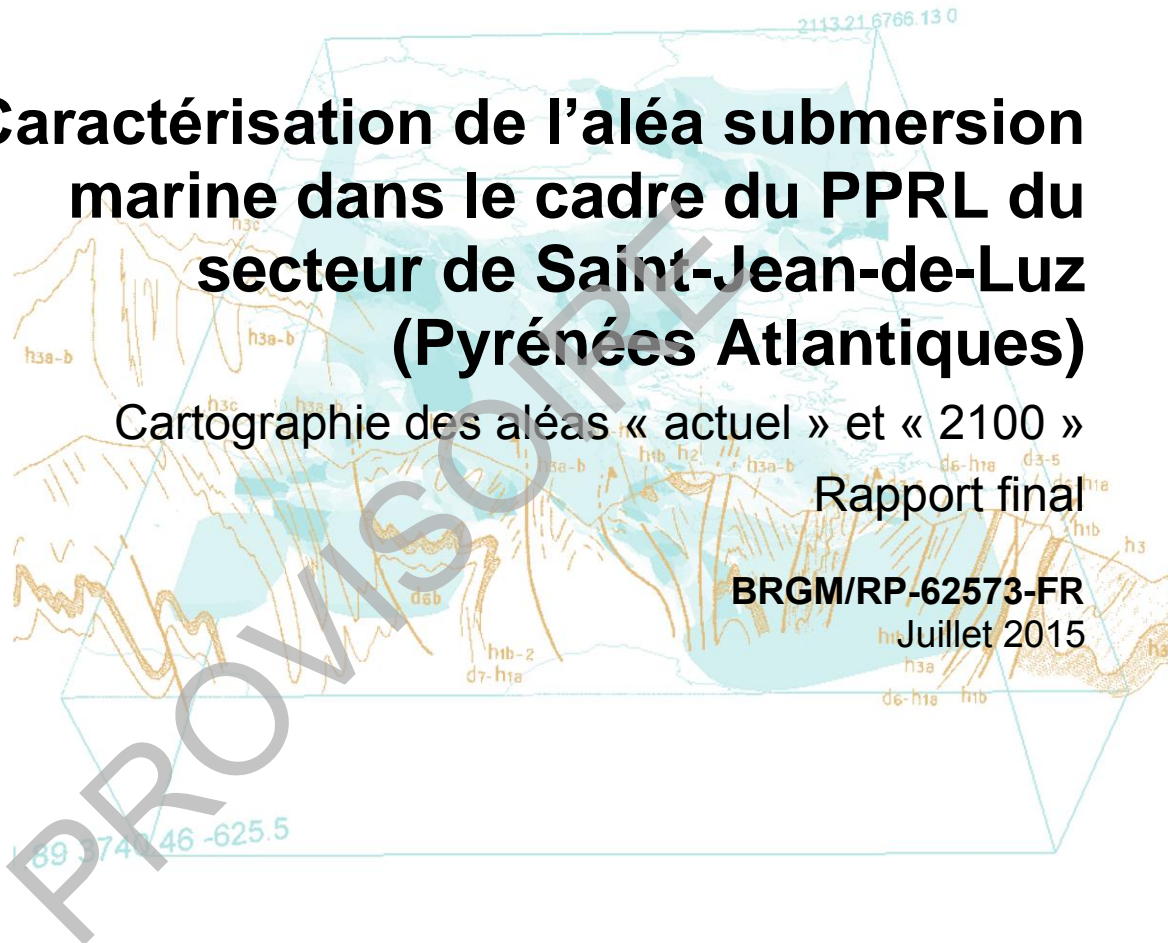




# Caractérisation de l'aléa submersion marine dans le cadre du PPRL du secteur de Saint-Jean-de-Luz (Pyrénées Atlantiques)

Cartographie des aléas « actuel » et « 2100 »  
Rapport final

BRGM/RP-62573-FR  
Juillet 2015



Document à accès différé

# Caractérisation de l'aléa submersion marine dans le cadre du PPRL du secteur de Saint-Jean-de-Luz (Pyrénées Atlantiques)

Cartographie des aléas « actuel » et « 2100 »

Rapport final

BRGM/RP-62573-FR

Juillet 2015

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM PSP11AQI26

Mugica J., Nicolae Lerma A., Pedreros R.  
Avec la collaboration de Dugor J. et Rihouey D.

## Vérificateur :

Nom : C. OLIVEROS

Date : 18/04/2014

Signature :

## Approbateur :

Nom : N. PEDRON

Directeur du BRGM/AQI (p.i.)

Date : 24/07/2015

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.



## Avertissement

*Le tirage initial de ce rapport, en nombre fixé par convention, est diffusé à son commanditaire. Sa communicabilité ultérieure à des tiers est liée à la prise d'une décision administrative formelle à laquelle il concourt, conformément à la loi n° 78-753 du 17 Juillet 1978. Passé ce délai, ce rapport devient communicable à tout tiers extérieur qui en ferait la demande ; le BRGM ne peut plus être tenu comme responsable de l'usage qui pourrait en être fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.*

PROVISOIRE

**Mots-clés :** PPRL, submersion marine, aléa, surcote, cartographie, évènement de référence, baie, estuaire, Saint-Jean-de-Luz

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**Mugica J., Nicolae Lerma A., Pedreros R. avec la collaboration de Dugor J. et Rihouey D. (2015) –** Caractérisation de l'aléa submersion marine dans le cadre du PPRL du secteur de Saint-Jean-de-Luz, Cartographie des aléas « actuel » et « 2100 ». Rapport final BRGM/RP-62573-FR, 90 p., 48 fig., 13 tabl., 19 ann., 1 CD.

## Synthèse

Comme suite à la prescription des Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) entre novembre 2010 et février 2011 en Aquitaine, le BRGM a été chargé par la DDTM des Pyrénées Atlantiques en association avec la DREAL Aquitaine de caractériser l'aléa submersion marine sur les secteurs de Saint-Jean-de-Luz et d'Hendaye. Les conditions de réalisation de cette étude font l'objet d'une convention cadre entre le BRGM et la DREAL Aquitaine signée le 19 octobre 2011 ainsi que d'une convention d'application entre le BRGM et la DDTM des Pyrénées Atlantiques signée le 5 avril 2012.

**Dans ce présent rapport, seul le secteur de Saint-Jean-de-Luz comprenant la baie de Saint-Jean-de-Luz, les estuaires de la Nivelle et de l'Untxin, le quartier d'Erromardie et l'embouchure de l'ixaka sur les communes de Saint-Jean-de-Luz, de Ciboure et d'Urrugne sont traités.**

Les PPRL devant être établis dans un délai de 3 ans à partir de leur prescription, l'aléa sera caractérisé dans l'état actuel des connaissances, avec les outils opérationnels et données existantes et en s'appuyant sur les documents de référence du MEDDTL : Circulaire du 27 juillet 2011 et rapport méthodologique de novembre 2011, v.11.

Certaines étapes de cette étude ont été réalisées avec la collaboration de CASAGEC INGENIERIE dans le cadre d'un contrat de sous-traitance par le BRGM. Ce rapport final d'étude présente une synthèse des rapports techniques du BRGM/RP-61416-FR (Bulteau et *al.*, 2013) et de CASAGEC INGENIERIE (Dugor et *al.*, 2013). Il rappelle :

1. les résultats de l'étude historique au travers du recensement des événements marquants connus et de l'analyse du fonctionnement et des défaillances des systèmes de défense contre la mer lors des tempêtes ;
2. la méthode d'analyses statistiques dites de « probabilités conjointes » pour la détermination d'événements centennaux au large composés par l'association des conditions de vagues (hauteur significative, période et direction pic) et de niveaux d'eau (marée + surcote atmosphérique) ;
3. le modèle utilisé pour la propagation des événements centennaux depuis le large vers le rivage afin de calculer le niveau marin statique au rivage, c'est-à-dire le niveau marin qui intègre le niveau de marée astronomique, la surcote atmosphérique ainsi que l'élévation du plan d'eau générée par le déferlement des vagues.
4. la propagation à terre à partir de formules empiriques pour calculer les volumes franchissants (action du jet de rive) et à partir de modèle numérique pour prendre en compte l'effet d'une concomitance avec une crue décennale de la Nivelle et de l'Untxin.

La cartographie a été réalisée pour les aléas :

- « **actuel** » qui intègre une surcote de 20 cm rajoutée au large pour une première prise en compte de l'élévation du niveau de la mer liée au changement climatique ainsi qu'une marge liée à l'incertitude de la méthode estimée à 15 cm ;

- « **2100** » qui intègre une surcote de 60 cm rajoutée au large pour la prise en compte de l'élévation du niveau de la mer liée au changement climatique ainsi qu'une marge liée à l'incertitude de la méthode estimée à 15 cm.

**Les résultats des simulations ont montré que pour des évènements centennaux les phénomènes de submersion marine sur le secteur de Saint-Jean-de-Luz résultaient de :**

- **débordement à l'intérieur des cours d'eau de l'Untxin et de La Nivelle ;**
- **franchissement par paquets de mer du front de mer.**

En concertation avec la DDTM des Pyrénées Atlantiques, le Conseil Général et les services techniques des communes, 5 scénarios de défaillance des ouvrages de protection côtière ont été déterminées sur la base de la connaissance historique, des études de danger existantes et d'un diagnostic visuel des ouvrages.

**Les scénarios de défaillance des ouvrages de protection côtière (dont les digues en mer de Socoa et de l'Artha) n'ont pas d'influence sur l'extension du débordement de l'eau à l'intérieur des cours d'eau. De même, les défaillances des digues de Socoa et de l'Artha n'ont pas d'influence sur la submersion marine par le front de mer côté baie du centre-ville de Saint-Jean-de-Luz, bien qu'elles aient une influence sur les conditions d'agitation (hauteur des vagues) dans la baie. En revanche, des brèches du seuil de garantie longeant le centre-ville de Saint-Jean-de-Luz et de l'ouvrage maçonné au niveau des remparts du fort de Socoa ont un impact défavorable sur le phénomène de submersion marine, ce qui met en évidence le rôle de protection de ces ouvrages.**

La cartographie des aléas dits « actuel » et « 2100 » représente 4 niveaux d'aléas (de faible à très fort) obtenus à partir du croisement des hauteurs d'eau et des vitesses de l'écoulement de l'eau.

Une bande de sécurité en aléa fort a été appliquée à partir du pied des ouvrages de protection côtière sur une largeur de l'ordre de 25 m (adaptée selon la configuration des sites : largeur de la promenade du front de mer, position des bâtiments de 1<sup>ère</sup> ligne...) afin de prendre en compte l'effet des vagues (paquets de mer, chocs mécaniques, projection de matériaux). De plus, une bande de précaution en aléa fort de 100 m a été appliquée en arrière du seuil de garantie depuis le phare jusqu'à la rue de la République à Saint-Jean-de-Luz, sur la base des recommandations méthodologiques du MEDDTL (rapport de novembre 2011, version 11).

**Les zones particulièrement exposées à la submersion marine sur le secteur de Saint-Jean-de-Luz sont :**

- **la promenade côtière de Saint-Jean-de-Luz et le front de mer de Socoa ;**
- **l'embouchure de la Nivelle avec le quartier situé rive droite entre le Quai de l'Infante et la Promenade Jacques Thibault et le Quai Pascal Elissalt ;**
- **en amont de la Nivelle avant le Pont de l'ASF, les quartiers Urdazuri et Urquijo rive droite ainsi que le secteur des terrains de sport rive gauche.**

La comparaison des cartes d'aléa submersion marine avec les cartes du PPRI de la Nivelle a permis de constater que l'aléa inondation fluviale (SOGREAH, 2011) était plus défavorable que l'aléa submersion marine en termes d'étendue, de hauteur et de vitesse de l'eau sur les rives de la Nivelle.

Sur le secteur de Saint-Jean-de-Luz, les différences entre les aléas « actuel » et « 2100 » correspondent essentiellement à une étendue et des niveaux d'aléa plus importants à l'intérieur des cours d'eau.

PROVISOIRE

## Sommaire

<b>1. Contexte et objectifs de l'étude</b> .....	<b>13</b>
1.1. CADRE DE L'ÉTUDE.....	13
1.2. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE .....	13
1.3. DÉROULEMENT ET SUIVI DE L'ÉTUDE .....	14
<b>2. Principe méthodologique</b> .....	<b>17</b>
2.1. NOTIONS THÉORIQUES – RAPPEL DES PROCESSUS.....	17
2.2. PRINCIPE DE LA MÉTHODOLOGIE GLOBALE .....	19
2.3. SCÉNARIOS ÉTUDIÉS .....	20
<b>3. Présentation générale du secteur d'étude</b> .....	<b>23</b>
3.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIE GÉNÉRALE .....	23
3.2. CARACTÉRISTIQUES OCÉANOGRAPHIQUES.....	24
3.2.1. Marée .....	24
3.2.2. Vagues .....	26
3.3. CARACTÉRISTIQUES MÉTÉOROLOGIQUES .....	27
3.3.1. Climat général.....	27
3.3.2. Les Vents.....	28
3.4. CARACTÉRISTIQUES D'HYDROLOGIE CONTINENTALE.....	28
3.4.1. Hydrologie de La Nivelle .....	28
3.4.2. Hydrologie de L'Untxin .....	29
3.4.3. Hydrologie de L'ixaka .....	29
<b>4. Étude historique</b> .....	<b>31</b>
4.1. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE HISTORIQUE.....	31
4.2. RECENSEMENT DES ÉVÈNEMENTS HISTORIQUES DE TEMPÊTE .....	31
4.3. CONDITIONS LES PLUS DÉFAVORABLES OBSERVÉES .....	38
<b>5. Données topographiques et bathymétriques</b> .....	<b>39</b>
5.1. TOPOGRAPHIE.....	39
5.1.1. Données IGN BD Alti®.....	39
5.1.2. Levés topographiques.....	39

5.2. BATHYMÉTRIE .....	40
5.2.1. Bathymétrie multifaisceaux.....	40
5.2.2. Données bathymétriques mono faisceau.....	41
5.3. MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN (MNT) .....	41
<b>6. Modalités de prise en compte des ouvrages de protection côtière.....</b>	<b>43</b>
6.1. OUVRAGES DE PROTECTION CÔTIÈRE IDENTIFIÉS .....	43
6.1.1. Le seuil de garantie .....	43
6.1.2. Dignes de Socoa, Artha et Sainte-Barbe .....	44
6.1.3. Le perré d'Erromardie.....	45
6.1.4. Les ouvrages considérés pérennes .....	45
6.2. HYPOTHÈSES DE DÉFAILLANCE RETENUES.....	48
<b>7. Détermination de l'évènement de référence .....</b>	<b>51</b>
7.1. PRINCIPE DE LA MÉTHODE.....	51
7.2. DETERMINATION D'ÉVÈNEMENTS CENTENNAUX AU LARGE .....	52
7.2.1. Données utilisées .....	52
7.2.2. Étape de la méthode d'analyse statistiques.....	53
7.2.3. Synthèse des résultats .....	55
7.3. PROPAGATION DES ÉVENEMENTS CENTENNAUX DEPUIS LE LARGE VERS LE RIVAGE.....	56
7.3.1. Conditions de forçage.....	56
7.3.2. Description du modèle numérique .....	57
7.3.3. Résultats .....	59
7.3.4. Conclusion et comparaison avec l'évènement historique.....	62
<b>8. Détermination de l'évènement de référence : propagation à terre.....</b>	<b>63</b>
8.1. CALCUL DES DÉBITS FRANCHISSANTS LES OUVRAGES DE PROTECTION.....	63
8.2. ESTIMATION DES NIVEAUX DE CRUE DE LA NIVELLE ET DE L'UNTXIN .....	67
8.2.1. La Nivelles .....	67
8.2.2. L'Untxin .....	67
8.2.3. L'Ixaka.....	67
8.3. MODÉLISATION NUMÉRIQUE DES ÉCOULEMENTS À SURFACE LIBRE .....	68
8.4. ÉVÈNEMENT DE RÉFERENCE RETENU .....	69
<b>9. Cartographie des aléas.....</b>	<b>71</b>
9.1. QUALIFICATION DE L'ALÉA .....	71
9.2. PARTICULARITÉ DE LA CARTOGRAPHIE.....	72



9.3. VÉRIFICATION DE TERRAIN .....	73
9.4. DESCRIPTION DES CARTES D'ALÉAS « ACTUEL » ET « 2100 » .....	75
9.4.1. Aléa actuel .....	75
9.4.2. Aléa 2100 .....	81
<b>10. Conclusion.....</b>	<b>87</b>
<b>11. Bibliographie .....</b>	<b>89</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Synthèse des processus contribuant au niveau de la mer lors d'une tempête .....	18
Figure 2 : Les trois types de submersion .....	19
Figure 3 : Niveaux marins à prendre en compte pour la caractérisation des aléas submersion marine (Rapport MEDDTL, v11, novembre 2011).....	21
Figure 4 : Situation du secteur d'étude de St-Jean-de-Luz.....	23
Figure 5 : Carte lithologique simplifiée de la Côte Basque (Genna et al., 2005) .....	24
Figure 6 : Caractéristiques des vagues au point 44°N 2,5°W (WW3 période 1997-2007) - Rose des vagues (Hs,direction, fréquence).....	26
Figure 7 : Diagramme bivarié (Tp, Hs) .....	26
Figure 8 : Diagrammes ombrothermiques (a : Biarritz – b : Socoa).....	28
Figure 9 : Dégâts sur les ouvrages maritimes provoqués par la tempête de Décembre 1951 dans la baie de Saint-Jean-De-Luz .....	33
Figure 10 : Submersion du quai de l'Infante par voie de brèche (à gauche) et vague franchissant le perré côté Ciboure lors de la tempête de décembre 1951 .....	33
Figure 11 : Photographies des dégâts de la tempête de 1958 .....	34
Figure 12 : Désensablement de la plage de Saint-Jean-De-Luz fin de Janvier 1990.....	34
Figure 13 : Dégâts sur la façade de la Pergola à la suite de l'évènement du 30 janvier 1990 .....	34
Figure 14 : Dégâts causés par la tempête de Décembre 1999.....	35
Figure 15 : Carte de synthèse des secteurs touchés par des inondations au regard de l'étude historique : site de la baie de St-Jean-de-Luz (CASAGEC INGENIERIE, Dugor et al., 2013).....	36
Figure 16 : Carte de synthèse des secteurs touchés par des inondations au regard de l'étude historique : site d'Erromardie (CASAGEC INGENIERIE, Dugor et al., 2013) .....	37
Figure 17 : Visualisation des zones couvertes par les levés.....	40
Figure 18 : Levés bathymétriques multifaisceaux sur le secteur de Saint-Jean-De-Luz et scanner laser des digues Socoa et Artha.....	40
Figure 19 : Données bathymétriques mono faisceau sur le secteur de Saint-Jean-De-Luz.....	41
Figure 20 : MNT final sur le secteur de Saint-Jean-De-Luz.....	42
Figure 21 : Découpage des profils type du seuil de garantie de Saint-Jean-De-Luz selon l'étude de danger 2011.....	44
Figure 22 : Les trois digues de protection de la baie de Saint-Jean-De-Luz .....	44

Figure 23 : Zone sensible sur le perré d'Erromardie .....	45
Figure 24 : Segmentation des ouvrages de protection sur le secteur de Saint-Jean-De-Luz.....	47
Figure 25 : Scénarios envisagés pour la modélisation du secteur de Saint-Jean-De-Luz.....	49
Figure 26 : Graphe bivarié représentant les directions pics des vagues (Dp) en fonction des hauteurs significatives (Hs) pour les données d'origine .....	54
Figure 27 : Couples (Hs,SWL) initiaux superposées aux données simulées par JOIN-SEA (10 000 ans) .....	54
Figure 28 : Courbes d'iso-période de retour de dépassement conjoint pour Hs et SWL pour le secteur de St-Jean-de-Luz.....	55
Figure 29 : Points d'extraction des modèles pour les conditions de référence d'agitation au large et les niveaux d'eau SWL à la côte. Les rectangles rouges représentent l'emprise des modèles de propagation des vagues à la côte .....	58
Figure 30 : Modèles numériques de terrain pour la propagation des vagues devant le secteur de Saint-Jean-De-Luz. Les profils rouges (P1 à P12) permettront d'évaluer les conditions d'agitation et de wave setup à différents endroits.....	59
Figure 31 : Exemple de résultats de simulation réalisée avec le modèle SWAN sur le modèle de grande emprise. Hauteur significative des vagues (m).....	60
Figure 32 : Exemple de résultats de simulation réalisée avec le modèle SWAN (hauteur significative des vagues (m) et direction moyenne à gauche ; surcote induite par les vagues – wave setup– à droite).....	60
Figure 33 : Profils utilisés sur le secteur de Saint-Jean-De-Luz pour le calcul des volumes franchissants .....	64
Figure 34 : Définition de la bande de sécurité derrière un ouvrage (MEDDTL, 2011).....	73
Figure 35 : Prise en compte des fossés et connexions hydrauliques .....	74
Figure 36 : Laisse de mer dans le camping d'Erromardie qui témoignent des franchissements par paquets de mer .....	74
Figure 37 : Zone de submersion marine par débordement sur les berges de la Nivelle .....	74
Figure 38 : Secteur d'application de la bande de sécurité liée à l'effet des vagues .....	75
Figure 39 : Terrain naturel en arrière de l'ouvrage (à droite) plus bas que la base de l'ouvrage côté mer (à gauche) justifiant l'application d'une bande de précaution, seuil de garantie sur Saint-Jean-de-Luz.....	75
Figure 40 : Extrait de la carte d'aléa actuel pour les secteurs de l'Untxin et Socoa .....	77
Figure 41 : Extrait de la carte de l'aléa actuel au niveau du secteur du port de Saint-Jean-De-Luz et Ciboure.....	78
Figure 42 : Extrait de la carte d'aléa actuel sur le secteur du front de mer de Saint-Jean-De-Luz.....	79
Figure 43 : Extrait de la carte de l'aléa actuel sur le secteur de la Nivelle amont.....	80
Figure 44 : Extrait de la carte d'aléa actuel sur le secteur d'Erromardie.....	81
Figure 45 : Extrait de la carte d'aléa 2100 au niveau des secteurs de l'Untxin et Socoa .....	82
Figure 46 : Extrait de la carte d'aléa 2100 dans le port de Ciboure .....	83
Figure 47 : Submersion dans le centre-ville de Saint-Jean-De-Luz pour l'aléa 2100 .....	84
Figure 48 : Extrait de la carte d'aléa 2100 sur le secteur d'Erromardie .....	85

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Références Altimétriques Maritime (RAM 2011 – SHOM) pour le marégraphe de Socoa .....	25
Tableau 2 : Estimation des surcotes au niveau du marégraphe de Socoa du port de référence de St-Jean-de-Luz (SHOM / CETMEF, 2008) .....	25
Tableau 3 : Estimation des surcotes de pleine mer au marégraphe de Socoa, port de référence de Saint-Jean-de-Luz (CETMEF, 2013) .....	25
Tableau 4 : Périodes de retour des débits de crue à la « Nivelles Amont (Cherchebruit) » utilisés dans le PPRI Nivelles .....	29
Tableau 5 : Périodes de retour pour les débits de crue de l'Untxin issues de Sauveterre (1986) .....	29
Tableau 6 : Combinaisons (Hs, SWL) centennales au large et Tp associées, sélectionnées pour le secteur de St Jean-de-Luz .....	56
Tableau 7 : caractéristiques des combinaisons de période de retour 100 ans au large .....	57
Tableau 8 : Niveau d'eau total (m/NGF) statique (SWL+ Surcote 20 cm + wave setup + Incertitude 15 cm) – Aléa actuel – configuration normale .....	61
Tableau 9 : Niveau d'eau total (m/NGF) statique (SWL+ Surcote 60 cm + wave setup + Incertitude 15 cm) – Aléa 2100 – configuration normale .....	61
Tableau 10 : Hauteurs significatives (m) – Aléa actuel – configuration normale .....	65
Tableau 11 : Hauteurs significatives (m) – Aléa 2100 – configuration normale .....	65
Tableau 12 : Paramètres correspondant à la situation de volumes franchissants maximum .....	66
Tableau 13 : Qualification de l'aléa en fonction des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement (Rapport du MEDDTL, novembre 2011, version 11) .....	72

## Liste des annexes

Annexe 1 : Compte rendu de la 1 <sup>ère</sup> réunion du comité scientifique 27/05/2011 .....	91
Annexe 2 : Compte rendu de la 2 <sup>ème</sup> réunion du comité scientifique 20/09/2012 .....	97
Annexe 3 : Liste des événements historiques de submersion marine et de leurs conséquences sur la commune de Saint-Jean-de-Luz .....	103
Annexe 4 : Compte rendu de la réunion du 11/12/2012 relative à la détermination des hypothèses de défaillance des ouvrages côtiers .....	107
Annexe 5 : Classification des ouvrages de protection côtière .....	113
Annexe 6 : Géométrie des ouvrages de protection côtière .....	117
Annexe 7 : Scénario avec défaillance des ouvrages côtiers – géométrie de la brèche .....	121
Annexe 8 : Cartes du scénario de référence pour l'évènement actuel sur le secteur de l'Untxin et de Socoa: aléa, hauteurs et vitesses d'eau .....	125
Annexe 9 : Cartes du scénario de référence pour l'évènement actuel sur le secteur de la Grande Plage, du port et du centre ville de Saint-Jean-de-Luz : aléa, hauteurs et vitesses d'eau .....	131
Annexe 10 : Cartes du scénario de référence pour l'évènement actuel sur le secteur de La Nivelles : aléa, hauteurs et vitesses d'eau .....	137
Annexe 11 : Cartes du scénario de référence pour l'évènement actuel sur le secteur d'Erromardie : aléa, hauteurs et vitesses d'eau .....	143

Annexe 12 : Cartes du scénario de référence pour l'évènement 2100 sur le secteur de l'Untxin et de Socoa: aléa, hauteurs et vitesses d'eau .....	149
Annexe 13 : Cartes du scénario de référence pour l'évènement 2100 sur le secteur de la Grande Plage, du port et du centre ville de Saint-Jean-de-Luz : aléa, hauteurs et vitesses d'eau .....	155
Annexe 14 : Cartes du scénario de référence pour l'évènement 2100 sur le secteur de La Nivelle : aléa, hauteurs et vitesses d'eau .....	161
Annexe 15 : Cartes du scénario de référence pour l'évènement 2100 sur le secteur d'Erromardie : aléa, hauteurs et vitesses d'eau .....	167
Annexe 16 : Cartes des autres scénarios pour l'évènement actuel sur le secteur de l'Untxin et de Socoa : aléa, hauteurs et vitesses d'eau .....	173
Annexe 17 : Cartes des autres scénarios pour l'évènement actuel sur le secteur de la Grande Plage, du port et du centre ville de Saint-Jean-de-Luz : aléa, hauteurs et vitesses d'eau .....	179
Annexe 18 : Cartes des autres scénarios pour l'évènement 2100 sur le secteur de l'Untxin et de Socoa : aléa, hauteurs et vitesses d'eau .....	185
Annexe 19 : Cartes des autres scénarios pour l'évènement 2100 sur le secteur de la Grande Plage, du port et du centre ville de Saint-Jean-de-Luz : aléa, hauteurs et vitesses d'eau .....	191

PROVISOIRE

# 1. Contexte et objectifs de l'étude

## 1.1. CADRE DE L'ÉTUDE

Comme suite à la prescription des Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) entre novembre 2010 et février 2011 en Aquitaine, le BRGM a été chargé par la DREAL Aquitaine et les DDTM de la Gironde, des Landes et des Pyrénées Atlantiques de caractériser l'aléa submersion marine sur les secteurs concernés. Les conditions de réalisation de cette étude font l'objet d'une convention cadre entre le BRGM et la DREAL Aquitaine signée le 19 octobre 2011 ainsi que de 3 conventions d'application entre le BRGM et les DDTM signées le 14 novembre 2011 pour la Gironde, le 29 mars 2012 pour les Landes et le 5 avril 2012 pour les Pyrénées Atlantiques.

Les secteurs faisant l'objet d'un PPRL et sur lesquels l'aléa submersion marine doit être caractérisé sont les suivants :

- En Gironde :
  - o les 10 communes bordant le Bassin d'Arcachon ainsi que la commune de Mios ;
- Dans les Landes :
  - o Secteur de Mimizan ;
  - o Secteur du courant de Soustons dont les communes de Vieux\_Boucau, Messanges, Azur, Soustons ;
  - o Secteur du Bourret Boudigau comprenant les communes de Capbreton, Soorts, Angresse, Hossegor ;
  - o À la demande de la DDTM des Landes, il sera également caractérisé l'aléa submersion marine sur le secteur de Contis (bien que ne faisant pas l'objet d'un PPRL) ainsi que l'aléa recul du trait de côte sur Contis et sur l'ensemble des secteurs concernés par un PPRL dans ce département.
- Dans les Pyrénées Atlantiques :
  - o Secteur de Saint-Jean-de-Luz dont les communes de Ciboure et d'Urrugne ;
  - o Secteur d'Hendaye dont la commune d'Urrugne.

**Dans ce présent rapport, seul le secteur de Saint-Jean-de-Luz comprenant la baie de Saint-Jean-de-Luz, les estuaires de la Nivelle et de l'Untxin, le quartier d'Erromardie et l'embouchure de l'ixaka sur les communes de Saint-Jean-de-Luz, de Ciboure et d'Urrugne sont traités.**

Certaines étapes de cette étude ont été réalisées avec la collaboration du bureau d'étude CASAGEC INGENIERIE dans le cadre d'un contrat de sous-traitance avec le BRGM.

## 1.2. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Une des recommandations du Grenelle de la Mer est la révision du guide méthodologique pour l'élaboration des PPRL datant de 1997 (Garry et *al.*, 1997). Ainsi les nouveaux documents de référence diffusés par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL) et sur lesquels s'appuie la méthodologie mise en œuvre pour cette présente étude sont :

- la « **Circulaire du 27 juillet 2011** » relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les plans de prévention des risques naturels littoraux (NOR : DEVP1119962C) ;
- le rapport « **Premiers éléments méthodologiques pour l'élaboration des PPRL** », version 11 de novembre 2011.

Les principales nouveautés de ces documents par rapport au guide méthodologique de 1997 (Garry et al., 1997) concernent notamment la définition de l'évènement naturel de référence à retenir pour caractériser l'aléa de référence. Sur un secteur homogène, il doit correspondre à « *un évènement centennal ou à un évènement historique si celui-ci est supérieur* » (Rapport MEDDTL, v.11, novembre 2011).

La notion de bassin de risque impliquant « *la sélection de plusieurs évènements naturels de référence* » pour caractériser l'aléa de référence est également introduite (Rapport MEDDTL, v.11, novembre 2011).

D'autre part, les documents précités précisent les modalités de la prise en compte :

- de plusieurs processus pour décrire les différents phénomènes météo-marins (niveau marin, hauteur de houle, intensité du vent, etc.) : L'évènement marin « *est caractérisé par deux paramètres au minimum, le niveau marin à la côte et la hauteur significative de la houle, conditionnant les volumes d'eau entrants. ...* » (Rapport MEDDTL, v.11, novembre 2011) ;
- du rôle des ouvrages de protection côtière sur les phénomènes naturels : « *l'aléa submersion marine doit être déterminé de manière la plus réaliste possible et prendre en compte dans une certaine mesure le rôle de ces ouvrages de protection sans pour autant les considérer comme infaillibles* » (Rapport MEDDTL, v.11, novembre 2011) ;
- du changement climatique à l'horizon 2100 se manifestant en particulier par une élévation du niveau marin (sur la base des estimations du GIEC) : « *L'hypothèse retenue est celle d'une augmentation du niveau marin égale à 60 cm à l'horizon 2100 ... il s'agit d'une position de base qui peut si besoin être affinée par des études plus précises permettant d'évaluer l'impact local du changement climatique* » (circulaire du 27 juillet 2011).

### 1.3. DÉROULEMENT ET SUIVI DE L'ÉTUDE

L'étude a bénéficié de l'expertise d'un comité scientifique réunissant des experts du CETMEF<sup>1</sup>, CETE SO<sup>2</sup>, BRGM, RRLA<sup>3</sup>, CASAGEC INGENIERIE, SOGREAH et ONF<sup>4</sup>.

Préalablement à sa mise en œuvre, la méthodologie de caractérisation<sup>(5)</sup> de l'aléa a été proposée au comité scientifique de l'étude relative aux PPRL en Aquitaine et acceptée (réunion du 27/05/2011, cf. compte-rendu Annexe 1).

---

<sup>1</sup> CETMEF : Centre d'Etudes Maritimes Et Fluviales

<sup>2</sup> CETE SO : Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement du Sud-Ouest

<sup>3</sup> RRLA : Réseau de Recherche du Littoral Aquitaine

<sup>4</sup> ONF : Office National des Forêts

<sup>5</sup> La méthodologie a également fait l'objet d'une publication scientifique (Bulteau et al., 2012) et d'une présentation aux XII<sup>èmes</sup> Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil de Cherbourg (2012).

Les résultats de la première phase de l'étude (détermination de l'évènement naturel de référence au rivage) ont également été présentés et validés en comité scientifique (réunion du 20/09/2012, cf. compte-rendu Annexe 2).

PROVISOIRE

## 2. Principe méthodologique

### 2.1. NOTIONS THÉORIQUES – RAPPEL DES PROCESSUS

Les submersions marines peuvent être définies comme « des inondations épisodiques de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques (forte dépression et vent de mer) et marégraphiques sévères [...] » (Garry et al., 1997). Elles sont le plus souvent associées à des surélévations temporaires du niveau de la mer lors de tempêtes ou de cyclones, voire de tsunamis<sup>6</sup>. En dehors des tsunamis, les surcotes marines sont contrôlées par deux principaux processus, indissociables pour un observateur, mais régis par des mécanismes physiques différents :

- **La surcote atmosphérique** : Le passage d'un important système dépressionnaire (cyclone, ouragan, tempête) est caractérisé par des variations du niveau marin selon deux mécanismes :
  - o La chute de pression atmosphérique entraîne une surélévation du niveau du plan d'eau. C'est le phénomène de *baromètre inverse* : une diminution d'1 hPa équivaut à une élévation d'1 cm du plan d'eau. En théorie, le champ de pression doit être établi sur un très grand domaine océanique.
  - o Le vent génère des courants dans les masses d'eau superficielles. Ces masses d'eau poussées par les courants vers la côte peuvent s'accumuler et induire une élévation du niveau marin.
- **La surcote associée aux vagues (setup)** : à l'approche de la côte, les vagues générées au large déferlent : elles transfèrent leur énergie sur la colonne d'eau, dont une partie provoque une élévation moyenne du plan d'eau (le « *wave setup* » ou surcote liée aux vagues). Cette élévation peut atteindre plusieurs dizaines de centimètres en fonction des caractéristiques des vagues (hauteur, période et direction), elles-mêmes dépendantes des phénomènes de gonflement (*shoaling*), de réfraction, de diffraction et de dissipations provoquées par les interactions avec les caractéristiques morphologiques des côtes.

L'influence relative de la surcote atmosphérique et de la houle sur l'amplitude de la surcote est fortement dépendante de la bathymétrie du domaine considéré. En présence d'un plateau continental large, c'est-à-dire une zone de pente douce et de profondeur limitée, l'action du forçage atmosphérique est prépondérante. Par contre, lorsque les pentes sont fortes et que les côtes sont protégées par des récifs par exemple, c'est en théorie l'action de la houle qui prédomine (Krien et al., 2010, BRGM/RP-58101-FR ; Garcin et al., 2013, BRGM/RP-62259-FR).

Le niveau moyen de la mer lors d'une tempête ou d'un cyclone est déterminé par l'ensemble de ces contributions, ainsi que par l'influence de la marée astronomique, c'est-à-dire la variation du niveau de la mer due à l'action gravitationnelle de la lune et du soleil.

