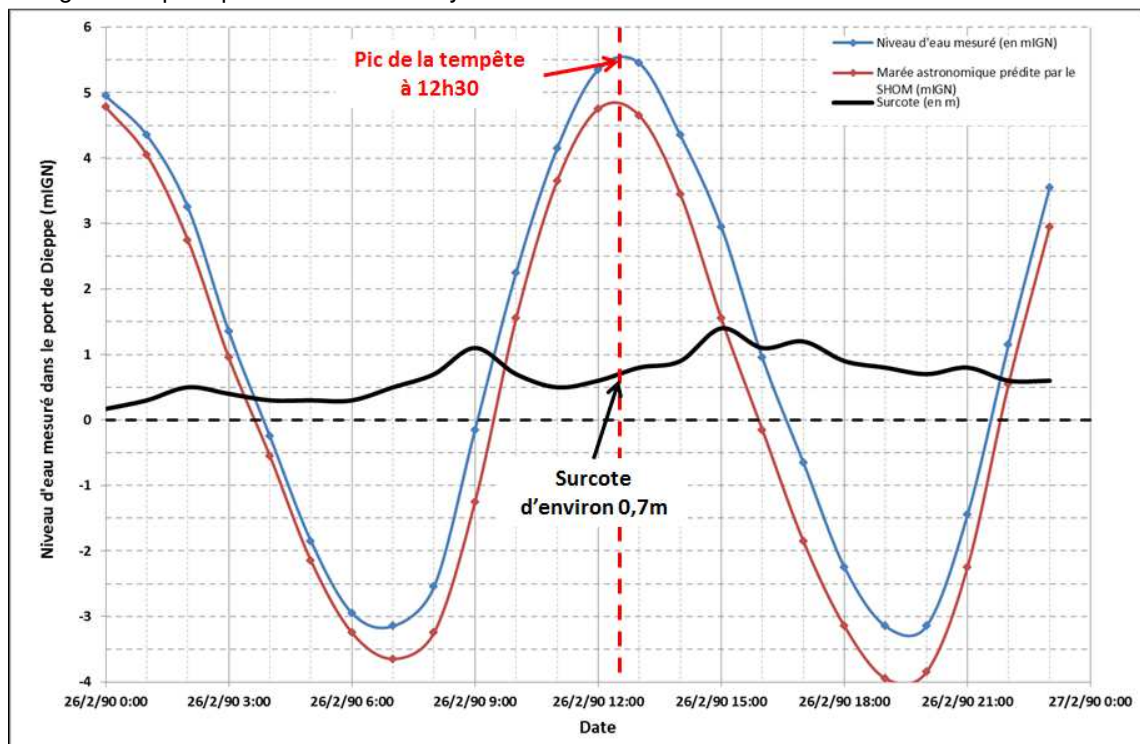


Figure 16 : Analyse des niveaux d'eau à Dieppe lors de la tempête du 26 février 1990

Au moment du pic de tempête, la surcote était de l'ordre de +0,7 m. Il conviendra d'ajouter à cette valeur le wave setup qui sera calculé lors du 5.4.2.

Le niveau de marée à Quiberville lors de cet évènement peut être estimé à environ 20cm de moins que celui de Dieppe en interpolant linéairement les données de prédiction disponibles pour Dieppe et Saint-Valéry-En-Caux. Cette réduction sur le niveau de la marée astronomique est prise en compte dans le niveau d'eau retenu pour l'évènement historique du 26/02/1990.

Les caractéristiques de l'évènement historique du 26 février 1990 retenues pour l'étude du PPRL sont : $H_s = 4,85$ m, $T_p = 11,1$ s, $Dir = N286^\circ$ et $Niv = +5,55$ m IGN.

4.2.2 Tempête du 10 mars 2008

NB : De nombreuses informations intéressantes sur la tempête du 10 mars 2008 ont été issues de l'article intitulé « Aspects météo-marins de la tempête du 10 mars 2008 en Atlantique et en Manche » [B1].

La tempête du 10 Mars 2008 a touché la pointe nord-ouest de l'Europe pendant une marée de vive-eau engendrant de nombreux dégâts et des cas de submersion sur les côtes nord-ouest de la France. La Haute-Normandie a été touchée dans la nuit du 10 au 11 mars 2008 durant la pleine mer et pendant le passage de la « traîne active ».

La carte ci-après recense les principaux dégâts après le passage de la tempête « Johanna » de Mars 2008.

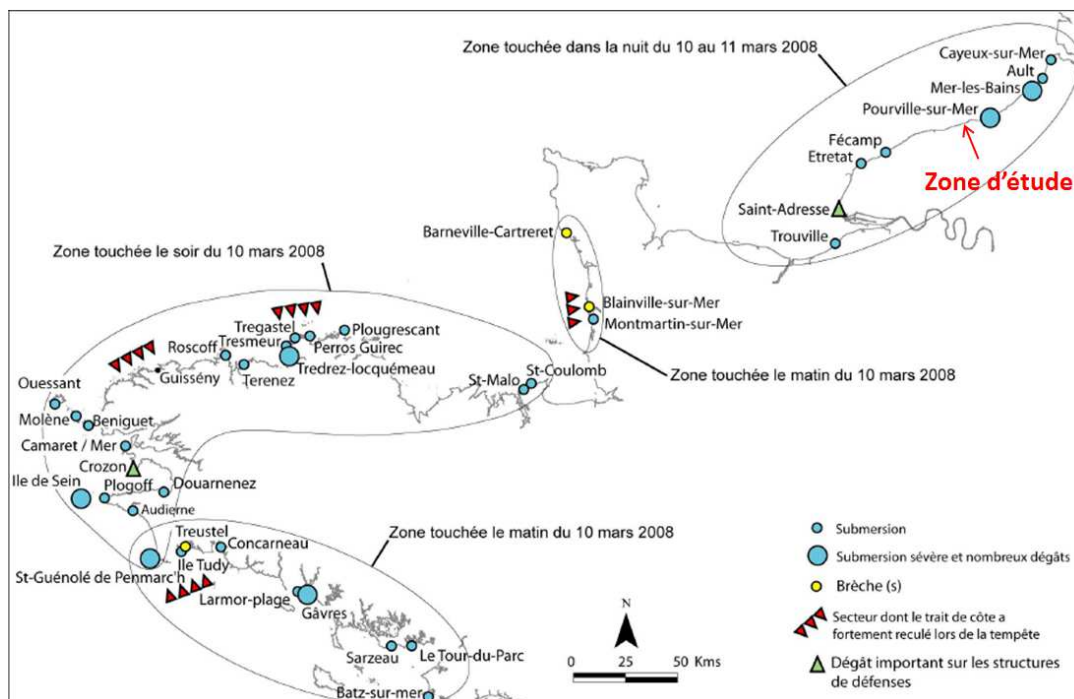


Figure 17 : Principaux dégâts causés par le passage de la tempête de Mars 2008 « Johanna » sur les côtes bretonnes et de la Manche – Carte (non exhaustive) – (Source : Déclarations de dégâts transmises aux DDE, quotidiens Ouest-France, Le Télégramme et Le Trégor)

Les observations et les études réalisées sur cette tempête s'accordent sur le caractère exceptionnel du phénomène.

Le soir du samedi 8 mars 2008, quelques jours avant que la tempête ne touche les côtes de l'ouest de la France, une dépression prend naissance au niveau de Terre-Neuve, avec une pression en son centre de 1010 hPa. Elle se déplace assez lentement le long du 55^e parallèle nord et atteint l'Irlande le 10 mars à 06 h 00 UTC (Figure 18 et Figure 19). La trajectoire de la dépression est conforme à la configuration la plus fréquente du rail des dépressions, dite « zonale » (Figure 18).

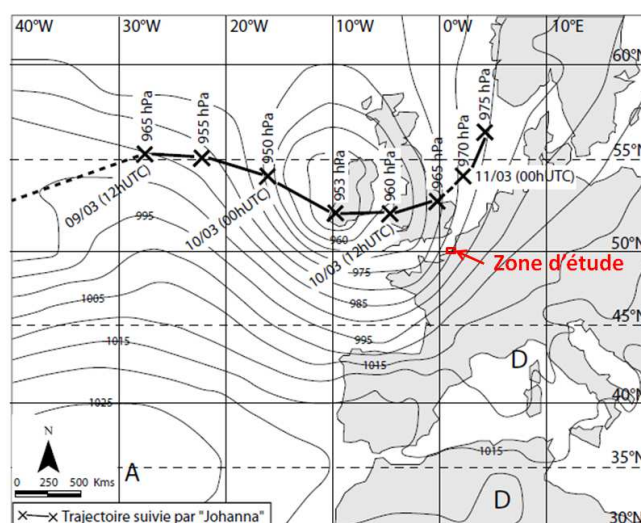


Figure 18 : Trajectoire de la dépression « Johanna » et situation synoptique au 10 mars 2008 à 06h00 UTC – (source : Météo-France)

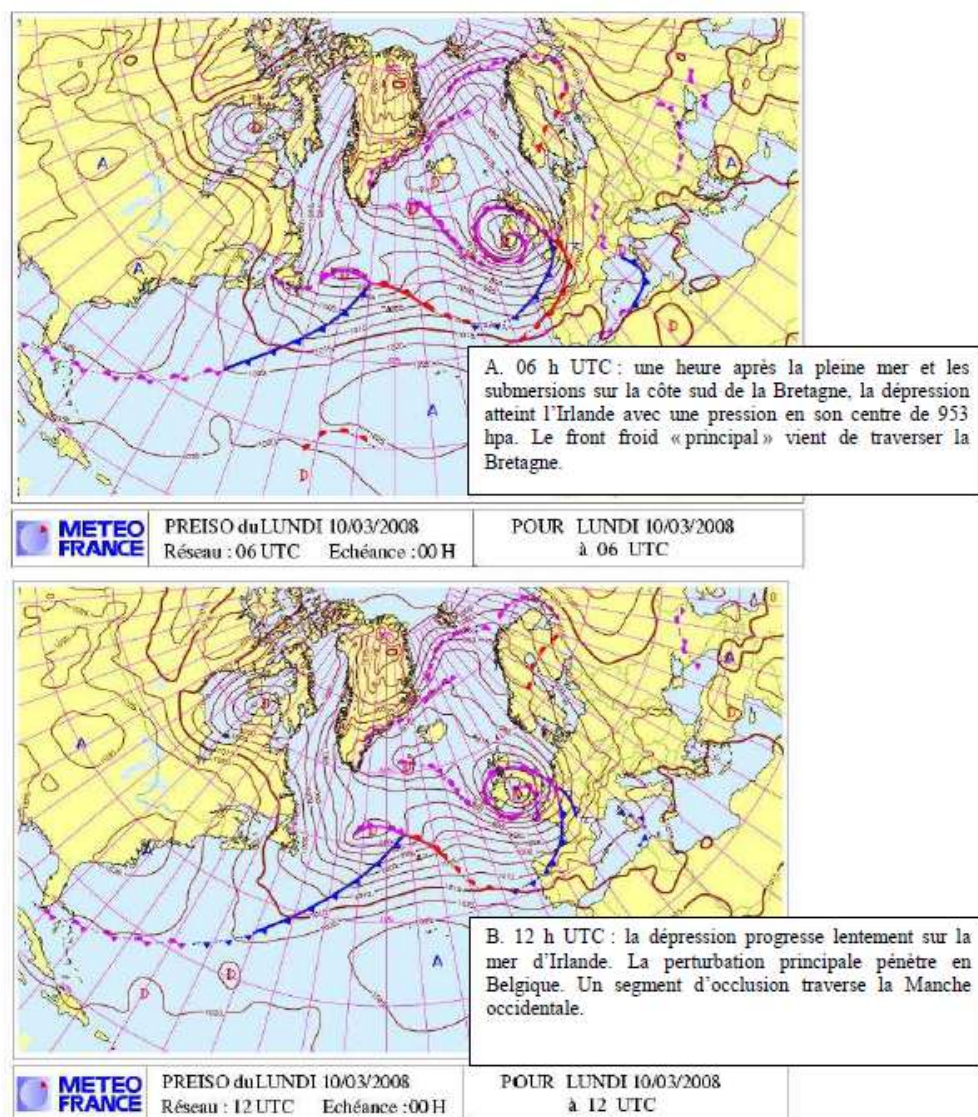


Figure 19 : Évolution synoptique le 10 mars 2008 entre 06 h 00 UTC et 12 h 00 UTC (source : Météo-France)

La tempête s'est creusée à un rythme régulier d'environ 10 à 15 hPa toutes les 24 heures, ce qui ne représente pas un creusement rapide. Pour exemple, lors de la tempête du 24-25 janvier 1990, une baisse de 36 hPa en 24 heures avait été observée (Tonnerre-Guérin, 2003).

Le matin du 10 mars, la pression au centre de la dépression alors située sur l'Irlande, est de 953 hPa. Au même moment, la pression enregistrée au sud de la Bretagne est de 980 hPa. Le gradient de pression sud-ouest est alors de 30 hPa sur seulement 600 kilomètres de distance (Figure 19).

En analysant les données de vent et de pression atmosphérique au niveau de l'île d'Ouessant (Figure 20), on remarque le passage d'un front froid le matin du 10 mars. Avant le passage de ce dernier, la pression atmosphérique diminue rapidement jusqu'à 975 hPa et le vent de secteur sud-ouest forcit. Suite au passage du front froid, la vitesse du vent chute brusquement. La pression atmosphérique remonte ensuite progressivement et le vent passe au secteur ouest puis nord-ouest en forcissant à nouveau. On retrouve le même schéma pour les stations météorologiques de Penmarc'h, Lannion et Lorient où le front froid est passé respectivement à 4 h 00, 4 h 30 et 5 h 00 UTC (Figure 20).

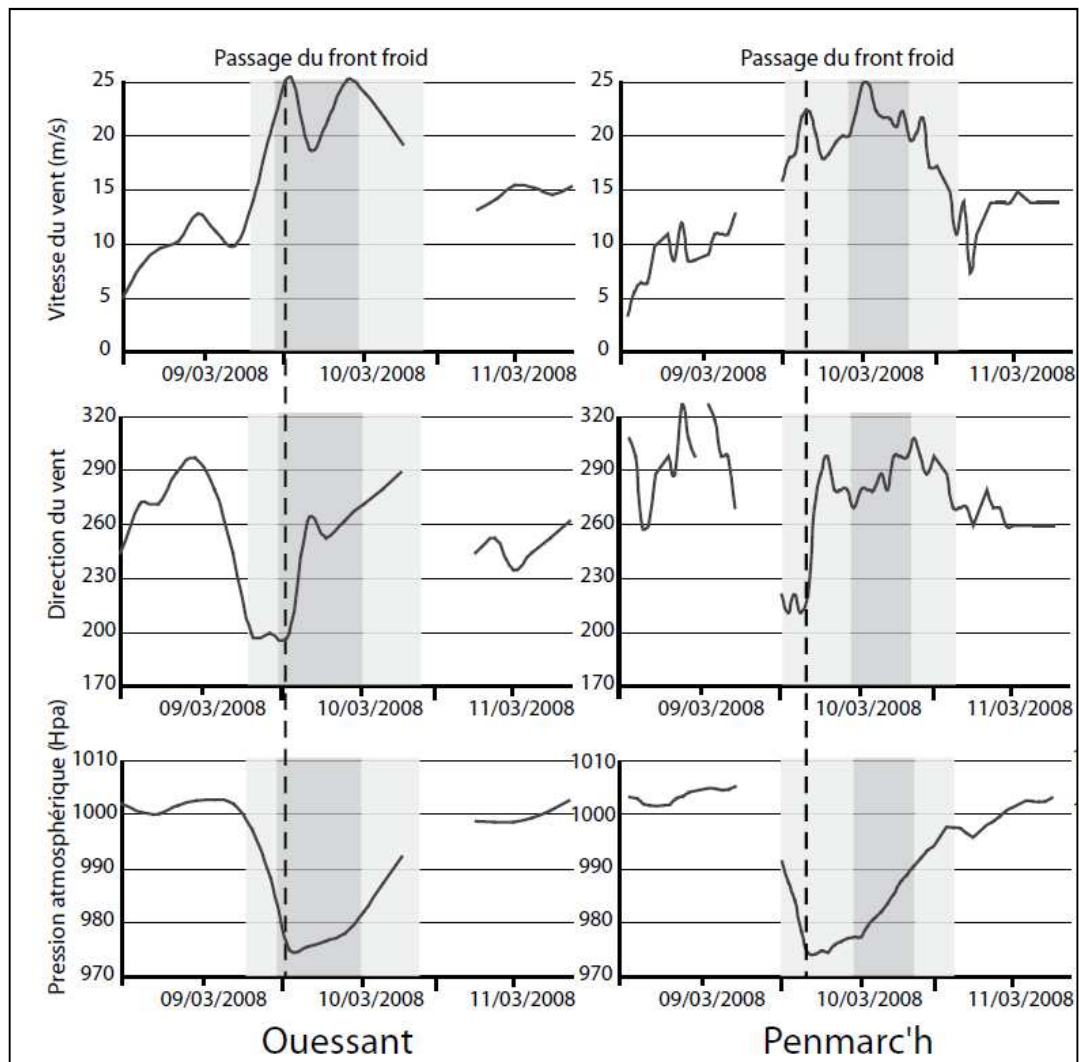


Figure 20 : Conditions de vent et de pression atmosphérique enregistrées dans les stations de Ouessant et de Penmarc'h entre le 9 mars et le 11 mars 2008 – (source : Météo-France)

Au soir du 10 mars, le centre dépressionnaire s'est déplacé au sud-est de l'Angleterre et la dépression n'a pas diminué en intensité (Figure 21). À 19 heures UTC, la pression au centre du système dépressionnaire est de 960 hPa et celle mesurée au nord de la Bretagne est de 985 hPa (Figure 21). Le gradient de pression nord-ouest est alors de 25 hPa sur une distance de 500 km. Cette situation se traduit par des vents toujours violents mais orientés maintenant au secteur ouest-nord-ouest.

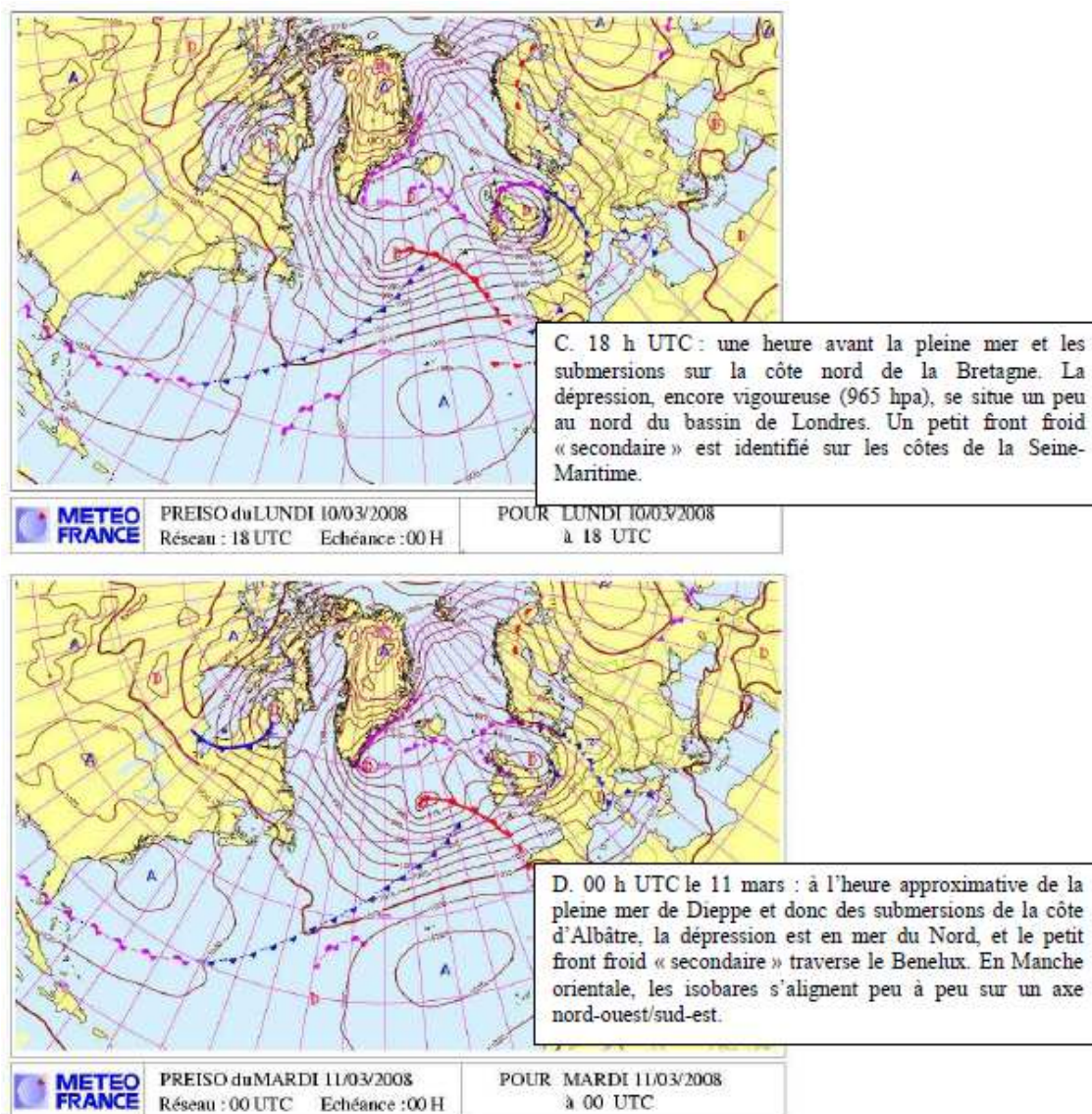


Figure 21 : Évolution synoptique entre le 10 mars 2008 18 h 00 UTC et le 11 mars 2008 00 h 00 UTC (source : Météo-France)

Après le passage du front froid « secondaire » sur les côtes de la Seine-Maritime, vers 18 h UTC, on ne détecte plus d'activité frontologique en Manche orientale durant la nuit, ni sur les documents de Météo-France, ni à l'examen des « données minute » du sémaphore de Dieppe (Figure 22). Il n'existe alors plus de forme météorologique active (front froid actif ou dépression creuse en mouvement rapide) même si la dépression en cause reste vigoureuse sur le sud des Îles britanniques.

