



ETAT

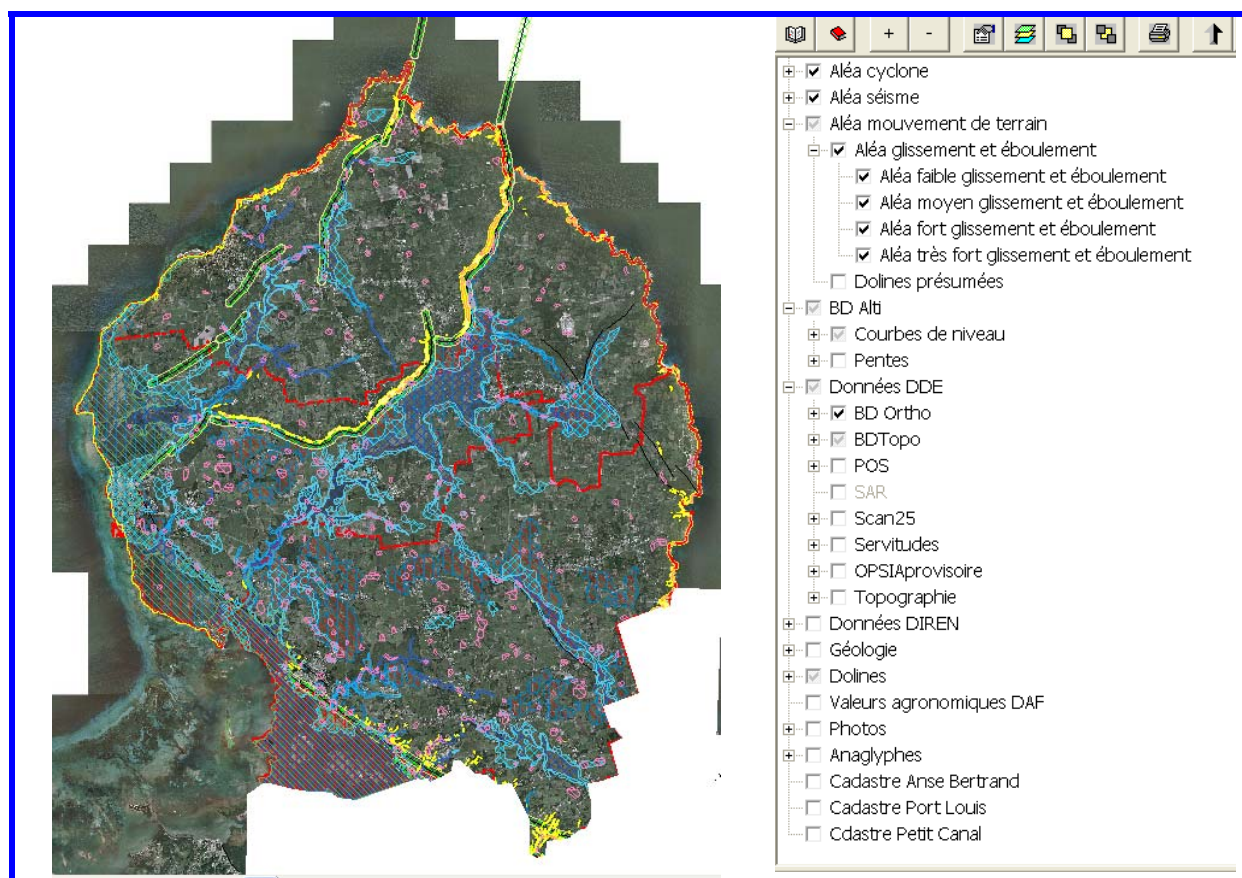
Ministère de l'Écologie et du
Développement Durable



DDE de La Guadeloupe

Service de l'Aménagement et de l'Urbanisme
*Prévention des Risques – Qualité de la
Construction*

ÉLABORATION DES PLANS DE PRÉVENTION DES RISQUES NATURELS PRÉVISIBLES COMMUNES DE ANSE-BERTRAND, PORT-LOUIS ET PETIT-CANAL