Lors d'une tempête, le niveau d'eau atteint n'est pas la somme arithmétique des contributions de la marée, de la surcote atmosphérique et de la surcote liée à la houle. Il existe des interactions entre ces phénomènes avec la morphologie de la côte et les fonds marins. Par

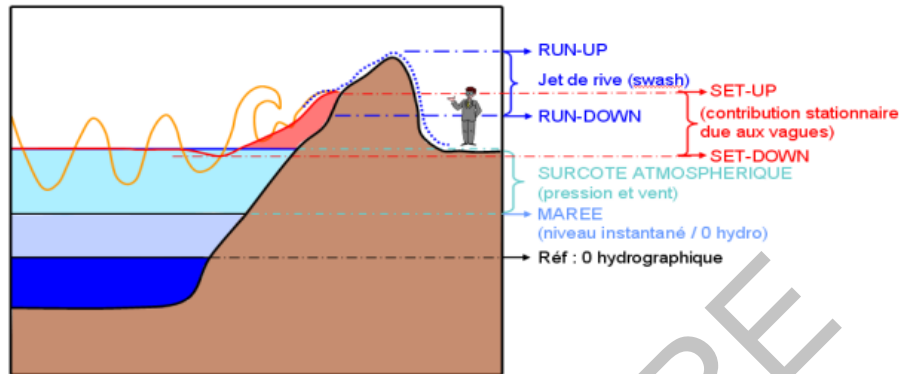
---

<sup>6</sup> Il est à noter que le risque de submersion marine par tsunami n'est pas abordé par le rapport du MEDDTL (version 11, novembre 2011) relatif à l'élaboration des PPRL.



simplification, l'altitude maximale du plan d'eau atteinte au cours des tempêtes est souvent calculée en sommant ces contributions.

Pour obtenir le niveau instantané de la mer, il faut tenir compte par ailleurs du **jet-de-rive** (swash), c'est-à-dire le flux et le reflux des vagues sur la plage. On appelle **run-up** la cote maximale atteinte par la mer au-dessus de son niveau de référence (ici le zéro hydrographique). La Figure 1 illustre l'ensemble de ces mécanismes.



*Ce schéma n'est pas à l'échelle*

Figure 1 : Synthèse des processus contribuant au niveau de la mer lors d'une tempête

Lors des tempêtes, la submersion marine peut se produire de 3 façons (CETMEF, 2009) (cf. Figure 2) :

- par débordement lorsque le niveau marin moyen atteint est supérieur à cote d'arase des ouvrages ;
- par franchissement lorsque des paquets de mer (projection de gerbes d'eau causées par le déferlement des vagues) se rependent de manière répétée en arrière des ouvrages ;
- par rupture d'un ouvrage côtier ou d'une défense naturelle (dune) faisant office de digue.

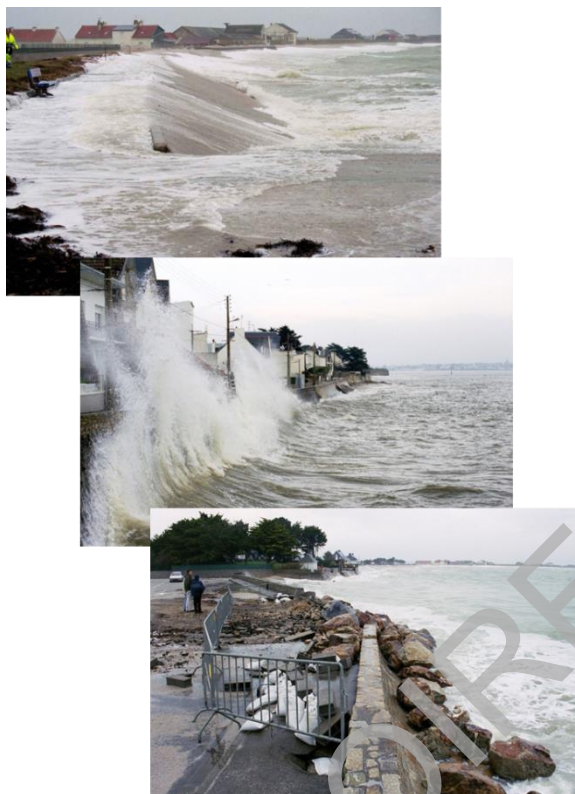


Figure 2 : Les trois types de submersion

## 2.2. PRINCIPE DE LA MÉTHODOLOGIE GLOBALE

L'aléa sera caractérisé selon les recommandations méthodologiques existantes (rapport du MEDDTL, version 11, novembre 2011) et avec les outils opérationnels et données existantes. La DREAL Aquitaine ainsi que les DDTM de la Gironde, des Landes et des Pyrénées Atlantiques ont souhaité que la méthodologie mise en œuvre soit homogène à l'échelle régionale.

Avec pour objectif la réalisation de cartes d'aléas submersion marine à une échelle au 1/25 000 (1/10 000 en zone urbaine et 1/5 000 sur les secteurs à fort enjeu) nécessaires à l'élaboration des PPRL, les principales étapes de la méthodologie mise en œuvre sont, conformément aux consignes détaillées dans les documents de référence précités, les suivantes :

1. **L'identification des données nécessaires à l'étude** est une étape préliminaire sur laquelle repose le choix de la méthodologie à mettre en œuvre ainsi que la précision des résultats. Un important travail de préparation est nécessaire afin d'une part de rassembler les différentes données bathymétriques et topographiques pour en faire un modèle numérique de terrain et d'autre part de constituer des jeux de données (vagues et niveaux d'eau par exemple) de bonnes résolutions et couvertures spatiales et temporelles. De la qualité de ce travail dépendent les étapes 3 et 4.
2. **Une étude historique** des événements de tempête ayant généré une submersion marine afin d'approfondir la connaissance locale des sites et des phénomènes auxquels il est soumis.

La détermination de l'évènement naturel de référence au rivage. La méthodologie utilisée a été proposée au comité scientifique de l'étude relative aux PPRL en Aquitaine et acceptée (cf.

paragraphe 1.3 et compte rendu en Annexe 1). Cette méthode a par ailleurs fait l'objet d'une publication scientifique (Bulteau et *al.*, 2012) et d'une présentation aux XII<sup>èmes</sup> Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil de Cherbourg. Elle se décompose en 3 sous-étapes :

- (i) Analyse statistique pour la détermination de l'évènement centennal au large (avant le déferlement des vagues) composé des caractéristiques de vague et des niveaux d'eau (marée + surcote atmosphérique) ;
- (ii) Propagation de cet évènement centennal depuis le large vers le rivage à partir d'une modélisation numérique afin d'intégrer l'influence combinée des processus locaux résultants des conditions de vagues, de vent, de niveau marin. On détermine ainsi les conditions de la submersion à terre (inondation par débordement ou par franchissement de paquet de mer).
- (iii) Comparaison entre l'évènement historique et l'évènement centennal au rivage afin de déterminer l'évènement de référence ;

3. **La propagation des inondations à terre** dépend de la nature des inondations (niveau statique ou instantané). Elle est réalisée par l'utilisation de modèle numérique reproduisant les écoulements à surface libre. Il intègre ainsi les volumes d'eau, les interactions marée/cours d'eau en domaine estuarien ou les divers scénarios de défaillance des ouvrages

4. **la cartographie de la submersion marine à terre pour l'évènement de référence au rivage**. Cet évènement est choisi comme le plus maximisant entre le niveau marin de l'évènement historique et celui de l'évènement centennal. Il intègre le résultat de l'ensemble des scénarios et combine la situation la plus défavorable conduisant aux limites de submersion maximale pour un évènement centennal.

### 2.3. SCÉNARIOS ÉTUDIÉS

Conformément aux recommandations méthodologiques du MEDDTL (circulaire du 27 juillet 2011, rapport d'octobre 2011), les scénarios d'aléas étudiés sont les suivants :

- **scénario de l'aléa dit « sans ouvrage »** : scénario en l'absence d'ouvrage (hypothèse de ruine généralisée de l'ensemble des ouvrages de protection), déterminé à partir de l'évènement de référence, aboutissant une cartographie à titre informatif ;
- **scénario de l'aléa dit « actuel »** : scénario de référence déterminé à partir de l'évènement naturel de référence et d'hypothèses sur les structures de protection, aboutissant à la cartographie de l'aléa de référence qui, croisée aux enjeux, permettra l'élaboration du zonage réglementaire et du règlement du Plan de Prévention des Risques Littoraux ;
- **scénario de l'aléa dit « 2100 »** : scénario à échéance 100 ans déterminé à partir de l'évènement de référence prenant en compte l'élévation du niveau de la mer liée à l'impact du changement climatique, aboutissant à la cartographie de l'aléa à échéance 100 ans, qui croisé à l'aléa de référence et aux enjeux, permettra le calage des cotes de constructibilité.

Le niveau marin de référence pour cartographier les aléas « actuel » et « sans ouvrage » est celui correspondant au plus fort du niveau centennal (obtenu par des méthodes statistiques + incertitudes) et du niveau historique le plus haut connu (+ incertitudes), auquel on rajoute 20 cm au titre d'une première prise en compte de l'élévation du niveau de la mer du fait du changement climatique en cours (Figure 3).

Pour cartographier l'aléa « 2100 », le niveau marin de référence à échéance 100 ans est obtenu en ajoutant 40 cm au niveau marin de référence conformément au scénario pessimiste de l'ONERC (Figure 3, rapport MEDDTL, v11, novembre 2011).

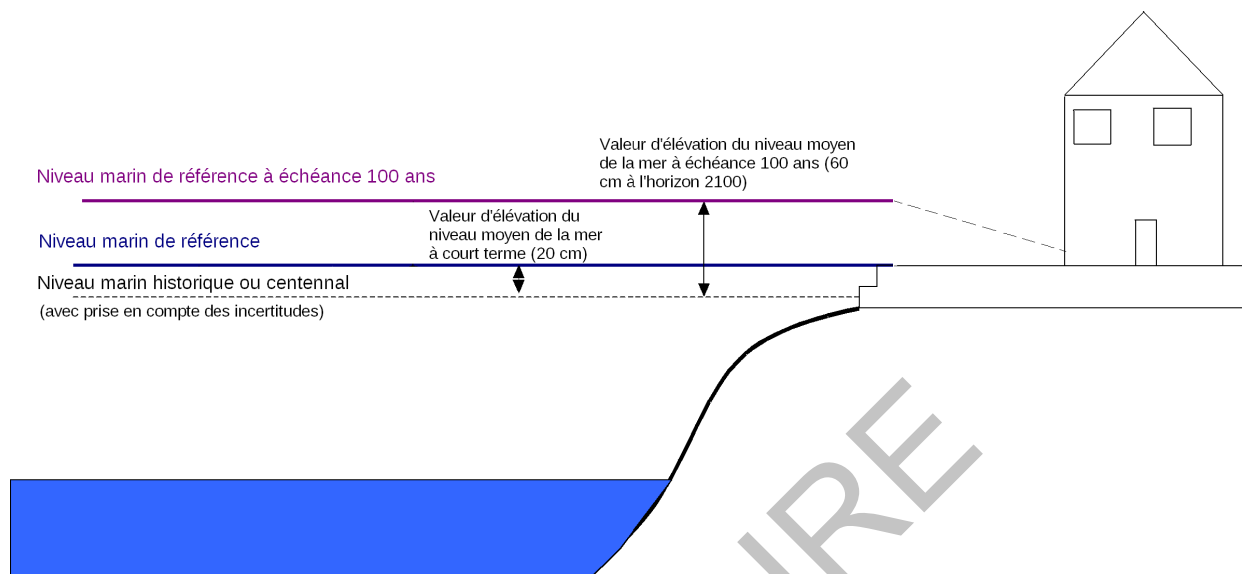


Figure 3 : Niveaux marins à prendre en compte pour la caractérisation des aléas submersion marine (Rapport MEDDTL, v11, novembre 2011)

### 3. Présentation générale du secteur d'étude

#### 3.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIE GENERALE

La commune de Saint-Jean-de-Luz se situe au fond du Golfe de Gascogne, à 20 Km à l'Est de la Frontière Espagnole (Figure 4). Le secteur est caractérisé par la baie de Saint-Jean-de-Luz et à l'Est, le petit estuaire de l'ixaka qui débouche sur la plage d'Erromardie. Le secteur s'étend sur trois communes : Saint-Jean-de-Luz, Ciboure et Urrugne.

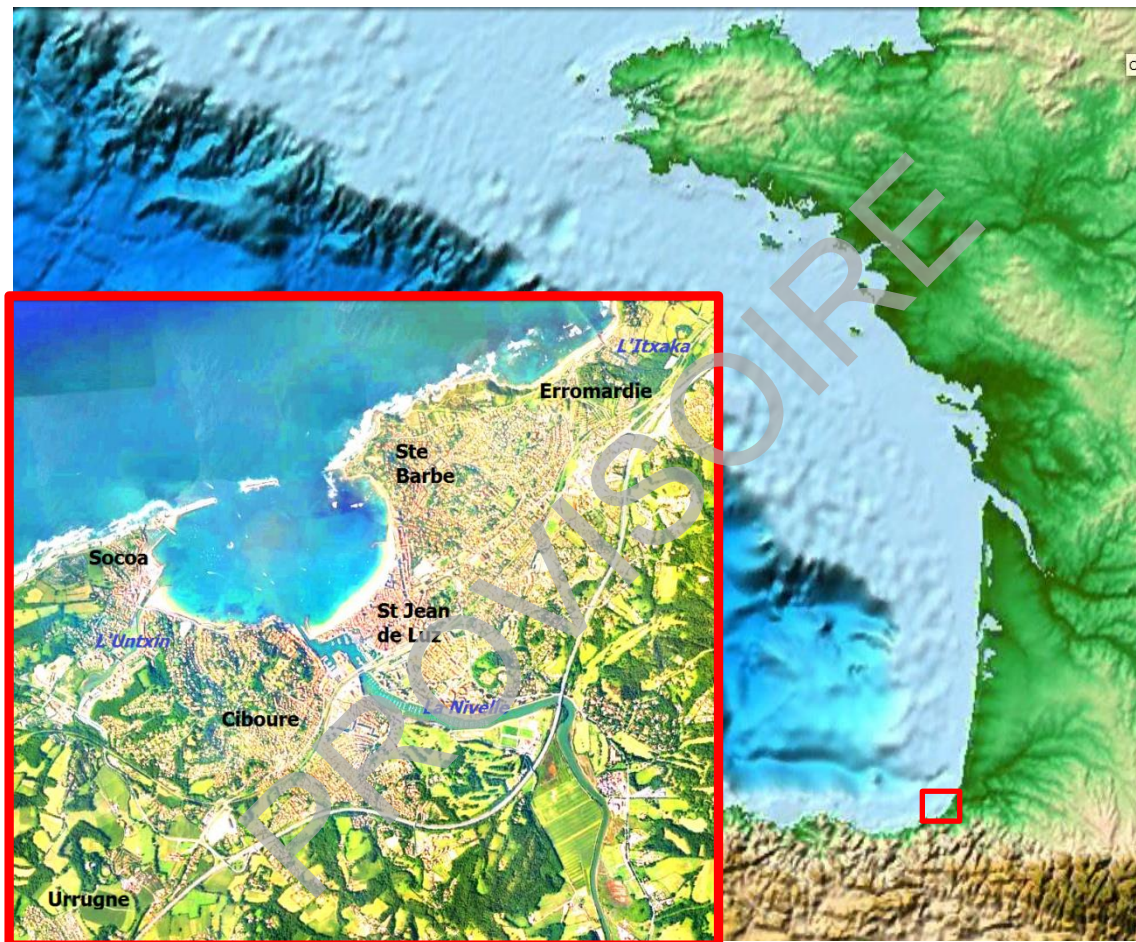


Figure 4 : Situation du secteur d'étude de St-Jean-de-Luz

Le côte basque peut être divisée en 2 unités géomorphologiques littorales distinctes, une côte sableuse qui est l'extrême sud du système landais (de l'embouchure de l'Adour au Nord de la commune de Biarritz) et la côte rocheuse incluant les communes de Biarritz, Bidart, Guéthary, St-Jean-de-Luz, Ciboure, Urrugne, et Hendaye.

Le contexte géologique (Figure 5), de la côte rocheuse est une alternance de formations marno-calcaires à faciès de Flysch dans lesquelles se découpent de petites plages de poche ou des baies plus étendues comme celles de Saint-Jean-de-Luz et d'Hendaye (baie de Figuié).

Au niveau de la commune de St-Jean-de-Luz, les apports continentaux sont véhiculés par la Nivelle et L'Untxin qui prennent leur source sur des terrains éruptifs des massifs montagneux Pyrénéens. Ces cours d'eau s'écoulent sur des secteurs complexes où schistes primaires, calcaires et grès de la couverture Permo-Triasico-Jurassique sont imbriqués par une tectonique très serrée, Peter-Borie *et al.* (2010). Les apports marins véhiculés par une dérive littorale majoritairement Nord-Est Sud-Ouest sont caractérisés par des sables moyens issus de l'érosion des falaises.

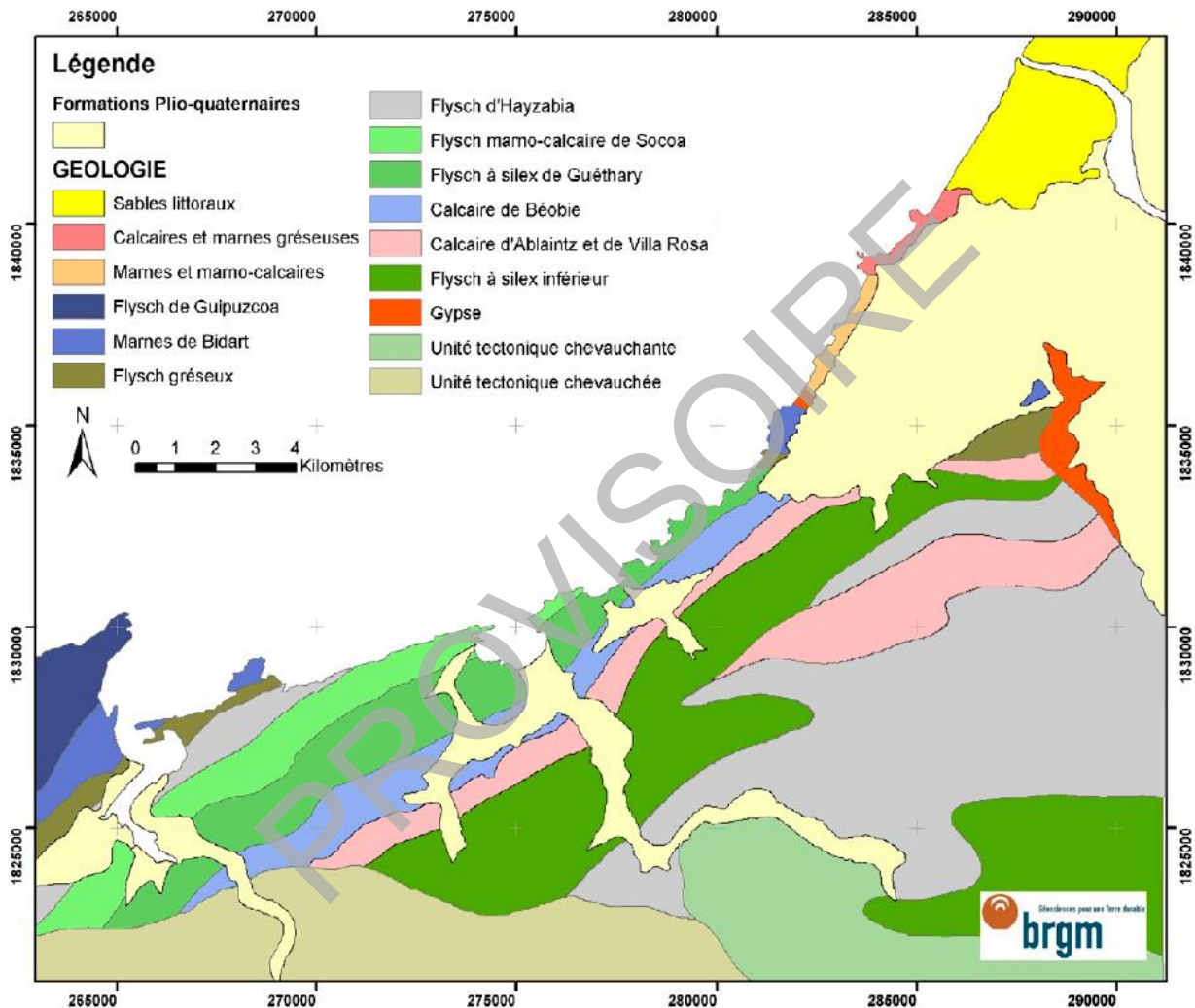


Figure 5 : Carte lithologique simplifiée de la Côte Basque (Genna *et al.*, 2005)

## 3.2. CARACTÉRISTIQUES OCÉANOGRAPHIQUES

### 3.2.1. Marée

Sur la côte basque, la marée est de type semi-diurne de période 12h25'. L'amplitude maximale de la marée est de 4,91 m (RAM 2011) mais peut-être réduite à des amplitudes moyenne de 1,85 m lors des périodes de mortes eaux. Le marnage (différence de hauteur entre une pleine mer et une basse mer) est qualifié de mésotidal (**c'est-à-dire qu'il est compris entre 1 et 6 m**).

La marée astronomique varie peu sur la partie sud du bassin Aquitain. Le port de référence pour le secteur est donc celui de Socoa dont le Tableau 1 donne les informations des niveaux de marée en référence au zéro NGF de l'IGN69.

La valeur Niveau Moyen (NM) correspond ici au niveau moyen de la marée calculé pour une période de données de plusieurs années enregistrée par le marégraphe.

Références Altimétriques Maritimes	PHMA	PMVE	PMME	NM	BMME	BMVE	PBMA
Niveau (m) rapporté au zéro hydrographique (ZH)	4.90	4.30	3.35	2.48	1.55	0.60	-0.01
Altitude (m) rapporté au référentiel IGN69 Réf (*)	2.73	2.13	1.18	0.31	-0.62	-1.57	-2.18

Tableau 1 : Références Altimétriques Maritime (RAM 2011 – SHOM) pour le marégraphe de Socoa (\*) Converties dans le référentiel IGN69 (m/NGF). ZH/Réf = -2.171 m.

Le niveau d'eau lié à la marée peut être également modifié par une surcote de tempête. Les analyses réalisées par le SHOM et le CETMEF en 2008 au niveau du marégraphe du port de référence de Saint-Jean-de-Luz (Socoa) donnent les informations suivantes sur les surcotes, (Tableau 2):

Période de retour	Surcote de tempêtes
1 an	+0,35 m
10 ans	+0,50 m
50 ans	+0,60 m
100 ans	+0,65 m

Tableau 2 : Estimation des surcotes au niveau du marégraphe de Socoa du port de référence de St-Jean-de-Luz (SHOM / CETMEF, 2008)

Ces informations ont été révisées et enrichies d'une analyse statistique des valeurs de surcote de pleine mer selon les méthodes d'exponentielle et les lois GPD (Generalized Pareto Distribution). Les résultats obtenus avec la méthode GPD sont présentés dans le Tableau 3.

Période de retour (années)	5	10	20	50	100	1000
Surcote de Pleine mer (m)	0,47	0,50	0,53	0,55	0,57	0,61
Intervalle de confiance à 70% (cm)	45-48	48-52	51-54	53-58	55-60	57-65

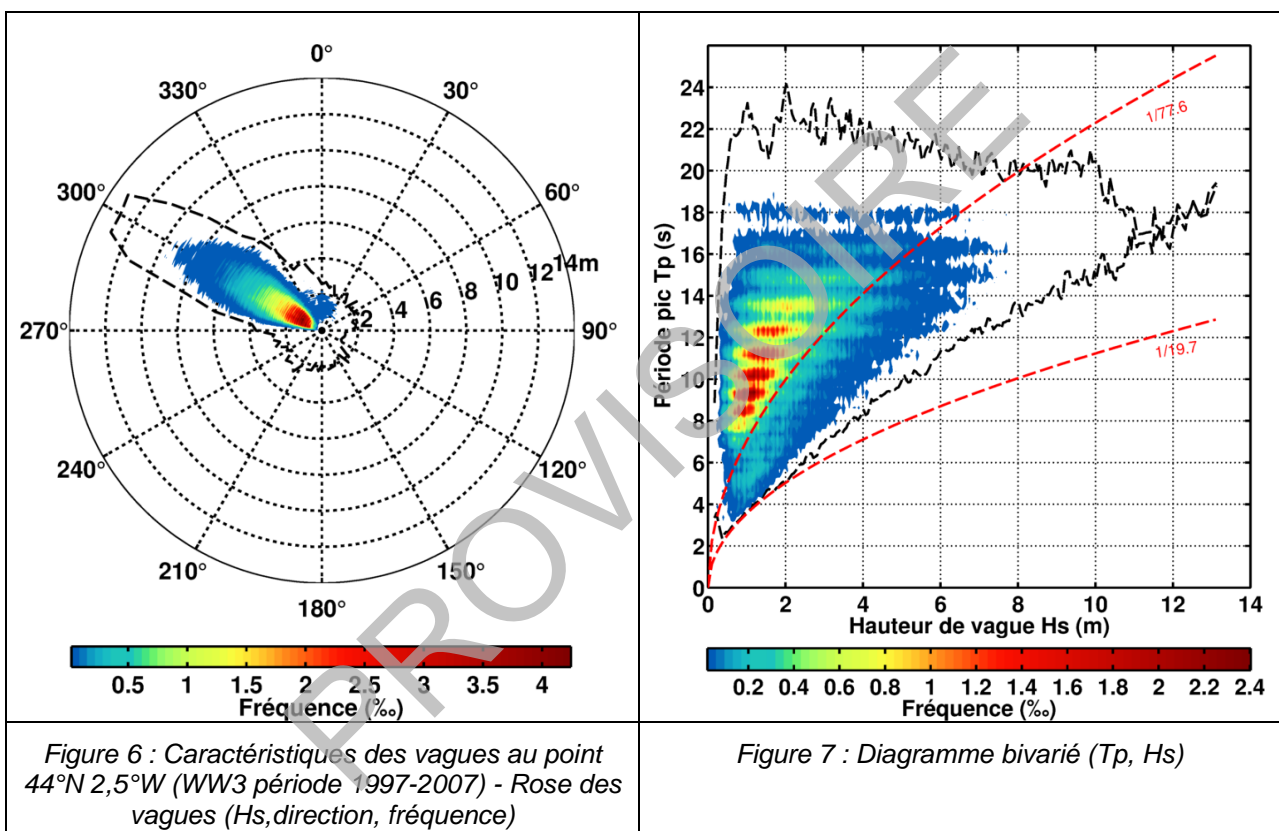
Tableau 3 : Estimation des surcotes de pleine mer au marégraphe de Socoa, port de référence de Saint-Jean-de-Luz (CETMEF, 2013)

Les courants de marée, de l'ordre de  $0,04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en surface sur la côte Basque pour une marée de vive-eau moyenne (Pedreros et al, 2009), sont faibles et n'ont pas d'influence sur les courants générés par le déferlement des vagues sur la côte.

### 3.2.2. Vagues

La côte Basque est exposée aux houles du fait de son encaissement au fond du Golfe de Gascogne et de la faible largeur du plateau continental.

D'un point de vue général, les données du modèle WW3 au large de la côte Basque (point  $44^\circ\text{N}$ ,  $2,5^\circ\text{W}$  sur la période 1997 à 2007) permettent de caractériser les types de houles observables.



Comme mis en évidence par la Figure 6, l'étalement directionnel des houles est restreint. Elles proviennent presque exclusivement du secteur Ouest Nord-Ouest (environ  $300^\circ$ ). Sur cette figure, la valeur de la hauteur significative des vagues (Hs) se lit sur l'axe radial (0-14 m). L'enveloppe des points de la série temporelle est représentée par la ligne noire en **tiretés**. La fréquence d'occurrence des couples hauteur significative et direction pic des vagues, est représentée par l'échelle de couleur (min =  $0,02\%$ ) avec une discrétisation de  $5^\circ$  pour la direction pic et 5 cm pour la hauteur significative.

L'intensité des vagues est estimée en croisant la hauteur significative et la période pic des vagues comme mis en évidence sur la Figure 7. Les lignes rouges en **tiretés** représentent différentes valeurs de cambrure des vagues (relation entre la hauteur et la longueur d'onde des vagues),  $1/19,6$  et  $1/19,7$ . On considère que la mer de vent (houle locale) se développe entre les deux limites. En revanche, les houles longues (origine lointaine) se développent au-delà de



la limite 1/77,6. **Les régimes de vague observables sur la côte basque sont donc principalement d'origine lointaine. Ils peuvent exceptionnellement atteindre des valeurs de Hs supérieures à 12 m et des périodes supérieur à 20 s.**

Plus en détails, l'étude menée par Pedreros et al. (2009) a permis d'établir une connaissance exhaustive des paramètres des vagues (conditions saisonnières, moyennes et extrêmes) sur l'ensemble du littoral Basque. L'analyse détaillée de 7 ans de données (du 01/01/1997 au 30/09/2003) extraites du modèle Wavewatch 3 (NWW3), *Tolman et al.* (2002) pour le point 44°N et 2,5°W (profondeur d'environ 1000m) a permis de caractériser l'exposition de cette côte aux vagues. Cette étude a débouché sur une classification des types de vagues observables (paramètres Hs, Tp, Dp sur la côte Basque selon la méthodologie détaillées dans *Abadie et al.* (2005).

Le climat de houle est caractérisé par une hauteur significative moyenne de 1,83 m, une période pic de 9,6 s et une direction pic de 301,9°. Les régimes de tempête représentent 7,5% de la période étudiée. Elles sont caractérisées par des houles de hauteur supérieure à 4 m et des périodes pic de l'ordre de 12 s, provenant du secteur Ouest/Nord-Ouest ( $\approx 300^\circ$ ).

Pour ce qui est de l'incidence des houles à la côte, il existe un gradient Nord/Sud liée aux différentes expositions de la côte. Par exemple des houles de tempête, dont les valeurs sont de 5,54 m au large, atteignent la côte avec des valeurs de 4,6 m sur les secteurs les plus exposés (par exemple, en face de la plage d'Erromardie) mais seulement 1,1m sur les secteurs les plus abrités (la baie de Figuié). Grâce à la morphologie générale de la côte et des particularités locales de la bathymétrie, le secteur de Saint-Jean-De-Luz est donc, relativement à d'autres parties de la côte Basque, mieux protégé des fortes houles. .

### **3.3. CARACTÉRISTIQUES MÉTÉOROLOGIQUES**

#### **3.3.1. Climat général**

La position géographique du Pays Basque lui confère un climat de type tempéré océanique influencé par la présence des Pyrénées. En effet, sa position méridionale dans le Golfe de Gascogne le met à l'abri des perturbations océaniques les plus puissantes, et la proximité des montagnes pyrénéennes lui assure un climat doux et humide tout au long de l'année. Les températures moyennes sont élevées.

Dans l'ensemble, les saisons sur le littoral basque sont assez bien marquées (Figure 8) : les contrastes de températures de plus de 10°C marquent bien l'hiver et l'été. Au printemps et en été, les vents d'ouest à nord-ouest sont dominants; l'effet de foehn en amont des reliefs pyrénéens a alors pour conséquence de générer de fortes précipitations sur le Pays Basque français. En revanche, les vents venant du sud apportent par effet de foehn, un air chaud et relativement sec en automne et hiver. Les totaux pluviométriques moyens sont toutefois importants, de l'ordre de 1400 mm au cours d'une année.

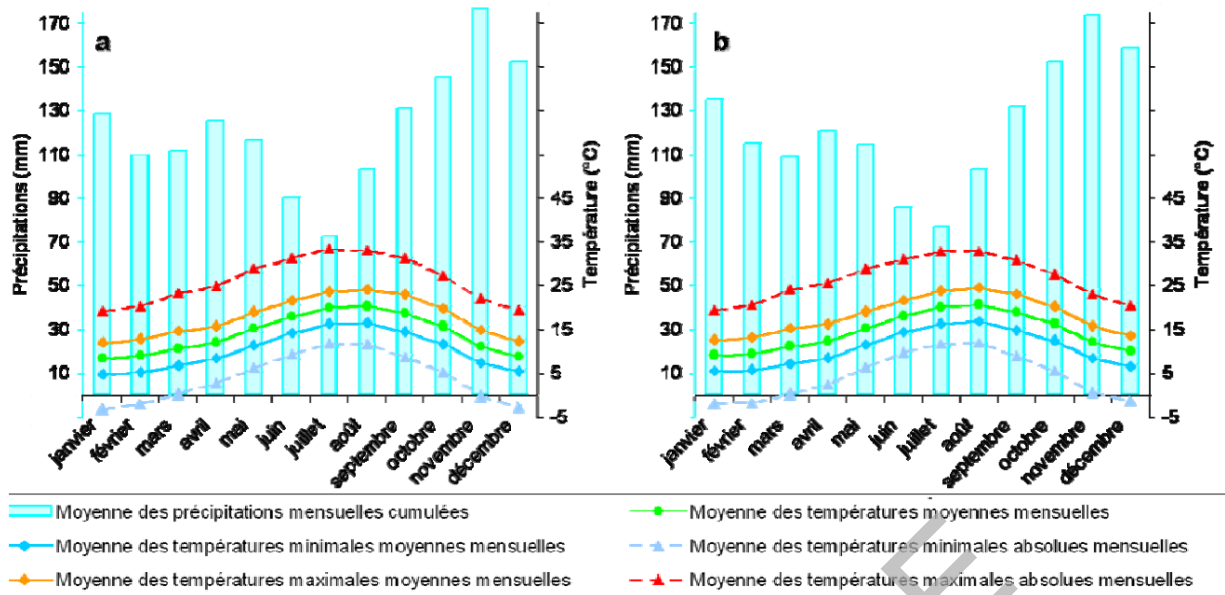


Figure 8 : Diagrammes ombrothermiques (a : Biarritz – b : Socoa)

Valeurs calculées à partir des données météorologiques moyennes des stations de Biarritz (code station : 64024001, période couverte : 1956-2008) et de Socoa (code station : 64189001, période couverte : 1921-2008, MétéoFrance, 2008).

### 3.3.2. Les Vents

L'analyse statistique des vents à la station Météo France de Biarritz sur une période de 15 ans (de janvier 1991 à février 2006) a permis de mettre en évidence les tendances suivantes :

- Vitesse annuelle moyenne de 3,7 m/s ;
- Automne/Hiver : fortes occurrences des vents forts d'Ouest et des vents faibles Sud à Sud-Est (< 3 m/s) ;
- Printemps/été : vents dominés par les brises marines d'Ouest à Nord-Ouest présentant des vitesses faibles (< 3 m/s).

## 3.4. CARACTÉRISTIQUES D'HYDROLOGIE CONTINENTALE

Les dynamiques d'estuaires sont des éléments importants de la caractérisation de l'aléa de submersion marine pour le secteur de Saint-Jean-de-Luz. Les caractéristiques des cours d'eau qui y trouvent leurs exutoires la Nivelle, l'Untxin et l'Ixaka ont été étudiées.

### 3.4.1. Hydrologie de La Nivelle

Dans sa partie amont la Nivelle est caractérisée par une forte pente (3,8 %) qui engendre un régime torrentiel. Dans sa partie aval, le lit de la Nivelle est encadré de dépôts fluviaux récents, elle est moins encaissée et la pente de son lit est moins accentuée (0,11 %).

