



---

DEPARTEMENT DES COTES D'ARMOR



# Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

CARACTERISATION DES ALEAS

## DIRECTION REGIONALE OUEST

Les Bureaux du Sillon  
8 avenue des Thébaudières  
CS 20232  
44815 SAINT HERBLAIN CEDEX

Tel. : 02 28 09 18 00  
Fax : 02 40 94 80 99

---

**DATE :** MARS 2021

**REF :** 4532502



Direction Régionale Ouest  
Les Bureaux du Sillon  
8 avenue des Thébaudières – CS 20232  
44815 SAINT HERBLAIN CEDEX

Tél. : 02 28 09 18 00  
Fax : 02 40 94 80 99

ARTELIA Direction Régionale Ouest Les Bureaux du Sillon 8 avenue des Thébaudières – CS 20232 44815 SAINT HERBLAIN CEDEX Tél. : 02 28 09 18 00 Fax : 02 40 94 80 99	N° Affaire	4532502	Etabli par	Vérifié par
	Date	MARS 2021	S. ROSTAN	Y. GASOWSKI
	Indice	1   2   3		

# Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

CARACTERISATION DES ALEAS

## SOMMAIRE

<b>PREAMBULE</b>	<b>3</b>
<b>RAPPELS</b>	<b>3</b>
<b>PHASAGE</b>	<b>3</b>
<b>1 INTRODUCTION</b>	<b>4</b>
1.1 PRESENTATION DES ALEAS	4
1.2 ALEA DE REFERENCE	6
1.3 CHOIX DE L'ALEA DE REFERENCE DANS LE CAS DES DEBORDEMENTS	6
1.4 CARACTERISATION DE L'ALEA	7
<b>2 SUBMERSION MARINE PAR FRANCHISSEMENT</b>	<b>9</b>
2.1 GENERALITES	9
2.2 PRESENTATION DES PARAMETRES	9
2.2.1 NIVEAUX D'EAU	9
2.2.1.1 Niveau de référence	9
2.2.1.2 Niveau marin SWL	10
2.2.1.3 Surcote	10
2.2.2 ETAT DE MER	11
2.2.2.1 Hauteur significative de houle	11
2.2.2.2 Période de pic	11
2.3 ANALYSE DE LA HOULE	12
2.3.1 DONNEES EXISTANTES	12
2.3.2 ANALYSE DES DONNEES	13
2.3.2.1 L'échantillonnage	13
2.3.2.2 La dépendance entre $H_{m0}$ et le niveau marin	15
2.3.2.3 Période de retour conjointe	16
2.4 MODELISATION DE LA HOULE	18
2.4.1 EVENEMENTS HISTORIQUES CONSIDERES	18
2.4.2 LOGICIEL UTILISE	18
2.4.3 FORÇAGE	19
2.4.4 EXPORTS DU MODELES	20
2.5 FRANCHISSEMENT PAR PAQUETS DE MER	21
2.5.1 INTRODUCTION	21
2.5.2 TYPOLOGIE DES SITES	21
2.5.2.1 Erquy	21
2.5.2.2 Pléneuf-Val-André	24
2.5.2.3 Camping (Erquy) et Golf (Pléneuf-Val-André)	26
2.5.3 METHODOLOGIE POUR LE CALCUL DES DEBITS DE FRANCHISSEMENT	27
2.5.3.1 Méthodologie et calculs	27
2.5.3.2 Paramètre du déferlement	28
2.5.3.3 Facteurs de correction	29
2.5.3.4 Cycle de marées	29
2.6 DEBITS DE FRANCHISSEMENT	31
2.6.1 HYDROGRAMMES DE FRANCHISSEMENT (CONDITIONS AUX LIMITES)	34
2.6.2 MODELISATION HYDRAULIQUE	38
2.6.2.1 Logiciel HEC-RAS	38
2.6.2.2 Construction du modèle	38
2.6.3 CONSTRUCTION DU MODELE	39

# Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

CARACTERISATION DES ALEAS

<b>3</b>	<b>SUBMERSION MARINE PAR DEBORDEMENT</b>	<b>42</b>
3.1	CONDITIONS AUX LIMITES	42
3.2	MODELISATION HYDRAULIQUE	43
<b>4</b>	<b>INONDATION FLUVIALE</b>	<b>44</b>
4.1	COURS D'EAU	44
4.2	ETUDE HYDROLOGIQUE	45
4.3	MODELISATION HYDRAULIQUE	48
4.3.1	LA FLORA	48
4.3.2	LE VAU BOURDONNET	48
4.3.3	LE BIGNON	48
4.3.4	L'ISLET	49
4.3.5	LE NANTOIS	49
4.3.6	LE VAL	49
4.3.7	CONDITIONS AUX LIMITES	50
<b>5</b>	<b>RECU DU TRAIT DE COTE PAR EROSION</b>	<b>52</b>
5.1	DEFINITION DU RECU DU TRAIT DE COTE	52
5.2	METHODOLOGIE	52
5.2.1	PRINCIPES	52
5.2.2	PRISE EN COMPTE DE L'ANTHROPISATION	53
5.2.3	INTEGRATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	56
5.2.4	SYNTHESE DE LA METHODOLOGIE	56
5.3	RESULTATS	58
<b>6</b>	<b>CARTES D'ALEAS</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>62</b>
<b>ANNEXE 1</b>	<b>Modélisation des phénomènes de houle</b>	<b>63</b>
<b>ANNEXE 2</b>	<b>Cartographie de l'évolution du trait de côte</b>	<b>64</b>
<b>ANNEXE 3</b>	<b>Cartographie des aléas</b>	<b>65</b>

## TABLEAUX

Tabl. 1 -	Caractérisation des aléas	7
Tabl. 2 -	Conditions de surclassement de l'aléa	8
Tabl. 3 -	Eléments de Références Altimétriques Maritimes issues du SHOM (2016)	10
Tabl. 4 -	Typologie de la plage du Bourg à Erquy	21
Tabl. 5 -	Typologie de la plage de Caroual à Erquy	23
Tabl. 6 -	Typologie de la plage du Val André à Pléneuf-Val-André	24
Tabl. 7 -	Typologie du camping (Plage St-Pabu) et du golf (Plage de Nantois)	26
Tabl. 8 -	Valeurs du coefficient de réduction de rugosité $\gamma_f$	29
Tabl. 9 -	Caroual (Etat actuel) –Volume de franchissement	31
Tabl. 10 -	Pléneuf Val André (Etat actuel) –Volume de franchissement	32
Tabl. 11 -	Camping et golf (Etat actuel) –Volume de franchissement	32
Tabl. 12 -	Erquy (Etat actuel) –Volume de franchissement	32
Tabl. 13 -	Caroual (Changement climatique) –Volume de franchissement	33
Tabl. 14 -	Pléneuf Val André (Changement climatique) –Volume de franchissement	33

## Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

### CARACTERISATION DES ALEAS

Tabl. 15 - Camping et Golf (Changement climatique) –Volume de franchissement	33
Tabl. 16 - Erquy (Changement climatique) –Volume de franchissement	33
Tabl. 17 - Evènements à prendre en compte dans les simulations	34
Tabl. 18 - Coefficient de rugosité	39
Tabl. 19 - Stations hydrométriques proches	45
Tabl. 20 - Calcul du débit décennal	46
Tabl. 21 - Calcul du débit cinquantennal	46
Tabl. 22 - Débit décennal (Q10)	47
Tabl. 23 - Débit cinquantennal (Q50)	47
Tabl. 24 - Débit centennal (Q100)	47
Tabl. 25 - Evolution du trait de côte sur la commune de Erquy	59
Tabl. 26 - Evolution du trait de côte sur la commune de Pléneuf-Val-André	60

## FIGURES

Fig. 1. Exemple de submersion (sans franchissement)	4
Fig. 2. Exemple de franchissement	5
Fig. 3. Inondation par cours d'eau (source www.eaufrance.fr)	5
Fig. 4. Erosion au nord de la plage de Caroual	5
Fig. 5. Démarche du choix de l'événement naturel de référence	6
Fig. 6. Schéma illustrant les principaux mécanismes à l'origine de l'élévation du niveau marin dans le cas d'une tempête	11
Fig. 7. Représentation de la hauteur significative de houle - www.researchgate.net	11
Fig. 8. Emplacement des points de sortie HOMERE et du marégraphe de Saint-Malo	12
Fig. 9. Point HOMERE 66282 (au large) : série temporelle de la hauteur significative des états de mer	13
Fig. 10. Marégraphe de Saint-Malo : série temporelle du niveau marin	13
Fig. 11. Identification des tempêtes par la fonction réponse	14
Fig. 12. Hm0 au point HOMERE 66282 (au large) par rapport au niveau marin du marégraphe de Saint-Malo	15
Fig. 13. Chi-plot : visualisation de la dépendance houle / niveau marin	16
Fig. 14. Période de retour conjointe – analyse basée sur le point HOMERE 66282 (au large)	17
Fig. 15. Période de retour conjointe – analyse basée sur le point HOMERE 55103 (proche de la côte)	17
Fig. 16. Domaines de calcul pour la propagation des états de mer du large vers le site d'étude. Modèle du large en rouge, modèle intermédiaire en vert et les deux modèles côtiers en bleu clair et foncé	19
Fig. 17. Emplacement des points de calculs dans la commune d'Erquy	20
Fig. 18. Emplacement des points de calculs dans la commune de Pléneuf-Val-André	20
Fig. 19. Délimitation des tronçons homogènes – Erquy – Plage du Bourg	22
Fig. 20. Délimitation des tronçons homogènes – Erquy – Plage Caroual	23
Fig. 21. Délimitation des tronçons homogènes – Pléneuf-Val-André – Plage du Val André	25
Fig. 22. Délimitation des tronçons homogènes – Camping – Plage de St-Pabu	26
Fig. 23. Délimitation des tronçons homogènes – Golf – Plage de Nantois	27
Fig. 24. Graphe représentatif des niveaux marins et des débits de franchissement sur deux cycles de marées à Caroual au niveau du tronçon 3	30
Fig. 25. Graphe représentatif des débits de franchissement sur deux cycles de marées – Erquy – Etat actuel	34
Fig. 26. Graphe représentatif des débits de franchissement sur deux cycles de marées – Erquy – Avec CC	35
Fig. 27. Graphe représentatif des débits de franchissement sur deux cycles de marées – Camping (Plage St-Pabu) et Golf (Plage de Nantois) – Etat actuel	35
Fig. 28. Graphe représentatif des débits de franchissement sur deux cycles de marées – Camping (Plage St-Pabu) et Golf (Plage de Nantois) – avec CC	36
Fig. 29. Graphe représentatif des débits de franchissement sur deux cycles de marées – Plage du Val André – Etat actuel	36
Fig. 30. Graphe représentatif des débits de franchissement sur deux cycles de marées – Plage du Val André – avec CC	37
Fig. 31. Graphe représentatif des débits de franchissement sur deux cycles de marées – Caroual – Etat actuel	37
Fig. 32. Graphe représentatif des débits de franchissement sur deux cycles de marées – Caroual – Avec CC	38
Fig. 33. Modèle de franchissement à Erquy	40
Fig. 34. Modèle de franchissement à Caroual	40
Fig. 35. Modèle de franchissement à Pléneuf-Val-André	41
Fig. 36. Modèle de franchissement du Golf et du Camping	41
Fig. 37. Niveau centennal du SHOM	42
Fig. 38. Marégramme imposé comme condition limite	43
Fig. 39. Emplacement des bassins versants	44
Fig. 40. Modèle hydraulique de la Flora : extrait HEC RAS	48
Fig. 41. Modèle hydraulique du Vau Bourdonnet : extrait HEC RAS	48
Fig. 42. Modèle hydraulique du Bignon : extrait HEC RAS	49

**Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy**

## CARACTERISATION DES ALEAS

---

Fig. 43.	Modèle hydraulique du Val : extrait HEC RAS	50
Fig. 44.	Hydrogramme Q100 pour le Ruisseau du Val	50
Fig. 45.	Débits centennaux en entrée de chaque sous-bassin	51
Fig. 46.	Côte basse meuble sur la plage du Portuais	52
Fig. 47.	Enrochement sur la plage du Guen	53
Fig. 48.	Enrochement sur la plage de Saint-Pabu	54
Fig. 49.	Estimation du taux moyen de recul annuel en présence d'ouvrages de protection	55
Fig. 50.	Schéma théorique de l'approche de Bruun	56
Fig. 51.	Exemple d'un découpage par tronçon au niveau du cap d'Erquy	57
Fig. 52.	Représentation de l'évolution du trait de côte à diverses années au niveau de la plage du Guen	57
Fig. 53.	Evolution du trait de côte de l'Anse du Pisso	58

## GLOSSAIRE ET ABREVIATIONS

	Plan de Prévention des Risques inondations
<b>PPRi</b>	<p>Plan de prévention des risques spécifique aux inondations, émanant de l'autorité publique. Il évalue les zones qui subissent des inondations et instaure des solutions techniques, juridiques et humaines pour remédier aux conséquences néfastes pour la population et les activités humaines exposées.</p> <p>C'est un document cartographique et réglementaire après enquête publique et arrêté préfectoral. Il aide à la stratégie d'aménagement de la commune sur laquelle il s'applique.</p>
<b>Aléa</b>	Conséquence physique résultant d'un scénario d'événements. La transcription spatiale de l'aléa permet de le représenter et de le clarifier. L'aléa est caractérisé par son occurrence et son intensité. Il peut être qualifié par différents niveaux (faible, moyen, fort).
<b>Aménagement hydraulique</b>	un aménagement hydraulique participe à la protection d'une zone protégée contre les inondations ou les submersions, mais comprend des ouvrages qui ne protègent pas directement la zone protégée parce qu'ils sont situés en amont de cette zone (parfois à plusieurs kilomètres) : il s'agit principalement d'ouvrages de rétention d'une partie des crues, comme les barrages écrêteurs de crue ou les casiers de rétention de crue.
<b>Bassin versant</b>	Territoire qui draine l'ensemble de ses eaux (de ruissellement et d'infiltration) vers un exutoire commun, cours d'eau ou mer.
<b>Géomorphologie</b>	Science qui a pour objet la description des formes du relief terrestre et l'explication des processus qui les façonnent.
<b>GEMAPI</b>	<p>Gestion de l'Eau, des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations.</p> <p>Compétence attribuée aux communes quant à la gestion des cours d'eau, de la qualité des eaux et la prévention des risques d'inondation.</p>
<b>Enjeux</b>	<p>Personnes, biens, activités, moyens, patrimoine, etc. susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.</p> <p>Les enjeux s'apprécient aussi bien pour le présent que pour le futur. Les biens et activités peuvent être évalués monétairement, les personnes exposées dénombrées, sans préjuger toutefois de leur capacité à résister à la manifestation du phénomène pour l'aléa retenu.</p>
<b>MNT</b>	Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) est une représentation numérique simplifiée de la surface d'un territoire, en coordonnées altimétriques (le plus souvent exprimées en mètres par rapport au niveau de la mer), calées dans un repère géographique.

## Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

CARACTERISATION DES ALEAS

<b>Niveau de protection</b>	Définit par l'article R.214-119-1 du code de l'environnement. C'est la hauteur maximale définie par le gestionnaire que peut atteindre l'eau sans que la zone protégée soit inondée en raison du débordement, du contournement, ou de la rupture des ouvrages de protection quand l'inondation provient directement du cours d'eau ou de la mer. Le niveau de protection est apprécié au regard, soit d'un débit du cours d'eau en crue ou d'une cote de niveau atteinte par celui-ci, soit d'un niveau marin pour le risque de submersion marine.
<b>Niveau marin de référence</b>	Niveau marin associé à l'événement de référence.
<b>Réseau hydrographique</b>	Ensemble des éléments naturels (rivières) ou artificiels (réseau), drainant un bassin versant.
<b>Risque</b>	Le risque est le résultat du croisement de l'aléa et d'un enjeu vulnérable. Atteintes physiques potentielles à des personnes, des biens, activités, patrimoine, ... consécutives à la survenue d'un aléa.
<b>Rugosité</b>	La rugosité d'un écoulement est caractérisé par le coefficient de Strickler intervenant dans la formule empirique de Manning-Strickler calculant la vitesse moyenne d'un liquide s'écoulant en surface libre, c'est-à-dire dans un conduit où le fluide ne remplit pas complètement la section ou dans un canal ouvert.
<b>Système de protection</b>	Système comprenant l'ensemble des ouvrages (les digues et les divers ouvrages contributifs à la protection contre les inondations), des dispositifs de régulation des écoulements (fossés de drainage, pompes...), des organes de manœuvre et des éléments du relief qui concourent à la protection. Il présente une continuité topographique permettant aux ouvrages de remplir leur fonction de protection des enjeux situés dans la zone protégée assignée. (« <i>Etude de dangers de systèmes d'endiguement – Concepts et principes de réalisation des études</i> » – Juin 2018, CEREMA – p.22)
<b>Verrou hydraulique</b>	Obstacle, anthropique (barrage, écluse, retenue...) ou naturel (seuil, rétrécissement soudain de la largeur du lit mineur, lithologie du lit du cours d'eau...), à l'écoulement d'un cours d'eau.
<b>Zone basse</b>	Zone dont la topographie est située à une altitude inférieure à un niveau marin de référence.
<b>Zone protégée</b>	Aire géographique que le gestionnaire GEMAPI souhaite protéger contre les crues et/ou les submersions marines.

## **PREAMBULE**

### **RAPPELS**

Le Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondations est un cas particulier du Plan de Prévention des Risques Naturels prévisible (PPRN). C'est un outil de gestion des risques naturels qui cartographie les risques de submersion marine, d'érosion et d'inondations fluviales, et qui réglemente l'urbanisation dans les zones exposées.

Le périmètre de l'étude couvre le territoire des communes de Pléneuf-Val-André et d'Erquy. L'étude comprend également les bassins versants des principaux cours d'eau traversant les communes.

Les communes littorales d'Erquy et de Pléneuf-Val-André sont traversées par différents cours d'eau, les principaux étant la Flora et le Bignon sur Pléneuf-Val-André, le Val, le Vau Bourdonnet et l'Islet sur Erquy.

### **PHASAGE**

La mission de base se décompose en deux phases :

- Phase 1 : Analyse du site
- Phase 2 : Caractérisation des aléas

Selon les conclusions de la phase 2, trois autres phases pourraient être menées :

- Phase 3 : Définition et cartographie des enjeux et de la vulnérabilité
- Phase 4 : Cartographie des zonages réglementaires – Élaboration du PPRL-i avant enquête publique
- Phase 5 : Assistance au maître d'ouvrage pendant l'enquête publique

**Le présent document traite de la phase 2.**

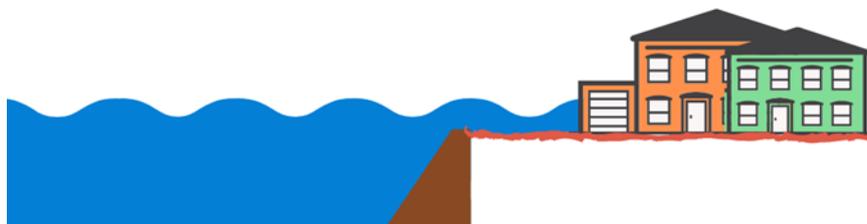
# 1 INTRODUCTION

## 1.1 PRESENTATION DES ALEAS

Plusieurs types d'aléas sont étudiés lors d'un PPRL-i :

- Submersion marine : par débordement et par franchissement
  - Franchissement par paquets de mer liés aux vagues, lorsqu'après déferlement de la houle, les paquets de mer dépassent la côte de crête des ouvrages ou du terrain naturel ;
  - Débordement lorsque le niveau marin est supérieur à la côte de crête des ouvrages ou du terrain naturel ;
  - Rupture ou à destruction d'un cordon dunaire à la suite d'une érosion intensive ;
  - Rupture de digues ou d'ouvrages de protection, lorsque les terrains situés en arrière sont en dessous du niveau de la mer
- Inondations fluviales : débordement des cours d'eau passant par les communes concernées
- Erosion littorale ou recul du trait de côte. Cet aléa désigne le déplacement vers l'intérieur des terres de la limite entre le domaine marin et le domaine continental. 3 types de risques sont étudiés:
  - La rupture de défenses côtières naturelles (généralement des cordons dunaires littoraux) lors de tempêtes littorales entraînant la submersion des terrains situés en retrait ;
  - Le sapement des ouvrages de protection pouvant également résulter en une submersion des terrains protégés;
  - La perte de terrains de valeur (économique, sociale ou écologique).

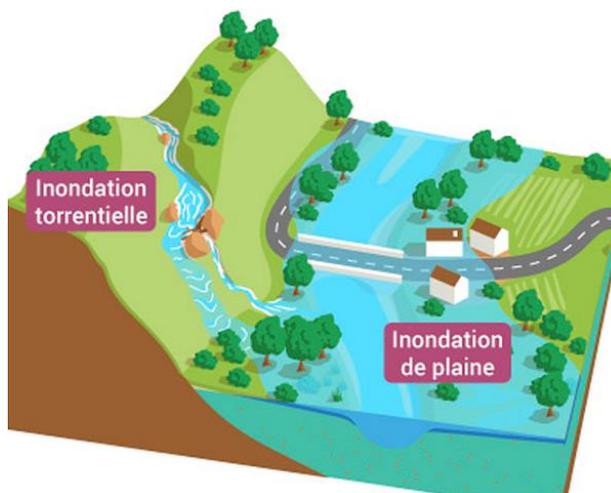
Les figures suivantes présentent les différents aléas étudiés.



**Fig. 1. Exemple de submersion (sans franchissement)**



**Fig. 2. Exemple de franchissement**



**Fig. 3. Inondation par cours d'eau (source [www.eaufrance.fr](http://www.eaufrance.fr))**



**Fig. 4. Erosion au nord de la plage de Caroual**

## 1.2 ALEA DE REFERENCE

La caractérisation des aléas se base sur le guide méthodologique: Plan de Prévention des Risques Littoraux, réalisé en mai 2014 par la Direction Générale de la Prévention des Risques - Service des Risques Naturels et Hydrauliques, et le décret PPRi : Modalités d'application du décret n° 2019-715 du 5 juillet 2019 relatif aux plans de prévention des risques concernant les « aléas débordement de cours d'eau et submersion marine ».