PARTIE 1 - CARTOGRAPHIE DES ALÉAS



Rapport R280.07 - Juin 2007

TABLE DES MATIÈRES

A - Introduction.....	4
B- Les aléas hydrométéorologiques - Les Inondations	7
B.1 – Introduction	7
B1.1 - Débordements des ravines	7
B1.2 - Inondations pluviales dans les zones endoréiques	7
B1.3 - Quelques facteurs pouvant aggraver l'aléa inondation	7
B.2 – Description des six bassins principaux.....	8
B3 - Pluviométrie.....	11
B4 - Analyse des événements historiques.....	12
B5 - Méthode d'analyse	13
B5.1 - La cartographie au 25 000 ^{ème}	13
B5.2 - Le modèle numérique de terrain (MNT).....	13
B5.3 - Les photographies aériennes	13
B5.4 - Les reconnaissances visuelles de terrain :	13
B6 - La qualification des aléas.....	14
B7 - La cartographie des aléas	15
C - Les aléas hydrométéorologiques submersion côtière.....	16
C1 – Rappel de définitions.....	16
C1.1 - Aléa « submersion »	16
C1.2 - Aléa « houle »	17
C1.3 – Découpage de la frange littorale en cinq zones	18
C1.4 – Rappels de climatologie	22
C2 - Phénomènes cycloniques sur les Caraïbes	23
C2.1 – Généralités	23
C2.2 - Variation du niveau d'eau sur les zones d'étude.....	30
C2.3 - Houles cycloniques sur les zones d'étude.....	32
C2.4 - Surcotes liées aux phénomènes de houles à la côte	35
C3 - Synthèse des variations du niveau d'eau et de l'agitation du site lors d'un événement cyclonique de période de retour 100 ans.....	37
C3.1 - Surcotes sur le site de projet	37
C3.2 - Niveau d'eau maximum en période cyclonique centennale.....	38
C3.3 - Houles maximales associées	38
C4 - Synthèses des aléas « houle » et « submersion » du site étudié – Cartographies associées.....	39
C4.1 - Cartographie de l'aléa « Submersion »	39
C4.2 - Cartographie de l'aléa « Houle »	39
D – ALEAS LIES AUX PHENOMENES SISMIQUES	41
D1 - Phénomènes associés aux tremblements de terre.....	41
D1.1 - Déplacements le long de failles (faille co-sismique) et indices de rupture de surface.....	41
D1.2 - Secousses sismiques	46
D1.3 - Liquéfaction des sols	48
D2 – Evaluation et cartographie de l'aléa faille active	50
D3 - Evaluation et cartographie de l'aléa sismique	52
D3.1 - Présentation de la démarche	52
D3.2 - Mouvements sismiques au rocher.....	52
D3.3 - Mouvements sismiques tenant compte des conditions particulières de site	53

D3.4 - Evaluation et cartographie de l'aléa sismique	56
D4 - Evaluation et cartographie de l'aléa liquéfaction.....	58
E – ALEAS LIES AUX MOUVEMENTS DE TERRAIN.....	61
E1 – Rappel sur la géologie des territoires concernés.....	61
E2 - Les aléas d'éboulement et d'effondrement de falaises rocheuses sur le littoral	62
E2 - Les aléas liés aux effondrements des dolines.....	63
E2.1 – La mise au point d'une méthode de détermination des dolines.....	63
E2.2 – L'aléa « doline ».....	65
ANNEXE au chapitre E : Photographies héliportées de la côte	66

A - INTRODUCTION

Le présent rapport constitue la première partie du Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles pouvant affecter le territoire des trois communes du Nord Guadeloupe. Il présente l'identification et la caractérisation des phénomènes naturels générateurs de risques (ce qu'il est convenu d'appeler « les aléas »), et l'extension de leurs zones de possible manifestation.

On distingue :

- les aléas d'origine hydrométéorologique : cyclones : vent, marée de tempête, houle, érosion littorale d'origine cyclonique, inondations (pluviale et torrentielle),
- les aléas d'origine sismique ou tectonique (effets de site, mouvements de terrain induits et failles actives),
- les aléas d'origine gravitaire : mouvements de terrain (glissements de terrain, éboulements, effondrements, chutes de blocs,).

On n'a pas pris en compte dans le contexte de Grande Terre les aléas volcaniques, estimant être assez loin de la Soufrière.

Un certain nombre de données fondamentales ont été fournies par les divers services de l'Etat, de la Région, du département et des communes. Elles ont été validées, éventuellement corrigées en ce qui concerne le géoréférencement, puis structurées conformément à l'arborescence présentée sur la figure de couverture dans le système XGEO mis en place pour la conduite de l'opération.

Données fournies par la Direction Départementale de l'Équipement

☒ Données DDE ☒ BD Ortho ☒ 2004_0655_1810 ☒ 2004_0655_1815 ☒ 2004_0655_1820 ☒ 2004_0655_1825 ☒ 2004_0660_1810 ☒ 2004_0660_1815 ☒ 2004_0660_1820 ☒ 2004_0660_1825 ☒ 2004_0660_1830 ☒ 2004_0665_1810 ☒ 2004_0665_1815 ☒ 2004_0665_1820 ☒ 2004_0665_1825 ☒ 2004_0665_1830 ☒ 2004_0670_1815 ☒ 2004_0670_1820 ☒ 2004_0670_1825 ☒ Cadastre Anse Bertrand ☒ Cadastre Port Louis ☒ Cadastre Petit Canal	☒ BDTopo ☒ Bâtiment ☒ Communes ☒ Cimetières ☒ Constructions linéaires ☒ Constructions ponctuelles ☒ Constructions surfaciques ☒ Hydronymie ☒ Lieux dits habités ☒ Lieux dits non habités ☒ Lignes orographiques ☒ Oronymie ☒ Points d'eau ☒ Réservoirs ☒ Surfaces d'eau ☒ Toponymie communications ☒ Tronçon chemin ☒ Tronçon cours d'eau ☒ Tronçon laisse ☒ Tronçon route ☒ Terrain de sports	☒ POS ☒ POS Anse Bertrand ☒ POS Petit Canal ☒ POS Port Louis ☒ SAR ☒ Scan25 ☒ 971_1718 ☒ 971_1719 ☒ 971_1720 ☒ 971_1818 ☒ 971_1819 ☒ 971_1820 ☒ 971_1918 ☒ 971_1919 ☒ Servitudes ☒ erebc_Anse_Bertrand ☒ erebc_Port_Louis ☒ erebc_Petit_Canal
--	--	--

