



RAPPORT

Etude de qualification et d'adaptation au changement climatique du littoral du Bourg de Bouillante

Phase 3 – AVP

Mars 2025



AGENCE DES 50 PAS
ETUDE DE QUALIFICATION ET D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DU LITTORAL DU BOURG DE
BOUILLANTE

CLIENT

RAISON SOCIALE	Agence des 50 pas
COORDONNÉES	Cité administrative de Circonvallation R. Alexandre Buffon – 97100 Basse-Terre Tél. : 05 90 80 36 50 E-mail : agence@50pasguadeloupe.fr

CREOCEAN

COORDONNÉES	CREOCEAN – Agence Antilles - Guyane 13 lot. Ti bambou, Convenance 97122 BAIE-MAHAULT - Plan Fixe 05 90 41 16 88 caraibes@creocean.fr
INTERLOCUTEUR	Mr Florian LABADIE Tél. : 06 90 15 78 24

RAPPORT

TITRE	Etude de qualification et d'adaptation au changement climatique du littoral du Bourg de Bouillante Phase 3 – AVP
NOMBRE DE PAGES TOTAL	27

VERSION

RÉFÉRENCE	VERSION	DATE	REDACTEUR	CONTRÔLE QUALITE
240985C	IndA	30/04/2025	NCL	FBR

Sommaire

1. Introduction.....	5
1.1. Objectifs et cadre de la mission.....	5
1.2. Données d'entrée et documents de références	5
1.3. Normes et recommandations	6
2. Recul du trait de côte et état de l'enrochement.....	6
2.1. Aléa érosion.....	6
2.2. Etude diachronique du trait de côte.....	7
2.3. Etat de l'enrochement protégeant le front de mer.....	9
3. Aménagement retenu en phase Avant-Projet	11
3.1. Présentation de l'aménagement.....	12
3.2. Contraintes.....	13
3.2.1. Contraintes techniques	13
3.2.2. Contraintes administratives et réglementaires	14
3.2.3. Contraintes environnementales	14
4. Dimensionnement et préconisations de travaux	14
4.1. Conditions d'entrée retenues pour le dimensionnement des ouvrages.....	14
4.1.1. Niveau marin extrême retenu.....	14
4.1.2. Houle de projet en pied d'ouvrage	14
4.1.3. Densité des enrochements	14
4.2. Dimensionnement.....	15
4.2.1. Hypothèses générales	15
4.2.2. Poids unitaire et épaisseurs des enrochements.....	15
4.3. Géométrie des ouvrages.....	15
4.4. Consistance et méthodologie des travaux.....	15
4.4.1. Les moyens matériels.....	16
4.4.2. Phasage des travaux	16
4.5. Estimation du coût reprise des enrochements sur le front de mer du bourg de Bouillante	18
5. Délais de réalisation	20
6. Études complémentaires à réaliser	20

Annexe 1.....	21
Annexe 2.....	22

Liste des Figures

<i>Figure 2-1 : Aléa érosion côtière sur Bouillante [R2]</i>	<i>6</i>
<i>Figure 2-2 : Suivi du trait de côte au droit du CP de 1989 à 2021</i>	<i>8</i>
<i>Figure 2-3 : Evolution annuelle du trait de côte au droit du bourg de Bouillante</i>	<i>9</i>
<i>Figure 2-4 : Etat de l'enrochement du bourg de Bouillante, CREOCEAN 2025</i>	<i>10</i>
<i>Figure 3-1 : Vues en plan du projet de reprise des enrochements du front de mer du bourg de Bouillante</i>	<i>12</i>
<i>Figure 3-2 : Profils en travers P3 et P6 de reprise des enrochements du front de mer du bourg de Bouillante</i>	<i>13</i>

Liste des Tableaux

<i>Tableau 4-4 : Chiffrage estimatif de la reprise des enrochements sur le front de mer du bourg de Bouillante</i>	<i>19</i>
--	-----------

LEXIQUE DEFINITIONS ET CONVENTIONS

DEFINITION DES PARAMETRES

Notations relatives au vent

Notation	Unité	Définition
Ws	m/s	Vitesse moyenne du vent sur 10 minutes À une altitude de 10 m
Wd	° / Nord	Direction du vent Associée à Ws

Notations relatives au niveau de la mer

Notation	Unité	Définition
Surcote ou Décote	m	Surcote ou Décote atmosphérique incluant l'effet du vent, le baromètre inverse, et la variation saisonnière du niveau de la mer Marée et réchauffement climatique exclus
Niveau de marée	m	Niveau de marée d'origine astronomique

Notations relatives aux niveaux caractéristiques de marée

Notation	Unité	Définition
PHMA	m	Plus Haute Mer Astronomique
PMVE	m	Pleine Mer Moyenne de Vive-Eau
NM	m	Niveau Moyen
BMVE	m	Basse Mer Moyenne de Vive-Eau
PBMA	m	Plus Basse Mer Astronomique

Notations relatives aux vagues

Notation	Unité	Définition
Hm0 or Hs	m	Hauteur de houle significative spectrale $= 4 \sqrt{E}$, où E est l'énergie du spectre de houle
H1/3	m	Hauteur de houle significative Définie comme la moyenne du 1/3 supérieur des vagues En eau profonde $H1/3 \approx Hm0$
Hmax	m	Hauteur de houle maximum $= 0.707 \times H1/3 \sqrt{(\ln N)}$ où N est le nombre de vagues
Tp	s	Période pic Définie comme l'inverse de la fréquence la plus énergétique du spectre total, après somme des directions
Dirm	° / North	Direction moyenne Définie comme la direction Moyenne du spectre de houle
DirTp	° / North	Direction pic Définie comme la direction la plus énergétique de la bande de fréquence correspondant au Tp

CONVENTIONS

TRES IMPORTANT :

- ▶ Par convention, les directions données sont :
 - Celles d'où viennent les vagues ;
 - Celles d'où vient le vent ;
 - Celles où se dirigent les courants ;
- ▶ Les coordonnées sphériques se rapportent à la projection de Mercator dans le système WGS84 ;
- ▶ Les coordonnées verticales sont relatives au ZH (Zéro Hydrographique).

STATISTIQUES

Les diagrammes présentés dans ce document sont utilisés pour montrer la répartition statistique de deux variables :

- ▶ Un **Scatter plot (corrélogramme ou nuage de points)** est une représentation graphique permettant de montrer les valeurs simultanées de deux variables issues d'une base de données. Les couples de données sont affichés sous forme de collection de points, la valeur du premier paramètre déterminant la position sur l'axe horizontal, la valeur du second celle sur l'axe vertical.
- ▶ Un **diagramme quantile-quantile** (ou **Q-Q plot**) est une méthode graphique pour comparer les distributions statistiques de deux paramètres en affichant pour chaque quantile leur valeur respective.

Notation	Unité	Définition
Biais		Différence moyenne entre 2 séries de données
BI		Biais non dimensionnel = Biais / Valeur moyenne
R		Coefficient de corrélation
RMS		Root Mean Square Différence quadratique entre 2 séries de données
SI		Scatter Index = RMS / Valeur moyenne

1. Introduction

1.1. Objectifs et cadre de la mission

La commune de Bouillante située sur la côte sous le vent et particulièrement son littoral, est notable grâce à ses atouts paysagers reconnus : la réserve Cousteau à Malendure riche en biodiversité et l'exploitation de la centrale géothermique de renommée mondiale qui est l'une des deux centrales géothermiques de France.

Le centre bourg de la commune est localisé de manière stratégique, sur le littoral, et près de la Centrale géothermique. Le littoral constitue une source économique pour la commune :

- ▶ Pour le secteur secondaire avec la centrale géothermique ;
- ▶ Pour le secteur tertiaire notamment le tourisme (plongée sous-marine, hôtellerie-restauration...).

L'enjeu de préservation du littoral sur la commune est alors au cœur des enjeux de son développement.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de l'étude de qualification et d'adaptation au changement climatique du littoral du Bourg de Bouillante visant la mise en place d'un projet vertueux pour l'environnement tout en permettant de revitaliser la commune, en habitants et en activité économique.

Le présent rapport concerne la phase Avant-Projet (AVP). A la suite de la demande formulée par la maîtrise d'ouvrage lors de la réunion du 12 mars 2025, l'aménagement proposé retenu consiste en une réfection complète des enrochements présents sur le front de mer afin d'assurer le maintien du trait de côte.

1.2. Données d'entrée et documents de références

La liste des documents d'entrée, des publications, des guides internationaux et des documents de références sur lesquels les études se sont appuyées est la suivante :

- [R1].** Rapport de phase 2 – Etude de qualification et d'adaptation au changement climatique du littoral du Bourg de Bouillante – CREOCEAN, octobre 2024
- [R2].** CEREMA (2016) « Indicateur national de l'érosion côtière » - Guadeloupe.
- [R3].** Références Altimétriques Maritimes - Ports de France métropolitaine et d'outre-mer - Côtes du zéro hydrographique et niveaux caractéristiques de la marée, SHOM 2022
- [R4].** GIEC, 2019. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate et GIEC, 2021. AR6. Climate change 2021. The physical Science Basis
- [R5].** Projet Homonim, SHOM, 2015. MNT bathymétrique de façade de la Guadeloupe et de la Martinique, résolution de 0.001° (~ 111 m)
- [R6].** Litto3D, SHOM 2016. MNT topo-bathymétrique Guadeloupe, résolution 1m x 1m
- [R7].** Plan topographique Bourg de Bouillante du 30/04/2024 – Cabinet Simon & Associés – Géomètres Experts
- [R8].** The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition), CIRIA, CUR, CETMEF, 2012.
- [R9].** NF EN 13383-1 - Enrochements - Partie 1 : spécifications - Août 2003

1.3. Normes et recommandations

Les normes et recommandations faisant référence en la matière suivantes ont été considérées pour le dimensionnement de l'ouvrage :

- ▶ Normes européennes NF EN 1990 à 1998 et leurs annexes nationales, dites « EUROCODES »,
- ▶ Guide du SETRA de dimensionnement des ouvrages de soutènement,
- ▶ Recommandations pour les calculs des ouvrages en site aquatique (ROSA 2000),
- ▶ Le guide des enrochements, CETMEF, CUR, CIRIA, 2009.
- ▶ NF EN 13383-1 - Enrochements - Partie 1 : spécifications - Août 2003

2. Recul du trait de côte et état de l'enrochement

2.1. Aléa érosion

Le décret n° 2022-750 du 29 avril 2022 établissant la liste des communes dont l'action en matière d'urbanisme et la politique d'aménagement doivent être adaptées aux phénomènes hydro-sédimentaires entraînant l'érosion du littoral, reconnaît la ville de Bouillante comme une des 126 communes concernées par ce risque.

Les territoires d'Outre-Mer, dont la Guadeloupe, sont les premiers touchés par les effets du changement climatique. Bouillante en fait partie, l'analyse de l'évolution du trait de côte par département faisant apparaître un recul compris entre 0.1 et 0.5m/an sur Bouillante (CEREMA, 2016 [R2]).

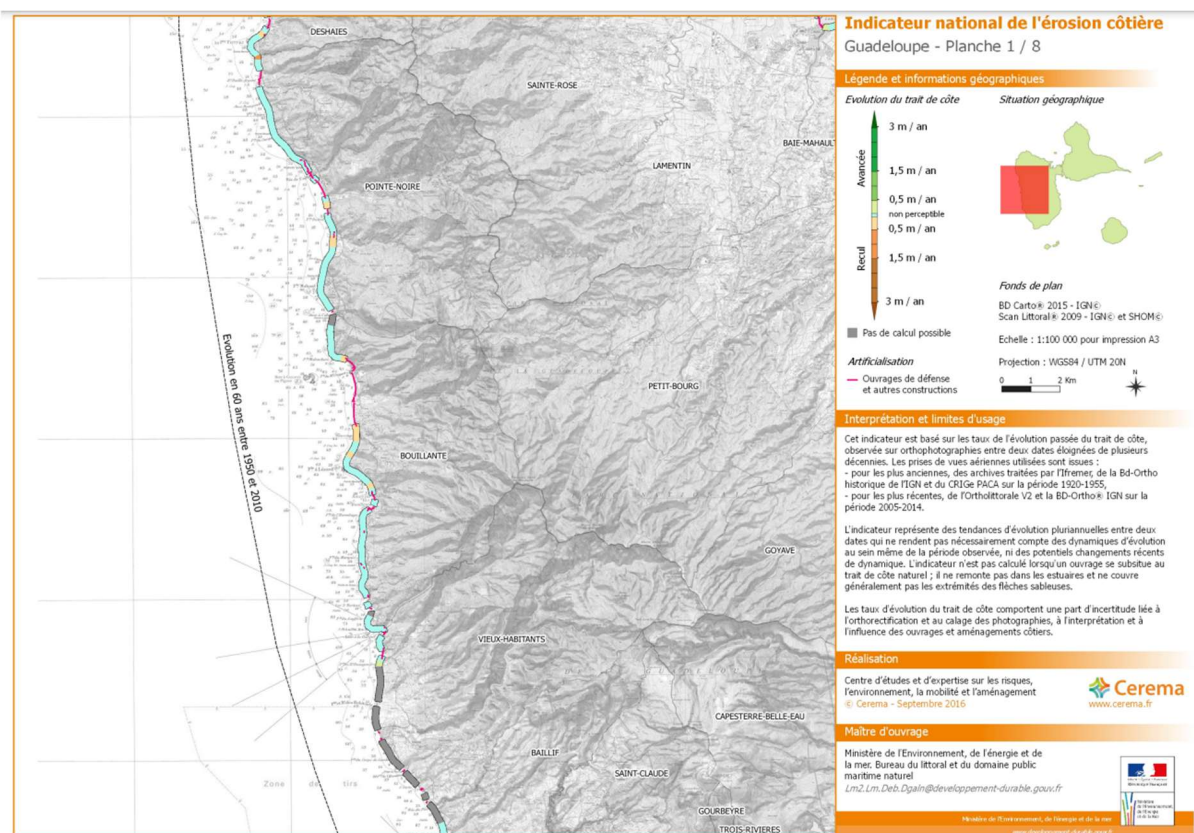


Figure 2-1 : Aléa érosion côtière sur Bouillante [R2]

L'aléa recul du trait de côte (ou érosion marine) n'est pas encore caractérisé dans le PPRn de Guadeloupe.

Dans le cadre de la présente étude, une étude diachronique d'évolution du trait de côte a été réalisée et est présentée au §2.2 p.7

2.2. Etude diachronique du trait de côte

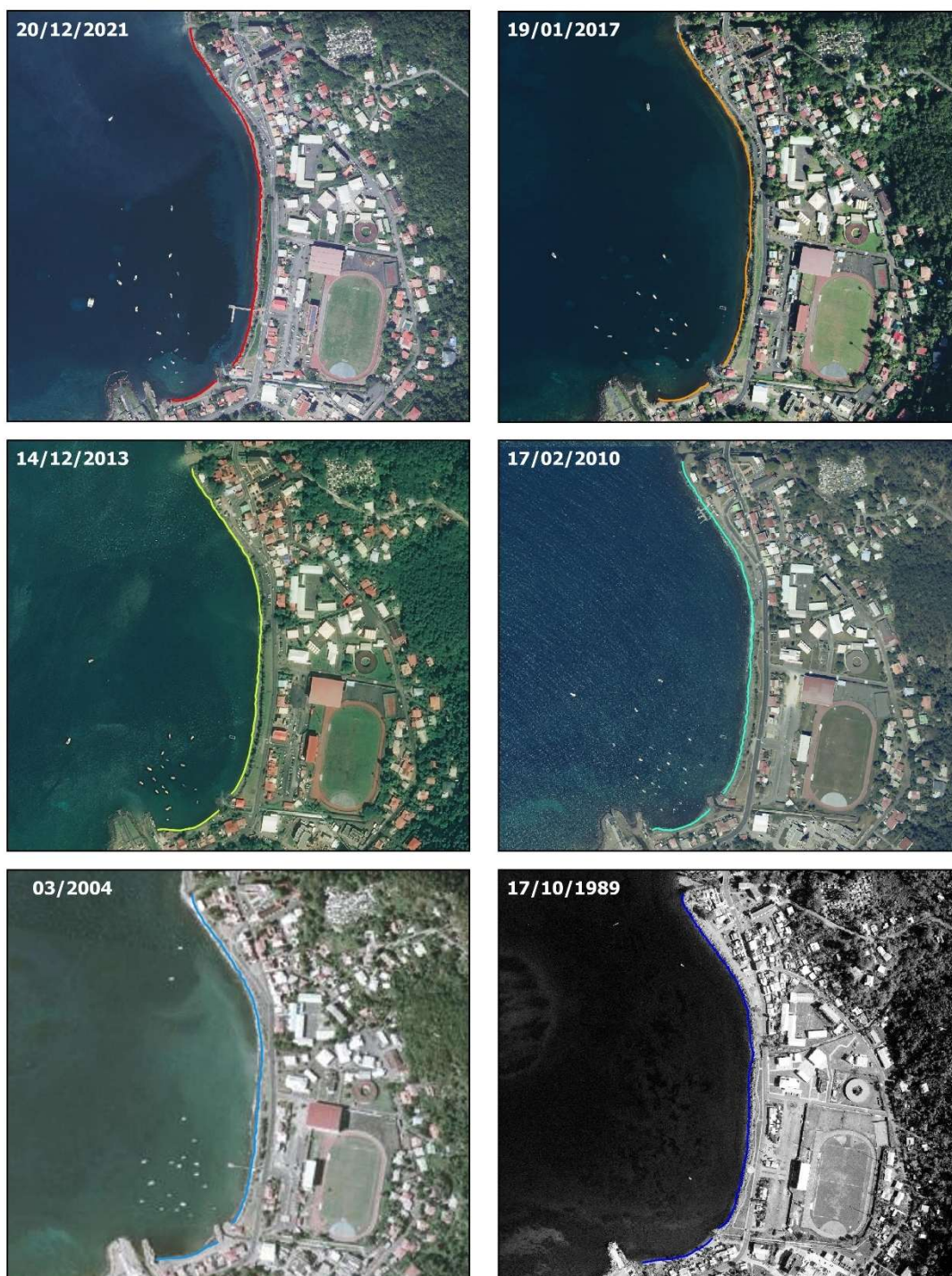
Dans le cadre de l'étude, une mise à jour de l'évolution du trait de côte a été réalisée. Pour cela, le module DSAS (Digital Shoreline Analysis System) du logiciel d'ArcGIS a été utilisé, la méthodologie est présentée succinctement ci-dessous :

- ▶ Importation dans ArcGIS de 6 images. Les dates retenues pour l'analyse ont été les suivantes : 1989, 2004, 2010, 2013, 2017, 2021 ;
- ▶ Digitalisation des traits de côte et importation de ces derniers dans le module Digital Shoreline Analysis System (DSAS) ;
- ▶ Création de transects perpendiculaires à une ligne de base. Ces transects intersectent les différents traits de côte et permettent de mesurer la variation des taux d'évolution des traits de côte le long de ces transects ;
- ▶ Calcul automatique de taux d'évolution du trait de côte sur chacun des transects avec le module SAS selon la méthode du LRR (Linear Regression Rate-of-change), qui indique la valeur de la pente d'une droite de régression linéaire positionnée dans le nuage de points formé par les mesures de distance entre tous les points d'intersection de chaque transect et des traits de côte comparés.