Extrait du décret PPRi :

« L'aléa de référence est déterminé à partir de l'événement le plus important connu et documenté ou d'un événement théorique de fréquence centennale, si ce dernier est plus important, combiné avec des scénarios de défaillance sur le système d'endiguement. Ceci vise à assurer au mieux la protection des personnes et des biens dans la durée, mais aussi l'information de chacun sur l'exposition de son habitation ou son activité à un risque d'inondation. »

## 1.3 CHOIX DE L'ALEA DE REFERENCE DANS LE CAS DES DEBORDEMENTS

L'approche présentée dans le guide méthodologique des PPR est utilisée pour définir l'aléa de référence.

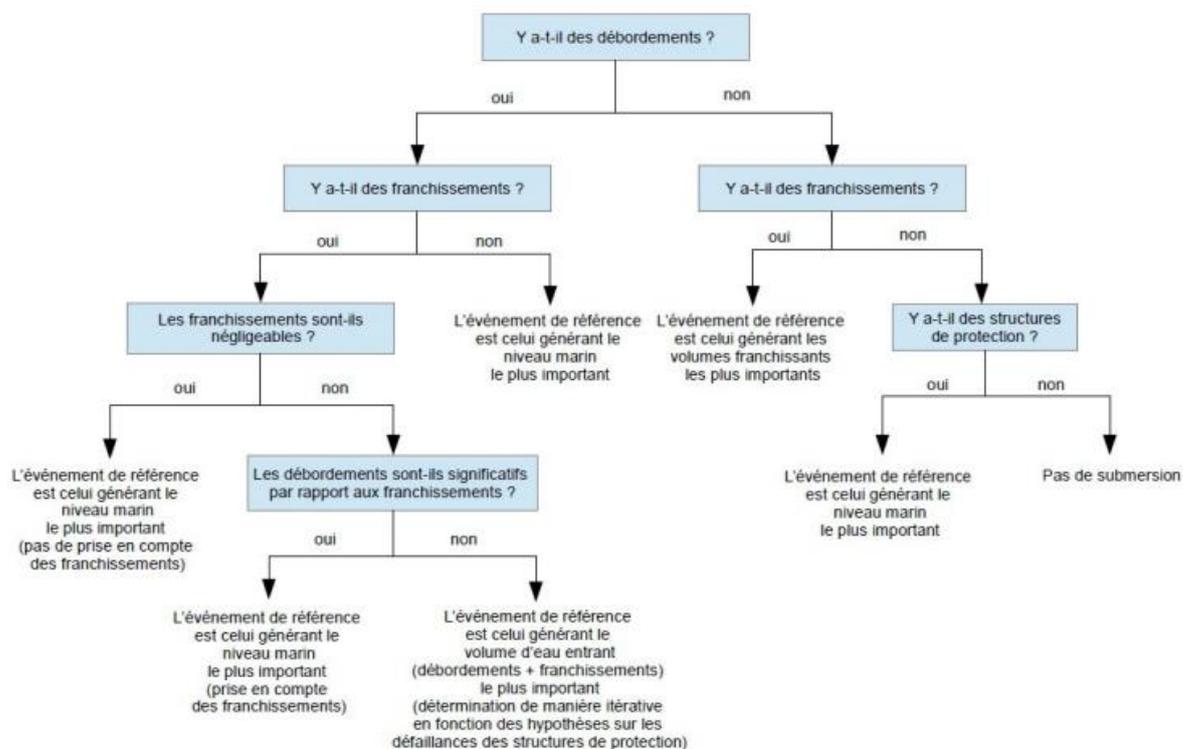


Fig. 5. Démarche du choix de l'événement naturel de référence

## 1.4 CARACTERISATION DE L'ALEA

Les classes d'aléas à considérer intègrent les paramètres de hauteur d'eau et de vitesse. Cette approche est différente de celle généralement utilisée dans les anciens PPR, où seule la hauteur d'eau était considérée.

La cartographie des aléas est basée sur la grille ci-dessous.

**Tabl. 1 - Caractérisation des aléas**

Hauteur	Vitesse	Aléa
Faible $H < 0.50 \text{ m}$	Faible ( $V < 0.2 \text{ m/s}$ )	Faible
	Moyenne $0.2 \text{ m/s} < V < 0.5 \text{ m/s}$	Moyen
	Forte ( $V > 0.5 \text{ m/s}$ )	Fort
Moyenne $0.50 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$	Faible $V < 0.2 \text{ m/s}$	Moyen
	Moyenne $0.2 \text{ m/s} < V < 0.5 \text{ m/s}$	Moyen
	Forte ( $V > 0.5 \text{ m/s}$ )	Fort
Forte $1 \text{ m} < H < 2 \text{ m}$	Faible $V < 0.2 \text{ m/s}$	Fort
	Moyenne $0.2 \text{ m/s} < V < 0.5 \text{ m/s}$	Fort
	Forte ( $V > 0.5 \text{ m/s}$ )	Très fort
Très forte $H > 2 \text{ m}$	Faible $V < 0.2 \text{ m/s}$	Très fort
	Moyenne $0.2 \text{ m/s} < V < 0.5 \text{ m/s}$	Très fort
	Forte ( $V > 0.5 \text{ m/s}$ )	Très fort

Un surclassement de l'aléa peut être envisagé selon la dynamique de l'inondation, les paramètres à prendre en compte sont exposés dans le tableau suivant.

## Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

CARACTERISATION DES ALEAS

**Tabl. 2 - Conditions de surclassement de l'aléa**

Hauteur	Dynamique		
	Lente	Moyenne	Rapide
$H < 0,5$ mètre	Faible	Modéré	Fort
$0,5 < H < 1$ mètre	Modéré	Modéré	Fort
$1 < H < 2$ mètres	Fort	Fort	Très fort
$H > 2$ mètres	Très fort	Très fort	Très fort

## 2 SUBMERSION MARINE PAR FRANCHISSEMENT

### 2.1 GENERALITES

La houle se caractérise par un système de vagues, et résulte de leur propagation sur un secteur donné. La houle arrivant en zone côtière va devoir dissiper son énergie accumulée au large.

Le principal mécanisme de dissipation de l'énergie des vagues réside dans le déferlement. Ce mécanisme est contrôlé par la profondeur et la morphologie de la côte (pente...).

Ce déferlement provoque des phénomènes de franchissement des ouvrages par « paquets de mer ». Selon la morphologie de la plage et de l'ouvrage, ces débits peuvent être importants et engendrent des inondations vers la zone protégée.

Pour estimer les débits de franchissements, plusieurs paramètres doivent être pris en considération, à savoir :

- Le niveau marin (SWL et SWL+Setup)
- La hauteur significative de houle, sa période et sa longueur d'onde
- La pente de la plage et la pente moyenne caractéristique
- La crête de l'ouvrage

Dans cette étude, la houle a été étudiée par modélisation. Les caractéristiques de houle ont alors été définies au niveau de la cote ce qui a permis de définir des débits de franchissements. Ces débits ont ensuite été utilisés dans un modèle hydraulique terrestre.

### 2.2 PRESENTATION DES PARAMETRES

#### 2.2.1 NIVEAUX D'EAU

##### 2.2.1.1 NIVEAU DE REFERENCE

Le niveau de nivellement général se situe au-dessus du zéro hydrographique (0 m ZH ou 0 m CM pour Côte Marine) qui correspond au niveau des plus basses mers.

Le guide du SHOM concernant les références altimétriques maritimes fournit l'écart entre le zéro hydrographique et le zéro du nivellement général pour les ports principaux du secteur. Les valeurs les plus récentes sont obtenues dans le dernier rapport du SHOM datant de 2016. Pour les ports de Dahouët (situé dans l'estuaire de la Flora) et d'Erquy, ces valeurs figurent ci-dessous.

## Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

CARACTERISATION DES ALEAS

**Tabl. 3 - Eléments de Références Altimétriques Maritimes issues du SHOM (2016)**

Lieu	Repère fondamental	Date	ZH/RF	RF/Réf	ZH/Réf	Réf
Erquy	N.R.K3Q3-51	1985	14,500	8,671	<b>-5,829</b>	IGN69
Dahouët	N.R.K3Q3-30	1985	13,360	7,494	<b>-5,866</b>	IGN69

Hypothèse : ZH/réf à Pléneuf-Val-André= ZH/réf à Erquy = -5.83 mIGN69

### 2.2.1.2 NIVEAU MARIN SWL

Le niveau de la mer SWL (Still Water Line) résulte de la conjugaison des trois phénomènes suivants :

- La marée astronomique ;
- Les surcotes et décotes ;
- L'élévation moyenne du niveau de la mer liée au réchauffement climatique.

### 2.2.1.3 SURCOTE

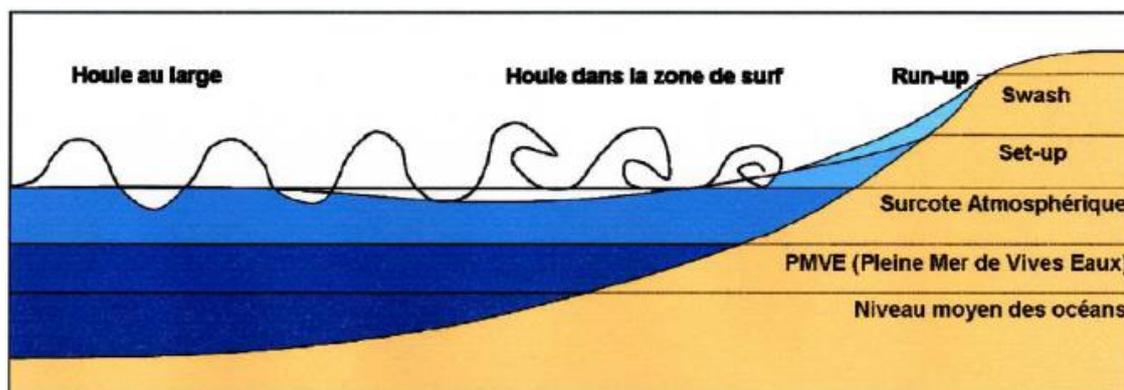
L'arrivée d'un important système dépressionnaire s'accompagne d'une élévation du niveau marin, selon trois processus principaux :

- La chute de pression atmosphérique entraîne une surélévation du niveau du plan d'eau ; une diminution d'un hectopascal équivaut approximativement à une élévation d'un centimètre de niveau marin,
- Le vent exerce une contrainte à la surface de l'eau générant une modification du plan d'eau (surcote ou décote ou « wind set-up ») et des courants,
- À l'approche des côtes, les vagues créées par la tempête déferlent. Elles transfèrent alors leur énergie sur la colonne d'eau, ce qui provoque une surélévation moyenne du niveau de la mer (surcote liée aux vagues ou "wave setup"), pouvant s'élever à plusieurs dizaines de centimètres.

On appelle « **surcote atmosphérique** » l'élévation du niveau de la mer causée par les deux premiers mécanismes. Le niveau moyen de la mer lors d'une tempête résulte de l'ensemble de ces contributions avec celles de la marée. Pour obtenir le niveau maximal atteint par la mer, il faut aussi tenir compte du jet de rive (« swash »), c'est à dire le flux et le reflux des vagues. On appelle "Run-up" l'altitude maximale atteinte.

Toutefois les deux derniers phénomènes, même s'ils ne sont pas négligeables, sont des phénomènes très locaux pour lesquels les surcotes associées sont très variables selon la position le long du littoral considéré. En effet les différentes morphologies du littoral (presqu'île, anse, baie) vont être plus ou moins sensibles à l'impact du vent et par conséquent à la création de vagues.

Ces mécanismes sont illustrés sur le schéma suivant :



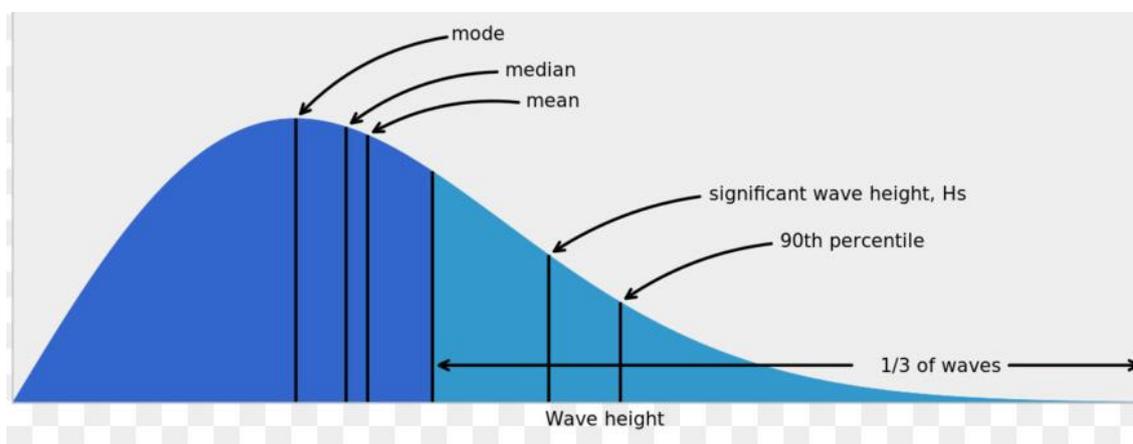
**Fig. 6.** Schéma illustrant les principaux mécanismes à l'origine de l'élévation du niveau marin dans le cas d'une tempête

## 2.2.2 ETAT DE MER

### 2.2.2.1 HAUTEUR SIGNIFICATIVE DE HOULE

Les vagues peuvent être définies par les grandeurs suivantes :

- Hauteur  $H_{m0}$  ou  $H_s$  (m) : hauteur significative spectrale des vagues, définie par  $H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$ , où  $m_0$  est le moment d'ordre 0 de la densité spectro-angulaire. Elle représente la moyenne des hauteurs (mesurées entre crête et creux) du tiers des plus fortes vagues.



**Fig. 7.** Représentation de la hauteur significative de houle - [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

### 2.2.2.2 PERIODE DE PIC

La période de pic est définie comme l'inverse de la fréquence la plus énergétique du spectre de l'état de mer après sommation directionnelle. Autrement dit, cette période est l'intervalle de temps entre deux crêtes ou creux successifs à un point fixe ;

Un paramètre associé à cette période, appelé période spectrale et noté  $T_{m-1,0}$ , sera utilisé dans le calcul d'autres paramètres tel que la longueur d'onde, le débit de franchissement et le paramètre du déferlement.

$T_{m-1,0}$ , est liée à  $T_p$  par la formule :  $T_{m-1,0} = T_p / 1.1$  .

## 2.3 ANALYSE DE LA HOULE

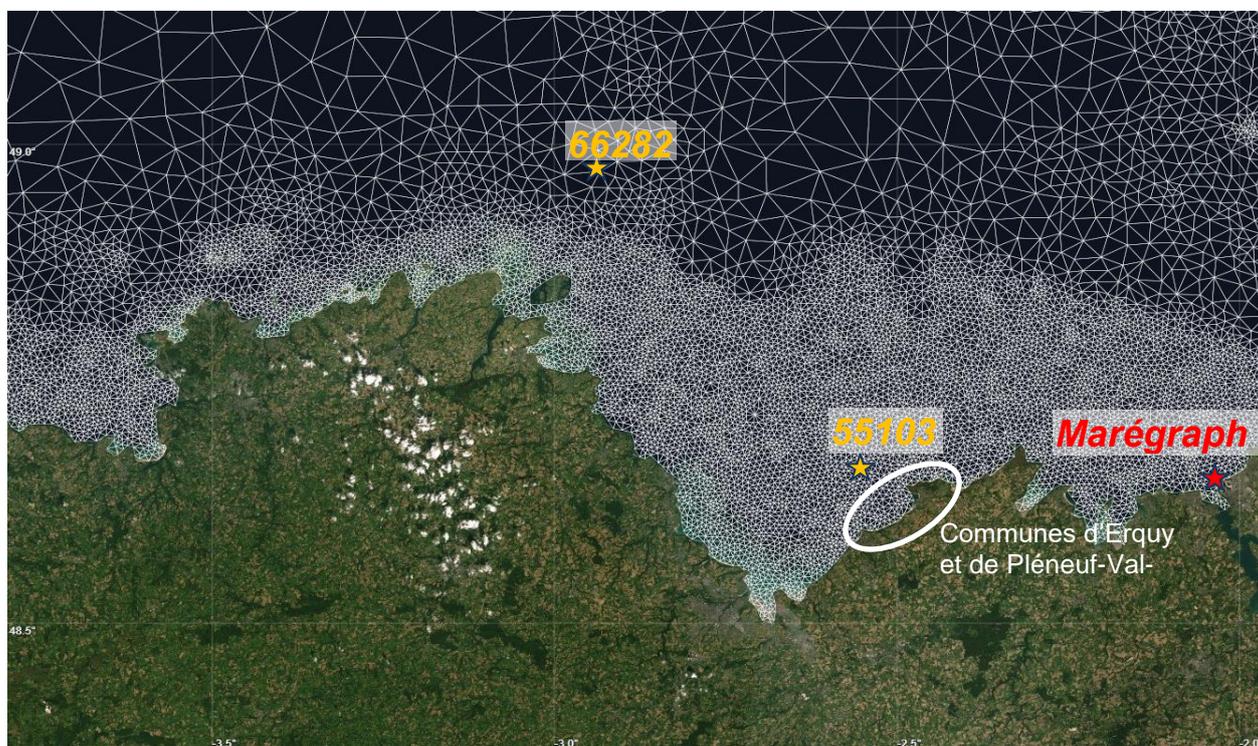
La modélisation de la houle est décrite en détail en Annexe 1, un résumé est présenté dans ce chapitre.

### 2.3.1 DONNEES EXISTANTES

La base de données HOMERE de l'Ifremer consiste en un ensemble de paramètres permettant de décrire les caractéristiques principales et l'évolution des conditions d'états de mer.

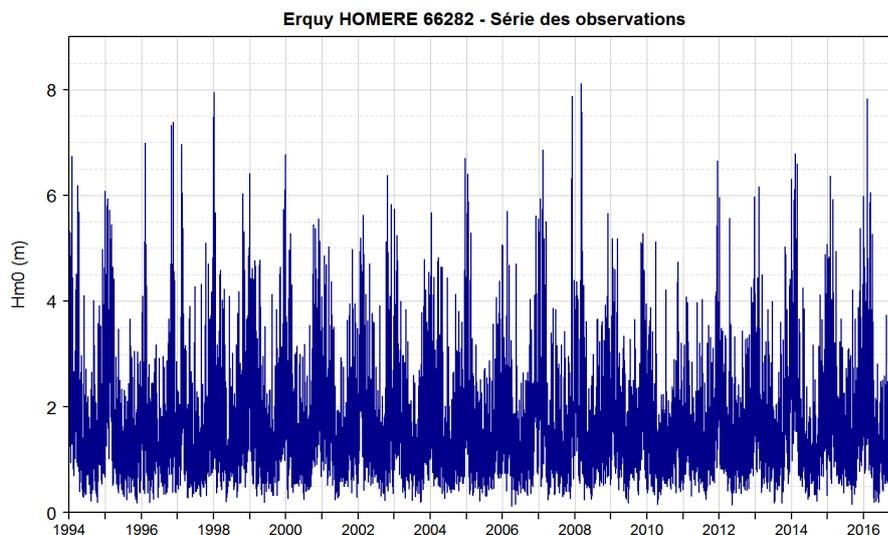
Cette base de données a été réalisée au moyen du modèle WAVEWATCH III (version 4.11) sur une grille déstructurée couvrant la zone Manche – Golfe de Gascogne et portant sur la période 1994 – 2016, c'est-à-dire 23 années.

L'image ci-après représentent les points de sortie issus de la base de données HOMERE les plus proches de la zone d'étude et le marégraphe de Saint-Malo.



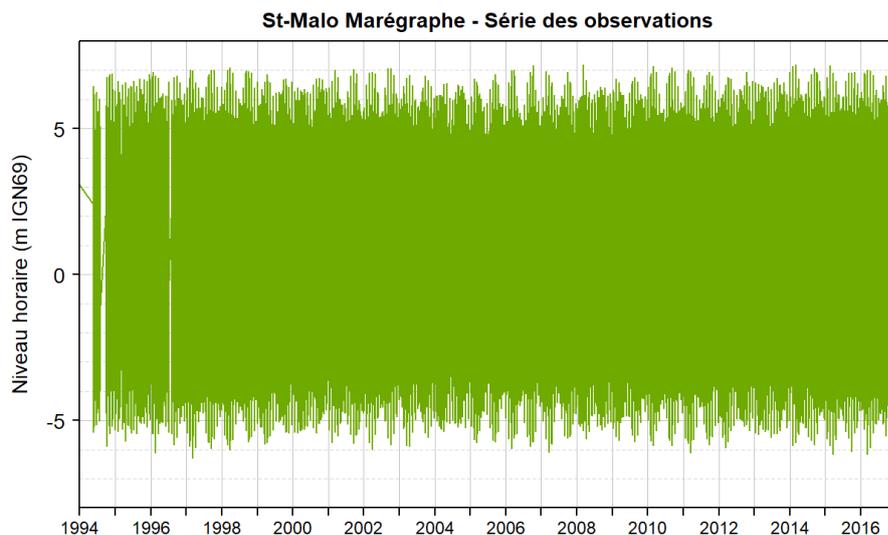
**Fig. 8. Emplacement des points de sortie HOMERE et du marégraphe de Saint-Malo**

Le type de données recueillies dans la base de données HOMERE est la série temporelle de la hauteur significative des états de mer au droit des points de sortie présentés ci-avant. Pour le point HOMERE 66282 le diagramme suivant présente ces données.