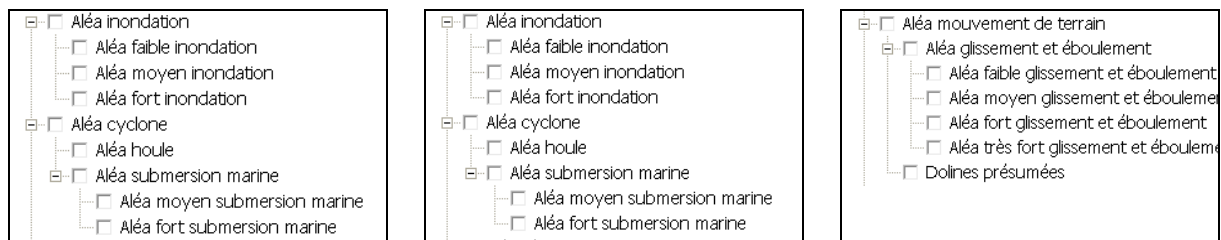
Données fournies par la Direction Régionale de l'Environnement

☒ Données DIREN ☒ 50 pas cadastre ☒ Acquisitions CERL ☒ L146_6 ☒ RAMSAR_II ☒ Réserves biosphère ☒ ZN1M ☒ ZN1T ☒ ZN2T ☒ Valeurs agronomiques DAF	☒ Topographie ☒ Topographie Anse Bertrand ☒ Topographie Port Louis ☒ Topographie Petit Canal	☒ OPSIAprovisoire ☒ Anse_Bertrand_F0339906_courbes ☒ Anse_Bertrand_F0339906_lignes ☒ Anse_Bertrand_F0339906_points ☒ Petit_Canal_f0339905_courbes ☒ Petit_Canal_f0339905_lignes ☒ Petit_Canal_f0339905_points ☒ Port_Louis_f339904_courbes ☒ Port_Louis_f339904_lignes ☒ Port_Louis_f339904_points
--	---	---

Données créées par le Groupement

☐ Géologie ☐ RFM ☐ RA ☐ Mz ☐ E ☐ D ☐ A/IVI ☐ My ☐ IVI ☐ p2-IVI ☐ p1 ☐ Failles ☐ Cassures	☒ Photos ☒ Photos ☒ Mosaïque ☒ Anaglyphes ☒ Anaglyphes 1999 ☒ Anaglyphes 2006	☒ BD Alti ☒ Courbes de niveau ☒ Pentas ☒ Masque ☒ Pentas ☒ Pentas supérieures à 15° ☒ Pentas supérieures à 25° ☒ Pentas supérieures à 35° ☒ Pentas supérieures à 45° ☐ Dolines ☐ Dolines présumées (845 dolines) ☐ Dolines sélection 1 (290 dolines) ☐ Dolines sélection 2 (40 dolines)
---	--	---

Eléments cartographiques de régionalisation des aléas



Ce système a ensuite été utilisé :

- comme un **outil de travail**,
- **et comme un excellent moyen de communication interactive** auprès des acteurs impliqués dans la réalisation du PPR, pour présenter, expliquer et justifier, lors de diverses réunions les éléments de la cartographie.

Le recueil d'information a été effectué au cours de réunions avec les communes concernées et durant plusieurs investigations de terrain, avec le concours notamment :

- à Anse Bertrand, de l'équipe municipale dont le maire, Monsieur Donat Erie,
- à Petit Canal de Monsieur Vrecord, Directeur des Services Techniques,
- à Port Louis de l'équipe municipale, dont le maire, Monsieur Barfleur,

Ces réunions ont permis de recueillir les principales informations existantes dans les divers services. Les problèmes majeurs liés aux inondations ont été évoqués dans chaque commune.

On a également réalisé plusieurs visites de terrain dont les principales en compagnie de représentants des diverses municipalités.

Au cours de ces visites, on s'est attaché à obtenir des témoignages auprès des riverains exposés au risque d'inondation. Les témoignages recueillis étaient relativement cohérents. Toutefois, aucun repère de crue totalement fiable n'a pu être recueilli.

En ce qui concerne les autres phénomènes, les témoignages ont été beaucoup plus rares et incertains.