La superficie totale du bassin versant de la Nivelle est de 236 km<sup>2</sup>. Ces débits sont mesurés depuis 1969 à la station limnimétrique de Cherchebruit gérée par la DREAL Aquitaine et le

Service de Prévion des Crues (SPC) du Bassin de l'Adour. Pour le calcul des débits des crues, le PPRI de 2011 (SOGREAH, 2011), s'est appuyé sur les mesures des crues relevées en 1983 et 2007 pour estimer un débit centennal de  $950 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  au niveau de la station de Cherchebruit (Tableau 4).

fréquence	QJ (m3/s)
<b>Q crue 1983</b>	740
<b>Q crue 2007</b>	630
<b>Q10</b>	[315 – 460]
<b>Q100</b>	[750 – 950]

Tableau 4 : Périodes de retour des débits de crue à la « Nivelles Amont (Cherchebruit) » utilisés dans le PPRI Nivelles

### 3.4.2. Hydrologie de L'Untxin

L'Untxin est un cours d'eau bien plus court et dont les débits sont inférieurs à la Nivelles. La superficie totale de son bassin versant est de  $33 \text{ Km}^2$ .

D'après le rapport Sauveterre (1986), concernant l'aménagement de la Z.A.C. de l'Untxin, les périodes de retour des débits de crue de l'Untxin associés sont répertoriés dans le Tableau 5.

fréquence	QJ (m3/s)
<b>Q10</b>	80
<b>Q50</b>	135
<b>Q &gt;100</b>	200

Tableau 5 : Périodes de retour pour les débits de crue de l'Untxin issues de Sauveterre (1986)

### 3.4.3. Hydrologie de L'lxaka

Aucune donnée hydrologique sur l'lxaka du même type de celles sur la Nivelles et l'Untxin n'est disponible. Quelques éléments historiques montrent que l'lxaka est sorti de son lit (1959) mais ces événements se sont déroulés avant les importants travaux réalisés sur la fixation de son exutoire et sur les buses posées au niveau des différents passages de route. Faute de donnée les débits de l'lxaka ne sont donc pas pris en compte dans cette étude.

## 4. Étude historique

### 4.1. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE HISTORIQUE

La connaissance des événements historiques est particulièrement importante dans l'élaboration des PPRL. Elle constitue une nouveauté recommandée dans la circulaire du 27 juillet 2010 par rapport au guide méthodologique de 1997 (Garry et *al.*, 1997) et a pour objectifs :

- la définition de l'évènement naturel de référence pour caractériser l'aléa de référence. « Pour la caractérisation de l'aléa submersion marine, l'évènement naturel de référence sur un secteur homogène est un évènement centennal ou un évènement historique si celui-ci est supérieur » (Rapport MEDDTL, v.11, novembre 2011) ;
- d'améliorer la connaissance des processus locaux afin de : 1/ affiner et éventuellement valider le paramétrage des modèles numériques, 2/ ajuster la cartographie finale par une analyse à dire d'expert.

L'approche historique est détaillée dans le rapport technique de CASAGEC INGENIERIE (Dugor et *al.*, 2013) :

- d'une part, elle retrace, au travers de l'analyse de cartes historiques, de photos et de plans de géomètres les grandes évolutions morphologiques de la baie d'Hendaye depuis le XVII<sup>ème</sup> siècle ainsi que l'urbanisation et les aménagements. Le site de Saint-Jean-de-Luz est occupé depuis le paléolithique. Les populations d'abord installées sur les hauteurs d'Acotz et de Bordagain ont progressivement occupé la baie et l'exutoire de la Nivelle. Ce site marécageux nommé en Basque « Lohizune ou Lohitzun » (lieu boueux) a progressivement été aménagé. Les premiers témoignages écrits datent du 12<sup>ème</sup> siècle ;
- d'autre part, à partir d'archives, de coupures de presse, de témoignages ou encore de documents photographiques, l'inventaire des dégâts et tempêtes enregistrées depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle est également réalisé.

Dans ce rapport de synthèse, seuls les événements les plus marquants en termes d'intensité (inondations majeures, conditions les plus défavorables) et en termes de qualité d'information recueillie (nécessaire pour la détermination de l'évènement de référence ou le calage des modélisations numériques) sont présentés (voir Dugor et *al.*, 2013 pour des compléments d'information).

### 4.2. RECENSEMENT DES ÉVÈNEMENTS HISTORIQUES DE TEMPÊTE

La chronologie des tempêtes ayant affecté la zone d'étude s'appuie sur les données et les différentes informations collectées dans les archives, coupures de presse, témoignages, documents photographiques.

Les archives les plus anciennes remontent à 1657 mais la plupart du temps, les éléments ne sont pas suffisamment précis pour caractériser les submersions marines.

Une vingtaine de tempêtes ont été recensées depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle, mais les 6 plus marquantes sont les suivantes :

- **28-29 décembre 1951** avec un niveau de la mer de 2,88 m/NGF mesuré au marégraphe de Socoa. Les ouvrages du front de mer sont dégradés avec plusieurs brèches (surcote de 0,95 m, Figure 9 et Figure 10),
- **décembre 1958** avec création d'une brèche dans le seuil de garantie au même endroit que l'une des brèches de 1951 (Figure 11),
- **crue du 28 septembre 1959**, malgré des faibles coefficients (entre 24 et 46), il s'agit de la crue la plus importante connue : 4,59 m/NGF au niveau de l'école de Socoa provoqué, aux dires des riverains, par l'obstruction du passage des eaux sous le pont de la D912 par une coque de bateau,
- **17-21 janvier 1965** avec un niveau de la mer de 2,70 m/NGF mesuré au marégraphe de Socoa et création d'une brèche dans le mur de protection de la plage de Ciboure,
- **30 et 31 janvier 1990** avec un niveau de la mer de 2,48 m/NGF mesuré au marégraphe de Socoa et un désensablement progressif et important de la plage (Figure 12 et Figure 13),
- **25-29 décembre 1999**, la tempête Martin génère un niveau d'eau mesuré au marégraphe de Socoa de 2,53 m/NGF et des dégâts au niveau de la digue de Socoa (Figure 14).

Les événements ayant affecté le littoral de la baie de Saint-Jean-de-Luz ont été nombreux avec des conséquences diverses telles que l'érosion des plages, des brèches et des dégradations des ouvrages (seuil de garantie, digues) occasionnés par l'action mécanique des vagues, des franchissements de paquets de mer.

PROVISOIRES

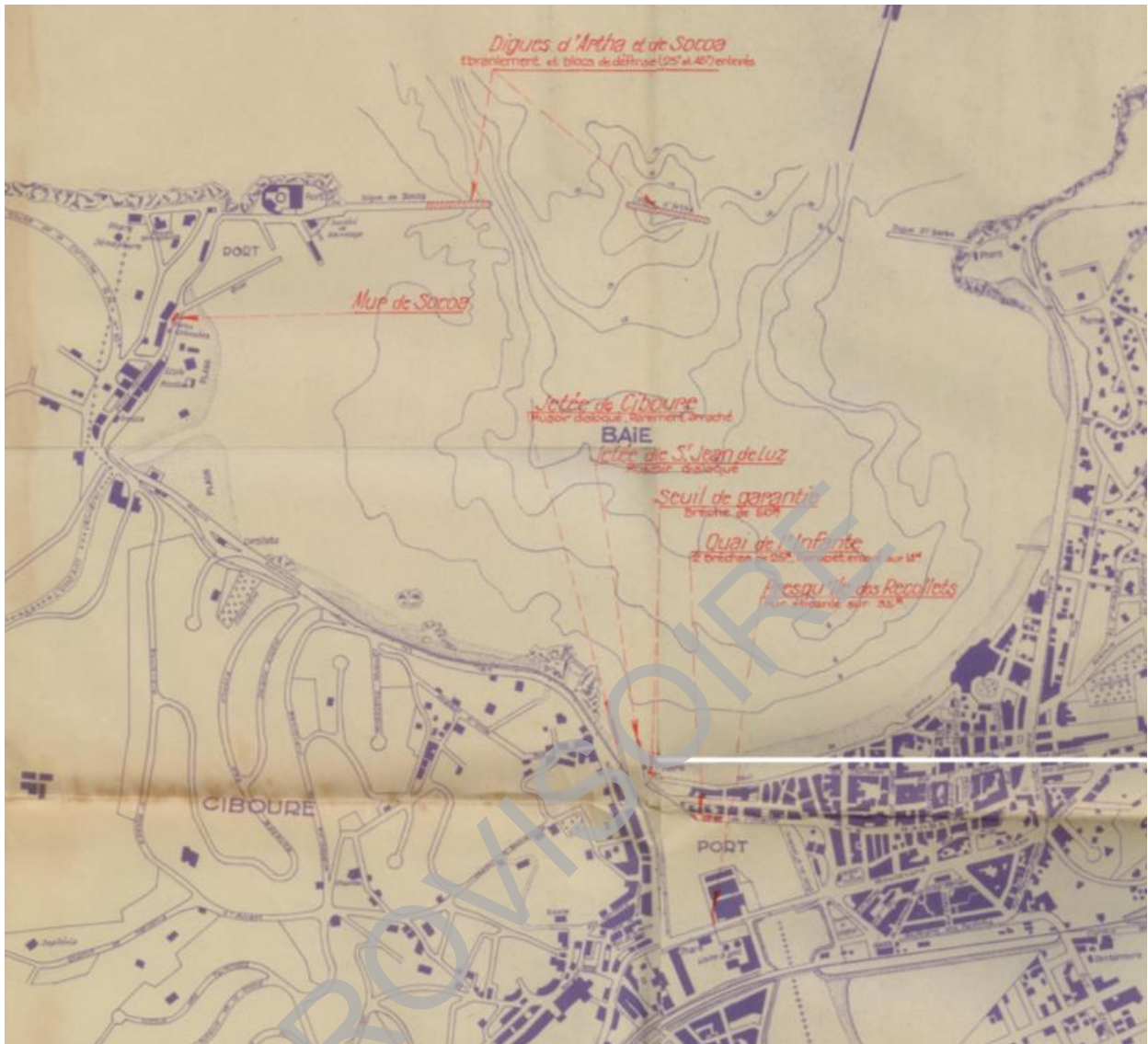


Figure 9 : Dégâts sur les ouvrages maritimes provoqués par la tempête de Décembre 1951 dans la baie de Saint-Jean-De-Luz



Figure 10 : Submersion du quai de l'Infante par voie de brèche (à gauche) et vague franchissant le perré côté Ciboure lors de la tempête de décembre 1951



Figure 11 : Photographies des dégâts de la tempête de 1958



Figure 12 : Désensablement de la plage de Saint-Jean-De-Luz fin de Janvier 1990



Figure 13 : Dégâts sur la façade de la Pergola à la suite de l'évènement du 30 janvier 1990



Figure 14 : Dégâts causés par la tempête de Décembre 1999

De l'étude historique ressort principalement que depuis de nombreux siècles, les riverains de la baie de Saint-Jean-de-Luz agissent activement pour la défense contre les tempêtes. De nombreux ouvrages de protection ont été construits et détruits successivement. De nos jours, les ouvrages semblent être suffisamment solides pour résister aux différents assauts de la mer puisqu'il n'y a pas eu de dégâts majeurs depuis 1958 (Dugor et al., 2013). Cependant, l'entretien de tous les ouvrages de protection semble nécessaire pour garantir un certain niveau de sécurité (pose de blocs sur les talus de digue en mer, entretien des différentes maçonneries, rechargement artificiel des plages chaque année...).

Les évènements et leurs conséquences sont recensés dans le tableau en Annexe 3 (CASAGEC INGENIERIE, Dugor et al., 2013). Les tronçons d'ouvrage ayant fait l'objet de dégradation sont identifiés dans la colonne « Id-phénomène » de cette annexe et localisés sur la Figure 15.

Ce recensement des principaux événements de tempête ayant affecté le secteur de Saint-Jean-de-Luz a permis de dresser une cartographie de synthèse de l'étendue des inondations et des destructions possibles. Les Figure 15 et Figure 16 présentent deux cartes résumant les dégâts causés par les tempêtes recensées sur les sites de la baie de Saint-Jean-de-Luz et d'Erromardie respectivement.



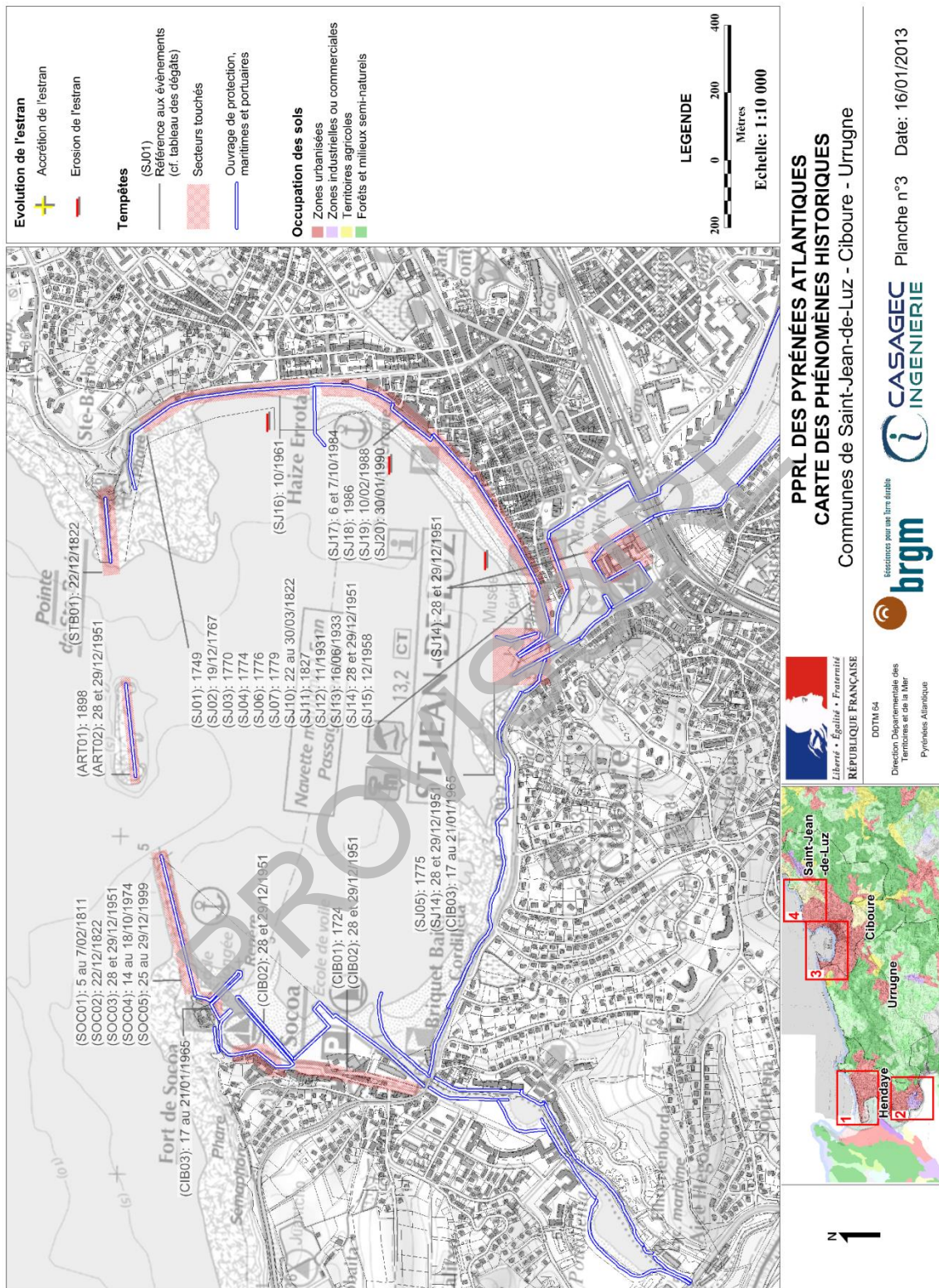


Figure 15 : Carte de synthèse des secteurs touchés par des inondations au regard de l'étude historique : site de la baie de St-Jean-de-Luz (CASAGEC INGENIERIE, Dugor et al., 2013)

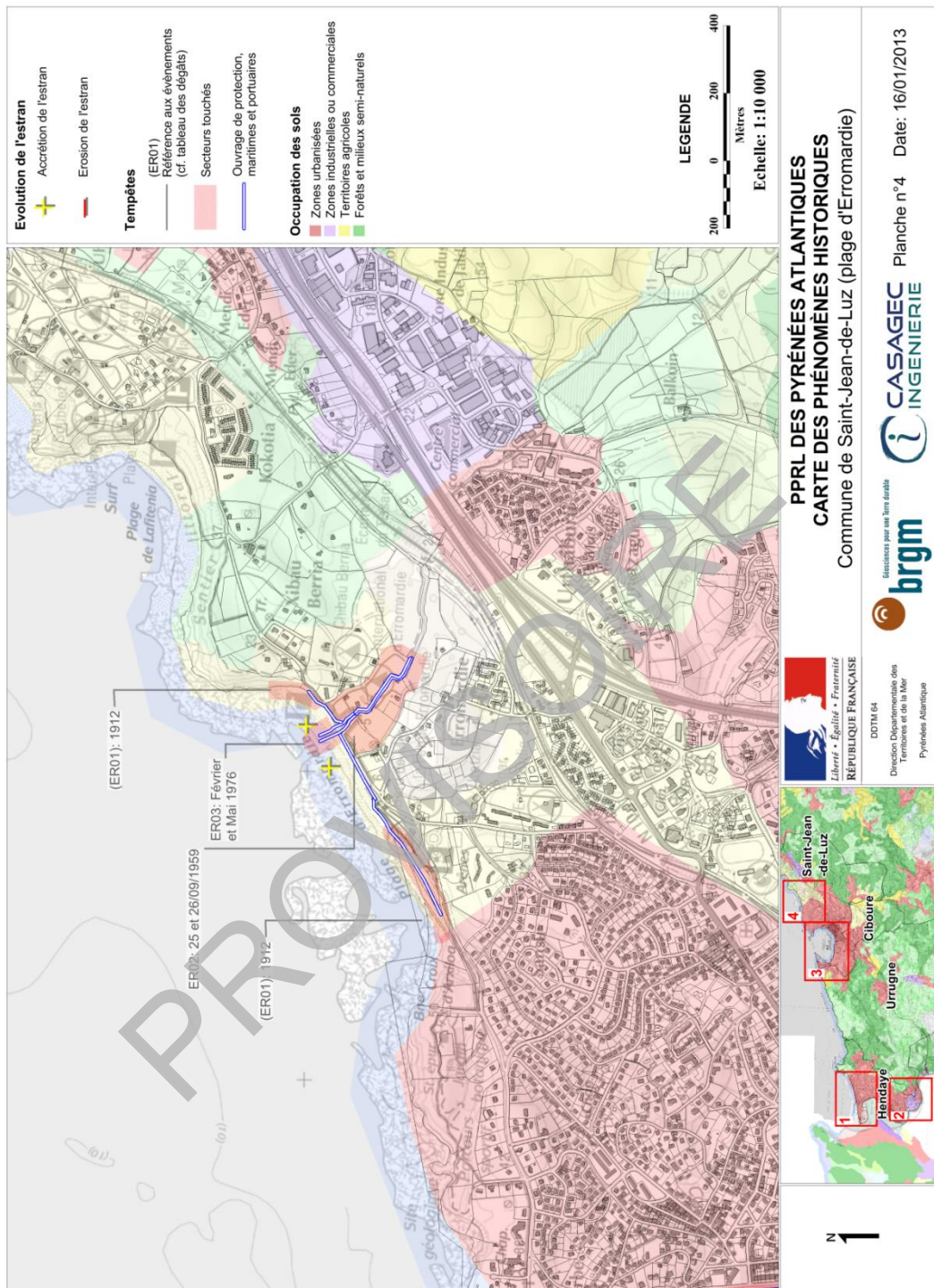


Figure 16 : Carte de synthèse des secteurs touchés par des inondations au regard de l'étude historique : site d'Erromardie (CASAGEC INGENIERIE, Dugor et al., 2013)

### 4.3. CONDITIONS LES PLUS DÉFAVORABLES OBSERVÉES

L'approche historique a également permis d'améliorer la connaissance des processus locaux à l'échelle du secteur d'étude.

Les évènements les plus marquants qui présentaient des enregistrements des conditions océano-climatiques sont les tempêtes de décembre 1951 et 1965 et les crues de 1959, 1983 et 2007.

Il en est conclu que les données océano-climatiques des évènements historiques ne sont pas suffisamment précises pour caractériser un évènement historique. Les niveaux d'eau au marégraphe n'ont jamais été supérieurs à 2,88 m/NGF. Les principaux dégâts ont donc été causés majoritairement par l'action des vagues. Cependant, il n'existe pas de donnée précise pour ces évènements historiques car les mesures de houle permanentes ne sont que très récentes. **L'évènement de référence en ce qui concerne les niveaux d'eau et les vagues sera donc déterminé par le calcul de l'évènement centennal à la côte.**

Pour ce qui est des évènements de crues, trois évènements sont bien documentés dans l'étude PPRI Nivelle, Artelia (2011). Les données de débits ont pu être calculées et des périodes de retour ont pu être indiquées pour chacune de ces crues. Cependant, pour l'étude PPRI de la Nivelle, l'évènement de référence choisi est supérieur à ces évènements de crue recensés. **Ce sont donc les évènements traités au sein de PPRI qui servent de référence en termes d'évènements historiques.**

Les dégâts occasionnés par les évènements historiques de tempête sont multiples et parfois très importants lors des évènements les plus marquants. Cependant, par manque d'enregistrement et de données, les conditions marines (marée, surcote, houles) de ces évènements ne peuvent pas être caractérisées et reconstituées précisément. **C'est pourquoi, les caractéristiques d'un évènement centennal seront déterminées dans les chapitres suivants.**

## 5. Données topographiques et bathymétriques

Plusieurs bases de données topographiques et bathymétriques ont été utilisées dans cette étude afin de constituer des modèles numériques de terrain. Ces outils sont nécessaires à la réalisation des modélisations permettant d'évaluer l'aléa de submersion marine. Le descriptif des bases de données utilisées provient du rapport CASAGEC INGENIERIE (Dugor *et al.*, 2013). La question des modalités de la prise en compte des ouvrages de protection dépend essentiellement du degré de précision de la donnée de base (résolution spatiale) et des types d'ouvrages. On présente donc dans un premier temps les caractéristiques des données topo-bathymétriques avant de réaliser un recensement des ouvrages de protection côtière dans la partie suivante.

### 5.1. TOPOGRAPHIE

#### 5.1.1. Données IGN BD Alti®

Le jeu de données BD Alti fourni par l'IGN est un bon moyen de localiser les zones basses à étudier car il est disponible sur toute la zone terrestre. Cependant, il n'est pas suffisamment précis pour réaliser les MNT utilisables pour la cartographie de l'aléa submersion (recommandations du guide PPRL).

#### 5.1.2. Levés topographiques

Plusieurs sources de levés topographiques ont été utilisées et sont illustrées (Figure 17) :

- points altimétriques disponibles et représentés sur le cadastre ;
- points altimétriques levés lors de la réalisation du PPRI Nouvelle de 2011 ;
- points altimétriques levés en complément des points précédemment cités par le cabinet de géomètre expert Pinatel et Bigourdan mandaté par le BRGM (centre-ville de Saint-Jean-de-Luz et secteur d'Erromardie en particulier) ;
- points altimétriques levés en complément par CASAGEC INGENIERIE, principalement au niveau des ouvrages, des digues ou des quais (vérification des cotes) à partir d'un GPS RTK.

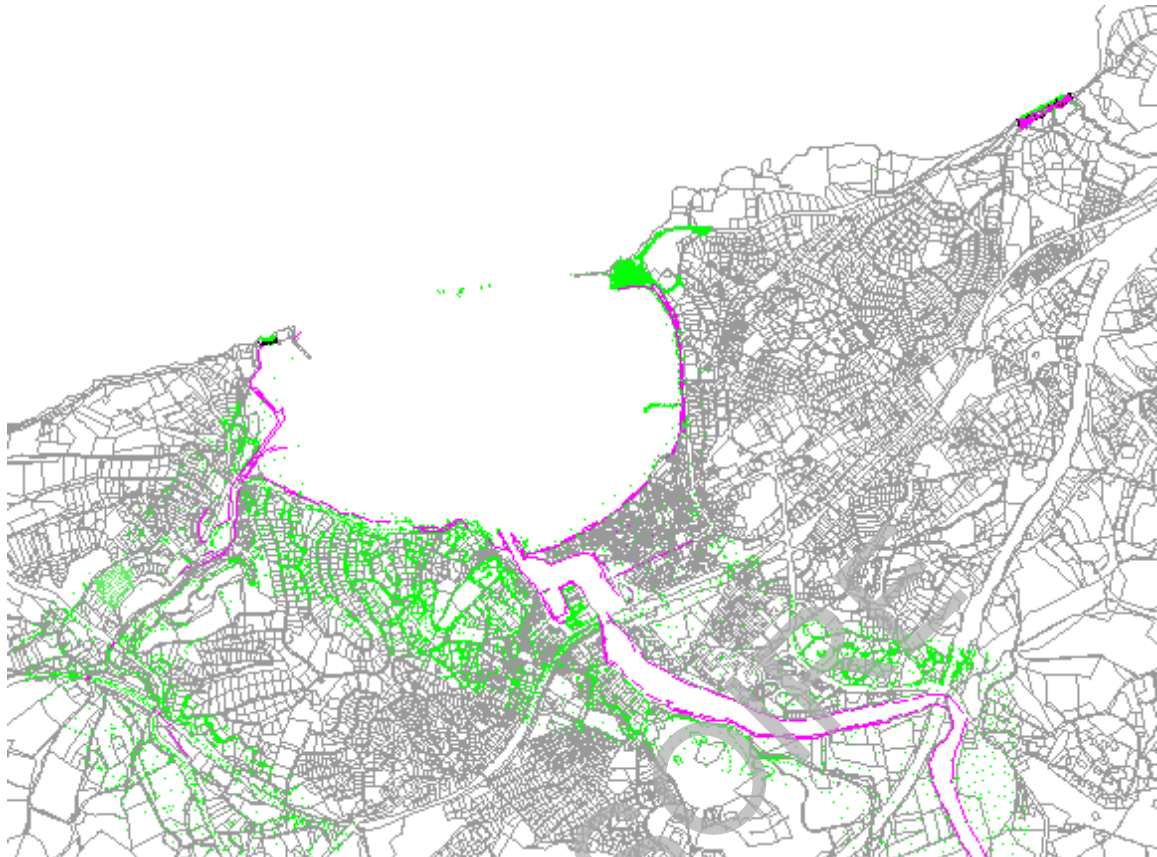


Figure 17 : Visualisation des zones couvertes par les levés

## 5.2. BATHYMÉTRIE

### 5.2.1. Bathymétrie multifaisceaux

Les données bathymétriques multifaisceaux sont nombreuses sur le secteur de Saint-Jean-De-Luz (Figure 18). Un levé a été réalisé par AZTI TECNALIA dans le cadre du projet LOREA en 2009 et un levé a été mis en œuvre sur la frange côtière par CASAGEC INGENIERIE en 2011. Un levé scanner laser des digues Artha et Socoa vient compléter de façon précise l'entrée de la baie

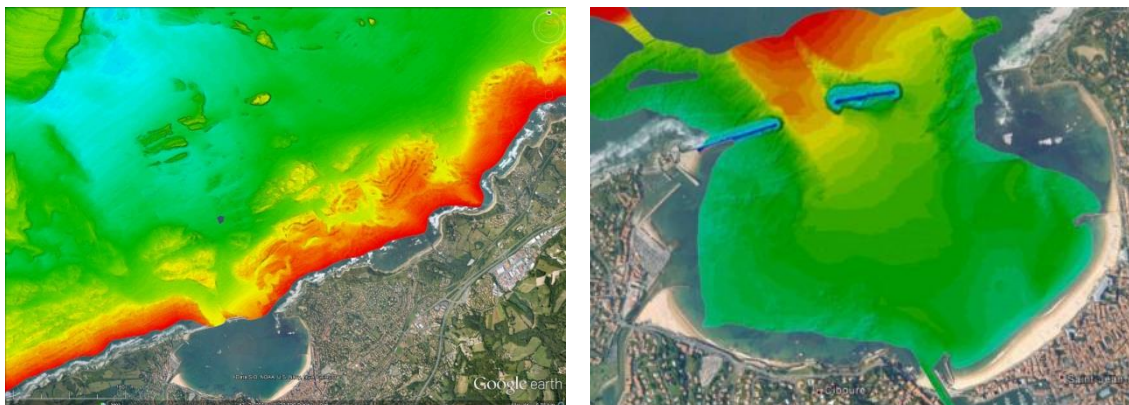


Figure 18 : Levés bathymétriques multifaisceaux sur le secteur de Saint-Jean-De-Luz et scanner laser des digues Socoa et Artha

### 5.2.2. Données bathymétriques mono faisceau

Des données bathymétriques mono faisceau de CASAGEC INGENIERIE (Figure 19) complètent certaines zones manquantes sur les estrans, les rivières de l'Untxin et de la Nivelle et le port de Saint-Jean-De-Luz / Ciboure.



Figure 19 : Données bathymétriques mono faisceau sur le secteur de Saint-Jean-De-Luz

### 5.3. MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN (MNT)

Le MNT final est représenté Figure 20. L'image représente les zones basses, du jaune (10 m NGF) au vert foncé (0m NGF). Les zones basses sont principalement situées autour de l'Untxin, de la Nivelle et de la plage d'Erromardie.

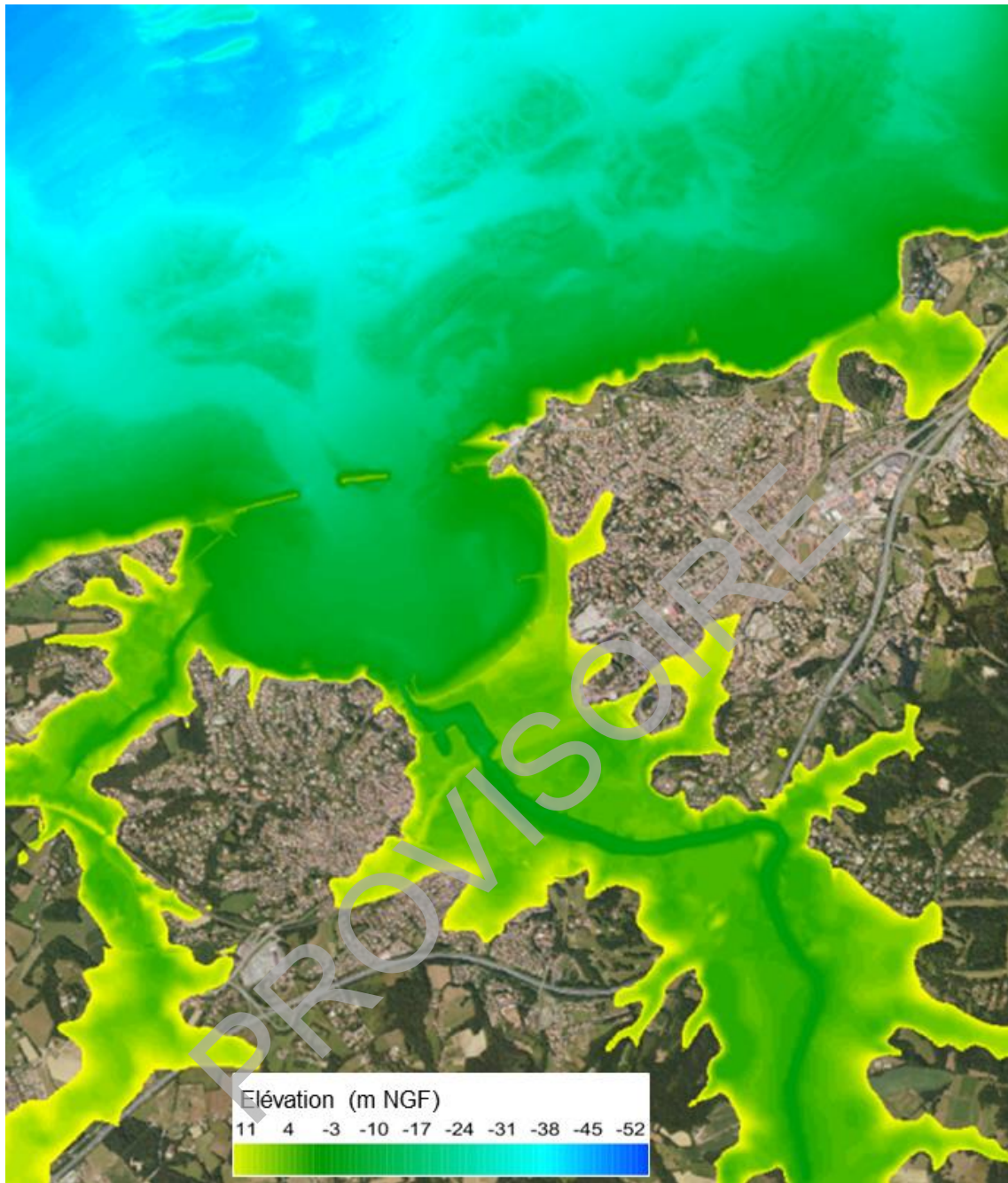


Figure 20 : MNT final sur le secteur de Saint-Jean-De-Luz

## 6. Modalités de prise en compte des ouvrages de protection côtière

Pour les scénarios des aléas « actuel » et « 2100 », les modalités de prise en compte des ouvrages de protection contre la submersion marine, c'est-à-dire les hypothèses de défaillance ont été définies en concertation avec la DDTM des Pyrénées Atlantiques, le Conseil Général des Pyrénées Atlantiques ainsi que les services techniques des communes concernées (cf compte rendu de la réunion du 11/12/2012, Annexe 4).

Conformément aux recommandations méthodologiques du MEDDTL (rapport de novembre 2011, version11), ces hypothèses comprennent la formation d'une ou plusieurs brèches. La largeur de ces brèches doit être à minima de 50 à 100 m de largeur par tronçon de l'ouvrage et au droit des espaces urbanisés. En fonction de la longueur des ouvrages, plusieurs brèches peuvent être considérées.

### 6.1. OUVRAGES DE PROTECTION CÔTIÈRE IDENTIFIÉS

#### 6.1.1. Le seuil de garantie

Le seuil de garantie de Saint-Jean-de-Luz constitue une véritable barrière de protection face à la mer. Sa construction s'est étalée sur une longue période durant le 19<sup>ème</sup> siècle et il a subi des destructions partielles à de nombreuses reprises, ce qui explique sa composition par différents types d'architecture (Dugor *et al.*, 2013).

Cet ouvrage a fait l'objet d'une étude de danger réalisée par les bureaux d'études ISL et CASAGEC INGENIERIE en Septembre 2011 à la demande de la commune de Saint-Jean-de-Luz. Cette étude a notamment déterminé un découpage de l'ouvrage en 4 profils correspondant à 4 types d'architecture différents (Figure 21).

Cette étude de danger qui fournit des informations sur les risques, les enjeux et l'état général des digues a permis de définir des scénarios de défaillance (brèches) pour l'élaboration des PPRL. Ces scénarios de brèches ont été discutés et validés en concertation avec les services techniques des communes, la DDTM des Pyrénées Atlantiques et le Conseil Général des Pyrénées Atlantiques (Figure 24 et cf. CR de réunion du 11/12/2012, Annexe 4).





Figure 21 : Découpage des profils type du seuil de garantie de Saint-Jean-De-Luz selon l'étude de danger 2011.

### 6.1.2. Dignes de Socoa, Artha et Sainte-Barbe

Les 3 digues qui ferment partiellement la baie constituent également une protection essentielle pour la ville de Saint-Jean-De-Luz (Figure 22, Figure 24 et Annexe 4). Les digues sont entretenues régulièrement, cependant des zones de fragilité existent dans les maçonneries et sont soumises à de fortes pressions lors des tempêtes.



Figure 22 : Les trois digues de protection de la baie de Saint-Jean-De-Luz

Contrairement aux digues de Socoa et de Sainte-Barbe, la digue de l'Artha présente 3 cavités importantes (musoir ouest, centre et musoir est) affaiblissant la maçonnerie de l'ouvrage (diagnostic réalisé par Romeuf en 2005 et 2008, étude de la société CALIGEE en 2010 pour le Conseil Général des Pyrénées Atlantiques).