**Fig. 9. Point HOMERE 66282 (au large) : série temporelle de la hauteur significative des états de mer**

La série temporelle du niveau marin issu du marégraphe de Saint-Malo est donnée par le diagramme suivant.



**Fig. 10. Marégraphe de Saint-Malo : série temporelle du niveau marin**

## 2.3.2 ANALYSE DES DONNEES

### 2.3.2.1 L'ECHANTILLONNAGE

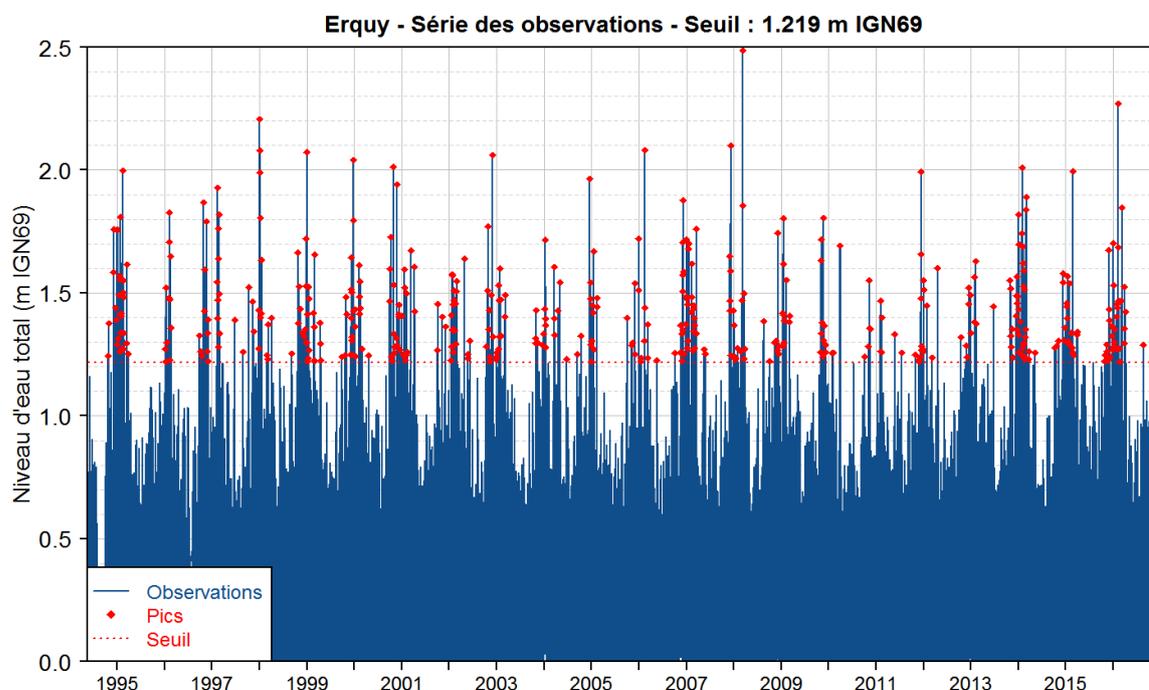
Ces données sont ensuite échantillonnées afin de retenir les évènements météo-océaniques (combinaison houle / niveau de mer) susceptibles de causer des franchissements et des submersions marines.

L'échantillonnage de la série temporelle conjointe de la hauteur de houle significative et du niveau de la mer servira ensuite à établir un échantillon sur lequel seront analysés :

- La dépendance entre la hauteur de houle significative et le niveau ;
- Les extrêmes univariés de houle et de niveau de mer (lois marginales) ;
- La distribution conjointe de hauteur de houle significative et niveau de mer.

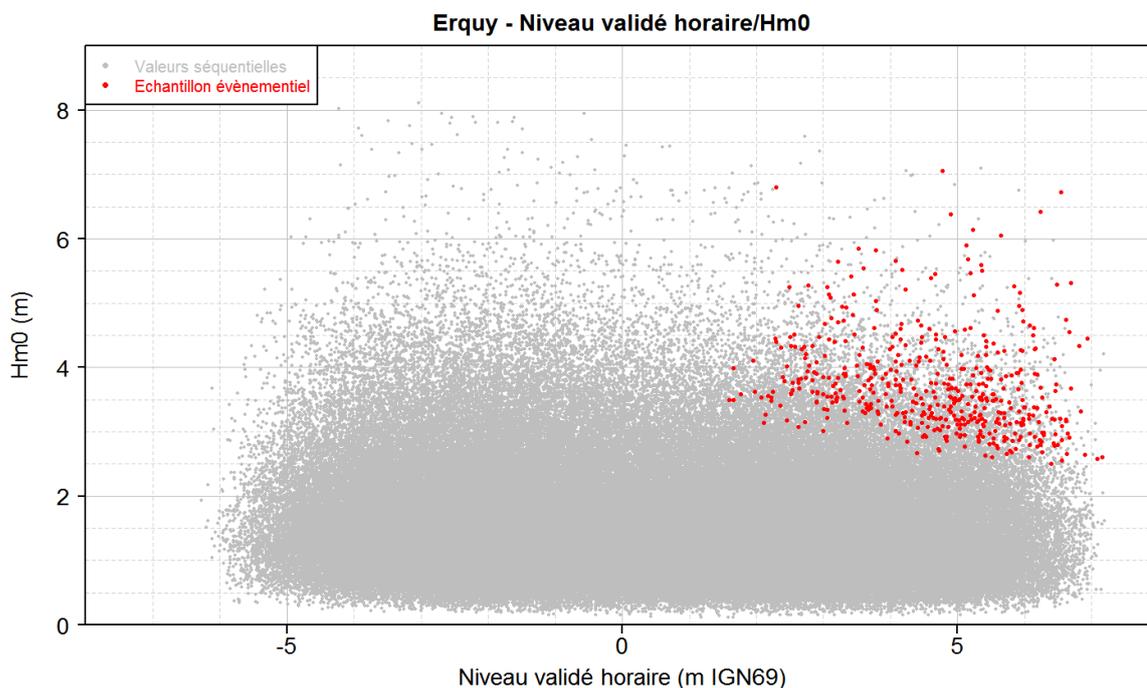
L'objectif est d'approcher la valeur de la hauteur de houle significative au droit du littoral d'étude ce qui permet de prendre en compte la direction et la période de la houle.

Une formule de réfraction analytique simple permet d'approcher la valeur de la hauteur de houle significative spectrale ( $H_m0$ ) au droit du littoral d'étude, ce qui permet la prise en compte de la direction et de la période de la houle, ainsi les états de mer s'éloignant d'Erquy ou y arrivant très atténués ne sont pas pris en compte.



**Fig. 11. Identification des tempêtes par la fonction réponse**

La valeur approchée de  $H_m0$  est normalisée et sommée au niveau marin lui-même normalisé par le marnage maximal, ce qui donne une variable de réponse « fictive », nommée « niveau d'eau total », donnant à peu près la même importance au niveau marin et à la houle et permettant d'identifier ses pics (maximas) sur la période de modélisation.



**Fig. 12.** *Hm0 au point HOMERE 66282 (au large) par rapport au niveau marin du marégraphe de Saint-Malo*

Bien que la valeur de ces pics soit très peu précise, les dates des principaux évènements à considérer dans l'analyse peuvent être facilement identifiés.

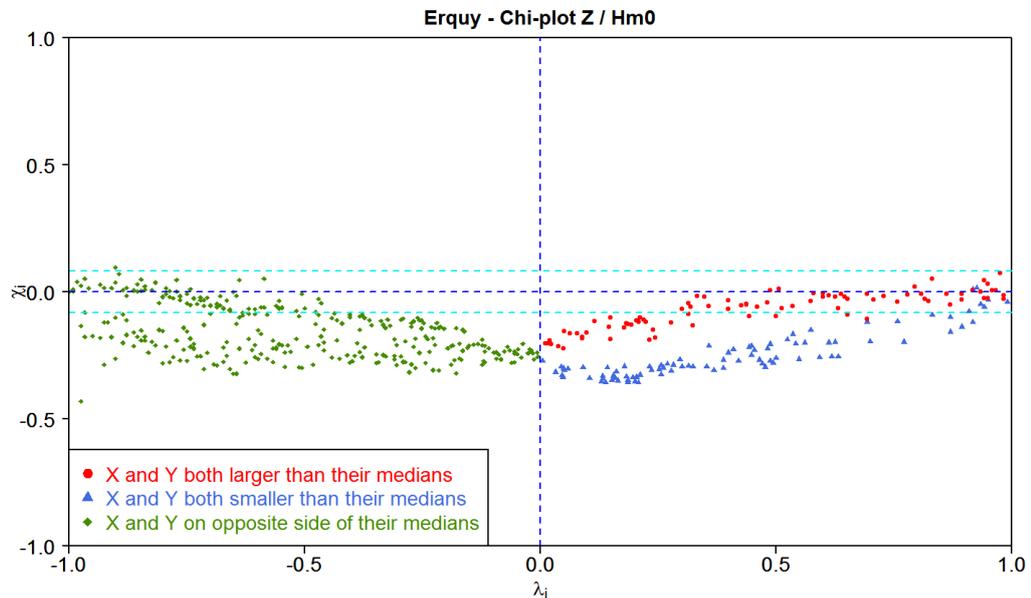
L'échantillon ainsi constitué comprend au final 479 évènements, soit environ 21,4 par an.

### 2.3.2.2 LA DEPENDANCE ENTRE $H_{m0}$ ET LE NIVEAU MARIN

La dépendance est évaluée entre la hauteur significative spectrale de la houle ( $H_{m0}$ ) et le niveau marin. Ce dernier étant très largement dominé par la marée astronomique, cette dépendance est donc très faible.

Les indicateurs montrent en effet une dépendance très faible, et même négative :

- Le coefficient de dépendance caudale (upper tail dependence coefficient) est de -0,17 (-1 la dépendance négative totale, 0 signifie l'indépendance, 1 la dépendance positive totale) ;
- Le chi-plot de Fisher et Switzer (2001) montre que les paires houle / niveau restent proches de l'axe des abscisses, qui signifie l'indépendance (la dépendance totale positive, respectivement négative, correspond à des valeurs verticales proches de 1, respectivement -1). Les paires les plus faibles de l'échantillon des tempêtes montrent une dépendance négative, mais les paires les plus élevées, qui nous intéressent dans cette étude, sont très proches de l'indépendance.



**Fig. 13.** *Chi-plot : visualisation de la dépendance houle / niveau marin*

La dépendance entre ces deux variables est modélisée par une copule de Gumbel, dont le paramètre est estimé par la méthode du maximum de vraisemblance canonique.

### 2.3.2.3 PERIODE DE RETOUR CONJOINTE

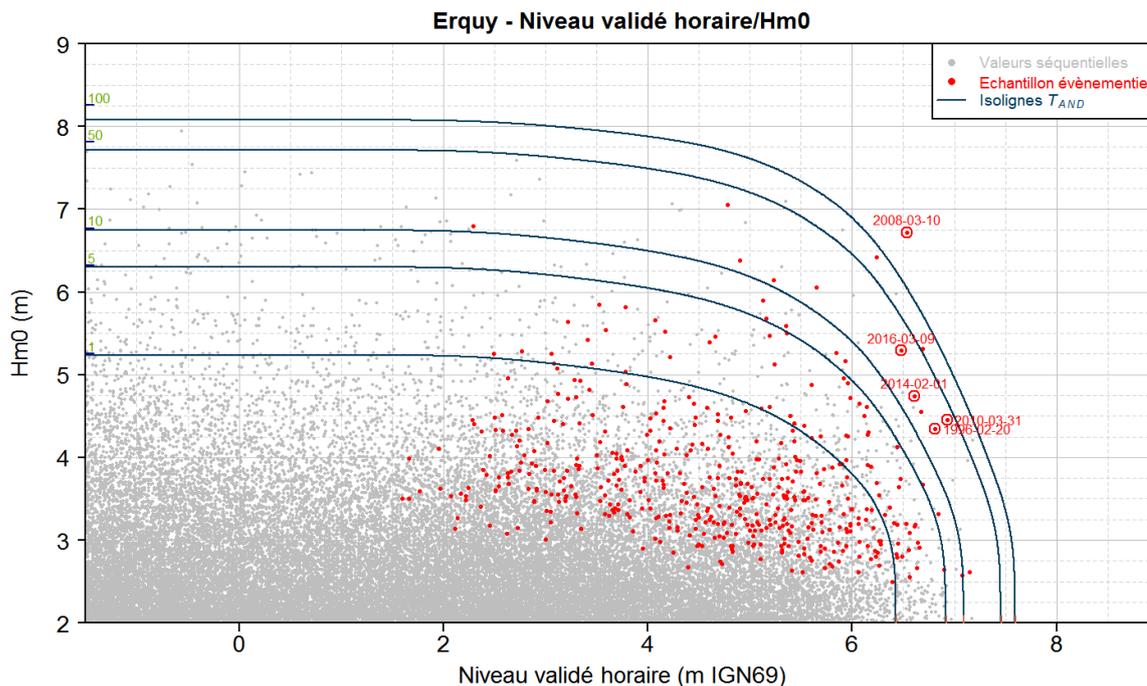
La période de retour conjointe  $\mathcal{T}_{AND}$  correspond à la probabilité de dépassement conjoint.

En tout point situé sur le contour de  $\mathcal{T}_{AND} = 100$  ans, par exemple, la probabilité de dépasser SIMULTANEMENT la valeur correspondante de niveau (en abscisse) ET la valeur correspondante de Hm0 (en ordonnée) correspond à une période de retour de 100 ans, c'est-à-dire à une probabilité annuelle de 0,01.

Cette analyse est représentée sur le graphique ci-après avec les données du point HOMERE 66282.

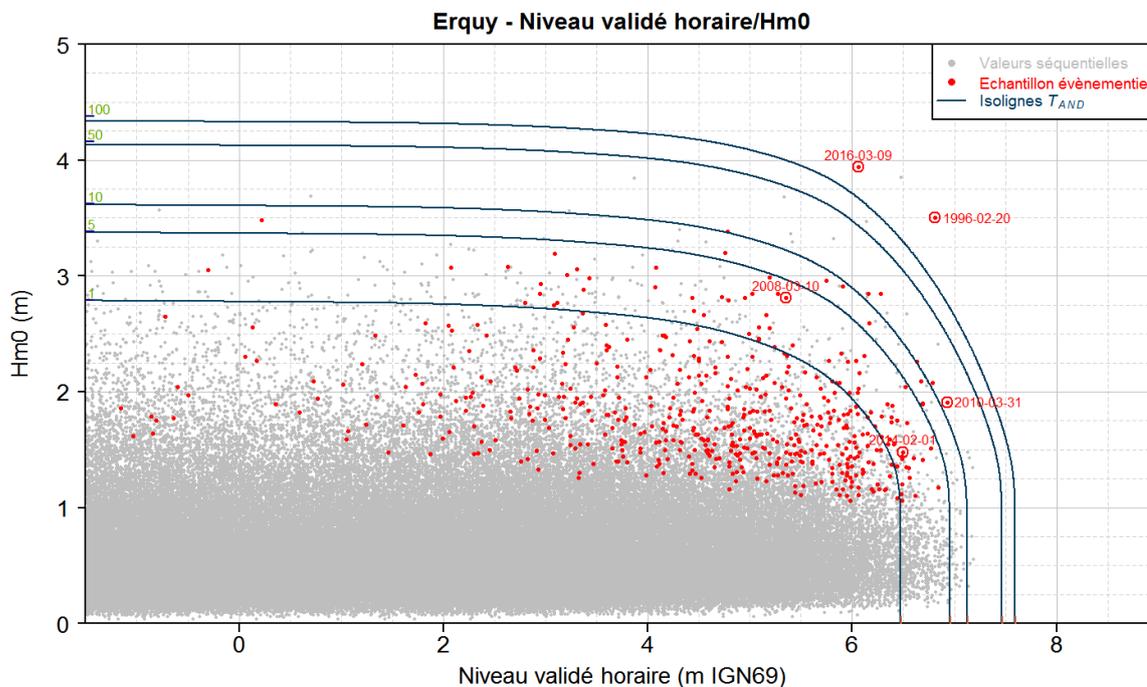
## Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

CARACTERISATION DES ALEAS



**Fig. 14.** Période de retour conjointe – analyse basée sur le point HOMERE 66282 (au large)

On peut croiser cette analyse réalisée au point HOMERE 66282 du large avec le point 55103 plus proche de la côte.



**Fig. 15.** Période de retour conjointe – analyse basée sur le point HOMERE 55103 (proche de la côte)

Du fait des effets de direction et période de la houle, on observe que les évènements semblant les plus pénalisants au large ne le sont plus forcément à la côte.

Les tempêtes de 1996 et 2016 sortent du lot. Cependant, il faut garder à l'esprit les covariables de la houle. Par exemple, la tempête du 10/03/2008 est très atténuée mais sa période très élevée (17-18 s) est susceptible de générer du *shoaling* (levée par le fond) et du *set-up* (montée du niveau de l'eau dû au déferlement des vagues) lors de la propagation sur le profil de plage final. Il convient donc de la maintenir dans l'analyse.

## 2.4 MODELISATION DE LA HOULE

### 2.4.1 EVENEMENTS HISTORIQUES CONSIDERES

La modélisation des houles se propageant sur le littoral étudié se base sur la sélection de cinq évènements (tempêtes) dont les caractéristiques de concomitance d'une forte houle et d'un niveau élevé (période de retour environ centennale) les rendent propices à générer des franchissements sur le littoral d'Erquy et Pléneuf-Val-André :

- 20 février 1996 à 07h ;
- 10 mars 2008 à 20h ;
- 31 mars 2010 à 07h ;
- 01 février 2014 à 07h ;
- 09 mars 2016 à 19h.

Ces tempêtes sont pertinentes pour la modélisation au large aussi bien qu'à la côte. La tempête de 2008 est prise en considération du fait de sa période de pic très élevée (18 secondes).

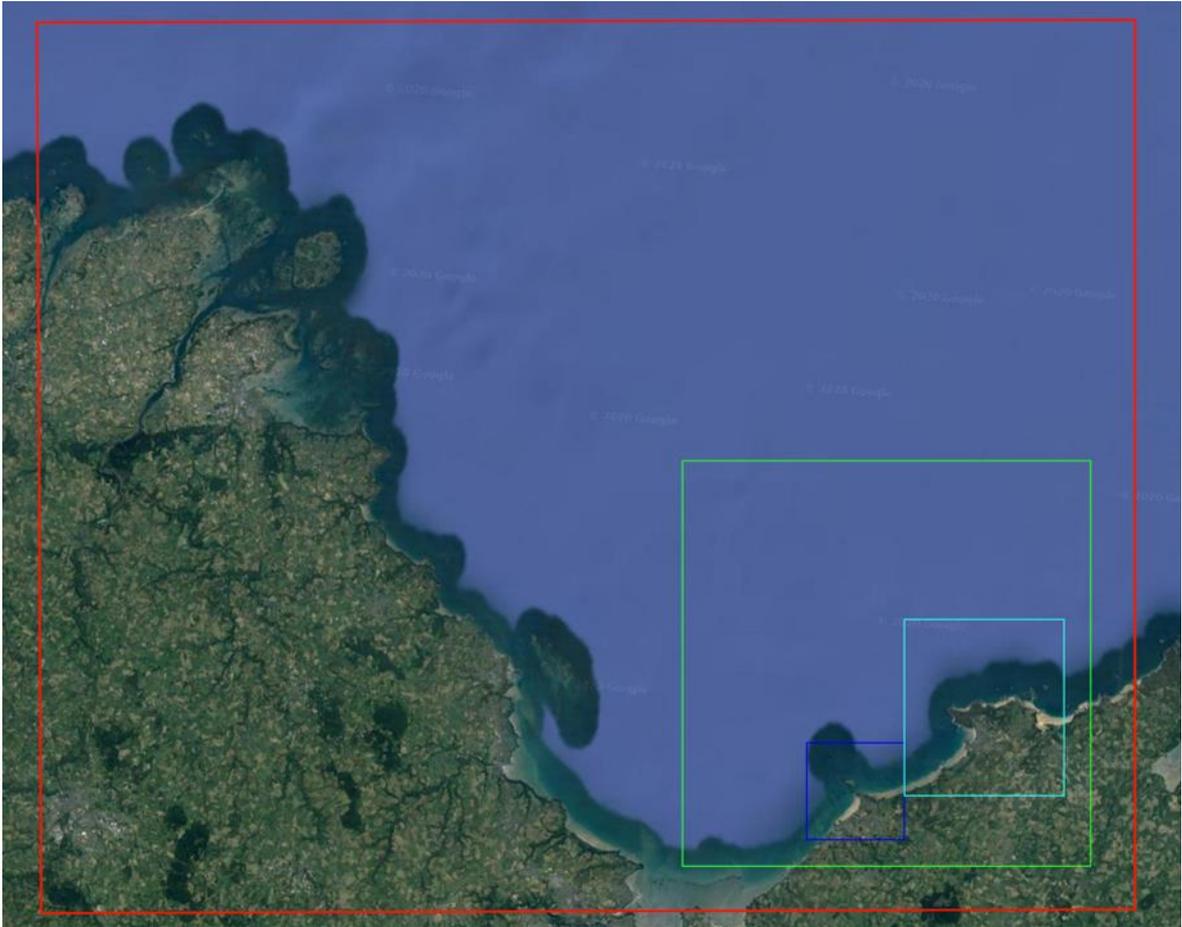
### 2.4.2 LOGICIEL UTILISE

La propagation de la houle a été réalisée à l'aide du code calcul SWAN (Simulating WAVes in the Nearshore), développé par l'Université de Delft, Pays-Bas.

Ce logiciel permet la prise en compte des phénomènes suivants :

- Réfraction sur les fonds ;
- Levée par les fonds (*shoaling*) ;
- Diffraction par les ouvrages et les obstacles naturels ;
- Déferlement par profondeur et cambrure limite ;
- Dissipation de l'énergie sur les fonds.