Les résultats obtenus sont présentés en Figure 2-2 et Figure 2-3. Les résultats d'évolution du trait de côte montrent une relative stabilité du trait de côte liée à l'artificialisation du trait de côte par l'enrochement. Sur la période 1989-2021, le taux de recul le plus important (compris entre -0,11 et -0,07 m/an) est localisé sur un secteur où l'enrochement existant présente un état de dégradation avancé (cf. §2.3 p.9).

Position des traits de côte

Commune de Bouillante



creocean



Auteur : CREOCEAN jfb | Date : 29/10/2024 | 240985_Bouillante.qgz

Sources : IGN
Traits de côte : Creocean, digitalisé à partir des fonds de plan IGN

1:7,500
Format A4



0 70 140 m

Projection : WGS 84 / UTM zone 20N - EPSG:32620

Figure 2-2 : Suivi du trait de côte au droit du CP de 1989 à 2021

Evolution du trait de côte entre 1989 et 2021



Figure 2-3 : Evolution annuelle du trait de côte au droit du bourg de Bouillante

2.3. Etat de l'enrochement protégeant le front de mer

CREOCEAN a réalisé une visite de site le 08/01/2025 afin de qualifier l'état de l'enrochement existant sur le front de mer du bourg de Bouillante. Les planches photographiques ainsi que le détail de l'état de l'enrochement sont fournies dans le rapport de phase 2 [R1].

La figure suivante présente la sectorisation de l'enrochement en 3 classes d'état :

- ▶ Bon : ouvrage avec peu de risque de rupture ;
- ▶ Moyen : ouvrage avec des affaissements ;
- ▶ Mauvais : ouvrage avec des ruines.



Figure 2-4 : Etat de l'enrochement du bourg de Bouillante, CREOCEAN 2025

3. Aménagement retenu en phase Avant-Projet

Une reprise complète des enrochements dans les règles de l'art est prévue dans le cadre de cet avant-projet, conformément à la demande formulée par la maîtrise d'ouvrage.

L'enrochement projeté sera réalisé en lieu et place de l'enrochement existant, sans modification de l'altimétrie. Son rôle ne concernera que la fixation du trait de côte sans influencer sur la submersibilité du bourg.

Le niveau de protection demandé recommandé pour ce type d'installation est le niveau cinquantennale. Ainsi, l'ouvrage devra pouvoir résister à un phénomène majeur de période de retour de 50 ans (en fonction des dommages admissibles). Le dimensionnement de la carapace de l'enrochement est détaillé en Annexe 1.

Le choix des matériaux devra être compatible avec la réglementation et les normes en vigueur.

Les extraits de plans et coupes fournis ci-après sont extraits de l'annexe 2 du présent rapport.

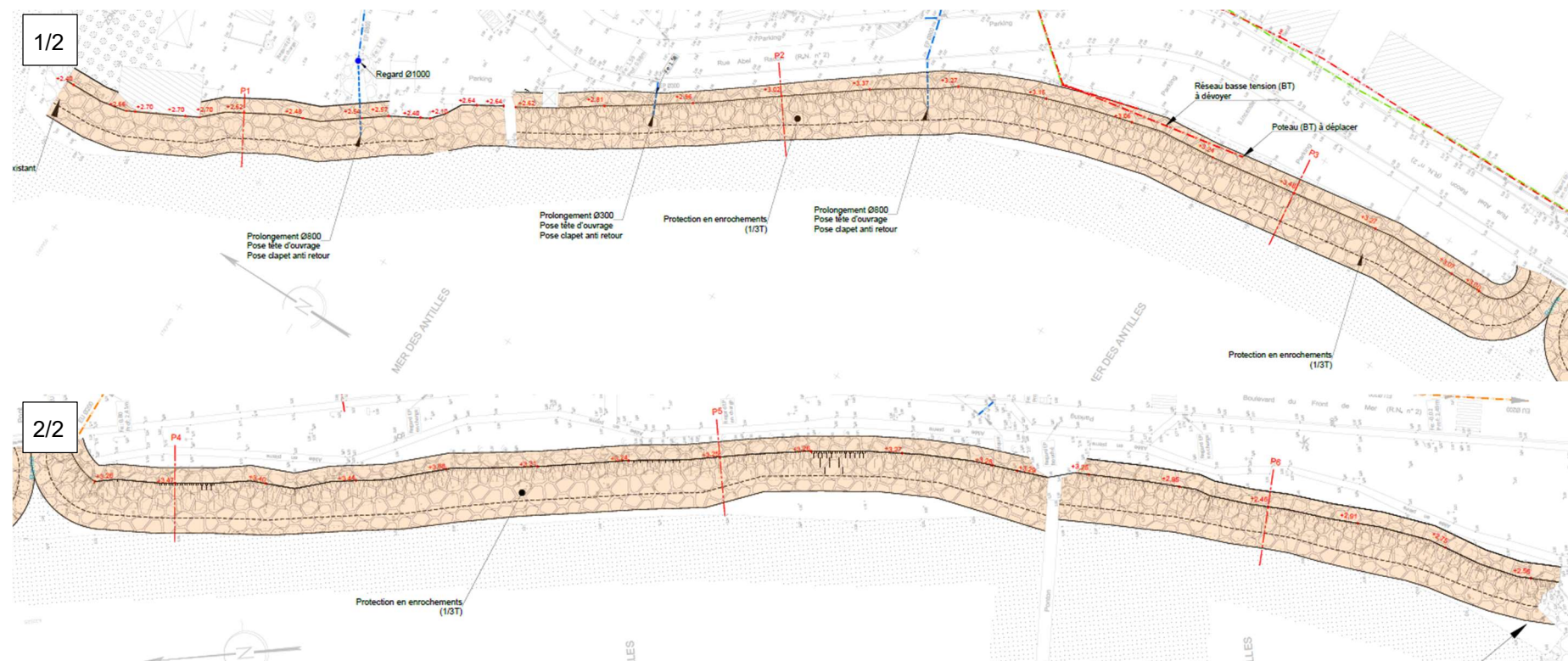
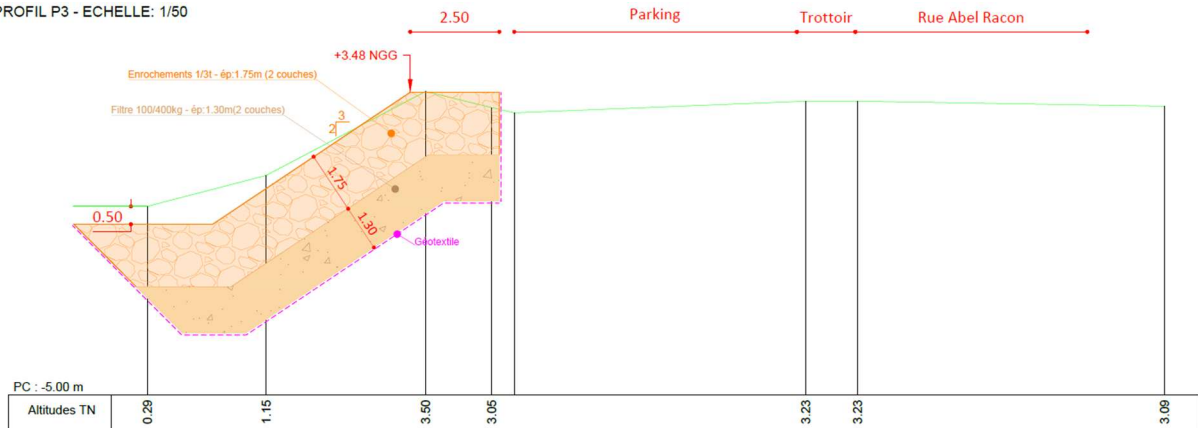


Figure 3-1 : Vues en plan du projet de reprise des enrochements du front de mer du bourg de Bouillante

PROFIL P3 - ECHELLE: 1/50



PROFIL P6 - ECHELLE: 1/50

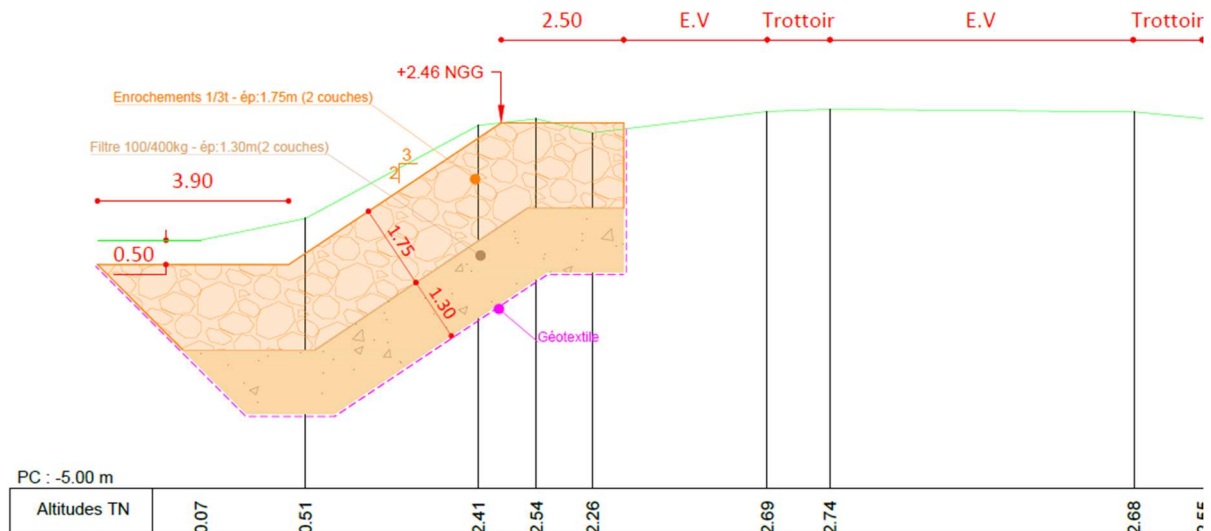


Figure 3-2 : Profils en travers P3 et P6 de reprise des enrochements du front de mer du bourg de Bouillante

3.2. Contraintes

3.2.1. Contraintes techniques

- ▶ Proximité du bourg :
 - Réalisation des travaux en journée,
 - Réalisation/reprise de réseaux permettant un ressuyage efficace en cas de submersion et compatible avec les réseaux urbains existants ou prévues dans le cadre des études en cours.
 - Période de rotation des camions.
- ▶ Contexte insulaire :
 - Approvisionnement en enrochements naturels potentiellement limité (quantité et délais d'approvisionnement). Autant que possible, la solution privilégiera des enrochements locaux en prévenance des carrières à proximité du site (carrière de Deshaies).

- ▶ Conditions hydrodynamiques :
 - Réalisation des travaux hors période cyclonique.

3.2.2. Contraintes administratives et réglementaires

- ▶ Procédures réglementaires :
 - Étude d'impact → procédure de « cas par cas »,
 - Dossier au titre de la loi sur l'eau → seuil à 1 900 000 € entre dossier de déclaration et dossier d'autorisation (dont enquête publique),
 - Dossier au titre de la propriété domaniale.

3.2.3. Contraintes environnementales

- ▶ Contexte biologique marin : Milieu à priori à forte valeur environnemental (coraux et autres peuplements benthiques) à proximité du front de mer.

4. Dimensionnement et préconisations de travaux

4.1. Conditions d'entrée retenues pour le dimensionnement des ouvrages

4.1.1. Niveau marin extrême retenu

Un niveau marin de +1,173 m IGN 1988, décomposé comme suit est retenu :

- ▶ Niveau PHMA : 0,063 m IGN 1988 ;
- ▶ +0,71 m de surcote barométrique ;
- ▶ Augmentation du niveau marin de +0,40 m (scénario SSP5-8.5 du GIEC).

Les détails sont fournis en annexe 1 du présent rapport.

4.1.2. Houle de projet en pied d'ouvrage

Les résultats extraits en pied d'ouvrage pour les conditions cycloniques sont :

- ▶ $H_s = 1,68$ m
- ▶ $T_{moy} = 10,33$ s
- ▶ $T_p = 10,00$ s

Les conditions au large ainsi que les résultats du modèle de propagation de houle sont détaillées en annexe 1 du présent rapport.

4.1.3. Densité des enrochements

La masse volumique prise en compte dans cette étude est de 2700 kg/m³, conformément aux renseignements fournis par un fournisseur local.

4.2. Dimensionnement

Le dimensionnement est détaillé en annexe 1 du présent rapport.

4.2.1. Hypothèses générales

Le dimensionnement des ouvrages sera réalisé en conformité avec le guide Enrochements, Version Française du « ROCK MANUAL » CUR CIRIA CETMEF (2012) [R8].

4.2.2. Poids unitaire et épaisseurs des enrochements

Nous préconisons la mise en place d'une **carapace composée d'enrochements de 1000-3000 kg** (conformément à la norme NF EN 13380-1), en **double couche** (épaisseur **1,75 m au minimum** pour une roche de masse volumique de 2700 kg/m³) sur un talus de pente 3H/2V.

Afin d'éviter tout risque de migration de particules fines à travers cette carapace, il est nécessaire d'installer une **couche filtre** composée d'enrochements de **100-400 kg**, en double couche (**épaisseur 1,3 m au minimum pour une roche de masse volumique de 2700 kg/m³**) sur un talus de pente 3H/2V.

4.3. Géométrie des ouvrages

Les ouvrages de protection en enrochement seront composés par :

- ▶ Une carapace de protection en enrochement naturel ;
- ▶ Une couche filtre en enrochements ;
- ▶ Un géotextile de filtration ;
- ▶ Un noyau de digue généralement constitué avec les matériaux en place après re talutage.

La carapace extérieure et de l'ensemble des couches sous-jacentes seront disposées selon une pente de 3H/2V. Les pentes sont similaires à celles observées sur les ouvrages situés directement à proximité.

La vue en plan ainsi que les coupes types de l'ouvrage sont présentées en Annexe 2.

4.4. Consistance et méthodologie des travaux

Les travaux envisagés seront les suivants :

- ▶ Déblais de toute nature pour création de l'enrochement repris sur toute son épaisseur, en incluant la butée de pied ;
- ▶ Reconstruction complète de l'enrochement dans les règles de l'art ;
 - Enlèvement de la végétation arbustive,
 - Démantèlement de l'ouvrage existant,
 - Tri des matériaux en vue de leur réutilisation,
 - Terrassement du fond de forme de l'enrochement comprenant une souille pour la mise en œuvre de la butée de pied,
 - Mise en œuvre d'un géotextile,
 - Mise en œuvre du nouvel enrochement selon les règles de l'art avec des matériaux de réemploi et l'apport de nouveau matériaux.

Lors de la dépose de l'enrochement existant, un tri des blocs sera réalisé sur site de manière à favoriser le réemploi tous les blocs correspondants aux blocométries définies précédemment. Il sera par ailleurs possible d'envisager un concassage des blocs sur site afin de constituer les matériaux de la couche filtre.

Les travaux de terrassement seront réalisés à l'aide d'engins de chantier (atelier terrestre) : pelles mécaniques (godet terrassement), chargeuses, camions benne.

4.4.1. Les moyens matériels

Les moyens matériels envisagés pour la réalisation des travaux sont les suivants :

- ▶ Moyens nautiques type barge pour le déploiement des filets anti-pollution et turbidité ;
- ▶ La réalisation des souilles : pelle mécanique équipée d'un godet ;
- ▶ La pose d'enrochements : pelle mécanique équipée d'un godet ou grappin.

4.4.2. Phasage des travaux

La première tâche, est décrite ci-après :

- ▶ **Tâche 1** : Cette phase comprend la période de préparation qui précède le démarrage du chantier. Elle prévoit donc :

- Préparation du site ;
- Installations de chantier ;

Elle comprend notamment :

- Les études d'exécution ;
- La définition d'une zone de stockage de chantier ;
- L'amenée des engins et des matériaux sur site, et stockage sur les zones définies ;
- Les reconnaissances complémentaires éventuelles (topographie, géotechnique, réseaux...) ;
- Le piquetage du chantier et le dégagement des emprises nécessaires ;
- La mise en place de la signalisation terrestre et maritime ;
- La pose d'un filet anti-MES ;
- La sécurisation de la zone de chantier et ses abords.

On entrevoit les différentes étapes de construction ci-dessous :

- ▶ **Tâche 2** : Piste de chantier et terrassement préparatoire :
 - Réalisation des différentes pistes de chantier provisoires et carrossables si nécessaire pour les engins de chantier.
- ▶ **Tâche 3** : Cette phase comprend :
 - Dépose de la végétation existante ;
 - Dépose des blocs de l'enrochement existant comprenant la carapace (+ couche filtre éventuelle) en partie terrestre et maritime ;
 - Tri et stockage provisoire des enrochements (concassage inclus) et/ou évacuation.
- ▶ **Tâche 4** : Mise en œuvre progressive des matériaux en TVC :
 - Terrassement et apport de matériaux si nécessaire afin de régler correctement le fond de forme sur lequel s'appuiera la couche filtre ;
 - Compactage progressive permettant l'accès aux engins de chantier.
- ▶ **Tâche 5** : Déblais de toute nature pour souille de butée de pied :
- ▶ **Tâche 6** : Constitution de la butée de pied.
- ▶ **Tâche 7** :
 - Compactage et talutage aux pentes prescrites du matériau en TVC ;
 - Pose du géotextile de protection à l'avancement.
- ▶ **Tâche 8** :
 - Constitution des talus avec une couche filtre en 100/400 kg sur 1,30 m d'épaisseur ;

AGENCE DES 50 PAS

ETUDE DE QUALIFICATION ET D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DU LITTORAL DU BOURG DE BOUILLANTE

- Constitution d'une carapace avec matériaux d'apport 1000/3000 kg sur 1,75 m d'épaisseur.

► **Tâche 8 :**

- Constitution de la crête avec une couche filtre en 100/400 kg sur 1,30 m d'épaisseur ;
- Constitution de la crête de la carapace avec matériaux d'apport 1000/3000 kg sur 1,75 m d'épaisseur.

► **Tâche 9 :** Repli :

- L'évacuation des matériaux non réutilisables en décharge agréée ;
- Repli des installations de chantier ;
- Remise en l'état du site ;
- Transmission des dossiers plan de recollement.

4.5. Estimation du coût reprise des enrochements sur le front de mer du bourg de Bouillante

L'estimation des travaux de reprise des enrochements sur le front de mer du bourg de Bouillante, est fournie ci-après.

Les coûts sont des estimations au stade avant-projet. L'estimation pourra être revue dans le cadre de la phase PRO, qui devra s'appuyer notamment sur une mise à jour de la topo-bathymétrie, et des investigations géotechniques.