Le gradient de pression barométrique sur la Manche est assez remarquable à 00 h UTC le 11 mars (**horaire proche de la pleine mer théorique sur la côte d'Albâtre, au moment des submersions**) : de niveau 5 dans l'échelle des « indices de gradient de nord-ouest » définie par S. Costa (1997), soit 5 intervalles de 5 hPa le long d'un transect s'étirant de Cromer (sud-est de l'Angleterre) à la Pointe du Raz. L'indice 6 étant le degré maximal observé lors des submersions exceptionnelles de février 1990.

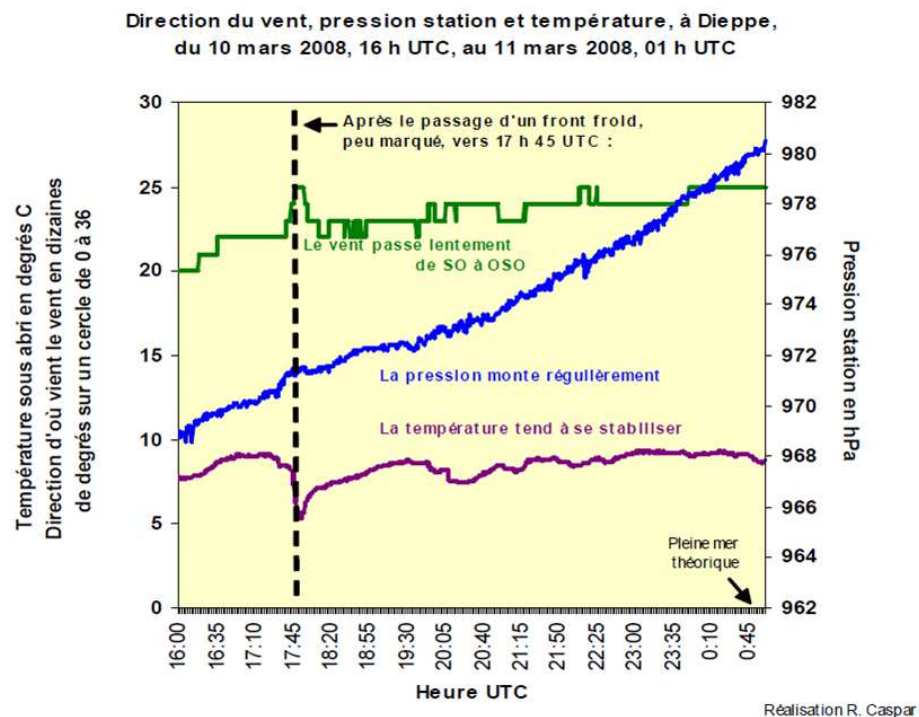


Figure 22 : Evolution des paramètres météorologiques sur le site de Dieppe après le passage d'un petit front froid secondaire le 10 mars 2008 vers 17h45 UTC.

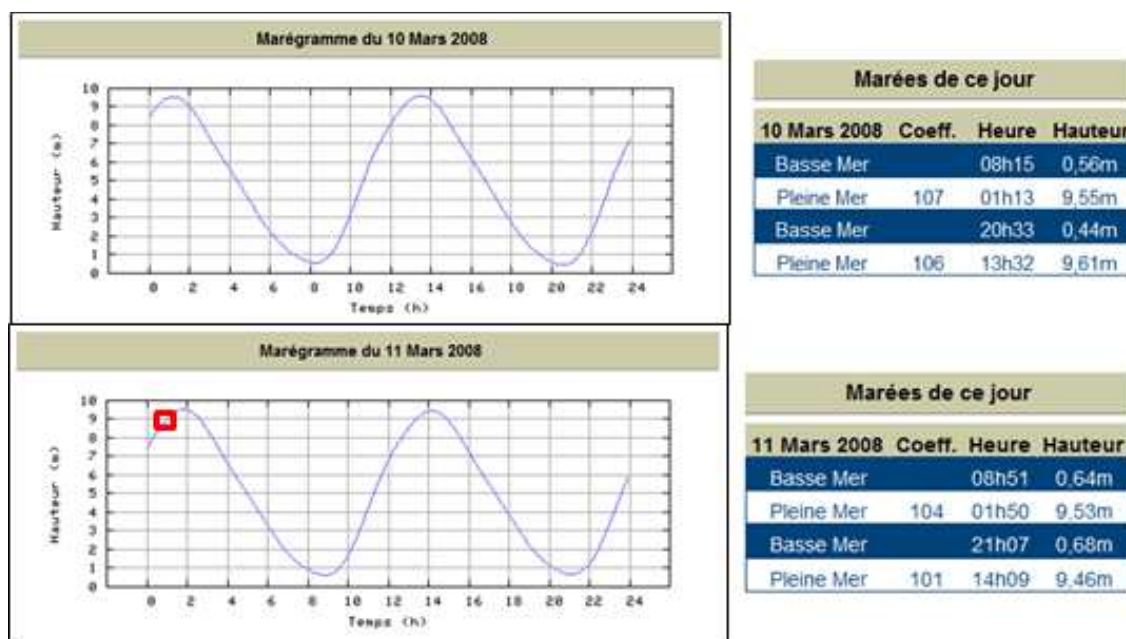
Durant le flot de la nuit du 10 au 11 mars, le vent passe progressivement de sud-ouest à ouest sur les côtes de la Haute-Normandie et celles de Picardie (il prend une composante dite « d'afflux »). Des interactions complexes se mettent en place, entre l'onde de marée, la puissance des vagues qui augmente, les surcotes d'ordre météorologique et de déferlement... **qui aboutissent localement à des submersions sévères.**

Au cours de la journée du 11 mars, la dépression se comble progressivement en atteignant la mer du Nord, vers le 55ème parallèle nord (Figure 18). La tempête est terminée, mais les dégâts le long des côtes bretonnes et de la Manche sont importants.

Selon Météo-France, les vitesses de vents atteintes pendant la tempête ont une occurrence de deux à trois ans. Cependant, la durée de l'épisode tempétueux est inhabituelle. Les vents violents ont en effet soufflé pendant une douzaine d'heures (Léry, 2008).

Les niveaux d'eau ont atteint lors de cette tempête des valeurs inattendues (cf. Figure 23). Ils étaient dus à la combinaison de phénomènes indépendants (surcote importante accompagnée d'une mer énorme et pleine mer de vive-eau). Les niveaux d'eau maximums à l'origine de la submersion des côtes basses ont été à chaque fois précédés par le passage d'un front froid. Les vitesses de vent et les hauteurs de houles atteintes pendant cette tempête avaient une période de retour de deux ans. Les niveaux d'eau mesurés par les marégraphes du SHOM sur la façade Atlantique et sur la Manche avaient une occurrence de deux à cent ans.

En première approche de notre réflexion, voici le cycle de marée astronomique prédit par le SHOM le jour de la tempête (les valeurs sont fournies en CM, il faut soustraire 4,45m pour obtenir les valeurs en mIGN).



La figure suivante présente la surcote à Dieppe enregistrée lors de la tempête du 10 au 11 mars 2008.

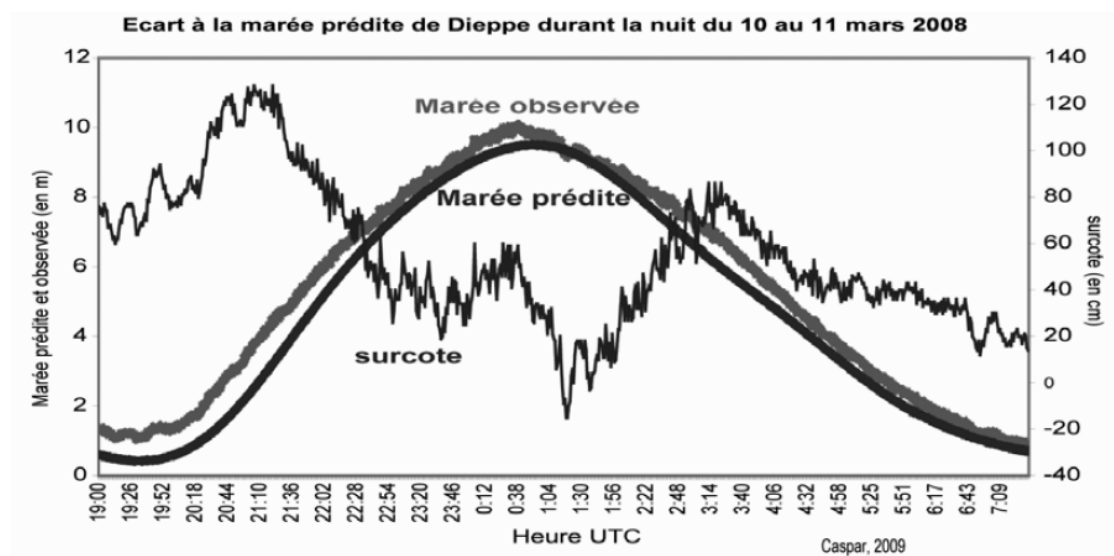


Figure 23 : Surcote à Dieppe lors de la tempête du 10 au 11 mars 2008 ; données SHOM et DDE

Ainsi, la surcote au moment de la pleine-mer était de l'ordre de 60 cm. Le niveau d'eau enregistré était de +10,13 m CM, soit +5,68 m IGN.

Le niveau de marée à Quiberville lors de cet évènement peut être estimé à environ 17cm de moins que celui de Dieppe en interpolant linéairement les données de prédiction disponibles pour Dieppe et Saint-Valéry-En-Caux. Cette réduction sur le niveau de la marée astronomique est prise en compte dans le niveau d'eau retenu pour cet évènement historique.

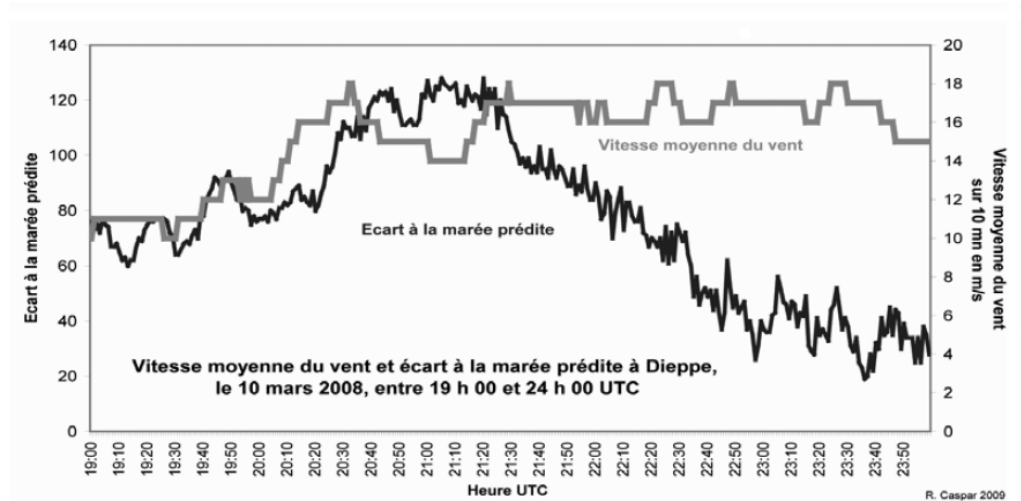


Figure 24 : Vitesse du vent moyennée (sur 10 minutes) et surcote à Dieppe le 10 mars 2008 ; Données Météo-France

En l'absence d'un houlographe dans le secteur d'étude, une estimation de l'état de la mer a malgré tout pu être réalisée à partir d'observations visuelles jusque vers 3 h 30 légales, par les auteurs (R. Caspar à Etretat, et S. Costa à Pourville-sur-Mer). L'évaluation qui en résulte se rapporte plus à la hauteur de déferlement des vagues, qu'à la hauteur caractéristique de celles-ci ($H_{1/3}$) en raison du caractère nocturne de l'évènement, et de la position des observateurs, situés à proximité des digues-promenades (perré).

Au plus fort de la submersion, il a été estimé, à Etretat, une hauteur des vagues d'environ 3 m, avec par moments des groupes de vagues plus hautes, au nombre de 3 à 5, dépassant 4 m, séparées de 9 à 10 secondes, à l'origine des dégâts aux terrasses du front de mer. Les vagues les plus « remarquables », et pourtant légèrement inférieures aux houles de période de retour annuelle, sont apparues après la fin de la pleine mer théorique. Les observations à Pourville sont similaires : les vagues les plus « efficaces » en termes de submersion, sont survenues, par petits groupes, après la fin de l'étale théorique.

Afin de confirmer ses observations visuelles, l'état de la mer prévu par le modèle numérique de Météo-France² a été analysé.

Le document de prévision pour 24 h 00 UTC proposait, à proximité de la côte d'Albâtre, une « mer totale » (superposition de la mer du vent et des houles) « très forte » devant Etretat ($H_{1/3}$ supérieure à 4 m) et **forte devant Pourville ($H_{1/3}$ supérieure à 2,50 m)**. Dans l'intervalle 18h/24h le modèle faisait passer la direction de la mer du vent, de sud-ouest à ouest et mettait en place un système relativement complexe de houle primaire. Le modèle de 00h UTC proposait, au point de grille 50,1 N et 1,0 E (**soit 17 km au droit de Pourville**) **pour le 10 mars à 24 heures UTC, une « mer totale » d'ouest, de 3,90 m**, comportant une « houle primaire » (la plus énergétique) de nord-ouest, avec pour hauteur 0,60 m et période 9 secondes.

Le modèle semble bien avoir rendu compte de la réfraction progressive que subissaient les vagues en provenance du large, vers les côtes françaises, comme anglaises, lesquelles ont généré de nombreux franchissements d'ouvrage au moment de la pleine mer.

Bien entendu, ces valeurs sont entachées de facteurs d'incertitude inhérents aux limites connues des modèles numériques, de même que le modèle côtier n'est pas en mesure d'exprimer les

² Modèle numérique « côtier » de Météo-France (domaine France, résolution spatiale 0,1°, forcé par le modèle « Aladin » et utilisant une physique en eau peu profonde)

vagues au rivage. Il fournit cependant des ordres de grandeur et d'évolution intéressants, utiles à la prévision des submersions.

Les caractéristiques de l'évènement historique du 10 mars 2008 retenues pour l'étude du PPRL sont : $H_s = 3,9$ m, $T_p = 9$ s, $Dir = N280^\circ$ et $Niv = +5,51$ m IGN.

4.3 Comparaisons des périodes de retour

Le graphique suivant présente l'occurrence des tempêtes du 26 février 1990 et du 10 mars 2008 par rapport aux événements centennaux déterminés par analyse statistique (cf. 3.2).

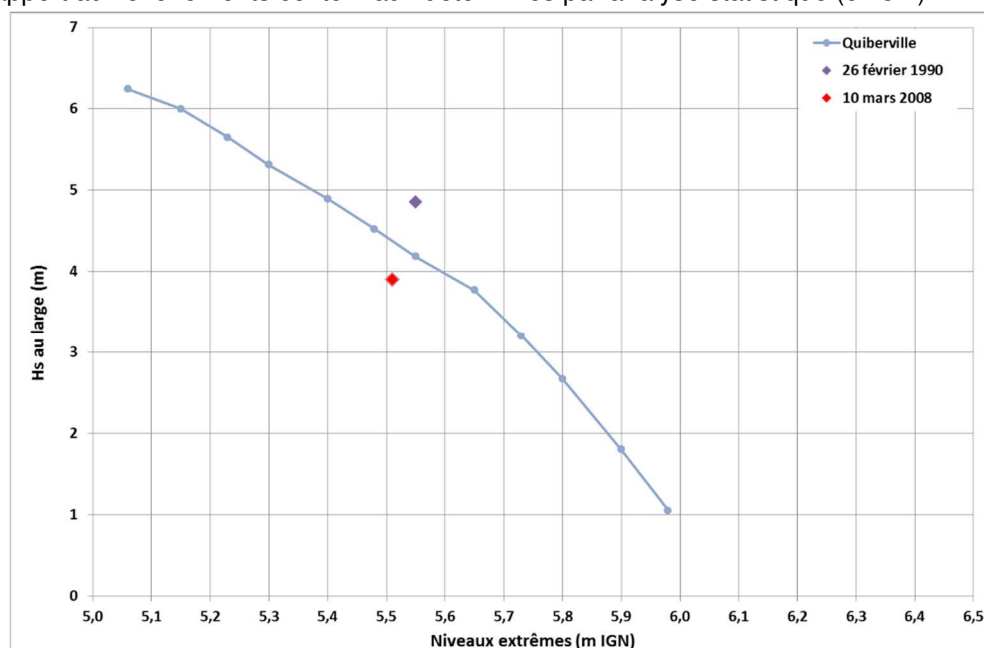


Figure 25 : Période de retour des tempêtes du 26 février 1990 et du 10 mars 2008

On constate que la tempête du 10 mars 2008 a une occurrence moins que centennale et que la tempête du 26 février 1990 a une occurrence plus que centennale.

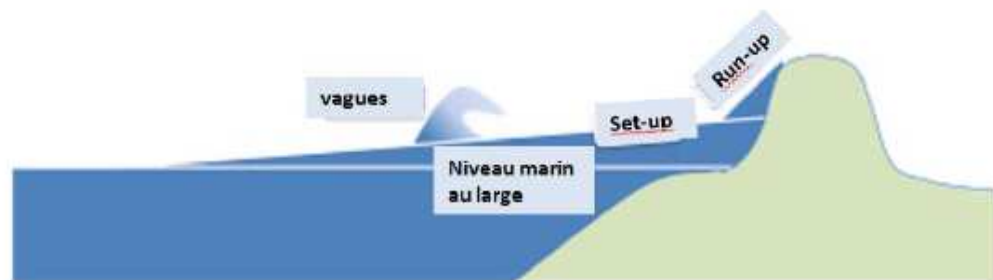
Les caractéristiques de l'évènement historique du 26 février 1990 retenues pour l'étude du PPRL sont : $H_s = 4,85$ m, $T_p = 11,1$ s, $Dir = N286^\circ$ et $Niv = +5,55$ m IGN.

5 Propagation des houles du large à la côte

5.1 Le modèle de propagation des houles

Lorsque la houle se rapproche de la côte, une surcote liée aux vagues, appelée Set up, provoquée par la dissipation d'énergie liée au déferlement des vagues peut se produire. Il s'agit là d'une élévation moyenne du niveau d'eau, à prendre en compte pour l'évaluation d'un niveau d'eau statique maximum.

Finalement, le déferlement des vagues sur le rivage forme un Jet de Rive (masse d'eau projetée vers le haut de l'estran), ou Run-up, variable dans le temps à une fréquence proche de celle des vagues arrivant au rivage ; le point haut du Jet de rive servant au calcul des franchissements.



Le modèle numérique utilisé a permis de propager les houles du large à la côte et de déterminer les variables qui nous intéressent dans le cadre de ce PPRLI, la hauteur significative et le setup entres autres.

Cette propagation de la houle a été réalisée avec le modèle SWAN One (ou SWAN1D) (Simulating WAve in the Nearshore) développé par l'Université Technologique de Delft (TU-DELFT). C'est un modèle spectral dit de troisième génération permettant d'obtenir des estimations réalistes des paramètres de vagues en régions côtières à partir d'un forçage donné de vent et de houle et d'une bathymétrie le long d'un profil transversal.

SWAN1D est un outil permettant de représenter un grand nombre de phénomènes tels que :

- La réfraction,
- Le déferlement,
- Le shoaling,
- Le setup.

La modélisation avec SWAN nous permettra d'obtenir au pied des ouvrages la hauteur des houles et le setup. Ces deux paramètres ainsi que le niveau d'eau extrême 100 ans PM nous permettront de déterminer les débits de franchissements par-dessus les ouvrages.

5.2 Le profil des fonds

La zone d'étude concernée par le risque de franchissement est le secteur de la plage de Quiberville et Sainte-Marguerite-sur-Mer.

En effet, de part et d'autre de Quiberville sont présents uniquement des falaises hautes ne présentant aucun risque de franchissement ni de submersion. Ainsi, la modélisation sur SWAN sera concentrée sur le secteur de la plage de Quiberville et de Sainte-Marguerite.

La bathymétrie devant le secteur à risque de franchissements est relativement homogène donc les calculs de modélisation seront réalisés sur un seul profil qui est représentatif de la bathymétrie moyenne du site (cf. figure ci-après).

Le profil commence à la même profondeur que celle du point ANEMOC 3356 d'où sont fournies les conditions hydrodynamiques de houles à modéliser.

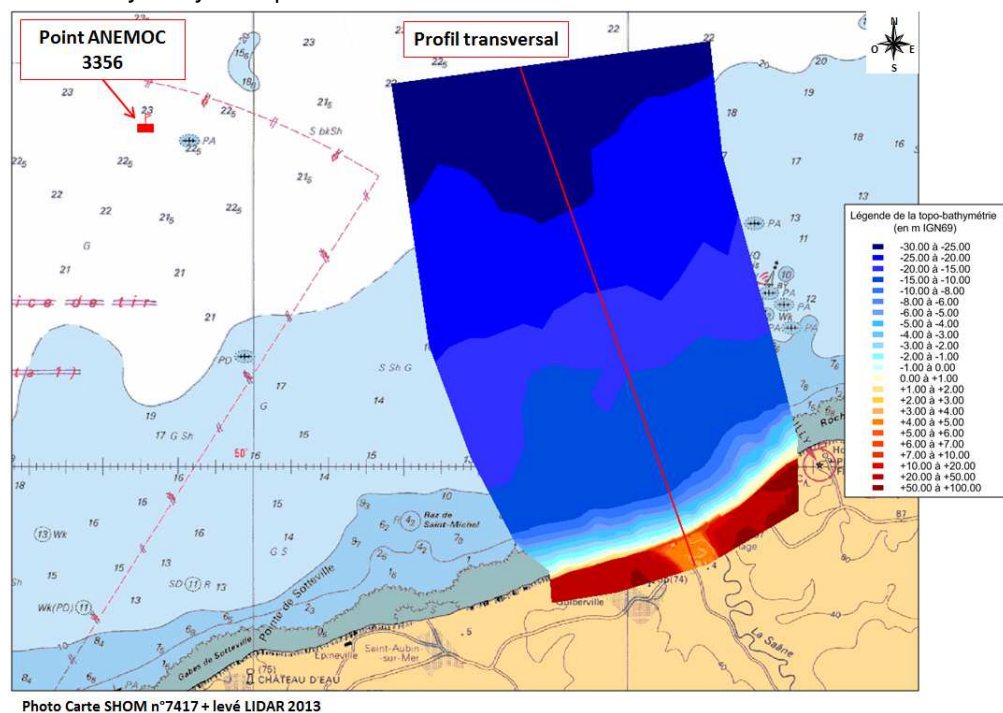


Figure 26 : Localisation du profil de modélisation SWAN1D

Les données bathymétriques disponibles sur la zone d'étude et utilisées pour la construction du profil topo-bathymétrique sont :

- La carte marine du SHOM n° 7417 ;
- Le levé topo-bathy LIDAR de 2013.