Quatre grilles de calcul à 3 niveaux d'emboîtement permettent d'affiner progressivement le pas de calcul pour obtenir une résolution de 10 m autour de l'ouvrage, qui permettra par la suite de définir les conditions d'entrée des modèles de franchissement.



**Fig. 16.** *Domaines de calcul pour la propagation des états de mer du large vers le site d'étude. Modèle du large en rouge, modèle intermédiaire en vert et les deux modèles côtiers en bleu clair et foncé*

### 2.4.3 FORÇAGE

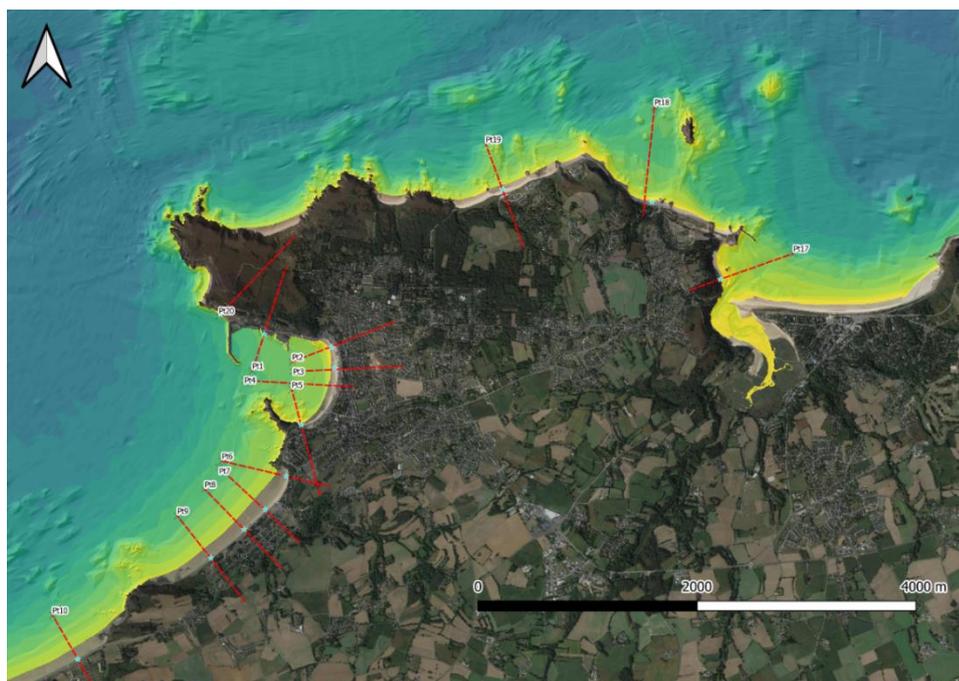
Une sélection de points a été effectuée à partir de la base de donnée HOMERE afin de générer les forçages en :

- Houle ;
- Vents ;
- Niveaux.

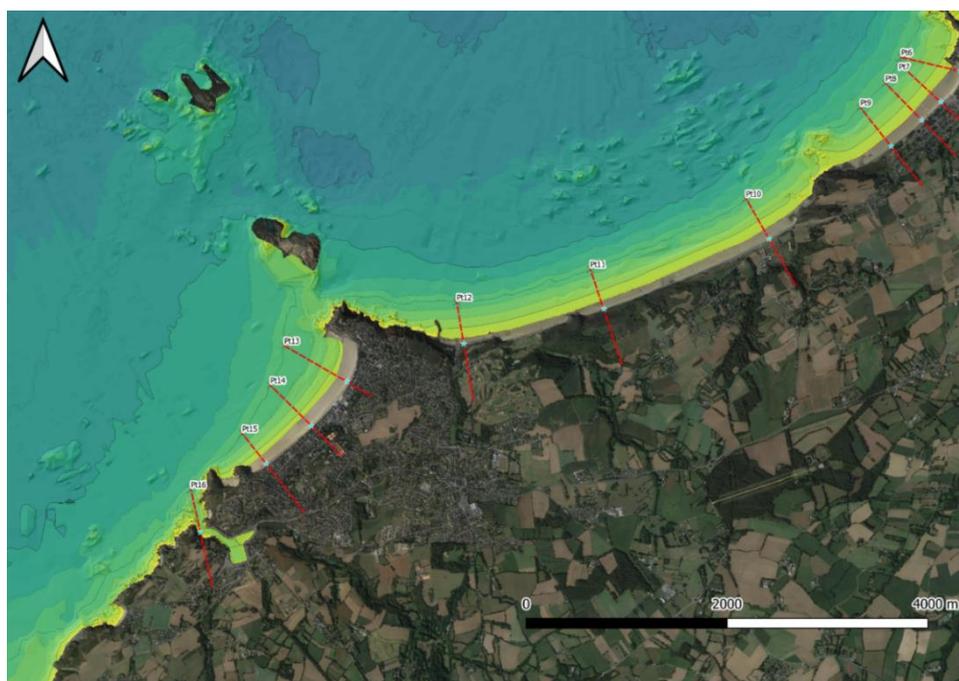
#### 2.4.4 EXPORTS DU MODELES

Les valeurs de houle ont ensuite été propagées sur des profils 1D (illustrés dans la Fig. 17 et Fig. 18) de la zone d'estran en utilisant le code de calcul HOCOULI. Cet outil permet de définir les conditions d'approche de la houle en zone de déferlement.

Des points de calculs sont extraits de la modélisation comme présenté dans les figures ci-dessous :



**Fig. 17.** *Emplacement des points de calculs dans la commune d'Erquy*



**Fig. 18.** *Emplacement des points de calculs dans la commune de Pléneuf-Val-André*

## Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

CARACTERISATION DES ALEAS

### 2.5 FRANCHISSEMENT PAR PAQUETS DE MER

#### 2.5.1 INTRODUCTION

Les ouvrages littoraux permettent de protéger les zones à présence d'enjeux contre les submersions marines. La houle arrivant sur la zone côtière dissipe son énergie par le déferlement. Celui-ci provoque des franchissements des ouvrages par paquets de mer. Selon la morphologie de la plage et des ouvrages littoraux, ces débits peuvent être très importants et engendrer des inondations derrière les ouvrages.

Les débits de franchissement déversés par paquets de mer sont estimés dans ce chapitre afin de caractériser les aléas. Les débits de franchissement ont été calculés dans les zones avec enjeux et où le franchissement peut générer des risques.

#### 2.5.2 TYPOLOGIE DES SITES

##### 2.5.2.1 ERQUY

###### 2.5.2.1.1 PLAGES DU BOURG

La plage du Bourg s'étend sur une longueur de 1 370m, dans la baie de Saint-Brieuc entre la Pointe des Trois Pierres et la Pointe de la Houssaye. Elle est constituée majoritairement des typologies suivantes :

**Tabl. 4 - Typologie de la plage du Bourg à Erquy**

Tronçon homogène	Profil	Linéaire (ml)	Typologie	Points singuliers / discontinuité	Cotes de crête (levés topo) (m IGN69)
1	1	env. 445 ml	Perré maçonné et parapet maçonné	1 exutoire à la mer (ruisseau du Val) 1 cale d'accès parallèle au perré 2 escaliers face à la mer	9.09
2	2	env. 80 ml	Belvédère de forme rectangulaire en perré maçonné et parapet maçonné	Cale d'accès parallèle au perré	9.07
3	3	env. 445 ml	Perré maçonné et parapet maçonné	1 cale d'accès face à la mer et 1 cale d'accès parallèle à la mer 2 escaliers d'accès face à la mer	8.68
4	4	env. 222 ml	Perré maçonné et parapet maçonné	2 escaliers d'accès face à la mer	7.87
5	5	env. 128 ml	Mur maçonné en pierres de maçonnerie	Escaliers d'accès parallèles au mur	7.14

La carte ci-après localise les tronçons homogènes qui ont pu être délimités.



**Fig. 19. Délimitation des tronçons homogènes – Erquy – Plage du Bourg**

## Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

CARACTERISATION DES ALEAS

### 2.5.2.1.2 PLAGE DE CAROUAL

La plage de Caroual est localisée dans la commune d'Erquy. Le linéaire étudié s'étend sur une longueur de 1 200m environ, en excluant les tronçons s'agissant de falaises. Elle est constituée des typologies ci-dessous :

**Tabl. 5 - Typologie de la plage de Caroual à Erquy**

Tronçon homogène	Linéaire (ml)	Typologie	Points singuliers / discontinuité	Cotes de crête (levés topo) (m IGN69)
1	env. 180 ml	Perré maçonné et parapet maçonné	3 cales d'accès parallèles au perré 1 cale face à la mer	8.778
2	env. 130 ml	Perré maçonné et parapet maçonné	1 cale d'accès parallèle au perré Emissaires en mer	8.778
3	env. 250 ml	mur chasse mer en béton et parapet maçonné	2 escaliers d'accès à la mer	9
4	env. 145 ml	Perré maçonné et parapet maçonné	1 cale d'accès parallèle au perré	9
5	env. 260 ml	Cordon de galets + enrochement	1 cale d'accès face à la mer	11
6	env. 230 ml	Cordon de galets	-	11.5



**Fig. 20. Délimitation des tronçons homogènes – Erquy – Plage Caroual**

## Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

CARACTERISATION DES ALEAS

### 2.5.2.2 PLENEUF-VAL-ANDRE

#### 2.5.2.2.1 PLAGE DU VAL-ANDRE

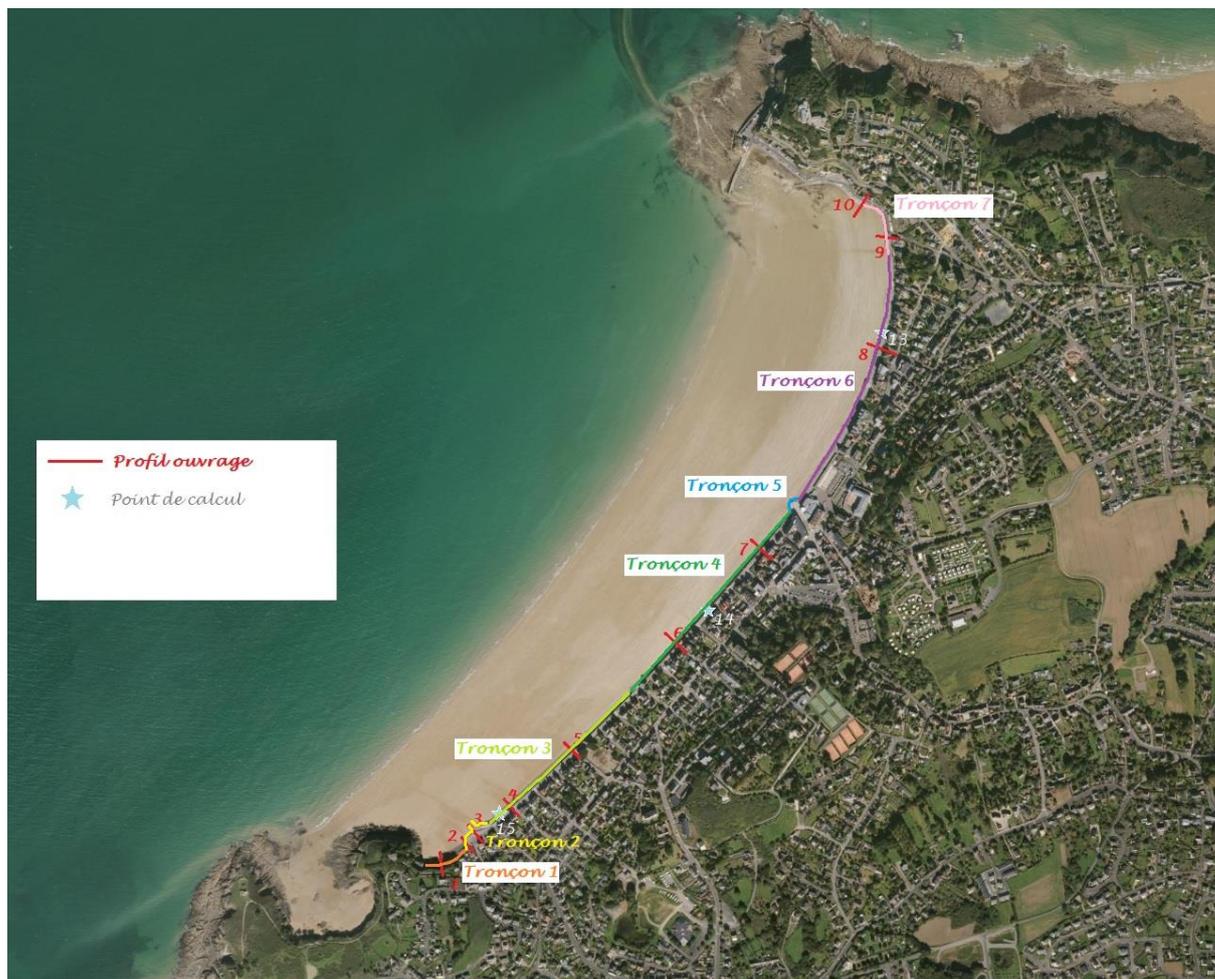
La plage du Val-André s'étend sur une longueur de 1 820m entre la Pointe de Pléneuf et la Grande Guette. Elle peut être divisée en sept tronçons homogènes :

**Tabl. 6 - Typologie de la plage du Val André à Pléneuf-Val-André**

Tronçon homogène	Profil	Linéaire (ml)	Typologie	Points singuliers / discontinuité	Cotes de crête (levés topo) (m IGN69)
1	1 et 2	115	Cordon de galets avec mur maçonné en arrière, surmonté d'une barrière Le haut du mur est à la même hauteur que la chaussée	1 escalier d'accès	8,97 9
2	3	70	Digue en enrochements, de forme arrondie	cale d'accès pour les bateaux	8,54
3	4 et 5	400	Cordon de galets avec mur maçonné en arrière, surmonté d'une barrière Le haut du mur est à la même hauteur que la chaussée	1 exutoire 6 escaliers d'accès	8,54 8,59
4	6 et 7	500	Mur maçonné surmonté d'une barrière Le haut du mur est à la même hauteur que la chaussée	1 cale d'accès 5 escaliers d'accès	8,68 8,69
5	Similaire aux profils 6, 7 et 8	32	Belvédère de forme arrondie en mur maçonné	Accès plage	hypothèse: 8,68
6	8	560	Mur maçonné surmonté d'une barrière Le haut du mur est à la même hauteur que la chaussée	1 cale d'accès parallèle au mur 6 escaliers	8,86 (profil 6)
7	9 et 10	130	Mur maçonné en pente surmonté d'un parapet maçonné	1 cale d'accès parallèle au mur	8,31 8,15

# Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

CARACTERISATION DES ALEAS



**Fig. 21.** *Délimitation des tronçons homogènes – Pléneuf-Val-André – Plage du Val André*

## Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

CARACTERISATION DES ALEAS

### 2.5.2.3 CAMPING (ERQUY) ET GOLF (PLENEUF-VAL-ANDRE)

**Tabl. 7 - Typologie du camping (Plage St-Pabu) et du golf (Plage de Nantois)**

	Tronçon homogène	Linéaire (ml)	Typologie	Points singuliers / discontinuité	Cotes de crête (levés topo) (m IGN69)
Camping – Plage St-Pabu	tronçon 1	50	Cordon de galets	1 cale d'accès à la mer	8
	tronçon 2	290	Cordon de galets		9.5
	tronçon 3	22	Cordon de galets	1 cale d'accès à la mer	8.85
	tronçon 4	170	Cordon de galets	Bosse d'environ 1.50 m derrière la route	9.1
Golf – Plage de Nantois	tronçon 1	150	Cordon de galets		10
	tronçon 2	110	Cordon de galets		9



**Fig. 22. Délimitation des tronçons homogènes – Camping – Plage de St-Pabu**



**Fig. 23.** *Délimitation des tronçons homogènes – Golf – Plage de Nantois*

### 2.5.3 METHODOLOGIE POUR LE CALCUL DES DEBITS DE FRANCHISSEMENT

Pour chaque tronçon homogène, le débit de franchissement est calculé en se basant sur les caractéristiques du profil associé, ainsi que les données fournies pour les points de calcul pour chaque tempête, calculés lors de l'analyse de la houle.

Plusieurs formules empiriques permettent d'estimer les débits de franchissement. Celle de TAW (2002) sera utilisée.

Cette dernière sert notamment de référence pour le calcul de franchissement des digues aux Pays-Bas (Technical Advisory Committee on Protection Against Inundations).

#### 2.5.3.1 METHODOLOGIE ET CALCULS

Les formules de TAW permettent de calculer le débit de franchissement par mètre linéaire (débit spécifique).

Il existe 3 formules dépendant du paramètre de déferlement calculé :

- Pour la houle déferlante ( $\gamma_b \cdot \xi_0 < \approx 2$ ) :

$$\frac{q}{\sqrt{g H_{m0}^3}} = \frac{0.067}{\sqrt{\tan \alpha}} \gamma_b \xi_{m0} \exp\left(-4.3 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{\xi_0 \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta}\right)$$

- Pour la houle non déferlante ( $\gamma_b \cdot \xi_0 > \approx 2$ ) :

$$\frac{q}{\sqrt{g} H_{m0}^3} = 0.2 \exp\left(-2.3 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_f \gamma_\beta}\right)$$

- Pour la houle en eau peu ou très peu profonde, avec  $\xi_0 > 7$ :

$$\frac{q}{\sqrt{g} H_{m0}^3} = 0,21 \exp\left(\frac{-R_c}{\gamma_f \gamma_\beta H_{m0} (0,33 + 0,022 \xi_0)}\right)$$

Avec :

- $q$  [ $m^3/s/m$ ] : débit de franchissement par mètre linéaire
- $g$  [ $m/s^2$ ] : accélération due à la gravité
- $H_{m0}$  [ $m$ ] : hauteur de houle significative en pied d'ouvrage
- $\tan\alpha$  [-] : pente moyenne caractéristique
- $\xi_0$  [-] : paramètre du déferlement
- $R_c$  [ $m$ ] : revanche, calculée en soustrayant le niveau marin SWL de la côte de crête de l'ouvrage ( $R_c = \text{Côte de crête} - \text{SWL}$ )
- $\gamma_b, \gamma_f, \gamma_\beta$  [-] : facteurs de correction pour prendre en compte la présence de berme, de la rugosité et de l'angle d'incidence de la houle.

D'après ces formules, les paramètres favorisant le franchissement des ouvrages sont :

- La hauteur de l'ouvrage (différence entre la crête et l'interface avec la plage) ;
- La revanche de protection entre la crête de l'ouvrage et le niveau de mer ;
- L'importance de la pente de la plage au droit de l'ouvrage.

Les paragraphes suivants détaillent les paramètres introduits dans ces formules, outre ceux qui ont déjà été présentés.

### 2.5.3.2 PARAMETRE DU DEFERLEMENT

Le paramètre du déferlement  $\xi_0$  est le paramètre de déferlement local calculé à partir de la hauteur significative spectrale,  $H_{m0}$ , et de la période énergétique moyenne,  $T_{m-1,0}$ , toutes les deux issues du spectre de la houle en pied de l'ouvrage.

Il se calcule comme suit:

$$\xi_0 = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{H_{m,0}/L_0}} = \frac{\tan\alpha \cdot \sqrt{g \cdot T^2}}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot H_{m,0}}}$$

Avec :

- $\xi_0$  [-] : paramètre du déferlement
- $H_{m0}$  [m] : hauteur de houle significative en pied d'ouvrage
- $T_{m-1,0}$  [s] : période spectrale
- $\tan\alpha$  [-] : pente moyenne caractéristique

### 2.5.3.3 FACTEURS DE CORRECTION

Les facteurs  $\gamma_b$ ,  $\gamma_f$  et  $\gamma_\beta$  sont des facteurs de correction pour prendre en compte la présence de berme, de la rugosité et de l'angle d'incidence de la houle.

Dans cette étude, il n'existe aucune berme. Ainsi, le coefficient  $\gamma_b$  est pris égal à 1.

De plus, l'angle d'incidence de la houle au droit des ouvrages est considéré nul  $\beta = 0^\circ$ , ce qui donne un facteur de correction  $\gamma_\beta = 1$ .

Concernant la rugosité, le coefficient  $\gamma_f$  est pris égal à 0.8, vu que les ouvrages sont principalement de typologie enrochement. La table ci-dessous donne les valeurs du facteur de correction de la rugosité selon le type d'ouvrage :

**Tabl. 8 - Valeurs du coefficient de réduction de rugosité  $\gamma_f$**

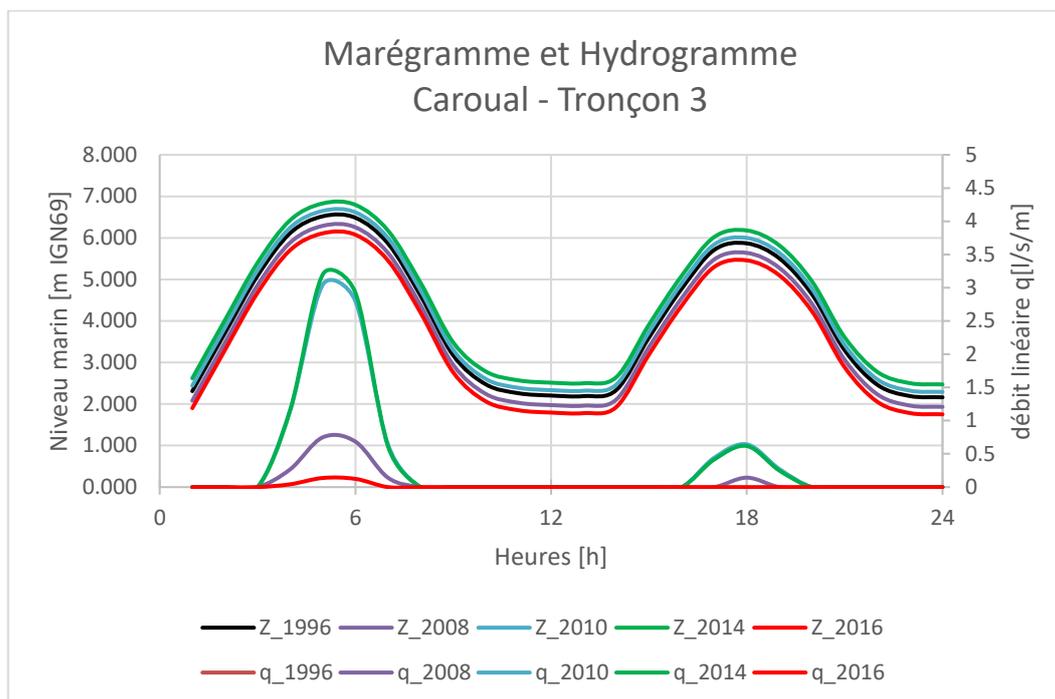
Type d'ouvrage	$\gamma_f$
Béton, bitume et herbe	1.0
Enrochements appareillés	0.80 - 0.95
Enrochement naturel - couche unique sur une base imperméable	0.70
Enrochement naturel - deux couches sur une base imperméable	0.55

### 2.5.3.4 CYCLE DE MAREES

Pour chaque tempête, les débits de franchissements sont calculés pour chaque niveau marin sur deux cycles de marées (une journée).