AGENCE DES 50 PAS

ETUDE DE QUALIFICATION ET D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DU LITTORAL DU BOURG DE BOUILLANTE

Tableau 4-1 : Chiffrage estimatif de la reprise des enrochements sur le front de mer du bourg de Bouillante

N°	PRIX	DESIGNATION DES TRAVAUX	u	Q	Prix unitaire €	Prix total € H.T.
1		INSTALLATION DE CHANTIER				
1	1	Installation de chantier	ft	1.00	67 100.00 €	67 100.00 €
1	2	Amenée et repli du matériel de chantier	ft	1.00	100 700.00 €	100 700.00 €
1	3	Constat d'huissiers	ft	1.00	800.00 €	800.00 €
1	4	Levé bathymétrique avant travaux (surface: +/-1ha)	ft	1.00	2 500.00 €	2 500.00 €
1	5	Etudes d'exécution	ft	1.00	50 300.00 €	50 300.00 €
1	6	Mesure de protection de l'environnement (Filet anti pollution+turbidité)	ft	1.00	30 000.00 €	30 000.00 €
1	7	Plan de récolement (DOE)	ft	1.00	2 600.00 €	2 600.00 €
					Sous-total 1	254 000.00 €
2		TRAVAUX PREPARATOIRES				
2	1	Repérage des réseaux existants (EP,EU,Elec,Télécom)	ft	1.00	1 500.00 €	1 500.00 €
2	2	Préparation terrain (Abattage d'arbres,débroussaillage,...)	m2	1500.00	5.00 €	7 500.00 €
					Sous-total 2	9 000.00 €
3		PROTECTION EN ENROCHEMENT				
3	1	Dépose et mise en dépôt des enrochements existants (épaisseur : +/-1m)	m3	3350.00	12.00 €	40 200.00 €
3	2	Réalisation déblai (souille ,...) y/c stockage et essorage	m3	16 400.00	15.00 €	246 000.00 €
3	3	Tri et fractionnement des enrochements existants pour réalisation filtre (100/400kg)	m3	3350.00	12.00 €	40 200.00 €
3	4	Reprise sur stock et amenée sur site du filtre	m3	3350.00	5.00 €	16 750.00 €
3	5	Fourniture de filtre 100/400kg	m3	3 550.00	96.00 €	340 800.00 €
3	6	Mise en œuvre de filtre 100/400kg	m3	6900.00	41.00 €	282 900.00 €
3	7	Fourniture d'enrochements 1/3T	m3	10700.00	110.00 €	1 177 000.00 €
3	8	Pose d'enrochements 1/3T	m3	10700.00	50.00 €	535 000.00 €
3	9	Fourniture et pose de géotextile	m2	8700.00	8.00 €	69 600.00 €
3	10	Reprise et mise en œuvre de remblai issus des déblais sur la pédale	m3	900.00	38.00 €	34 200.00 €
3	11	Evacuation des déblais	m3	15500.00	35.00 €	542 500.00 €
					Sous-total 3	3 325 150.00 €
4		RESEAUX				
4	1	Fourniture et pose regard Ø1000mm y/c tampon fonte y/c terrassement et remblaiement	u	1.00	1 500.00 €	1 500.00 €
4	2	Prolongement canalisation EP Ø800mm y/c terrassement et remblaiement	ml	13.00	450.00 €	5 850.00 €
4	3	Prolongement canalisation EP Ø800mm y/c terrassement et remblaiement	ml	5.00	450.00 €	2 250.00 €
4	4	Fourniture et pose de tête d'ouvrage (EP Ø800mm)	u	2.00	1 500.00 €	3 000.00 €
4	5	Fourniture et pose de tête d'ouvrage (EP Ø300mm)	u	1.00	900.00 €	900.00 €
4	6	Fourniture et pose de clapet anti retour sur EP Ø800mm	u	2.00	2 500.00 €	5 000.00 €
4	7	Fourniture et pose de clapet anti retour sur EP Ø300mm	u	1.00	1 150.00 €	1 150.00 €
4	8	Prolongement canalisation EP Ø300mm	ml	5.00	450.00 €	2 250.00 €
					Sous-total 4	21 900.00 €
					TOTAL H.T	3 610 050.00 €
					ALEA 10%	361 005.00 €
					TOTAL H.T. ALEAS INCLUS	3 971 055.00 €
					TVA 20%	794 211.00 €
					TOTAL € T.T.C.	4 765 266.00 €

5. Délais de réalisation

Les délais de réalisation des travaux comprennent la période de préparation et la période de réalisation des travaux.

La période de préparation, indépendamment de la nature des travaux est de trois mois au minimum.

La période de travaux peut être estimée entre 6 mois à 12 mois.

6. Études complémentaires à réaliser

Les études complémentaires à mener pour la poursuite du projet en phase PRO sont les suivantes :

- ▶ Réalisation d'un relevé topographique ;
- ▶ Réalisation d'un relevé bathymétrique ;
- ▶ Réalisation des études géotechniques pour la mise en œuvre de la butée de pied de l'enrochement projeté.

ANNEXE 1

ETUDE DE PROPAGATION DE HOULE ET NOTE DE STABILITE DES ENROCHEMENTS



RAPPORT

Etude de qualification et d'adaptation au changement climatique du littoral du Bourg de Bouillante

Phase 3 – Annexe 1 – Etude de propagation de houle et note de calculs de stabilité des enrochements

Mars 2025



AGENCE DES 50 PAS
ETUDE DE QUALIFICATION ET D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DU LITTORAL DU BOURG DE
BOUILLANTE

CLIENT

RAISON SOCIALE	Agence des 50 pas
COORDONNÉES	Cité administrative de Circonvallation R. Alexandre Buffon – 97100 Basse-Terre Tél. : 05 90 80 36 50 E-mail : agence@50pasguadeloupe.fr

CREOCEAN

COORDONNÉES	CREOCEAN – Agence Antilles - Guyane 13 lot. Ti bambou, Convenance 97122 BAIE-MAHAULT - Plan Fixe 05 90 41 16 88 caraibes@creocean.fr
INTERLOCUTEUR	Mr. Florian LABADIE Tél. : 06 90 15 78 24

RAPPORT

TITRE	Etude de qualification et d'adaptation au changement climatique du littoral du Bourg de Bouillante Phase 3 – Annexe 1 – Etude de propagation de houle et note de calculs de stabilité des enrochements
NOMBRE DE PAGES TOTAL	37

VERSION

RÉFÉRENCE	VERSION	DATE	REDACTEUR	CONTRÔLE QUALITE
240985C	IndA	30/04/2025	NCL	FBR

Sommaire

1. Introduction.....	5
1.1. Objectifs et cadre de la mission.....	5
1.2. Données d'entrée et documents de références	5
1.3. Normes et recommandations	5
2. Recueil des données météo-océaniques.....	6
2.1. Les vents	7
2.1.1. Conditions extrêmes (hors conditions cycloniques).....	10
2.2. La houle.....	14
2.2.1. Conditions extrêmes (hors conditions cycloniques).....	17
2.3. Houles cycloniques	19
2.4. Niveau d'eau	20
2.4.1. Généralités	20
2.4.2. Marée	21
2.4.3. Niveau extrême	21
2.4.4. Hausse du niveau de la mer due au réchauffement climatique.	22
3. Modélisation de propagation de houle	23
3.1. Présentation du modèle utilisé.....	23
3.2. Mise en place du modèle	24
3.2.1. Bathymétrie et maillage	24
3.3. Conditions de projet / cas simulés.....	25
3.4. Résultats	26
4. Stabilité des enrochements – Dimensionnement	28
4.1. Eléments théoriques pour le dimensionnement d'ouvrage.....	28
4.1.1. Paramètres de dimensionnement des blocs de carapace	28
4.1.2. Formule de Van de Meer (dimensionnement des blocs de la carapace)	28
4.2. Calcul de la stabilité du talus en enrochements	29
4.2.1. Conditions d'entrée retenues pour le dimensionnement des ouvrages	29
4.2.2. Résultats	30

Liste des Figures

Figure 2-1 : Localisation de la zone d'étude et du point Copernicus au large	7
Figure 2-2 : Relation entre les vitesses moyennes du vent établies sur des durées différentes (ROSA 2000)	8
Figure 2-3 : Rose des vents réalisée à partir des données de vent ERA5	9
Figure 2-4 : Corrélogramme réalisé à partir des données de vent ERA5	10
Figures 2-5 : Visualisation de la méthode POT appliquée à la série temporelle des vitesses de vent au point ERA5.....	11
Figures 2-6 : Période de retour des vitesses de vent extrêmes au point ERA5	11
Figure 2-7 : Comparaison des vitesses obtenues au moyen des études pour diverses périodes de retour au-dessus de la mer	13
Figure 2-8 Rose des houles réalisée à partir des données de houle Copernicus.....	14
Figure 2-9 : Corrélogrammes T_p / H_{m0}, D_p / H_{m0} et D_p / T_p réalisés à partir des données de houle Copernicus	15
Figure 2-10 : Occurrence des conditions de houle dépassant un couple H_{m0} / T_p donné	16
Figure 2-11 : Boîte à moustaches de la variabilité mensuelle en H_{m0} au point Copernicus	17
Figure 2-12 : Série temporelle des hauteurs significatives échantillonnées grâce à la méthode POT à partir des données de houle Copernicus	18
Figure 2-13 : Période de retour des H_{m0} extrêmes au point d'extraction Copernicus.....	19
Figure 2-14 : Résultat de l'analyse statistique des H_s extrêmes sur la façade ouest de Basse-Terre (point 29) et localisation de ce point (Lecacheux et al, 2008 [R1]).....	20
Figure 2-15 : Paramètres à considérer dans l'estimation des niveaux d'eau extrêmes (Gervais 2008).....	21
Figure 2-16 : Projection d'élévation du niveau marin au droit de la zone d'étude selon le scénario SSP5-8.5 du GIEC	23
Figure 3-1 : Emprise totale des deux modèles de propagation mis en place – maillage et bathymétrie assemblée (à gauche : emprise pour les houles cycloniques venant du Nord, à droite : emprise pour les houles cycloniques venant du Sud).....	25
Figure 3-2 : Propagation de la houle sur modèle spectral de propagation (à gauche : houles cycloniques venant du Nord, à droite : houles cycloniques venant du Sud)	26
Figure 3-3 : Point d'extraction des paramètres de houle en pied d'ouvrage (à gauche : houles cycloniques venant du Nord, à droite : houles cycloniques venant du Sud)	27

Liste des Tableaux

Tableaux 2-1 : Vitesses de vent en fonction de la période de retour.....	12
Tableau 2-2 : Tableau de synthèse des hauteurs significatives correspondantes aux différentes périodes de retour pour le point Copernicus	19
Tableau 2-3 : Extrait des références altimétriques pour Basse-Terre et Deshaies (SHOM, 2022)	21
Tableau 4-1 : Limites granulométriques de la couche filtre.....	30

LEXIQUE DEFINITIONS ET CONVENTIONS

DEFINITION DES PARAMETRES

Notations relatives au vent

Notation	Unité	Définition
Ws	m/s	Vitesse moyenne du vent sur 10 minutes À une altitude de 10 m
Wd	° / Nord	Direction du vent Associée à Ws

Notations relatives au niveau de la mer

Notation	Unité	Définition
Surcote ou Décote	m	Surcote ou Décote atmosphérique incluant l'effet du vent, le baromètre inverse, et la variation saisonnière du niveau de la mer Marée et réchauffement climatique exclus
Niveau de marée	m	Niveau de marée d'origine astronomique

Notations relatives aux niveaux caractéristiques de marée

Notation	Unité	Définition
PHMA	m	Plus Haute Mer Astronomique
PMVE	m	Pleine Mer Moyenne de Vive-Eau
NM	m	Niveau Moyen
BMVE	m	Basse Mer Moyenne de Vive-Eau
PBMA	m	Plus Basse Mer Astronomique

Notations relatives aux vagues

Notation	Unité	Définition
Hm0 or Hs	m	Hauteur de houle significative spectrale $= 4 \sqrt{E}$, où E est l'énergie du spectre de houle
H1/3	m	Hauteur de houle significative Définie comme la moyenne du 1/3 supérieur des vagues En eau profonde $H1/3 \approx Hm0$
Hmax	m	Hauteur de houle maximum $= 0.707 \times H1/3 \sqrt{(\ln N)}$ où N est le nombre de vagues
Tp	s	Période pic Définie comme l'inverse de la fréquence la plus énergétique du spectre total, après somme des directions
Dirm	° / North	Direction moyenne Définie comme la direction Moyenne du spectre de houle
DirTp	° / North	Direction pic Définie comme la direction la plus énergétique de la bande de fréquence correspondant au Tp

CONVENTIONS

TRES IMPORTANT :

- ▶ Par convention, les directions données sont :
 - Celles d'où viennent les vagues ;
 - Celles d'où vient le vent ;
 - Celles où se dirigent les courants ;
- ▶ Les coordonnées sphériques se rapportent à la projection de Mercator dans le système WGS84 ;
- ▶ Les coordonnées verticales sont relatives au ZH (Zéro Hydrographique).

STATISTIQUES

Les diagrammes présentés dans ce document sont utilisés pour montrer la répartition statistique de deux variables :

- ▶ Un **Scatter plot (corrélogramme ou nuage de points)** est une représentation graphique permettant de montrer les valeurs simultanées de deux variables issues d'une base de données. Les couples de données sont affichés sous forme de collection de points, la valeur du premier paramètre déterminant la position sur l'axe horizontal, la valeur du second celle sur l'axe vertical.
- ▶ Un **diagramme quantile-quantile** (ou **Q-Q plot**) est une méthode graphique pour comparer les distributions statistiques de deux paramètres en affichant pour chaque quantile leur valeur respective.

Notation	Unité	Définition
Biais		Différence moyenne entre 2 séries de données
BI		Biais non dimensionnel = Biais / Valeur moyenne
R		Coefficient de corrélation
RMS		Root Mean Square Différence quadratique entre 2 séries de données
SI		Scatter Index = RMS / Valeur moyenne

1. Introduction

1.1. Objectifs et cadre de la mission

La commune de Bouillante située sur la côte sous le vent et particulièrement son littoral, est notable grâce à ses atouts paysagers reconnus : la réserve Cousteau à Malendure riche en biodiversité et l'exploitation de la centrale géothermique de renommée mondiale qui est l'une des deux centrales géothermiques de France.

Le centre bourg de la commune est localisé de manière stratégique, sur le littoral, et près de la Centrale géothermique. Le littoral constitue une source économique pour la commune :

- ▶ Pour le secteur secondaire avec la centrale géothermique
- ▶ Pour le secteur tertiaire notamment le tourisme (plongée sous-marine, hôtellerie-restauration...).

L'enjeu de préservation du littoral sur la commune est alors au cœur des enjeux de son développement.

Le présent rapport concerne l'étude de propagation de houle ainsi que la note de calcul de stabilité des enrochements.

1.2. Données d'entrée et documents de références

La liste des documents d'entrée, des publications, des guides internationaux et des documents de références sur lesquels les études se sont appuyées est la suivante :

- [R1]. Lecacheux, Sophie & Muller, Heloise & Pedreros, Rodrigo & Thiebot, Jérôme & Ouriqua, Jehane & Réveillère, Arnaud. (2012). Etude probabiliste des vagues cycloniques le long du littoral Guadeloupéen. 10.5150/jngcgc.2012.104-L.
- [R2]. Jacques BIETRY 2006, Vent de référence en France : propositions pour l'Annexe nationale de l'Eurocode NF EN 1991
- [R3]. Références Altimétriques Maritimes - Ports de France métropolitaine et d'outre-mer - Côtes du zéro hydrographique et niveaux caractéristiques de la marée, SHOM 2022
- [R4]. GIEC, 2019. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate et GIEC, 2021. AR6. Climate change 2021. The physical Science Basis
- [R5]. Projet Homonim, SHOM, 2015. MNT bathymétrique de façade de la Guadeloupe et de la Martinique, résolution de 0.001° (~ 111 m)
- [R6]. Litto3D, SHOM 2016. MNT topo-bathymétrique Guadeloupe, résolution 1m x 1m
- [R7]. Plan topographique Bourg de Bouillante du 30/04/2024 – Cabinet Simon & Associés – Géomètres Experts
- [R8]. The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition), CIRIA, CUR, CETMEF, 2012.
- [R9]. NF EN 13383-1 - Enrochements - Partie 1 : spécifications - Août 2003

1.3. Normes et recommandations

Les normes et recommandations faisant référence en la matière suivantes ont été considérées pour le dimensionnement de l'ouvrage :

- ▶ Normes européennes NF EN 1990 à 1998 et leurs annexes nationales, dites « EUROCODES »,
- ▶ Guide du SETRA de dimensionnement des ouvrages de soutènement,

- ▶ Recommandations pour les calculs des ouvrages en site aquatique (ROSA 2000),
- ▶ Le guide des enrochements, CETMEF, CUR, CIRIA, 2009.

2. Recueil des données météo-océaniques

Afin de définir les conditions hydrodynamiques auxquelles est soumis le site d'étude, il est nécessaire de les étudier sur une longue période. Ainsi, les conditions de vent et de houle ont été récoltées sur un point de la base de données Copernicus au Nord-Ouest, ces données ont été traitées de manière à extraire des valeurs statistiques extrêmes et usuelles.

Les données de vent utilisées proviennent de la base de données ERA5 sur la zone d'intérêt. ERA 5 est la cinquième génération de réanalyse ECMWF pour le climat et la météo mondiale des 8 dernières décennies. Les données sont disponibles à partir de 1940 et la réanalyse combine des données de modèles avec des observations du monde entier pour fournir un ensemble de données complet et cohérent sur le plan mondial, offrant des estimations horaires pour un grand nombre de quantités atmosphériques, océaniques et terrestres.

Les données de houle utilisées proviennent du modèle GLOBAL_REANALYSIS_WAV_001_032 de Copernicus. Ce modèle est réanalyse des vagues mondiales décrivant les états de la mer passés depuis 1993, basée sur le modèle de troisième génération MFWAM qui calcule le spectre des vagues sur une grille irrégulière de 1/5°, avec des quantités moyennes de vagues dérivées de ce spectre, telles que la hauteur significative des vagues ou la période moyenne des vagues avec un pas de temps de 3h.

Le point sélectionné est situé aux coordonnées suivantes :

- ▶ Longitude : -61,80°W ;
- ▶ Latitude : 16,20°N.

La Figure 2-1 ci-après présente la localisation du point par rapport aux zones d'étude.

3. RELATION ENTRE LES VITESSES MOYENNES DU VENT ETABLIES SUR DES DUREES DIFFERENTES

Soit $v(T_1)$ la vitesse moyenne du vent sur une durée T_1 et $v(T_2)$ la vitesse moyenne du vent sur une durée T_2 .

On suppose ici $T_1 < T_2$: par exemple T_1 est la durée de réponse d'un anémomètre (~ 2 secondes) pour une vitesse quasi-instantanée, et T_2 vaut 10 minutes (600 secondes) pour la vitesse moyenne de référence.