Les déplacements de blocs (répertoriés grâce à des ortho-photographies) ainsi que les dégâts constatés témoignent des fortes pressions subies par ces digues lors des tempêtes (Dugor *et al.*, 2013). C'est pourquoi, des hypothèses de défaillance ont été discutées et validées en concertation avec les services techniques des communes, la DDTM des Pyrénées Atlantiques

et le Conseil Général des Pyrénées Atlantiques (Figure 24 et cf. CR de réunion du 11/12/2012, Annexe 4).

### 6.1.3. Le perré d'Erromardie

Le perré d'Erromardie s'étend de l'embouchure de l'ixaka jusqu'au début des enrochements en pied de falaise. Cet ouvrage est ancien et présente de nombreuses zones de fragilité (fissures, affaissement de son socle (Figure 23, Figure 24 et Annexe 4). Les travaux de construction ont débuté au début du 20<sup>ème</sup> siècle pour le passage du train des voies ferrées du midi (VFDM). Ce mur de protection constitue l'unique protection entre l'océan et les habitations qui sont pour la plupart à usage saisonnier. Le terrain naturel où se trouvent ces habitations est parfois plus bas que la route (le chemin d'Erromardie) et que le bas du perré. Du fait de la fragilité de l'ouvrage, le scénario de défaillance à retenir pour ce site consiste à araser entièrement le perré (Figure 24 et cf. CR de réunion du 11/12/2012, Annexe 4).



Figure 23 : Zone sensible sur le perré d'Erromardie

### 6.1.4. Les ouvrages considérés pérennes

Bien que le rapport du MEDDTL (version 11, novembre 2011) recommande d'envisager systématiquement la défaillance des ouvrages, certains ouvrages de protection sont considérés pérennes en raison des faibles conditions d'agitation auxquelles ils sont exposés, de par leurs dimensions et leur rôle (Figure 24 et Annexe 5) :

- Les digues de l'embouchure de L'Untxin ont pour rôle de fixer l'exutoire de la rivière, limiter l'ensablement de son lit et réduire l'érosion de la plage adjacente. Les conditions de houle à cet endroit de la baie sont nettement moins fortes que du côté Est de la baie. De plus les digues de part et autre de la rivière sont composées d'enrochement de bloc d'ophite. Etant donné l'agitation de la zone même en période de tempête, on peut considérer ces digues infaillibles vis-à-vis de la mer.
- Les digues du port de Socoa (intra-baie) ont un rôle historique de limitation de l'agitation pour les navires au port. Elles sont principalement fondées en maçonnerie, de grandes

dimensions et peu exposées à la houle. Même en envisageant la rupture des digues extérieures (Socoa, Artha et Saint-Barbe), leur rupture est donc improbable.

- La digue de Sainte Barbe ferme partiellement la baie de Saint-Jean-De-Luz coté Est et correspond à la plus basse des trois brise-lames (4.1m NGF pour Ste Barbe et 5.9m à 7.3m NGF pour Artha et Socoa). La défaillance de cette digue qui repose sur un socle naturel rocheux peu profond (calcaire – silex à la cote -2 m NGF) provoquerait certes une augmentation de l'agitation sur le secteur de Sainte Barbe, mais la houle serait en grande partie dissipée sur le platier rocheux et les ruines de l'ouvrage.
- La cale aux chevaux a pour rôle de limiter l'érosion de la grande plage de Saint-Jean-de-Luz et de réduire l'agitation en arrière de cet ouvrage. Etant données les faibles conditions d'agitation auxquelles elle est exposée ( $H_s \approx 2$  m pour un cas extrême, Dugor *et al.*, 2012), une rupture est improbable.
- Les digues de l'embouchure de la Nivelle à l'entrée du port de Saint-Jean-de-Luz permettent de fixer cet exutoire et de limiter la pénétration des vagues dans le port. La rupture de ces digues ne changerait pas radicalement la transmission d'énergie des vagues du fait de l'étroite section de l'embouchure. L'érosion engendrée par une défaillance de ces digues peut être évaluée à une petite zone, au maximum jusqu'au seuil de garantie, ce qui ne modifierait pas la section du chenal de façon significative. Cette hypothèse n'a pas été retenue car un scénario de brèche dans l'extrémité Ouest du seuil de garantie (identique à la tempête de 1951) paraît plus critique.
- L'Epi de l'Infante a été créé de façon symétrique à la cale aux chevaux afin de limiter l'érosion de la grande plage et l'ensablement de l'embouchure de la Nivelle. Sa taille et sa formation en enrochements permettent également d'écarter une hypothèse de défaillance d'un tel ouvrage lors d'une tempête.
- Les digues de Larraldénia, Presqu'île des Récollets et le quai de l'Infante se trouvent à l'intérieur du port de Saint-Jean-de-Luz – Ciboure. Une défaillance de ces ouvrages supposerait une agitation particulière du port, des courants extrêmement élevés ou encore un défaut de conception. Tous ces éléments étant considérés improbables, aucun scénario ne prendra en compte une défaillance de ces ouvrages.
- Les Epis de l'embouchure de l'Ixaka ont principalement un rôle de fixation de l'embouchure de l'Ixaka. Une défaillance de ces ouvrages provoquerait probablement un étalement des sables de la plage mais celle-ci ne reculerait pas pour autant de façon significative comparée à l'hypothèse de la rupture du perré.

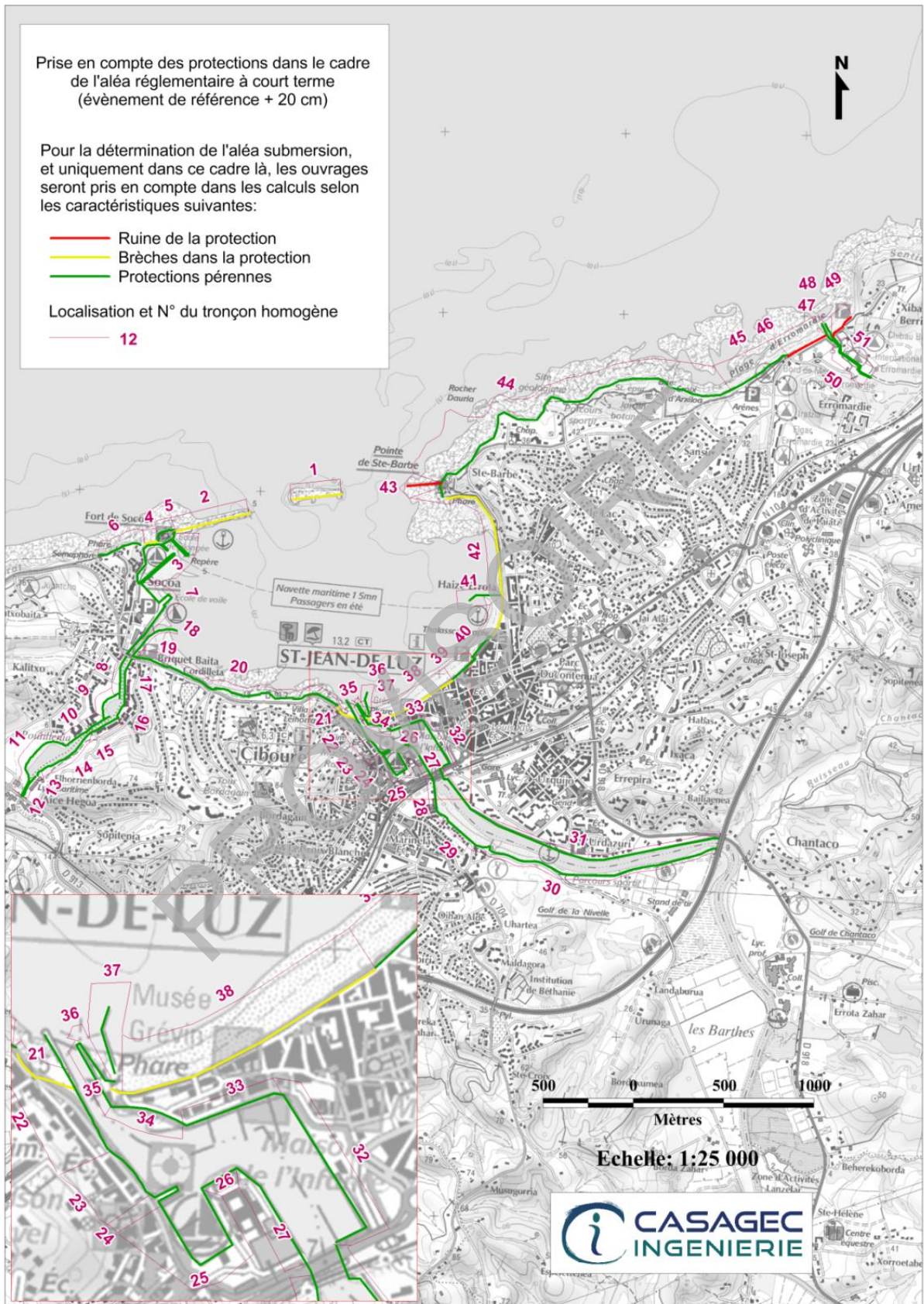


Figure 24 : Segmentation des ouvrages de protection sur le secteur de Saint-Jean-De-Luz

## 6.2. HYPOTHÈSES DE DÉFAILLANCE RETENUES

Les scénarios envisagés conformément aux consignes du MEDDTL (circulaire du 27 juillet 2011, rapport de novembre 2011) sont les suivants (Figure 25) :

- S0 : scénario sans ouvrage de protection et sans bâtiment, c'est-à-dire avec arasement des ouvrages au niveau du terrain naturel ;
- scénarios de défaillance des ouvrages :
  - o S1 : présence des digues en mer et brèches dans le seuil de garantie (par tronçon) ;
  - o S2 : absence de la partie maçonnée de la digue de l'Artha et présence du seuil de garantie ;
  - o S3 : brèches dans plusieurs digues en mer et présence du seuil de garantie ;
  - o S4 : brèches dans plusieurs digues en mer et brèches dans le seuil de garantie.

Pour le secteur d'Erromardie, un seul scénario sans ouvrage sera réalisé, c'est-à-dire avec arasement du perré au niveau du terrain naturel (S0).

Pour rappel, ces scénarios ont été discutés et validés en concertation avec la DDTM des Pyrénées Atlantiques, les services techniques des communes concernées et le Conseil Général des Pyrénées Atlantiques (cf. compte-rendu de la réunion du 11/12/2013, Annexe 4).

**Le scénario le plus défavorable parmi les 5 scénarios sera retenu comme scénario de référence.**

La géométrie des ouvrages est présentée en **Annexe 6** et la géométrie des brèches est présentée en Annexe 7.



S0 : Scénario « aléa naturel »



S0 : Scénario « aléa naturel »



S1 : Présence des digues en mer et brèches dans le seuil de garantie



S2 : Absence de la partie maçonnée de la digue de l'Artha et présence du Seuil de Garantie



S3 : Brèches dans plusieurs digues en mer et présence du Seuil de Garantie



S4 : Brèches dans plusieurs digues en mer et brèches dans le Seuil de Garantie

Figure 25 : Scénarios envisagés pour la modélisation du secteur de Saint-Jean-De-Luz

## 7. Détermination de l'évènement de référence

Conformément aux consignes ministérielles (Circulaire du 27 juillet 2011 et rapport v.11, novembre 2011), l'aléa submersion marine doit être caractérisé pour un évènement centennal ou l'évènement historique s'il est supérieur.

Ce chapitre présente donc les analyses statistiques employées pour déterminer les évènements naturels centennaux au large puis la modélisation numérique mise en œuvre pour propager ces évènements depuis le large vers le rivage et calculer le niveau marin au rivage, et enfin la comparaison des niveaux obtenus au rivage aux niveaux historiques inventoriés dans le chapitre 4.

### 7.1. PRINCIPE DE LA MÉTHODE

Une submersion marine se produisant sous l'effet de plusieurs agents dynamiques partiellement liés (les vagues, le niveau d'eau comprenant la marée et la surcote), l'analyse de la période de retour d'un seul agent au large n'est pas représentative de la période de retour du niveau marin au rivage. Il est nécessaire d'analyser la période de retour de la combinaison de ces agents afin de prendre en compte leur dépendance.

Conformément aux recommandations méthodologiques du MEDDTL (Rapport de novembre 2011, version 11) qui préconisent l'utilisation de méthodes complètes d'analyse des concomitances lorsque les données disponibles le permettent, l'évènement naturel centennal est déterminé à partir d'analyses statistiques dites de « probabilité conjointe » sur des données de vagues et de niveaux d'eau (Bulteau et al., 2012).

Pour cela, le logiciel JOIN-SEA (Hawkes et al., 2002) a été utilisé. Il s'agit d'un code d'analyse en probabilités conjointes développé par HR Wallingford et l'Université de Lancaster.

Les différentes étapes de la méthode détaillées dans le rapport intermédiaire de l'étude PPRL, BRGM/RP-61416-FR (Bulteau et al., 2013), consistent à déterminer la probabilité que les deux variables des conditions de mer  $H_s^7$  et  $SWL^8$  dépassent conjointement des valeurs données. Les valeurs des variables  $H_s$  et  $SWL$  sont déterminées pour les combinaisons correspondant à l'iso-période de retour souhaitée, c'est-à-dire 100 ans pour l'élaboration des PPRL.

A chacune de ces combinaisons, est associée une valeur de période pic des vagues ( $T_p$ ). Une unique valeur de direction pic des vagues,  $D_p$ , est également associée à chaque combinaison.

A l'issue des analyses statistiques, une quinzaine de combinaisons ( $H_s$ ,  $SWL$ ,  $T_p$ ,  $D_p$ ) est sélectionnée de manière à ce qu'elles soient représentatives de l'ensemble des évènements naturels possibles. Cette quinzaine de combinaisons est ensuite propagée par modélisation numérique depuis le large vers le rivage afin de calculer les niveaux marins totaux au rivage, c'est-à-dire qui intègrent, en plus de la marée et de la surcote atmosphérique, l'élévation du plan d'eau sous l'effet du déferlement des vagues (*wave setup*) et des particularités géomorphologiques locales. C'est la combinaison la plus défavorable parmi la quinzaine testée

---

<sup>7</sup>  $H_s$  correspond à la hauteur significative des vagues

<sup>8</sup>  $SWL$  : d'après *Still Water Level*. Il s'agit du niveau d'eau au large comprenant la marée et la surcote atmosphérique.

en termes de niveau au rivage qui sera éventuellement retenue comme évènement naturel de référence s'il est supérieur à l'évènement historique.

## 7.2. DETERMINATION D'ÉVÈNEMENTS CENTENNAUX AU LARGE

### 7.2.1. Données utilisées

Comme précédemment précisé, la méthode complète d'analyses statistiques recommandée par le MEDDTL (rapport de novembre 2011, version 11) a pu être employée grâce aux données disponibles. Afin de pallier l'absence de mesures de terrain en Aquitaine, des simulations rétrospectives<sup>9</sup> de vagues et de niveaux d'eau ont été utilisées. L'utilisation de ce type de données permet de disposer d'informations homogènes, sur un temps long (souvent indisponible en données mesurées) et de s'affranchir d'éventuelles perturbations des données instrumentales liée à des effets de site (pouvant perturber les données *in situ*). Ces conditions sont nécessaires pour le calcul des niveaux de période de retour centennale et le calcul de combinaisons de probabilité de retour conjointes.

Les données utilisées proviennent d'une base de données de conditions de houles BoBWA-H (bobwa.brgm.fr/) et d'une base de données de niveau d'eau spécifiquement générée pour cette étude :

- Base de données de vagues : hauteur significative, période pic et direction pic.

La base de données de vagues BoBWA-H (bobwa.brgm.fr/) a été créée dans le cadre d'une thèse (Charles et *al.*, 2012) BRGM et CNRM (Centre National de Recherche Météorologique). Elle offre une résolution de 10 km pour l'ensemble du golfe de Gascogne et la Manche et une résolution plus fine d'1 kilomètre pour tout le littoral Aquitain. La résolution temporelle est horaire.

Les modèles utilisés (WaveWatch III et SWAN) ainsi que les conditions de forçage (vents ERA-40 du CEPMMT) et la période considérée (1958 à 2002) en font la base de données de vagues la plus complète et précise pour cette partie du littoral métropolitain (Lecacheux et Paris, 2012).

- Base de données de niveaux d'eau (SWL) qui intègrent la marée et la surcote atmosphérique

La base de données de niveaux d'eau a été générée spécifiquement pour les études PPRL de la région Aquitaine à partir du modèle MARS-2DH (Lazure et Dumas, 2007) développé par l'IFREMER qui permet de simuler :

- o les variations du plan d'eau provoquées par la marée (base de données des composantes harmoniques CST-France du SHOM) ;
- o les phénomènes de surcote atmosphérique en intégrant les conditions de vents et de pression atmosphérique issues des simulations rétrospectives CFSR (Saha et *al.* 2010).

Cette base de données couvre une période de 30 ans (1979-2009) pour une résolution spatiale de 500 m et une résolution temporelle de 10 min.

---

<sup>9</sup> Les simulations rétrospectives sont des reproductions de situations passées générées par modélisation numérique et validées à partir des mesures de terrain existantes.



## 7.2.2. Étape de la méthode d'analyse statistiques

Les étapes de la méthode d'analyse statistiques sont détaillées dans le rapport intermédiaire de l'étude PPRL : BRGM/RP-61416-FR (Bulteau et *al.*, 2013). Les principales sont les suivantes :

- (i) Préparation du jeu de données : un échantillon avec un grand nombre de données est constitué. Pour le secteur de Saint-Jean-De-Luz, les séries temporelles utilisées sont extraites au large :
  - au point de latitude 43,96°N et de longitude 2,67°W pour les données de vagues ;
  - au point de latitude 43,4°N et de longitude 1,67°W pour les données de niveaux d'eau.

Les séries temporelles extraites sont ré-échantillonnées afin de constituer des triplets de données Hs, SWL et Tp de pleine mer indépendants<sup>10</sup>, ce qui fournit un jeu de données initiales constitué d'environ 706 observations par an.

- (ii) Analyse de la distribution individuelle et définition d'une loi de probabilité pour chacune des variables : hauteur significative et période pic des vagues, niveau d'eau.

Pour cela, un modèle statistique est ajusté à chacune des données à partir de la détermination d'un seuil au-delà duquel la distribution statistique est considérée représentative des événements de forte intensité (Bulteau et *al.*, 2012). Cette étape permet notamment une première estimation sur l'incertitude des données utilisées.

- (iii) Analyse les relations de dépendance entre les variables : hauteur significative et niveau d'eau. Cette étape permet de représenter les contours d'iso-densité de probabilité conjointe, c'est-à-dire tous les couples caractérisés par une période de retour statistique de même valeur. Les relations de dépendance des paramètres associés à la hauteur significative des vagues, à savoir la période pic et la direction pic des vagues, ont également été déterminées.

Par cette analyse, il a été mis en évidence que les vagues les plus hautes ( $H_s > 4$  m) proviennent toutes de la direction Ouest Nord-Ouest ( $D_p = 300^\circ$ , Figure 26). Par conséquent, cette direction pic sera associée à toutes les combinaisons centennales.

- (iv) Simulation par la méthode de Monte Carlo d'un très grand nombre de triplets fictifs ( $H_s$ ,  $SWL$ ,  $T_p$ ) possédant les mêmes caractéristiques statistiques que les données d'origine ;

Afin d'estimer la probabilité conjointe d'événements extrêmes, on doit connaître la distribution des valeurs extrêmes de chaque variable prise en compte. Cependant, le nombre d'enregistrements d'événements extrêmes est généralement insuffisant pour analyser cette distribution et estimer la probabilité. La méthode de Monte Carlo permet d'extrapoler les distributions précédemment ajustées (étape (ii)) pour des valeurs extrêmes (Figure 27). On simule donc un très grand nombre de triplets fictifs ( $H_s$ ,  $SWL$  et  $T_p$ ) sur une période de 10 000 ans sachant que chaque valeur calculée possède les mêmes caractéristiques statistiques que les données d'origine.

---

<sup>10</sup> On considère en effet que sur la côte Aquitaine, les conditions de marnages sont telles que chaque condition de pleine mer peut être raisonnablement considérée comme indépendante des autres.

- (v) Analyse des extrêmes qui permet de déterminer des couples (Hs, SWL) d'iso-période de retour, c'est-à-dire de dépassement conjoint, à partir du grand nombre de données fictives simulées par la méthode de Monte Carlo sur 10 000 ans (Figure 28).

La variable  $T_p$  associée au couple (Hs, SWL) est déterminée par une autre analyse statistique reposant sur la détermination de la courbe des médianes de  $T_p$  en fonction de Hs.

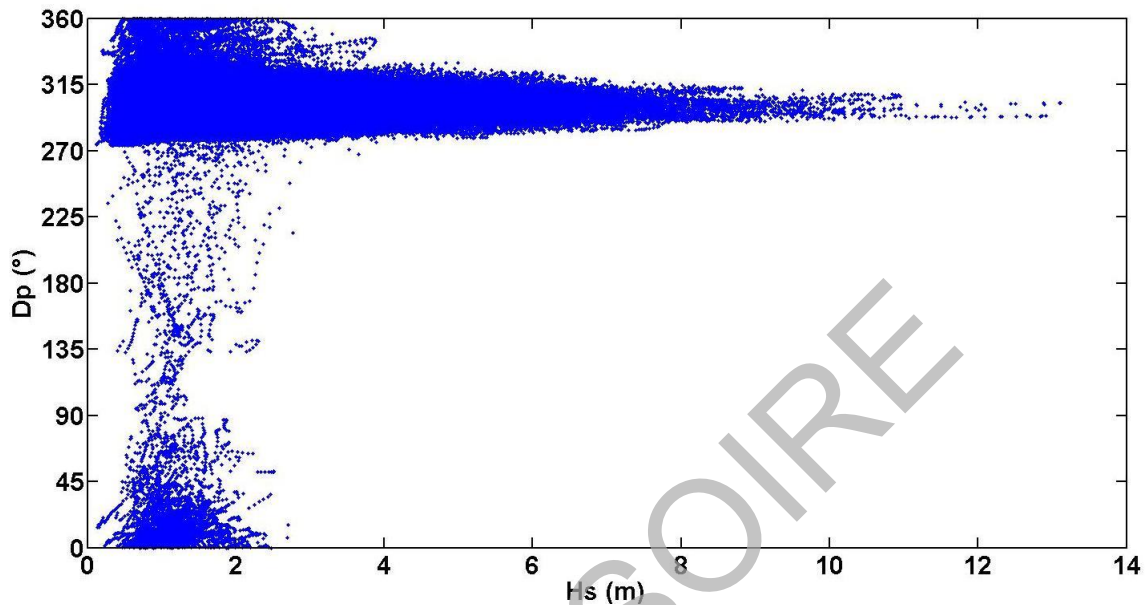


Figure 26 : Graphe bivarié représentant les directions pics des vagues ( $D_p$ ) en fonction des hauteurs significatives ( $H_s$ ) pour les données d'origine

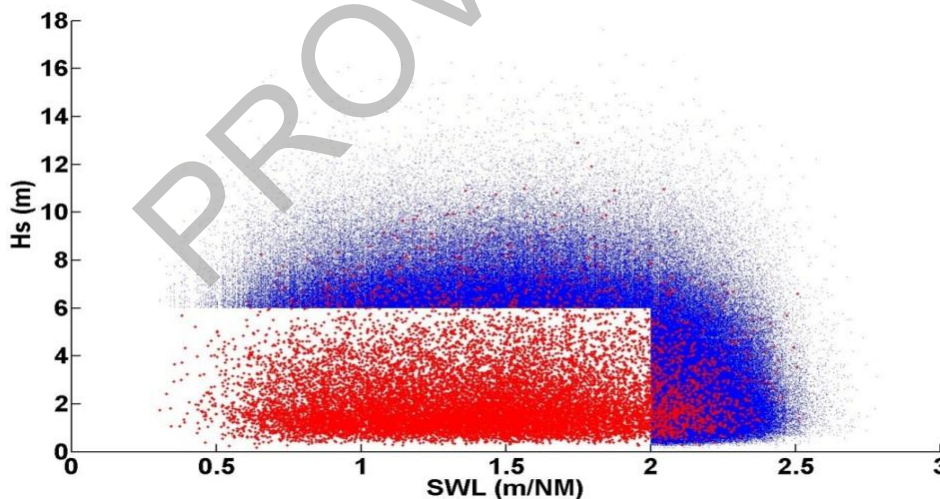


Figure 27 : Couples ( $H_s, SWL$ ) initiaux superposés aux données simulées par JOIN-SEA (10 000 ans)

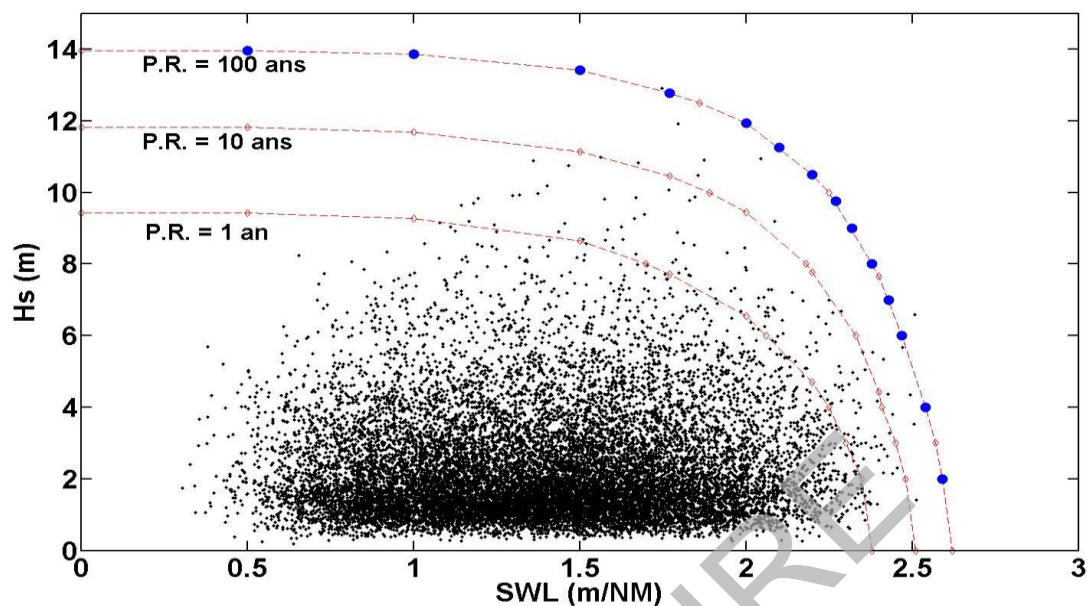


Figure 28 : Courbes d'iso-période de retour de dépassement conjoint pour Hs et SWL pour le secteur de Saint-Jean-de-Luz  
Points noirs : données initiales. Points bleus : les 14 combinaisons sélectionnées

### 7.2.3. Synthèse des résultats

Parmi l'ensemble des combinaisons centennales (Hs, SWL) déterminées, 14 combinaisons ont été sélectionnées (Figure 28). Cette sélection a été effectuée de manière à ce que les couples ou combinaisons de période de retour 100 ans soient représentatifs de l'ensemble des événements naturels susceptibles de générer un niveau marin extrême au rivage sans pour autant que les variables Hs et SWL prises individuellement aient une période de retour centennale.

Chaque combinaison associe :

- un couple Hs et SWL de période de retour de 100 ans (Figure 28) ;
- une valeur de  $T_p$  issue de la courbe médiane pour la valeur de Hs correspondante ;
- la direction pic de  $300^\circ\text{N}$  associée aux 14 combinaisons (régime d'Ouest, Nord-Ouest).

Ces 14 combinaisons centennales ainsi déterminées (Tableau 6), seront propagées depuis le large vers le rivage par modélisation numérique afin de calculer le niveau marin total au rivage intégrant le niveau de marée, la surcote atmosphérique et l'élévation du plan d'eau liée aux vagues (*wave setup*) ainsi que les effets de la géomorphologie locale.

<b>Combinaisons Saint Jean-de-Luz</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
Niveau d'eau (marée + surcote atmosphérique)	SWL (m/NM)	0,50	1,00	1,50	1,77	2,00	2,10	2,20	2,27	2,32	2,38	2,43	2,47	2,54	2,59
Hauteur significative des vagues	Hs (m)	13,96	13,86	13,41	12,77	11,94	11,25	10,50	9,75	9,00	8,00	7,00	6,00	4,00	2,00
Période pic des vagues	Tp (s)	18,5	18,5	18,3	18,1	17,8	17,6	17,3	17,0	16,7	16,2	15,7	15,2	13,9	11,7

Tableau 6 : Combinaisons (Hs, SWL) centennales au large et Tp associées, sélectionnées pour le secteur de St Jean-de-Luz

Dp est fixée à 300°N. SWL est exprimé en m en référence au niveau moyen (NM)<sup>11</sup>

### 7.3. PROPAGATION DES ÉVÉNEMENTS CENTENNAUX DEPUIS LE LARGE VERS LE RIVAGE

Une fois les caractéristiques de vagues et de niveaux d'eau déterminées au large pour des événements centennaux, une modélisation numérique est mise en œuvre pour déterminer ainsi le niveau marin total au rivage. Cette étape est réalisée par le bureau d'étude CASAGEC INGENIERIE.

Cette approche consiste à propager depuis le large (c'est-à-dire depuis le point d'extraction 43,96° N ; 2,67° W, cf. paragraphe 7.2.2) vers le rivage les caractéristiques des vagues et de calculer ainsi l'élévation du plan d'eau liée au déferlement des vagues (*wave setup*) et aux particularités géomorphologiques locales. Cette élévation du plan d'eau est ajoutée au niveau marin SWL pour calculer le niveau marin total au rivage.

D'autre part, la modélisation numérique reproduit l'état de mer des événements centennaux devant les zones d'intérêts, ce qui permet d'évaluer la sollicitation des ouvrages de protection ou les franchissements par paquets de mer.

Dans une étape ultérieure, les niveaux d'eau obtenus modélisation seront également associés aux débits de la Nivelle et de l'Untxin afin de traiter l'aléa de submersion dans la zone estuarienne et dans la baie de Saint-Jean-de-Luz.

#### 7.3.1. Conditions de forçage

Les conditions de forçage du modèle numérique utilisé pour calculer le niveau marin au rivage correspondent aux combinaisons centennales prédéterminées Hs, SWL, Tp et Dp. Les 14 combinaisons précédemment sélectionnées seront propagées afin d'en déterminer la plus défavorable en terme de niveau.

Une quinzième combinaison a été ajoutée : elle correspond à une situation qui combine le niveau d'eau maximal centennal avec une situation sans vague (Tableau 7).

<sup>11</sup> Dans le Tableau 6, le niveau marin SWL est exprimé en m en référence au niveau moyen (NM). Une conversion sera réalisée pour exprimer le niveau marin total au rivage en m en référence au zéro NGF de l'IGN69.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
<b>Hs(m)</b>	13.96	13.86	13.41	12.77	11.94	11.25	10.50	9.75	9	8	7	6	4	2	0
<b>Tp(s)</b>	18.5	18.5	18.3	18.1	17.8	17.6	17.3	17.0	16.7	16.2	15.7	15.2	13.9	11.7	0
<b>SWL (m IGN69)</b>	0.81	1.31	1.81	2.08	2.31	2.41	2.51	2.58	2.63	2.69	2.74	2.78	2.85	2.9	2.93

Tableau 7 : caractéristiques des combinaisons de période de retour 100 ans au large

Dans le Tableau 7, les niveaux marins SWL sont exprimés en m en référence au zéro NGF de l'IGN69 (+0,31 m par rapport au niveau moyen NM).

Conformément aux recommandations méthodologiques du MEDDTL (Rapport de novembre 2011, version 11 et circulaire du 27 juillet 2011) pour la caractérisation de l'aléa de référence, une surcote de 20 cm a été rajoutée au niveau marin SWL pour une première prise en compte de l'élévation du niveau de la mer liée au changement climatique.

Afin de prendre en compte l'élévation du niveau de la mer liée au changement climatique à échéance 100 ans, c'est-à-dire pour l'aléa 2100, une surcote de 60 cm a été rajoutée au niveau marin SWL.

Les incertitudes de la méthode ont été estimées à 15 cm et également rajoutées au niveau marin SWL, conformément aux recommandations méthodologiques qui prévoient l'ajout de 25 cm forfaitaire par défaut si l'estimation de l'incertitude n'est pas possible. Cette estimation a été obtenue à partir de la somme des incertitudes de chaque étape de la méthode :

- 5 cm d'incertitude liée au calcul des triplets (Hs, Tp, SWL) ;
- 5 cm d'incertitude engendrée par le calcul des surcotes ;
- 5 cm d'incertitude liée à la propagation et au calcul de la surcote induite par les vagues (*wave setup*).

### 7.3.2. Description du modèle numérique

Le modèle numérique de référence pour les études en domaines côtiers SWAN (Simulated WAve Nearshore) a été utilisé pour simuler la propagation des états de mer (mers de vent et houles océaniques) dans les domaines offshore et côtier. Il reproduit :

- les effets de réfraction et de shoaling liés aux variations de bathymétrie ;
- la génération de la houle par action du vent ;
- la dissipation de la houle par moutonnement ;
- le déferlement bathymétrique ainsi que par frottement sur le fond.

Pour raffiner les résultats près des côtes et des zones d'intérêts un système d'emboîtement de modèle est réalisé :

1. un modèle global avec une résolution de 250 m est forcé aux limites pour les 15 combinaisons centennales  $H_s$ , SWL,  $T_p$  et  $D_p$ . Les frontières sont suffisamment éloignées des côtes pour que les conditions limites soient imposées sans avoir d'interaction avec les fonds (profondeur supérieure à 1000 m) (Figure 29).
2. un modèle raffiné avec une résolution de 20 m a été mis en place pour le secteur d'étude (Figure 30). Ce modèle local est forcé aux limites par l'information spectrale des vagues issue du modèle global.

Afin d'apprécier la pertinence des configurations de mise en place des modèles et des résultats obtenus, une procédure approfondie de validation des capacités des modèles à reproduire les conditions réelles des niveaux d'eau et de la houle dans la baie de St-Jean-de-Luz a été réalisé. L'ensemble des mesures de terrain (houlographe, ADCP) mise en place pour cette étude et l'analyse des résultats obtenus par modélisation sont détaillés dans le rapport CASAGEC INGENIERIE, Dugor *et al.* (2013).

La procédure de validation a permis de conclure que dans l'ensemble des compartiments nécessaires à la conduite de l'étude PPRL, les niveaux d'eau sont bien représentés (écart de 0,02 à 0,15 m) et les conditions de houle ( $H_s$ ,  $T_p$ ,  $D_p$ ) étaient reproduites de manière satisfaisante par les modèles utilisés.