Le but est d'associer à chaque marégramme l'hydrogramme correspondant, et par la suite les volumes de paquets de mer franchis à l'issue de la tempête.

Le marégramme de chaque tempête pour chaque zone d'étude est reconstitué à partir des niveaux de pleines mers et de basses mers enregistrées lors de la tempête Xynthia (février 2010) sur le marégraphe de Saint Malo.



**Fig. 24.** *Grappe représentatif des niveaux marins et des débits de franchissement sur deux cycles de marées à Caroual au niveau du tronçon 3*

## 2.6 DEBITS DE FRANCHISSEMENT

L'analyse est faite sur deux cycles de marées, en dehors des pics de marée les débits de franchissement sont négligeables.

Dans un premier temps, il est nécessaire de définir les zones où le franchissement est important. En effet, les formules permettent de calculer un débit qui est souvent non nul mais négligeable. Ainsi sur chaque tronçon des secteurs étudiés, les débits sont calculés. Une valeur négligeable est considérée comme nulle et n'est pas intégrée comme condition limite dans le modèle hydraulique.

Les secteurs sur lesquels le calcul des débits de franchissement a été réalisé sont :

- Caroual ;
- Erquy (Plage du Bourg) ;
- Pléneuf-Val-André (Plage du Val André) ;
- Golf Bluegreen Pléneuf-Val-André ;
- Camping Plage De La Ville Berneuf.

L'autre analyse importante est d'étudier pour chaque tempête, celle qui peut générer le volume le plus important.

Ainsi, sur les tronçons étudiés, une première analyse est réalisée pour estimer les volumes. Il en ressort les résultats présentés dans les tableaux suivants :

**Tabl. 9 - Caroual (Etat actuel) –Volume de franchissement**

linéaire du tronçon [m]		Tempête	1996	2008	2010	2014	2016
180	Tronçon 1	volume en litres	0	0	0	0	0
130	Tronçon 2		203	898	6867	30338	0
250	Tronçon 3		10031	7140	32401	33027	1091
145	Tronçon 4		4502	11275	21054	25717	2
260	Tronçon 5		1	125	151	201	0
230	Tronçon 6		56	11	99	67	0
1195	Somme du volume en m <sup>3</sup>		3200	3572	12108	15997	273

## Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

CARACTERISATION DES ALEAS

**Tabl. 10 - Pléneuf Val André (Etat actuel) –Volume de franchissement**

linéaire du tronçon [m]		Tempête	1996	2008	2010	2014	2016
50	PO_04_Pt15	volume en litres	26053	4132	28331	5747	718
10	PO_01_Pt15		19697	2482	4409	3820	493
10	PO_03_Pt15		64441	6181	4409	10472	1304
70	Somme du volume en m <sup>3</sup>		2144	293	1505	430	54

**Tabl. 11 - Camping et golf (Etat actuel) –Volume de franchissement**

linéaire du tronçon [m]		Tempête	1996	2008	2010	2014	2016
50	Camping_T1	volume en litres	303842	92183	320305	355117	29492
290	Camping_T2		11423	2319	11373	8139	429
22	Camping_T3		47259	11377	48013	60887	4079
170	Camping_T4		27363	6166	27570	60887	4079
150	Golf_T1		11	561	5249	772	113
110	Golf_T2		502	7227	44261	13015	1709
792	Somme du volume en m <sup>3</sup>		24253	7459	30713	33354	2587

**Tabl. 12 - Erquy (Etat actuel) –Volume de franchissement**

linéaire du tronçon [m]		Tempête	1996	2008	2010	2014	2016
445	PO_01_Pt_4&5	volume en litres	0	6	38	1	107
345	PO_03_Pt_02		0	0	0	0	0
100	PO_03_Pt_04bis		191	12416	7549	28095	4
80	PO_02_Pt_04bis		5096	8619	52671	11974	421
970	Somme du volume en m <sup>3</sup>		427	1934	4985	3768	82

On remarque ainsi que les tempêtes de 1996, 2010 et 2014 sont les plus impactantes sur le territoire en termes de franchissement.

Ces 3 événements ont ainsi été utilisés pour représenter le franchissement en état actuel.

## Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

CARACTERISATION DES ALEAS

Une analyse similaire a été réalisée avec le changement climatique.

**Tabl. 13 - Caroual (Changement climatique) –Volume de franchissement**

linéaire du tronçon [m]		Tempête	1996	2008	2010	2014	2016
180	Tronçon 1	volume en litres	4	1264	1039	29601	0
130	Tronçon 2		142914	146391	297059	464523	2522
250	Tronçon 3		0	0	261227	129741	0
145	Tronçon 4		129210	260863	261227	309418	14802
260	Tronçon 5		4593	4045	5907	1826	6
230	Tronçon 6		826	4281	3075	573	86
1195	Somme du volume en m3		29410	49706	125007	115798	2331

**Tabl. 14 - Pléneuf Val André (Changement climatique) –Volume de franchissement**

linéaire du tronçon [m]		Tempête	1996	2008	2010	2014	2016
50	PO_04_Pt15	volume en litres	276598	213604	245041	29726	109144
10	PO_01_Pt15		212883	141077	72018	19939	7100
10	PO_03_Pt15		437042	181095	72018	54975	143138
70	Somme du volume en m3		9265	5358	3891	1046	2594

**Tabl. 15 - Camping et Golf (Changement climatique) –Volume de franchissement**

linéaire du tronçon [m]		Tempête	1996	2008	2010	2014	2016
50	Camping_T1	volume en litres	1789436	1536287	2586646	1731264	655187
290	Camping_T2		167105	158202	202470	67922	43425
22	Camping_T3		495510	446672	652437	302690	151658
150	Golf_T1		2920	42873	45129	3571	599
110	Golf_T2		48630	262096	335794	63676	11044
792	Somme du volume en m3			125825	142592	205889	96488

**Tabl. 16 - Erquy (Changement climatique) –Volume de franchissement**

linéaire du tronçon [m]		Tempête	1996	2008	2010	2014	2016
445	PO_01_Pt_4&5	volume en litres	0	991	465	19	8521
345	PO_03_Pt_02		0	0	1	0	4
100	PO_03_Pt_04bis		105539	555084	575081	169810	4721
80	PO_02_Pt_04bis		51218	315056	268334	55952	35483
970	Somme du volume en m3		14652	81154	79182	21466	7104

Les mêmes évènements que lors de l'état actuel sont retenus. L'évènement de 2008 est également retenu à Erquy.

Ainsi les simulations sont basées sur les événements suivants :

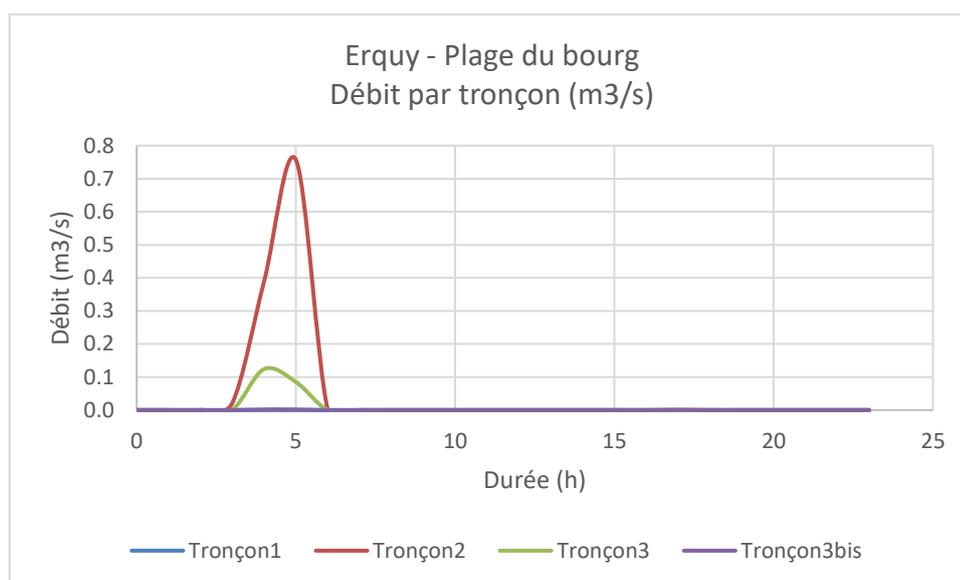
**Tabl. 17 - Evènements à prendre en compte dans les simulations**

	Etat actuel	Avec changement climatique
Caroual	2014	2014
Erquy	2010/2014	2008
Pléneuf-Val-André	1996	1996
Golf Camping	2010	2010

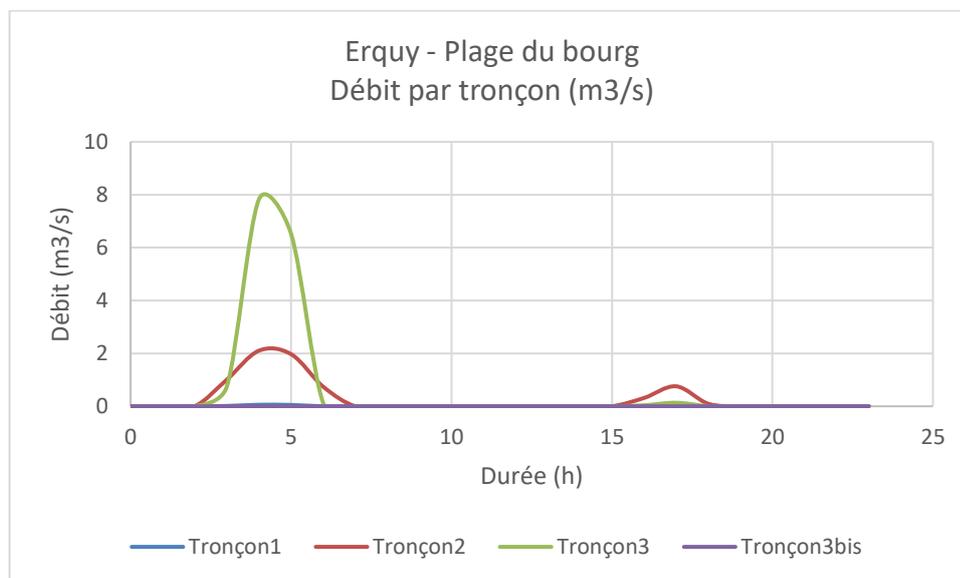
Il est cependant important de réaliser que l'estimation des débits de franchissement reste approximative. Les débits de franchissement calculés doivent ainsi être pris avec précaution.

### 2.6.1 HYDROGRAMMES DE FRANCHISSEMENT (CONDITIONS AUX LIMITES)

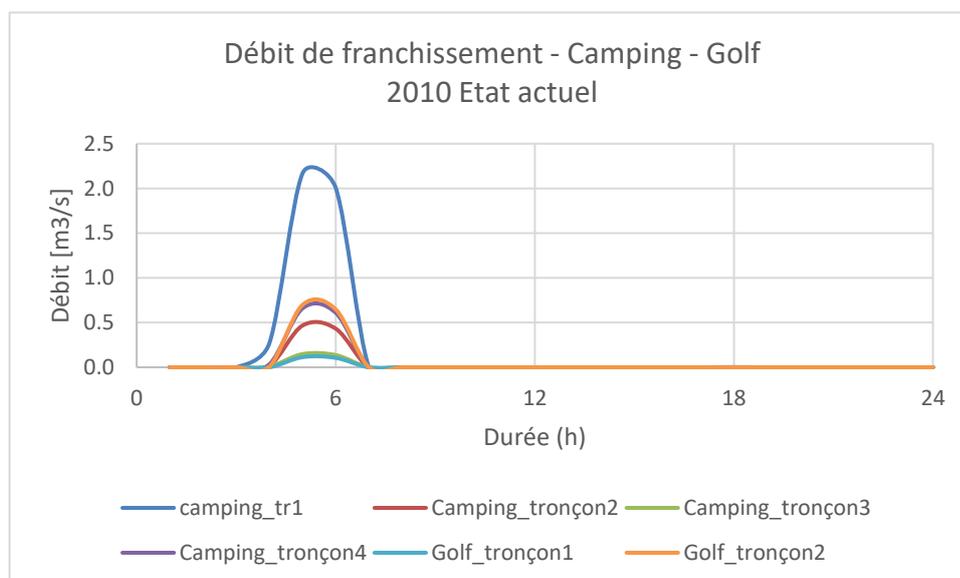
Les figures suivantes présentent les hydrogrammes sur chaque secteur en état actuel et avec le changement climatique. Ces débits servent de conditions aux limites pour la modélisation hydraulique.



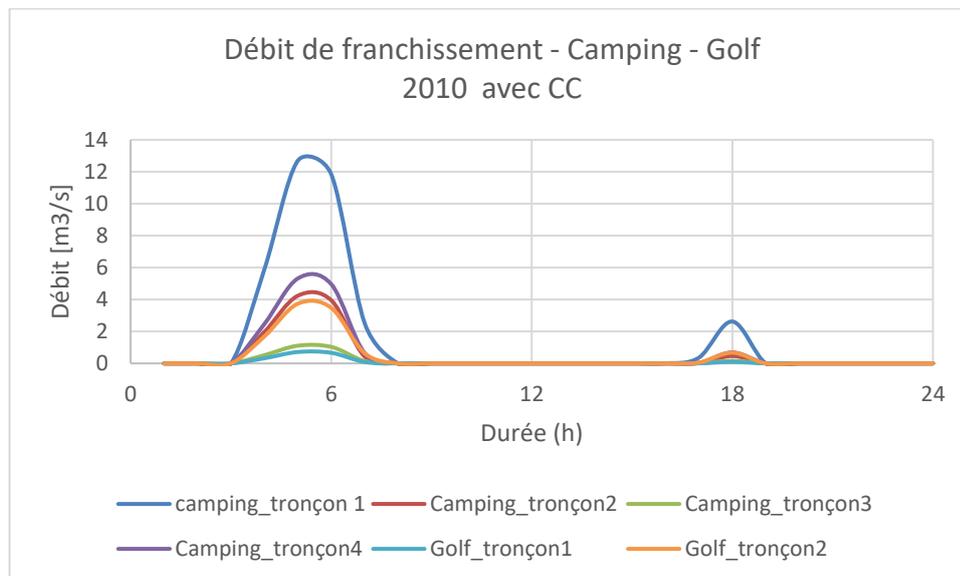
**Fig. 25. Graphe représentatif des débits de franchissement sur deux cycles de marées - Erquy - Etat actuel**



**Fig. 26.** *Graphique représentatif des débits de franchissement sur deux cycles de marées - Erquy - Avec CC*

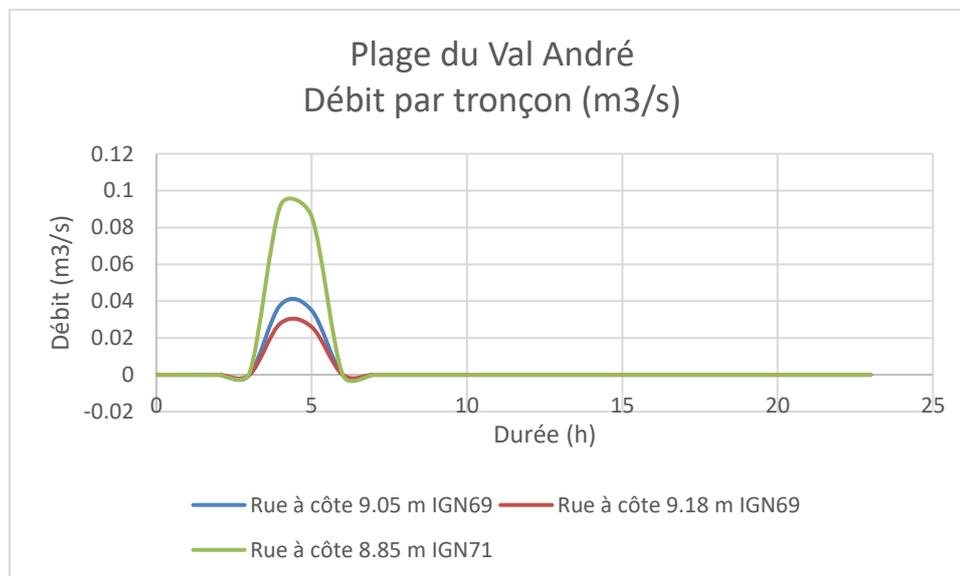


**Fig. 27.** *Graphique représentatif des débits de franchissement sur deux cycles de marées - Camping (Plage St-Pabu) et Golf (Plage de Nantois) - Etat actuel*

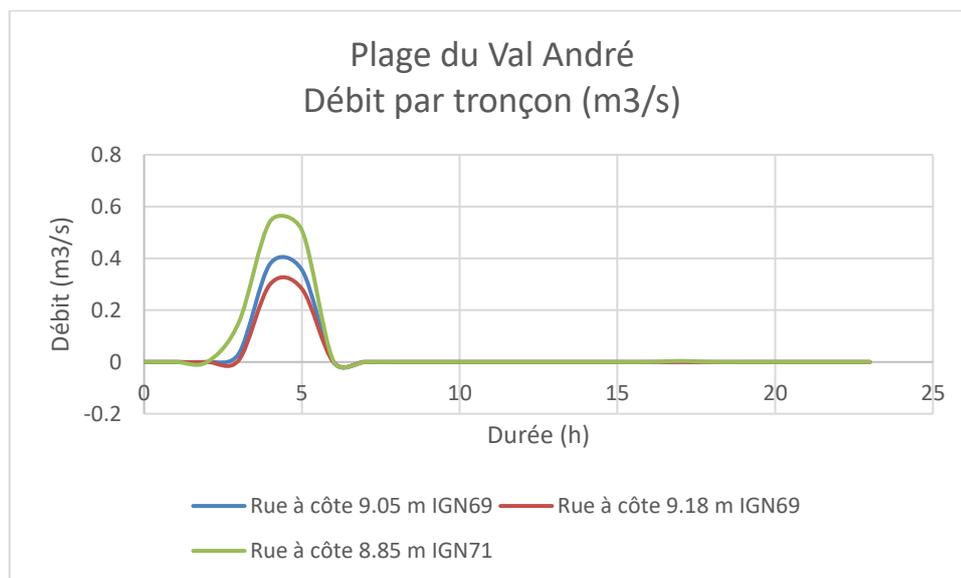


**Fig. 28.** *Graphique représentatif des débits de franchissement sur deux cycles de marées – Camping (Plage St-Pabu) et Golf (Plage de Nantois) – avec CC*

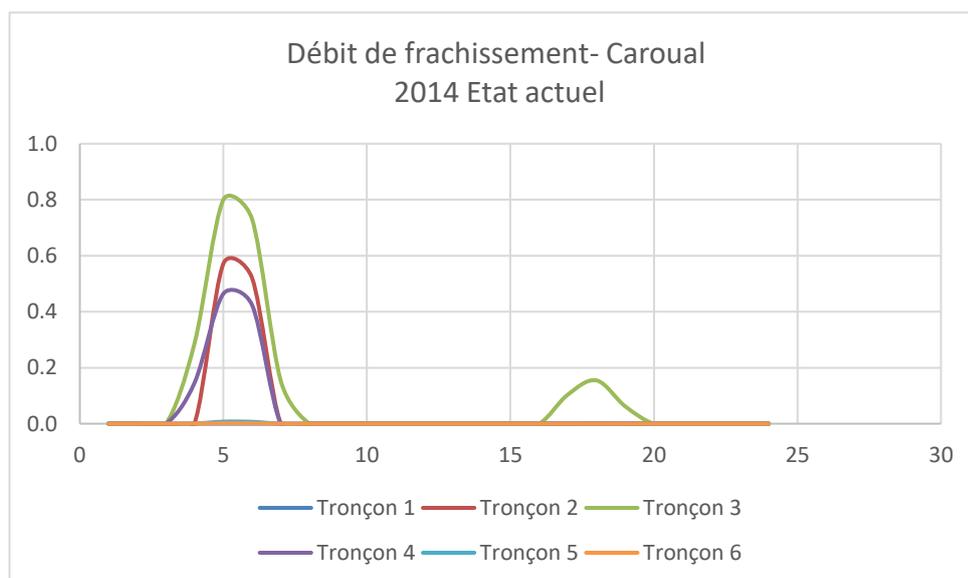
Sur Pléneuf-Val-André, les franchissements ont lieu sur tout le linéaire de la plage du Val André. En revanche la topographie indique que sur la partie Nord de la plage, le relief est marqué et ainsi les paquets de mer ne peuvent pas franchir ces points hauts. Ainsi, les eaux reviennent directement vers la mer. En revanche dans la partie sud de la plage, entre la Rue des Vagues et la Rue des Goélands les paquets peuvent se propager à l'intérieur de la commune. Ainsi, les hydrogrammes ont été calculés sur ce secteur. Les 2 figures suivantes représentent les hydrogrammes de 1996.