 Voir les **définitions** des vitesses de vent (vitesse moyenne, vitesse de référence,...).

On écrit :

$$v(T_1) / v(T_2) = G$$

où G est le **coefficient de rafale**, qui s'écrit :

$$G = 1 + g \cdot I$$

avec :

- ♦ g : le **facteur de pointe**, qui dépend des durées T_1 et T_2 ,
- ♦ I : l'**intensité de la turbulence** (pour la composante longitudinale de la vitesse du vent), analogue à un coefficient de variation puisqu'il est défini comme le rapport entre l'écart-type moyen et la valeur moyenne de la vitesse du vent, qui dépend de la rugosité et de la hauteur au-dessus du sol à laquelle les vitesses sont mesurées.

Les expressions de ces paramètres sont :

$$g \approx \sqrt{2 \ln \left(\frac{T_2}{5T_1} \right)}$$

$$I \approx \frac{1}{\ln \left(\frac{z}{z_0} \right)}$$

où z est la hauteur au-dessus du sol à laquelle les vitesses sont mesurées et z_0 la longueur de rugosité, à laquelle les degrés de rugosité sont rattachés. A titre d'ordres de grandeur :

- ♦ $z_0 = 0,005$ m pour la mer par vent fort,
- ♦ $z_0 = 0,050$ m pour la campagne.

Par exemple, avec $z_0 = 0,05$ m et à $z = 10,00$ m du sol, on obtient $I = 0,19$. Avec les valeurs de T_1 et T_2 ci-dessus, on calcule le facteur de pointe $g = 2,86$. Dans ces conditions, le coefficient de rafale, rapport entre la vitesse quasi-instantanée et la vitesse moyenne sur 10 minutes, est donc $G = 1,54$.

Figure 2-2 : Relation entre les vitesses moyennes du vent établies sur des durées différentes (ROSA 2000)

Ces données ont été utilisées pour réaliser la rose des vents (Figure 2-3) et le corrélogramme Ws/Wd (Figure 2-4).

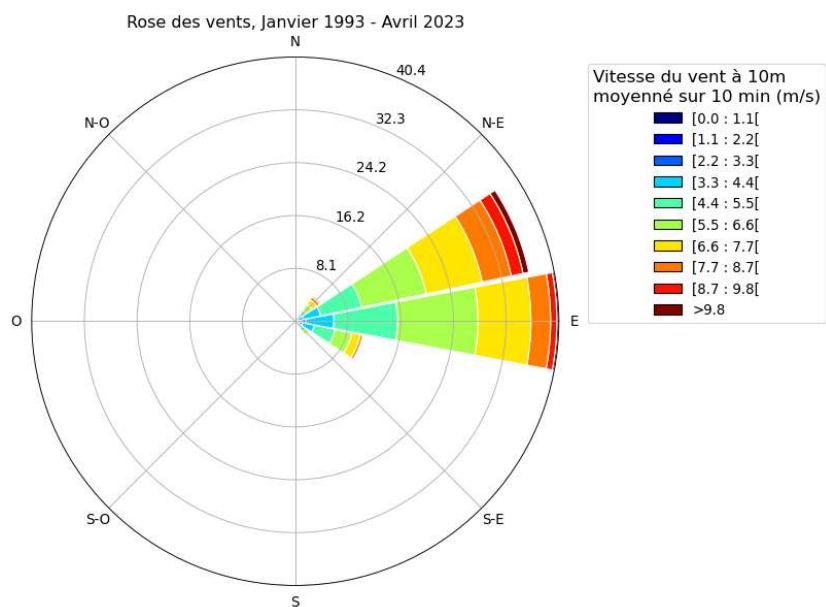


Figure 2-3 : Rose des vents réalisée à partir des données de vent ERA5

AGENCE DES 50 PASAGENCE DES 50 PAS

ETUDE DE QUALIFICATION ET D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DU LITTORAL DU BOURG DE BOUILLANTE

Corrélogramme ws/wd, Janvier 1993 - Avril 2023

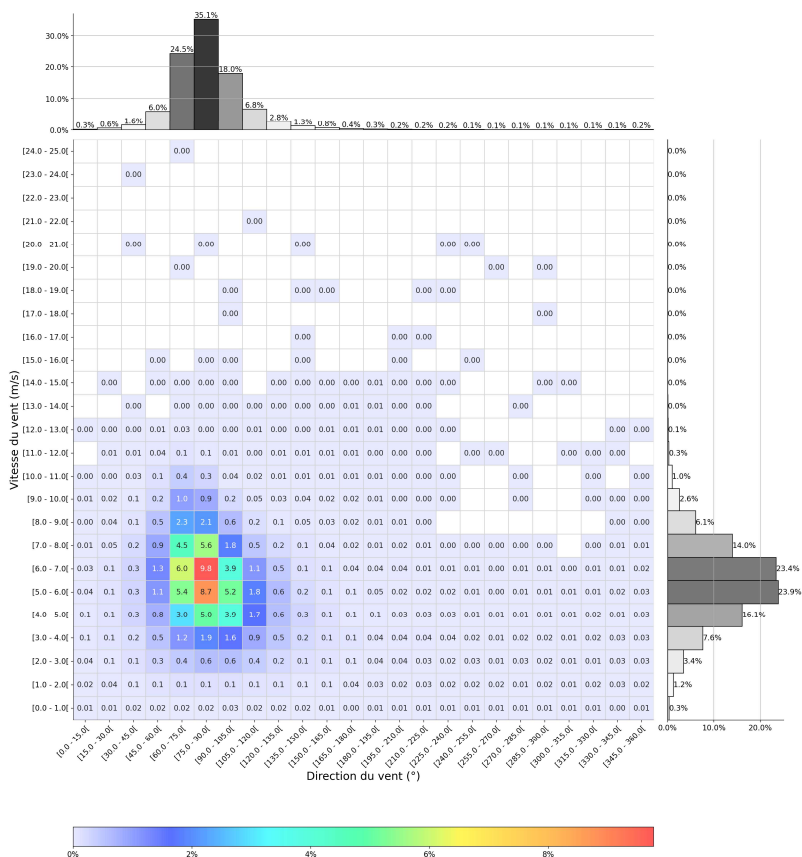


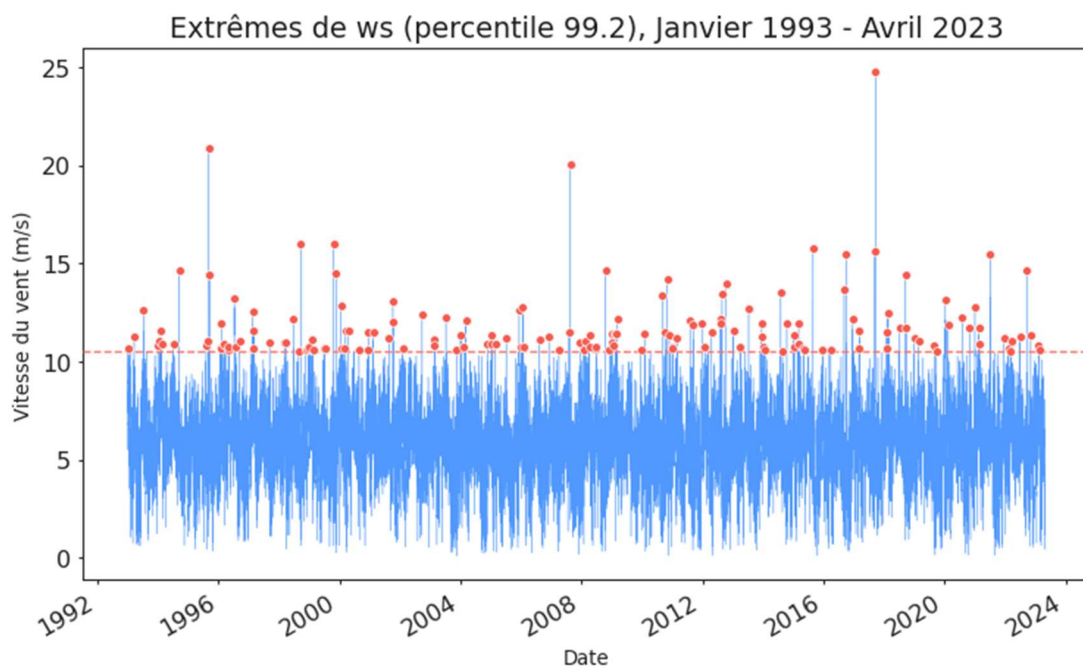
Figure 2-4 : Corrélogramme réalisé à partir des données de vent ERA5

La vitesse du vent au large de la commune de Bouillante varie peu au cours des saisons. Les vents sont en effet soumis au régime de alizés et soufflent ainsi généralement vers l'ouest à une vitesse moyenne d'environ 6 à 7 m/s.

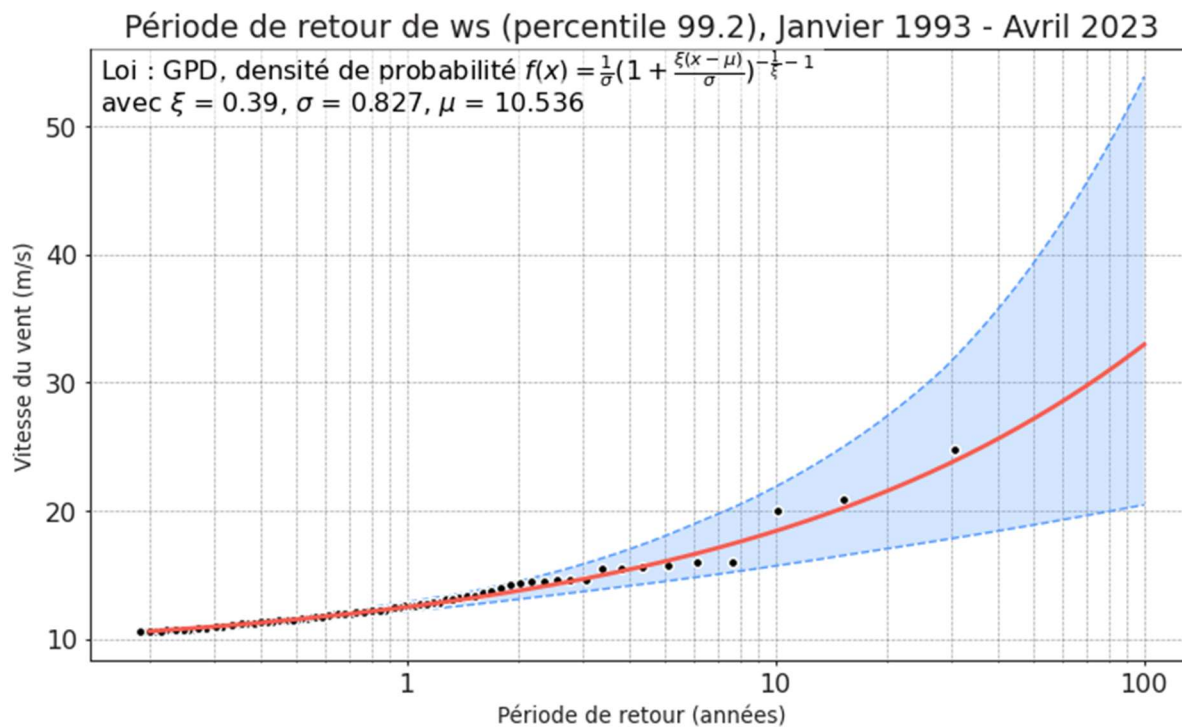
2.1.1. Conditions extrêmes (hors conditions cycloniques)

Les séries temporelles issues de ERA5 sont utilisées pour estimer les conditions extrêmes de vitesses de vent au large de la rade de Toulon. L'approche d'analyse des valeurs extrêmes utilisée ici s'appuie sur la méthode POT (Peaks-Over-Threshold). Elle consiste à adapter une loi de distribution de type Weibull, Pareto, GEV (Generalized Extrem Value) ou exponentielle aux valeurs maximums de pics au-dessus d'un seuil, pour chaque événement extrême, et à calculer les valeurs de retour en tenant compte du taux d'occurrence des dépassements du seuil. Dans des conditions très générales, cette procédure permet de garantir que les données appartenant à des pics différents soient indépendantes.

Pour étudier les conditions nominales extrêmes, la méthode POT (cf. Figures 2-5) a été appliquée sur la série temporelle de données horaires du point ERA5.



Figures 2-5 : Visualisation de la méthode POT appliquée à la série temporelle des vitesses de vent au point ERA5



Figures 2-6 : Période de retour des vitesses de vent extrêmes au point ERA5

Tableaux 2-1 : Vitesses de vent en fonction de la période de retour

Période de retour (années)	Mode (m/s)	Borne inférieure (95%) (m/s)	Borne supérieure (95%) (m/s)
1	12,49	12,17	12,87
5	16,05	14,48	18,02
10	18,42	15,70	21,88
20	21,53	17,03	27,36
30	23,78	17,82	31,69
50	27,16	18,89	39,29
100	32,98	20,46	53,89

2.1.1.1. Vitesses de vents cycloniques

En 2006, Jacques Biétry [R2] fait une comparaison des vitesses de vents cycloniques obtenues au moyen des études CSTB et DIRAG. La figure suivante illustre les valeurs de la vitesse moyenne sur 10 minutes, à 10 m au-dessus de la mer, pour des périodes de retour allant de 20 à 500 ans:

- ▶ en Guadeloupe et Martinique selon l'étude DIRAG,
- ▶ en Guadeloupe, Martinique et Réunion selon l'étude CSTB,
- ▶ en Région 2 (la plus étendue) en Métropole, à titre de comparaison.

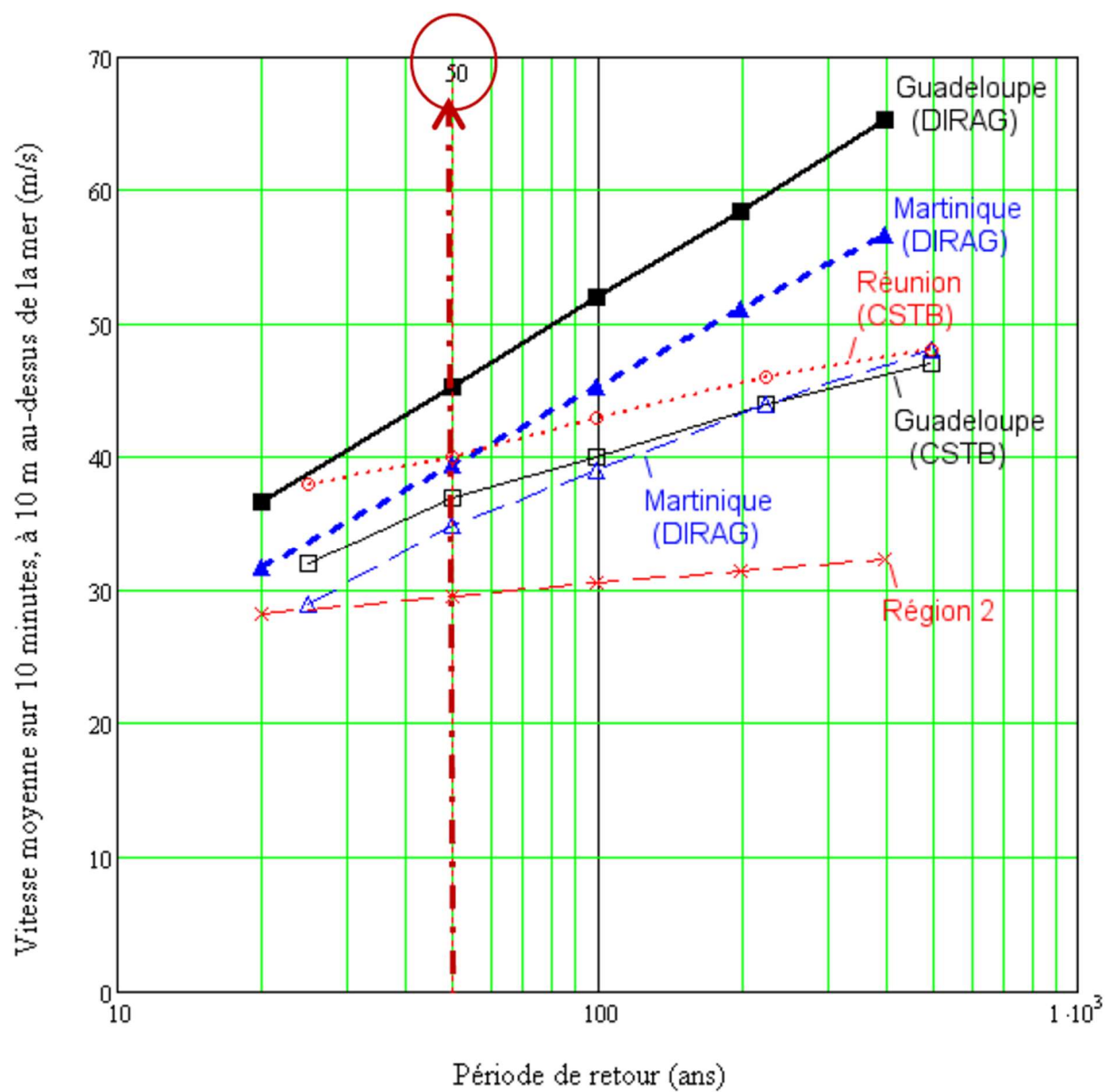


Figure 2-7 : Comparaison des vitesses obtenues au moyen des études pour diverses périodes de retour au-dessus de la mer

Dans le cadre de la présente étude, nous retiendrons une vitesse de vent de **46 m/s** pour un cyclone d'occurrence 50 ans.

2.2. La houle

Les Figure 2-8 présente la rose des houles extraites de la base de données Copernicus au point présenté précédemment.