Le profil des fonds modélisé utilisé pour les modélisations avec SWAN 1D est présenté ci-après :

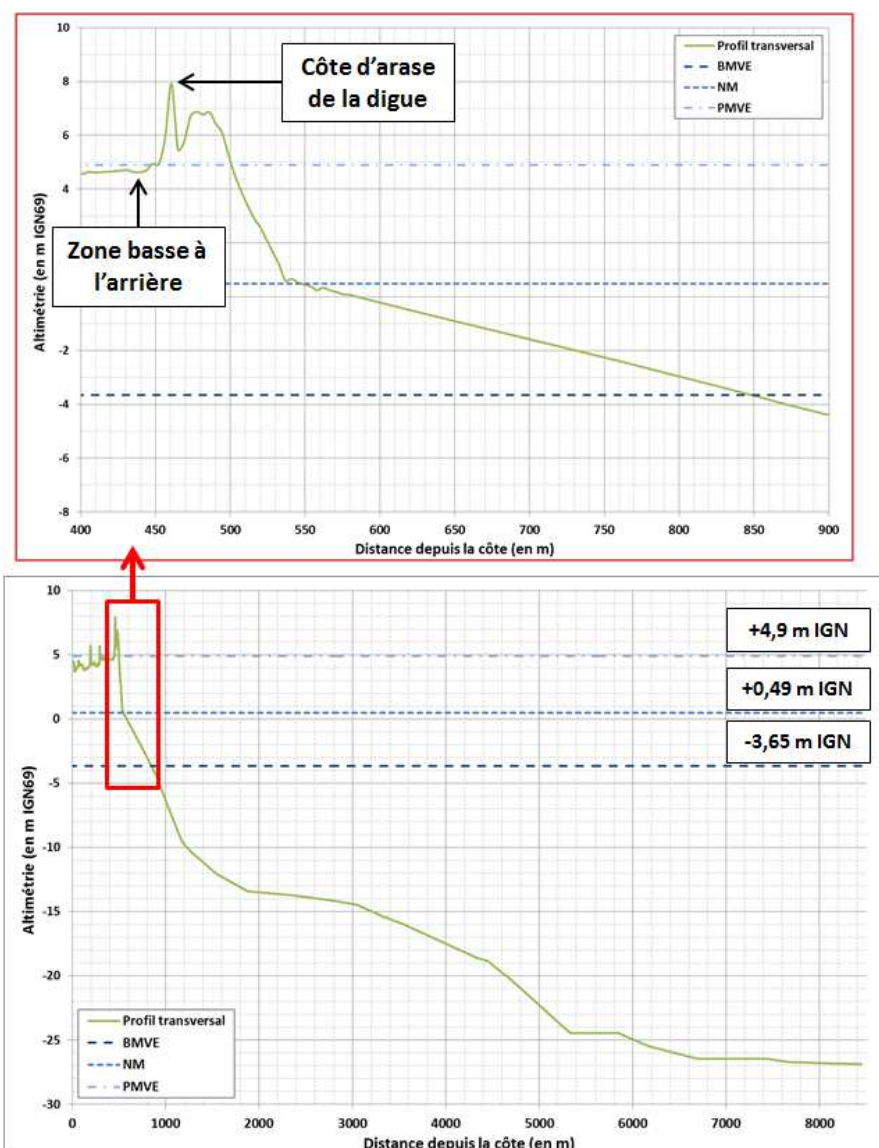


Figure 27 : Profil de modélisation avec SWAN1D

Une analyse de la sensibilité des franchissements en relation avec le cordon de galets a été faite dans le cadre de l'élaboration du PPRLI de la Scie, qui a abouti à retenir des profils amaigris en galets, plus défavorables vis-à-vis de cet aléa.

En conséquence, les profils topobathymétriques utilisés pour l'élaboration du PPRLI de la Sâne ont également été amaigris, d'environ 1m, à l'image des observations faites par Costa sur la plage de Quiberville et Sainte-Marguerite-sur-Mer les 10 et 15 février 1996.

5.3 Cas de calculs modélisés

De manière générale, il a été modélisé :

- 12 cas de calculs pour l'évènement centennal déterminé à partir des analyses statistiques,
- 2 cas de calculs pour l'évènement de référence du 26 février 1990 (état actuel et à +100 ans).

Nous avons réalisé les 14 cas de calculs afin de pouvoir travailler sur la problématique des franchissements où les évènements références peuvent être différents de l'évènement référence déterminé pour le niveau marin.

	Cas	Houle				Vent		Niveau d'eau		Marges considérées	Niveau d'eau simu SWAN
		Période de retour (ans)	Dir (°N)	Hs(s)	Tp(s)	Dir (°N)	Vitesse (m/s)	Période de retour (ans)	Niveau d'eau (m IGN)		Niveau d'eau (m IGN)
Modèle numérique SWAN 1D	1	100	280	6,24	13	260	20	0,02	5,06	RC (+0,20m) + incertitudes (+0,25m)	5,51
	2	57	280	6,00	13	260	20	0,05	5,15		5,60
	3	28	280	5,65	12	260	20	0,1	5,23		5,68
	4	14	280	5,31	12	260	20	0,2	5,30		5,75
	5	6	280	4,89	11	260	20	0,5	5,40		5,85
	6	2,8	280	4,52	11	260	20	1	5,48		5,93
	7	1,4	280	4,18	10	260	20	2	5,55		6,00
	8	0,6	280	3,77	10	260	20	5	5,65		6,10
	9	0,28	280	3,20	9	260	20	10	5,73		6,18
	10	0,14	280	2,67	9	260	20	20	5,80		6,25
	11	0,06	280	1,80	8	260	20	50	5,90		6,35
	12	0,03	280	1,05	7	260	20	100	5,98		6,43
	13	26/02/1990 - actuel	286	4,85	11,1	260	25	Evènement historique	5,55	RC (+0,20m) + incertitudes (+0,25m)	6,00
	14	26/02/1990 - à 100 ans	286	4,85	11,1	260	25		5,55	RC (+0,60m) + subsidence (+0,10m) + incertitudes (+0,25m)	6,50

Tableau 9 : Tableau des cas de calculs SWAN 1D

Remarques : La colonne niveau d'eau a été déterminée au ., La colonne « niveau d'eau simu SWAN » présente les niveaux d'eau utilisés pour les calculs avec SWAN, ces niveaux additionnent la colonne « niveaux d'eau » et la colonne « marges considérées ».

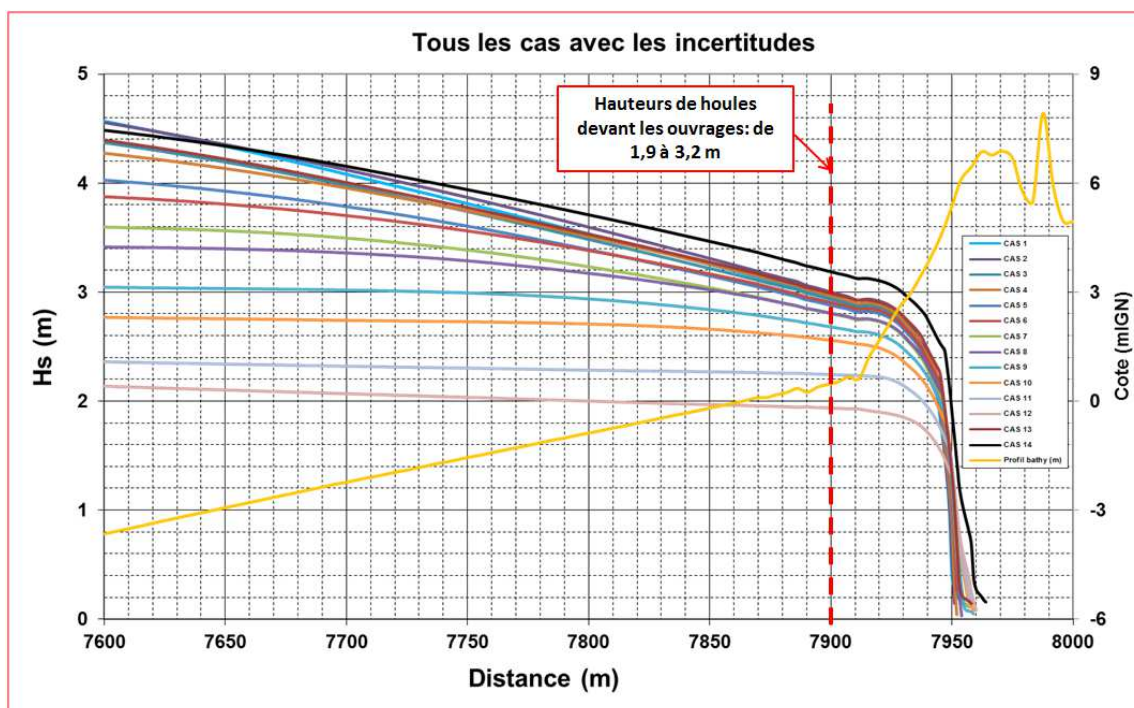
5.4 Résultats issus des modélisations numériques

L'objet de cette partie est la simulation des événements précédemment validés pour déterminer les caractéristiques de la houle et du wave setup à proximité du littoral d'étude. Le modèle numérique a été réalisé à l'aide du logiciel SWAN 1D.

5.4.1 Hauteurs significatives

Les points d'extraction des résultats sont localisés à une demi-longueur d'onde (de la houle du large) de la côte, soit à une distance moyenne de 40 m.





Le tableau suivant présente les hauteurs significatives de houle calculées à $\frac{1}{2}$ longueur d'onde devant le site d'étude :

Tableau 10 : Hauteurs significatives de houle devant le site

QUIBERVILLE	
Cas de calculs	Houle Hs (m)
1	3,00
2	3,05
3	2,95
4	3,00
5	2,90
6	2,95
7	2,85
8	2,85
9	2,70
10	2,55
11	2,25
12	1,95
13	3,00
14	3,20

5.4.2 Wave setup et niveaux d'eau extrêmes

L'objet de cette partie est la simulation des événements précédemment validés pour déterminer les caractéristiques du wave setup à proximité du littoral d'étude. Le modèle numérique a été réalisé à l'aide du logiciel Swan One (1D).

Le wave setup représente la hausse du niveau de la mer à la côte due au déferlement des vagues. Cette valeur de setup est à additionner au niveau d'eau extrême calculé au chapitre 4 pour obtenir le niveau d'eau extrême en tempête à la côte.

Le calcul du wave setup a été effectué à partir de niveaux d'eau prenant en compte :

- Un niveau de marée PMVE : pleine mer de vives-eaux (coefficient 95),
- Une surcote liée aux phénomènes météorologiques (vent + pression).
- La hausse future du niveau des mers due au changement climatique. Dans le cadre d'un PPRL, il est signifié d'intégrer systématiquement au niveau marin de référence une surcote de 20 cm constituant une première étape de prise en compte du changement climatique (cf. B2]) (hausse de +60 cm pour le cas n°14 à 100 ans). Une hausse de +10 cm liée à la subsidence pour le cas n°14 à 100 ans.
- Les incertitudes : +25 cm.

Ainsi, grâce à l'ajout des valeurs calculées du setup, nous avons pu déterminer les niveaux d'eau maximums à la côte.

Le tableau suivant présente les valeurs de wave setup et de niveaux extrêmes à considérer devant le site d'étude dans le cadre de l'analyse de l'aléa submersion :

Tableau 11 : Niveaux d'eau extrêmes devant le site

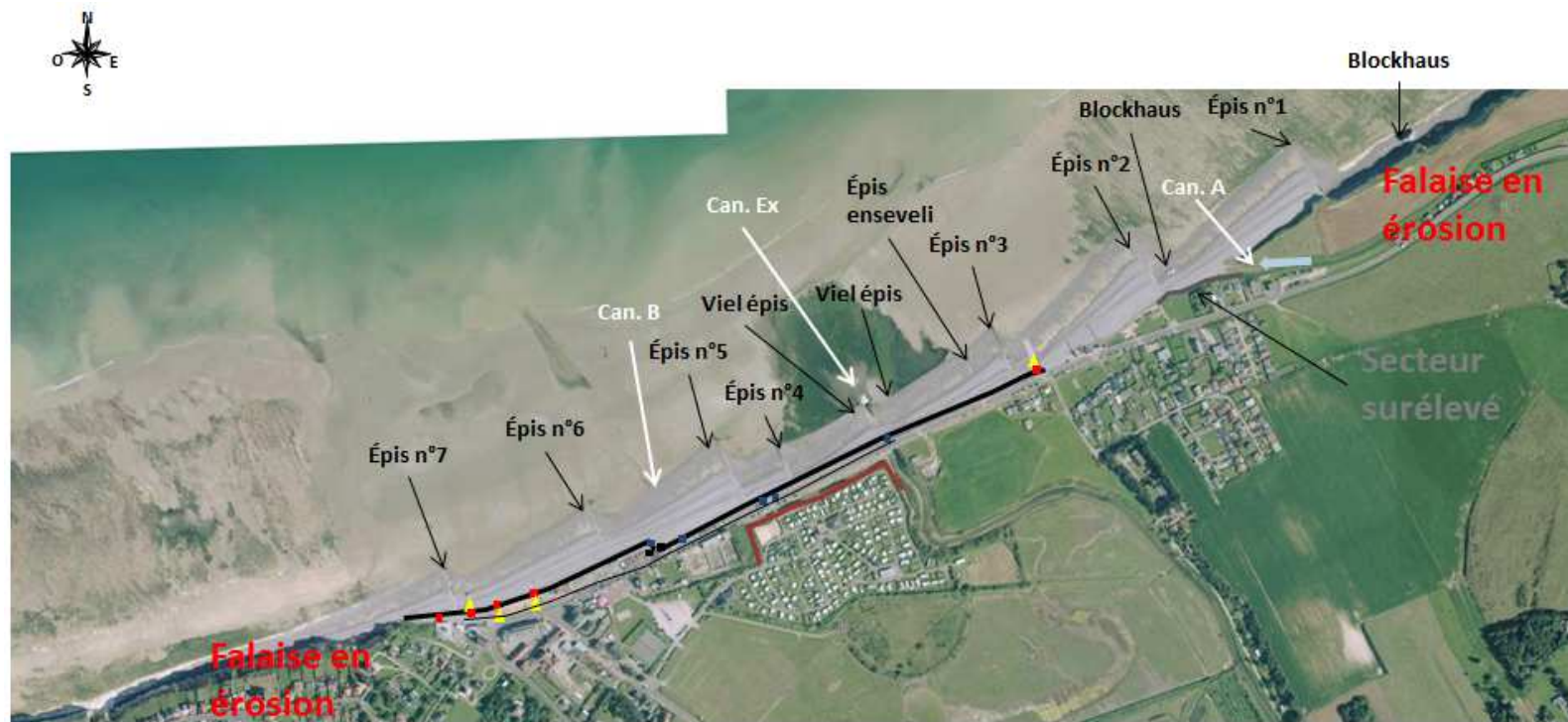
QUIBERVILLE				
Cas de calculs	Niveau d'eau (m IGN) : Marée + vent et pression	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)
1	5,06	0,45	0,63	6,14
2	5,15	0,45	0,75	6,35
3	5,23	0,45	0,59	6,27
4	5,30	0,45	0,74	6,49
5	5,40	0,45	0,53	6,38
6	5,48	0,45	0,61	6,54
7	5,55	0,45	0,47	6,47
8	5,65	0,45	0,61	6,71
9	5,73	0,45	0,47	6,65
10	5,80	0,45	0,41	6,66
11	5,90	0,45	0,34	6,69
12	5,98	0,45	0,31	6,74
13	5,55	0,45	0,57	6,57
14	5,55	0,95	0,63	7,13

6 Digue de Quiberville/Sainte-Marguerite-sur-Mer

Ce chapitre est consacré aux calculs de franchissements qui permettront de définir les aléas submersion sur le littoral d'étude.

6.1 Ouvrages sur le littoral d'étude

La visite du site de la digue de Sainte-Marguerite-sur-Mer et Quiberville-sur-Mer a permis de décrire les ouvrages de protection présents sur cette plage. Des travaux ont été réalisés sur cette digue.



Orthophoto IGN 2012

Figure 28: Ouvrages littoraux sur le site d'étude

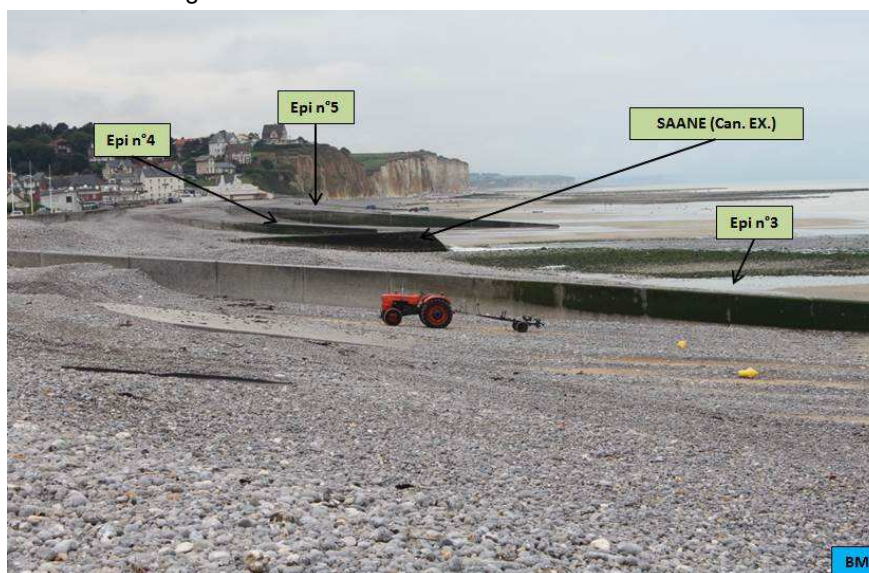
6.2 Digue de Quiberville

6.2.1 Description

L'ouvrage dont il est question est un perré maçonné, dont le parement (côté mer) est protégé par un cordon de galets (cf. photo ci-après).



Le cordon de galets permet de protéger l'ouvrage contre le déferlement des vagues. 8 épis transversaux visibles lors de la visite (dont l'épis buse de la Saône) à la digue doivent normalement permettre de maintenir sur la plage une hauteur de galet suffisante. Aucun rechargement artificiel de galets n'est effectué.





En crête de la digue, deux types de murets batardables ont été identifiés. Le muret, présent côté mer, est en béton avec une paroi légèrement incurvée. Le muret, côté zone protégée, se compose de blocs de béton.

Discontinus, ces murets présentent plusieurs zones batardables (cf. ci-dessous), qui peuvent être obstruées par l'insertion de bastaings (cf. photos ci-après), afin d'assurer leur continuité. Ils ont pour fonction d'empêcher toute entrée d'eau, par paquets de mer, dans la zone protégée.

A l'Est de l'esplanade, les batardeaux ont plus un rôle de contenir les galets sur la plage. En effet, le fort engraissement dans ce secteur a considérablement réduit les venues d'eau dans ce secteur.



6.2.2 Gestion des aménagements

Le Département de la Seine-Maritime est propriétaire et gestionnaire du parement amont du perré, des épis, des murets batardables en crête et de la promenade. La Direction de l'Environnement a en charge la gestion, l'entretien et la surveillance de ces différentes parties. Elle assure également la maîtrise d'œuvre pour les petits travaux de la digue (réfection de la maçonnerie, rejointage).

Bien que le Département de la Seine-Maritime soit propriétaire et gestionnaire des murets batardables, présents en crête d'ouvrage, l'acheminement et la mise en place des batardeaux sont assurés par la commune Quiberville-sur-Mer. Cette opération est effectuée par les agents du service technique de la commune. Il n'y a pas de batardeau sur la commune de Sainte-Marguerite-sur-Mer.

6.2.3 Inspection des aménagements

L'inspection a permis de mettre en exergue plusieurs désordres. Ceux-ci se matérialisent par des fissures longitudinales du couronnement, par des passages d'eau à travers les palplanches, (ancrage et soutènement de l'Épi n°1), par la dégradation du couronnement de plusieurs épis et du parapet de la digue à l'extrémité Ouest et surtout par le déchaussement de blocs béton sur le muret de la digue côté terre.

L'inspection a porté sur les parties de l'aménagement suivantes :

- L'esplanade (Quiberville-sur-Mer) ;
- La promenade (Quiberville-sur-Mer) ;
- La digue-route (Sainte-Marguerite-sur-Mer) ;
- Le front de mer de Sainte-Marguerite-sur-Mer ;
- Le parement côté mer ;
- Le parement côté terre ;
- Les épis ;
- Le cordon de galets ;
- Les dispositifs de batardage ;
- Les ouvrages traversiers.

L'esplanade

Exclusivement piétonne, cette esplanade est destinée aux activités de loisirs. Elle est constituée essentiellement de dalles de béton. La largeur en crête, définie par l'espacement entre les deux murets batardables, est d'environ 8 m.



Cette esplanade est élargie à son entrée principale (16 m environ) et à son extrémité Ouest (25 mètres). L'esplanade présente une longueur de 300 m environ. L'esplanade présente un bon état visuel et les dalles ne manifestent aucun signe de tassements ou de gonflements. Quelques fissures longitudinales sont visibles.

La promenade

Exclusivement piétonne, de 2 à 3 mètres de large sur environ 325 m de long, la promenade débute à l'Ouest de l'esplanade et se fini à proximité du débouché de la Saône. Des perforations dans le perré permettent aux eaux pluviales de s'écouler côté mer. Des fissures sur le couronnement béton sont visibles tout du long de la promenade.



La digue-route

La digue route s'étend sur la partie Est de l'épi buse de la Saône sur tout le linéaire de la plage. La base de la digue mesure environ 16 m et la largeur de la crête environ 10 m.



Le front de mer de Sainte-Marguerite-sur-Mer

Le front de mer à l'Est de la plage a été récemment aménagé. Cette partie de la plage est en grande partie protégée par un large et épais cordon de galets. Quelques enrochements ont été mis en place côté mer plus d'un point de vue esthétique qu'antiérosif.



Le parement côté mer

Le parement côté mer : perré est en béton coulé avec une paroi légèrement incurvée.



Extrémité Ouest de la plage



Au niveau de l'esplanade



A proximité de l'épis buse de la Saône



A l'Est de l'épi buse de la Saône au droit de la digue route

De par leur composition identique, le parement amont et le muret batardable en crête, côté mer, se confondent et constituent une seule et même entité.