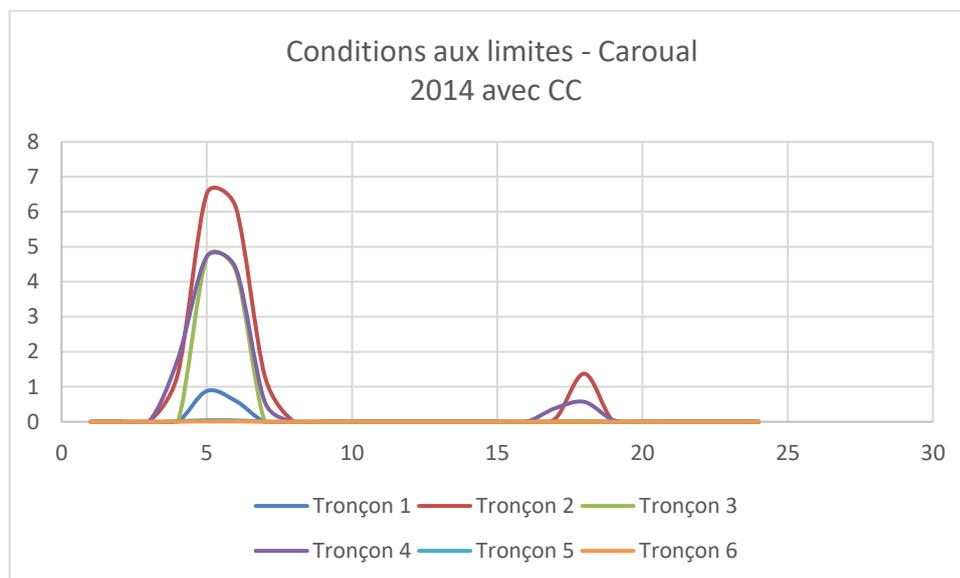
**Fig. 29.** *Graphique représentatif des débits de franchissement sur deux cycles de marées – Plage du Val André – Etat actuel*



**Fig. 30.** *Graphique représentatif des débits de franchissement sur deux cycles de marées – Plage du Val André – avec CC*



**Fig. 31.** *Graphique représentatif des débits de franchissement sur deux cycles de marées – Caroual – Etat actuel*



**Fig. 32.** *Graphe représentatif des débits de franchissement sur deux cycles de marées - Caroual - Avec CC*

## 2.6.2 MODELISATION HYDRAULIQUE

Les résultats obtenus pour les débits de franchissement servent de conditions aux limites du modèle hydraulique. Ce modèle permet de calculer les profondeurs d'eau et la vitesse d'écoulement.

### 2.6.2.1 LOGICIEL HEC-RAS

Le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), développé au Hydrologic Engineering Center du US Army Corps of Engineers, est un outil conçu pour réaliser des calculs hydrauliques unidimensionnels (1D) et bidimensionnels (2D) pour des réseaux complexes de cours d'eau naturels et de canaux. Ce logiciel dispose notamment d'un module relativement complet, ce qui permet de représenter précisément la quasi-totalité des ouvrages pouvant être rencontrés en rivière.

HEC-RAS fonctionne sous Windows et bénéficie donc des avantages de cet environnement.

### 2.6.2.2 CONSTRUCTION DU MODELE

#### 2.6.2.2.1 TOPOGRAPHIE

Les modèles 2D nécessitent une bonne connaissance de la topographie du secteur à représenter.

Les levés topographiques réalisés et couplés aux données LIDAR de résolution 1m ont permis la réalisation d'un Modèle Numérique de Terrain sur l'ensemble des zones à enjeux et zones d'expansion avec un maillage fin.

#### 2.6.2.2.2 MAILLAGE DU MODELE 2D

Une taille de cellule de 1 m a été adoptée. Cela correspond à un « découpage » du terrain naturel en mailles de 1m x 1m pour chacune desquelles un calcul de hauteur et vitesse est réalisé.

Cette taille permet de tenir compte des axes d'écoulements étroits pour notamment représenter les écoulements complexes au droit des quais tout en gardant des temps de calcul réalistes.

#### 2.6.2.2.3 RUGOSITE

A cette topographie, une couche de rugosité a été ajoutée.

Cette couche permet de délimiter les zones à faible rugosité comme les routes, parkings (etc.), des zones à forte rugosité (bâtiments, etc.).

Pour représenter les bâtiments dans la zone d'étude dans un modèle hydraulique, deux méthodes sont possibles :

- Représenter en relief les bâtiments sur le MNT (élévation locale de la topographie),
- Ou les représenter « virtuellement » par une rugosité équivalente plus élevée que le reste du MNT.

En général, la deuxième solution est retenue car elle permet d'intégrer le fait que les bâtiments permettent le transit d'un faible débit.

Les coefficients de Manning utilisés pour représenter la rugosité sont regroupés dans le tableau suivant :

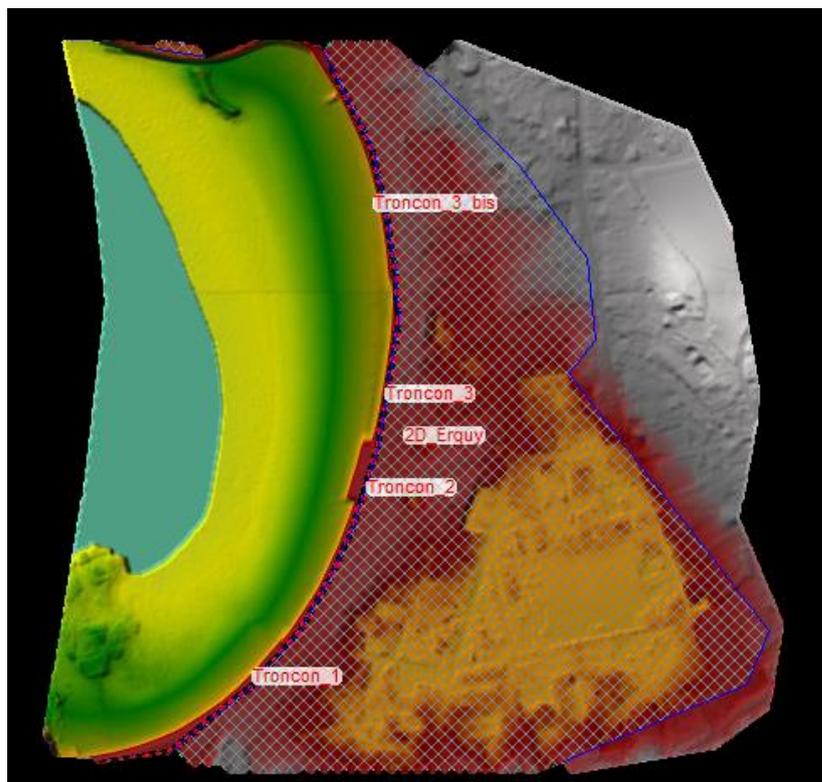
**Tabl. 18 - Coefficient de rugosité**

Type	Coefficient de Manning
Route	0.02
Prairie	0.04
Boisement	0.07
Bâtiment	1

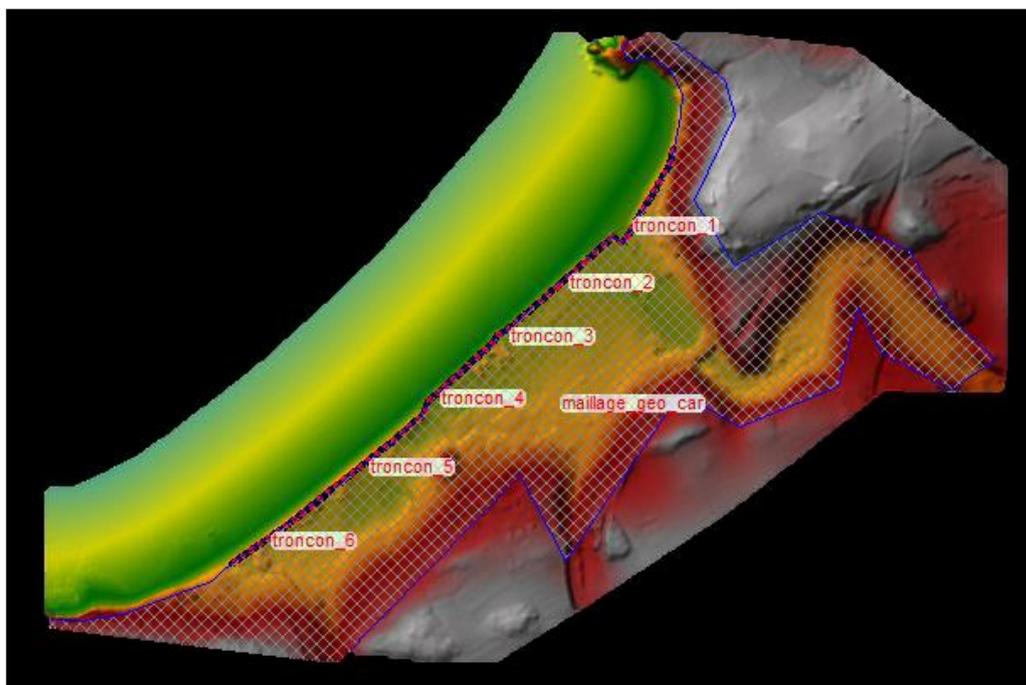
### 2.6.3 CONSTRUCTION DU MODELE

Quatre modèles hydrauliques ont ainsi été construits en prenant en compte les conditions limites présentées.

La hauteur et la vitesse sont calculées dans le modèle. A l'aide du Tabl. 1 - .Ces paramètres sont convertis en aléa (faible à très fort).



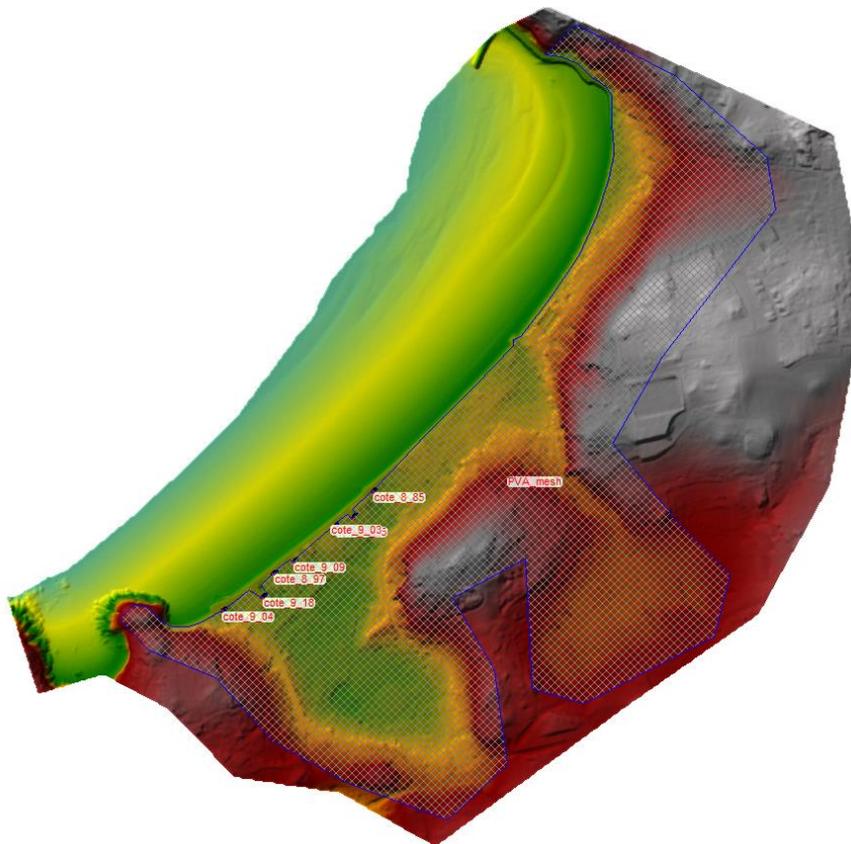
**Fig. 33.** *Modèle de franchissement à Erquy*



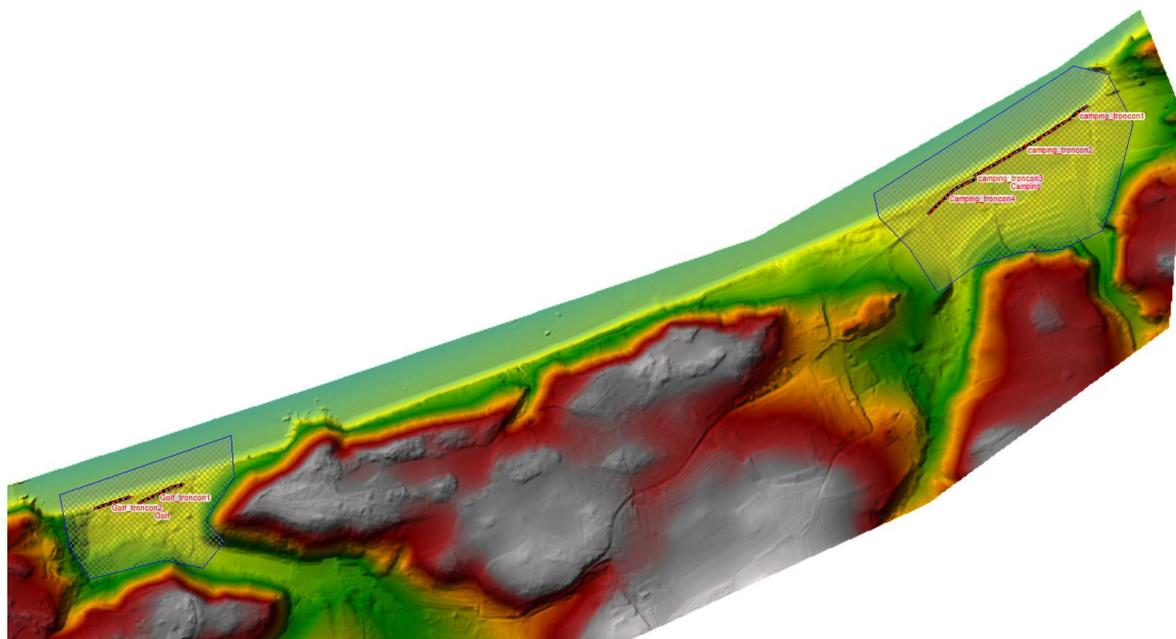
**Fig. 34.** *Modèle de franchissement à Caroual*

# Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

CARACTERISATION DES ALEAS



**Fig. 35.** *Modèle de franchissement à Pléneuf-Val-André*



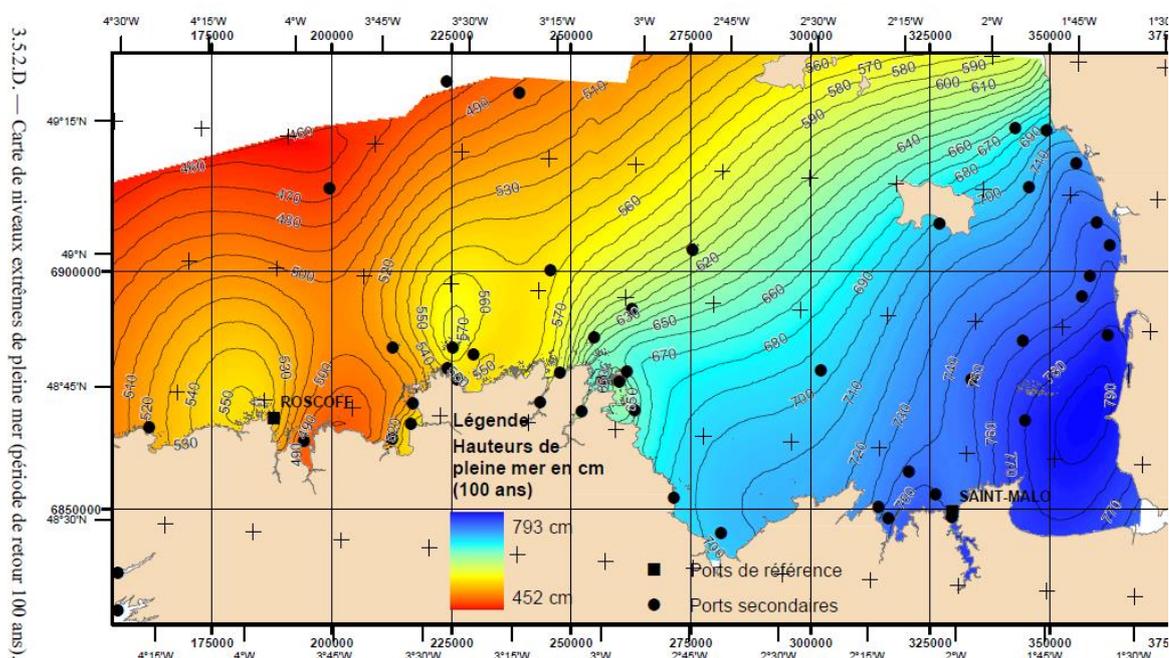
**Fig. 36.** *Modèle de franchissement du Golf et du Camping*

## 3 SUBMERSION MARINE PAR DEBORDEMENT

### 3.1 CONDITIONS AUX LIMITES

La modélisation pour représenter l'effet de débordement est plus simple que dans le cas du franchissement. En effet, seul un niveau d'eau est imposé en condition aval sur tout le linéaire des 2 communes.

Le niveau d'eau centennal est donné par le SHOM et est en moyenne sur le linéaire des 2 communes égal à 7.15 m IGN69.



**Fig. 37. Niveau centennal du SHOM**

Une incertitude de 25 cm sur le niveau doit être prise en compte selon les recommandations des guides pour les PPR.

De plus le changement climatique est également intégré :

- 20 cm en état actuel
- 60 cm à l'échelle de 2100.

Ainsi les niveaux utilisés pour représenter le phénomène de submersion sont :

- **Etat actuel** :  $7.15 + 0.20 + 0.25 = 7.60$  m IGN69
- **Etat avec changement climatique** :  $7.15 + 0.60 + 0.25 = 8.00$  m IGN69

Notons que la cote des ouvrages maritimes est généralement supérieure à 8.00 m IGN69. Ainsi, les ouvrages protègent contre l'aspect de l'aspect de la submersion.

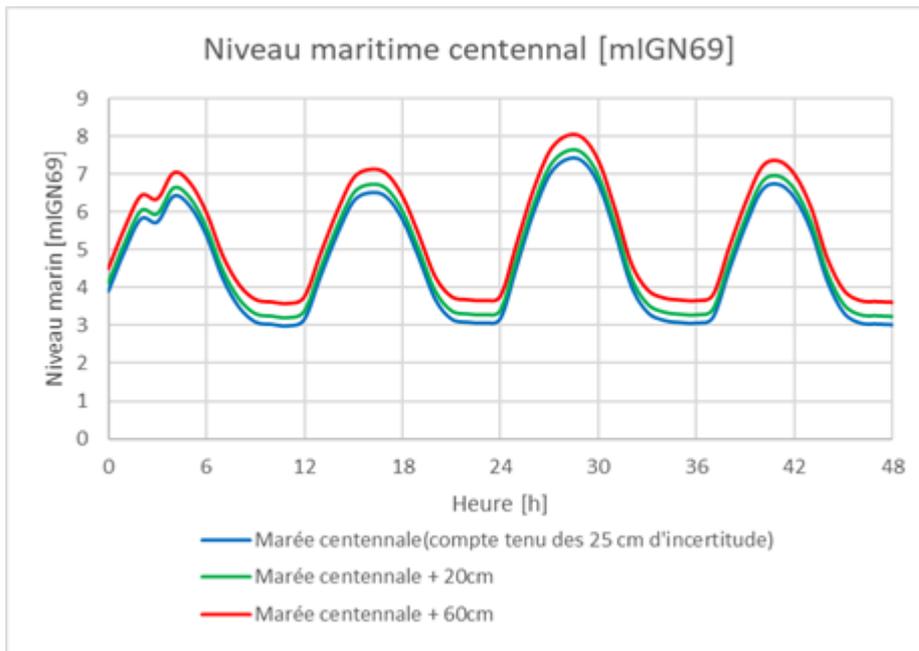
En revanche certains secteurs sont touchés car les ouvrages y sont plus bas :

## Pléneuf-Val-André

- Secteur de Dahouët
- Secteur de la Flora
- Quai Célestin Bouglé

## Erquy

- Rue du Port



**Fig. 38.** *Marégramme imposé comme condition limite*

## 3.2 MODELISATION HYDRAULIQUE

A l'instar de la modélisation par franchissement, un modèle hydraulique bidimensionnel a été utilisé. Celui-ci a été construit sur tout le linéaire, en intégrant les 2 communes.

Un maillage d'1m a également été utilisé.