B- LES ALÉAS HYDROMÉTÉOROLOGIQUES - LES INONDATIONS

B.1 – INTRODUCTION

B1.1 - Débordements des ravines

En Grande Terre, le fond des ravines est le plus souvent à sec, entrecoupé de petites mares temporaires. Les pentes sont faibles et les écoulements n'apparaissent que lorsque des pluies ont préalablement saturé les sols. Les écoulements sont donc le plus souvent lents, mais constituent d'importants volumes d'eau inondant les zones basses mal drainées.

La brièveté du délai entre la pluie génératrice de crue et le débordement rend difficile l'alerte des populations menacées. Il existe 6 ravines principales sur le territoire communal d'Anse Bertrand, Petit Canal et Port Louis :

- la ravine Cassis,
- la ravine Sabiée,
- la ravine de la Vidange,
- la ravine Gachet,
- la ravine Deville,
- la ravine Delisle.

Chacune de ces 6 ravines constitue un bassin de risque. Les caractéristiques physiques générales sont présentées plus loin.

B1.2 - Inondations pluviales dans les zones endoréiques

Les zones endoréiques sont communément appelées dolines. Elles sont constituées de dépressions naturelles fermées, sans exutoire gravitaire marqué. Le réseau de drainage naturel, lorsqu'il existe, est fragmenté en tronçons à l'issue desquels les écoulements s'étalent et stagnent temporairement. Les eaux accumulées dans la dépression peuvent inonder les parties basses urbanisées dans ces dolines.

Lorsqu'il existe un réseau d'eaux pluviales, sa capacité d'évacuation est souvent insuffisante et provoque la stagnation des eaux de pluie.

Il s'agit d'inondations lentes, sans vitesse d'écoulement, qui présentent peu de risques pour les personnes.

Sur les territoires des trois communes du PPR, les zones endoréiques et semi-endoréiques représentent une surface importante, comme on le verra au chapitre «mouvements de terrain ».

B1.3 - Quelques facteurs pouvant aggraver l'aléa inondation

Les déboisements et l'urbanisation réduisent les infiltrations dans le sol au bénéfice du ruissellement, de l'augmentation des volumes et des vitesses de crue.

Les remblaiements et dépôts de toute nature dans les ravines provoquent des embâcles aux effets imprévisibles et dévastateurs dont l'obstruction d'ouvrages.

Certaines conjonctions naturelles sont particulièrement pénalisantes : une forte pluie associée à une marée de tempête augmente la hauteur et la durée de submersion des zones basses littorales ; de même, les précipitations sur sol déjà saturé d'eau augmentent le risque d'inondation.

B.2 – DESCRIPTION DES SIX BASSINS PRINCIPAUX

Au sens du Guide Méthodologique PPR du Ministère, le bassin de risque correspond à une « entité géographique cohérente au regard de critères topographiques, géologiques, morphologiques et hydrodynamique dont l'occupation conduit à exposer les hommes, les biens et les activités aux aléas inondations ».

On présente ci-après les caractéristiques physiques générales des bassins versants des 6 ravines identifiées. Chaque bassin versant fait l'objet d'une carte de localisation présentée en **Annexe 1** du présent rapport.

Les zones endoréiques présentes sur le périmètre d'étude constituent également des bassins de risque au sens du PPR. Ces dernières, très dispersées sur le territoire d'études, ne font pas l'objet de fiches descriptives similaires. On se reportera directement à la cartographie de l'aléa pour connaître la localisation de ces secteurs.

Ravine Cassis

Communes concernées : ANSE BERTRAND et PORT LOUIS

Surface : 36 km² au pont de la RN 6

Pente : 3 ‰ à l'amont ; 0,5 ‰ à l'aval

Chemin hydraulique : 12 km

Affluent principaux :

- ravine Cangoulou
- ravine Saragette
- ravine Beauvoisin
- ravine Guery
- ravine Bébien

Exutoire : zone de mangrove au Nord de PORT LOUIS

Débit décennal : Q10 : 54 m³/s⁽¹⁾

Principales zones à enjeux : Macaille (ANSE BERTRAND)

(1) Sur la base du ratio de 1 à 1,5 m³/s/km² pour la crue décennale publié dans « La Guadeloupe au fil de l'eau » –Marc Morell et Jean Jacques Jérémie, 1994. Le calcul considère ici la fourchette haute de 1.5 m³/s/km².

Ravine Sabiée

Communes concernées : ANSE BERTRAND
 Surface : 2,5 km²
 Pente : ~ 1 %
 Chemin hydraulique : 3,4 km
 Affluent principaux : aucun
 Exutoire : Port de pêche – Pointe Sable à ANSE BERTRAND
 Débit décennal : Q10 : 4 m³/s ⁽¹⁾
 Principales zones à enjeux : Port de pêche d'Anse Bertrand

Ravine de la Vidange

Communes concernées : PORT LOUIS
 Surface : 2,7 km² au pont de la RN 6
 Pente : < 5 ‰
 Chemin hydraulique : 1,4 km
 Affluent principaux : aucun
 Exutoire : Zone de mangrove à la pointe de la Guérite au Sud de
PORT LOUIS
 Débit décennal : Q10 : 4 m³/s⁽¹⁾
 Principales zones à enjeux : site de l'usine Beauport, zone pavillonnaire à l'Est de la
RN 6

⁽¹⁾ Sur la base du ratio de 1 à 1,5 m³/s/km² pour la crue décennale publié dans « La Guadeloupe au fil de l'eau »
 –Marc Morell et Jean Jacques Jérémie, 1994. Le calcul considère ici la fourchette haute de 1.5 m³/s/km².