Lors de la visite, le cordon de galet en haut de plage arrivait entre 30 cm le plus souvent et 1.5 m au-dessous du perré. L'inspection du parement est rendue impossible sur la plupart du linéaire en raison d'un engraissement important sur le haut de plage.

Les parties visitées du perré présentent des fissures longitudinales, transversales et verticales pouvant résulter d'un mouvement relatif de la structure couplé à l'action mécanique des houles. Côté Sainte-Marguerite-sur-Mer, le parement dépasse d'environ 40 cm la digue route.

La gestion et l'entretien du parement amont sont de la responsabilité du Département de la Seine-Maritime. Des visites régulières sur site permettent d'anticiper tout désordre ou dysfonctionnement éventuel.

Le parement côté terre

Le parement côté terre est en bon état au niveau de l'esplanade. Des déchaussements de blocs béton et de nombreuses fissures sont visibles le long de la promenade. Le parement à l'Est de la Saane est en béton coulé recouvert par une strate herbacée. Le perré à une hauteur de 20 cm à 30 cm au-dessus du niveau de l'esplanade.



Esplanade côté terre



Entrée principale esplanade



Digue au niveau de la promenade



Fisures et déchaussements de blocs béton au niveau du parement de la promenade



Déchaussements de blocs béton au niveau du parement de la promenade



Parement aval digue route

Les épis

D'après l'étude A2, 12 épis dont l'épi buse de la Saône complétaient le système défense de la plage de Quiberville-sur-Mer/Sainte-Marguerite-sur-Mer en 1993 (cf. figure ci-dessous).

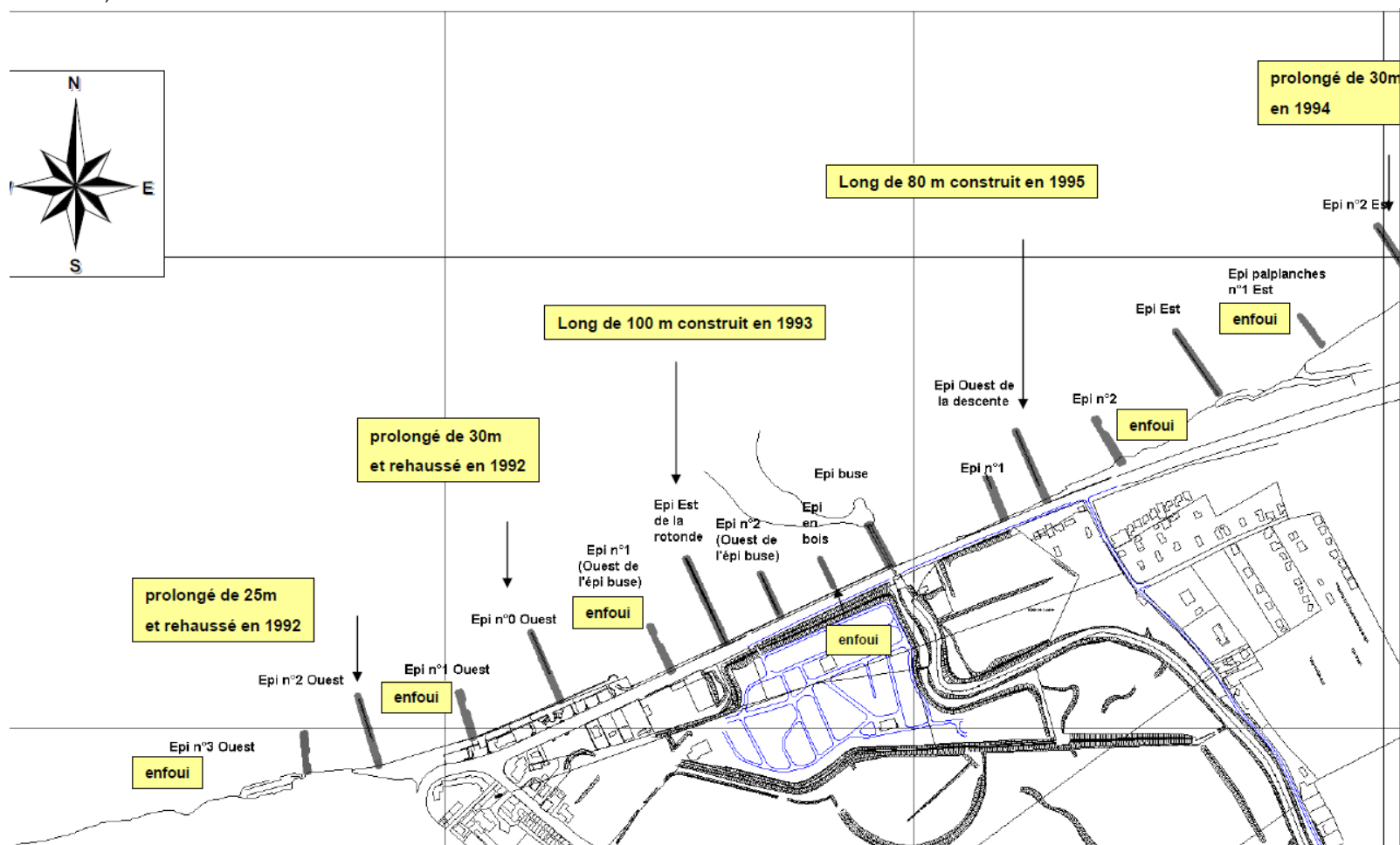


Figure 29 : Localisation des épis (source : SOGREAH, 2005)

Ouvrages transversaux	Longueur	Commentaires
A l'Ouest de l'épi buse		
Epi n°3 Ouest	45 m	Enfoui
Epi n°2 Ouest	80 m	prolongé de 25 m et rehaussé en 1992
Epi n°1 Ouest	50 m	Enfoui
Epi n°0 Ouest	80 m	prolongé de 30 m et rehaussé en 1992
Epi n°1	50 m	Enfoui
Epi Est de la rotonde	100 m	épi long construit en 1993
Epi n°2	50 m	
Epi en bois	40 m	Enfoui
Epi-buse	50 m	
A l'Est de l'épi buse		
Epi n°1	60 m	
Epi Ouest de la descente	80 m	épi long construit en 1995
Epi n°2	55 m	Enfoui
Epi Est	80 m	épi majeur qui bloque la plage et la stabilise sur 300 m
Epi palplanches n°1 Est	45 m	Enfoui
Epi n°2 Est	70 m	prolongé de 30 m en 1994

Figure 30 : Caractéristiques des épis (SOGREAH, 2005)

Les épis, inspectés lors de la visite sur le terrain sont au nombre de 8 dont l'épi buse de la Saône. Transversaux à la digue, ils ont pour fonction de maintenir en place les stocks de galets. Leur longueur est variable et oscille entre 50 et 100 mètres. Ce sont des épis plongeants : la cote d'arase en musoir est plus faible qu'au niveau de la base de l'épi.

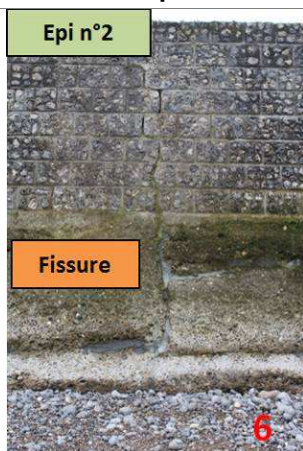
Une grille, destinée à l'évacuation des eaux de franchissement, est présente au-dessus de l'aqueduc, par lequel la rivière de la Saône se jette dans la Manche.



Epis 1 : déchaussement par contournement de l'épi



Epis 2



Fissure et déjointoyage (Epis 2)



Epis 3



Epis buse de la Saône



Epis 4



Déjointoyage Epi 4



Epis 5



Une synthèse de l'état des épis est présentée dans le tableau ci-dessous.

N° Epis	Etat général
1	Bon état général, déchaussement côté terre laisse apparaître les palplanches
2	Bon état général, présence de quelques fissures et d'un léger déjointoyage
3	Bon état général. Présence d'un très léger déjointoyage
Epis Buse	Bon état général
4	Bon état général, présence de quelques fissures et d'un léger déjointoyage
5	Bon état général
6	Couronnement arraché et dégradé globalement. Autrement bon état général des autres parties de l'épi
7	Bon état général

Tableau 12 : Etat des épis

Le cordon de galets

Le cordon de galets ne fait pas partie du système d'endiguement proprement dit. Cependant, il contribue fortement à la protection du perré, en le préservant des assauts de la mer et du déferlement des vagues. Les pleines mers de vives eaux n'atteignent pas le perré côté Saint-Marguerite-sur-Mer et au droit de l'Esplanade côté Quiberville-sur-Mer à cause de l'engraissement important en galet. La base du cordon de galets est à environ 0 à 1 m NGF 69. La teneur en galets augmente avec la cote du cordon.

De par le transit littoral, un léger déficit du volume de galets s'observe au centre de la plage au niveau de l'épi buse. Ce déficit est observable depuis plusieurs dizaines d'années.



Cordon de galets à hauteur de l'esplanade



Large cordon de galets coté Sainte-Marguerite-sur-Mer

La taille des matériaux assez grossiers permet la formation d'une pente entre 9 et 15 %.

La granulométrie des galets sur la plage de Quiberville/Sainte-Marguerite-sur-Mer (Service Maritime de Dieppe) est la suivante :

- D10 entre 27 et 29 mm ;
- D50 : 54 mm ;
- D90 : 90 à 110 mm.

On retrouve des sables et des graviers (0.04 mm et 20 mm) sur les platiers rocheux et en pied et dans le corps des cordons de galets. Sur les platiers, des placages de sables très mobiles et particulièrement abondants (Ifremer, 2004) s'étend sur une épaisseur maximale d'environ 1.5 m et sur quelques centaines de mètres carrés.

La base des cordons de galets est constituée par des matériaux sableux.

Des recharges de galets ont été effectuées :

- En 1992-1993 sur la plage de Quiberville- : Entre le pied de falaise ouest et la rotonde 17 500 m³.
- En 1996, sur la plage de Sainte-Marguerite-sur-Mer entre l'épi 2 (descente à la mer) et l'épi buse de 12 500 m³.

Le dispositif de batardage

Le dispositif de batardage de la digue promenade et de l'Esplanade se compose de deux murets batardables en crête (cf. Annexe), un en front de mer et un côté zone protégée, et de bastaings de bois permettant l'obstruction des accès à la promenade. Ce système a pour fonction d'empêcher toute entrée d'eau, par paquets de mer, dans la zone protégée. A l'Est de l'esplanade les bastaings maintiennent les galets sur la plage.

Les murets, d'une hauteur variable (20 à 60 cm), ne présentent pas de désordre particulier. Plusieurs batardeaux étaient en place au moment de la visite, certains passages batardables n'avaient pas de batardeaux.

Les ouvrages traversiers

Canalisation B :

D'un diamètre approximatif de 20 cm, elle est destinée à alimenter l'huîtrière en eau salée. En raison de la hauteur du cordon de galets, en proximité immédiate du perré, la canalisation n'a pu être inspectée. La partie visible de la buse présente une importante corrosion. Cette constatation laisse supposer une corrosion similaire sur toute la longueur de la canalisation.

La propriété et la gestion de cette canalisation relève d'un maître d'ouvrage privé. Les élus ont relaté que la circulation d'eau dans cette canalisation s'effectue aujourd'hui au gré des marées. Ainsi, le niveau d'eau des bassins de l'huîtrière fluctue en fonction des marées.

Ouvrage traversier Ex :

Destiné au rejet des eaux fluviales vers la Manche, l'exutoire de la rivière de la Saône se compose d'un ouvrage en béton, de section carrée. Il est intégré au corps de l'Épi buse et traverse le perré en intégralité. En amont immédiat du perré, l'interface entre l'ouvrage et le cours d'eau se matérialise par une voute et une vanne présente. Lors des pleines mers le courant s'inverse et remonte la Saône.

En raison du rejet permanent des eaux fluviales par l'ouvrage, seul son exutoire a pu être contrôlé. Celui-ci présente un bon état général.

La propriété et gestion de cet ouvrage relève du Département de la Seine-Maritime. Cet ouvrage dispose d'organes mobiles et d'une vanne plate.

L'ouvrage était constitué par un clapet mobile sur un axe horizontal supérieur qui n'existe plus. Son radier était à la cote de 6 m CM, de 2 m de large et de 1.7 m de haut. Cet ancien clapet était situé à l'aval d'un canal de 1.6 m de large et de plus de 2 m de haut qui est vouté. Ce canal débouche en aval dans une chambre correctrice, puis dans un canal bétonné de 1.5 m par 1.5 m sur 52 m (pente 0.01 %).

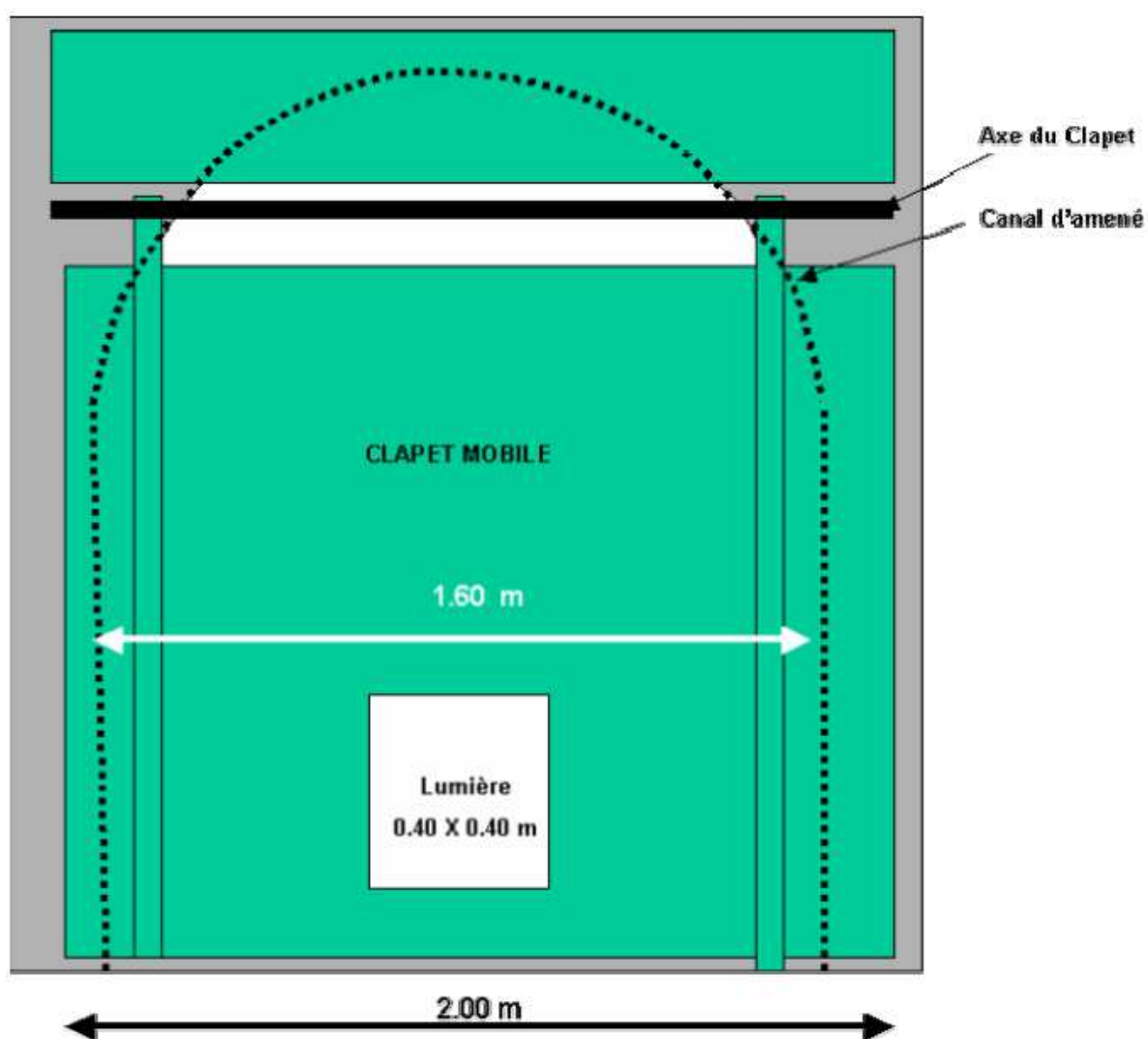


Figure 31 : Schéma de l'ancien clapet vu de l'aval (SOGREAH, 2005) et de la section de la buse

6.3 Détermination du profil de calcul

Plusieurs profils transversaux ont été tracés sur le site d'étude pour représenter l'altimétrie de la plage et de la digue ainsi que les zones à l'arrière.

La figure ci-après présente la localisation des profils ainsi que leur visualisation graphique.

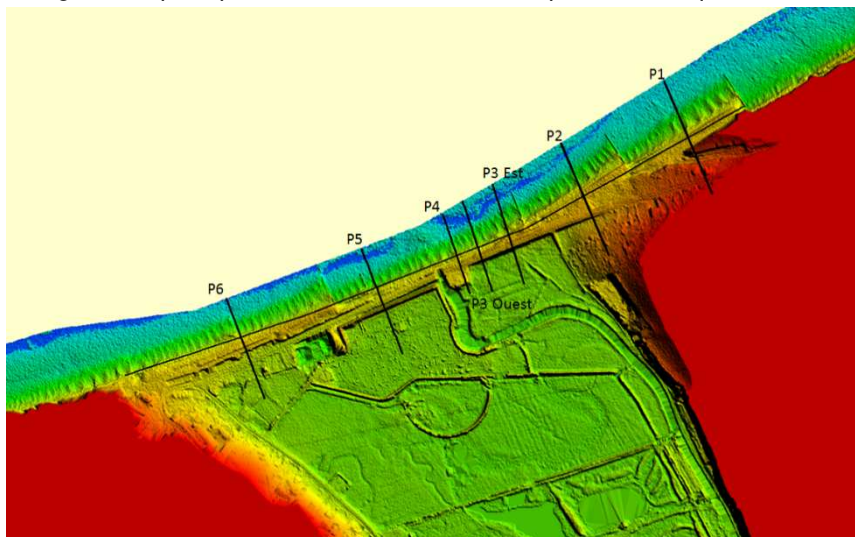


Figure 32: Localisation des profils d'étude

On constate de manière générale que :

- Les profils P1 et P2 présentent des terrains avec une altimétrie haute et une topographie qui s'élève rapidement.
- Les zones basses à l'arrière s'étendent sur les profils P3 à P6 compris, soit un linéaire d'environ 700 m.
- Le profil P3 correspond à une zone avec une plage de galet dont la cote maximale est inférieure à la cote du mur de couronnement. Le TN à l'arrière est très bas.
- Le profil P4 est identique au profil P3 mais avec un terrain en arrière moins bas que le profil 3.
- Le profil P5 correspond à une zone où la cote maximale de la plage de galet est relativement basse par rapport au mur de couronnement. Le terrain en arrière est bas, mais protégé par une digue en terre. La digue du camping n'est pas prise en compte pour le calcul des franchissements. En effet, les franchissements passent par-dessus la crête de la digue de la plage et inonde la route située entre les 2 digues (plage et camping). En revanche, les digues du camping sont représentées par le Lidar dans la modélisation lorsque l'eau rentre par la brèche et les franchissements dans la basse vallée.
- Le profil P6 présente une plage de galets dont l'arase est supérieure au mur de couronnement directement en arrière. Un deuxième mur, séparé par une promenade, se trouve en arrière.

Compte tenu de l'analyse des profils de calcul, une hétérogénéité a été constatée sur le linéaire étudié pour le calcul des franchissements. Des zones homogènes ont été définies pour le calcul de franchissement.

La figure suivante présente ces secteurs :

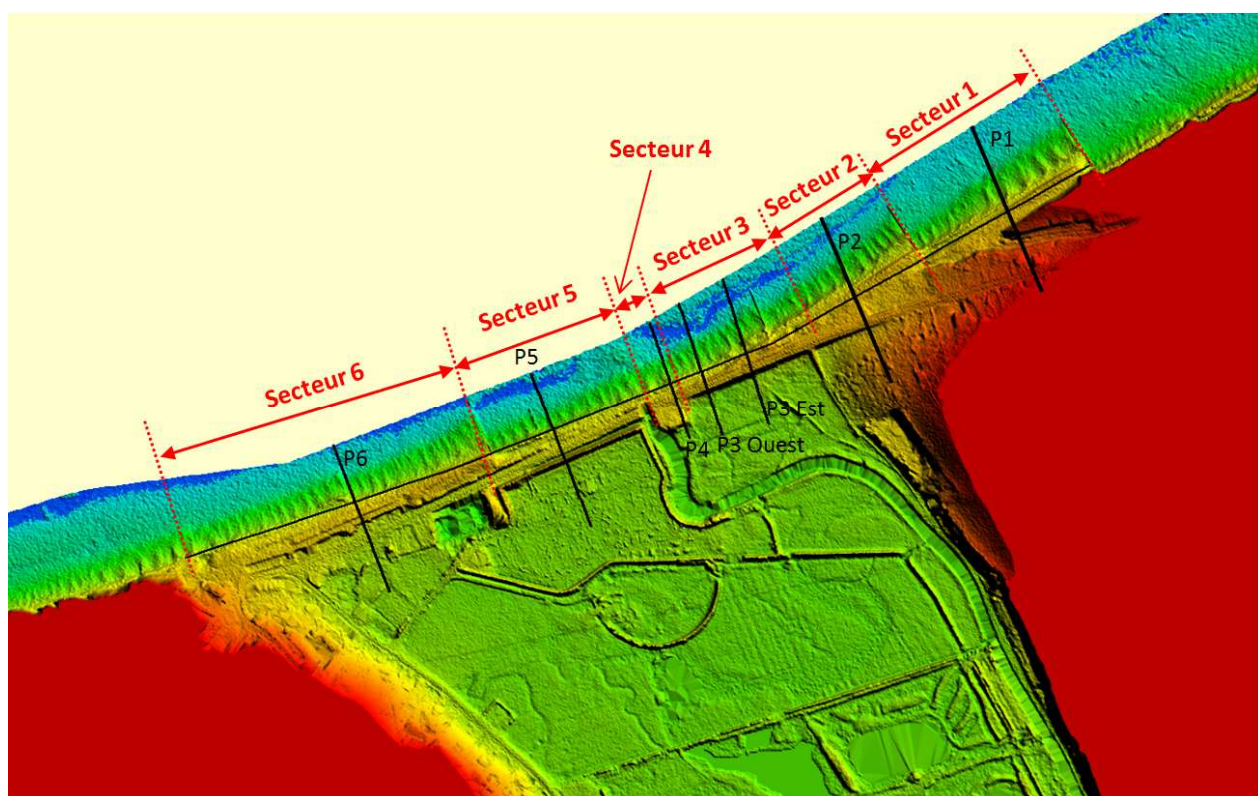


Figure 33 : Résumé des profils d'étude

7 Caractérisation de l'aléa submersion marine

7.1 Débordements par surverse

Pour l'analyse des débordements par surverse, il a été réalisé un différentiel entre le niveau d'eau extrême (comprenant le wave setup, changement climatique et les incertitudes) et la topo-bathy du levé LIDAR de 2008.