Figure 29 : Points d'extraction des modèles pour les conditions de référence d'agitation au large et les niveaux d'eau SWL à la côte. Les rectangles rouges représentent l'emprise des modèles de propagation des vagues à la côte

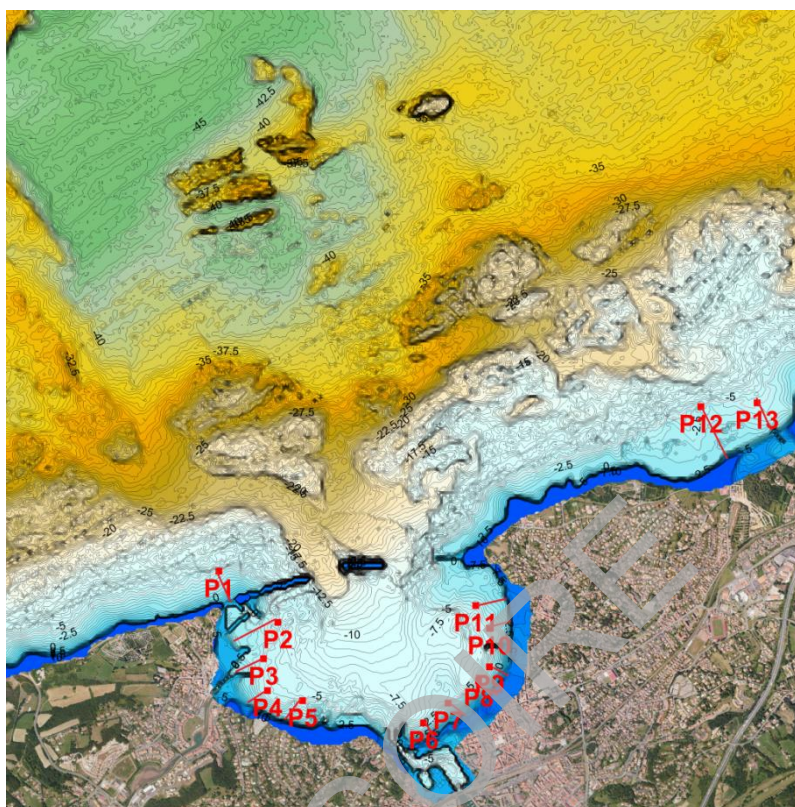


Figure 30 : Modèles numériques de terrain pour la propagation des vagues devant le secteur de Saint-Jean-De-Luz. Les profils rouges (P1 à P12) permettront d'évaluer les conditions d'agitation et de wave setup à différents endroits.

### 7.3.3. Résultats

Les 15 combinaisons centennales  $H_s$ ,  $T_p$ ,  $D_p$  et SWL ont été propagées depuis le large vers le rivage. Les Figure 31 et Figure 32 illustrent les simulations réalisées.

La Figure 30 présente les profils (P1 à P14) au niveau desquels les résultats ont été extraits : élévation du plan d'eau liée au déferlement des vagues et conditions d'agitation. Ces profils ont été positionnés à partir de l'altitude -4 m/NGF.

Les Tableau 8 et Tableau 9 indiquent, pour chacun des profils, la valeur des niveaux marins totaux au rivage<sup>12</sup> calculés pour chaque combinaison centennale et respectivement pour les aléas « actuel » et « 2100 ».

<sup>12</sup> Les niveaux marins totaux au rivage sont des niveaux statiques, c'est à dire qu'ils ne prennent pas en compte les variations instantanées provoquées par le jet de rive.

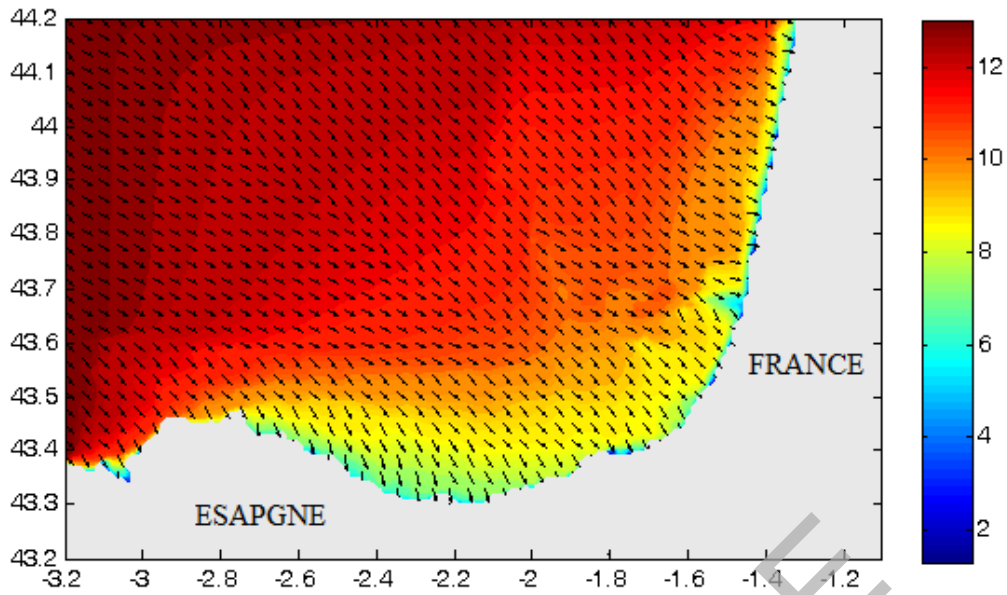


Figure 31 : Exemple de résultats de simulation réalisée avec le modèle SWAN sur le modèle de grande emprise. Hauteur significative des vagues (m)

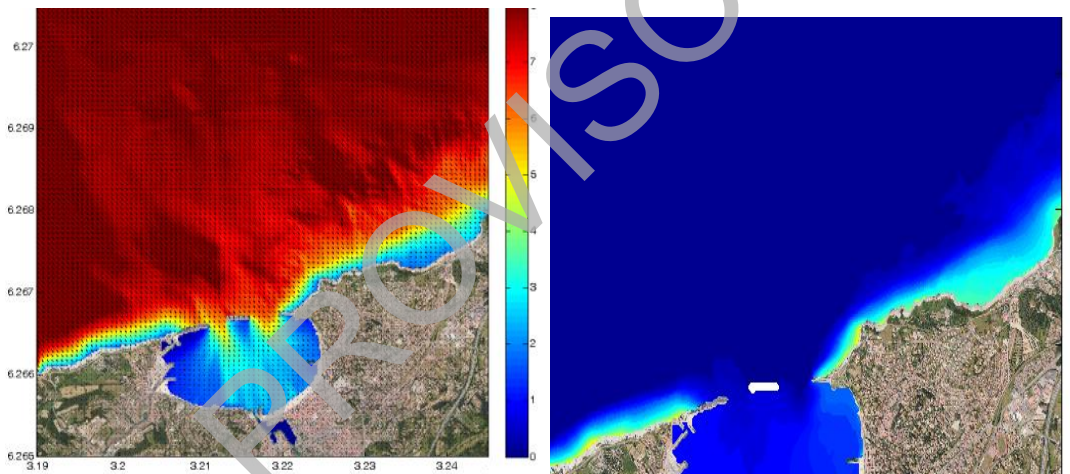


Figure 32 : Exemple de résultats de simulation réalisée avec le modèle SWAN (hauteur significative des vagues (m) et direction moyenne à gauche ; surcote induite par les vagues –wave setup– à droite).



	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
C1	1.72	1.41	1.45	1.41	1.40	1.47	1.56	1.56	1.52	1.48	1.48	1.86	1.74
C2	2.06	1.88	1.92	1.85	1.84	1.94	2.01	2.00	1.98	1.99	2.00	2.24	2.15
C3	2.50	2.37	2.41	2.35	2.33	2.38	2.48	2.46	2.41	2.43	2.44	2.64	2.55
C4	2.73	2.63	2.67	2.61	2.59	2.64	2.71	2.69	2.65	2.66	2.68	2.85	2.76
C5	2.92	2.85	2.88	2.83	2.80	2.85	2.90	2.89	2.86	2.87	2.88	3.03	2.94
C6	3.00	2.94	2.98	2.92	2.90	2.93	3.01	2.97	2.98	2.99	2.97	3.11	3.02
C7	3.04	3.00	3.03	2.98	2.96	2.99	3.06	3.02	3.03	3.04	3.02	3.15	3.07
C8	3.09	3.07	3.09	3.05	3.03	3.05	3.10	3.07	3.09	3.10	3.07	3.19	3.12
C9	3.12	3.11	3.14	3.09	3.07	3.09	3.13	3.10	3.12	3.13	3.11	3.21	3.14
C10	3.12	3.14	3.16	3.12	3.11	3.11	3.15	3.12	3.14	3.15	3.13	3.21	3.15
C11	3.14	3.17	3.19	3.16	3.14	3.15	3.17	3.15	3.17	3.17	3.16	3.22	3.16
C12	3.15	3.21	3.22	3.19	3.18	3.18	3.19	3.18	3.20	3.20	3.19	3.22	3.18
C13	3.18	3.25	3.26	3.24	3.23	3.22	3.22	3.22	3.23	3.23	3.23	3.24	3.23
C14	3.22	3.26	3.26	3.26	3.26	3.25	3.25	3.25	3.26	3.25	3.25	3.24	3.25
C15	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28

Tableau 8 : Niveau d'eau total (m/NGF) statique (SWL+ Surcote 20 cm + wave setup + Incertitude 15 cm)  
 – Aléa actuel – configuration normale

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
C1	1.96	1.78	1.82	1.75	1.74	1.84	2.14	1.90	1.88	1.89	1.90	2.14	2.05
C2	2.41	2.28	2.32	2.25	2.23	2.30	2.53	2.37	2.32	2.35	2.35	2.57	2.48
C3	2.85	2.77	2.81	2.75	2.72	2.78	2.89	2.82	2.78	2.80	2.81	2.97	2.88
C4	3.09	3.03	3.06	3.01	2.98	3.02	3.11	3.06	3.07	3.08	3.06	3.21	3.13
C5	3.28	3.24	3.27	3.22	3.20	3.23	3.29	3.25	3.27	3.28	3.26	3.42	3.39
C6	3.36	3.34	3.37	3.32	3.29	3.31	3.37	3.33	3.36	3.37	3.35	3.49	3.49
C7	3.41	3.40	3.42	3.38	3.36	3.37	3.42	3.39	3.41	3.42	3.40	3.53	3.52
C8	3.46	3.46	3.49	3.44	3.42	3.43	3.47	3.44	3.47	3.48	3.46	3.57	3.59
C9	3.49	3.51	3.53	3.49	3.47	3.47	3.50	3.48	3.50	3.51	3.49	3.59	3.61
C10	3.50	3.53	3.55	3.52	3.50	3.50	3.52	3.50	3.52	3.53	3.52	3.60	3.59
C11	3.51	3.57	3.58	3.55	3.54	3.53	3.55	3.54	3.55	3.56	3.55	3.61	3.60
C12	3.53	3.60	3.61	3.59	3.58	3.57	3.57	3.57	3.58	3.58	3.57	3.62	3.61
C13	3.56	3.64	3.65	3.63	3.62	3.62	3.61	3.62	3.62	3.62	3.62	3.64	3.63
C14	3.63	3.66	3.66	3.66	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65	3.64	3.65
C15	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68

Tableau 9 : Niveau d'eau total (m/NGF) statique (SWL+ Surcote 60 cm + wave setup + Incertitude 15 cm)  
 – Aléa 2100 – configuration normale

#### 7.3.4. Conclusion et comparaison avec l'évènement historique

**Quelle que soit la combinaison centennale, le niveau marin total obtenu pour l'évènement centennal « actuel » (3,28 m/NGF maximum) est inférieur à la cote d'arase des ouvrages de protection côtière (supérieur à 5 m/NGF) et du terrain naturel du front de mer (c'est-à-dire côté baie à l'extérieur des cours d'eau) ce qui implique qu'un évènement centennal ne génère pas de submersion marine par débordement par le front de mer même en cas de brèche ou de ruine généralisée des ouvrages.**

Pour la caractérisation de l'aléa dit « 2100 », une marge de 60 cm a été ajoutée au niveau marin au large afin de prendre en compte du changement climatique à échéance 100 ans, soit une valeur maximale de 3,68 m/NGF. Dans cette situation également, les niveaux restent nettement inférieurs à la cote d'arase des ouvrages de protection côtière.

Les niveaux totaux entre les scénarios 8 et 15 sont proches dans de nombreux cas. Bien qu'il ne puisse y avoir de submersion par débordement, **l'agitation des vagues (très importante pour les scénarios 8, 9 ou 10) peut occasionner des submersions par franchissement de paquets de mer.**

Pour la propagation de l'eau à terre, il est donc fondamental de calculer les volumes d'eau susceptibles de franchir les ouvrages pour chacune des combinaisons centennales, c'est-à-dire pour chacun des niveaux marins totaux statiques et chacune des conditions d'agitation de la mer, en association avec des scénarios de défaillance des ouvrages de protection côtière (cf. paragraphe 6.2). Cette étape fait l'objet du chapitre 8.

La valeur maximale de niveau marin calculé au rivage (aléa actuel) est 3,28 m/NGF. Cette valeur est nettement supérieure à la donnée de l'évènement historique le plus fort connu qui est 2,88 m/NGF. **L'évènement naturel centennal calculé est donc retenu comme évènement naturel de référence conformément aux recommandations méthodologiques du MEDDTL.**

## 8. Détermination de l'évènement de référence : propagation à terre

L'aléa de référence est caractérisé pour l'évènement naturel de référence le plus défavorable auquel sont associées des hypothèses de prise en compte des ouvrages côtiers et des débits des cours d'eau.

Ce chapitre présente la propagation de la submersion à partir de formules empiriques pour calculer les volumes d'eau franchissants à terre et à partir de modélisation numérique pour simuler la propagation en tenant compte de la rugosité du sol et du débit des cours d'eau notamment. Cette étape a été réalisée par le bureau d'étude CASAGEC INGENIERIE.

### 8.1. CALCUL DES DÉBITS FRANCHISSANTS LES OUVRAGES DE PROTECTION

Conformément aux recommandations méthodologiques du MEDDTL (rapport de novembre 2011, version 11), les volumes franchissants ont été calculés à partir d'une méthode issue de travaux européens de référence dans le domaine et qui repose sur l'utilisation des formules empiriques de TAW (2002).

Cette méthode est détaillée dans le rapport de CASAGEC INGENIERIE (Dugor *et al.*, 2013). Les formules empiriques de TAW (2002) permettent de calculer la hauteur du jet de rive lors du déferlement des vagues sur les ouvrages côtiers (run-up) et le débit de l'eau franchissant ces ouvrages. Elles sont applicables à toute forme de digue à partir :

- des niveaux marins totaux au rivage (Tableau 8)
- des conditions de houle obtenues (Tableau 10 pour l'évènement actuel et Tableau 11 pour l'évènement 2100) ;

Les calculs ont été effectués au niveau de 12 profils types des ouvrages de protection côtière qui ont été positionnés (Figure 33) en fonction des différentes typologies d'architecture et de leur exposition à la houle :

- 5 profils sont placés sur la commune de Ciboure (PC1 à PC5) ;
- 5 profils sur la grande plage de Saint-Jean-de-Luz (PP1 à PP5) ;
- 2 profils sur la plage d'Erromardie (PE1 et PE2).

La géométrie de chacun des profils types est présentée en Annexe 6. Chaque profil est représentatif de tronçon homogène.

Les volumes d'eau franchissants ont été calculés au niveau de chacun de ces profils pour plusieurs combinaisons et scénarios :

- chaque combinaison centennale de niveau d'eau et de conditions de houles à la côte sauf la 15 qui correspond à des conditions sans vagues ( $H_s = 0$  m) ;
- 5 scénarios de prise en compte des ouvrages :

- un scénario (S0) dans lequel les ouvrages sont considérés fonctionnels, il n'y a pas de modification de leur géométrie (Annexe 6) ;
- 4 scénarios (S1 à S4) avec des hypothèses de défaillance des ouvrages (cf. paragraphe 6.2 et Figure 25). La géométrie des brèches pour les ouvrages concernés par une hypothèse de défaillance (seuil de garantie : profils PP1 et PP4, perré d'Erromardie ; profil Trinka) est présentée Annexe 7.

Pour les profils PP1, PP4 et Trinka qui sont concernés par un scénario de rupture de digue, c'est la quantité maximale qui a été retenue parmi tous les scénarios (situation avec ou sans brèche).

Le Tableau 12 présente les débits induits par les volumes franchissants (« Q » en m<sup>3</sup>/profil) maximaux retenus parmi l'ensemble des combinaisons et scénarios testés, au niveau de chaque profil. Ils sont extrapolés sur l'intégralité de chaque tronçon représenté par un profil afin de propager le volume d'eau franchissant en arrière des ouvrages.

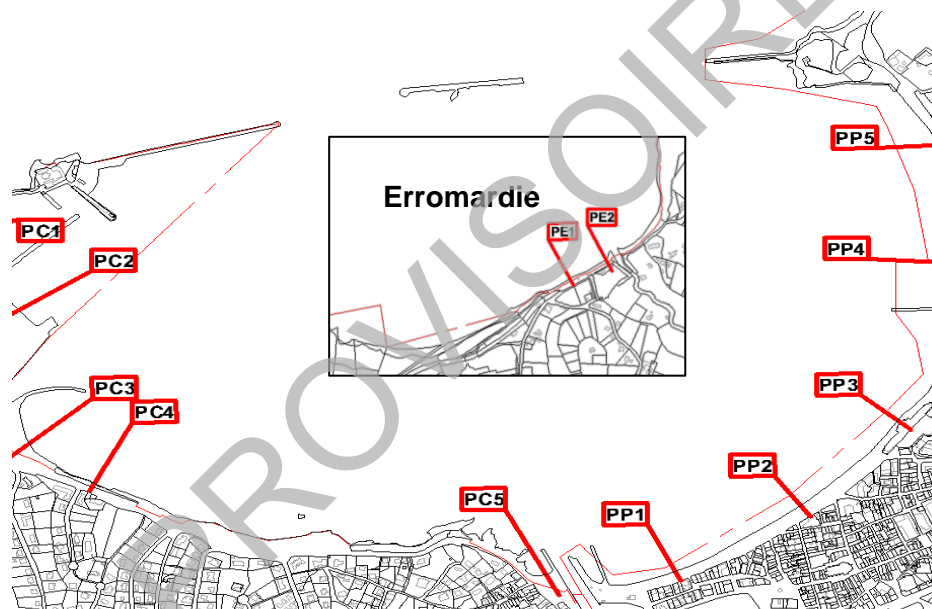


Figure 33 : Profils utilisés sur le secteur de Saint-Jean-De-Luz pour le calcul des volumes franchissants

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
C 1	5.70	1.30	1.50	1.60	1.80	2.10	2.50	2.10	1.90	2.20	2.60	4.80	4.10
C 2	5.90	1.20	1.50	1.60	1.90	2.20	2.50	2.20	2.00	2.40	2.80	5.00	4.30
C 3	6.10	1.20	1.50	1.60	1.90	2.20	2.60	2.30	2.10	2.50	3.00	5.20	4.50
C 4	6.10	1.10	1.40	1.60	1.90	2.10	2.50	2.30	2.10	2.60	3.00	5.20	4.50
C 5	6.10	1.10	1.40	1.50	1.80	2.10	2.50	2.30	2.10	2.60	3.10	5.30	4.60
C 6	6.00	1.10	1.40	1.50	1.80	2.00	2.40	2.20	2.10	2.60	3.10	5.20	4.60
C 7	5.90	1.00	1.30	1.50	1.70	1.90	2.30	2.20	2.10	2.60	3.10	5.10	4.60
C 8	5.70	0.97	1.20	1.40	1.70	1.80	2.20	2.10	2.00	2.50	3.00	5.00	4.50
C 9	5.40	0.91	1.20	1.30	1.60	1.60	2.00	1.90	1.90	2.40	2.90	4.80	4.40
C 10	4.90	0.78	1.00	1.10	1.40	1.50	1.80	1.80	1.70	2.30	2.70	4.40	4.10
C 11	4.40	0.70	0.93	1.00	1.30	1.30	1.60	1.60	1.60	2.10	2.50	4.00	3.80
C 12	3.80	0.61	0.82	0.90	1.10	1.10	1.40	1.40	1.40	1.80	2.20	3.40	3.30
C 13	3.00	0.47	0.67	0.72	0.88	0.92	1.10	1.10	1.10	1.50	1.80	2.80	2.70
C 14	1.50	0.23	0.37	0.36	0.45	0.48	0.59	0.61	0.63	0.79	0.96	1.40	1.30
C 15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tableau 10 : Hauteurs significatives (m) – Aléa actuel – configuration normale

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
C 1	5.90	1.20	1.50	1.60	1.90	2.20	2.50	2.20	2.00	2.40	2.80	5.00	4.30
C 2	6.10	1.20	1.50	1.60	1.90	2.20	2.60	2.30	2.10	2.50	2.90	5.20	4.40
C 3	6.30	1.20	1.50	1.60	1.90	2.20	2.60	2.40	2.20	2.70	3.10	5.40	4.70
C 4	6.30	1.10	1.40	1.60	1.90	2.10	2.60	2.30	2.20	2.70	3.20	5.40	4.70
C 5	6.20	1.10	1.40	1.60	1.90	2.10	2.50	2.30	2.20	2.70	3.20	5.40	4.70
C 6	6.10	1.10	1.40	1.50	1.80	2.00	2.40	2.30	2.20	2.70	3.20	5.30	4.70
C 7	6.00	1.00	1.30	1.50	1.80	1.90	2.30	2.20	2.20	2.70	3.20	5.30	4.70
C 8	5.80	0.95	1.30	1.40	1.70	1.80	2.20	2.10	2.10	2.60	3.10	5.10	4.60
C 9	5.40	0.89	1.20	1.30	1.60	1.70	2.00	2.00	2.00	2.50	3.00	4.80	4.50
C 10	5.00	0.77	1.00	1.10	1.40	1.50	1.80	1.80	1.80	2.30	2.80	4.40	4.20
C 11	4.40	0.69	0.95	1.00	1.30	1.30	1.60	1.60	1.60	2.10	2.60	4.00	3.80
C 12	3.80	0.60	0.85	0.91	1.10	1.10	1.40	1.40	1.40	1.90	2.30	3.40	3.30
C 13	3.00	0.47	0.70	0.73	0.90	0.92	1.10	1.20	1.20	1.50	1.90	2.80	2.70
C 14	1.50	0.23	0.41	0.38	0.47	0.49	0.60	0.63	0.67	0.83	0.99	1.40	1.30
C 15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tableau 11 : Hauteurs significatives (m) – Aléa 2100 – configuration normale

		Aléa actuel						Aléa 2100					
		Niveau d'eau (m)	Rc (m)	Hs (m)	Tp (s)	Run Up2% (m)	Q franchissant (m <sup>3</sup> /Prof)	Niveau d'eau (m)	Rc (m)	Hs (m)	Tp (s)	Run Up2% (m)	Q franchissant (m <sup>3</sup> /Prof)
Ciboure ac digues	PC1						0						0
	PC2	2.77	1.7	0.99	16.3	4.47	2.07	3.17	1.3	0.97	16.36	4.47	34.52
	PC3	2.16	2.32	1.19	16.36	4.45	1.4	3.17	1.31	1.13	16.36	4.48	0.62
	PC4	2.66	3.87	1.48	16.36	6.36	0.48	3.06	3.47	1.44	16.36	6.53	0.72
	PC5	2.77	1.93	1.72	16.36	4.7	1.87	3.06	1.64	1.82	16.36	4.7	6.17
Ciboure ac brèches	PC1	2.93	1.02	0.69	13.6	3.95	2.47	3.33	0.62	0.67	13.63	3.95	8.19
	PC2	2.66	1.81	1.69	16.36	4.47	9.89	3.25	1.22	1.57	14.54	4.47	12.47
	PC3	2.77	1.71	1.53	16.36	4.48	0.72	3.39	1.09	1.4	14.54	4.48	3.66
	PC4	1.66	4.87	2.91	16.36	4.81	8.48	3.06	3.47	2.49	16.36	6.53	9.35
	PC5	2.77	1.93	2.27	16.36	4.7	5.78	3.17	1.53	2.08	16.36	4.7	14.04
Ciboure ss artha	PC1						0						0
	PC2	2.66	1.81	1.56	16.36	4.47	9.89	3.25	1.22	1.57	14.54	4.47	12.47
	PC3	2.77	1.71	1.53	16.36	4.48	0.72	3.39	1.09	1.4	14.54	4.48	0
	PC4	2.77	3.76	3.15	16.36	6.53	8.48	3.06	3.47	3.08	16.36	6.53	9.35
	PC5	2.66	2.04	2.89	16.36	4.7	10.43	3.06	1.64	2.56	16.36	4.7	20.18
Ciboure sans digues	PC1	2.93	1.02	0.69	13.6	3.95	2.47	3.33	0.62	0.67	13.63	3.95	8.19
	PC2	2.77	1.7	2.75	16.36	4.47	12.35	3.33	1.14	2.84	14.54	4.47	14.58
	PC3	2.77	1.71	2.61	16.36	4.48	6.79	3.17	1.31	2.44	16.36	4.48	20.58
	PC4	2.66	3.87	2.82	16.36	6.53	12.25	3.06	3.47	3.28	16.36	6.53	13.12
	PC5	2.43	2.27	3.5	16.36	4.7	11.9	3.06	1.64	2.79	16.36	4.7	26.44
SJDJL avec digues	PP1	2.66	3.97	1.67	16.3	5.36	2.12	3.17	3.46	1.66	16.36	5.88	4.83
	PP2	2.99	5.34	1.53	14.5	4.5	0	3.17	5.16	1.74	16.36	5.76	0.18
	PP4	2.93	3.59	2.01	14.5	6.36	2.95	3.33	3.19	2.09	14.54	6.52	5.75
	PP5	3.09	3.97	1.45	13.63	6.53	0.7	3.49	3.57	1.33	13.63	7.04	1.3
SJDJL avec brèches	PP1	2.77	3.86	1.83	16.36	5.36	3.65	3.17	3.46	1.86	16.36	5.71	6.96
	PP2	2.43	4.72	1.65	16.36	5.59	2.17	3.06	4.09	1.76	16.36	6.41	5.3
	PP4	2.93	3.59	2.05	14.54	6.22	3.32	3.33	3.19	2.14	14.54	6.52	6.4
	PP5	3.2	3.86	1.43	12.72	6.61	0.75	3.06	4	1.49	16.36	6.57	0.87
SJDJL sans Artha	PP1	2.77	3.86	1.99	16.36	5.27	5.4	3.17	3.46	2.06	16.36	5.61	10.64
	PP2	2.43	4.72	1.71	16.36	5.58	2.49	2.06	5.09	1.72	16.36	5.21	5.4
	PP4	2.93	3.59	2.05	14.54	6.22	3.32	3.33	3.19	2.14	14.54	6.52	6.4
	PP5	3.2	3.86	1.43	12.72	6.61	0.75	3.06	4	1.51	16.36	6.56	2.2
Aléa naturel	PP1	2.77	3.86	2.04	16.36	5.24	5.98	3.17	3.46	2.11	16.36	5.58	11.59
	PP2	2.43	4.72	1.77	16.36	5.57	2.85	3.25	3.9	1.79	14.54	6.53	5.6
	PP4	2.93	3.59	2.08	14.54	3.62	6.22	3.33	3.19	2.18	14.54	6.52	7.05
	PP5	3.2	3.86	1.46	12.72	6.61	0.92	3.54	3.52	1.35	13.65	7.06	2.3
Erroma rdle	PE1	3.14	2.81	1.66	13.63	5.51	2.28	3.17	2.78	3.25	16.36	5.95	5.65
	PE2	2.99	3.42	1.84	14.54	6.32	2.01	3.25	3.16	1.95	14.54	6.41	3.69

Tableau 12 : Paramètres correspondant à la situation de volumes franchissants maximum

## 8.2. ESTIMATION DES NIVEAUX DE CRUE DE LA NIVELLE ET DE L'UNTXIN

Le débit des apports d'eaux continentales est un paramètre qui est susceptible d'influencer considérablement le phénomène de submersion marine, particulièrement dans les zones d'estuaire.

C'est pourquoi, afin de vérifier l'influence de la marée sur le niveau dynamique de l'estuaire, les débits de crue sont intégrés dans la modélisation.

Un débit de crue constant est donc déterminé pour chaque fleuve débouchant dans la baie de Saint-Jean-de-Luz, La Nivelle et l'Unxin, à partir des études statistiques existantes.

En accord avec la DDTM des Pyrénées Atlantiques, le débit décennal est retenu pour caractériser l'aléa de référence dit « actuel » et l'aléa dit « 2100 ».

À la demande de la DDTM des Pyrénées Atlantiques, les simulations ont également été réalisées avec un débit centennal à titre informatif.

### 8.2.1. La Nivelle

Les débits de La Nivelle sont calculés depuis 1969 à partir des mesures de niveaux d'eau réalisées à la station limnimétrique de Cherchebruit gérée par la DREAL Aquitaine et le Service de Prévision des Crues (SPC) du Bassin de l'Adour.

La Nivelle fait l'objet d'un PPRI établi en 2011 dans lequel l'évènement de référence correspond à un débit centennal de  $950 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  à Cherchebruit et des débits décennaux dans les affluents mineurs.

Pour l'élaboration des PPRL, le débit de la Nivelle retenu est un débit décennal issu du PPRI soit  **$Q_{10} = 550 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$** .

A la demande de la DDTM, les scénarios ont également été réalisés avec un débit centennal, soit  $Q_{100} = 1070 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  qui correspond au débit de pointe au niveau du point de calcul Ascain amont (PPRI Nivelle, 2011).

### 8.2.2. L'Unxin

Les seules données disponibles sur le régime hydraulique de l'Unxin sont issues du rapport Sauveterre (1986). Le débit décennal de  **$Q_{10} = 80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$**  a été utilisé pour l'évènement de référence.

À la demande de la DDTM, les scénarios ont également été réalisés avec un débit centennal soit  $Q_{100} = 200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

### 8.2.3. L'Ixaka

Aucune donnée hydrologique sur l'Ixaka n'a pu être collectée. Quelques éléments historiques font état de débordement de l'Ixaka (1959) mais ces évènements se sont déroulés avant les importants travaux qui ont fixé son exutoire. L'influence du débit de l'Ixaka ne sera donc pas prise en compte pour l'élaboration des PPRL.

### 8.3. MODÉLISATION NUMÉRIQUE DES ÉCOULEMENTS À SURFACE LIBRE

#### Description du modèle

Le modèle numérique (MOHID) utilisé pour reproduire les écoulements de surface libre en 2 dimensions permet :

- de propager en arrière des digues côtières, les volumes d'eau franchissants précédemment calculés et de déterminer le champ d'expansion de la submersion, la hauteur d'eau atteinte et les vitesses d'écoulement ;
- de traiter les zones potentiellement soumises à des inondations de type estuarien (cru de cours d'eau concomitante avec des niveaux marins statiques élevés) et de déterminer les niveaux d'eau et les vitesses du courant ainsi que le rôle de blocage dynamique que peut exercer la marée sur l'écoulement des crues de la Nivelle et de l'Untxin.

Le modèle numérique MOHID utilisé est développé par l'Institut Supérieur de Technologie (IST) de l'Université de Lisbonne. Il est constitué par un ensemble de modules permettant de simuler à différentes échelles tous les principaux processus océaniques, côtiers et estuariens. Ce puissant outil de modélisation dans le domaine des écoulements à surface libre est utilisé sur de très nombreuses applications dans le monde entier.

Ce modèle est forcé par :

- le niveau marin total au rivage de l'évènement naturel de référence à ses frontières ouvertes ;
- le débit de la Nivelle et de l'Untxin en amont ;
- le débit d'eau franchissant les ouvrages de protection côtière.

#### Calage et validation

Le calage et la validation de ce modèle sont détaillés dans le rapport de CASAGEC INGENIERIE (Dugor et al., 2013).

Sur le site de Saint-Jean-de-Luz, aucune observation précise ou estimation des volumes franchissants et de leur propagation à terre n'a pu être relevée afin de calibrer le modèle.

A défaut, les paramètres de calibration d'Hendaye ont été utilisés. Des mesures de terrain (niveaux d'eau au marégraphe de Socoa, caractéristiques de la houle à la bouée d'Anglet) ont été utilisées et ont permis de reproduire de manière très satisfaisante les inondations du 8 et 9 Novembre 2010 sur Hendaye. Les crues du 11 et 12 Février 2009 ont également été reproduites à partir des données de débit à Endarlaza, de la prévision de marée (Fes 2004) ainsi que des laisses de crues relevées lors de cet évènement. Ces modélisations ont permis de vérifier que les crues et les blocages dynamiques provoqués par la marée étaient correctement reproduits dans la partie aval de la Bidassoa.

#### Données utilisées

Les données et paramètres utilisés pour la modélisation dynamique :



- les niveaux d'eau : ils suivent deux cycles d'une marée de vive eau (coefficient 115). Le niveau maximum est calé sur la valeur du niveau d'eau du scénario centennal retenu. De cette manière, le signal de marée imposé au modèle garde une forme réaliste en atteignant les hauteurs d'eau maximums voulues. Les combinaisons 1 à 15 ont ainsi été jouées ;
- les volumes franchissants : ils ont été calculés à partir des formules empiriques de TAW (Tableau 12) pour les 14 combinaisons centennales ;
- les débits décennaux de la Nivelle et de l'Untxin (respectivement  $Q_{10} = 550 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  et  $Q_{10} = 80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) appliqués au niveau du lit des cours d'eau ;
- le coefficient de friction de Manning Strickler qui exprime le frottement sur le fond varie selon les milieux et permet de calibrer la vitesse des écoulements reproduite par les modèles numériques. La progression des submersions ou de l'onde de crue peut varier de façon conséquente en fonction du choix du coefficient de Strickler. Les coefficients ont été attribués par référence à la base de données d'occupation du sol Corine Land Cover, complété par l'analyse d'orthophotographie, de missions de terrain et de tests de sensibilité. L'ensemble des coefficients retenus par secteur est consultable dans le rapport CASAGEC INGENIERIE (Dugor *et al*, 2013).
- la gestion des bancs découvrant : ce paramètre conditionne le minimum de hauteur d'eau prise en compte dans une cellule pour la résolution numérique du calcul (Hmin). Il peut engendrer une incertitude car si Hmin est trop faible, il y a une constante augmentation de génération de masse. Si en revanche elle est trop forte, la propagation de la marée peut être retardée. Pour cette étude, Hmin a été pris à 0,1 m. Le paramètre sensible a été retenu après plusieurs tests réalisés dans la baie de Txingudi et la mise en relation de la modélisation de la marée avec des données de mesure *in situ* (capteur de pression).

Les modélisations sont réalisées de manières indépendantes :

- pour la façade maritime : les volumes d'eau franchissants en arrière des ouvrages sont propagés pour les 14 combinaisons centennales ;
- à l'intérieur de la baie de Saint-Jean-de-Luz en combinant les débits décennaux (et centennaux à titre informatif) de la Nivelle et de l'Untxin avec les niveaux marin de référence.

#### 8.4. ÉVÈNEMENT DE RÉFÉRENCE RETENU

L'évènement de référence n'est pas à proprement parlé un seul évènement mais résulte de la combinaison de plusieurs scénarios de référence permettant d'obtenir une situation où l'ensemble des facteurs sont considérés dans leurs caractéristiques les plus intenses. **L'évènement de référence permet ainsi de tenir compte de toutes des situations les plus pénalisantes sans qu'elles puissent nécessairement se produire simultanément.**

L'évènement de référence retenu pour le secteur de Saint-Jean-de-Luz prend donc en compte :

- 15 combinaisons de niveau statique dont la période de retour est centennale ;
- les volumes franchissants associés aux conditions (niveaux d'eau/vagues) pour les 15 scénarios et leur propagation à terre ;
- la défaillance des ouvrages de défense selon 5 scénarios ;

- la concomitance de ces 15 scénarios avec une crue décennale (et centennale à titre informatif) de la Nivelle et de l'Untxin.

**L'évènement de référence retenu pour caractériser l'aléa de référence est donc une situation représentant les résultats les plus maximisant.**

PROVISOIRE

## 9. Cartographie des aléas

### 9.1. QUALIFICATION DE L'ALÉA

Un aléa est défini par les conséquences physiques d'un scénario d'évènements naturels et/ou technologiques. Il est caractérisé par son occurrence et son intensité. La transcription spatiale de l'aléa permet de le représenter et de le qualifier (Rapport MEDDTL, v.11, novembre 2011). Cette présente étude PPRL porte sur la caractérisation de l'aléa submersion marine pour un évènement centennal.

Le risque résulte du croisement de l'aléa et d'un enjeu vulnérable (personnes, biens, activités, patrimoine, etc. susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel (Rapport MEDDTL, v.11, novembre 2011). La caractérisation du risque ne fait pas l'objet de cette présente étude.