Ravine Gachet

Communes concernées : PORT LOUIS, PETIT CANAL, ANSE BERTRAND

Surface : ~ 67 km² au pont de la RN 6

Pente : 6 ‰ à l'amont ; 1,5 ‰ à l'aval

Chemin hydraulique : ~ 20 km

Affluent principaux :

- ravine Duval
- ravine Benthier
- ravine Romain
- ravine Zénon

Exutoire : Zone de mangrove entre PORT LOUIS et PETIT CANAL à la pointe Sable de Bar

Débit de crue : Q100 = 99 m³/s⁽²⁾

Principales zones à enjeux : Campêche ; Duval ; Pelletan

Ravine Deville

Communes concernées : PETIT CANAL

Surface : 10,5 km²

Pente : 0,4 ‰

Chemin hydraulique : 6,5 km

Affluent principaux : aucun

Exutoire : l'embarcadere à PETIT CANAL

Débit décennal : Q10 : 16 m³/s⁽¹⁾

Principales zones à enjeux : RN 6 ; Maisoncelle ; RD 121

(2) M. MORELL – Note sur les débits de pointe de la ravine Gachet au Pont RN6, ORSTOM, janvier 1988.

(1) Sur la base du ratio de 1 à 1,5 m³/s/km² pour la crue décennale publié dans « La Guadeloupe au fil de l'eau » –Marc Morell et Jean Jacques Jérémie, 1994. Le calcul considère ici la fourchette haute de 1.5 m³/s/km².

Ravine Delisle

Communes concernées : PETIT CANAL

Surface : 7,7 km²

Pente : 0,6 %

Chemin hydraulique : 7 km

Affluent principaux : aucun

Exutoire : zone de mangrove à Pico

Débit décennal : Q10 : 12 m³/s⁽¹⁾

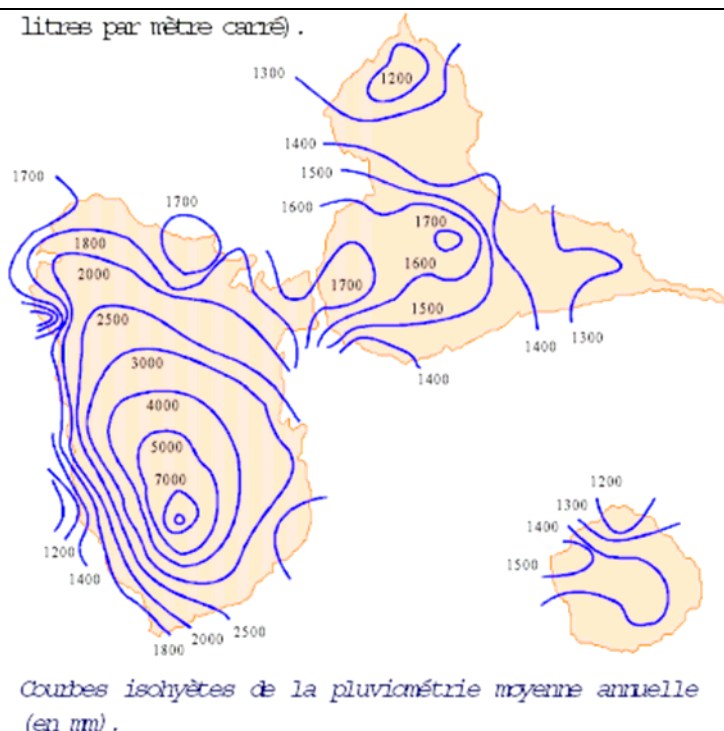
Principales zones à enjeux : Rougeole ; le Pavillon ; Dévarieux ; RN 6 ; Bon Air

B3 - PLUVIOMÉTRIE

La région Nord de Grande Terre, qui bénéficie d'un fort ensoleillement, fait partie des régions les plus sèches de l'île avec une moyenne de précipitation annuelle voisine de 1 300 mm. Il existe un gradient croissant d'une centaine de mm du Nord-est au Sud-ouest.

L'irrégularité saisonnière est bien marquée : la saison relativement sèche de « carême » s'étend de décembre à juin et l'hivernage de juillet à novembre. Les mois les plus pluvieux sont généralement septembre et octobre.

Figure B1 - Courbes isohyètes de la pluviométrie annuelle
Source : la Guadeloupe au fil de l'eau –Marc Morell et Jean Jacques Jérémie 1994



La station pluviométrique Météo France de Raizet ⁽¹⁾, aux Abymes, est riche de plus de 50 années d'observations.