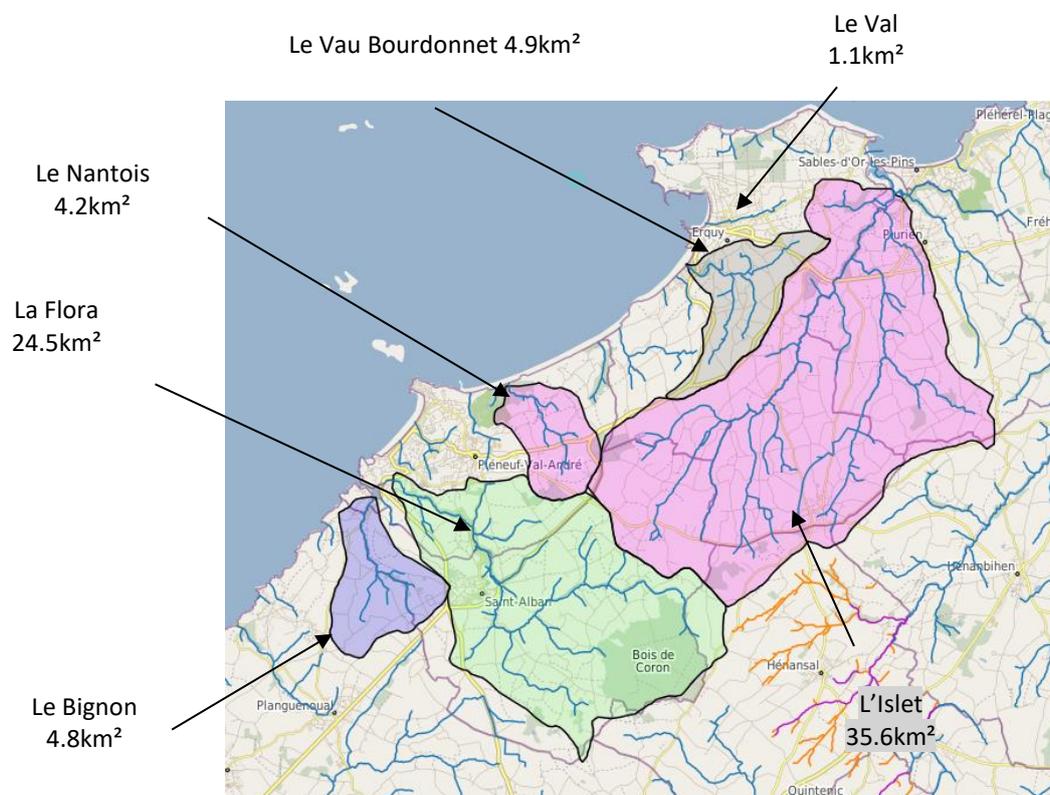
## 4 INONDATION FLUVIALE

### 4.1 COURS D'EAU

Plusieurs cours d'eau ont été étudiés pour évaluer l'impact des inondations en provenance des cours d'eau.

- La Flora ;
- Le Vau Bourdonnet ;
- L'Islet ;
- Le Nantois ;
- Le Bignon ;
- Le Val.

Les caractéristiques des bassins versants sont détaillées dans le paragraphe 3.4 de la phase 1.



**Fig. 39. Emplacement des bassins versants**

## 4.2 ETUDE HYDROLOGIQUE

Il n'y a pas de station hydrométrique sur le secteur d'étude. Ainsi, les débits caractéristiques sont calculés à partir de méthodes empiriques. Les méthodes utilisées sont :

- La méthode de Myer ;
- La méthode rationnelle ;
- La méthode de l'IT 77 (Instruction Technique).

Précisons que la méthode rationnelle n'est pas applicable sur les grands bassins versants et donc n'a pas été utilisée sur le bassin de la Flora et celui de l'Islet.

La méthode de Myer est basée sur un rapport surfacique avec des stations hydrométriques proches du secteur d'étude. Ainsi, les stations suivantes ont été utilisées.

**Tabl. 19 - Stations hydrométriques proches**

N° Station	Nom	Lieu	Surface	Débit Qix10	Débit Qix50
J1105810	Le Quilloury	Pléné-Jugon	38.5	6.1	non calculé
J1114010	La Rosette	Mégrit	102	13	19
J1004520	Le Frémur	Pleslin-Trigavou	37.5	8.5	12
J1405310	L'Urne	Plédran	40.4	6.7	8.8
J1803010	Le Leff	Boqueho	45	11	15
J8002320	L'Oust	Saint-Martin-des-Prés	29	7.8	11
J1524010	La Maudouve	Saint-Donan	24.2	4.9	6.7
J1103010	L'Arguenon	Jugon-les-Lacs	104	21	31
J1324010	L'Evron	Coëtmieux	142	24	34
J1513010	Le Gouët	Saint-Julien	138	26	36

En fonction des stations possédant des superficies similaires, il a alors été possible d'estimer le débit.

## Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

CARACTERISATION DES ALEAS

**Tabl. 20 - Calcul du débit décennal**

Station hydro	Superficie km <sup>2</sup>	Le Bignon	La Flora	Le Nantois	Le Vau Bourdonnet	Le Val	L'Islet
		4.8 km <sup>2</sup>	24.5 km <sup>2</sup>	4.2 km <sup>2</sup>	4.9 km <sup>2</sup>	2.5 km <sup>2</sup>	35.6 km <sup>2</sup>
Le Quilloury	38.5	0.76	3.88	0.67	0.78	non retenu	5.64
La Rosette	102	non retenu	3.12	non retenu	non retenu	non retenu	4.54
Le Frémur	37.5	1.09	5.55	0.95	1.11	0.57	8.07
L'Urne	40.4	0.80	4.06	0.70	0.81	non retenu	5.90
Le Leff	45	1.17	5.99	1.03	1.20	non retenu	8.70
L'Oust	29	1.29	6.59	1.13	1.32	0.67	9.58
La Maudouve	24.2	0.97	4.96	0.85	0.99	0.51	7.21
L'Arguenon	104	non retenu	4.95	non retenu	non retenu	non retenu	7.19
L'Evron	142	non retenu	4.14	non retenu	non retenu	non retenu	6.02
Le Gouët	138	non retenu	4.62	non retenu	non retenu	non retenu	6.71
<b>Moyenne</b>		<b>1.01</b>	<b>4.79</b>	<b>0.89</b>	<b>1.03</b>	<b>0.58</b>	<b>6.95</b>

**Tabl. 21 - Calcul du débit cinquantennal**

Station hydro	Superficie km <sup>2</sup>	Le Bignon	La Flora	Le Nantois	Le Vau Bourdonnet	Le Val	L'Islet
		4.8 km <sup>2</sup>	24.5 km <sup>2</sup>	4.2 km <sup>2</sup>	4.9 km <sup>2</sup>	2.5 km <sup>2</sup>	35.6 km <sup>2</sup>
Le Quilloury	38.5	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
La Rosette	102	non retenu	4.56	non retenu	non retenu	non retenu	6.63
Le Frémur	37.5	1.54	7.84	1.34	1.57	0.80	11.39
L'Urne	40.4	1.05	5.34	0.91	1.07	non retenu	7.75
Le Leff	45	1.60	8.17	1.40	1.63	non retenu	11.87
L'Oust	29	1.82	9.29	1.59	1.86	0.95	13.50
La Maudouve	24.2	1.33	6.78	1.16	1.36	0.69	9.86
L'Arguenon	104	non retenu	7.30	non retenu	non retenu	non retenu	10.61
L'Evron	142	non retenu	5.87	non retenu	non retenu	non retenu	8.52
Le Gouët	138	non retenu	6.39	non retenu	non retenu	non retenu	9.29
<b>Moyenne</b>		<b>1.47</b>	<b>6.84</b>	<b>1.28</b>	<b>1.50</b>	<b>0.81</b>	<b>9.94</b>

## Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

CARACTERISATION DES ALEAS

Le tableau suivant récapitule les valeurs obtenues :

**Tabl. 22 - Débit décennal (Q10)**

	Q10		
	Myer	Rationnelle	Moyenne
La Flora	4.79		4.79
Le Vau Bourdonnet	1.03	3.10	2.07
L'Islet	6.95		6.95
Le Nantois	0.89	3.27	2.08
Le Bignon	1.01	3.02	2.02
Le Val	0.58	1.60	1.09

**Tabl. 23 - Débit cinquantennal (Q50)**

	Q50			
	Myer	Rationnelle	IT-77	Moyenne
La Flora	6.84		7.66	7.25
Le Vau Bourdonnet	1.50	3.88	3.30	2.89
L'Islet	9.94		11.12	10.53
Le Nantois	1.28	3.50	3.33	2.70
Le Bignon	1.47	3.78	3.22	2.82
Le Val	0.81	2.01	1.74	1.52

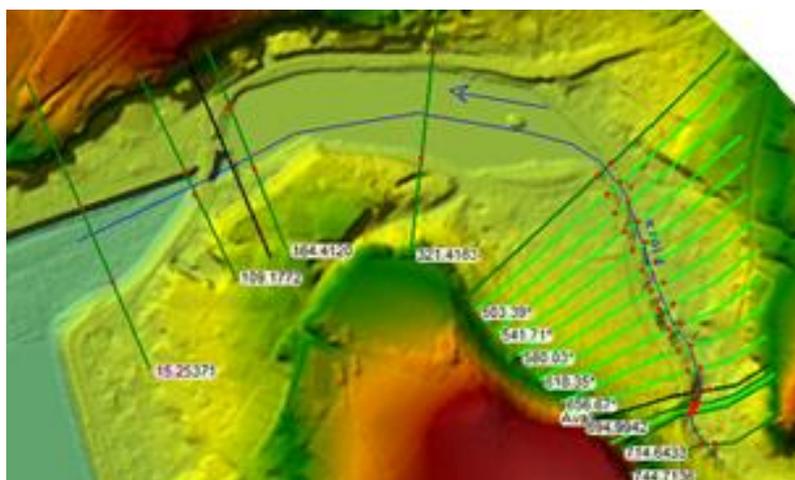
**Tabl. 24 - Débit centennal (Q100)**

	Q100			
	Myer	Rationnelle	IT-77	Moyenne
La Flora			9.58	9.58
Le Vau Bourdonnet		4.19	4.13	4.16
L'Islet			13.90	13.90
Le Nantois		3.78	4.16	3.97
Le Bignon		4.08	4.03	4.06
Le Val		2.18	2.18	2.18

## 4.3 MODELISATION HYDRAULIQUE

### 4.3.1 LA FLORA

Sur le secteur aval de la Flora, le lit majeur est encaissé. Ainsi un modèle 1D a été construit.

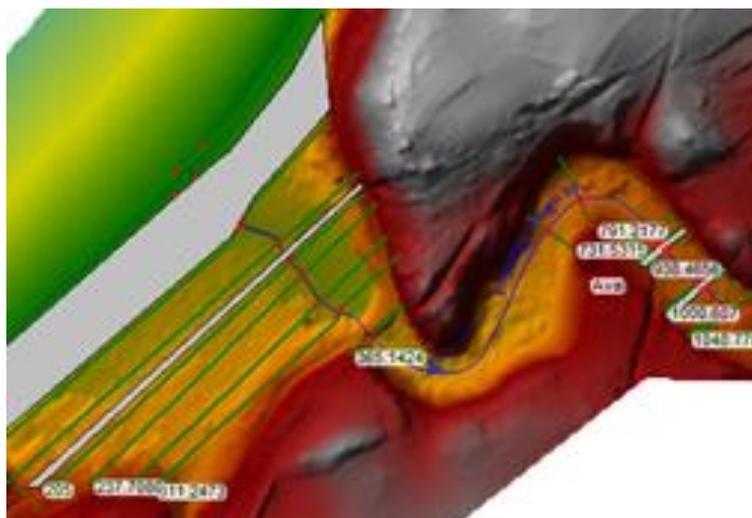


**Fig. 40.** *Modèle hydraulique de la Flora : extrait HEC RAS*

En amont du plan d'eau, il n'y a que très peu d'enjeux, ainsi une analyse hydromorphologique a été réalisée en se basant sur la topographie du cours d'eau.

### 4.3.2 LE VAU BOURDONNET

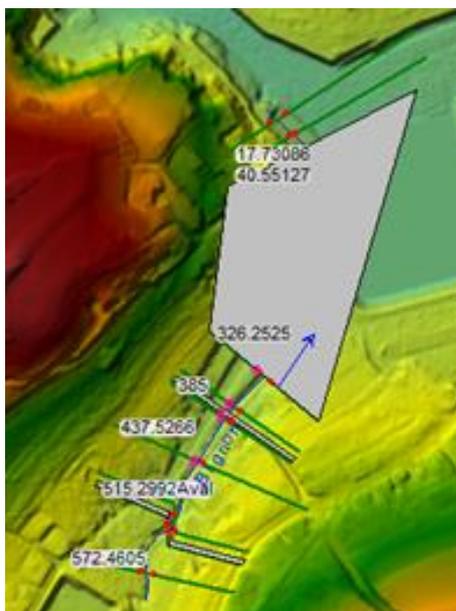
Dans le cas du Vau Bourdonnet, la configuration est similaire au secteur aval de la Flora. Ainsi un modèle 1D a été construit.



**Fig. 41.** *Modèle hydraulique du Vau Bourdonnet : extrait HEC RAS*

### 4.3.3 LE BIGNON

Sur le secteur du Bignon, un modèle 1D a été construit car la partie amont est également encaissée.



**Fig. 42. Modèle hydraulique du Bignon : extrait HEC RAS**

#### 4.3.4 L'ISLET

Sur l'Islet, il n'y a que très peu d'enjeux le long du cours d'eau à l'exception de la partie en aval et qui est donc représentée par le modèle de débordement. Ainsi, une analyse hydromorphologique a été réalisée en se basant sur la topographie du cours d'eau.

#### 4.3.5 LE NANTOIS

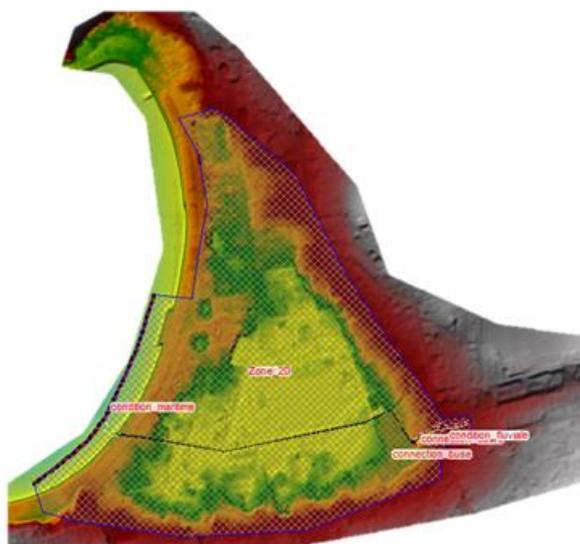
La partie aval étant représentée par le modèle de submersion et l'amont du cours d'eau ne présentant aucun enjeu, le Nantois n'est pas traité en modélisation fluviale.

#### 4.3.6 LE VAL

Sur ce secteur, qui est relativement plat, un modèle bidimensionnel a été construit. Ce secteur est couvert par un réseau d'eau pluvial. Ainsi le ruisseau du Val qui est à l'air libre en amont d'Erquy est enterré à travers la commune. Plusieurs conduites se greffent à cette conduite dans Erquy. L'objectif du PPR n'est pas de réaliser un schéma directeur d'assainissement des eaux pluviales. Ainsi, l'approche mise en place sur secteur a consisté à utiliser la même dimension de conduite depuis l'entrée jusqu'à l'exutoire et de ne pas intégrer les apports intermédiaires. En cas d'insuffisance de cette conduite, les débordements se propagent alors dans le centre-ville d'Erquy.

Ainsi le débit utilisé pour le Ruisseau du Val correspond à un bassin versant plus petit qu'à son exutoire en mer (1.10 km<sup>2</sup> au lieu de 2.5 km<sup>2</sup>).

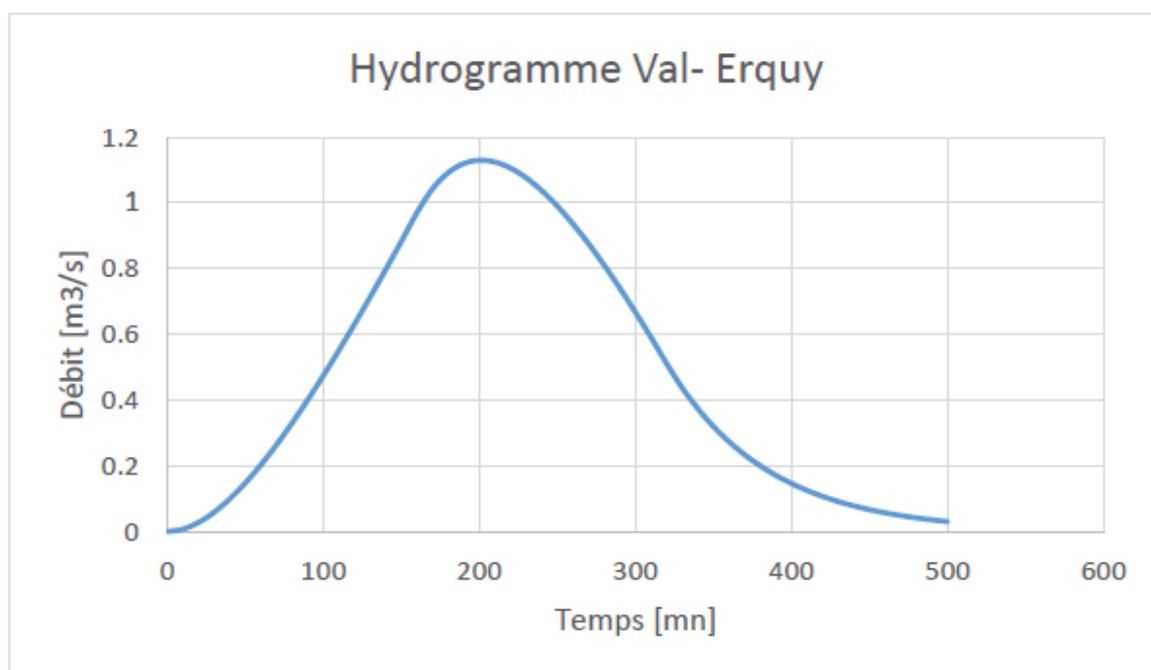
**Le débit centennal utilisé pour le Ruisseau du Val est alors de 1.13 m<sup>3</sup>/s.**



**Fig. 43.** *Modèle hydraulique du Val : extrait HEC RAS*

### 4.3.7 CONDITIONS AUX LIMITES

En partie amont, un hydrogramme a été imposé correspondant au pic de débit présenté dans le 0



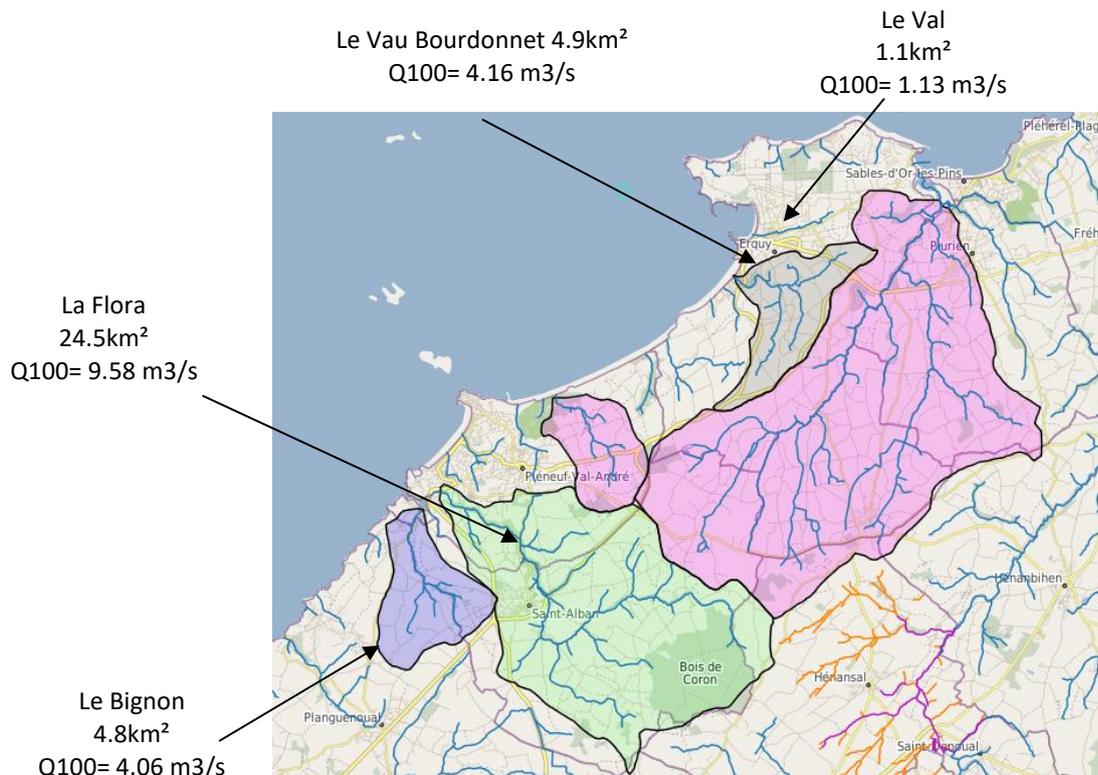
**Fig. 44.** *Hydrogramme Q100 pour le Ruisseau du Val*

En condition aval, un marégramme a été imposé correspondant à une marée de coefficient 70.

La figure suivante présente les apports utilisés pour chaque sous-bassin versant objet de modélisation.

**Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy**

CARACTERISATION DES ALEAS



**Fig. 45.** Débits centennaux en entrée de chaque sous-bassin

## 5 REcul DU TRAIT DE COTE PAR EROSION

### 5.1 DEFINITION DU REcul DU TRAIT DE COTE

L'évolution du trait de côte représente le déplacement de la limite entre le domaine marin et le domaine continental. Le terme érosion est utilisé lorsque ce déplacement se fait vers l'intérieur des terres, et le terme accrétion lorsqu'il est vers la mer. Ces déplacements naturels sont principalement provoqués par des forces marines et peuvent être couplés à des actions continentales et humaines (sur-fréquentation, extraction, aménagements et ouvrages de protection, urbanisation proche du littoral entraînant des ruissellements de surface et la présence de réseaux, etc).

Les côtes basses meubles et les côtes à falaises sont le type de côtes concernées dans le cadre du PPRL-i. Les premières présentent une mobilité permanente du trait de côte avec des phases d'avancée et de recul, tandis que les côtes à falaises, du fait de leur composition géologique, ne peuvent que reculer



**Fig. 46.** Côte basse meuble sur la plage du Portuais

### 5.2 METHODOLOGIE

La méthodologie de caractérisation du trait de côte est basée sur une synthèse de l'évolution historique des côtes. Cette synthèse consiste à effectuer une analyse diachronique, c'est-à-dire comparer dans le temps la position des traits de côte. Pour la suite de ce chapitre, l'ensemble de la méthodologie est issu du guide du PPRNL de mai 2014 réalisée par la Direction Générale de la Prévention des Risques – Service des Risques Naturels et Hydrauliques.