Conformément aux recommandations méthodologiques du MEDDTL (Rapport de novembre 2011, version 11), le niveau d'aléa est obtenu par le croisement de deux variables : les hauteurs d'eau de l'inondation et la vitesse d'écoulement de l'eau.

Ces deux variables ont été calculées grâce à la modélisation bidimensionnelle sur deux cycles complets de marée. Elles sont représentées individuellement sur des cartes selon les intervalles et code couleur suivants :

- Hauteurs d'eau maximales :
  - moins de 0,5 m en jaune ;
  - de 0,5 à 1 m en orange ;
  - supérieures à 1 m d'eau en rouge.
- Vitesses d'écoulement de l'eau maximales :
  - moins de 0,2 m.s<sup>-1</sup> en bleu clair;
  - de 0,2 à 0,5 m.s<sup>-1</sup> en bleu ;
  - supérieures à 0,5 m.s<sup>-1</sup> en bleu foncé.

Le niveau d'aléa résultant du croisement de ces 2 variables ainsi que son code couleur sont présentés dans le Tableau 13. Selon les recommandations méthodologiques du MEDDTL (Rapport de novembre 2011, version 11), le niveau d'aléa peut être pondéré en fonction de la dynamique de la submersion (temps de montée des crues).

Les mêmes niveaux d'aléa sont employés pour caractériser l'aléa « actuel » et l'aléa « 2100 ».

Sur les cartes d'aléas, la limite de l'aléa fort côté « mer » correspond au trait de côte Histolitt®<sup>13</sup>.

---

<sup>13</sup> Le trait de côte Histolitt® est une information altimétrique continue du trait de côte produite par le SHOM et l'IGN à partir de données bathymétriques et de la BD ALTI®.

Vitesse (m.s <sup>-1</sup> ) / Hauteur (m)	V<0.2	0.2<V<0.5	V>0.5
H<0.5	Faible	Modéré	Fort
0.5<H<1	Modéré	Modéré	Fort
H>1	Fort	Fort	Très fort

Tableau 13 : Qualification de l'aléa en fonction des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement (Rapport du MEDDTL, novembre 2011, version 11)

## 9.2. PARTICULARITÉ DE LA CARTOGRAPHIE

### - Secteur soumis à l'effet des vagues

Pour les secteurs soumis à l'effet des vagues, les recommandations méthodologiques du MEDDTL prévoient l'application d'une bande de sécurité de 25 m qui peut être étendue à 50 m pour des secteurs spécifiques :

- La zone soumise aux franchissements par paquets de mer est sujette à des contraintes spécifiques, en particulier à des chocs mécaniques de vagues.
- Lorsque des zones de franchissements importants sont identifiées, une analyse spécifique de la topographie en arrière et des efforts et pressions d'impact des franchissements de vagues peut être menée afin de déterminer la largeur de la zone soumise au déferlement.
- Dans les zones identifiées où les franchissements sont modérés, la largeur de la zone soumise au déferlement peut être considérée par défaut comme égale à 25 m (étendue à 50 m dans un contexte cyclonique).
- Cette bande ne prend pas en compte les éventuelles projections de matériaux (galets, etc). Les secteurs soumis aux projections (sables, galets, etc) doivent être par conséquent identifiés.

### - Bande de précaution relative aux ouvrages de protection

Conformément aux recommandations méthodologiques du MEDDTL, une bande de précaution est appliquée en arrière des ouvrages de protection de type digue (c'est-à-dire faisant obstacle à l'écoulement) afin de prendre en compte :

- les fortes vitesses d'écoulement de l'eau lors de surverse de l'ouvrage ;
- des vitesses d'écoulement de l'eau d'autant plus importantes en cas de brèche dans l'ouvrage.

La largeur de cette bande de précaution est soit :

- forfaitaire et correspond à une distance de 100 fois la hauteur  $h$  comprise entre le niveau marin de référence du PPRL et la cote du terrain naturel immédiatement derrière l'ouvrage, sauf dans le cas où elle se prolongerait à des cotes au-dessus du niveau marin de référence (Figure 34). La hauteur considérée sera au maximum la hauteur comprise entre la cote de crête de l'ouvrage et la cote du terrain naturel immédiatement derrière l'ouvrage.
- basée sur des éléments techniques (issus de modélisations numériques par exemple) fournis par le gestionnaire de l'ouvrage, sans pouvoir être inférieure à 50 mètres.

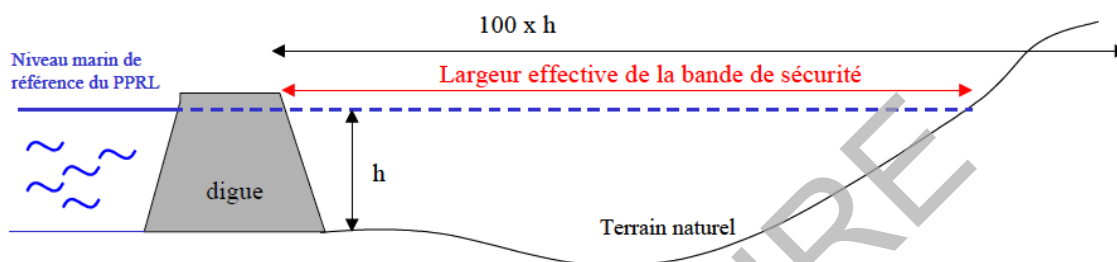


Figure 34 : Définition de la bande de sécurité derrière un ouvrage (MEDDTL, 2011)

### 9.3. VÉRIFICATION DE TERRAIN

La méthode de caractérisation de l'aléa submersion marine basée sur une modélisation numérique peut engendrer des erreurs dues à l'interpolation des modèles numériques de terrain (MNT), au manque de données topographiques ou encore à la faible résolution des mailles de calculs. C'est pourquoi les cartes d'aléas obtenues sont vérifiées et ajustées à partir d'une analyse à dire d'expert basée d'une part sur la connaissance historique et sur l'analyse critique des outils et données utilisés mais aussi sur une analyse de terrain. Cette analyse a été effectuée par les équipes du BRGM et de CASAGEC INGENIERIE lors d'une visite sur site les 13 et 14 Février 2013.

Elle a notamment permis de vérifier :

- la prise en compte par la modélisation numérique d'éléments morphologiques tels que les talus, les fossés, les seuils topographiques et autres irrégularités du terrain (Figure 35) ;
- la bonne représentation par la modélisation numérique des processus de submersion marine (effet des vagues, effet du frottement sur le sol par exemple, zones d'entrées d'eau, propagation dans l'estuaire, Figure 36 et Figure 37) ;
- l'application de la bande de sécurité liée à l'effet des vagues et de la bande de précaution en arrière des ouvrages (Figure 38 et Figure 39).



Figure 35 : Prise en compte des fossés et connexions hydrauliques



Figure 36 : Laisse de mer dans le camping d'Erromardie qui témoignent des franchissements par paquets de mer



Figure 37 : Zone de submersion marine par débordement sur les berges de la Nivelle



Figure 38 : Secteur d'application de la bande de sécurité liée à l'effet des vagues

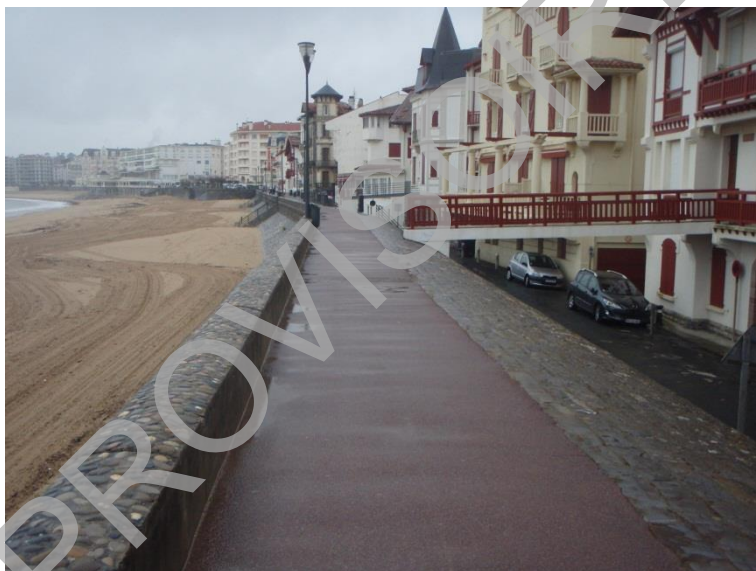


Figure 39 : Terrain naturel en arrière de l'ouvrage (à droite) plus bas que la base de l'ouvrage côté mer (à gauche) justifiant l'application d'une bande de précaution, seuil de garantie sur Saint-Jean-de-Luz

#### 9.4. DESCRIPTION DES CARTES D'ALÉAS « ACTUEL » ET « 2100 »

Les aléas dits « actuel » et « 2100 » sont décrits ci-dessous d'Ouest en Est en commençant par l'estuaire de l'Untxin. Toutes les cartes décrites ci-dessous sont également présentées en annexes 8 à 15 et fournies au format SIG.

##### 9.4.1. Aléa actuel

###### Untxin, Socoa

La Figure 40 présente un extrait de la carte d'aléa actuel sur le secteur de l'Unxtin et de Socoa.

**Pour l'ensemble de ce secteur, les scénarios S0, S3 et S4 sont les plus défavorables avec des conséquences identiques en termes d'étendue de la submersion et de classes d'aléa, de vitesses et de hauteur d'eau. Ils sont donc retenus pour représenter l'aléa actuel (paragraphe 6.2 et Annexe 8). Les autres scénarios sont présentés Annexe 16.**

Les berges de l'Untxin, le parking du club de voile de Socoa ainsi que la route en arrière de la plage de Ciboure sont systématiquement en aléa faible quel que soit le scénario de défaillance des ouvrages testé.

Au niveau de Socoa, le quai longeant le port à partir du mur du Trinka est soumis à un aléa faible uniquement pour les scénarios S0, S3 et S4 qui correspondent à des défaillances des digues en mer avec notamment une brèche de l'ouvrage maçonné au niveau des remparts du fort de Socoa (tronçon CIB03, Figure 15, Annexe 8). D'autre part, en cas de la brèche, ce secteur est exposé aux déferlements des vagues (vagues de faible amplitude en raison des hauts fonds).

Une bande de sécurité en aléa fort de l'ordre de 25 m (adaptée selon la configuration des sites : largeur de la promenade du front de mer, position des bâtiments de 1<sup>ère</sup> ligne...) a été placée le long de la frange littorale à partir du pied des ouvrages de protection côtière (identifié à partir de l'orthophotographie 2009 de l'IGN, à une échelle au 1/5 000ème) afin de prendre en compte l'effet des vagues (bande hachurée en gris sur la Figure 40).

### **Ciboure centre et Saint-Jean-de-Luz, la Grande Plage**

Sur ce secteur qui comprend la grande plage de Saint-Jean-de-Luz et l'embouchure de la Nivelle, les scénarios S0, S1 et S4 sont les plus défavorables avec des conditions identiques en termes d'étendue de la submersion et de classes d'aléa, de vitesse et de hauteur d'eau. Ces scénarios correspondent respectivement à une ruine généralisée de tous les ouvrages, à des brèches dans le seuil de garantie avec ou sans brèche dans la digue de l'Artha.

Les conséquences moins importantes des scénarios S2 et S3 qui ne présentent pas de brèche dans le seuil de garantie mettent en évidence le rôle de protection de cet ouvrage face à la submersion marine. En revanche, l'absence de différence entre les scénarios S0 (ruine généralisée de tous les ouvrages dont la digue de l'Artha) et S1 (présence de l'Artha avec brèches dans le seuil de garantie) souligne le rôle négligeable de cette digue face à la submersion marine.

**Les scénarios S0, S1 et S4 sont donc retenus pour représenter l'aléa actuel (Annexe 9). Les autres scénarios sont présentés Annexe 17.**

L'embouchure de la Nivelle orientée au Nord, face à l'entrée de la baie, est exposée à l'action des vagues, d'autant plus en cas de brèche ou de ruine de l'ouvrage.

La Figure 41 présente un extrait de la carte de l'aléa actuel sur le secteur de l'embouchure de la Nivelle et du port de Saint-Jean-de-Luz.

**Rive gauche de la Nivelle**, côté Ciboure, le quai Maurice Ravel et le port de Larraldenia sont en aléa modéré bien que la cote du quai à environ 4,15 m/NGF soit supérieure au niveau marin. En raison de la pénétration des vagues à ce niveau de l'embouchure, les vitesses d'eau qui demeurent relativement importantes sont comprises entre 0,2 et 0,5 m/s.

Au niveau de la Presqu'île des Récollets, l'aléa est faible pour le quai Turnaco alors qu'il est fort pour le quai d'Elissalt, en raison des vitesses d'eau qui peuvent être supérieures à 0,5 m/s.



**Rive droite de la Nivelle (figure 41), côté Saint-Jean-De-Luz, la presqu'île située entre le quai de l'Infante et la promenade Jacques Thibaud et entre le phare et la rue de la République est cartographiée en aléa fort. Sa localisation en arrière d'un ouvrage de type digue (le seuil de garantie), l'altitude du terrain naturelle inférieure à celle de la base de cet ouvrage côté baie, et l'importance des phénomènes de franchissements de paquets de mer (Figure 34) justifient l'application d'une bande de précaution sur la base des recommandations méthodologiques du MEDDTL (rapport de novembre 2011, version 11).**

Le centre-ville en amont de la Criée est exposé à un aléa faible sur presque 200 m, quasiment jusqu'aux Halles.

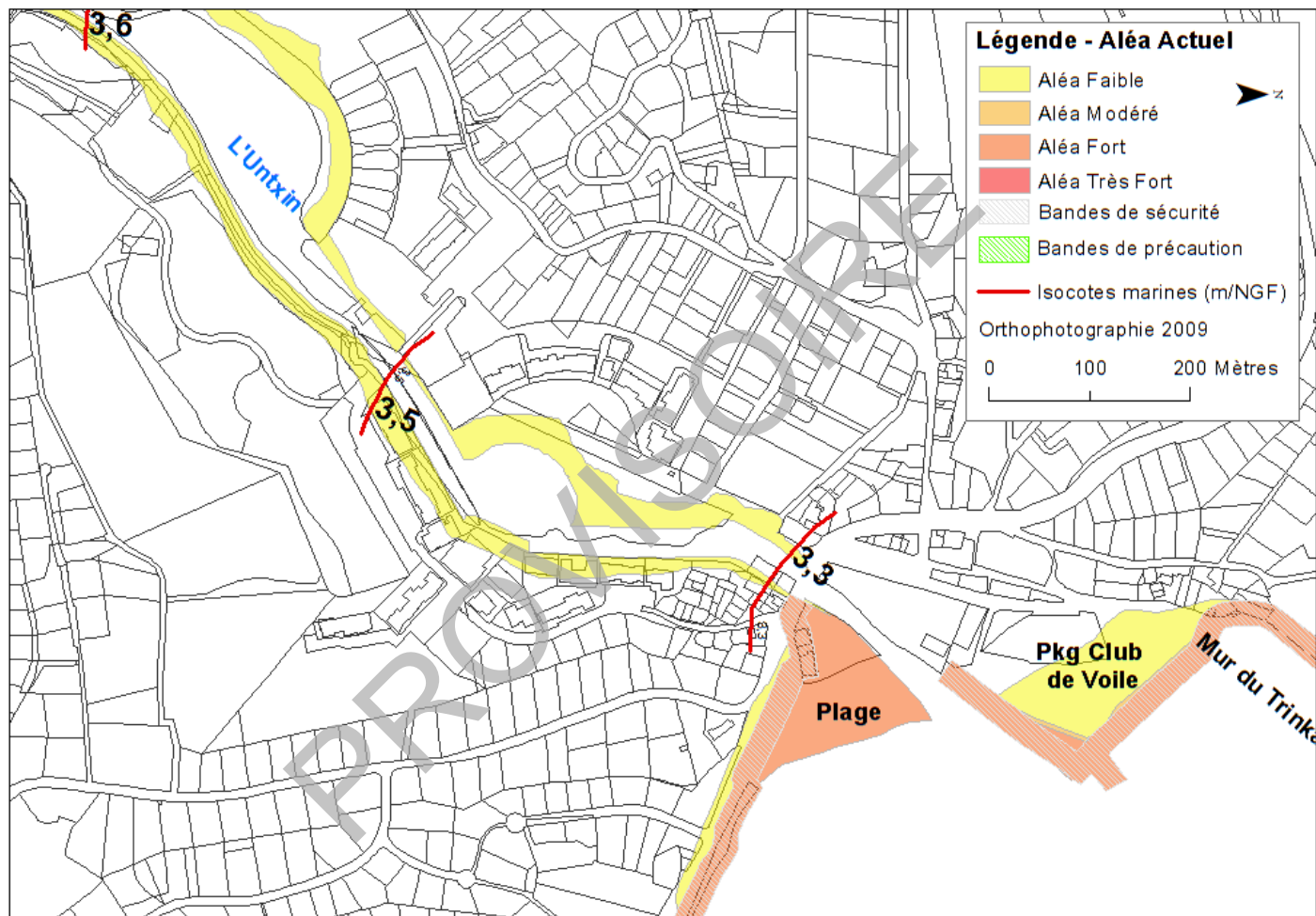


Figure 40 : Extrait de la carte d'aléa actuel pour les secteurs de l'Untxin et Socoa

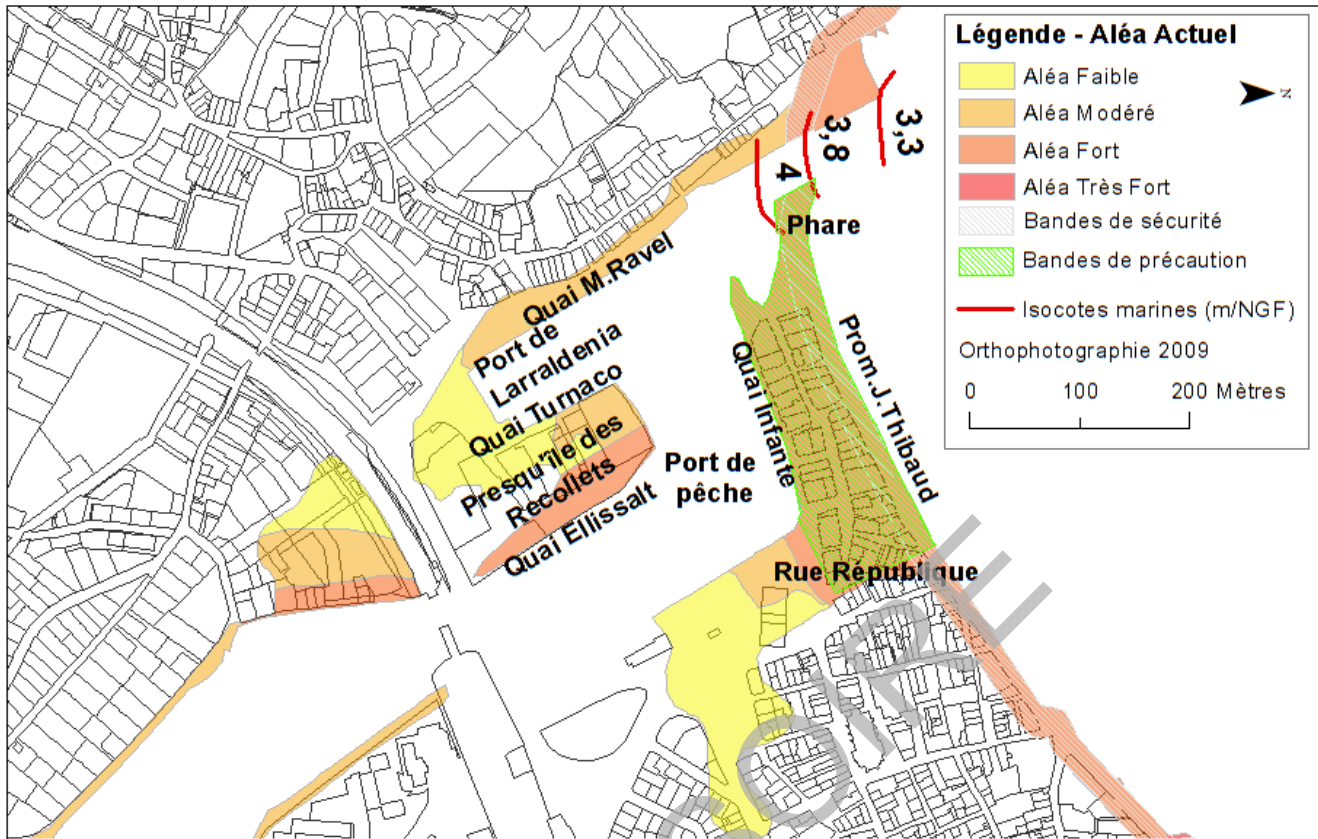


Figure 41 : Extrait de la carte de l'aléa actuel au niveau du secteur du port de Saint-Jean-De-Luz et Ciboure

**Au niveau de l'embouchure de la Nivelle**, les cartes d'inondation fluviales produites par SOGREAH (2011) dans le cadre de l'élaboration du PPRI de la Nivelle, mettent en évidence que l'aléa inondation fluviale est plus défavorable que l'aléa submersion marine en termes d'étendue, de hauteur et de vitesse de l'eau.

**Côté baie**, une bande de sécurité en aléa fort est appliquée à la promenade Jacques Thibaud qui est exposée à l'effet des vagues (paquets de mer, projection de matériaux, chocs mécaniques). Cette bande est appliquée à partir du pied des ouvrages sur une largeur de l'ordre de 25 m (adaptée selon la configuration des sites : largeur de la promenade du front de mer, position des bâtiments de 1<sup>ère</sup> ligne...). Le pied des ouvrages est identifié à partir de l'orthophotographie 2009 de l'IGN à une échelle au 1/5 000ème.

Au nord de la rue de la République jusqu'à la digue aux chevaux, le terrain naturel en arrière du seuil de garantie est au-dessus de la crête du perré (Figure 42).

Le bâtiment « La Pergola » est placé en aléa très fort car le pied du bâtiment est très bas (4.87 m) et est soumis directement à l'action des vagues, d'autant plus en cas de brèches ou de ruine généralisée.

La partie Est du seuil de garantie de Saint-Jean-De-Luz est soumis à l'action des vagues. C'est à cet endroit que la hauteur des vagues est la plus forte devant les ouvrages. Des franchissements par paquets de mer sont observés chaque année face à l'avenue Pellot (Figure 42). Pour les scénarios S1 et S4, l'une des brèches du seuil de garantie se situe face à l'avenue Pellot. Une bande d'aléa fort est également prise en compte pour une partie du Boulevard Thiers (possibilité de projection de matériaux).

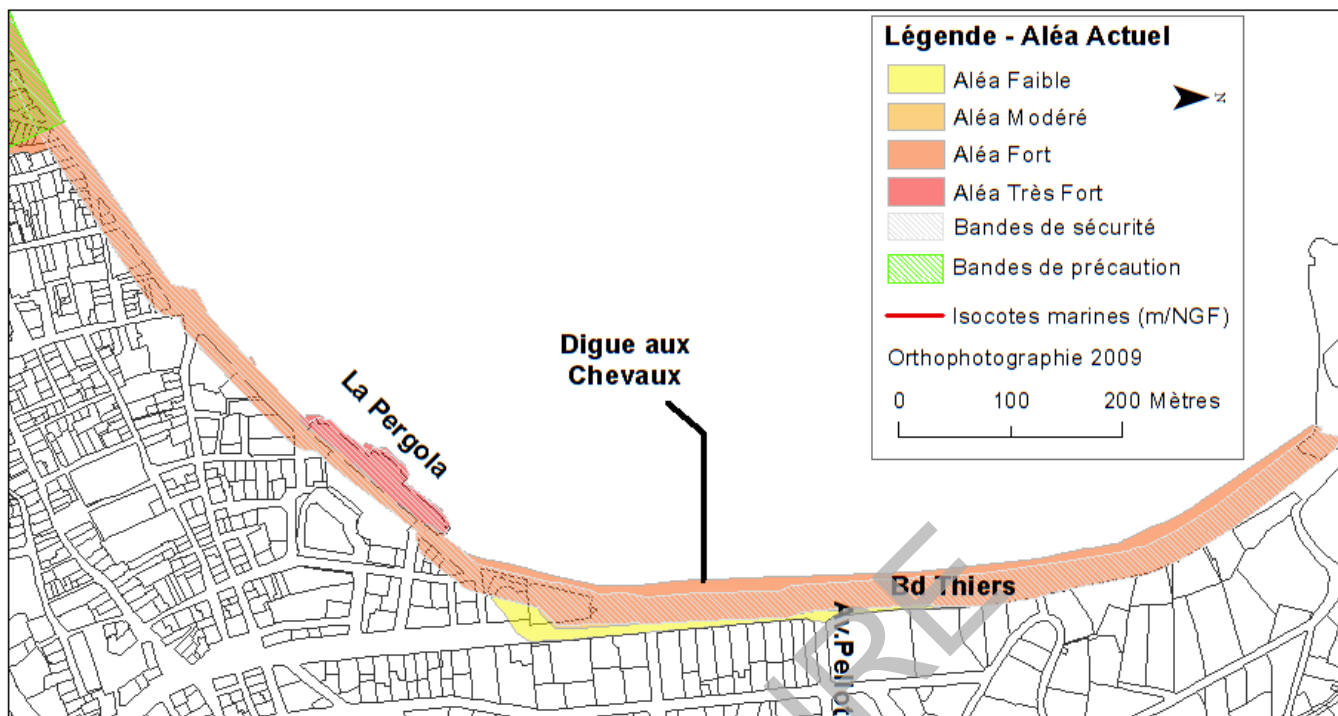


Figure 42 : Extrait de la carte d'aléa actuel sur le secteur du front de mer de Saint-Jean-De-Luz

### La Nivelles

En amont de l'embouchure de la Nivelles, la concomitance d'une crue décennale et d'un niveau marin centennal a pour effet d'élever le niveau d'eau à 4 m/NGF au niveau du pont de l'ASF pour une hauteur d'eau dans la baie à 3,28 m/NGF.

**Les conséquences en termes d'étendue de la submersion et de classes d'aléa, de vitesse et de hauteur d'eau sont identiques sur ce secteur quel que soit le scénario de défaillance des ouvrages de protection côtière (Annexe 10).**

La Figure 43 présente un extrait de la carte d'aléa actuel sur le secteur de la Nivelles.

**Rive gauche, côté Ciboure**, la route à proximité de la berge ainsi qu'une zone au niveau de la cale à bateau sont classées en aléa modéré en raison des vitesses d'écoulement élevées (0,2 à 0,5 m/s).

À l'Est du Golf, une vaste zone est inondée entre le golf et le pont de l'ASF. L'aléa varie de faible à fort selon les vitesses d'écoulement et les hauteurs d'eau.

En amont du pont SNCF, une surverse de largeur de 150 m apparaît et donne lieu à une zone d'inondation qui s'étend sur une centaine de mètres.

**Rive droite, côté Saint-Jean-De-Luz**, la promenade qui longe la berge est en aléa modéré ainsi qu'une zone au sein des résidences qui atteint quasiment l'avenue Chantaco. Cette zone résidentielle forme une cuvette dans laquelle la hauteur d'eau augmente induisant un aléa fort.

**Sur les 2 rives de la Nivelles**, les cartes d'inondation fluviales produites par SOGREAH (2011) dans le cadre de l'élaboration du PPRI de la Nivelles, mettent en évidence que l'aléa inondation

fluviale est plus défavorable que l'aléa submersion marine en termes d'étendue, de hauteur et de vitesse de l'eau.

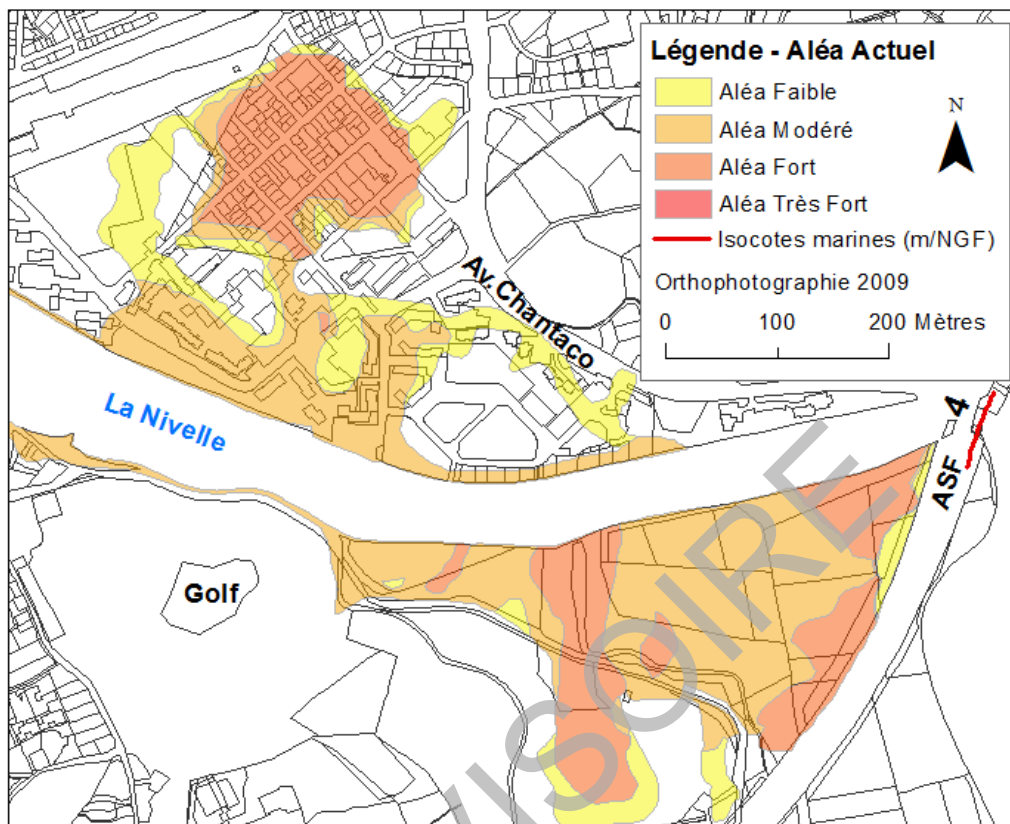


Figure 43 : Extrait de la carte de l'aléa actuel sur le secteur de la Nivelle amont

### Erromardie

Le perré d'Erromardie est considéré en mauvais état, donc la ruine généralisée de l'ouvrage a été choisie pour le scénario de brèche, ce qui revient au scénario S0 d'aléa naturel (sans ouvrage de protection).

Une bande d'aléa fort (largeur de l'ordre de 25 m) a été placée entre le trait de côte et le fond du fossé qui sépare les campings avec la route côtière. En effet cette zone est soumise à l'action des vagues (franchissement de paquets de mer, projection de matériaux, choc mécanique). Cependant, il n'y a pas de submersion par débordement même avec la ruine généralisée de l'ouvrage.

À l'intérieur des terres, les terrains des campings relativement plats sont exposés à un aléa faible (Figure 44 et Annexe 11). L'entrée du camping face au perré dont la pente a pour effet d'élever les vitesses d'écoulement et exposée à un aléa fort.

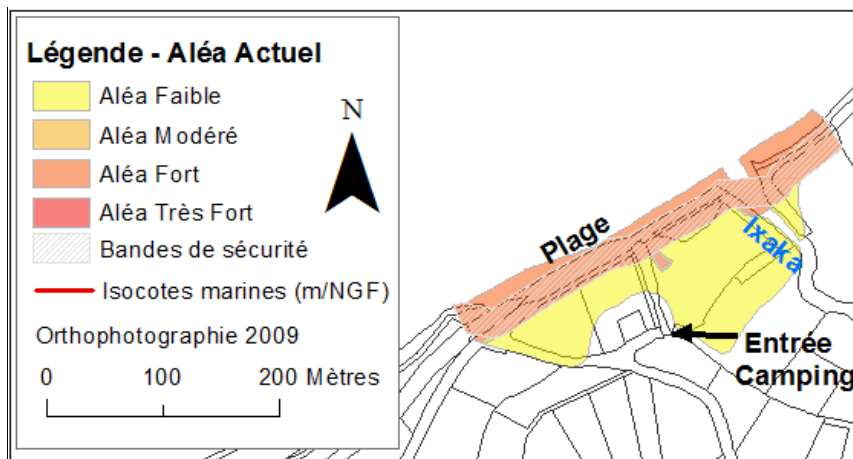


Figure 44 : Extrait de la carte d'aléa actuel sur le secteur d'Erromardie

#### 9.4.2. Aléa 2100

La description de l'aléa 2100 est réalisée ci-dessous comme l'aléa actuel dans le même ordre géographique.

##### Untxin / Socoa

Pour l'aléa 2100, les scénarios S0, S3 et S4 sont également les plus défavorables et ont des conséquences identiques en termes d'étendue de submersion, de classes d'aléa, de vitesse et de hauteur d'eau.

La Figure 45 présente un extrait de la carte de l'aléa 2100 pour le secteur de l'Untxin et de Socoa.

La différence avec les scénarios S1 et S2 réside comme pour l'aléa actuel au niveau du quai du port de Socoa. En revanche, quel que soit le scénario, les berges de l'Untxin sont exposés à un aléa modéré et, rive gauche, une cuvette au niveau de la rue des Ecoles est exposée à un aléa faible et l'exutoire de la rivière est exposé à un aléa fort.

Le niveau d'eau au niveau du lycée maritime est de 3.9 m/NGF pour un niveau marin dans la baie de 3.68 m/NGF.

Comme pour l'aléa actuel, une bande de sécurité de l'ordre de 25 m (plus ou moins selon la configuration des sites) a été placée en aléa fort le long de la frange littorale afin de prendre en compte l'effet des vagues.

**Pour l'ensemble du secteur qui comprend l'Untxin et Socoa, les scénarios S0, S3 et S4 sont les plus défavorables avec des conséquences identiques en termes d'étendue de la submersion et de classes d'aléa, de vitesse et de hauteur d'eau (Annexe 12). Ils sont donc retenus pour représenter l'aléa 2100. Les autres scénarios sont présentés Annexe 18.**

##### Ciboure centre et Saint-Jean-De-Luz, la grande plage

Comme pour l'aléa actuel, les scénarios S0, S1 et S4 sont les plus défavorables avec des conditions identiques en termes d'étendue de la submersion et de classes d'aléa, de vitesse et de hauteur d'eau. **Ils sont donc retenus pour représenter l'aléa 2100** (Figure 46, Figure 47 et Annexe 13). Les autres scénarios sont présentés Annexe 19.

**Rive gauche de la Nivelle**, en raison du fort relief, l'étendue de la submersion ne varie pas entre l'aléa actuel et l'aléa 2100 depuis l'embouchure jusqu'au port de Larraldenia (quai M. Ravel). Le niveau d'eau passe de 3.68 m/NGF dans la baie de Saint-Jean-De-Luz à 4 m/NGF dans le port de pêche.