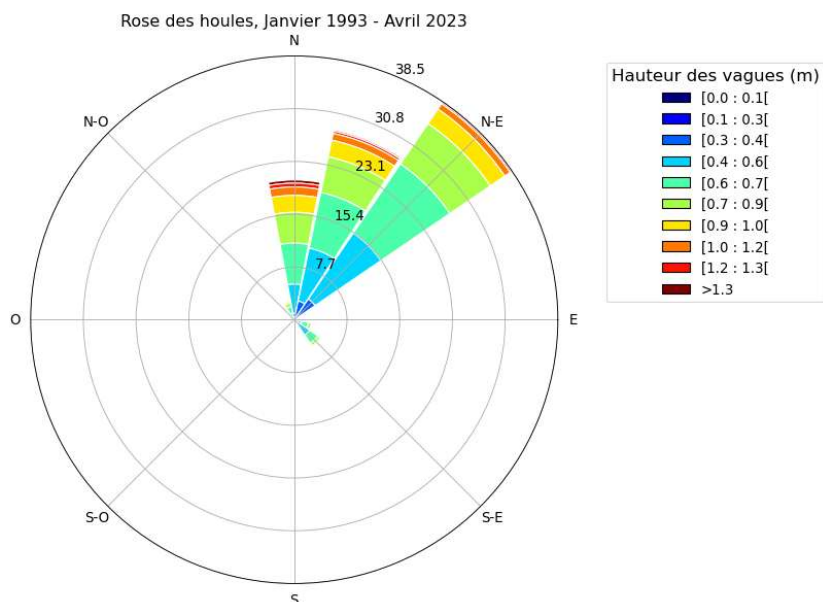
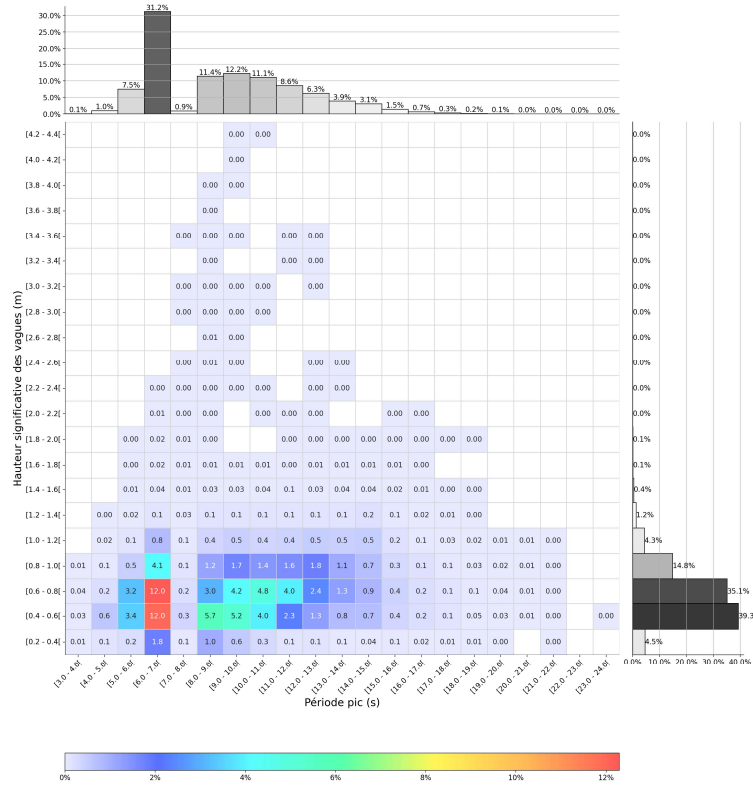


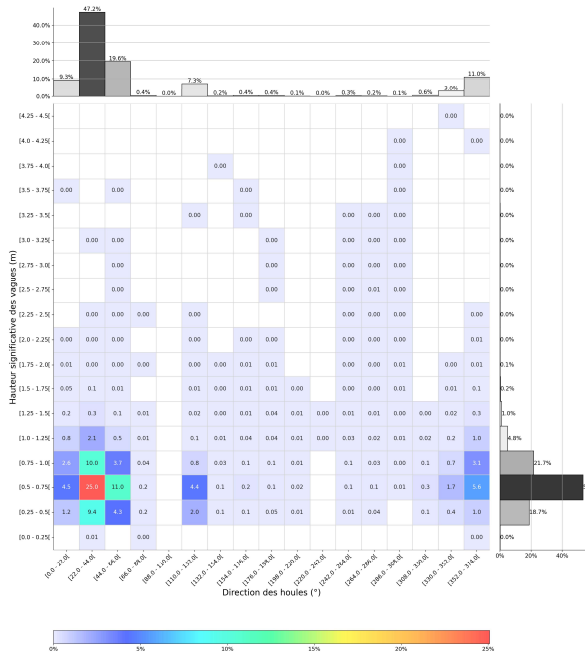
Figure 2-8 Rose des houles réalisée à partir des données de houle Copernicus.

Afin de déterminer les houles dominantes et les houles extrêmes, ces données ont été traitées statistiquement à travers des corrélogrammes H_{m0}/T_p , H_{m0}/D_p et T_p/D_p Figure 2-9. Enfin, la Figure 2-10 présente les pourcentages d'occurrence qu'un évènement dont la houle et la période sont supérieures à un couple H_{m0}/T_p donné se produise. La lecture de ces graphiques nous permet par exemple de savoir que des conditions de houle au large de 1,00 m de hauteurs significatives et de 16 secondes de périodes sont apparues entre 0,064 et 0,216% du temps au point Copernicus sur la période d'extraction des données, ce qui correspond à environ 6 à 19h par an.

Corrélogramme hs/tp, janvier 1993 - Avril 2023



Corrélogramme hs/dp, janvier 1993 - Avril 2023



Corrélogramme tp/dp, janvier 1993 - Avril 2023

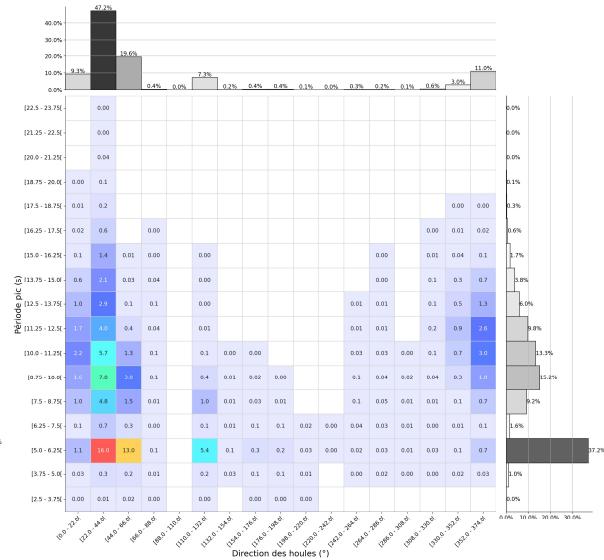


Figure 2-9 : Corrélogrammes T_p/H_{m0} , D_p/H_{m0} et D_p/T_p réalisés à partir des données de houle Copernicus

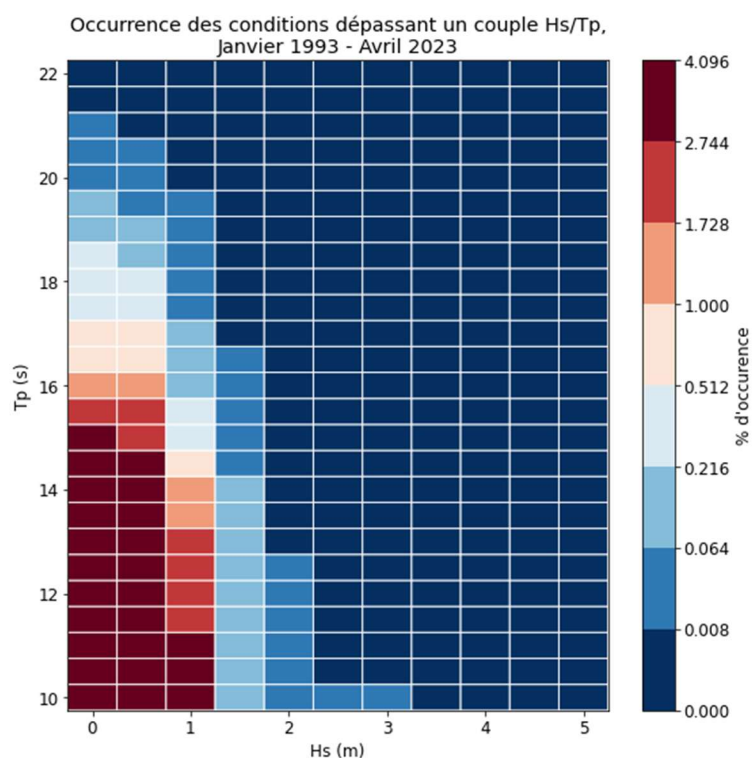


Figure 2-10 : Occurrence des conditions de houle dépassant un couple H_m0/T_p donné

Le traitement statistique des données de houles sur les périodes disponibles permet également d'étudier la variabilité saisonnière des conditions de houle au grès des saisons. Le graphique présenté en Figure 2-11, en forme de Boîte à moustache, permettent d'illustrer la variabilité mensuelle en H_m0 . La boîte représente l'intervalle entre le premier et le troisième quartile, la médiane et la moyenne sont représentées respectivement par des traits pleins et pointillés vert. Les valeurs extrêmes sont représentées par des points.

Ce graphique permet notamment d'illustrer la variabilité saisonnière des conditions de houle au point d'extraction. Cette figure montre que **les mois les moins énergétiques en moyenne sont les mois de mai à octobre mais que l'on observe néanmoins les évènements les plus extrêmes durant les mois de juillet à novembre.**

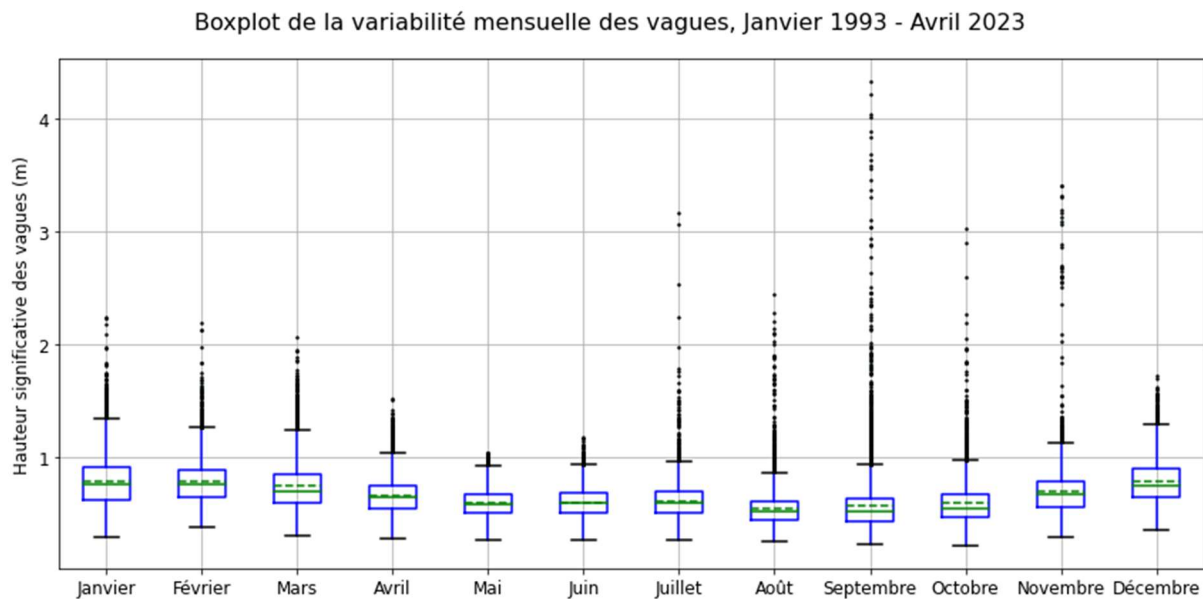


Figure 2-11 : Boîte à moustaches de la variabilité mensuelle en H_{m0} au point Copernicus

2.2.1. Conditions extrêmes (hors conditions cycloniques)

L'analyse statistique extrême de la houle a été effectuée grâce à la même série temporelle. Les données ont été rééchantillonnées avec la méthode Peak Over Threshold (POT). Un critère de durée minimum entre chaque point échantillonné de 2 jours est utilisé pour assurer une indépendance entre chaque épisode de forte houle. La loi de Pareto généralisée est ajustée aux données grâce au modèle Maximum Likelihood Estimate (EML). Le meilleur ajustement a été retenu.

La série temporelle au point Copernicus a été échantillonnée grâce à la méthode POT (Figure 2-12).

A partir des données sélectionnées par cette méthode, la courbe d'extrapolation de la houle de projet Figure 2-13 ainsi que le tableau synthétisant les hauteurs significatives correspondantes à différentes périodes de retour (Tableau 2-2) ont pu être définis.

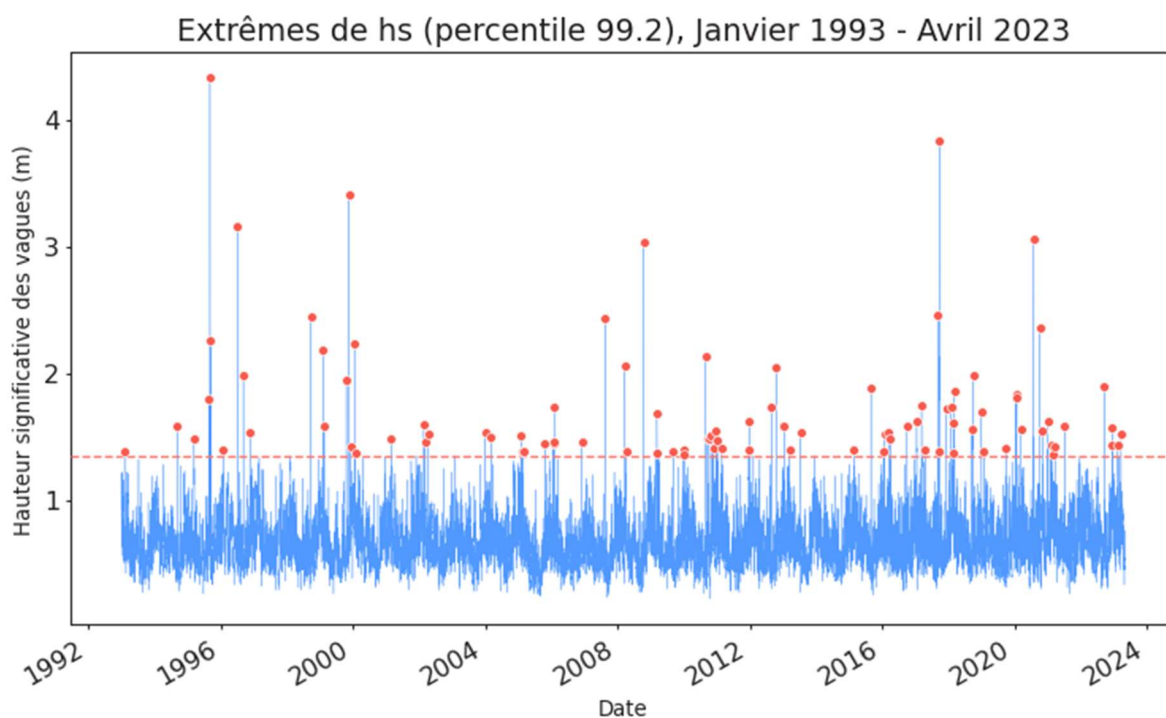


Figure 2-12 : Série temporelle des hauteurs significatives échantillonnées grâce à la méthode POT à partir des données de houle Copernicus

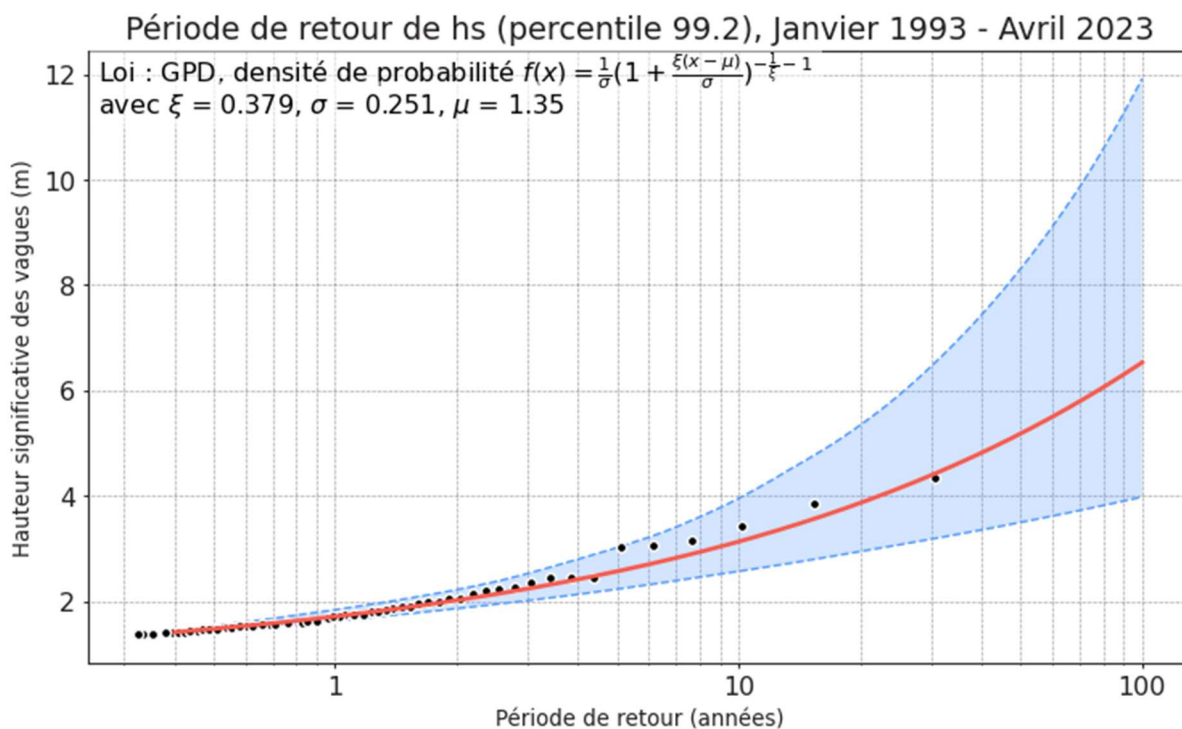


Figure 2-13 : Période de retour des Hm0 extrêmes au point d'extraction Copernicus

Tableau 2-2 : Tableau de synthèse des hauteurs significatives correspondantes aux différentes périodes de retour pour le point Copernicus

Période de retour (années)	Mode (m/s)	Borne inférieure (95%) (m/s)	Borne supérieure (95%) (m/s)
1	1,71	1,63	1,83
5	2,56	2,23	3,02
10	3,13	2,56	3,95
20	3,86	2,94	5,34
30	4,39	3,18	6,46
50	5,18	3,49	8,31
100	6,53	3,98	11,92

2.3. Houles cycloniques

Les cyclones sévissent préférentiellement en Août et Septembre, mais peuvent se produire jusqu'en Novembre. Les cyclones récents ayant une trajectoire atypique et ayant engendré une houle d'Ouest le long de la côte Caraïbe de la Guadeloupe sont les cyclones Lenny en 1999 et Omar en 2008. Plus récemment, l'impact de la tempête tropicale Karen (sept 2019) a été rapportée dans la presse comme dévastatrice et responsable de l'ensablement de Port Baillif.

(<https://la1ere.francetvinfo.fr/guadeloupe/port-madeleine-baillif-victime-houle-cyclonique-753567.html>).

Cet épisode de tempête tropicale est caractérisé par des vents atteignant 75 km/h pour une durée de 5 jours 12h.