#### 5.2.1 PRINCIPES

Une approche historique va permettre d'avoir une connaissance des évolutions du trait de côte sur les années passées. Dans le cadre de ce PPRL-i, l'analyse a été réalisée sur la période 1929-2011 soit sur 82 ans. La plage de données étant sur plusieurs décennies, autorise une projection des

tendances passées sur les 100 prochaines années dans des conditions environnementales considérées comme invariantes dans le temps. En conséquence, la zone d'aléa de recul du trait de côte correspond à la zone de mobilité du trait de côte sous l'effet de l'érosion ou sous l'effet de la remontée du niveau de la mer à échéance 100 ans.

Cette détermination à échéance 100 ans s'appuie sur la définition d'un taux moyen annuel d'érosion ou de recul Tx exprimé en m/an calculé sur la période de connaissance historique disponible. Ainsi pour chaque tronçon homogène sera calculé un Tx et un 100Tx déterminé par projection sur 100 ans du taux moyen de recul du trait de côte annuel issu des tendances passées observées.

A retenir que pour tous les résultats qui seront produits, une incertitude est à prendre en compte. Cette incertitude est essentiellement due à la position des traits de côte utilisés qui fluctuent en fonction de la qualité, de la résolution du document source et du processus de géoréférencement des photographies aériennes.

Au vue de ces paramètres une marge d'erreur de +/- 10m à échéance 100 ans est à prendre en compte sur les résultats de notre analyse.

### 5.2.2 PRISE EN COMPTE DE L'ANTHROPISATION

Il n'est pas rare de rencontrer des ouvrages côtiers mis en place par l'homme le long du trait de côte. Ces ouvrages ont pour vocation initiale de fixer le trait de côte ou de soutenir des terres, de lutter contre l'érosion et de dissiper de l'énergie de houle. En cas de présence de ces ouvrages la méthode de calcul de Tx est à adapter en fonction du types d'ouvrages de protection, ainsi que de la morphologie du tronçon.

En dehors des trois digues urbaines qui fixent le trait de côte (à Erquy : digues de Caroual et du Centre, à Pléneuf : digue de la Promenade), deux ouvrages en enrochements sont également recensés à Erquy :

- Plage du Guen



**Fig. 47. Enrochement sur la plage du Guen**

- Plage de Saint-Pabu



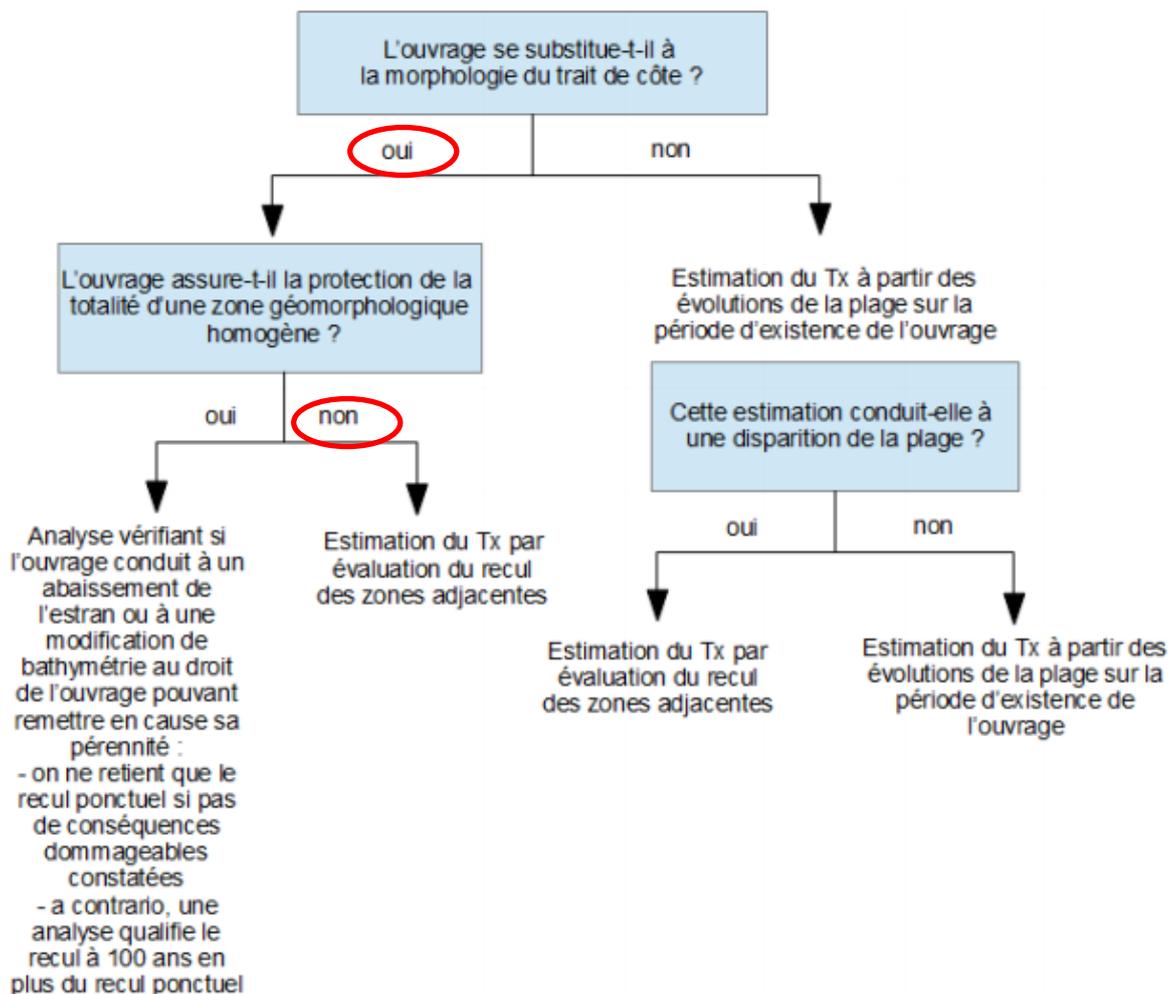
**Fig. 48. Enrochement sur la plage de Saint-Pabu**

Ainsi, dans le cas de côte basse meuble les ouvrages mis en place ne permettent pas de contrer les phénomènes d'érosion dans la durée, mais de fixer le trait de côte temporairement ou de limiter ses fluctuations. Un littoral dont la ligne de rivage est en apparence fixée peut ainsi être soumis à d'autres phénomènes d'érosion pouvant se traduire par un abaissement du profil, des affouillements en pied d'ouvrages, etc. De ce fait une zone située derrière un trait de côte artificialisé reste une zone potentiellement sujette à l'érosion et le cas échéant aux inondations.

Lors de la rencontre de ce type d'ouvrage, la méthode de détermination de Tx est à adapter selon deux cas de figure possibles :

- L'ouvrage s'est substitué à la morphologie de la cote. C'est-à-dire qu'à marée-haute l'ouvrage est en contact direct avec l'eau ;
- L'ouvrage et la plage aérienne coexistent même à marée haute. Le trait de côte n'est délimité qu'en partie par l'ouvrage et le haut de plage.

Un arbre des choix pour la méthode à appliquer lors du calcul du Tx est proposé par le guide PPRNL de mai 2014 (voir Fig. 49).



**Fig. 49. Estimation du taux moyen de recul annuel en présence d'ouvrages de protection**

Dans le cadre du présent PPRL-i les ouvrages de protection mis en place se sont substitués à la morphologie de la côte et donc seule la méthodologie de calcul de Tx de ce cas de figure sera traitée.

- Dans le cas où l'ouvrage assure la protection de la totalité d'une zone géomorphologique, il n'est alors pas possible de déterminer un Tx. Le phénomène d'érosion ne se traduira pas par un recul de la ligne de côte mais par un affaissement de l'estran et la modification du fond au droit de l'ouvrage.
- Dans le cas où l'ouvrage assure la protection d'une zone sur le tronçon, l'évolution du recul de côte est le même que celui situé sur les zones adjacentes de l'ouvrage. En effet, un recul du trait de côte finira par provoquer un phénomène de contournement autour de l'ouvrage.

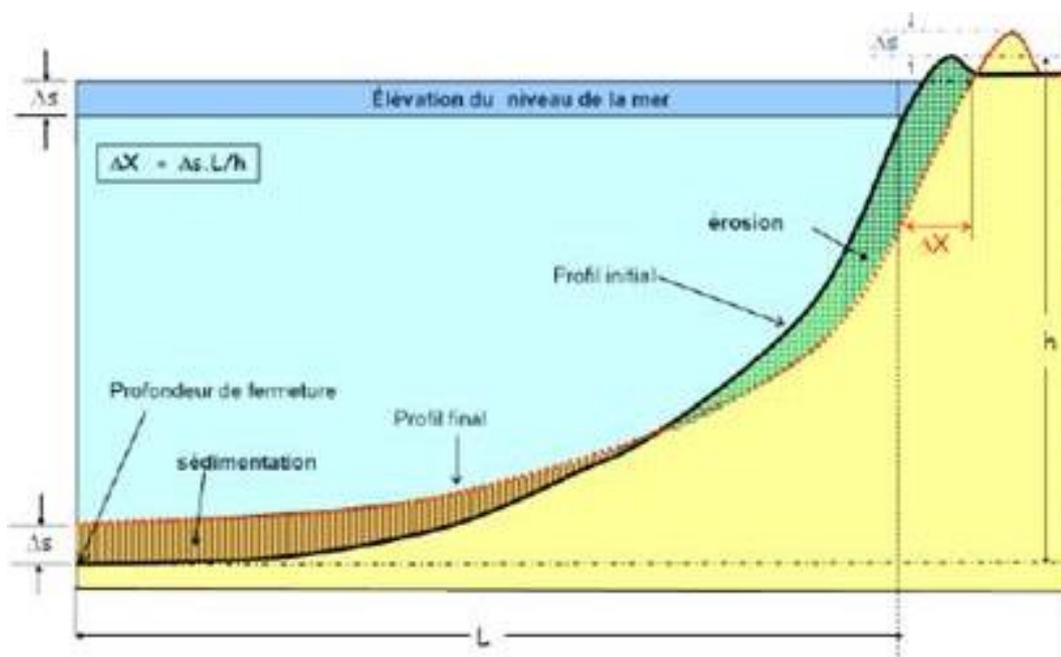
Pour les secteurs suivants, le Tx sera déterminé à partir des sous-zones adjacentes. En effet les ouvrages de protection ne sont pas continus sur la totalité de ces zones et peuvent être contournés à terme :

- Caroual
- Saint Pabu
- Le Guen

### 5.2.3 INTEGRATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Il est conseillé dans le cas d'étude d'aléa de recul du trait de côté d'évaluer dans les zones à forts enjeux l'impact du changement climatique. Il n'existe pas à ce jour de méthode unique adaptée pour déterminer la zone qui pourrait être érodée du fait du changement climatique. La méthode du type loi de Bruun est actuellement la plus utilisée. Bien qu'elle ne présente pas de manière précise la montée des océans, elle permet d'apporter un premier ordre de grandeur.

Cette loi prend comme hypothèse qu'une élévation du niveau de la mer entraîne une érosion de la côte.



**Fig. 50. Schéma théorique de l'approche de Bruun**

Il est admis par la communauté scientifique que le réchauffement climatique a entraîné une hausse moyenne du niveau marin de 20cm au cours du siècle dernier et haussera de plus de 60cm au cours du siècle prochain. C'est sur cette valeur que sera calculé l'impact du réchauffement climatique sur le trait de côte.

### 5.2.4 SYNTHÈSE DE LA METHODOLOGIE

Pour résumer la détermination du recul du trait de côte est faite selon les trois étapes suivantes :

#### 1 - Analyse du site d'étude et découpe des zones homogènes (voir Fig. 51)

- Côtes meubles basses ;
- Côtes à falaises ;
- Prise en compte des ouvrages de protection et de leur continuité.



**Fig. 51.** Exemple d'un découpage par tronçon au niveau du cap d'Erquy

## 2 - Récupération et traitement des données

- Téléchargement des photos aériennes ( via <https://remonterletemps.ign.fr/> de 1929 à 2011) ;
- Géoréférencement des photos (Lambert 93) ;
- Superposition des traits de côte entre plusieurs années (voir Fig. 52).



**Fig. 52.** Représentation de l'évolution du trait de côte à diverses années au niveau de la plage du Guen

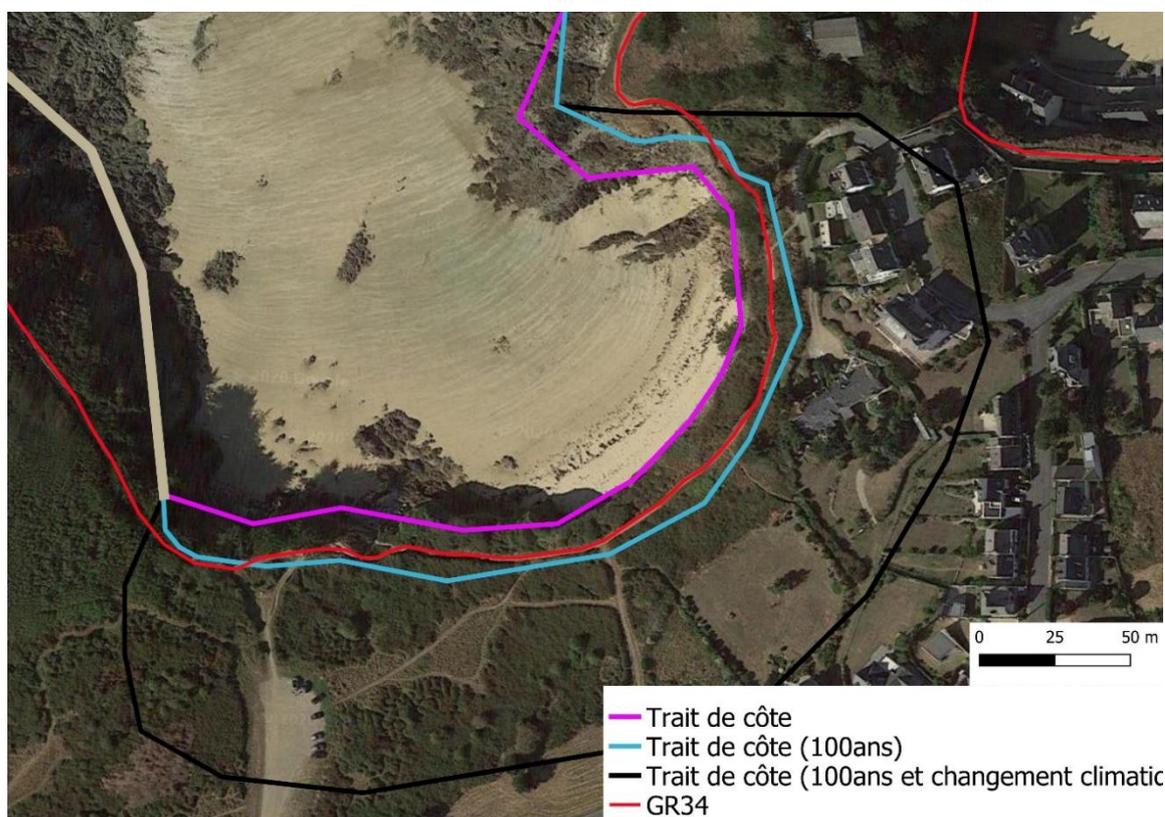
### 3 - Calculs des résultats

- Extraction des distances entre les traits de côte ;
- Intégration du réchauffement climatique par la formule de Bruun.

## 5.3 RESULTATS

L'ensemble des résultats sont présentés dans les tableaux de synthèses ci-dessous (Tabl. 25 - Tabl. 26 - ). Les résultats montrent majoritairement une érosion du trait de côte de quelques dizaines de mètres sur 100 ans. La prise en compte du changement climatique augmente cette tendance et par conséquent accroît de manière significative la zone érodée.

Le sentier de randonnée maritime GR 34 qui part du mont Saint-Michel jusqu'à Saint-Nazaire et qui est situé sur la totalité du linéaire du site d'étude sera impacté par le recul du trait de côte. Cet impact se localise principalement sur l'Anse du Pisso à Pléneuf (Fig. 53) et la plupart des plages.



**Fig. 53.** Evolution du trait de côte de l'Anse du Pisso

Cette méthode qui permet d'estimer le taux d'érosion comporte un niveau d'incertitude. En effet, elle est basée sur une comparaison de photos. Ainsi les cartes présentant les taux d'érosion indiquent les valeurs obtenues. **Si dans ces zones, la valeur du taux est faible ou si elles sont situées au niveau de falaises, alors les cartes présentant le trait de côte ne montrent pas d'évolution.**

Les cartes sont présentées en Annexe 2

## Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de Pléneuf-Val-André et Erquy

CARACTERISATION DES ALEAS

**Tabl. 25 - Evolution du trait de côte sur la commune de Erquy**

Plages	Types de littoral	Tx (m/an)	Tx sur 100 ans sans changement climatique	Formule de Bruun	Tx sur 100 ans avec changement climatique
Plage des Montiers- Sud estuaire de l'Islet	Côte basse meuble et rocheuse	-0.15	-15	-67	-53
Plage des Montiers- Nord estuaire de l'Islet	Côte basse meuble	0.56	56	-67	-11
Pointe du Champ du Port	Côte basse meuble et rocheuse	-0.06	-6	-60	-54
Plage Saint Michel-Est	Côte basse meuble	0.22	22	-60	-38
Plage Saint Michel-Centre	Côte basse meuble	0.59	59	-62	-3
Plage Saint Michel-Ouest	Côte basse meuble	-0.24	-24	-62	-38
Plage du Guen-Est	Côte basse meuble	-0.16	-16	-62	-46
Massif rocheux plage du Guen	Côte rocheuse	-0.10	-10	-62	-52
Plage du Guen-Centre	Côte basse meuble	0.15	15	-62	-47
Plage du Guen-Ouest	Côte basse meuble	-0.44	-44	-62	-18
Jonction Plage du Guen et Plage du Portuais	Côte rocheuse	-0.11	-11	-62	-51
Plage du Portuais	Côte basse meuble	-0.22	-22	-62	-40
Jonction Plage du portuais et Plage du Lortuais	Côte rocheuse	-0.05	-5	-62	-57
Plage du Lortuais	Côte basse meuble	-0.02	-2	-62	-60
Jonction Plage de Lortuais et Anse de Port Blanc	Côte rocheuse	-0.06	-6	-78	-72
Anse de Port Blanc	Côte basse meuble	-0.49	-49	-78	-29
Sud de la Pointe des Trois Pierre	Côte rocheuse	-0.15	-15	-78	-63
Pointe de la Houssaye	Côte rocheuse	-0.04	-4	-69	-66
Sud Plage de Caroual	Côte basse meuble	-0.23	-23	-69	-46
Jonction Plage de Caroual et Plage de Saint-Pabu	Côte rocheuse	-0.10	-10	-69	-59

**Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'inondation (PPRL-i) des communes de  
Pléneuf-Val-André et Erquy**

CARACTERISATION DES ALEAS

**Tabl. 26 - Evolution du trait de côte sur la commune de Pléneuf-Val-André**

Plages	Types de littoral	Tx (m/an)	Tx sur 100 ans sans changement climatique	Formule de Bruun	Tx sur 100 ans avec changement climatique
Plage de Saint-Pabu	Côte basse meuble	-0.04	-4	-69	-66
Plage de la Ville Berneuf	Côte basse meuble	-0.37	-37	-69	-33
Massif rocheux - Plage de Nantois	Côte rocheuse	-0.07	-7	-68	-60
Plage du Nantois-Sud	Côte basse meuble	-0.24	-24	-68	-43
Jonction plage Nantois et Plage des Vallées	Côte rocheuse	-0.05	-5	-68	-63
Plage des Vallées	Côte basse meuble	-0.33	-33	-68	-35
Pointe de Pléneuf	Côte rocheuse	-0.11	-11	-74	-63
Anse du Pisso	Côte basse meuble et rocheuse	-0.28	-28	-68	-40
La Grande Guette	Côte rocheuse	-0.10	-10	-66	-57
Jonction sud du Port Dahouët et Plage du Port Morvan	Côte rocheuse	-0.10	-10	-66	-57

## 6 CARTES D'ALEAS

L'ensemble des cartes d'aléas sont présentées en Annexe 3 :

- Aléa inondation : maximum de l'aléa observé pour chaque type d'inondation (submersion marine, franchissement ou débordement de cours d'eau).

Les cartes d'aléa inondation intègrent également une bande de précaution de 25m correspondant aux chocs mécaniques et aux risques de projection liés aux vagues. Cette bande littorale est appliquée au secteurs dont l'altimétrie est inférieure à 15mIGN69, cote au-delà de laquelle la survenue de cet aléa est peu réaliste. Enfin les profils et

- Aléa recul du trait de côte : taux de recul et comparaison des différents traits de côte.

Les échelles et formats des cartographies sont les suivants :

- Atlas 1/5000 : formats A0 et A3 ;
- Zooms 1/2500 : format A3 (profils et cotes de référence) ;

## 7 CONCLUSION

Ce rapport de Phase 2 a présenté les aléas sur les communes d'Erquy et Pléneuf-Val-André.

Les aléas suivants ont été étudiés :

- Submersion par franchissement ;
- Submersion par débordement ;
- Inondation fluviale ;
- Erosion littorale.

Les emprises d'aléas obtenues seront alors comparées aux enjeux lors de la Phase 3.

A SAINT-HERBLAIN, le 15/01/2021



DIRECTION REGIONALE OUEST  
Les Bureaux du Sillon  
8 Avenue des Thébaudières - CS 20232  
44815 SAINT HERBLAIN CEDEX  
Tél. : 02 28 09 18 00  
Fax : 02 40 94 80 99

## **ANNEXE 1**

# **Modélisation des phénomènes de houle**



## **ANNEXE 2**

# **Cartographie de l'évolution du trait de côte**



## **ANNEXE 3**

# **Cartographie des aléas**