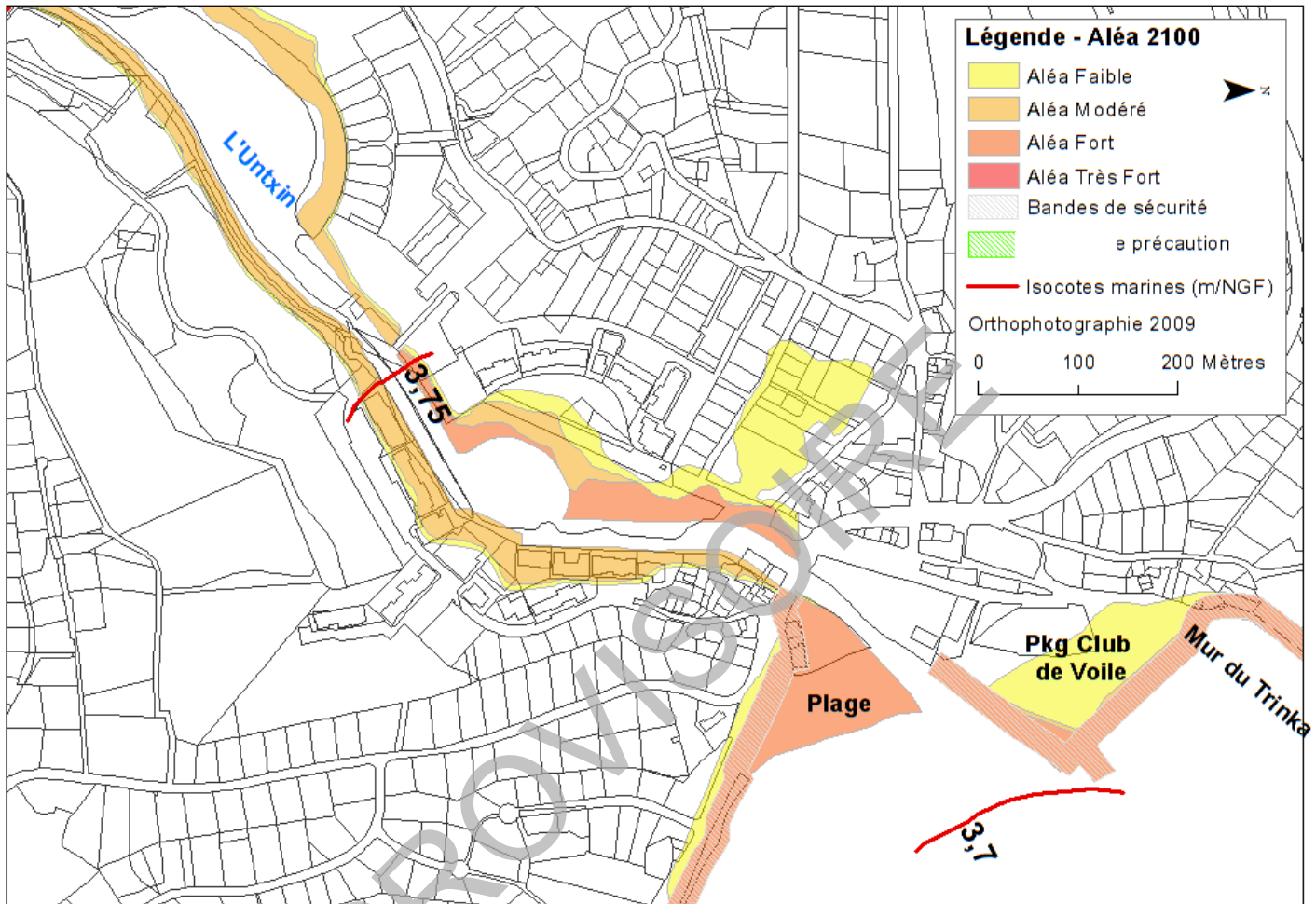


Figure 45 : Extrait de la carte d'aléa 2100 au niveau des secteurs de l'Untxin et Socoa

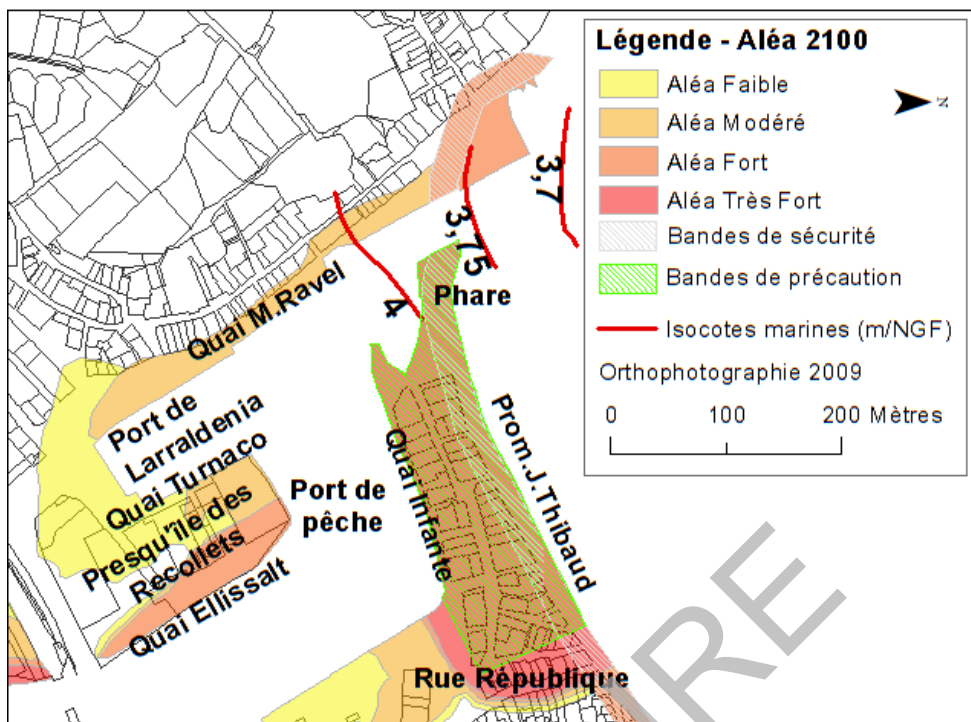


Figure 46 : Extrait de la carte d'aléa 2100 dans le port de Ciboure

**Rive droite, côté Saint-Jean-De-Luz,** le centre-ville est exposé à une submersion beaucoup plus importante par débordement au niveau du port entre la Criée et le quai de l'Infante pour l'aléa 2100. La zone d'aléa s'étend le long du Boulevard Victor Hugo et s'arrête avant le croisement du boulevard Thiers. Entre le marché et la rue Chauvin Dragon, la topographie plus basse induit un aléa fort.

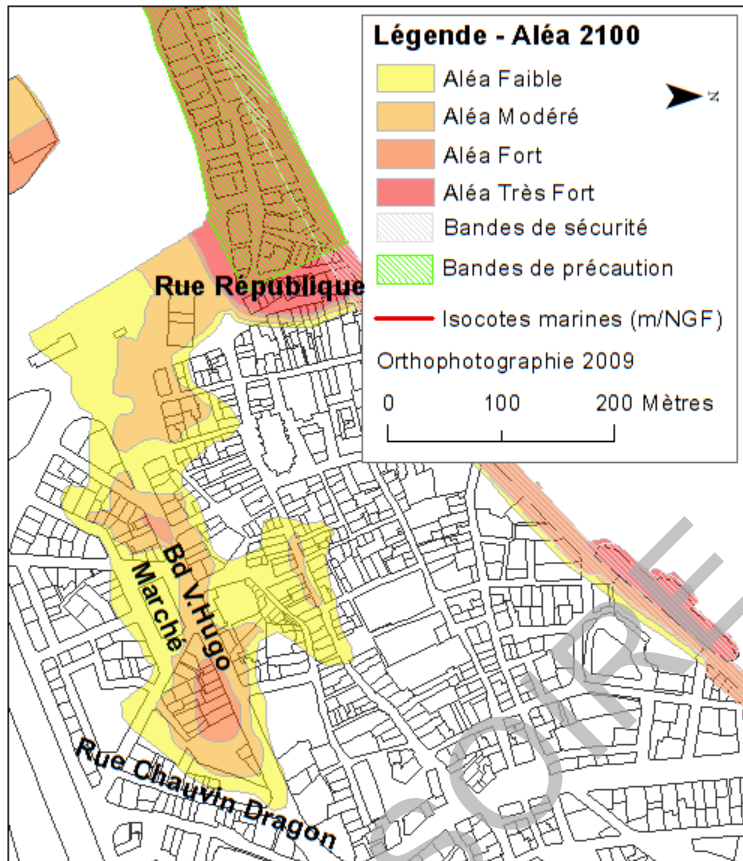


Figure 47 : Submersion dans le centre-ville de Saint-Jean-De-Luz pour l'aléa 2100

Sur la presqu'île entre le port de pêche et la grande plage, le même principe que l'aléa actuel est appliqué avec la bande précaution en présence d'un ouvrage de protection. Toute la zone est cependant cette fois classée en aléa très fort pour différencier de l'aléa actuel qui a été classé en aléa fort.

Sur le seuil de garantie le long de la grande plage de Saint-Jean et jusqu'à la pointe de Sainte-Barbe, l'aléa 2100 est le même que pour l'aléa actuel. Les vagues et le niveau d'eau sont plus forts pour l'aléa 2100, les volumes franchissants sont également plus importants mais l'étendue de la submersion est la même ainsi que l'aléa face aux chocs mécaniques liés aux déferlements des vagues. La bande de sécurité et l'aléa sont donc identiques sur cette zone.

### **La Nivelle**

Sur le secteur de la Nivelle, la concomitance d'une crue décennale et d'un niveau marin centennal pour aléa 2100 a pour effet une élévation du niveau d'eau au niveau du pont ASF à 4.2 m/NGF pour une hauteur d'eau dans la baie à 3.68 m/NGF.

Les zones de submersion sont les mêmes que pour l'aléa actuel mais sont plus étendues avec un niveau d'aléa plus important notamment dû aux vitesses d'écoulement plus élevées (Annexe 14).

**Rive gauche, côté Ciboure**, la route sur la berge ainsi qu'une zone au niveau de la cale à bateau sont placées en aléa fort. À l'Est du Golf une vaste zone est inondée entre le golf et le pont de l'ASF. L'aléa varie de faible à fort selon les vitesses d'écoulement et les hauteurs d'eau.



**Rive droite, côté Saint-Jean-De-Luz**, la promenade qui longe la berge est en aléa modéré ainsi qu'une zone au sein des résidences qui atteint quasiment l'avenue Chantaco. Cette zone résidentielle forme une cuvette qui augmente la hauteur d'eau et place la zone en aléa fort.

### Erromardie

Le secteur d'Erromardie a quasiment le même aléa pour l'actuel et 2100 (Figure 48 et Annexe 15). La seule différence se trouve au niveau du croisement de l'Avenue C. Farrère et le chemin d'Erromardie. La submersion due aux volumes franchissants des vagues s'étend légèrement plus au Sud après l'avenue Claude Farrère pour l'aléa 2100.

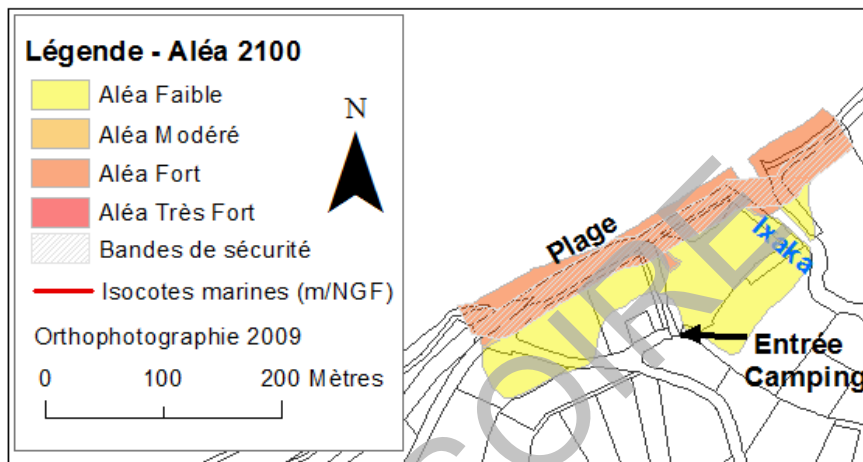


Figure 48 : Extrait de la carte d'aléa 2100 sur le secteur d'Erromardie

## 10. Conclusion

La caractérisation de l'aléa submersion marine dans le cadre des PPRL du secteur de Saint-Jean-de-Luz a été réalisée conformément aux recommandations méthodologiques du MEDDTL (rapport de novembre 2011, version 11). Ce travail a été réalisé avec la participation de CASAGEC INGENIERIE dans le cadre d'un contrat de sous-traitance avec le BRGM.

L'étude historique ayant mis en évidence qu'aucun évènement de submersion passé et connu est plus défavorable que des évènements centennaux calculés à partir d'analyses statistiques, ces derniers ont été retenus comme évènements naturels de référence. La valeur maximale de niveau marin calculé au rivage pour un évènement centennal est de 3,28 m/NGF alors qu'elle est de 2,88 m/NGF pour l'évènement historique le plus fort connu.

La méthode mise en œuvre pour la détermination de ces évènements naturels centennaux permet de considérer les effets combinés de la surcote atmosphérique, du niveau de marée mais aussi des vagues. Grâce aux bases de données disponibles, une méthode complète d'analyses statistiques a pu être mise en œuvre. Il s'agit d'une méthode dite « de probabilité conjointe » (Bulteau et *al.*, 2012).

La propagation de la submersion marine pour ces évènements naturels de référence a été effectuée à partir :

- de modélisation numérique permettant de connaître les conditions d'agitation de la mer au pied des ouvrages de protection côtière et de calculer l'élévation du plan d'eau générée par le déferlement des vagues ;
- de formules empiriques permettant de calculer les volumes d'eau franchissant les ouvrages par paquets de mer ;
- de modélisation numérique permettant de prendre en compte le débit de la Nivelle et de l'Untxin et la rugosité du sol notamment.

La cartographie a été réalisée pour l'aléa « actuel » ainsi que pour l'aléa « 2100 ». Pour l'aléa « actuel », le niveau marin au rivage intègre une surcote de 20 cm pour une première prise en compte de l'élévation du niveau de la mer liée au changement climatique ainsi qu'une marge d'incertitude de 15 cm liée à la méthode. Le niveau marin résultant correspond au niveau marin de référence dont la valeur est de 3,28 m/NGF au rivage dans la baie de Saint-Jean-de-Luz y compris d'Erromardie. Pour l'aléa « 2100 », le niveau marin correspond au niveau marin de référence auquel une surcote de 40 cm est ajoutée afin de prendre en compte l'élévation du niveau marin liée au changement climatique (Rapport MEDDTL, v.11, novembre 2011). La valeur est 3,68 m/NGF au rivage dans la baie de Saint-Jean-de-Luz y compris d'Erromardie.

**Les résultats des simulations ont montré que pour des évènements centennaux les phénomènes de submersion marine sur le secteur de Saint-Jean-de-Luz résultaient de :**

- **débordement à l'intérieur des cours d'eau de l'Untxin et de La Nivelle ;**
- **franchissement par paquets de mer du front de mer.**

En concertation avec la DDTM des Pyrénées Atlantiques, le Conseil Général et les services techniques des communes, des hypothèses de défaillance des ouvrages ont été déterminées

sur la base de la connaissance historique, des études de danger existantes et d'un diagnostic visuel des ouvrages. Cinq scénarios de propagation de la submersion ont ainsi été simulés : un scénario de ruine généralisée des ouvrages et 4 scénarios de brèches au niveau des digues en mer (de Socoa et de l'Artha) et du seuil de garantie.

**Les scénarios de défaillance des ouvrages de protection côtière (dont les digues en mer de Socoa et de l'Artha) n'ont pas d'influence sur le débordement de l'eau par les cours d'eau. De même, les défaillances des digues de Socoa et de l'Artha n'ont pas d'influence sur la submersion marine par le front de mer côté baie du centre-ville de Saint-Jean-de-Luz. En revanche, des brèches du seuil de garantie longeant le centre-ville de Saint-Jean-de-Luz et de l'ouvrage maçonné au niveau des remparts du fort de Socoa ont un impact défavorable sur le phénomène de submersion marine, ce qui met en évidence le rôle de protection de ces ouvrages.**

La cartographie des aléas dits « actuel » et « 2100 » représente 4 niveaux d'aléas (de faible à très fort) obtenus à partir du croisement des hauteurs d'eau et des vitesses de l'écoulement de l'eau.

Une bande de sécurité de l'ordre de 25 m (adaptée selon la configuration des sites : largeur de la promenade de front de mer, position des bâtiments de 1<sup>ère</sup> ligne) a été placée en aléa fort le long de la frange littorale (embouchure de l'Untxin, port de Socoa et seuil de garantie de Saint-Jean-de-Luz) afin de prendre en compte l'effet des vagues (paquets de mer, projection de matériaux). De plus, la presqu'île du centre-ville de Saint-Jean-de-Luz est en aléa fort pour l'évènement actuel et en aléa très fort pour l'évènement 2100 car une bande de précaution de 100 m a été appliquée en arrière de la promenade côtière sur la base des recommandations méthodologiques du MEDDTL (rapport de novembre 2011, version 11).

**Les zones particulièrement exposées à la submersion marine sur le secteur de Saint-Jean-de-Luz sont :**

- la promenade côtière de Saint-Jean-de-Luz et le front de mer de Socoa ;
- l'embouchure de la Nivelle avec le quartier situé rive droite entre le Quai de l'Infante et la Promenade Jacques Thibault et le Quai Pascal Elissalt ;
- en amont de la Nivelle avant le Pont de l'ASF, les quartiers Urdazuri et Urquijo rive droite ainsi que le secteur des terrains de sport rive gauche.

La comparaison des cartes d'aléa submersion marine avec les cartes du PPRI de la Nivelle a permis de constater que l'aléa inondation fluviale (SOGREAH, 2011) était plus défavorable que l'aléa submersion marine en termes d'étendue, de hauteur et de vitesse de l'eau sur les rives de la Nivelle.

Sur le secteur de Saint-Jean-de-Luz, les différences entre les aléas « actuel » et « 2100 » correspondent à une étendue plus importante en bordure des cours d'eau (par exemple : embouchure de l'Untxin avec la rue des Ecoles, embouchure de la Nivelle avec notamment le quartier autour du marché). Les impacts en terme de vitesses et de hauteur d'eau étant plus importants pour l'aléa « 2100 », les niveaux d'aléa sont augmentés, en particulier dans le secteur des terrains de sport rive gauche de la Nivelle et dans le quartier situé entre la Promenade Jacques Thibaud du front de mer et le Quai de l'Infante.

## 11. Bibliographie

**Abadie S., Butel R., Dupuis H., Brière C.** (2005) - Paramètres statistiques de la houle au large de la côte sud-aquitaine, C. R. Geoscience 337, pp. 769–776

**Bulteau T., Delvallée E., Thiébot J.** (2012) - Retour d'expérience sur l'utilisation des probabilités conjointes pour la caractérisation de niveaux marins à la côte. XIIèmes Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil, Cherbourg, 12-14 juin 2012, DOI:10.5150/jngcgc.2012.001-B

**Bulteau T., Mugica J., Paris F., Pedreros R.** (2013) - Caractérisation de l'aléa submersion marine dans le cadre des PPRL dans les Pyrénées Atlantiques. Détermination de l'évènement centennal au large. Rapport « intermédiaire ». BRGM/RP-61416-FR, 42 p, 23 fig., 3 tab., 1 ann.

**Butel R., H. Dupuis, and P. Bonneton,** (2002): *Spatial variability of wave conditions on the French Atlantic coast using in-situ data.* Journal of Coastal Research, 36, 96-108.

**CALIGEE** (2010) - Cartographie de mesures électromagnétique EM34 de la digue de l'Artha.

**CASAGEC INGENIERIE** (2011) - Etude de danger du seuil de garantie de la commune de Saint-Jean-de-Luz.

**CETMEF** (2009) - Techniques de protection contre la submersion marine. Bibliographie générale réalisée dans le cadre de l'étude de la protection d'Andernos (33). Décembre 2009, 21 p.

**CETMEF** (2013) - Analyse des surcotes extrêmes le long des côtes métropolitaines – Rapport Avril, 128p.

**Charles E.** (2012) - Impact du changement climatique sur le climat de vagues en zone côtière, par régionalisation dynamique : application à la côte aquitaine. Thèse de doctorat CNRM, Météo-France, BRGM et Fonds AXA pour la Recherche, 190 p.

**Dugor J., Rihouey D., Weber L.** (2013) - Caractérisation de l'aléa submersion marine dans le cadre des PPRL des Pyrénées Atlantiques – Secteur de Saint-Jean-De-Luz, Rapport d'étude détaillé, Avril, 66p.

**Garcin M., Nicolae Lerma A., Pedreros R. avec la collaboration de F. Paris.** (2013) – Evaluation de la submersion marine maximale à l'échelle régionale. Rapport final. BRGM/RP-62259-FR, p.96, fig.40, tabl.9, ann4.

**Garry G., Graszek E., Toulemont M.** (1997) - Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL). Guide méthodologique. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement, La documentation Française, 54 p.

**Genna A., Capdeville J.-P., Dubreuilh J. et Mallet C.** (2005). Evolution récente et actuelle de la côte basque française (analyse et perspectives). Géosciences de surface (Géomorphologie). C.R.Geoscience, Vol. 337, p.1474-1483.

**Hawkes P.J., Gouldby B.P., Tawn J.A.** (2002) - The joint probability of waves and water levels in coastal engineering design. *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 40, n° 3, pp 241-251. doi:10.1080/00221680209499940

**Krien Y., Garcin M., Pedreros R.** (2010) - Méthodes pour l'évaluation à l'échelle nationale de l'emprise maximale de l'aléa submersion marine. Rapport BRGM/RP-58101-FR, 85 p., 28 fig., 5 tab.

**Lazure P., Dumas F.** (2007) - An external-internal mode coupling for a 3D hydrodynamical model for applications at regional scale (MARS). *Advances in Water Resources*. doi:10.1016/j.advwatres.2007.06.010

**Lecacheux S., Paris F. avec la collaboration de Le Cozannet G.** (2012) – Projet Climats de houle phase 1 : Intercomparaison de simulations rétrospectives et prospectives dans le Golfe de Gascogne. Rapport BRGM/RP-61651-FR, 139p, 57 ill, 1 ann.

**MEDDTL** (2011) - Circulaire du 27 juillet 2011 relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les plans de prévention des risques naturels littoraux. NOR : DEVP1119962C.

**MEDDTL** (2011) - Premiers éléments méthodologiques pour l'élaboration des PPRL. Analyse et cartographie des aléas littoraux. Version 11 de novembre 2011, 90 p.

**Pedreros R., Lecacheux S., Idier D.** (2009) - Etude des conditions de vagues sur le littoral de la Côte Basque. Rapport final BRGM/RP-57173-FR. 51 p, 30 illus, 3 Tab.

**Peter-Borie M., Riss J., Karnay G., Lucassou F., Mallet C., Aubié S.** (2010) Modèle géologique des formations superficielles du Pays Basque. Rapport final. BRGM/RP-56064-FR. 51 p, 23 fig., 2 tab, 1 ann.

**Romeuf** (2008) - Visite des cavités des digues de l'Artha et Socoa. Société missions 2005 et 2008

**Saha S. and co-authors** (2010) - The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **91**, 1015–1057. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2010BAMS3001.1>.

**Sauveterre** (1986) - Etude d'impact, ZAC de la basse vallée de l'Untxin, SARL, Avril 1986

**SHOM, CETMEF** (2008) - Statistiques des niveaux marins extrêmes de pleine mer en Atlantique et en Manche, ISBN : 978-2-11-098357-2, CD-ROM.

**SHOM** (2011) – Références Altimétriques Maritimes, cote du zéro hydrographique et niveaux caractéristiques de la marée, 98p.

**SOGREAH** (2011) – Plan de prévention du risque inondation de la Nivelle. Rapport complémentaire, n° 4 32 1022, p.135, tab.31, fig.70, ann.8.

**TAW** (2002) - Technical Report WAVE Run-up and Wave Overtopping at Dikes. TAW - Advisory Committee on Flood Defence, the Netherlands, May

**Tolman, H. L.**, (2002) - User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 2.22. Technical note 222, NCEP/NOAA/NWS, National Center for Environmental Prediction, Washington DC.

## **Annexe 1 : Compte rendu de la 1<sup>ère</sup> réunion du comité scientifique 27/05/2011**

PROVISOIRE

PROVISOIRE



Réf. : CR\_AQISUB\_20/06/2011

Pessac, le 20 juin 2011

<b>COMPTE RENDU DE RÉUNION</b>	
Rédacteur : J. Mugica	
Projet : à créer	Numéro :
Objet : <b>Première réunion du Comité Scientifique pour la caractérisation de l'aléa submersion marine dans le cadre des PPRL en Aquitaine</b>	
Date : 27/05/2011	Lieu : Pessac (SGR) en visioconférence avec Brest (CETMEF)
Participants : BRGM : E. Delvallée, C. Mallet, J. Mugica, J. Thiébot CASAGEC : D. Rihouey CETE SO : D. Felts, Y. Nedelec CETMEF : A. Creach, C. Perherin SOGREAH : V. Mazeiraud, D. Lartigue	
Absents : RRLA (équipe METHYS du laboratoire EPOC) : P. Bonneton ONF : B. Daubet BRGM : T. Bulteau, M. Garçin, R. Pedreros	
Diffusion : BRGM + DREAL + DDTM 33/40/64 + GIP Littoral Aquitain + participants + absents	

<b>RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS</b>
<p><b>1. Introduction</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Présentation du contexte (cf. diaporama)</li> <li>- Rappel de la composition et des objectifs du comité scientifique (cf. diaporama)</li> <li>- Objectif de la réunion = présentation puis discussion de la méthodologie que le BRGM propose de mettre en œuvre pour déterminer l'aléa de référence sur chacun des secteurs soumis à un PPRL → méthodologie basée sur la génération de réanalyses de niveaux d'eau et de vagues puis sur l'analyse de leurs probabilités conjointes.</li> </ul> <p>Ne fait pas l'objet de cette réunion mais sera soumis à concertation lors d'éventuelles prochaines réunions :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Détermination finale de l'évènement de référence sur chacun des secteurs = analyse des résultats des probabilités conjointes pour le choix de(s) scénario défavorable(s) en considérant les facteurs locaux particuliers à chacun des secteurs</li> <li>o Méthodologie de propagation des facteurs de forçages à la côte puis la propagation de la submersion à terre fera également l'objet d'une prochaine concertation du comité scientifique.</li> </ul>

CR\_Réunion\_2011\_05\_27\_Com\_Sci\_PPRL\_AQI.doc

1/4



<p>– Point sur l'état d'avancement de la révision de la doctrine par le CETMEF : Révision de la doctrine pour l'élaboration des PPRL principalement sur la submersion marine suite à la tempête Xynthia afin de prendre en compte :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>○ les interactions entre tous les processus (débordement, changement climatique...),</li><li>○ l'élévation du niveau marin liée au changement climatique,</li><li>○ l'effet des ouvrages.</li></ul> <p>Organisation = 1 comité technique et 4 sous-groupes :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- analyse du fonctionnement naturel de l'hydraulique du littoral</li><li>- évolution du trait de côte</li><li>- caractérisation de l'aléa submersion</li><li>- prise en compte des ouvrages</li></ul> <p>Les principes de doctrine d'élaboration des PPRL feront l'objet d'une circulaire. Celle-ci est actuellement en cours de consultation et disponible sur internet. Elle sera finalisée en juin 2011.</p> <p>Doctrine ≠ guide méthodologique repris depuis janvier 2011 et prévu pour fin 2011. Egalement ≠ de la stratégie nationale de gestion du TC (rapport du Député Cousin à venir).</p>
<p><b>2. Modélisation numérique des données de niveaux d'eau et de vagues pour la détermination de l'évènement de référence</b></p> <p>Objectif = préparer les données de niveaux d'eau et de vagues nécessaires pour l'analyse des probabilités conjointes pour la détermination de l'aléa de référence.</p> <p>Méthodologie présentée et mise en œuvre par le BRGM (cf.diaporama) :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Modélisation numérique des niveaux d'eau (marée + surcote atmosphérique) à partir de MARS (Ifremer) afin de combler la faible couverture spatiale sur la côte aquitaine → il existe seulement 2 marégraphes (Arcachon et Socoa).</li><li>– Utilisation des conditions de houle au large sur la côte aquitaine issues du modèle couplée Wave Watch III - SWAN (thèse BRGM, E. Charles / jeux de données de 30 ans).</li></ul> <p>Pour l'analyse des probabilités conjointes, les données de vagues et de niveaux d'eau doivent provenir d'un même site → calcul des niveaux d'eau et extraction des conditions de houle au niveau de l'isobathe - 20 m ou - 50 m (à préciser après analyse des données).</p> <p>A noter : les facteurs de forçage correspondant à l'aléa de référence seront donc déterminés au large → la méthodologie pour la propagation de ces forçages à la côte fera l'objet d'une prochaine concertation pour chacun des secteurs étudiés.</p> <p><b>Validation des résultats</b> à partir des données mesurées au niveau de bouées (Biscarrosse, Gascogne, CANDHIS) et de modèles (ERA40, NOA-VW3, ANEMOC) → <b>permet d'estimer des incertitudes.</b></p> <p>Question CETE SO : limite de la validation liée au dysfonctionnement des marégraphes lors des évènements extrêmes ? Lors d'évènements extrêmes → ± de 10-20 cm estimée entre mesures et réalité, même ≠ avec la modélisation ⇒ mais pas de problème si bonne estimation des incertitudes.</p>

Possibilité de dissocier les incertitudes liées à la marée et aux effets atmosphériques.

Données de vagues issues de la thèse BRGM d'E.Charles : mise à disposition au public à définir → probable constitution d'une BDD → Pas de problème pour l'utilisation des données (par le BRGM) dans le cadre de ce projet.

CETMEF : la doctrine prévoit l'utilisation des niveaux d'eau extrêmes (marée + surcote atmosphérique) calculés par le SHOM et des conditions de houle, provenant d'ANEMOC par exemple, pour calculer le wave setup → la doctrine ne contre-indiquera pas l'approche du BRGM avec la génération de réanalyses de vagues et de niveaux d'eau présentant l'avantage d'offrir une très bonne couverture spatiale et temporelle.

Remarque : Il faut aussi calculer les incertitudes à la côte.

### 3. Probabilités conjointes pour la détermination de l'événement de référence

Objectif = déterminer les différentes combinaisons de facteurs de forçage (hauteur significative des vagues Hs, et niveaux d'eau SWL = marée + surcote atmosphérique) de l'aléa centennal au large (isobathe -20 ou -50 m à préciser, cf. paragraphe 2)

Méthodologie présentée et mise en œuvre par le BRGM (cf.diaporama) : utilisation du logiciel JOIN-SEA (HR Wallingford et université de Lancaster).

Après ajustement des distributions marginales pour chacune des variables analysées (Hs d'une part et SWL d'autre part), le logiciel JOIN-SEA permet d'analyser les relations de dépendance entre les variables → détermination d'un modèle de dépendance = approche innovante en France.

CETMEF : la doctrine prévoit l'analyse des probabilités conjointes (par la méthode du DEFRA) pour déterminer l'aléa centennal. Dans cette approche simplifiée, la dépendance entre niveau d'eau et hauteur de vagues est prise en compte de façon très simplifiée (il n'y a pas de modèle de dépendance ajusté sur la base d'une analyse statistiques mais juste un coefficient reliant les deux variables, ce coefficient est estimé de façon peu rigoureuse) → **la doctrine ne contre-indiquera pas la mise en œuvre de l'approche plus fine du BRGM pour ajuster les relations de dépendance entre les variables.**

La doctrine prévoit : calcul des niveaux extrêmes (marée + surcote + wave setup (utilisation ANEMOC)) puis application de 20 cm d'incertitude. 2 cartes d'aléas à fournir :

- Aléa actuel ou « court terme » + 20 cm (élévation à 20 ans / ONERC)
- Aléa à 100 ans : idem + 1 m

JOIN-SEA permet de déterminer les différentes combinaisons de forçage (Hs,SWL) correspondant à un aléa centennal. Ces forçages seront propagés afin de calculer le setup (élévation locale du plan d'eau sous l'effet du déferlement des vagues) et éventuellement le runup (zone de battement des vagues à l'interface terre-mer) à la côte soit par une formule empirique de type Stockdon soit par modélisation numérique (MARS et SWAN pour le setup). La combinaison la plus défavorable, c'est-à-dire générant le niveau d'eau maximal, sera ainsi déterminée sur chacun des secteurs. Les effets locaux seront ainsi considérés.

Remarque : l'ajustement par JOIN-SEA de la loi marginale pour SWL a tendance à sous-estimer les niveaux d'eau centennaux (marée + surcote atm.) d'environ 10 cm (voir

diaporama). Au lieu d'ajuster une distribution statistique directement sur le signal marégraphique (marée + surcote atm.), il serait préférable (i) de séparer la partie déterministe du signal qui est liée à la marée seule et la partie aléatoire du signal qui est liée à la surcote de pleine mer (i.e. faire une analyse en composante harmonique), (ii) d'ajuster une distribution de probabilité sur les deux variables séparément (marée, surcote de pleine mer) et (iii) de convoluer les deux distributions pour estimer la distribution de SWL.

Depuis la réunion, nous avons développé un outil permettant de réaliser les étapes précitées. Les valeurs de SWL centennales ne sont plus sous-estimées à présent.

#### 4. Prochaines étapes, calendrier prévisionnel

1. Juillet 2011 : détermination de l'évènement de référence par secteur = combinaison Hs, SWL défavorable, c'est-à-dire générant un niveau total (marée + surcote + setup (+ runup)) maximal.
2. Août 2011 : détermination d'une méthodologie de propagation des facteurs de forçage correspondant à l'évènement de référence pour calculer le niveau total à la côte : formules empiriques de type Stockdon ou bien modélisation numérique (MARS et SWAN).
3. Septembre : détermination d'une méthodologie de propagation de la submersion à terre : statique = croisement des niveaux d'eau simulés avec la topographie ou bien dynamique = modélisation numérique (vitesses de courant).