Une étude du BGRM a modélisé 291 cyclones ayant impactés la Guadeloupe entre 1910 et 2009 afin de déterminer les hauteurs significatives de houles extrêmes. Au point 29 de la Figure 21, proche du secteur d'étude, la houle extrême de période de retour de 100 ans, générée par un cyclone à une profondeur de 20 m, a une hauteur significative Hs de 5.2 m (Lecacheux et al, 2008, [R1]).

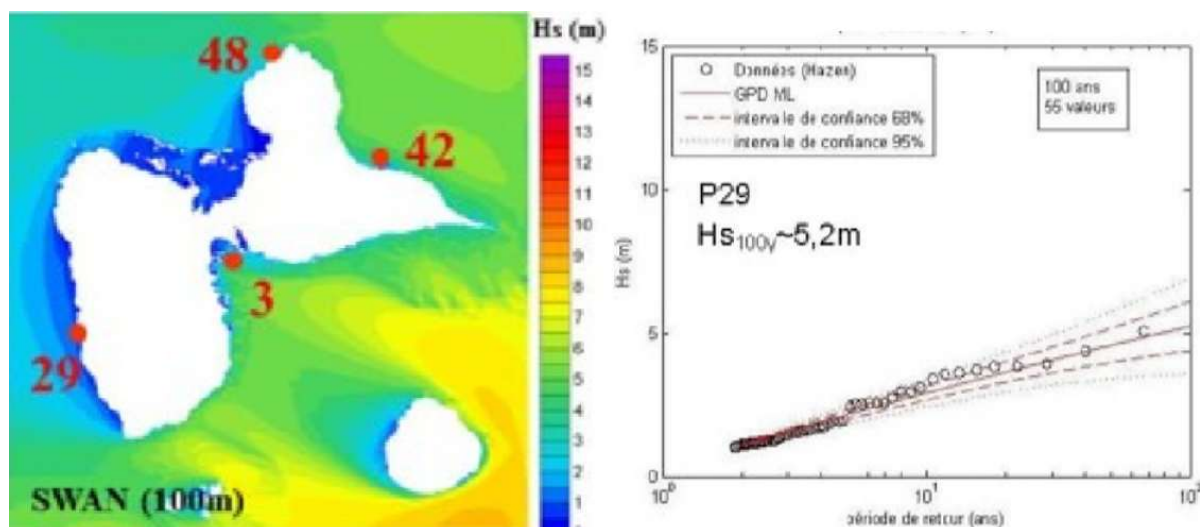


Figure 2-14 : Résultat de l'analyse statistique des Hs extrêmes sur la façade ouest de Basse-Terre (point 29) et localisation de ce point (Lecacheux et al, 2008 [R1])

2.4. Niveau d'eau

2.4.1. Généralités

Le niveau de la mer varie selon l'interaction de différents paramètres et phénomènes tels que :

- ▶ **La marée astronomique :** La marée est la variation du niveau de la mer due à l'action gravitationnelle de la lune et du soleil et l'alternance des pleines et basses mers provenant de l'effet de la rotation de la Terre. La marée astronomique est la marée « maximale théorique ». Elle est calculée pour un coefficient théorique maximum de 120. Pour un coefficient de marée donné, cependant, la marée « réelle » est à distinguer de la marée théorique. La marée réelle n'est pas prédictible, elle est seulement relevée en temps réel par les marégraphes. Elle intègre en fait la surcote, qui correspond à la différence entre le niveau prédit et le niveau d'eau observé. On parle de « surcote » pour une différence positive, et de « décote » pour une différence négative.
- ▶ **Les surcotes atmosphériques :** En période de mauvais temps et de vent, les phénomènes de dépressions (basse pression atmosphérique) créent une élévation du niveau local de la mer. Le phénomène dynamique induit une onde (similaire à une onde de marée) qui se propage et s'amplifie à l'approche des côtes. Les phénomènes induisent des surcotes importantes par rapport aux niveaux de marée astronomique.
- ▶ **Les surcotes liées au vent :** Lorsqu'il souffle en direction des terres, le vent est responsable d'une élévation locale du niveau de l'eau près des côtes en exerçant une contrainte à la surface de l'eau : les masses d'eau sont déplacées par phénomènes de friction sur le plan d'eau. Selon la configuration des côtes (faible profondeur d'eau par exemple), cette action physique est susceptible de faire varier de manière importante le niveau moyen de la mer. Elle est responsable d'une surcote qui peut atteindre localement entre 0.5 et 1m.
- ▶ **Les surcotes liées au déferlement (wave set-up) :** La propagation de trains de houle successifs créé, à l'approche des côtes, une élévation locale du niveau moyen de la mer. Cette augmentation locale du niveau moyen de la mer, peut atteindre, sur certains secteurs, une élévation de l'ordre de 10% de la hauteur des brisants.
- ▶ **Le wave run-up :** A l'approche du rivage, la bathymétrie et la configuration de la côte naturelle ou artificielle (digue à talus en enrochements par exemple) peuvent avoir un effet localement sur le niveau d'eau. En effet, un phénomène de va et vient (jet de rive) avec une ascension

verticale des vagues sur l'ouvrage ou la plage peut être constaté. La hauteur maximale atteinte par les vagues le long de l'ouvrage ou de la plage, mesurée verticalement, est appelée run-up.

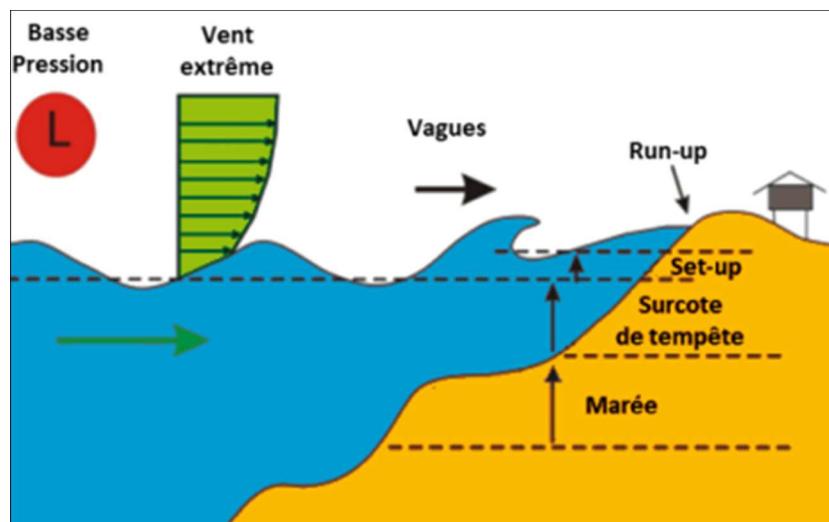


Figure 2-15 : Paramètres à considérer dans l'estimation des niveaux d'eau extrêmes (Gervais 2008)

2.4.2. Marée

La marée en Guadeloupe est de type semi-diurne à inégalité diurne et mixte.

Les données disponibles sur les niveaux marins sont issues des références altimétriques du SHOM 2022 [R3] et sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2-3 : Extrait des références altimétriques pour Basse-Terre et Deshaies (SHOM, 2022)

Nom	Type	Lat.	Long.	Année CH	PHMA	NM	PBMA	ZH/Ref	Ref
Basse-Terre	S	16 00 N	61 44 W		0,69	0,45	0,13	-0,492	IGN88
					CM	CM	CM		
					0,198 IGN 1988	-0,042 IGN 1988	-0,362 IGN1988		
Deshaies	S	16 18 N	61 48 W	2008	0,59	0,42	0,08	-0,527	IGN88
					CM	CM	CM		
					0,063 IGN 1988	-0,107 IGN 1988	-0,447 IGN 1988		

Dans le cadre de cette étude, nous retiendrons les niveaux de marnages fournis par le SHOM [R3] au niveau de Deshaies (0,51 m entre les niveaux de PHMA et PBMA).

2.4.3. Niveau extrême

Le niveau de référence caractérisant un événement de tempête extrême est composé par les phénomènes suivants :

- ▶ Le niveau de la marée ;
- ▶ La surcote liée à la pression atmosphérique et au vent (accumulation d'eau par friction à la surface de l'eau) ;
- ▶ Eventuellement la surcote liée aux vagues (surcote supplémentaire générée localement si la mesure est effectuée sur un plan d'eau exposé).

Aucune analyse des niveaux d'eaux extrêmes sur une période de données suffisante n'est disponible sur la zone d'étude. Dans le cadre de cette étude, le niveau extrême cyclonique sera établi à partir :

- ▶ Du niveau de PHMA pour la station de Deshaies ;
- ▶ D'une surcote barométrique associée à la dépression engendrée par le passage d'un cyclone de type 4 tel que Maria (940 hPa le 09/2017) → +0,71 m.

Dans le cadre de la présente étude, un niveau de surcote cyclonique de +0,773 m IGN 1988 a été retenu, décomposé comme suit :

- Niveau PHMA : 0,063 m IGN 1988 ;
- +0,71 m de surcote barométrique.

2.4.4. Hausse du niveau de la mer due au réchauffement climatique.

Le dernier rapport AR6 (publié le 09 Aout 2021 [R4]) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) qui fait suite au rapport spécial intitulé « Le changement climatique, les océans et la cryosphère » a été publié en septembre 2019 présente les derniers résultats des différents modèles à l'horizon 2100.

Dans l'AR6, sur la base de cinq hypothèses différentes concernant la quantité de gaz à effet de serre qui sera émise dans les années à venir (période 2000-2100), chaque scénario SSP (Shared socioeconomic pathway) Les scénarios SSP, sont basés sur des projections socio-économiques à l'échelle mondiale, qui prennent en compte des facteurs tels que la croissance démographique, l'urbanisation, l'évolution technologique et l'évolution des politiques. Les cinq scénarios SSP vont de SSP1 (développement durable) à SSP5 (développement non durable). Le chiffre associé à ces scénarios correspond à une valeur du forçage radiatif en watts par mètre carré (W/m²) en 2100 par rapport à l'année préindustrielle. Le forçage radiatif représente le changement d'équilibre énergétique de la Terre dû à un changement dans l'irradiance solaire, dans la composition de l'atmosphère ou dans la réflectivité de la surface de la Terre (albédo).

Le rapport apporte également des informations sur les variations régionales de hausse du niveau de la mer à travers le globe.

Dans le cadre de cette étude, le scénario SSP5-8.5 sera retenu puisqu'il apparaît comme probable entre aujourd'hui et 2070. Il traduit l'échec des politiques d'atténuation et la continuité des tendances de consommation d'énergie primaire et de mix énergétique.

Ainsi, au droit de la zone d'étude, l'augmentation du niveau marin suivant le scénario SSP5-8.5 est de 0,40 m à l'horizon 2070 tel que présenté dans la figure suivante.

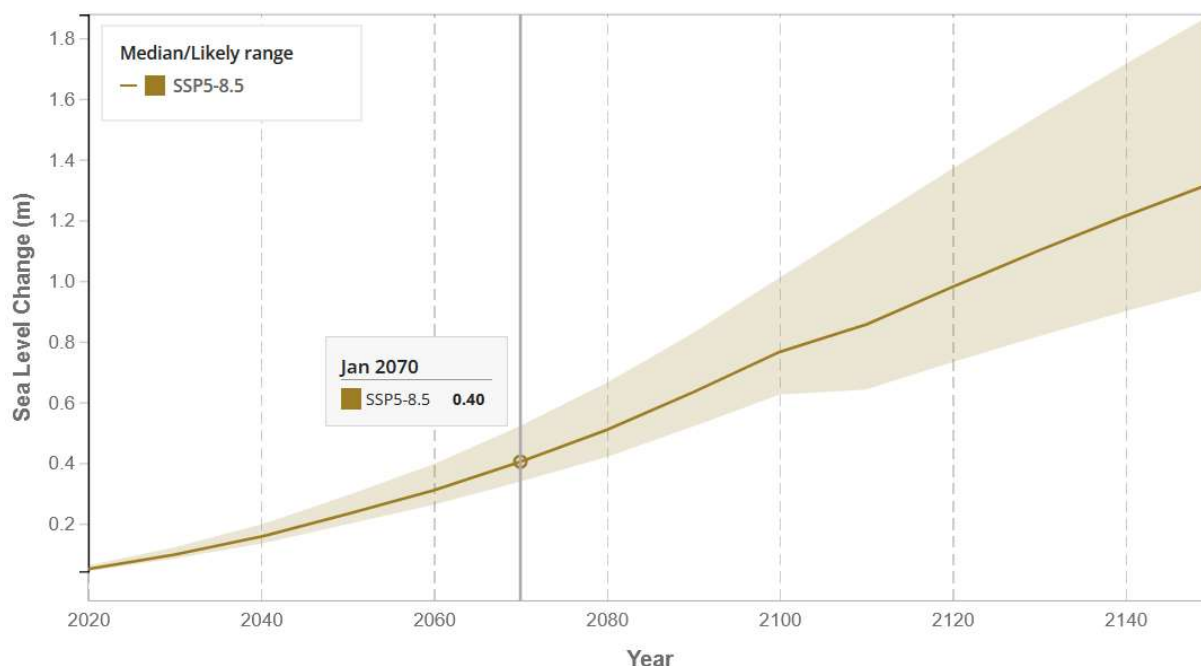


Figure 2-16 : Projection d'élévation du niveau marin au droit de la zone d'étude selon le scénario SSP5-8.5 du GIEC

3. Modélisation de propagation de houle

Un modèle 2D de propagation de la houle (modèle spectral) a été employé afin de disposer des conditions de houle cyclonique d'occurrence 50 ans en pied d'ouvrage, nécessaires au dimensionnement des enrochements.

3.1. Présentation du modèle utilisé

TOMAWAC est un modèle de houles dit de troisième génération, permettant de propager des houles en zones côtières, lacs et estuaires à partir de conditions de vent, de houles au large et de bathymétrie. Le modèle utilise le formalisme des éléments finis pour discrétiser le domaine maritime. Il est basé sur les sous-programmes de calcul du système OPENTELEMAC-MASCARET, développé par le Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE) d'EDF R&D.

Les principaux processus de propagation de la houle sont pris en compte par TOMAWAC :

- ▶ Propagation des vagues dans l'espace ;
- ▶ Réfraction due aux variations spatiales des fonds et des courants ;
- ▶ Shoaling (gonflement) dû aux variations spatiales des fonds et des courants.

Les principaux processus de génération et de dissipation de houles sont pris en compte par TOMAWAC :

- ▶ Génération par le vent ;
- ▶ Dissipation par moutonnement ;
- ▶ Dissipation par déferlement ;
- ▶ Dissipation par friction sur le fond ;
- ▶ Interactions entre les houles non linéaires.

Les calculs de TOMAWAC peuvent être effectués sur un maillage irrégulier, adaptant parfaitement ce logiciel aux conditions de la présente étude. TOMAWAC fournit, entre autres, les valeurs suivantes en chaque point du maillage :

- ▶ Spectre d'état de mer ;
- ▶ Hauteur de houle significative, période de pic, période moyenne ;
- ▶ Direction de la houle et dispersion directionnelle ;
- ▶ Pourcentage de déferlement.

3.2. Mise en place du modèle

3.2.1. Bathymétrie et maillage

Dans le cadre de cette étude deux grilles de calcul seront retenues afin de d'appliquer des conditions cycloniques venant du Nord ou du Sud et de permettre la prise en compte des éléments bathymétriques et de la morphologie complexe de la côte en cohérence avec les conditions de houles incidentes.

Les bathymétries retenues sont présentées Figure 3-1. La taille des mailles des deux modèles de propagation proposés, varie graduellement en fonction de l'approche de la côte, avec une taille au large de 100 m, et une taille de 5 m au droit du littoral du bourg de Bouillante.

La bathymétrie est issue de deux sources différentes :

- ▶ Projet Homonim, SHOM, 2015. MNT bathymétrique de façade de la Guadeloupe et de la Martinique, résolution de 0.001° (~ 111 m) [R5] ;
- ▶ Litto3D, SHOM 2016. MNT topo-bathymétrique Guadeloupe, résolution 1m x 1m [R6] ;
- ▶ Plan topographique Bourg de Bouillante du 30/04/2024 – Cabinet Simon & Associés – Géomètres Experts [R7].

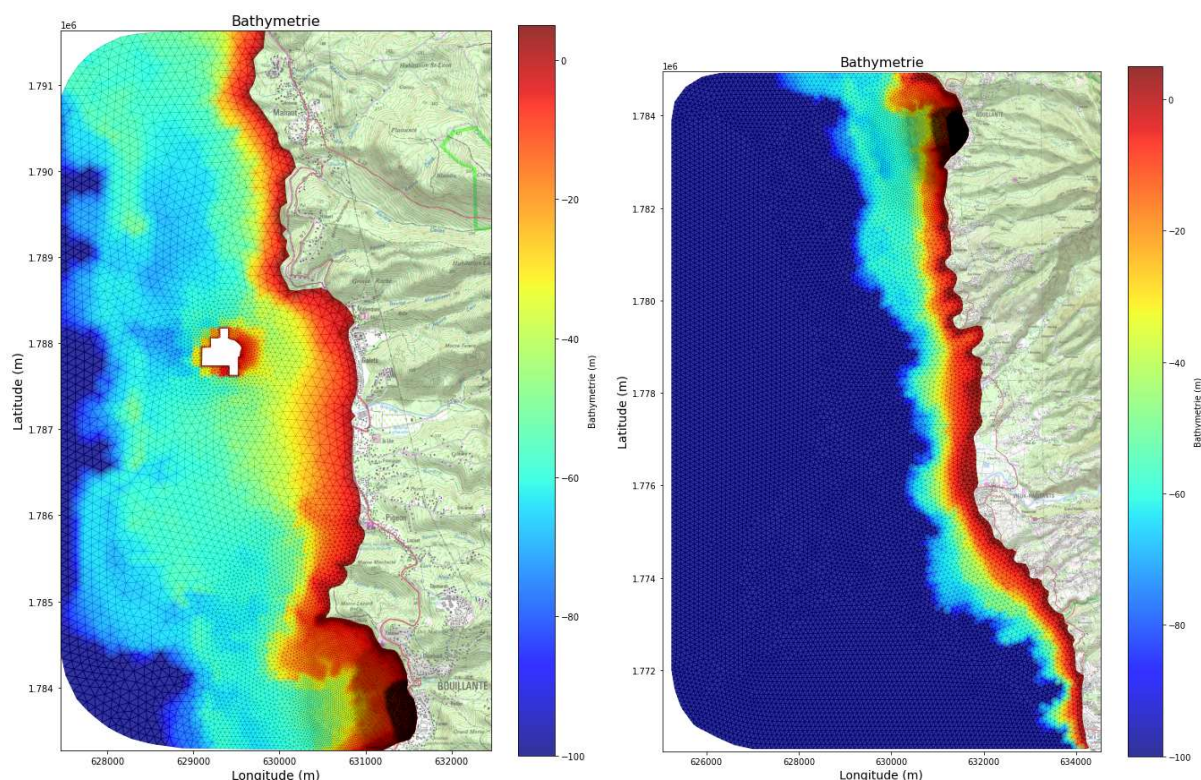


Figure 3-1 : Emprise totale des deux modèles de propagation mis en place – maillage et bathymétrie assemblée (à gauche : emprise pour les houles cycloniques venant du Nord, à droite : emprise pour les houles cycloniques venant du Sud)

3.3. Conditions de projet / cas simulés

Les conditions simulées ont été déterminées à partir des conditions cycloniques présentées en Section 2.