⁽¹⁾ La station de Raizet est située à environ 15 km au Sud de la commune de Petit Canal.

L'extrapolation des données de pluie à Raizet à toute la Grande Terre peut être considérée comme pertinente du fait d'une relativement bonne homogénéité spatiale des cumuls de pluie sur cette partie Nord de l'île (source : ORSTOM).

Le tableau ci-dessous donne les cumuls de pluies au poste de Raizet sur des durées de 1 h à 24 heures et leur période de retour associée (ajustement de Gumbel sur la période 1961/1990).

	PÉRIODE DE RETOUR			
DURÉE	2 ANS	10 ANS	50 ANS	100 ANS
1 h	44 mm	63 mm	80 mm	87 mm
2 h	56 mm	90 mm	114 mm	126 mm
6 h	72 mm	126 mm	168 mm	186 mm
12 h	87 mm	149 mm	197 mm	220 mm
24 h	85 mm	152 mm	209 mm	237 mm

A Raizet, la pluie journalière décennale est de 152 mm. Cette hauteur est nettement plus faible qu'en Basse Terre, plus en altitude, où la pluie décennale est de l'ordre de 250 mm.

B4 - ANALYSE DES ÉVÈNEMENTS HISTORIQUES

Il n'existe aucune station débitmétrique d'installée sur les ravines de Grande Terre⁽²⁾. L'analyse statistique de débits n'est donc pas envisageable.

L'analyse des événements historiques va donc porter sur celle pluies enregistrées à la station Météo France de Raizet.

Mise en garde : Il est très hasardeux de vouloir établir une correspondance directe entre la période de retour de l'épisode pluvieux et la période de retour des débits de crue résultants.

En effet, dans un cours d'eau un débit de pointe de période de retour donnée peut résulter de pluies de périodes de retour très différentes les unes des autres du fait notamment de l'état de saturation des sols avant la crue.

Les caractéristiques pluviométriques à Raizet des derniers plus importants événements climatiques de Grande Terre sont données dans le tableau ci-dessous avec la période de retour du cumul des précipitations associées.

DATE	EVÈNEMENT	CUMUL	PÉRIODE DE RETOUR
06/07/66	Onde tropicale	238 mm/24 h	100 ans
29/08/79	Cyclone David	57 mm / 30 min	10 à 50 ans
17/11/99	Cyclone Hugo	149 mm / 6 h	10 à 50 ans
17/11/99	Cyclone Hugo	194 mm / 12 h	50 ans
18-19/11/99	Cyclone Lenny	301 mm / 24 h	> 100 ans
18-19/11/99	Cyclone Lenny	152 mm / 2 h	> 200 ans

L'évènement le plus important enregistré à Raizet s'est produit lors du passage du cyclone Lenny, en

⁽²⁾ Trois limnigraphes ont été installés en 1974 et suivis jusqu'en 1987 par l'ORSTOM sur les ravines de Cassis, Gachet et Duval. Cédées en 1994 à la DIREN, ces stations ne sont plus en service.

novembre 1999. Les précipitations ont été exceptionnelles sur plusieurs jours. Le compte rendu météorologique du Service Régional de Météo France en Guadeloupe sur le passage de l'ouragan Lenny indique que les communes de Port Louis, Morne à l'Eau et Les Abymes ont subi des **déluges centennaux**.

Il n'est donc nullement étonnant de constater que la plupart des riverains interrogés lors des investigations de terrain (cf. paragraphe 4.1.) ont cité le cyclone Lenny comme étant le dernier événement météorologique ayant provoqué des inondations importantes sur leurs terrains.

Le dernier événement majeur, cité de manière récurrente par les riverains, est celui de novembre 1999, lors du passage de ce cyclone. De nombreux terrains ont été inondés mais les dégâts directement liés aux inondations ont été, à priori, relativement faibles. C'est la population rurale qui semble être la plus touchée par l'aléa inondation. Les éleveurs évoquent souvent la perte de bétail lors des montées rapides d'eau dans les ravines.

B5 - MÉTHODE D'ANALYSE

B5.1 - La cartographie au 25 000^{ème}

Ce document renseigne sur la topographie générale des lieux et en particulier sur les versants, talus, la toponymie et l'occupation des sols. Les points cotés et les courbes de niveaux sont également exploitables, sous réserve de tenir compte de leur imprécision relative en altimétrie (de l'ordre de 1 m pour les points cotés et 3 m pour les courbes de niveau).

B5.2 - Le modèle numérique de terrain (MNT)

Le MNT exploité fournit un quadrillage d'un point tous les 25 m sur l'ensemble du territoire d'étude. Il permet de relativement bien appréhender les délimitations de l'encaissement pour la détermination de la plaine alluviale. Le recours à cet outil est ensuite essentiel pour la détermination des niveaux de submersion sous les plus hautes eaux.

B5.3 - Les photographies aériennes

Elles permettent une vision stéréoscopique qui restitue la sensation de relief sur la photographie. C'est l'outil de télédétection qui répond le mieux aux besoins de l'analyse hydrogéomorphologique.