Pour les cas suivants les niveaux d'eaux estimés sont :

- +6.71 m NGF pour le cas 8, (cf. Tableau 11) ;
- +6.74m NGF pour le cas 12;
- +7.13 m NGF pour le cas 14

L'altimétrie de la digue (7.5 m NGF batardeau fermé) est supérieure au niveau extrême 7.13 m NGF (cas 14, tempête à l'horizon 2100). Il n'y a pas de risque de débordement par surverse.

7.2 Franchissements par paquets de mer

Pour chaque profil de calcul, les volumes de franchissements sont fournis sur le cycle de marée définit environ toutes les 15 min.

Le travail sur un cycle de marée permet de mieux quantifier les débits transmis en arrière des ouvrages au montant et au perdant.

Les calculs de franchissements sont basés sur les formules de l'EUROTOP Manuel.

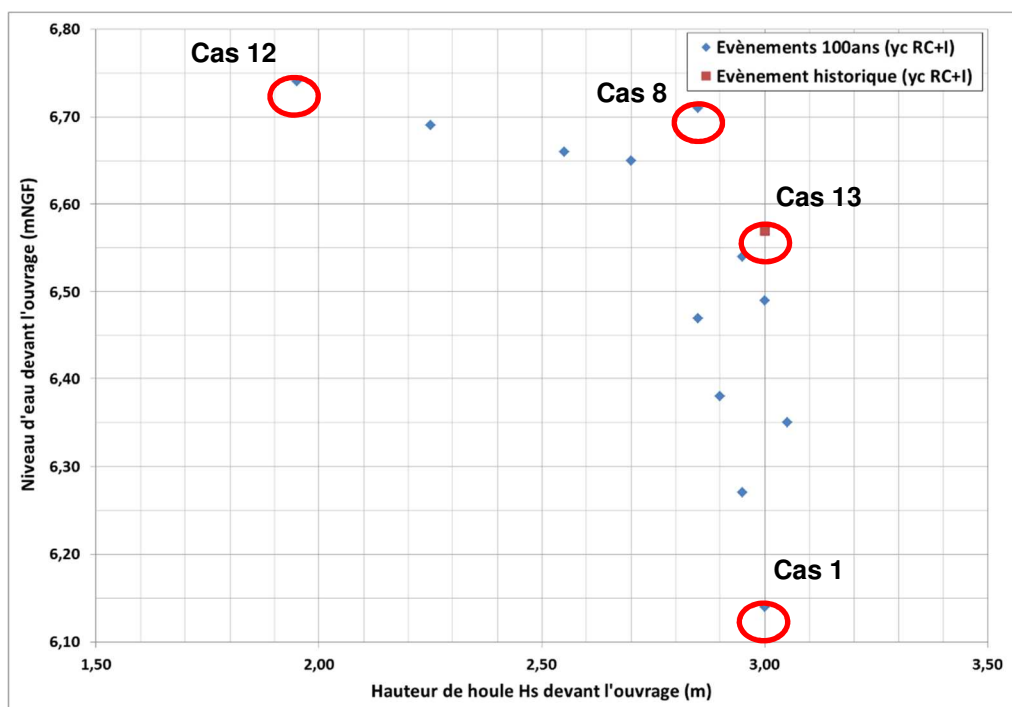
Dans le cas de zones en eaux peu profondes, ce qui est le cas ici, les houles à une demi longueur d'onde des ouvrages issues des modèles de propagation et présentées au 5.4.1 déferlent généralement avant d'arriver à l'ouvrage. Pour estimer plus précisément les débits de franchissements la houle est recalculée au pied de l'ouvrage suivant la méthode dite de GODA. Pour connaître si l'évènement de référence du 26 février 1990 (cas n°13) déterminé auparavant est celui générant le plus de franchissements, des calculs de franchissement ont été réalisés pour les cas n°1, 8 et 12 (événements centennaux) et le cas n°13 (événement tempête de référence).

7.2.1 Détermination des cycles de marées

Choix des évènements

Afin de préciser les cas d'évènements centennaux à retenir pour les calculs de franchissement, nous avons reporté sur un graphique les couples Niveau d'eau / Hs au droit du site d'étude :

Figure 34 : Couples Niveau d'eau / Hs des évènements centennaux et de l'évènement historique



L'analyse de ce graphique nous a amené à retenir les évènements suivants pour le calcul des franchissements :

- Evènements 100ans :
 - Cas 1 ;
 - Cas 8 ;
 - Cas 12 ;
- Evènement historique : Cas 13 / Tempête du 26/02/1990.

Estimation du temps de marée

Le risque de submersion le plus fort se présente lors d'un niveau d'eau important. C'est donc la concomitance de la surcote autour d'une pleine mer (et de la houle qui accompagne la tempête) qui peut emmener les submersions les plus importantes.

C'est dans le laps de temps autour d'une Pleine Mer qu'une tempête créant une surcote importante peut générer un risque de submersion importante.

Cependant, pour mieux quantifier les volumes transmis en arrière des ouvrages, les débits de surverse et de franchissements seront évalués au montant et au perdant soit sur un temps égal au cycle complet d'une marée.

La détermination des niveaux d'eau et les calculs de franchissements sont réalisés pour un cycle complet de marée astronomique.

Construction du cycle de marée

Selon que l'évènement de référence soit l'aléa de tempête historique ou l'aléa centennal, le cycle complet d'une marée sera déterminé de deux manières différentes.

Pour l'évènement de tempête du 26 février 1990, le cycle complet de la marée enregistrée au marégramme de Dieppe est disponible et est rappelé sur la figure suivante :

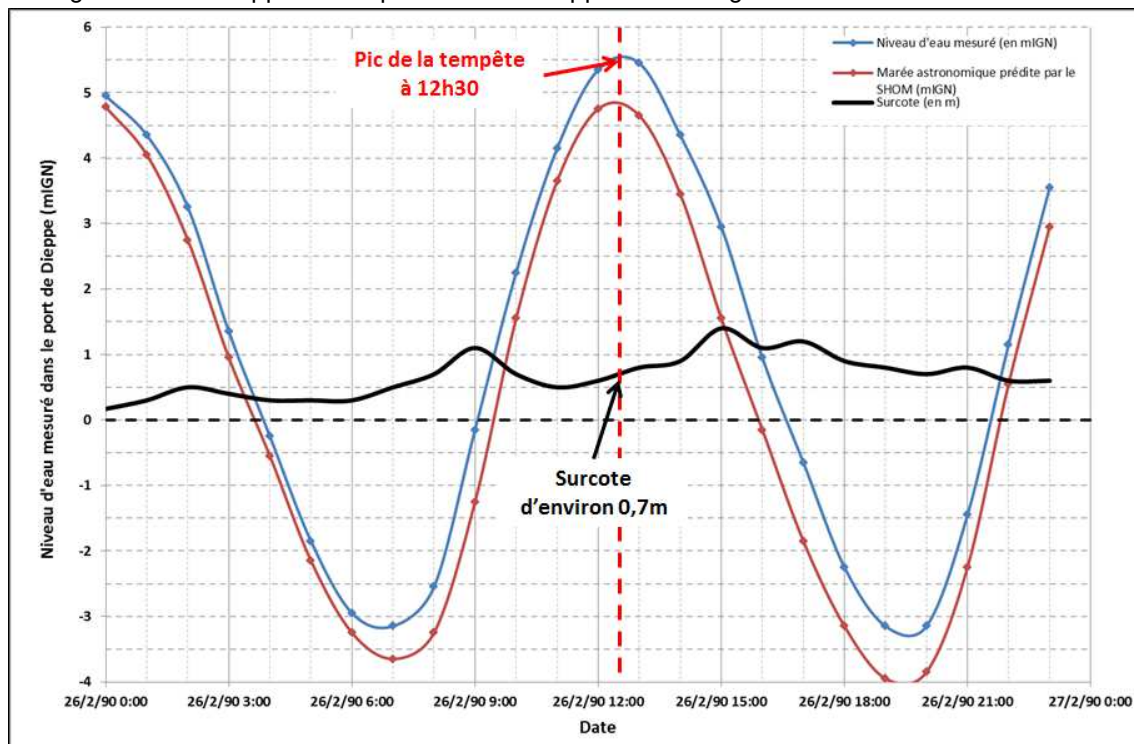


Figure 35 : Analyse des niveaux d'eau à Dieppe lors de la tempête du 26 février 1990

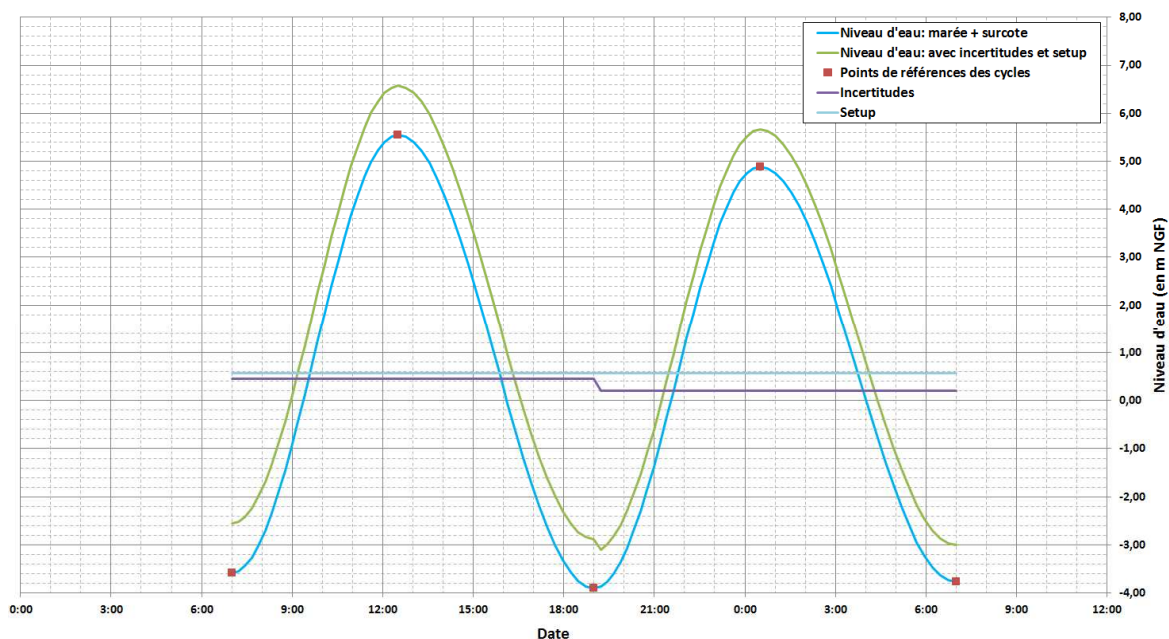


Figure 36 : Cycles de marées pour l'évènement de tempête du 26-02-1990

A ces niveaux de marée sont ajoutés les niveaux de setup évalués par les modélisations de propagation de la houle ainsi que les incertitudes (incertitudes sur les données, changement climatique, subsidence, etc...).

Dans le cadre de notre étude, l'estimation des incertitudes n'est pas possible donc il est recommandé dans le guide du PPRL de considérer une marge maximale de sécurité de 0,25 m afin de s'assurer de la fiabilité et la précision des données. Cette marge a été conservée pour le 1^{er} des 2 cycles de marée reproduits, celui où intervient la surcote météorologique.

De plus, une surcote de 0,20 m est rajoutée à tous les cas pour prendre en compte l'élévation immédiate du niveau moyen de la mer liée au changement climatique.

Pour l'horizon 2100, une marge de 0,60 m est ajoutée dans le cas de la prise en compte du changement climatique à long terme. Cette marge de 0,60 m a été déterminée sur la base du scénario pessimiste de l'ONERC (cf. Circulaire du 27 juillet 2011 relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les PPRL). A cette marge de 0,60 m est ajoutée une marge de 0,10 m pour la prise en compte de la subsidence.

Ainsi, les niveaux d'eaux modélisés dans les calculs prennent en compte les incertitudes ainsi que la prise en compte du changement climatique (et de la subsidence pour l'horizon 2100).

Pour les évènements centennaux, les niveaux d'eau de pleine mer sont issus des niveaux d'eau extrêmes et les niveaux d'eau de basse mer sont issus des caractéristiques générales de marée. Le 2nd cycle de marée est déterminé à partir d'une PMVE (coefficient 95).

Les cycles de marée obtenus pour les évènements centennaux 1, 8 et 12 en situation actuelle sont présentés sur les figures suivantes.

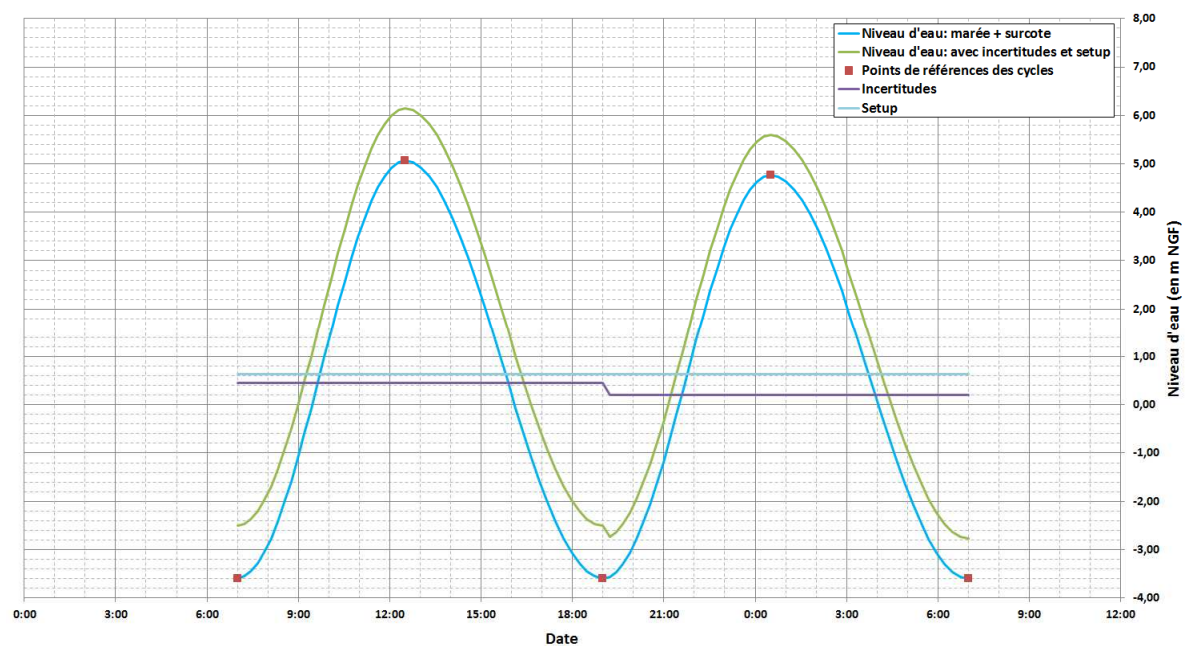


Figure 37: Cycles de marées pour l'évènement centennal n°1 en situation actuelle déterminés statistiquement

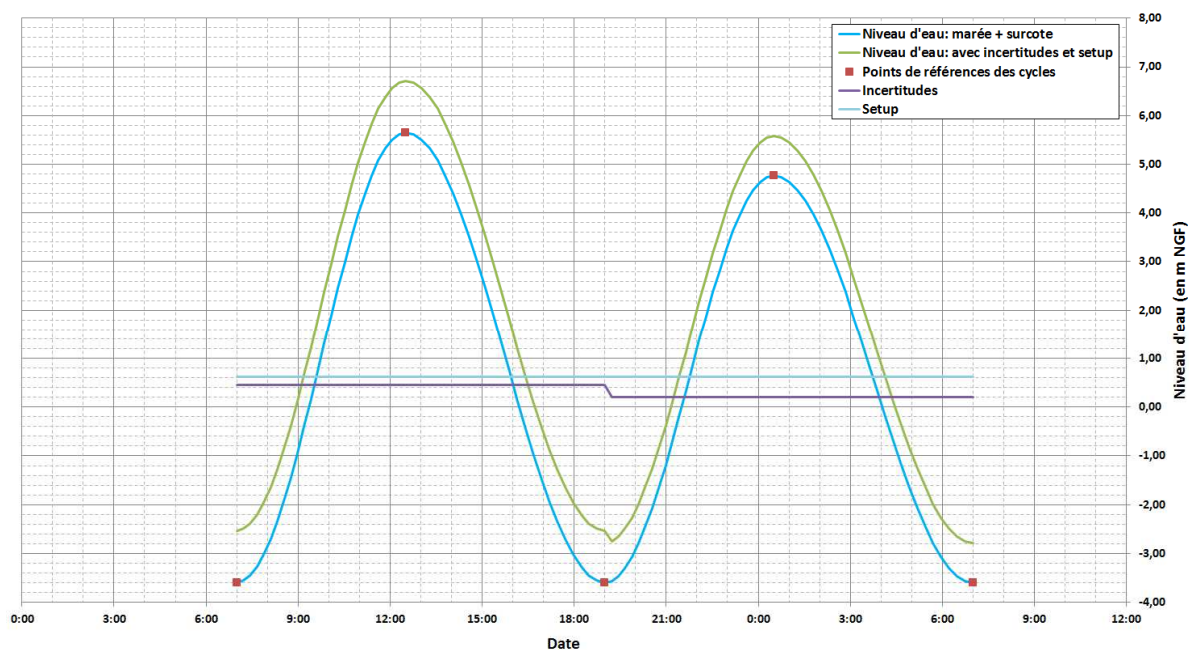


Figure 38: Cycles de marées pour l'évènement centennal n°8 en situation actuelle déterminés statistiquement

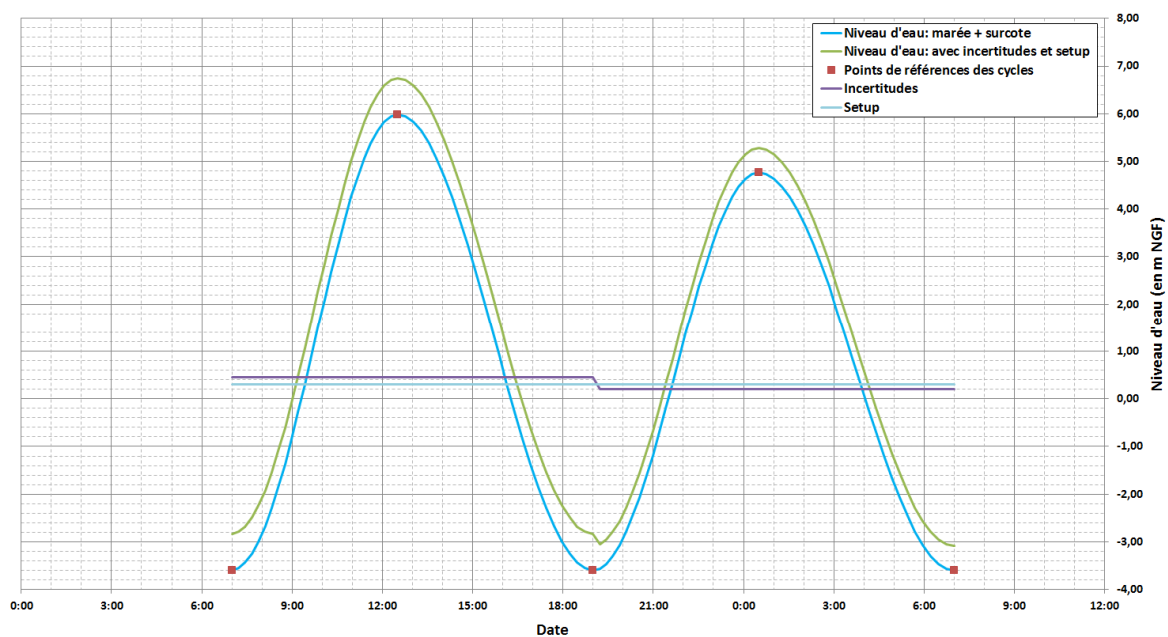


Figure 39: Cycles de marées pour l'évènement centennal n°12 en situation actuelle déterminés statistiquement

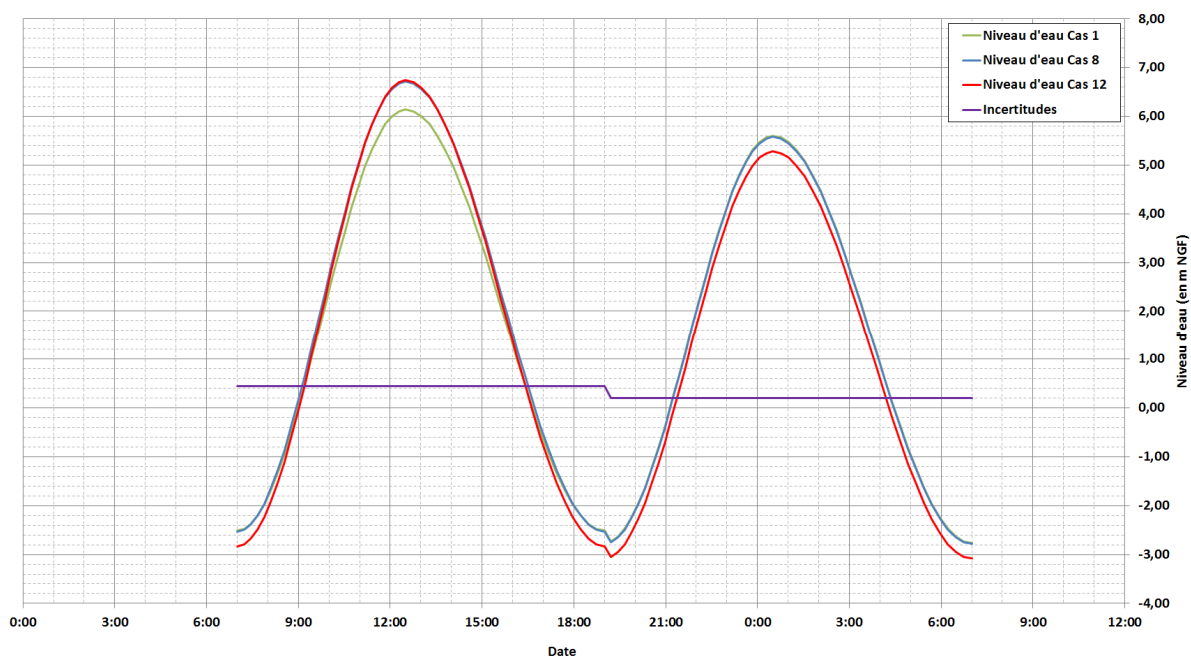


Figure 40 : Cycles de marées pour les évènements centennaux en situation actuelle déterminés statistiquement

7.2.2 Analyse des résultats sur les volumes de franchissement :

On constate que parmi les événements centennaux, le plus fort en termes de franchissement est le cas n°8. L'événement tempête de référence (cas n°13) arrive juste après en termes de franchissements.