Les conditions aux limites sont spécifiées en termes de paramètres spectraux de la houle aux limites marines du modèle de propagation de houle.

Les niveaux d'eau sont appliqués de manière constante, uniformément sur le modèle. Il n'est pas reproduit ici de tempête caractéristique avec les champs de vents correspondants.

Les modèles proposés permettront d'étudier la propagation des vagues du Nord et du Sud-Sud-Ouest pour des occurrences de houles cycloniques.

Les forçages météo-océaniques imposés à la frontière au large des modèles de propagation sont fournis ci-après :

- ▶ Modèle de propagation des houles du Nord :
 - Données de houle : $H_{s0} = 5,18$, $T_p = 10$ s et $D_p = 0^\circ N$;
 - Données de vent : $w_s = 46$ m/s et $w_d = 330^\circ N$;
 - Niveau de +1,173 m IGN 1988, décomposé comme suit :
 - Niveau PHMA : 0,063 m IGN 1988 ;
 - +0,71 m de surcote barométrique ;
 - Augmentation du niveau marin de +0,40 m (scénario SSP5-8.5 du GIEC).
- ▶ Modèle de propagation des houles de Sud-Sud-Ouest :

- Données de houle : $H_{s0} = 5,18$, $T_p = 10$ s et $D_p = 210^\circ\text{N}$;
- Données de vent : $w_s = 46$ m/s et $w_d = 210^\circ\text{N}$;
- Niveau de +1,173 m IGN 1988, décomposé comme suit :
 - Niveau PHMA : 0,063 m IGN 1988 ;
 - +0,71 m de surcote barométrique ;
 - Augmentation du niveau marin de +0,40 m (scénario SSP5-8.5 du GIEC).

3.4. Résultats

Pour rappel, l'objectif de la modélisation de propagation de houle cyclonique est de fournir les conditions de houle en pied des enrochements.

Les résultats de la propagation d'une houle cyclonique sont fournis sur les deux figures suivantes (Figure 3-2 et Figure 3-3).

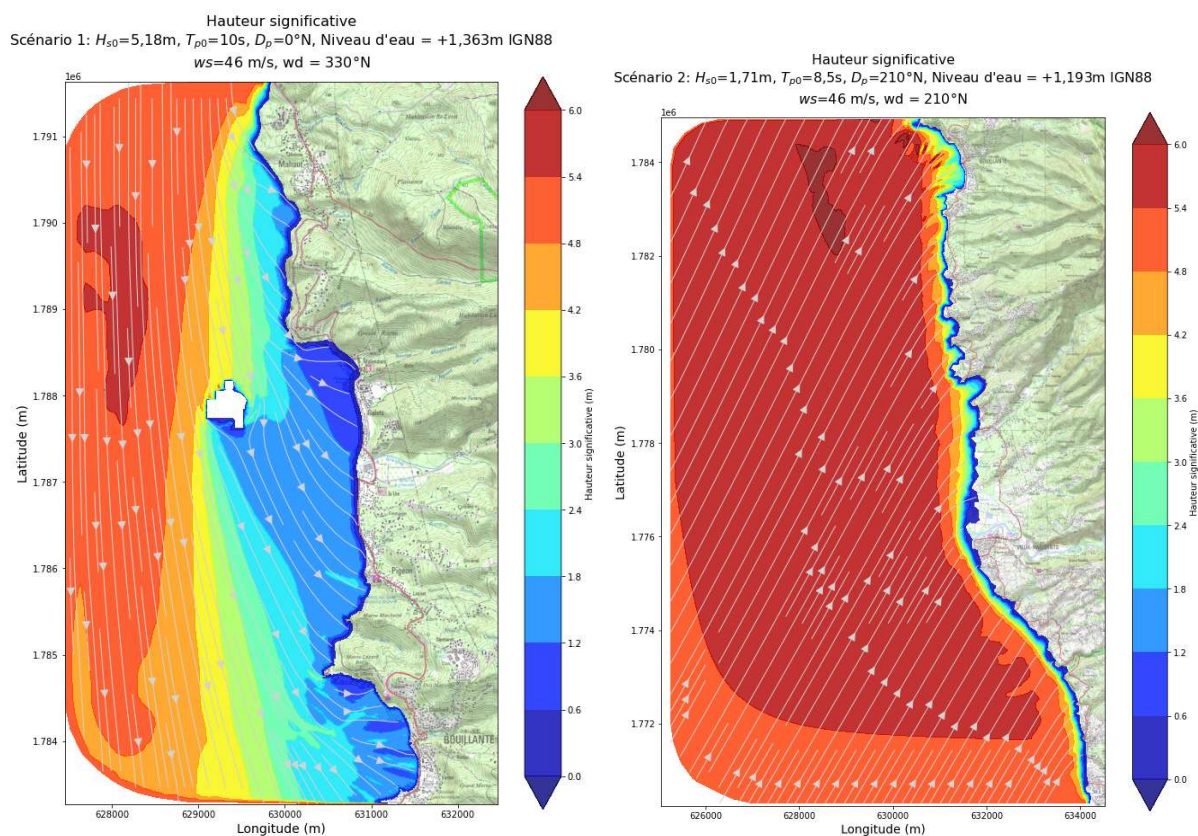


Figure 3-2 : Propagation de la houle sur modèle spectral de propagation (à gauche : houles cycloniques venant du Nord, à droite : houles cycloniques venant du Sud)

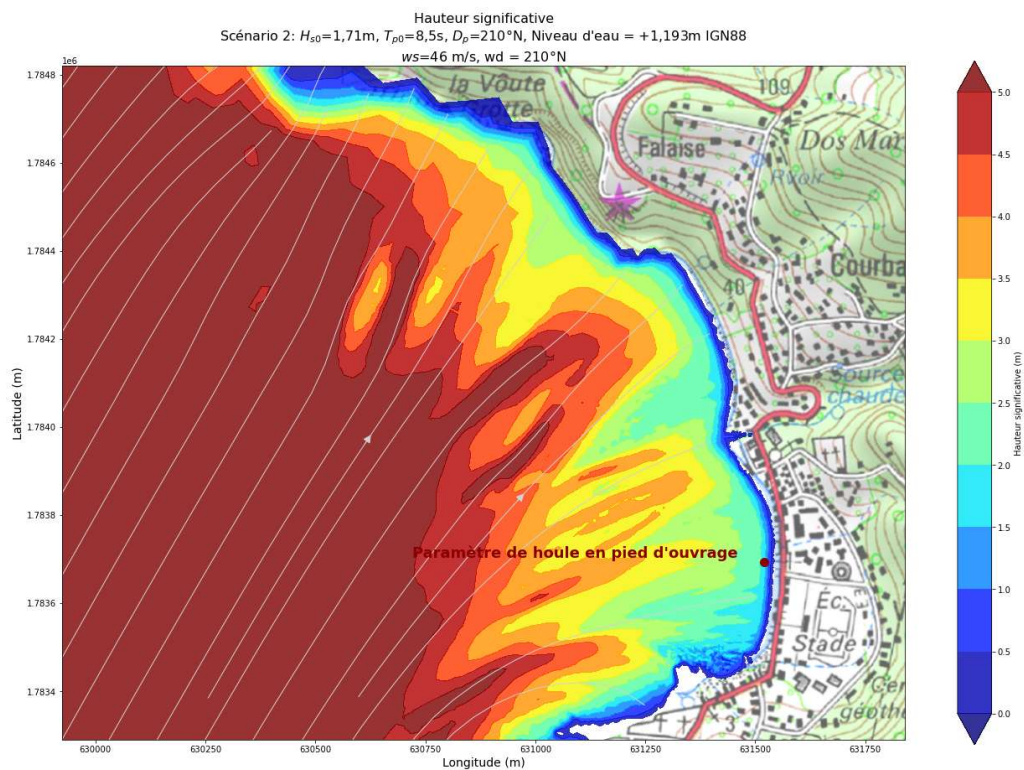
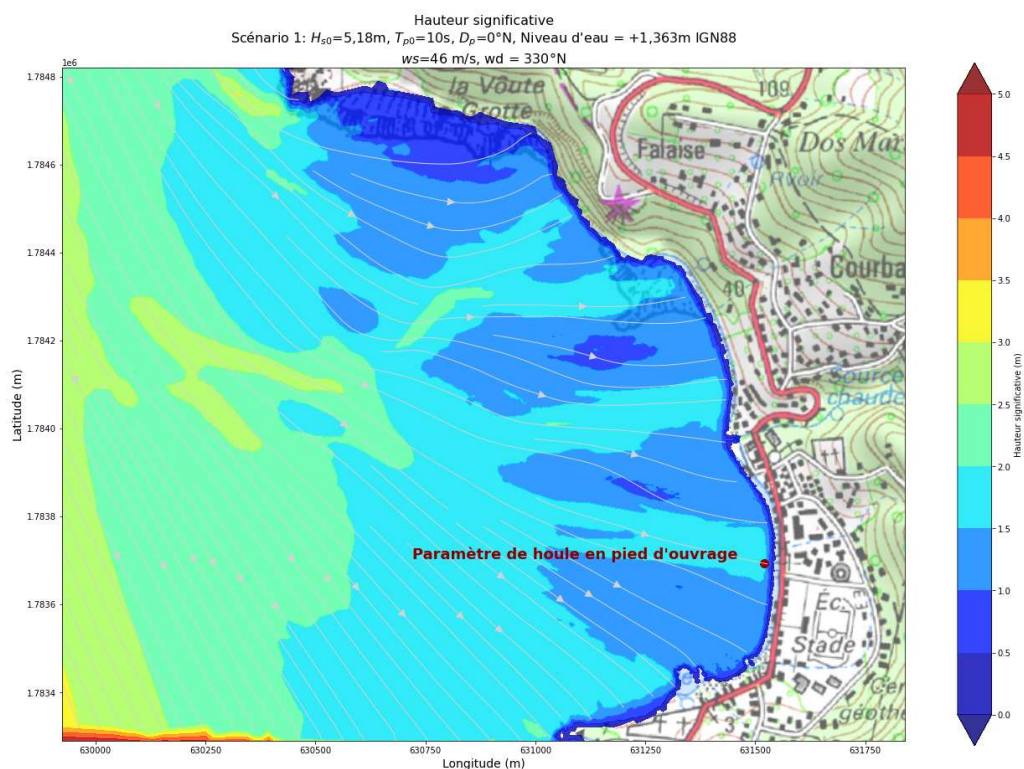


Figure 3-3 : Point d'extraction des paramètres de houle en pied d'ouvrage (à gauche : houles cycloniques venant du Nord, à droite : houles cycloniques venant du Sud)

Les résultats extraits en pied d'ouvrage pour les conditions cycloniques sont :

- ▶ Modèle de propagation des houles du Nord :
 - $H_s = 1,65$ m
 - $T_{moy} = 10,33$ s
 - $T_p = 10,00$ s
- ▶ Modèle de propagation des houles de Sud-Sud-Ouest :
 - $H_s = 1,68$ m
 - $T_{moy} = 10,33$ s
 - $T_p = 10,00$ s

Le cas le plus défavorable correspond aux conditions du Sud-Sud-Ouest. Ces conditions seront retenues pour le dimensionnement des enrochements.

4. Stabilité des enrochements – Dimensionnement

4.1. Eléments théoriques pour le dimensionnement d'ouvrage

4.1.1. Paramètres de dimensionnement des blocs de carapace

Nombre de stabilité N_s

Action dynamique de la houle = traînée F_D + portance F_L sur les enrochements :

$$F_D + F_L \approx \rho_w D_n^2 V^2$$

Avec D_n le diamètre nominal de l'enrochement, et $V^2 \approx gH$ pour une houle déferlant sur le talus

Efforts résistants des blocs = poids déjaugé de l'enrochement F_G :

$$F_G \approx (\rho_s - \rho_w) g D_n^3$$

Nombre de stabilité N_s = rapport « efforts moteurs / efforts résistants » :

$$N_s = \frac{H}{\Delta D_n} \text{ avec } \Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$$

Pour des digues statiquement stables, N_s doit être compris entre **1 et 4**.

NB : $D_{n50} = (M_{50} / \rho_r)^{1/3}$

Le paramètre de déferlement ξ

Le paramètre de déferlement ξ , ou nombre Iribarren Battjes : $\xi = \frac{\tan \alpha \cdot H}{\sqrt{H/L_0}}$

Avec H/L_0 la cambrure au large, $L_0 = g.T^2/2\pi$ (profondeur infinie), α la pente du talus.

4.1.2. Formule de Van de Meer (dimensionnement des blocs de la carapace)

Dans le cas des carapaces de digues en enrochements, les formules communément admises sont celles développées par Van Der Meer et issues du Guide Enrochement [R8]. Les formules sont présentées ci-dessous.

Formule de Van der Meer en eau peu profonde ($0,7H_{s0} < H_s < h/3$)

- Pour un déferlement de type plongeant ($\xi_{s-1,0} < \xi_{cr}$) :

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_{pl} P^{0.18} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \left(\frac{H_s}{H_{2\%}} \right) (\xi_{s-1,0})^{-0.5}$$

- Pour un déferlement de type gonflant ($\xi_{s-1,0} \geq \xi_{cr}$) :

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_s P^{-0.13} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \left(\frac{H_s}{H_{2\%}} \right) \sqrt{\cot \alpha} (\xi_{s-1,0})^P$$

Avec :

- ▶ N [-] : nombre de vagues incidentes, fonction de la durée de l'état de mer ($N < 7500$) ;
- ▶ H_s [m] : hauteur significative de la houle incidente en pied d'ouvrage ($H_{1/3}$) ;
- ▶ $H_{2\%}$ [m] : hauteur de la houle dépassée par 2% des vagues ;
- ▶ ξ_m [-] : paramètre de déferlement calculé à partir de la période moyenne de la houle, T_m [s], en accord avec une analyse dans le domaine temporel ;
- ▶ $\xi_{s-1,0}$ [-] : paramètre de déferlement calculé à partir de la période moyenne de la houle, $T_{m-1,0}$ [s], en accord avec une analyse dans le domaine spectral.

$$\xi_{s-1,0} = \tan \alpha / \sqrt{(2\pi H_s / (g T_{m-1,0}^2))} \text{ avec } H_s = H_{1/3} \text{ dans le domaine temporel.}$$

Dans le cas des spectres à pic unique, avec un pic clair, l'expression suivante est une bonne approximation : $T_{m-1,0} = T_p / 1.1$;

- ▶ La transition entre les vagues plongeantes et les vagues gonflantes est dérivée de la pente de la structure (et non de la pente de l'estran) et peut être calculée en utilisant une valeur critique du paramètre de déferlement, ξ_{cr} :

$$\xi_{cr} = \left[\frac{c_{pl}}{c_s} P^{0.31} \sqrt{\tan \alpha} \right]^{\frac{1}{P+0.5}}$$

- ▶ D_{n50} [m] : diamètre nominal médian de l'enrochement ;
- ▶ Δ [-] : densité relative déjaugée de l'enrochement ;
- ▶ P [-] : paramètre de perméabilité nominale de l'ouvrage ;
- ▶ S_d [-] : paramètre de dommage adimensionnel ;
- ▶ α [°] : angle du talus ;
- ▶ c_{pl} [-] : 8,4 avec une limite de 7,25 correspondant à la limite de dépassement de 5% ;
- ▶ c_s [-] : 1,3 avec une limite de 1,05 correspondant à la limite de dépassement de 5%.

4.2. Calcul de la stabilité du talus en enrochements

Les normes et recommandations sont rappelées aux §1.2 et 1.3.

4.2.1. Conditions d'entrée retenues pour le dimensionnement des ouvrages

Paramètre de la houle en pied d'ouvrage

Les données d'entrée sont issues des résultats du modèle de propagation d'une houle cyclonique (cf. §3.4 p.26) extraits en pied d'ouvrage.

Rappel des résultats extraits en pied d'ouvrage pour les conditions cycloniques :

- ▶ $H_{s0} = 5,18$ m

- ▶ $H_s = 1,68$ m
- ▶ $T_{\text{moy}} = 10,33$ s
- ▶ $T_p = 10,00$ s
- ▶ Profondeur d'eau en pied d'ouvrage = 0,7 m

Autres paramètres

- ▶ Durée de la tempête = 6h ;
- ▶ Masse volumique des enrochements :
 - Roche ophitique : 2700 kg/m³ (valeur fournie par une carrière locale).
- ▶ Perméabilité de la digue = 0.4 (valeur classique recommandée par Guide Enrochement pour ce type de digue) ;
- ▶ Pente de talus 3H/2V ;
- ▶ Paramètre de dommage $S_d = 2$.

4.2.2. Résultats

Les résultats des calculs de stabilité (blocométrie) obtenus à partir des hypothèses de calcul présentées précédemment indiquent qu'il est nécessaire de mettre en place une carapace en enrochements dont la masse médiane M50 soit supérieure ou égale à 1860 kg pour résister aux effets des houles sur le site (pour une roche de masse volumique de 2700 kg/m³).

Nous préconisons la mise en place d'une **carapace composée d'enrochements de 1000-3000 kg** (conformément à la norme NF EN 13380-1), en **double couche** (épaisseur **1,75 m au minimum** pour une roche de masse volumique de 2700 kg/m³) sur un talus de pente 3H/2V.

Afin d'éviter tout risque de migration de particules fines à travers cette carapace, il est nécessaire d'installer une **couche filtre** composée d'enrochements de **100-400 kg**, en double couche (**épaisseur 1,3 m au minimum pour une roche de masse volumique de 2700 kg/m³**) sur un talus de pente 3H/2V.

Les classes d'enrochements de la couche filtre proposées ici sont non standard au sens de la norme NF EN 13383. Les limites granulométriques que la couche filtre devront respecter sont donc spécifiées dans le tableau suivant.