B5.4 - Les reconnaissances visuelles de terrain :

Elles permettent de vérifier les données résultant de la photo-interprétation pour lever les incertitudes dans les cas difficiles.

En complément de cette approche, on a eu recours, ponctuellement, à des calculs hydrauliques simplifiés, au droit de quelques secteurs à enjeux situés sur les ravines principales de Gachet (pont Gachet, Duval) et Cassis (Macaille). La méthodologie a été la suivante :

- estimation du débit de référence de la ravine (débit centennal) par le biais des résultats des études hydrologiques réalisées par l'ORSTOM sur les ravines de Gachet et Cassis⁽¹⁾,
- estimation d'un profil en travers de la ravine à partir du MNT,
- estimation de la rugosité du fond de la ravine et du champ d'inondation,
- estimation de la pente moyenne de la ravine,
- calcul de la hauteur d'eau associée par la formule de Manning Strickler :

o $Q = K * S * Rh^{2/3} * J^{1/2}$, avec :

K = coefficient de rugosité

S = surface mouillée (en m²)

Rh = rayon hydraulique (en m)

J = pente (en m/m)

Sur les ravines de Cassis et Gachet, les hauteurs d'eau centennales calculées sont généralement comprises entre 1,5 m et 3 m au dessus du fond de la ravine. Le report de ces niveaux sur le MNT permet de délimiter l'emprise de la zone inondable centennale au droit du profil.

Remarques : Les niveaux d'eau calculés sont entachés d'une marge d'erreur importante (l'incertitude sur le débit centennal est notamment importante). Ceux-ci n'ont pas été reportés sur la cartographie des aléas.

B6 - LA QUALIFICATION DES ALÉAS

L'aléa est gradué selon la hiérarchie suivante : faible, moyen ou fort. Il est établi au 1/25 000 sur l'ensemble de l'aire du P.P.R.I., avec une étude plus détaillée au 1/10 000 sur les secteurs à enjeux.

Cette cartographie ne tient pas directement compte de la fréquence des débordements, c'est-à-dire qu'elle ne précise pas si une zone est régulièrement inondée ou non. Elle représente uniquement les zones qui sont inondées par l'aléa de référence.

Par convention, l'aléa de référence est défini en prenant en compte la plus forte crue observée ou la crue centennale si la crue observée a une période de retour inférieure à 100 ans.

Dans le présent P.P.R.I. **qui privilégie la méthode hydrogéomorphologique pour la détermination de la limite de la zone inondable (plus hautes eaux)**, on ne se réfère à la crue centennale, qu'au droit de quelques secteurs sur les ravines de Cassis et Gachet où des calculs hydrauliques simplifiés ont été menés (se reporter au chapitre 4.2.).

Une fois cet aléa de référence défini, il convient de le caractériser par deux paramètres : hauteur d'eau et vitesse. Ces paramètres caractérisent le risque encouru par les biens et les personnes.

La durée de submersion est courte et relativement homogène sur le périmètre d'étude. Ce paramètre n'est donc pas un paramètre suffisamment révélateur pour être introduit comme critère d'aléa.

⁽¹⁾ Q100 = 99 m³/s sur le ravine Gachet. M. MORELL – Note sur les débits de pointe de la ravine Gachet au Pont RN6 -ORSTOM, janvier 1988. Les débits sur la ravine Cassis sont estimés à partir de ceux de la ravine Gachet, par un rapport des surfaces de bassin versant.

Au final, les paramètres hauteur d'eau et vitesse sont croisés afin de définir un niveau d'aléa :*

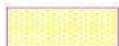
		Vitesse v d'écoulement		
		Faible ($v < 0.5$ m/s)	Moyenne ($0.5 < v < 1$ m/s)	Forte ($v > 1$ m/s)
Profondeur H de submersion sous les plus hautes eaux	$H < 1$ m	Aléa faible	Aléa moyen	Aléa fort
	$H \geq 1$ m	Aléa fort	Aléa fort	Aléa fort

B7 - LA CARTOGRAPHIE DES ALÉAS

Les cartes d'aléas ainsi déterminées sont fournies en annexe, pour chacune des trois communes, en un cahier au format A3, comportant plusieurs planches. Conformément aux spécifications, et pour chacun des aléas déterminés, ces cartes sont fournies au 1/25.000ème pour l'ensemble de la commune et au pour les zones les plus urbanisées.

On a choisi de fournir en outre une carte à 1/5.000 des centres-villes sur fond orthophotographique.

Les classes d'aléas font l'objet d'un code de couleur différencié présenté ci-dessous :

	Aléa fort
	Aléa moyen
	Aléa faible

C - LES ALÉAS HYDROMÉTÉOROLOGIQUES SUBMERSION CÔTIÈRE

C1 – RAPPEL DE DÉFINITIONS

La définition des Aléas « submersion » et « houle » est celle du « Guide méthodologique des Plans de Prévention des Risques littoraux ». Ce guide précise également les principes généraux qui seront à adapter aux singularités de chacun des sites étudiés.