Les franchissements générés par l'événement le plus fort sont présentés ci-après, au pic de la pleine mer.

Zone d'ouvrage	Cas de calculs	Franchissements (en l/s/ml)	Franchissements (en m3/s)
Zone 3	Cas 8	7.11	0.20
Zone 4		28.53	2.57
Zone 5		572.38	108.75
Zone 6		14.78	4.43

Tableau 13 : Estimation des franchissements maximum sur chaque zone d'ouvrage, au pic de la pleine mer

7.2.3 Prise en compte de la digue de Quiberville dans la caractérisation de l'aléa et détermination de l'événement de référence

Evénement de référence

Les cas 8 est le cas qui génère le plus grand débit de franchissement par paquets de mer, juste devant le cas 12 et 13. Cependant, le niveau extrême est plus important pour le cas 12. Nous allons donc modéliser la rupture de la brèche pour ces trois cas. Les estimations de volumes entrant par la brèche s'effectuent pour 2 cycles de marée comme pour l'estimation des franchissements.

Hypothèse prise en compte

Le comité technique de l'étude du PPRI de la Saône et de la Vienne a décidé :

- D'écarter l'hypothèse de la prise en compte de la transparence totale (ruine totale) de l'ouvrage. En effet, la digue semble suffisamment robuste pour disparaître totalement suite à une tempête exceptionnelle.
- De préciser que la gestionnaire de la digue (Département 76) ne disposait pas d'éléments techniques de la digue.

Ainsi, en suivant le guide PPRIL (version mai 2014) et la figure ci-dessous, on se retrouve dans **la situation où une brèche de 100 m de large est retenue.**

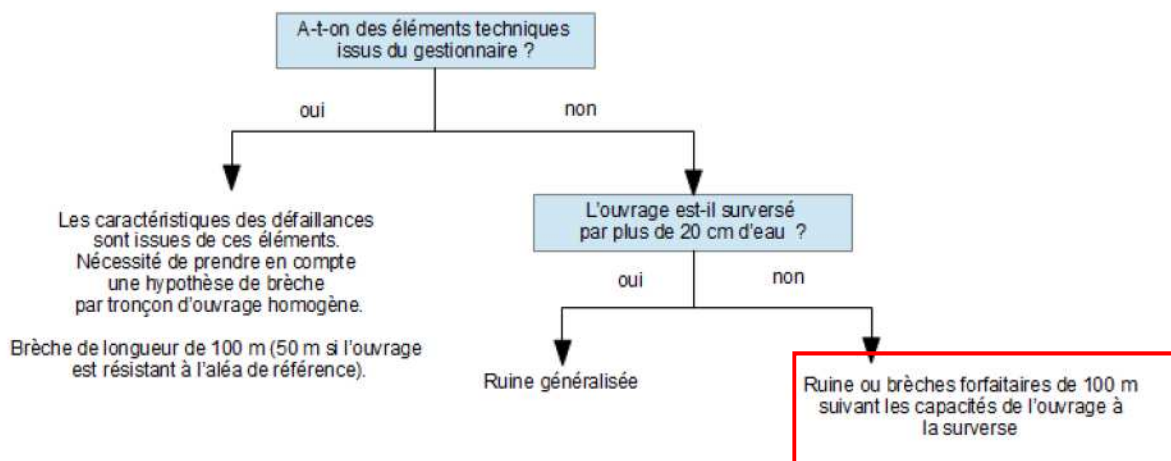


Figure 41 : Démarche simplifiée de prise en compte de digue de Quiberville (guide PPRL, mai 2014)

Le comité technique de l'étude du PPRI de la Saône et de la Vienne a défini les caractéristiques de la brèche. Les caractéristiques suivantes ont été arrêtées :

- La crête de la digue est à 7.5 m NGF ;
- La rupture fait 100 m de large et centrée sur l'exutoire (cf. figure ci-dessous à titre d'exemple) ;
- La brèche est située au secteur que le comité technique a jugé le plus sensible et fragile, c'est-à-dire au débouché de la Saône. Une seule brèche dans la digue a été arrêtée, en considérant que la digue est homogène ;

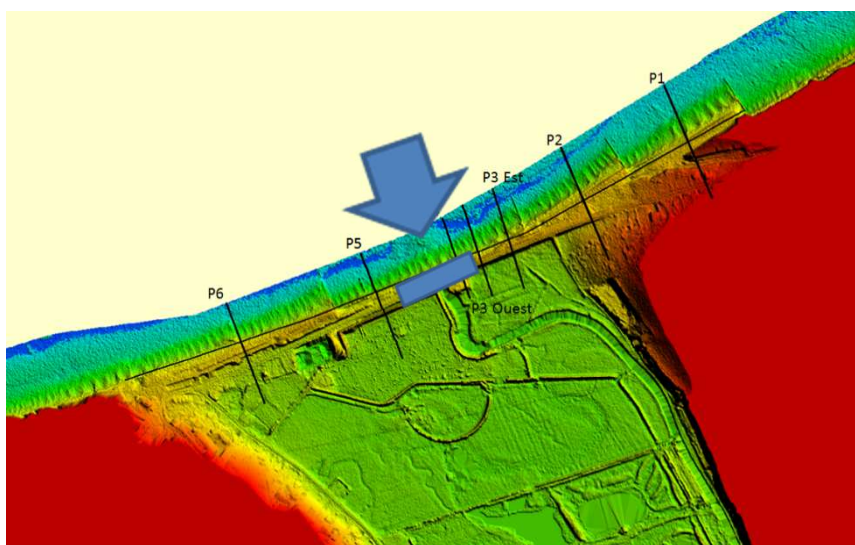


Figure 42 : Localisation de la brèche

- La rupture à lieu 1 heure avant la pleine mer ;
- La durée de rupture est de 1 minute sur 100 m (forme rectangulaire) jusqu'à la cote de 4.5 m NGF. Cote homogène des prés salés en arrière de la digue ;
- La rupture sera modélisée sous forme d'une vanne/clapet rectangulaire de 100 m qui passe en 1 minute de la cote de 7.5 m à la cote de 4.5 m NGF.

Les plus importantes houles ont été enregistrées sur les mois d'octobre à février. Au cours de ces mois un la Saône possède un régime hydrologique hivernal. Un débit 2 * module a été

retenu pour caractériser ce régime hydrologique hivernal. Ainsi, un débit deux fois module de la Saône a été injecté dans le modèle.

7.2.4 Synthétique du modèle

Le modèle hydraulique utilisé reprend le modèle construit pour l'estimation des zones inondées pour la crue 100 ans du débordement de la Vienne et de la Saane. Il reprend la partie 1D/2D utilisée pour modéliser la Saane et la buse. Une deuxième partie en 2D a été ajoutée au modèle pour permettre une représentation précise de la digue et de la rupture

La brèche a été représentée par un seuil épais avec un coefficient $\mu=0.38$.

7.2.5 Vérification du choix de l'événement de référence retenue

Le cas 12 est le cas qui donne le plus haut niveau marin qui atteint 6.74 m. Cependant, le cas qui génère le plus grand volume de franchissements est le cas 8.

	niveau marin (m)	Volume de franchissements (m3)
cas 8	6.71	374 427
cas 12	6.74	132 410
cas 13	6.57	240 460

Tableau 14 : Volume de franchissement et niveau marin pour trois événements (cas 8, Cas 12 et cas 13)

Un calcul du volume maximal généré par la brèche et les franchissements permet de comparer entre les trois cas (événement de submersion marin) et de vérifier le cas de référence pour la caractérisation de l'aléa submersion marine.

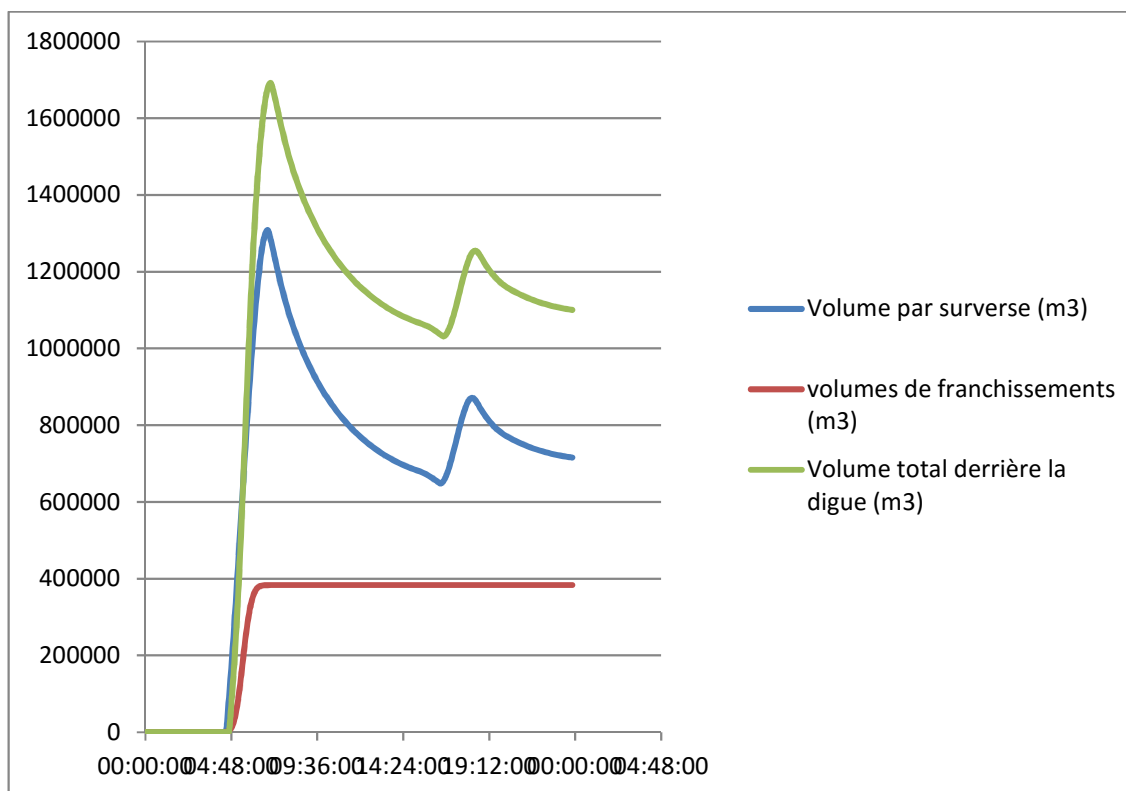


Figure 43 : Evolution des volumes de submersion pour le cas 8

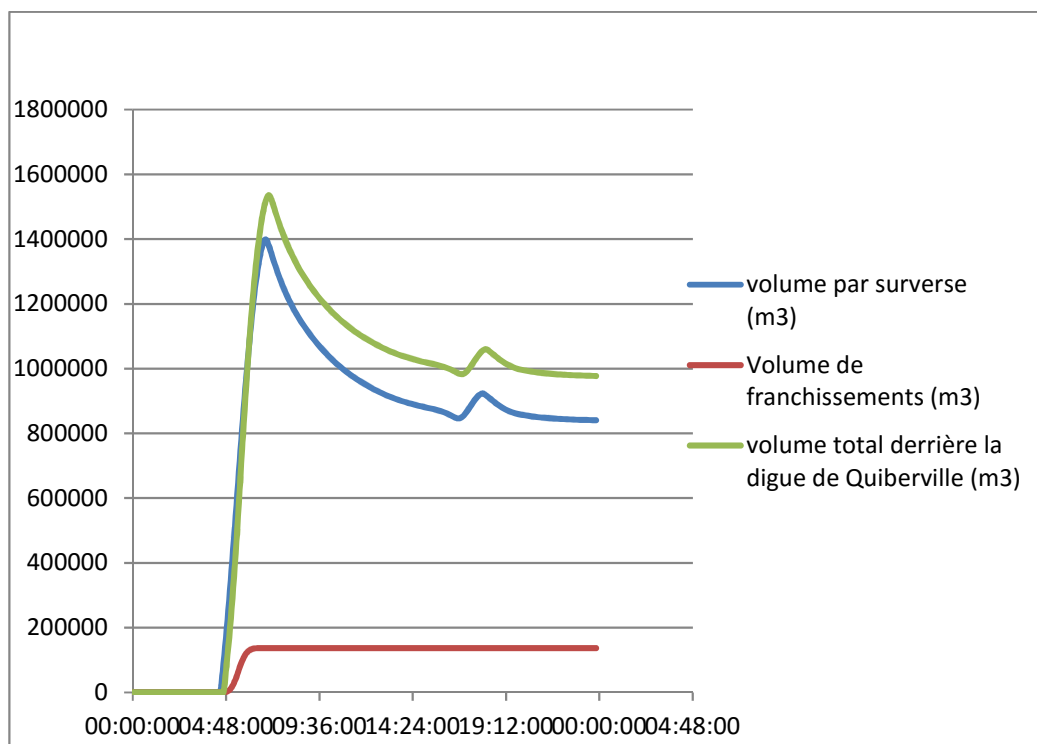


Figure 44: Evolution des volumes de submersion pour le cas 12

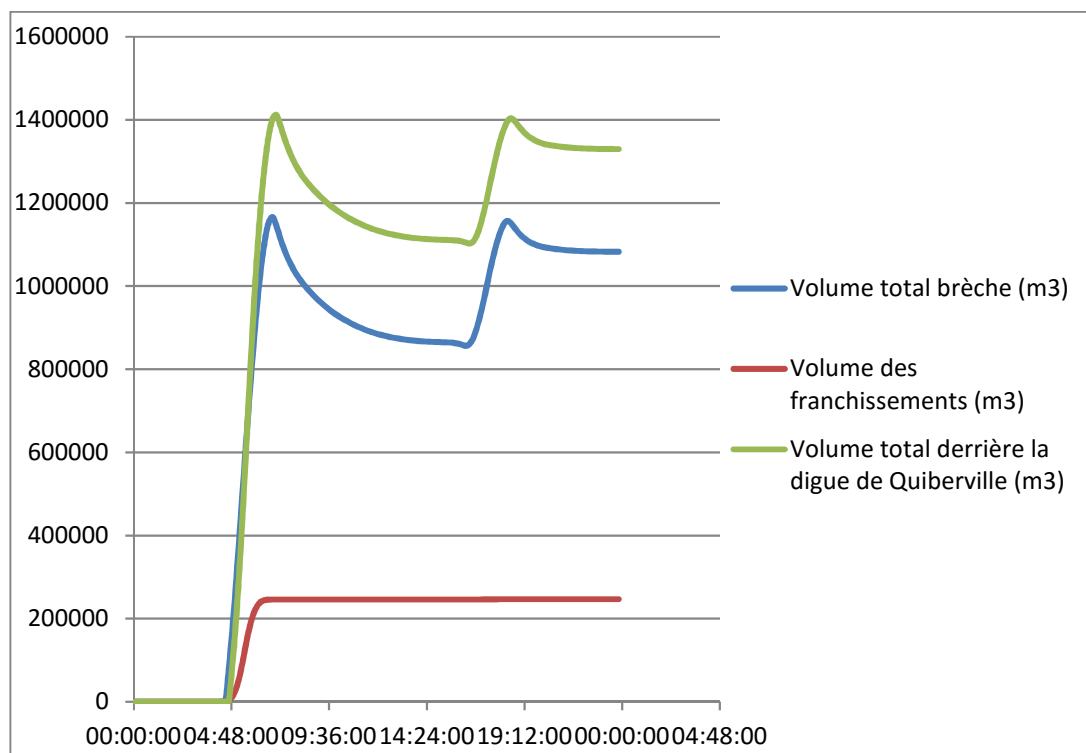


Figure 45 : Evolution des volumes de submersion pour le cas 13

L'évolution du volume total généré par les franchissements par paquets de mer et les surverses, montre que le cas le plus pénalisant est le cas 8. **Il sera alors retenu comme cas de référence pour ce PPRIL.**

7.3 Quantification de la submersion marine

7.3.1 Hypothèses prises en compte

La topographie derrière la digue est considérée homogène et continue hydrauliquement. En effet, il s'agit des prés salés. Les volumes franchis estimés à 374 426 m³ sont conséquents et représentent 22 % des volumes entrants par la brèche estimée à près de 1 666 238 m³. Dans ce cas précis, le guide PPRL (version de mai 2014) recommande que **la caractérisation de l'aléa submersion marine prennent en compte à la fois les volumes entrants par la brèche et par franchissements par paquets de mer.**

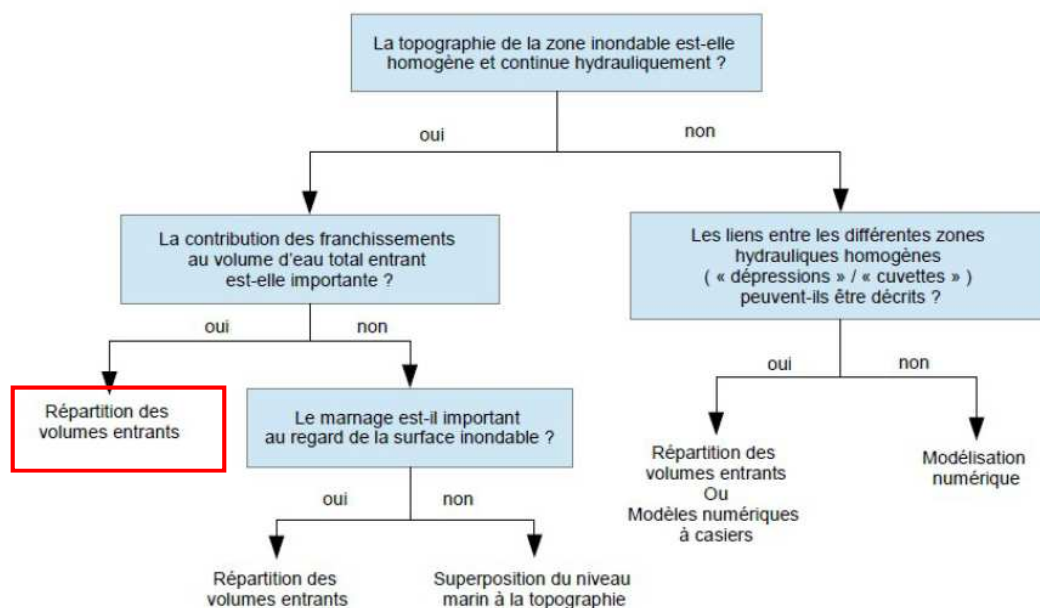


Figure 46 : Démarche simplifiée de choix de la méthode de caractérisation de l'aléa submersion marine (guide PPRL, mai 2014)

7.3.2 Estimation quantitative de la submersion marine

La hauteur d'eau maximale estimée derrière la digue est de 6.35 m NGF pour le cas 8 pour un niveau marin à 6,71 m NGF.

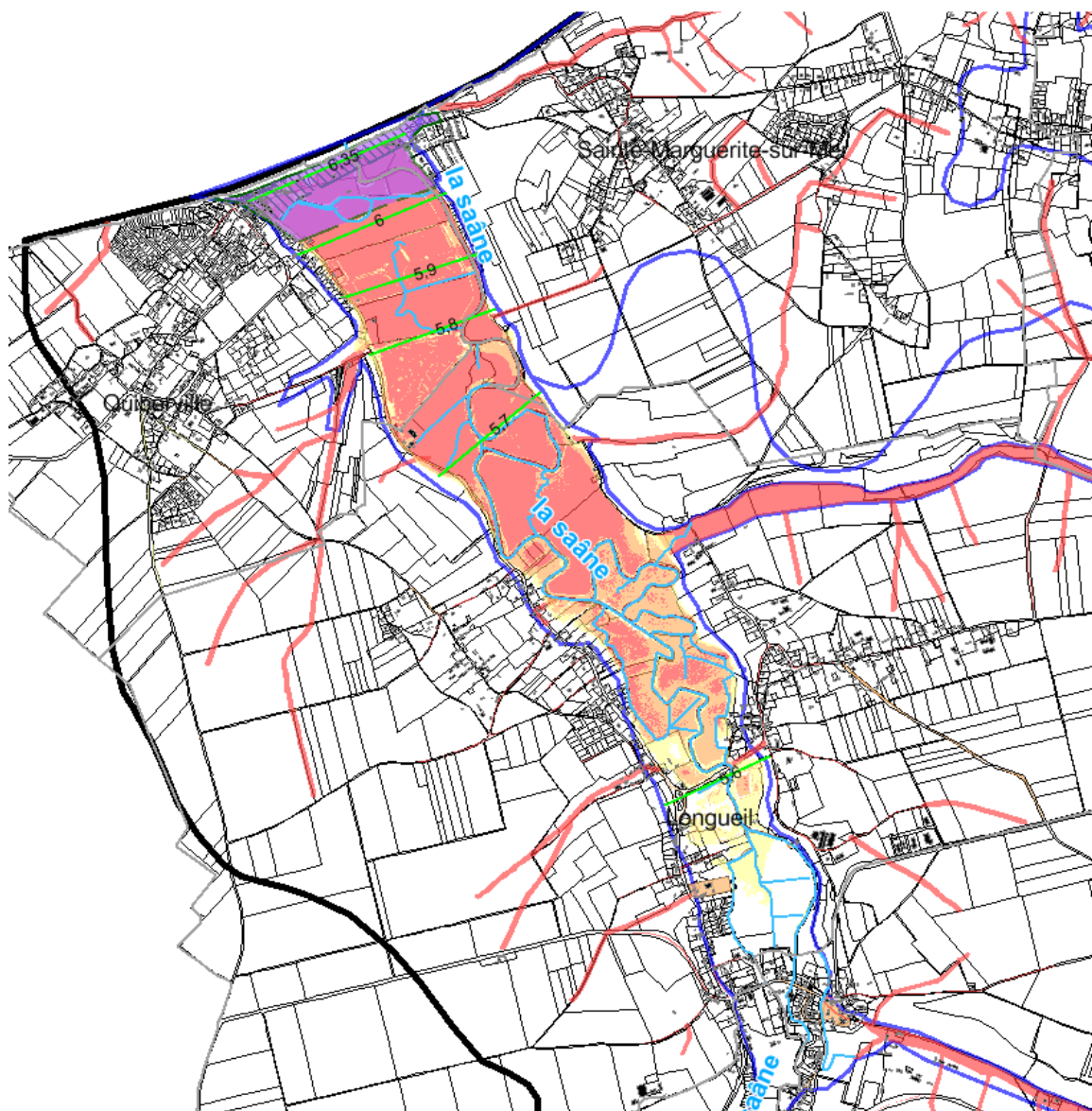


Figure 47 : Carte d'aléa submersion marine pour l'événement centennal cas 8 en état actuel

La hauteur d'eau maximale estimée derrière la digue est de 6.54 m NGF pour le cas 8 à l'horizon 2100 pour un niveau marin de 7,21 m NGF.