Tableau 4-1 : Limites granulométriques de la couche filtre

	Blocométrie de la couche filtre
ELL	40 kg
NLL	100 kg
NUL	400 kg
EUL	665 kg
M50min	210 kg
M50max	300 kg

ELL (limite inférieure extrême) : masse en deçà de laquelle 5% de passant maximum est autorisé

NLL (limite inférieure nominale) : masse en deçà de laquelle 10% de passant maximum est autorisé

NUL (limite supérieure nominale) : masse en deçà de laquelle 70% de passant minimum est autorisé

EUL (limite supérieure extrême) : masse en deçà de laquelle 97% de passant minimum est autorisé



www.creocean.fr



[GROUPE KERAN](#)

ANNEXE 2

PLANS ET COUPES

DEPARTEMENT DE LA GUADELOUPE
COMMUNE DE BOUILLANTE

Client :



Agence des 50 pas
Cité administrative de Circonvallation
R. Alexandre Buffon
97100 Basse -Terre

ETUDE DE QUALIFICATION ET D'ADAPTATION AU
CHANGEMENT CLIMATIQUE DU LITTORAL DU
BOURG DE BOUILLANTE

VUE EN PLAN - COUPES DE PRINCIPE
PLANCHE 1

IND.	DATE	MODIFICATION
A	Avril 2025	Élaboration émission

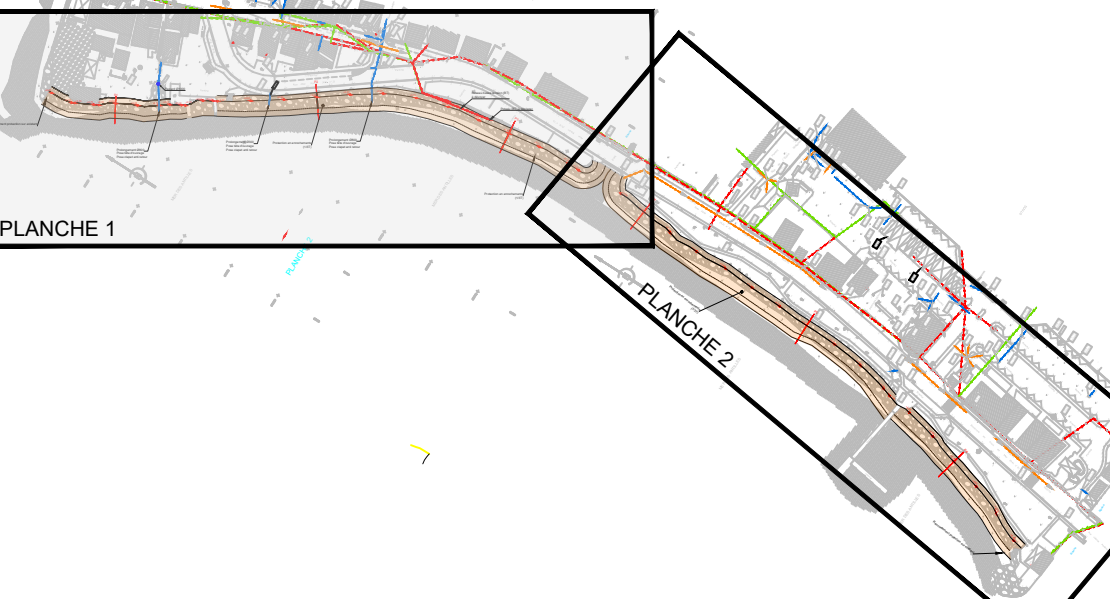
Dessin : D6R Contrôlé : FLA 240905 AVP PLAN 001 A Ecl. Diverses

Bureau d'études :

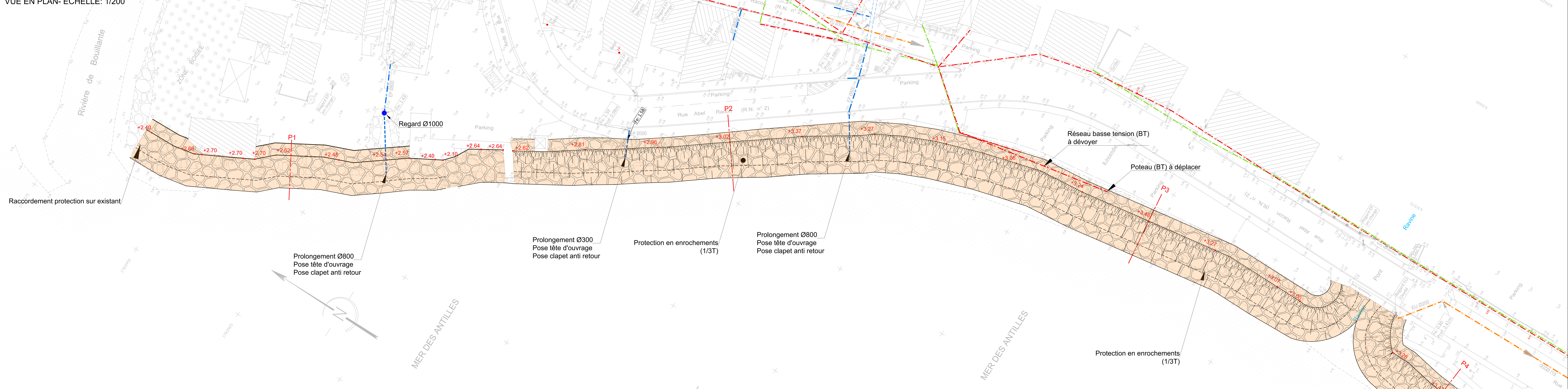


CREOCEAN
Agence Antilles
13 lot, Ti bambou Convergence
97122 Baie Mahault

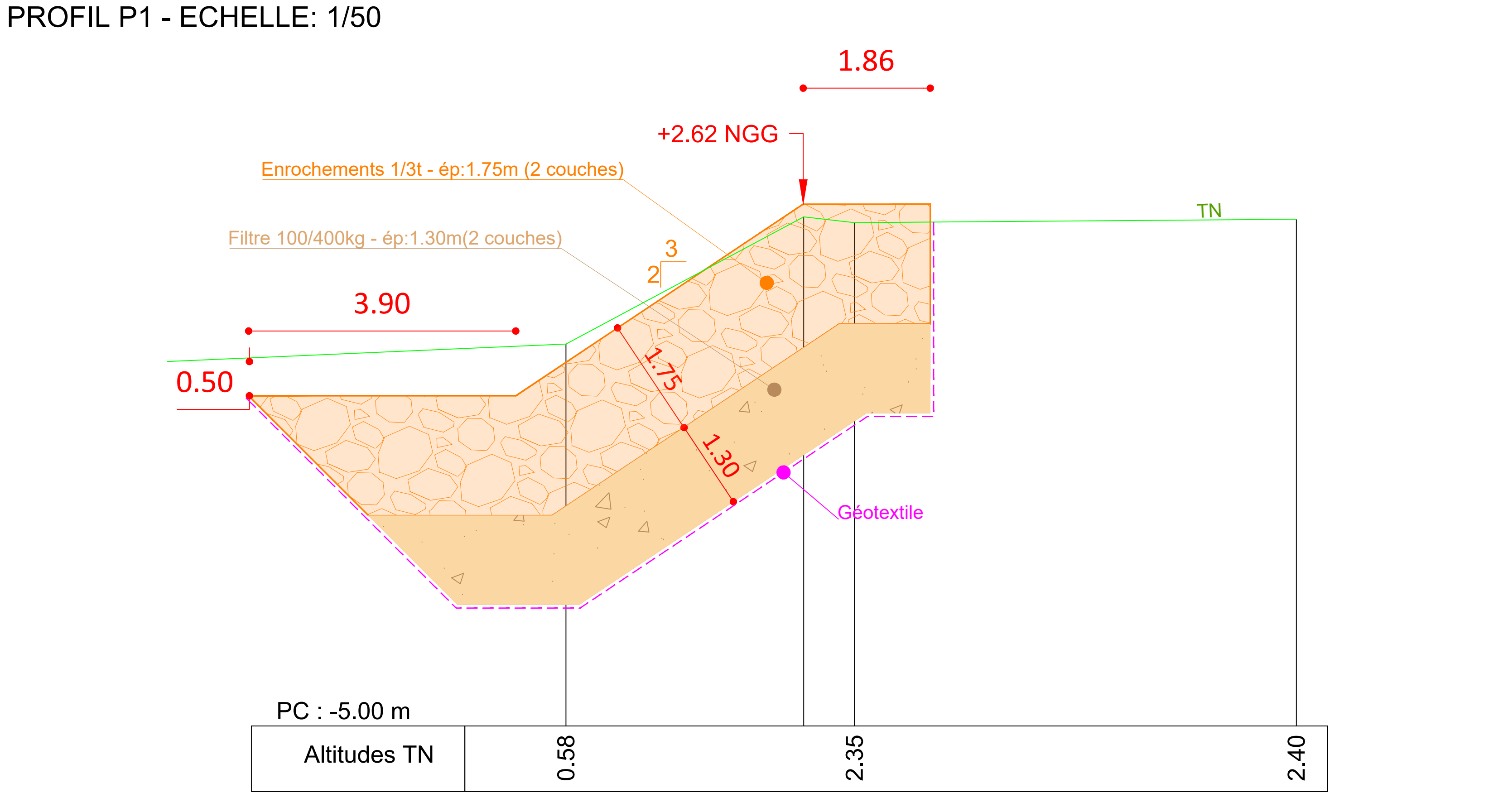
SYSTEMES DE COORDONNEES : X,Y : UTM 20N RGA/99 / Z : NGG



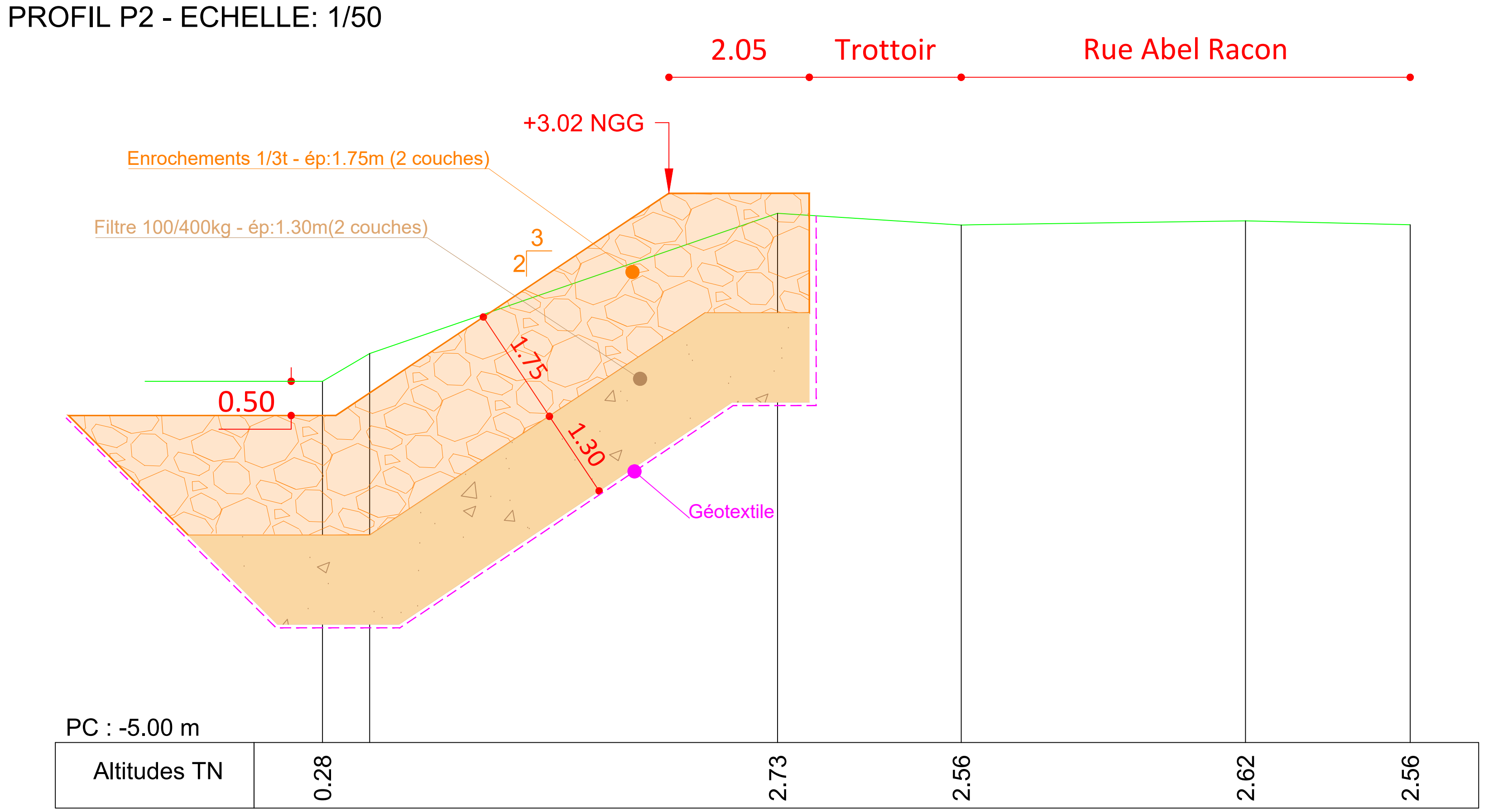
VUE EN PLAN- ECHELLE: 1/200



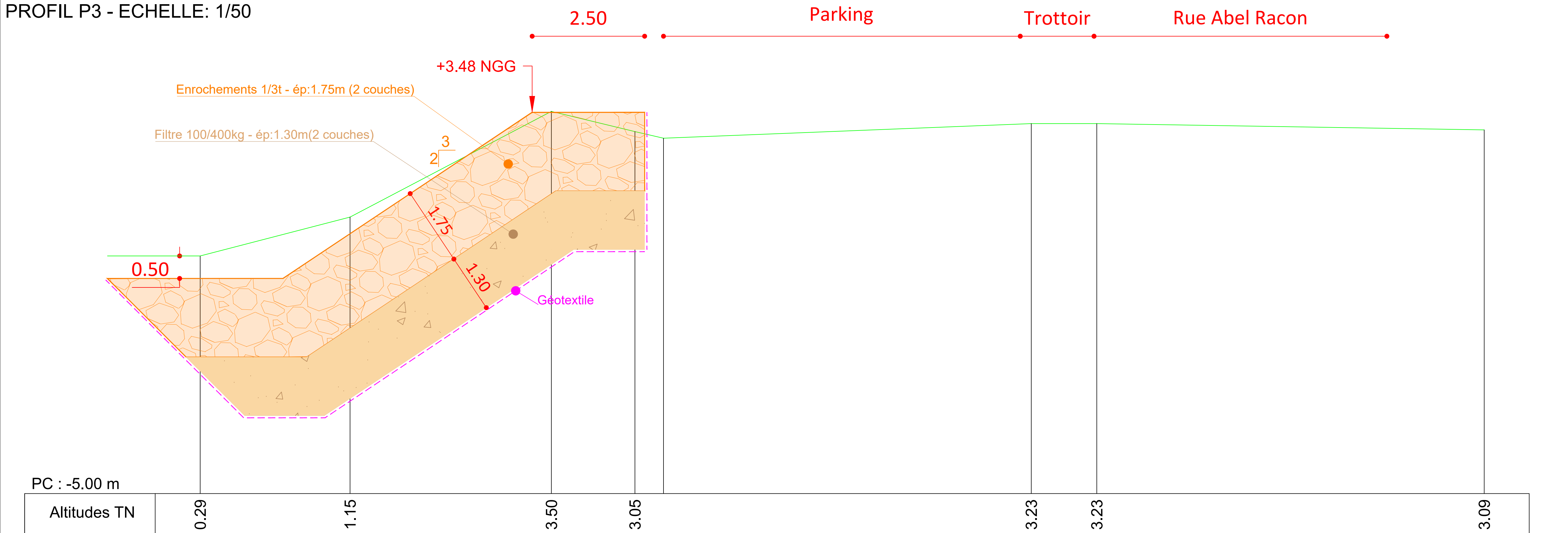
PROFIL P1 - ECHELLE: 1/50



PROFIL P2 - ECHELLE: 1/50



PROFIL P3 - ECHELLE: 1/50



DEPARTEMENT DE LA GUADELOUPE
COMMUNE DE BOUILLANTE

Client :



Agence des 50 pas
Cité administrative de Circunvallation
R. Alexandre Buillon
97100 Basse-Terre

ETUDE DE QUALIFICATION ET D'ADAPTATION AU
CHANGEMENT CLIMATIQUE DU LITTORAL DU
BOURG DE BOUILLANTE

VUE EN PLAN - COUPES DE PRINCIPE
PLANCHE 2

IND.	DATE	MODIFICATION
A	Avril 2025	Projet de mise à jour

Dessin: DBR

Contrôle: FLA

240985

AVP

PLAN

002

A

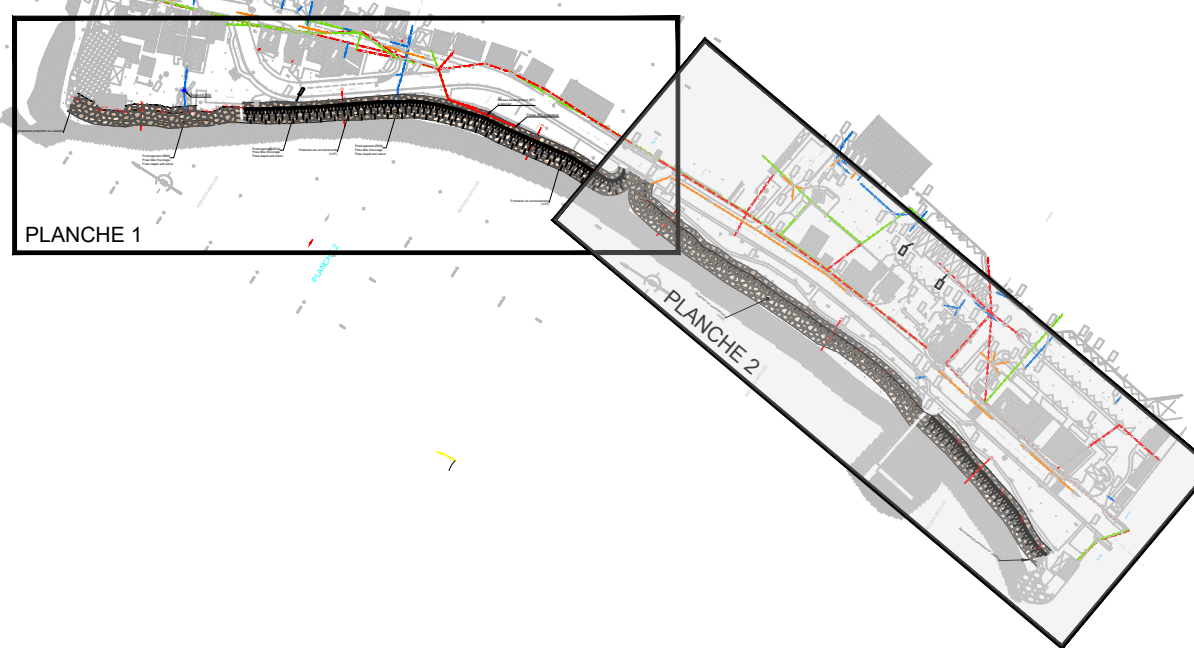
Ech. Diverses

Bureau d'études :



CREOCEAN
Agence Antilles
13 lot. Ti bambou, Convenance
97122 Baie Mahault

SYSTEMES DE COORDONNEES : X-Y: UTM 20N-RGAFO9 / Z : NGG



VUE EN PLAN - ECHELLE: 1/200

PROFIL P4 - ECHELLE: 1/50

PROFIL P5 - ECHELLE: 1/50

PROFIL P6 - ECHELLE: 1/50



www.creocean.fr



[GROUPE KERAN](#)