→ échanges du comité scientifique à prévoir (mail, téléphone, éventuelle réunion)

Action	Responsable	Délai	Soldé
Rédaction d'un rapport présentant la méthodologie proposée pour déterminer l'aléa centennal et l'évènement de référence par secteur	BRGM	Août 2011	

## **Annexe 2 : Compte rendu de la 2<sup>ème</sup> réunion du comité scientifique 20/09/2012**

PROVISOIRE



Réf. :

Pessac, le 20/09/2012

COMPTE RENDU DE RÉUNION	
Rédacteur : Mugica J.	Entité : BRGM, DIR Aquitaine
Diffusion externe : oui Visa et nom du responsable : Lenotre N.	
Projet : AQUISUB 33, AQUISUB-40 et AQUISUB-64	Numéro : PSP11AQI24/25/26
Objet : Réunion intermédiaire du Comité Scientifique	
Date : 20/09/2012	Lieu : BRGM Pessac
Participants : BRGM - DR AQI : C. Mallet, J. Mugica BRGM R3C : R. Pedreros, F. Paris CETMEF : C. Perhrerin CETE SO : D. Felts, G. Arnaud, CASAGEC : D. Rihouey, J.Dugor	
Absents : SOGREAH : V. Mazeiraud, D. Larigue, CETE SO : Y. Nedelec, EPOC : P. Bonneton	
Diffusion : Participants + absents + DREAL Aquitaine + DDTMs 33, 40 et 64	

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS
<p><b>Rappel du contexte</b></p> <p>Le BRGM a été sollicité par les DDTM de la Gironde, des Landes et des Pyrénées Atlantiques en association avec la DREAL Aquitaine pour caractériser l'aléa submersion marine sur les secteurs soumis à un PPRL :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Convention cadre DREAL/BRGM en date du : 19/11/2011</li> <li>• Convention d'application DDTM Gironde/BRGM en date du : 14/11/2011</li> <li>• Convention d'application DDTM Landes/BRGM en date du : 29/03/2012</li> <li>• Convention d'application DDTM Pyrénées Atlantiques/BRGM en date du : 05/04/2012</li> </ul> <p>Les principales étapes de cette étude sont les suivantes :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Préparation des données (météorologiques, océanographiques, bathymétriques et topographiques) → utilisation de mesures de terrain + utilisation ou génération de simulations rétrospectives (vagues, vent, niveaux d'eau)</li> <li>2. Etudes historiques des évènements de submersion marine (CETE SO pour la Gironde, C. Lavigne archéogéographe pour les Landes, CASAGEC pour les Pyrénées Atlantiques)</li> <li>3. Détermination de l'évènement de référence → analyses statistiques pour la détermination d'évènements centennaux au large + modélisation numérique pour propagation vers le rivage</li> <li>4. Cartographie de l'aléa submersion → modélisation numérique dans les Landes et les Pyrénées Atlantiques, calcul des volumes d'eau pénétrant à terre + croisement avec la topo (lidar 2005) en Gironde.</li> <li>5. Analyse à dire d'expert (visite de terrain notamment)</li> </ol>

<p>6. Restitution (réunion, rapport)</p> <p>La plupart de ces étapes sont réalisées par le BRGM mais sur certains secteurs, certaines étapes sont réalisées par un sous-traitant (CASAGEC, C. Lavigne archéogéographe) ou par un service de l'Etat partenaire (CETE SO).</p> <p>Afin de réunir les compétences régionales, de réaliser l'étude dans l'état actuel des connaissances et des recommandations méthodologiques du ministère, le BRGM a constitué un comité scientifique composé du BRGM, CASAGEC, CETE SO, CETMEF, Laboratoire EPOC de l'Université Bordeaux 1 et SOGREAH.</p>
<p><b><u>Introduction :</u></b></p> <p>Réunion intermédiaire du Comité Scientifique de l'étude PPRL submersion marine en Aquitaine organisée à l'initiative du BRGM. <i>(cf. diaporama BRGM intro)</i></p> <p><b><u>Objectifs :</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Présentation et discussion des résultats des analyses statistiques pour déterminer les événements centennaux → résultats BRGM pour l'ensemble de la région Aquitaine <i>(cf. diaporamas BRGM étapes 1 et 3)</i></li> <li>- Présentation et discussion des événements de référence au rivage :             <ul style="list-style-type: none"> <li>o Résultats BRGM pour la Gironde et les Landes <i>(cf. diaporamas BRGM étapes 3 et 4)</i></li> <li>o Résultats CASAGEC pour les Pyrénées Atlantiques <i>(cf. diaporama CASAGEC)</i></li> </ul> </li> <li>- Proposition et discussion d'une méthodologie de propagation à terre et de cartographie de l'aléa pour chacun des secteurs (discussion notamment des points suivants : incertitudes, changement climatique, ouvrages) <i>(cf. diaporama BRGM étape 5 et diaporama CASAGEC)</i></li> </ul> <p>☞ En préalable, il est décidé la rédaction d'une note par le comité scientifique pour valider les résultats du BRGM et de CASAGEC sur la base des rapports d'étude, des diaporamas présentés en réunions et des discussions → Le CETMEF se charge de rédiger le premier jet de la note avant diffusion pour avis et validation au comité scientifique</p> <p><b><u>Remarques :</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Volonté des membres du comité scientifique d'être sollicité plus en amont par rapport aux livrables et plus fréquemment.</li> <li>- Pas de mandat de la DREAL pour une participation du CETE SO et du CETMEF à ce comité scientifique → CETE SO et CETMEF doivent vérifier s'ils ont besoin d'être missionnés.</li> </ul>
<p><b><u>Questions techniques sur les diaporamas</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pourquoi génération de simulations rétrospectives de niveaux d'eau uniquement à partir de 1979 et non à partir de 1958 comme les données de vagues (BD BoBWA) ?</li> <li>- Utilisation des données météo CFSR uniquement disponibles à partir de 1979 et de meilleure qualité que les vents ERA40 utilisées pour la génération de la BD BoBWA (thèse E. Charles, 2012)</li> <li>- Pourquoi relation de dépendance entre Hs (hauteur significative des vagues) et SWL (niveaux d'eau comprenant marée + surcote atmosphérique) ?</li> <li>- Hypothèse de dépendance car la surcote atmosphérique et Hs proviennent d'un même événement de tempête</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pour les analyses statistiques, cela revient au même d'analyser la dépendance entre Hs et SWL ou Hs et la surcote atmosphérique (car marée = part déterministe de SWL) .</li> <li>- Calcul Incertitude dans les Landes Il existe une incertitude liée à la pente → différence qui peut atteindre 30 à 40 cm sur les niveaux marins si variation de 2% de la pente. Quelle pente retenir ? la pente la plus préjudiciable pour le niveau marin au rivage a été retenue.</li> </ul>
<p><b><u>Analyses et compléments recommandés :</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérifier l'existence de seiches sur le Bassin d'Arcachon Remarque : les directions de vents testées proviennent de l'analyse des relations de dépendance entre les vents et les vagues et de l'analyse de la fréquence de ces directions sur le Bassin d'Arcachon.</li> <li>- Présentation des résultats de CASAGEC :             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ mettre échelle sur les figures et légendes, signaler les ouvrages (digue Arta par exemple) et valeurs de setup</li> <li>○ ajouter marge de 20 cm à SWL (première prise en compte de l'élévation du niveau marin) avant propagation vers le rivage</li> </ul> </li> <li>- Extraire et fournir combinaisons centennales à CASAGEC pour le secteur du Bourret Boudigau pour comparaison méthode Stockdon (BRGM) / méthode SWAN (CASAGEC).</li> <li>- Considérer le niveau marin total fourni dans la version 11 (nov. 2011) du rapport du MEDDTL « 1<sup>er</sup> éléments méthodologiques pour l'élaboration ni les tableaux des combinaisons centennales (Hs, Zo, setup, etc.) comme exemple → pas de comparaison entre méthode simplifiée et complète à réaliser. Etat de l'art sur les méthodes d'analyse des concomitances du CETMEF à paraître.</li> </ul>
<p><b><u>Recommandations méthodologiques d'après le rapport du MEDDTL « 1<sup>er</sup> éléments méthodologique pour l'élaboration des PPRL » → confirmation CETMEF sur ces points :</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Si estimation de l'incertitude liée à l'ensemble des étapes de la méthode, ajout de cette incertitude au niveau marin total au rivage plutôt que la marge de sécurité de 25 cm recommandée ⇒ accord pour ajout de l'incertitude estimée à 15 cm sur le Bassin d'Arcachon (cf. <i>diaporama BRGM</i>)</li> <li>- Les marges de 20 cm et de 40 cm pour la prise en compte de l'élévation du niveau marin liée au changement climatique pour l'aléa actuel et l'aléa à 2100 respectivement, sont à ajouter au large.</li> <li>- Prise en compte uniquement des ouvrages de protection contre la submersion marine (digues). Autres ouvrages de fixation du trait de côte arasés (épis par exemple) ou intégrés (perrés, ouvrages portuaires et structurant par exemple) à la topographie, pas de scénario de défaillance pour ces ouvrages ni d'estimation de la surface érodée en cas de défaillance → cas des Landes et des Pyrénées Atlantiques évoqués.</li> </ul>

## **Annexe 3 : Liste des évènements historiques de submersion marine et de leurs conséquences sur la commune de Saint-Jean-de-Luz**

PROVISOIRE



Date	Id_phénomène	Secteurs		Réf	Type	Hauteur d'eau (m NGF)	Hauteur des végétaux (m)	Précipitation	Dégâts notables / précisions
		Ciboure - Socoa	Saint Jean de Luz						
1719				4	Attaque marine				L'océan détruit une partie du quai de Socoa ainsi qu'une maison appartenant à Ciboure, Urrugne et Saint-Jean-de-Luz.
1724	CI801			4	Attaque marine				La quai de la Barre du côté de Ciboure est en ruine
1749	SI01			4,5	Attaque marine				une tempête emporte le mur de garantie, 7 maisons et des enclos jardins furent détruits, 180 maisons endommagées
1761				4	Attaque marine				L'océan s'avance fortement du côté de Saint-Jean-de-Luz
19/12/1767	SI02			4	Attaque marine				le mur de garantie est affouillé et s'écroule sur une longueur de 72 mètres
1770	SI03			4	Attaque marine				L'océan fait une brèche dans le mur de garantie
1774	SI04			4	Attaque marine				Le perré s'écroule sur 19 mètres
1775	SI05			4	Attaque marine				Les épis construits l'année précédente sont emportés par l'océan
1776	SI06			4	Attaque marine				Destruction de 80 mètres du perré et d'une partie considérable du mur de garantie
1779	SI07			4	Attaque marine				L'océan détruit une partie du mur de garantie construit depuis deux ans
1781				4	Attaque marine				Le vers-barriers ayant attaqué le bois de fondations, la jetée de Saint-Jean-de-Luz s'écroule sur 46 mètres
Mars 1782	SI08			4,5	Ouragan				"un ouragan terrible" balaya estacades et digues ; l'océan submerge deux rues, démolit 40 maisons, le couvent des Ursulines construit en 1639 et plusieurs puits
5 au 7/02/1811	SOC01			4	Attaque marine				45 mètres de jetée et 71 mètres de parapet sont enlevés à Socoa
9 au 11/12/1817	SI09			6	Submersion				submersion dans la ville de St Jean de Luz, plusieurs dégâts occasionnés
22 au 30/03/1822	SI10			4,5	Attaque marine				coup de mer qui occasionne une brèche de 107 mètres au perré de garantie
22/12/1822	STB01 SOC02			4,5	Attaque marine				Le perré est détruit. La digue de Sainte Barbe est détruite et celle de Socoa réduite de 100mètres
1827	SI11			4	érosion				Le seuil de garantie subit à nouveau la fureur des lames. Les luziens inquiets voyaient l'océan avancer inexorablement, en moyenne de 1m à 1m10 par an depuis 1735 dans la direction de la ville, "de plus en plus menacée d'une destruction inévitable
24 et 25/02/1838				5	Attaque marine				Submersion marine qui entraînent plusieurs dégâts
1862					Débordement				Débordements dues aux marées durant le mois de mai qui occasionnent différents dégâts
1889				5	Attaque marine				perte de 7m de muraille
1898	ART01			4,5	tempête				A la suite d'une tempête, une brèche s'est ouverte dans la digue de l'Artha. En janvier, une tempête dérase 6 m linéaires entre les cotes +2 et +6,50 m NGF, à la suite de laquelle on commence à établir une berme en blocs rangés et coulés sur place
1912	ER01			3	Attaque marine				Premières inquiétudes des riverains concernant les nombreux éboulements qui ont lieu sur la falaise, en partie dû à l'extraction des pierres, des graviers et de sable par les bouviers qui allaient se servir dans les falaises domaniales

16/06/1993	SJ13				4	tempête						une tempête a inondé une partie de la ville et a causé de nombreux dégâts
28 et 29 /12/1951	SJ14, SOC03 ART02, CIB02				2,3,4,5,6							une tempête fait plusieurs dégâts. Inondation d'une partie de la ville de Saint Jean de Luz. Enlèvement d'une vingtaine de blocs de 25T et d'une dizaine de 45T sur les digues de Socoa et Artha. La route RN10 entre Ciboure et Socoa est détériorée. Le mur de Socoa au Nord de la plage est abîmé, les musoirs des jetées de Ciboure et Saint-Jean de Luz sont disloqués. Une brèche de 50m se forme dans le seuil de garantie à l'extrémité Ouest. Deux brèches de 25m se forment sur le quai de l'infante. Mur ébranlé dans le port de Larraldenia, sur la presqu'île de Recollets.
												La tempête de décembre provoquera une brèche dans le seuil de garantie
25 et 26/09/1959	ER02					2	tempête					Débordement de l'ixaca et inondation de plusieurs terrains, avec à certains endroits plus d'un mètre d'eau. La mer a détruit des infrastructures et a occasionné l'érosion des berges. L'eau atteint 4,59 m NGF à l'école de Socoa. C'est un phénomène dû à l'obstruction du passage des eaux sous le pont de la D912, par une coque de bateau aux dires des riverains. (rapport Sauweterre 1986)
												brèche dans le seuil de garantie face à la rue Pellet
17 au 21/01/1965	SJ16					2	tempête					Une forte tempête ouvre une brèche de 5m sur la jetée de Ciboure.
14 au 18/10/1974	CIB03					3,5	tempête					Dégâts causés sur la jetée de Socoa.
						2,5	tempête					ensablement du débouché de l'ixaka, la rivière se jette à la mer par les bancs rocheux situés à l'Est de la plage, son cours d'eau étant parallèle à l'ancienne plateforme VFDM
Février et Mai 1976	ER03					2	tempête					L'hydrogramme à Saint-Pée-sur-Nivelle se caractérise par une montée de 1,10 m à 7,67 m en 4 heures le 26 août de 06 h 00 à 10 h 00. Le débit de pointe de crue est évalué à 750 m3/s
26 et 27/08/1983						PPRI	inondation					Première alerte devant la Pergola, l'océan emporte une partie de la plage et découvre une partie des fondations du bâtiment
6 et 7/10/1984	SJ17					4	Cyclone Hortense					Deuxième alerte devant la Pergola analogue à la première
1986	SJ18					4	Attaque marine					Tempête et déchaussement du bâtiment de la Pergola
10/02/1988	SJ19					2	tempête					Petit « raz de marée » qui endommage la thalassothérapie nouvellement créée sur l'emplacement des bains du casino
30/01/1990	SJ20					4	tempête					Le niveau de la mer monte haut
04/02/1994						2	tempête					Tempête provoque des dégâts sur la jetée de Socoa.
25 au 29/12/1999	HP8, SOC05					2,8	tempête Martin					Création d'une douche en dur après arrachement de celle en bois. Renforcement de l'escalier principal en béton et barre de fer
2000						2	Attaque marine					
9 au 10/03/2006							tempête inondation					70mm à Socoa
3 et 4/05/2007						PPRI	Tempête					Inondation en amont de la Nivelle
10/03/2008							Tempête					8.5

**Annexe 4 : Compte rendu de la réunion du 11/12/2012  
relative à la détermination des hypothèses de  
défaillance des ouvrages côtiers**

PROVISOIRE

## REUNION PPRL-SUBMERSION MARINE DU 11/12/2012

**OBJET : CONSULTATION DES SERVICES QUANT A LA PRISE EN COMPTE DES OUVRAGES DE PROTECTION.**

### Personnes présentes :

- CG 64 : B.Gourgand, C. Sarrade, A. Roudil
- DDTM 64 : B.Pallas
- DDEA 64 / SGPEPC : J.Vaudel
- Ville d'Hendaye : B.Laville
- Ville d'Urrugne : C. Courriol
- Ville de Ciboure : JB.Boye
- Ville de Saint-Jean-de-Luz : V.Toral, M.Sallaberry
- CASAGEC Ingénierie : D.Rihouey, J.Dugor, B.Cavalier

### Rappel du contexte de l'étude et des grandes étapes techniques (Jacques Vaudel)

Les PPRL-SM ont été lancés après la tempête Xynthia de 2010, qui a entraîné un épisode de submersion marine sans précédent en Vendée.

L'étude se divise en deux étapes fondamentales :

- La détermination d'un niveau d'eau de référence au large (BRGM), issu d'études statistiques sur les variables de vent et de houle. 14 triplets (Niveau d'eau statique SWL, Hauteur significative de la Houle Hs, et Période de pic de la houle Tp) sont ainsi retenus pour une occurrence centennale.
- La propagation des paramètres du large à la côte, et le croisement des niveaux obtenus avec la topographie des sites pour obtenir la cartographie de l'aléa (CASAGEC).

### Présentation de l'état d'avancement des études (CASAGEC Ingénierie)

(Cf. Présentation)

*La prise en compte ou non de la « surcote » dans le niveau « au large » a été évoquée.*

Oui, ce niveau prend en compte la surcote atmosphérique. Par ailleurs, la méthode des probabilités conjointes, plus précise, permet l'étude en détail des paramètres en jeu, qui peuvent être plus ou moins corrélés.

### Scénarios de ruine et brèches retenus sur les ouvrages

Les scénarios de brèches sont déterminés en accord avec les documents de référence :

- La circulaire du 27 Juillet 2011 (DEVP1119962C).
- Rapport de Novembre 2011 V11 du MEDDTL « Premiers éléments méthodologiques pour l'élaboration des PPRL ».

Pour toutes les simulations, les parapets seront effacés (petits murets surplombant perrés et digues).

*La question de l'intérêt de l'étude menée ici vis-à-vis des études de danger réalisées et à venir a été soulevée.*

Il faut différencier ces deux travaux qui n'ont pas les mêmes objectifs. L'étude de danger vise à évaluer l'efficacité et l'état de l'ouvrage, les points de fragilité nécessitant un entretien, ainsi que sa durabilité. Il s'agit d'une étude très détaillée, dont la précision et l'exhaustivité ne sont pas requises pour le PPRL-SM. Ce dernier s'appuie néanmoins sur une partie de l'étude de danger lorsque celle-ci existe, dans le choix et la localisation des brèches ou ruines à prendre en compte dans les simulations.

Un tour de table a été réalisé pour valider par toutes les personnes présentes, les scénarios de brèches ou de ruine généralisée des ouvrages. Les scénarios retenus sont les suivants :

#### *Secteur d'Hendaye*

- Tronçon N°4 : Brèche de 100m
- Tronçon N°6 : Brèche de 50m, 50m à l'Ouest du casino.
- Tronçons N°20 à 22 : Ruine (effacement du léger talus formé par la promenade)

#### *Secteur de Saint-Jean-de-Luz*

- Tronçon N°1 (digue de l'Artha): 2 brèches (musoir Ouest et milieu de la digue), et scénario supplémentaire de ruine de la partie maçonnée uniquement
- Tronçon N°2 (digue de Socoa): Brèche de 100m sur le musoir
- Tronçon N°4 : Brèche de 50m
- Tronçons N°19 et 20 : Pas de brèche, mais simulation de volumes franchissant
- Tronçon N°21 : Brèche de 50m
- Tronçon N°38 : Brèche de 50m côté Sud-Ouest à hauteur de la brèche de 1951
- Tronçon N°39 : Pas de brèche, mais simulation de volumes franchissant
- Tronçon N°42 : Brèche de 50m au niveau de l'avenue Pellot
- Tronçon N°43 (digue Sainte Barbe): Ruine de l'ouvrage (partie maçonnée)

#### *Secteur d'Erromardie*

- Tronçon N°46 : Ruine de l'ouvrage
- Tronçon N°49 : Ruine de l'ouvrage

Les différents scénarios de brèches définis ci-dessus ont été définis grâce :

- Aux éléments historiques connus,
- A l'aspect visuel des différents ouvrages,
- A l'étude de danger existante sur la commune de Saint-Jean-de-Luz.

#### **Calendrier prévisionnel**

---

- Février 2013 (semaine 9) : première version des cartes d'aléa après visite de terrain avec le BRGM.
- Courant mars 2013 (semaine 11) : réunion similaire avec les services techniques locaux, présentation des cartes.

*Cf. Figure 24 (Segmentation des ouvrages de protection sur le secteur de Saint-Jean-De-Luz) pour la localisation des tronçons*

PROVISOIRE

## **Annexe 5 : Classification des ouvrages de protection côtière**

PROVISOIRE

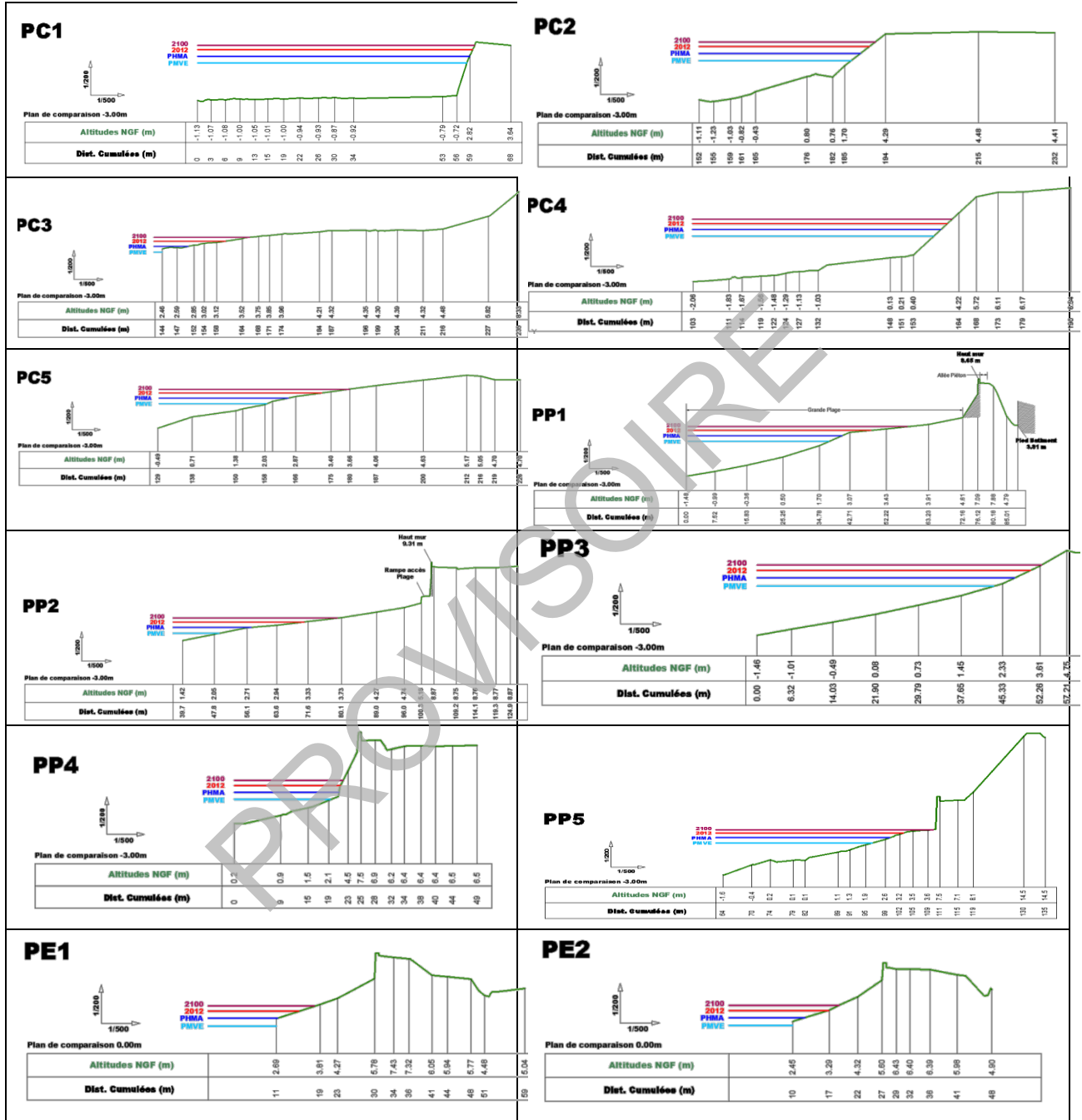
Num secteur	id troncon	Nom	Type terrain arriere	nature defense	type defense	parapet	longueur	Cote arase (NGF)	Etat classif	Niveau marin statique + 20cm	Niveau marin statique + 60cm	Z ouvrage retenu	Franchis-sabilité evt de ref. + 20 cm	Etat retenu evt de ref. +20 cm
1	ART	Digue de l'Artha	Mer	Brise lame	Maçonné +	sans	274	5.87	Moyen	3.08	3.68	5.87	-2.59	2 Breches 50m (musoir ouest et
2	SOC	Digue de Socoa	Mer	Brise lame	Maçonné +	sans	426	6.125	Moyen	3.08	3.68	6.125	-2.845	Breche de 100m au musoir
3	CIB01	Digue du port de Ciboure	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	sans	1286	4.05	Moyen	3.08	3.68	4.05	-0.77	
4	CIB02	Digue du Trinka	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	sans	72	6.3	Moyen	3.08	3.68	6.3	-3.02	Breche 50 m
5	CIB03	Remparts du fort de Socoa	Mer	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	sans	128	>6.00	Moyen	3.08	3.68	>6.00	NA	
6	CIB04	Falaises de Ciboure	Falaise	Falaise	Naturel	sans	250	>6.00	Moyen	3.08	3.68	>6.00	NA	
7	CIB05RG	Parking Ciboure - Embouchure	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Enrochement	sans	641	4.25	Satisfais	3.08	3.68	4.25	-0.97	
8	UNT01RG	Digue de l'Untxin Rive Gauche	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	avec	239	3.57	Moyen	3.08	3.68	3.57	-0.29	
9	UNT02RG	Plage de l'Untxin Rive Gauche	Même niveau	Plage	Naturel	sans	192	3.57	Satisfais	3.08	3.68	3.57	-0.29	
10	UNT03RG	Digue de l'Untxin Rive Gauche	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	avec	281	3.53	Moyen	3.08	3.68	3.53	-0.25	
11	UNT04RG	Vasières de l'Untxin Rive Gauche	Même niveau	Vasière	Naturel	sans	465	3.52	Moyen	3.08	3.68	3.52	-0.24	
12	UNT05RD	Lycée maritime	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Enrochement	sans	131	NA	Moyen	3.08	3.68	NA	NA	
13	UNT06RD	Lycée maritime - cale	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Enrochement	sans	34	NA	Moyen	3.08	3.68	NA	NA	
14	UNT07RD	VVF Socoa	Dénivelé	Ouvrage Longitudinale	Végétalisé	sans	326	NA	Satisfais	3.08	3.68	NA	NA	
15	UNT08RD	Prom-Pierre Larretche	Dénivelé	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	avec	192	3.52	Satisfais	3.08	3.68	3.52	-0.24	
16	UNT09RD	Escalier Rive Droite	Dénivelé	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	sans	85	3.53	Satisfais	3.08	3.68	3.53	-0.25	
17	UNT10RD	Digue de l'Untxin RD	Dénivelé	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	avec	265	3.52	Moyen	3.08	3.68	3.52	-0.24	
18	UNT11RD	Digue de l'Untxin RD	Même niveau	Epi	Enrochement	sans	308	NA	Moyen	3.08	3.68	NA	NA	
19	CIB06PL	Plage de Ciboure RD Untxin	Dénivelé	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	avec	201	4.31	Moyen	3.08	3.68	4.31	-1.03	
20	CIB07ENR	falaise Ciboure	Dénivelé	Falaise	Enrochement	avec	1014	>6.00	Moyen	3.08	3.68	>6.00	NA	
21	CIB08PL	Plage Ciboure RG Nivelle	Dénivelé	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	avec	137	4.3	Moyen	3.08	3.68	4.3	-1.02	Breche de 50 m
22	CIB09PORT	RG embouchure Nivelle	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	avec	228	4.3	Moyen	3.08	3.68	4.3	-1.02	
23	CIB10PORT	Quai Maurice Ravel	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	avec	124	4.3	Moyen	3.08	3.68	4.3	-1.02	
24	CIB11PORT	Port de Laraldenia / M. Ravel	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Enrochement	sans	51	4.15	Moyen	3.08	3.68	4.15	-0.87	
25	CIB12PORT	Port de Laraldenia / F. Turnaco	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	sans	318	5.1	Moyen	3.08	3.68	5.1	-1.82	
26	CIB13PORT	presqu'île des Recollets	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Enrochement	sans	72	6.0	Moyen	3.08	3.68	6.05	-2.77	
27	CIB14PORT	Quai Pascal Elissalt	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	sans	226	4.4	Moyen	3.08	3.68	4.4	-1.12	
28	CIB15PORT	La Nivelle Rive Gauche	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	sans	279	3.05	Moyen	3.08	3.68	3.05	0.23	
29	CIB16PORT	La Nivelle Rive Gauche -	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	avec	199	4.15	Moyen	3.08	3.68	4.15	-0.87	
30	NIV01	La Nivelle Rive Gauche - Golf	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Enrochement	sans	1405	3.63	Moyen	3.08	3.68	3.63	-0.35	
31	NIV02	La Nivelle Rive Droite - Urdazuri	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Enrochement	avec	1735	3.63	Moyen	3.08	3.68	3.63	-0.35	
32	SIDL01PORT	Quai du General Leclerc	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	sans	353	3.63	Moyen	3.08	3.68	3.63	-0.35	
33	SIDL02PORT	Quai de l'Infante	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	sans	165	3.63	Moyen	3.08	3.68	3.63	-0.35	
34	SIDL03PORT	Digue port l'embouchure	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Maçonné +	avec	140	3.65	Moyen	3.08	3.68	3.65	-0.37	
35	DIG01SIDL	Digue de l'embouchure	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	sans	125	NA	Moyen	3.08	3.68	NA	NA	
36	DIG02SIDL	Embouchure de la Nivelle	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Enrochement	sans	103	2.82	Moyen	3.08	3.68	2.82	0.46	
37	EPI01SIDL	Epi de l'Infante	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Enrochement	sans	123	2.82	Moyen	3.08	3.68	2.82	0.46	
38	S1SIDL	Secteur 1 seuil de garantie SIDL	Plus Bas	Ouvrage Longitudinale	Maçonné +	avec	526	5.86	Moyen	3.08	3.68	5.86	-2.58	Breche de 50 m à l'ouest du tronçon
39	S2SIDL	Secteur 2 seuil de garantie SIDL	Plus Bas	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	avec	171	6.33	Moyen	3.08	3.68	6.33	-3.05	
40	S3SIDL	La Pergola	Même niveau	Ouvrage Longitudinale	Berlinois+enroc	sans	179	4.87	Moyen	3.08	3.68	4.87	-1.59	
41	DIGCHEV	Digue aux Chevaux	Mer	Epi	Enrochement	sans	180	3	Moyen	3.08	3.68	3	0.28	
42	S4SIDL	Secteur 4 seuil de garantie SIDL	Plus Bas	Ouvrage Longitudinale	Maçonné +	avec	974	5.1	Moyen	3.08	3.68	5.1	-1.82	Breche de 50 m au niveau de la rue
43	STEBARB	Digue de Sainte Barbe	Mer	Brise lame	Maçonné	sans	189	4.11	Moyen	3.08	3.68	4.11	-0.83	Ruine
44	FAL_STEBA	Falaise de Sainte Barbe	Falaise	Falaise	Naturel	sans	2001	>10	Moyen	3.08	3.68	>10	NA	
45	ERRO01	Plage Ouest Eromardie	Falaise	Ouvrage Longitudinale	Enrochement	sans	442	>10	Moyen	3.08	3.68	>10	NA	
46	ERRO02	Plage Centre Eromardie	Plus Bas	Ouvrage Longitudinale	Maçonné	avec	240	6.2	Mauvais	3.08	3.68	6.2	-2.92	Ruine
47	ERRO03	RG Debouché Ruisseau	Même niveau	Epi	Enrochement	sans	145	6.2	Moyen	3.08	3.68	6.2	-2.92	
48	ERRO04	RD Debouché Ruisseau	Même niveau	Epi	Enrochement	sans	132	6.2	Moyen	3.08	3.68	6.2	-2.92	
49	ERRO05	Plage Est Eromardie	Dénivelé	Ouvrage Longitudinale	Enrochement	sans	152	5.33	Moyen	3.08	3.68	5.33	-2.05	Ruine
50	ERRO06	Camping RG Ruisseau	Même niveau	berge	Naturel	sans	282	4.69	Moyen	3.08	3.68	4.69	-1.41	
51	ERRO07	Camping RD Ruisseau	Même niveau	berge	Naturel	sans	282	4.69	Moyen	3.08	3.68	4.69	-1.41	



## **Annexe 6 : Géométrie des ouvrages de protection côtiers**

PROVISOIRE

- PMVE : Pleine mer de vive eau
- PHMA : Plus haute marée astronomique
- 2012 : Niveau d'eau total calculé à la côte pour l'aléa 2012 (3,28 m NGF)
- 2100 : Niveau d'eau total calculé à la côte pour l'aléa 2100 (3,68 m NGF)

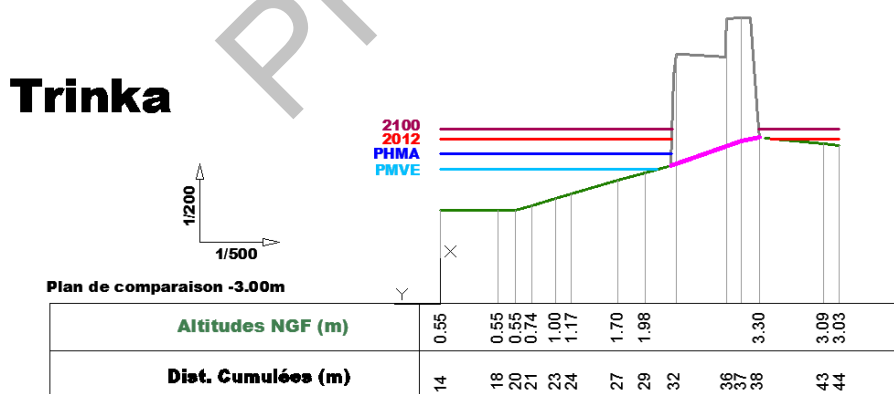
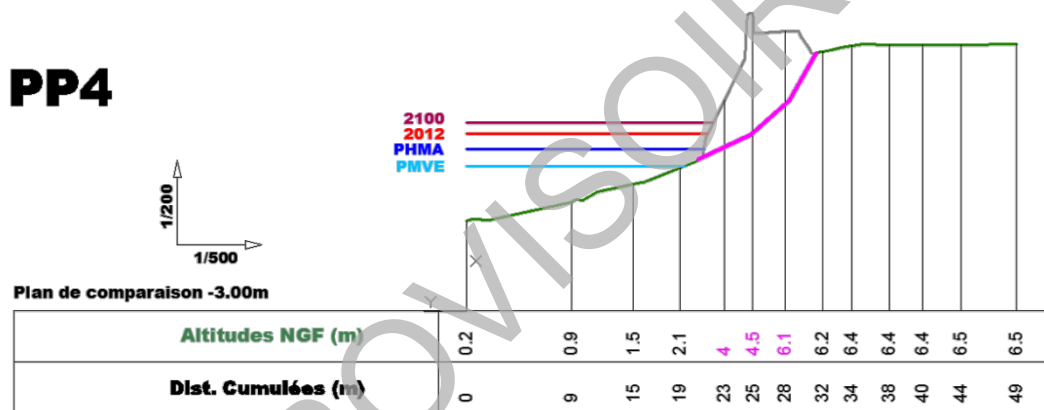
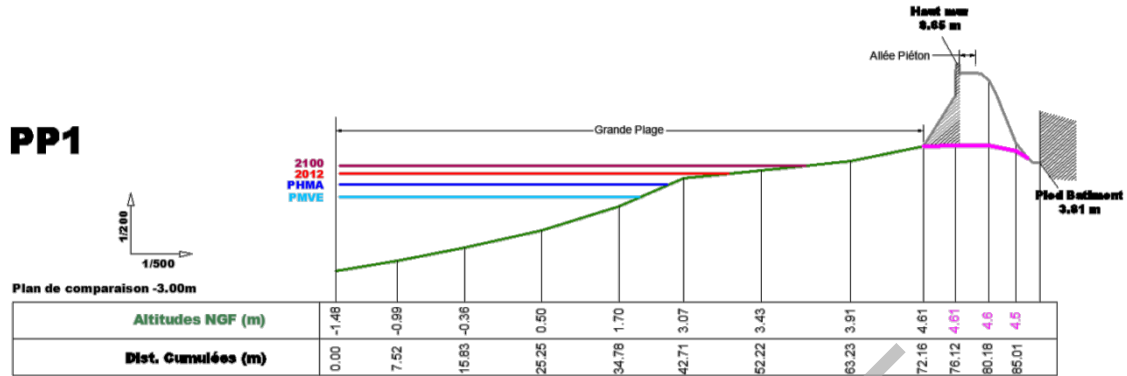


Cf. Figure 33 pour la localisation des profils

## **Annexe 7 : Scénario avec défaillance des ouvrages côtiers – géométrie de la brèche**

PROVISOIRE

- PMVE : Pleine mer de vive eau
- PHMA : Plus haute marée astronomique
- 2012 : Niveau d'eau total calculé à la côte pour l'aléa 2012 (3,28 m NGF)
- 2010 : Niveau d'eau total calculé à la côte pour l'aléa 2010 (3,68 m NGF)



*Cf. Figure 33 et Figure 34 pour la localisation des profils*