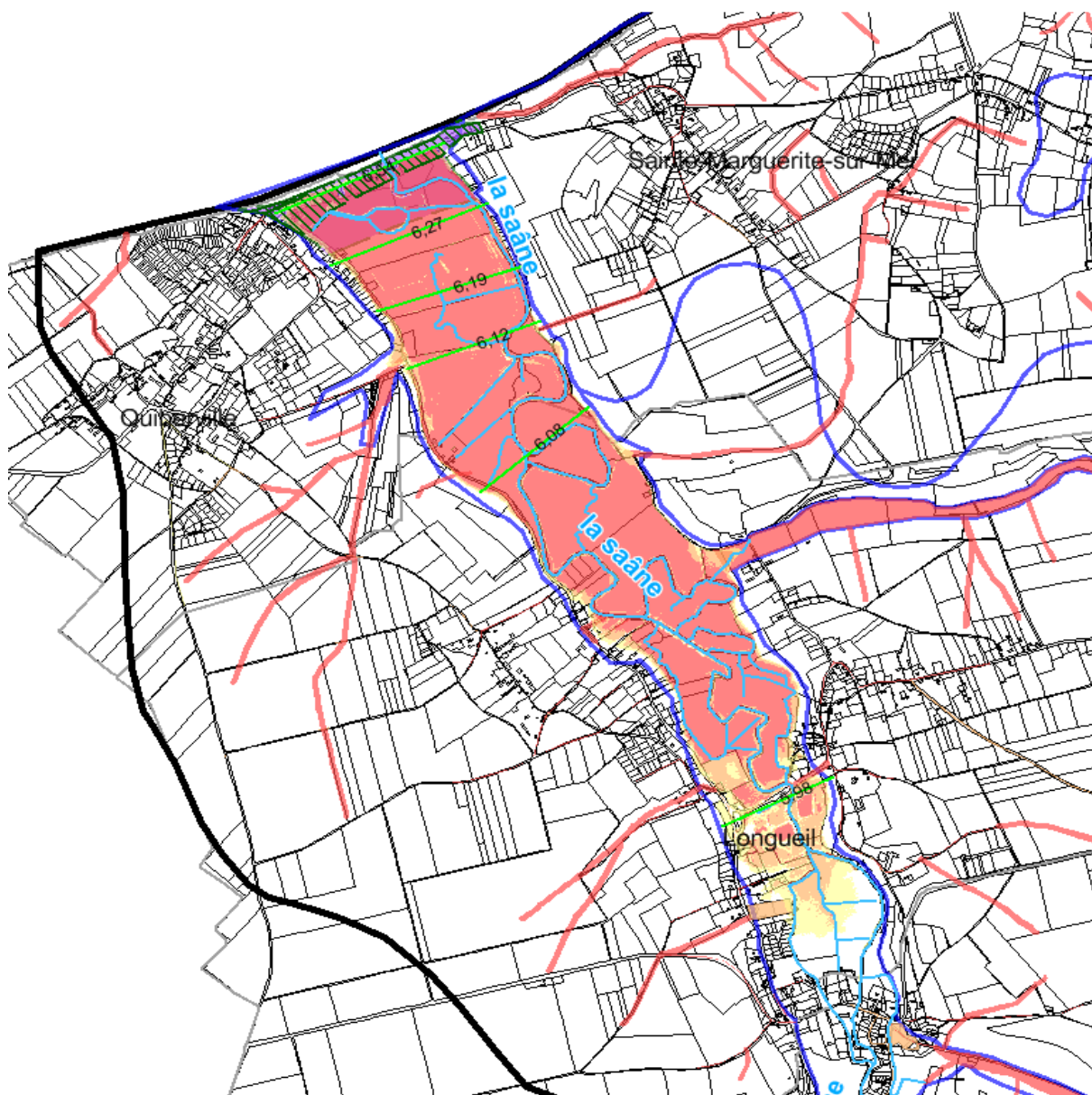


Figure 48 : Carte d'aléa submersion marine pour l'événement centennal cas 8 à l'horizon 2100

7.4 Qualification de l'aléa submersion marine

7.4.1 Paramètres à prendre en compte pour caractériser l'aléa

La qualification de l'aléa, c'est-à-dire la détermination du niveau d'aléa, dépend des paramètres suivants :

La hauteur d'eau produite par la submersion

Les hauteurs d'eau sont systématiquement quantifiées pour l'aléa de référence. Les seuils de hauteur d'eau sont définis par un pas de 50 cm (soit $<0,5\text{ m}$; $0,5 < h < 1\text{ m}$; $h > 1\text{ m}$; $h > 1,50\text{ m}$) de la même manière que pour l'inondation par débordement de cours d'eau.

La dynamique de submersion liée à la rapidité du phénomène (vitesse de montée des eaux), à la durée de submersion et à la vitesse d'écoulement de l'eau.

La dynamique de submersion est qualifiée à partir du paramètre le plus défavorable entre la vitesse d'écoulement des eaux et la vitesse de montée des eaux. La dynamique de submersion est qualifiée suivant deux à trois classes à partir d'une modélisation 2D ou à dire d'expert sur la base des éléments à disposition.

Les seuils suivants sont utilisés pour la vitesse d'écoulement :

- $V > 0,50\text{ m/s}$ vitesse d'écoulement rapide,
- $0,20 < V < 0,50\text{ m/s}$ vitesse d'écoulement moyenne,
- $0 < V < 0,20\text{ m/s}$ vitesse d'écoulement lente.

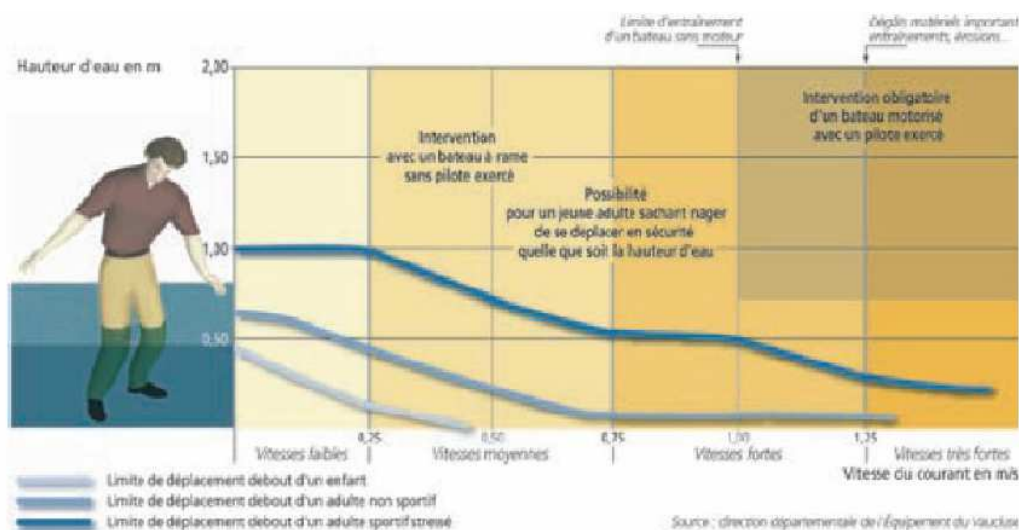


Figure 49 : Possibilité de déplacement des personnes en fonction de la vitesse d'écoulement et de la hauteur d'eau (source : guide méthodologique du PPRLN)

La vitesse de montée des eaux peut venir majorer le niveau de dynamique de submersion. Sous 1/2h de durée de remplissage, la dynamique de submersion est estimée rapide. La vitesse de montée des eaux a un impact principalement lorsque les hauteurs d'eau maximales atteintes ne sont pas faibles. Ce critère peut donc ne pas être considéré pour des hauteurs d'eau inférieures à 0,5 m.

Croisement des paramètres pour obtenir la qualification de l'aléa

L'aléa submersion marine peut ainsi être caractérisé selon le tableau suivant en fonction des éléments disponibles :

Dynamique			
Hauteur	Dynamique lente	Dynamique moyenne	Dynamique rapide
$H < 0,5$ mètre	Faible	Modéré	Fort
$0,5 < H < 1$ mètre	Modéré	Modéré	Fort
$1 < H < 2$ mètres	Fort	Fort	Très fort
$H > 2$ mètres	Très fort	Très fort	Très fort

		Dynamique de submersion	
		Lente	Rapide
Hauteurs d'eau	$h < 0,5$	Faible	Fort
	$0,5 < h < 1$	Modéré	Fort
	$h > 1$	Fort	Très fort

Tableau 15 : qualification de l'aléa (extrait du guide PPRLN – Mai 2014)

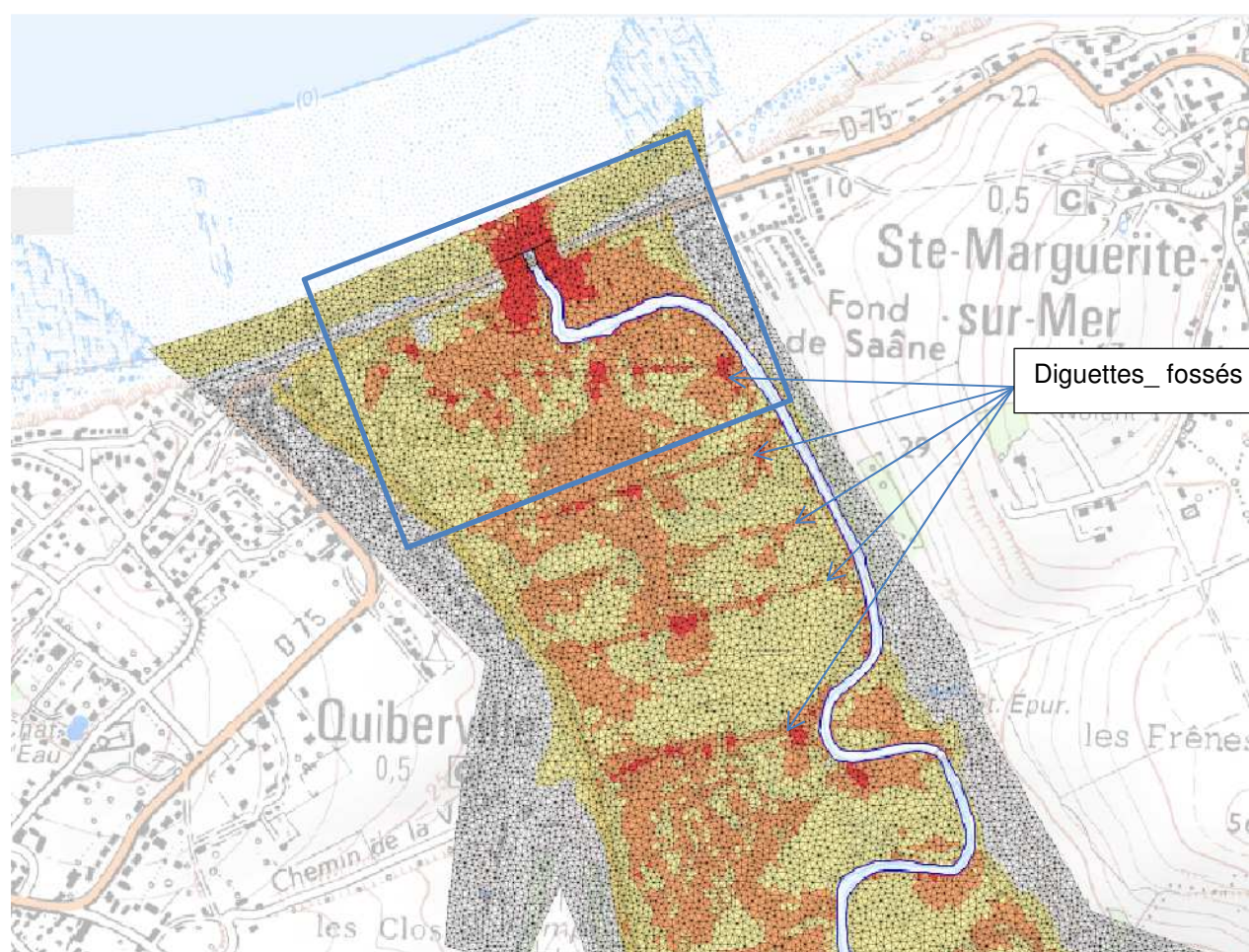


Figure 50 : Vitesse maximale pour une brèche dans la digue pour le cas 8 à l'horizon 2100 (rouge vitesse > 1 m/s ; orange 0.5 m/s < vitesse < 1 m/s ; jaune < 0.5 m/s)

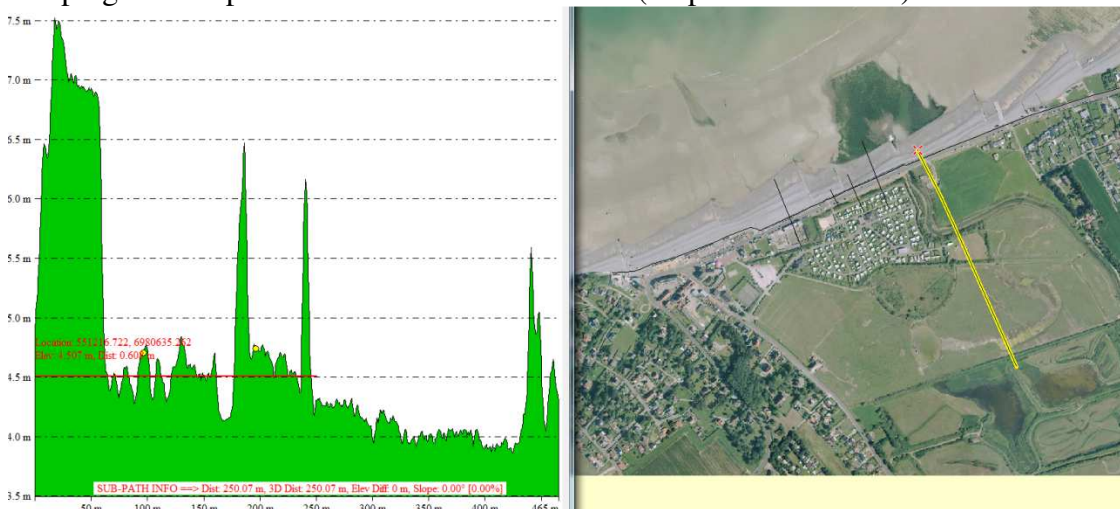
Les vitesses sont importantes au droit de la brèche et dans son sillon. Les vitesses restent importantes dans le rectangle bleu (bande de précaution). On constate que les diguettes-fossés (ou merlon de curage des fossés) génèrent des survitesses. En effet, lorsqu'il y a surverse par-dessus une diguette, la vitesse s'accélère au niveau du parement de la diguette. Egalement, les fossés véhiculent l'eau rapidement sur toute la largeur du lit majeur depuis la rivière.

La dynamique de submersion sera considérée lente car la durée de remplissage est supérieure à 1 h. et les vitesses d'écoulement souvent faibles en dehors de zones spécifiques (cf. paragraphe suivant).

7.4.2 Zoom sur le camping en front de mer

La digue du camping n'est pas prise en compte pour le calcul des franchissements. De toute façon, les franchissements passent par-dessus la crête de la digue de la plage et inonde la route située entre les 2 digues (plage et camping).

Les digues du camping sont représentées par le Lidar dans la modélisation lorsque l'eau rentre par la brèche et les franchissements dans la basse vallée. Coté terre, les digues du camping ne sont pas très hautes : 5 à 5.5 m NGF (cf. profil ci-dessous)



Au droit de la brèche l'altitude du terrain a été fixée à 4.5 m NGF

7.5 Zones spécifiques disposant d'un sur-classement d'aléa

7.5.1 Les bande de chocs mécaniques et de projections

L'aléa choc mécanique des vagues a lieu lorsque la vague déferle sans être atténuée par les fonds et par la plage. L'aléa choc mécanique des vagues représente un linéaire de côte concerné par des phénomènes de franchissement par paquets de mer qui engendrent des pressions tellement importantes que celles-ci peuvent être amenées à détériorer la structure d'un bâtiment. L'aléa choc mécanique des vagues est distinct de l'aléa submersion.

L'aléa choc mécanique des vagues présente une bande élargie à la zone de crête de la digue de Quiberville, au haut de plage et en arrière de la digue sur une bande de 50 m. Cette bande de choc sera **en aléa très fort** (largeur et type d'aléa définis dans le cadre du guide méthodologique du PPRLN).

L'aléa projection prend en compte les éventuelles projections de matériaux (sables, galets, etc.). L'aléa projection ne peut avoir lieu que sous condition d'un aléa choc mécanique des vagues, aussi cet aléa est calé sur celui de choc mécanique et le classement d'aléa est identique, à savoir **aléa très fort**.

Les franchissements ont lieu sur l'intégralité du corps de digue à l'exception de l'extrême est de la digue de Quiberville (falaise + zones surélevées + cordons de galets très larges). **Ces franchissements sont souvent associés à des projections de galets** que l'on retrouve sur la digue et sa route après de forte tempête.

Un secteur soumis aux chocs de vagues et aux projections inclura l'ensemble du corps de digue et les zones basses à l'arrière.

7.5.2 Bande de précaution lié à la digue de Quiberville

Derrière les structures jouant un rôle de protection, faisant de fait obstacle à l'écoulement, des aléas particuliers doivent être pris en compte. En effet, la zone située à l'arrière d'un ouvrage subit de fortes vitesses d'écoulement lors des surverses. Par ailleurs, en cas de rupture, des vitesses d'écoulement, encore plus fortes, sont susceptibles de se produire. Une bande de précaution est donc appliquée derrière ces ouvrages.

La bande de précaution est définie de la façon suivante.

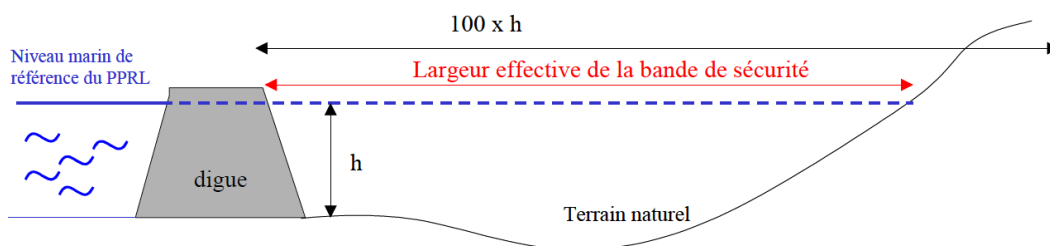


Figure 51 : Définition de la bande de précaution derrière un ouvrage (Guide PPRL, mai 2014)

Le terrain naturel en pied de digue retenu est de **4.5 m NGF**.

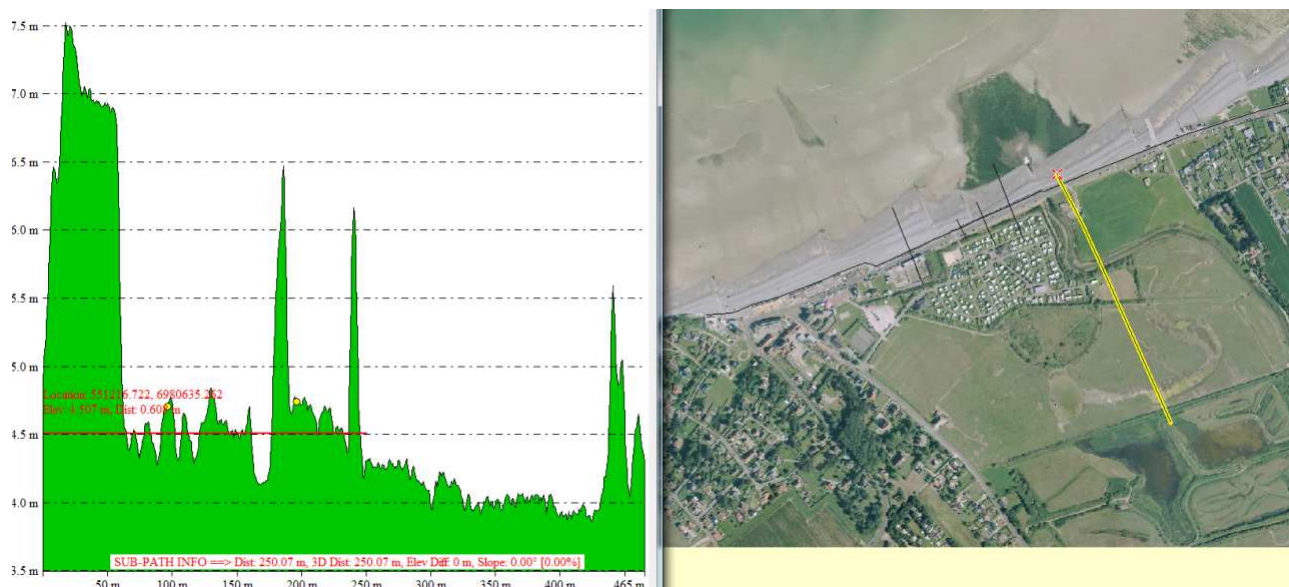


Figure 52 : Altimétrie au droit de la brèche modélisée côté terre

En état actuel :

Le niveau marin de référence de ce PPRIL représenté par le cas 8 est de **6,71 m NGF**. Le terrain naturel en pied de digue le plus bas est à environ **4.5 m NGF**. La hauteur h retenue est de 2.21 m. La bande de sécurité aura une largeur effective de **220 m** ($100 * 2.21\text{m}$).

A l'horizon 2100 :

Le niveau marin de référence de ce PPRIL représenté par le cas 8 2100 est de **7.21 m NGF**. Le terrain naturel en pied de digue le plus bas est à environ **4.5 m NGF**. La hauteur h retenue est de 2.71 m. La bande de sécurité aura une largeur effective de **270 m** ($100 * 2.71\text{m}$).

7.5.3 Localisation des zones spécifiques

La délimitation des 2 zones spécifiques est présentée ci-dessous :

- Les secteur soumis aux chocs de vagues et de projections ;
- Une bande de précaution pour l'événement centennal ;
- Une bande de précaution pour l'événement centennal à l'horizon 2100.

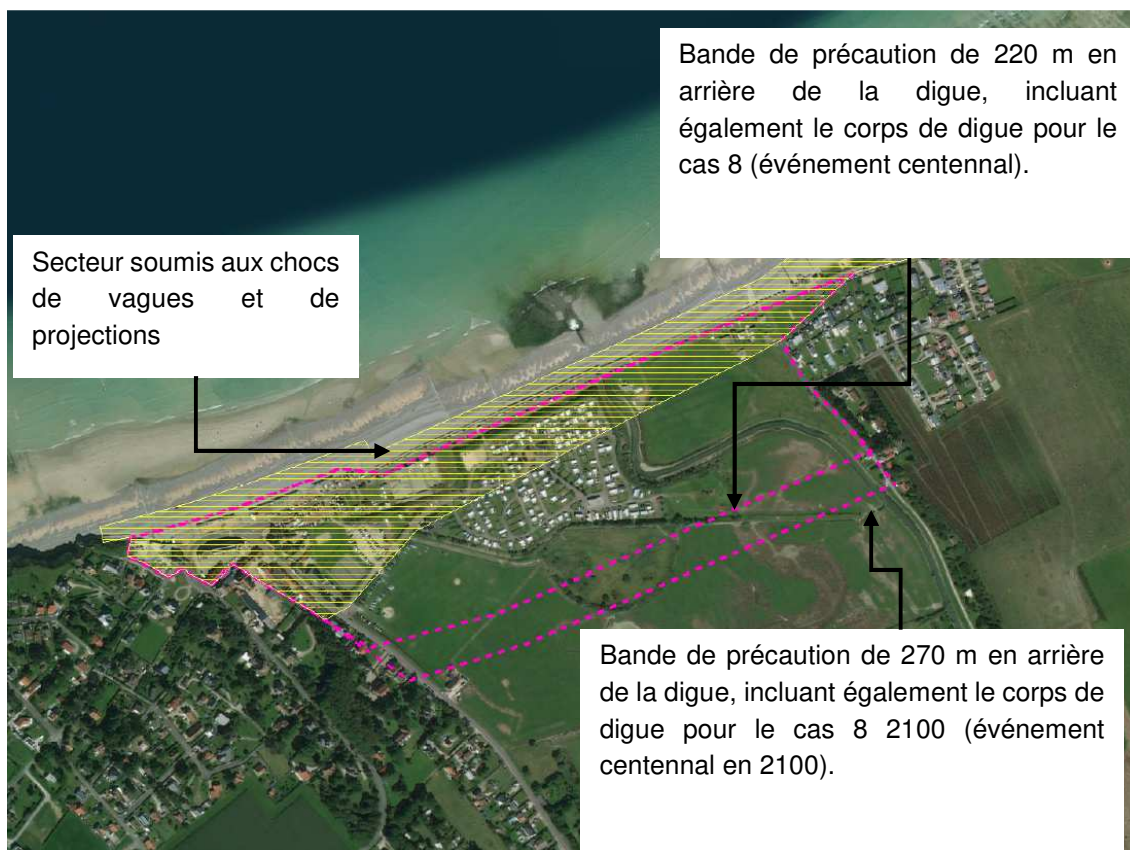


Figure 53 : Bandes de précaution et secteur soumis aux chocs de vagues et projections

7.6 Qualification de l'aléa submersion marine retenue

7.6.1 Aléa très fort

Les zones qualifiées d'aléa très fort sont :

- Le secteur soumis aux chocs de vague et de projection soumis aux franchissements par paquets de mer ;
- La bande de précaution à l'arrière de la digue dont la rupture peut engendrer un flot très importants et dommageables.

7.6.2 Aléa fort

Les zones qualifiées d'aléa fort sont celles représentées par une submersion de plus de 1 m d'eau.

7.6.3 Aléa moyen

Les zones qualifiées d'aléa moyen sont celles représentées par une submersion comprise entre 0.5 et 1 m d'eau.

7.6.4 Aléa faible

Les zones qualifiées d'aléa moyen sont celles représentées par une submersion de moins de 0.5 m d'eau.

Annexes

Annexe : Profils de la digue de Quiberville à Sainte-Marguerite-sur-Mer

Annexe : Profils de la digue de Quiberville à Sainte-Marguerite-sur-Mer

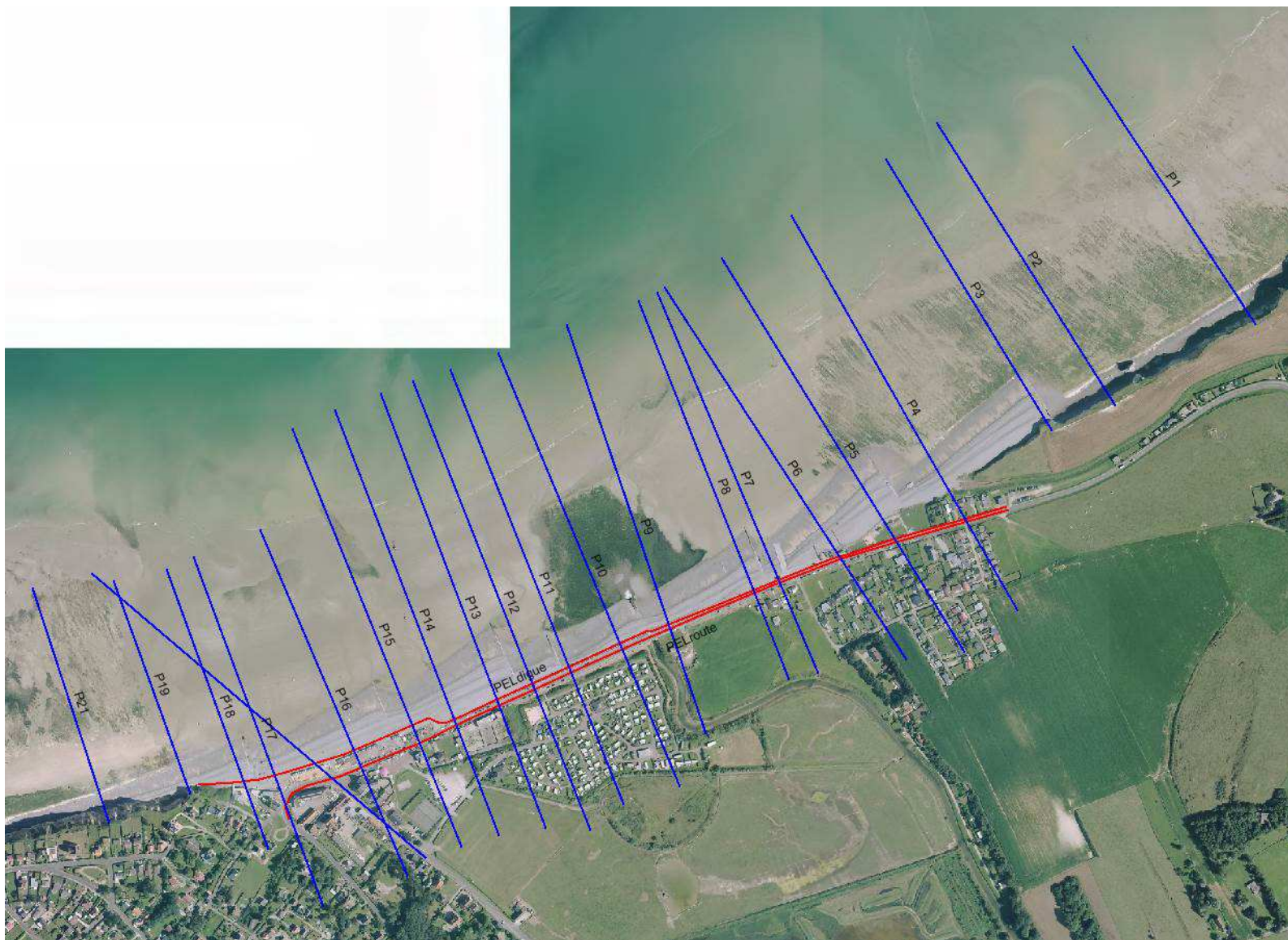
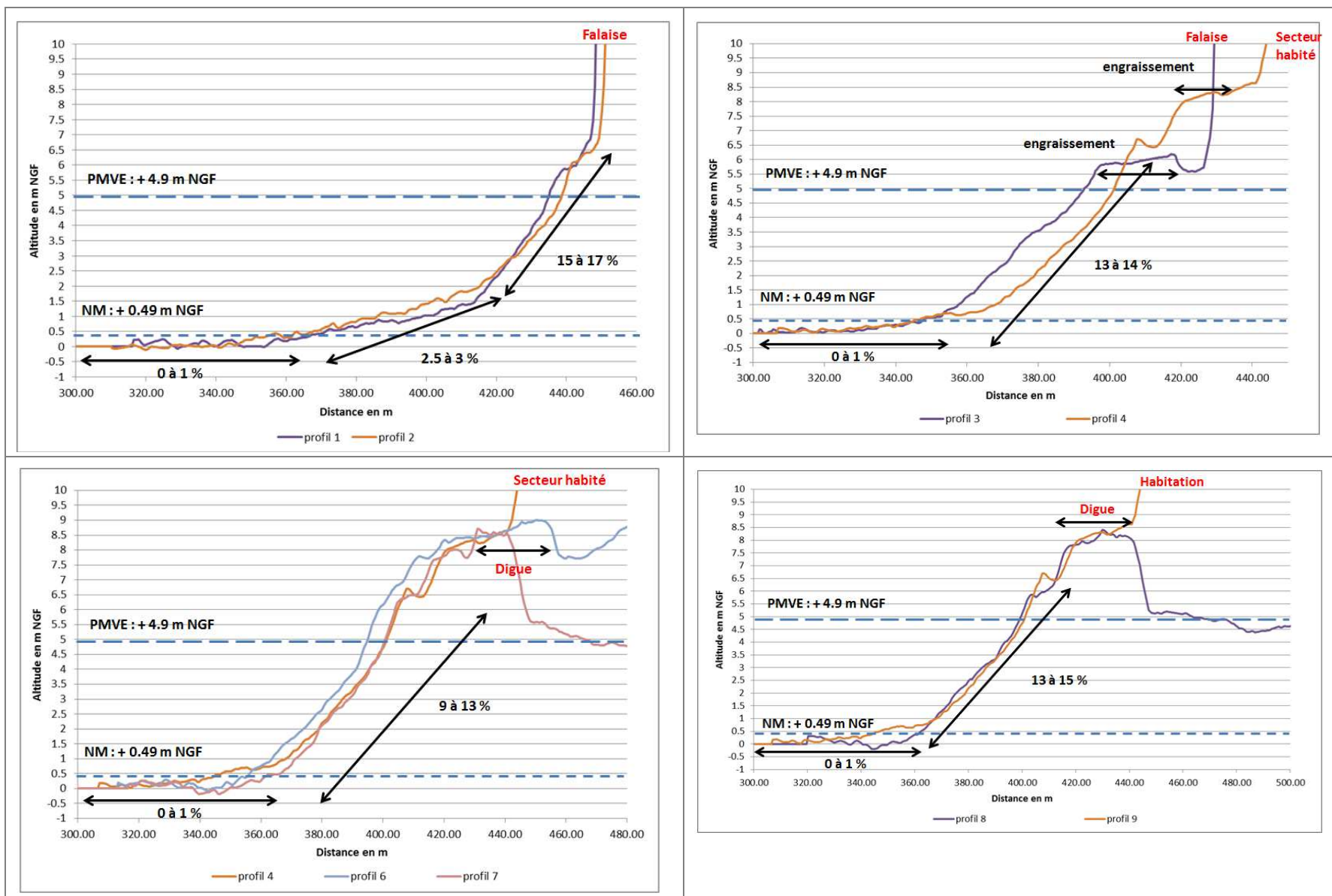
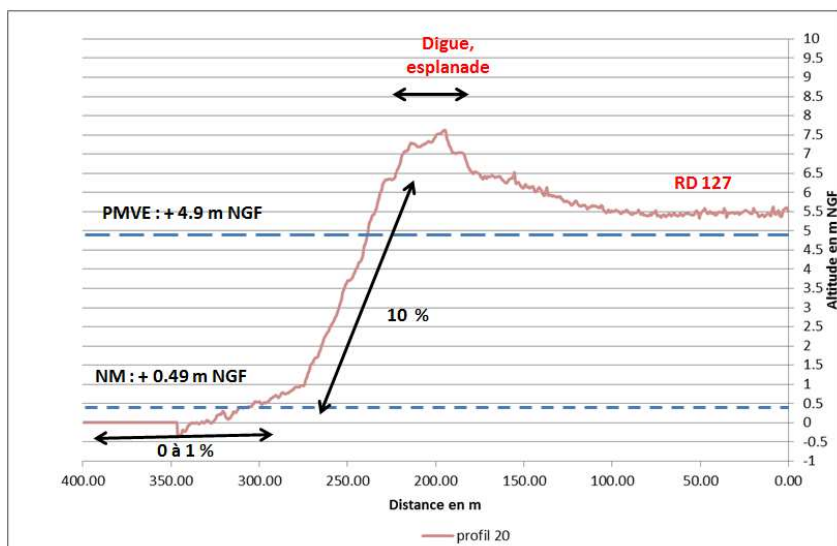
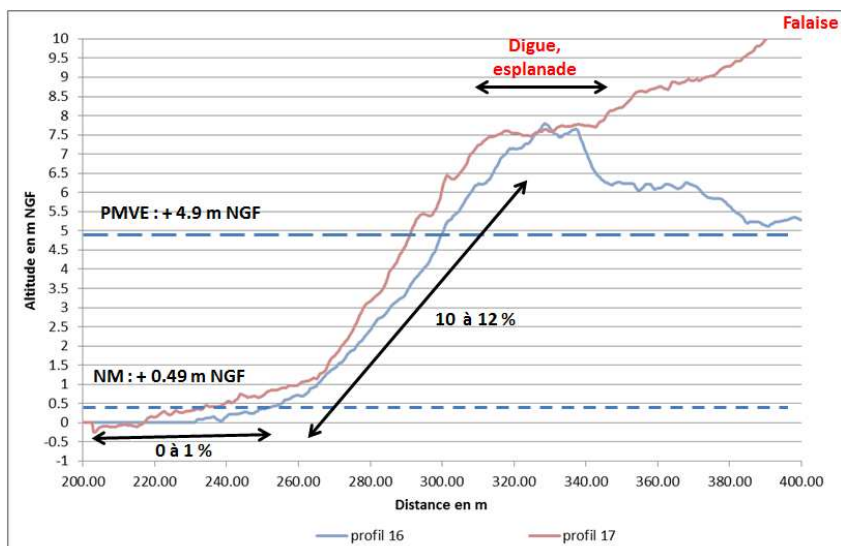
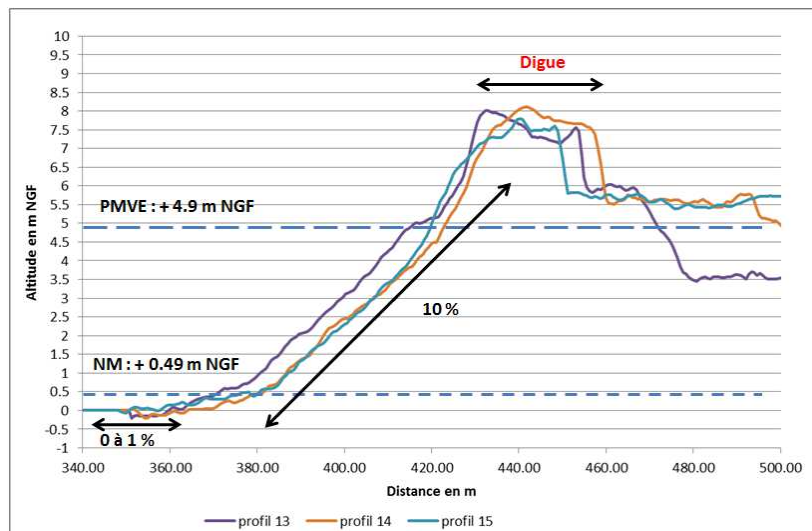
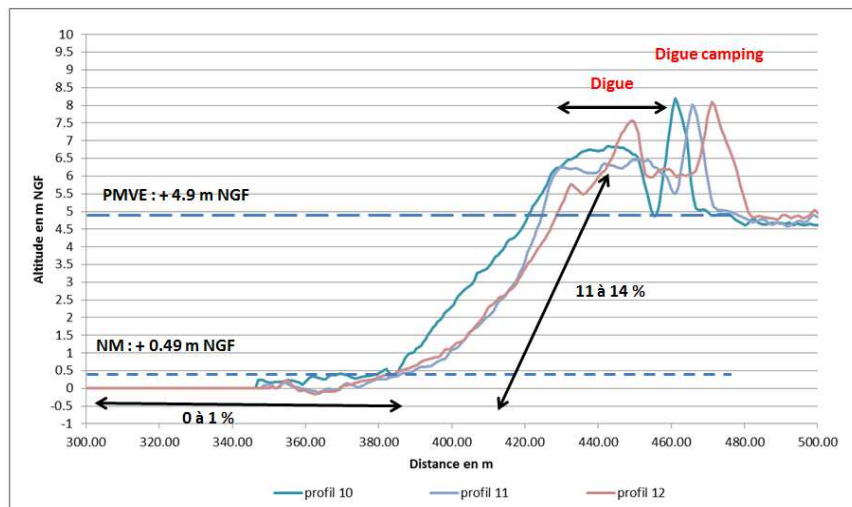


Figure 9 : Localisation des profils transversaux





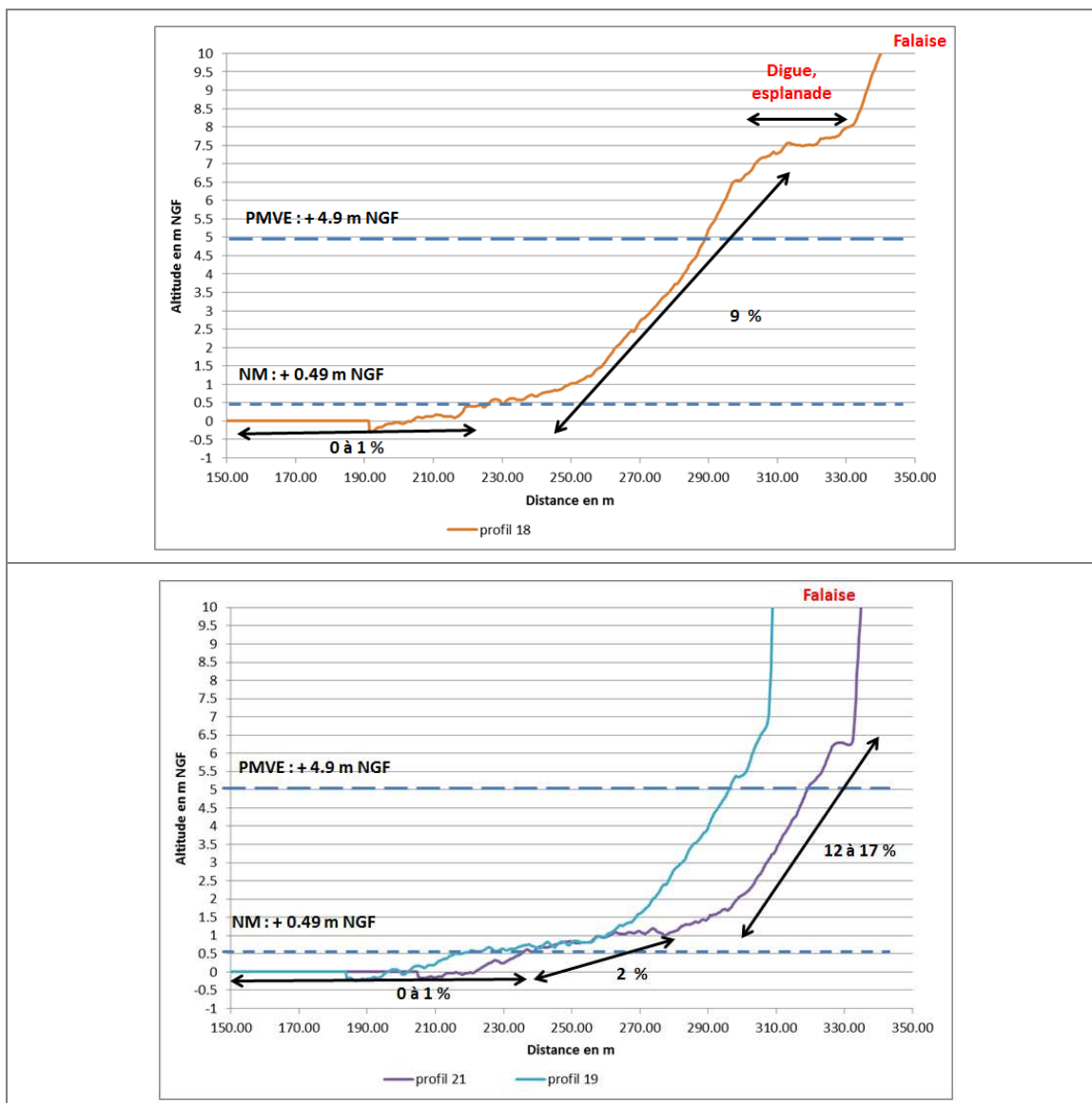


Figure 10 : Présentations graphiques des profils transversaux

L'analyse des graphiques ci-avant montre que :

- Les profils étudiés sur le littoral d'étude présentent des caractéristiques de pente similaires avec globalement les caractéristiques suivantes :
 - o Le haut de la plage de 0.5 m à 6 m NGF constitué de galets est très pentu de l'ordre de 9 à 15 % ;
 - o En dessous de 0.5 m NGF, les fonds sont plats avec une pente de l'ordre de 0 à 1 %. Ce sont essentiellement des sédiments sableux ;
 - o Pour les profils situés de part et d'autres de la plage au droit des falaises, les profils ont 2 inclinaisons différentes : 2 % à 3 % (platier rocheux) et 11 à 17 % (galets) ;
- Les fonds sont relativement cylindriques (pente des fonds rectilignes et régulières).