C1.1 - Aléa « submersion »

Il s'agit de l'inondation des terres par la mer. C'est un effet indirect des surcotes et de la houle cyclonique. Les variations du niveau de la mer sont principalement le fait de la marée astronomique et des phénomènes météo-océanographiques tels que les variations de pression atmosphérique, les vents, les courants et les vagues.

Les calculs statistiques des durées de retour des surcotes cycloniques sont déterminés au large immédiat des rivages de la Guadeloupe à l'aide des modèles déjà développés par METEO FRANCE et des données déjà disponibles.

Pour la surcote, la modélisation réalisée par METEO FRANCE ne prend pas en compte les effets liés à la houle (set up – ensachage) et donne donc des valeurs par défaut. Par ailleurs, la précision des mailles du modèle ne permet pas d'avoir une définition correcte des baies et des anses de petites tailles.

La surcote cyclonique sera transférée au rivage, en rajoutant l'effet de set - up (déferlement des vagues), et d'éventuels effets de site participant à l'effet d'ensachage. Le calcul du set - up sera basé sur les caractéristiques des fonds marins, ainsi que sur celles de vagues. Les effets de site seront appréhendés par expertise (géomorphologie du rivage...), ainsi que par enquête de terrain (base : Cyclones récents ayant touché l'île).

Les zones de submersion sont cartographiées en prenant en compte à la fois la surcote et le déferlement de la houle cyclonique. Conformément au schéma ci-dessous, les terrains peuvent être submergés par ces deux phénomènes.

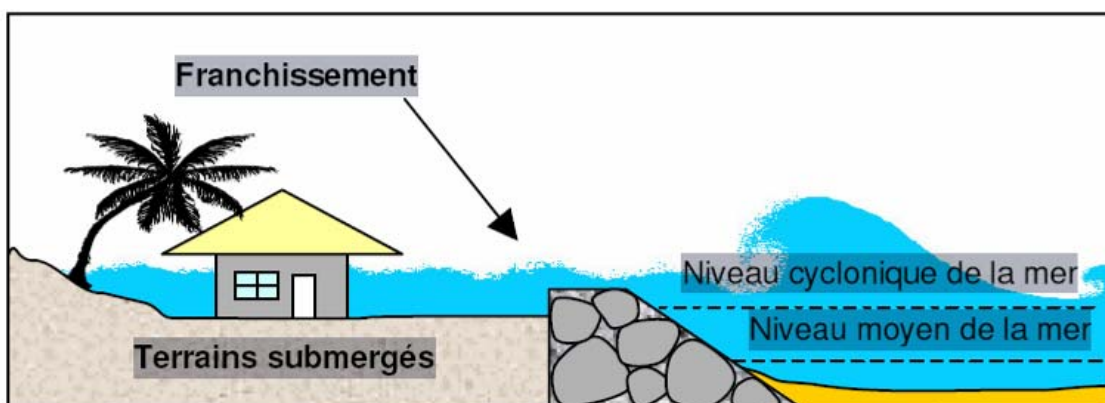
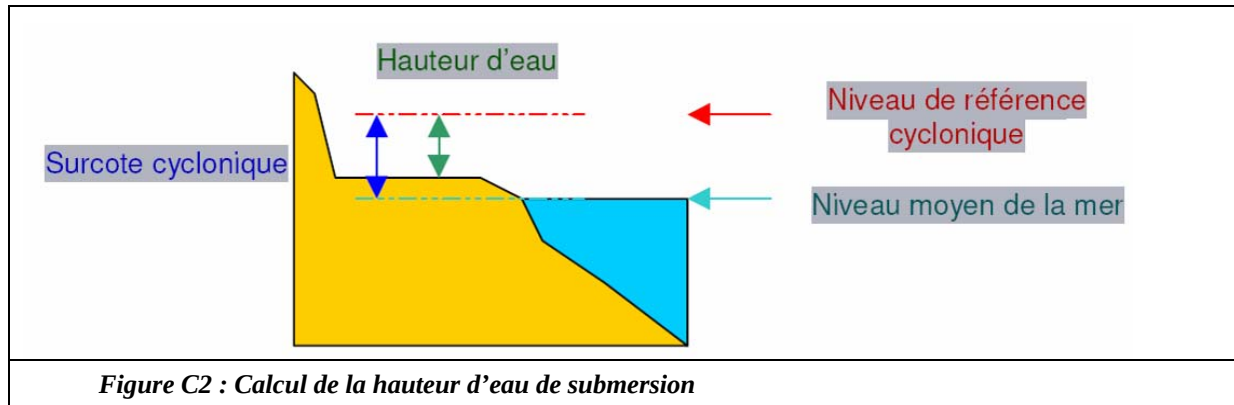


Figure C1 : Causes de la submersion

La surcote cyclonique est calculée pour les différentes sections homogènes de rivage. Les données topographiques utilisées sont issues d'une base de données IGN et de plans de centres-villes fournis par la DDE et les communes concernées.

La hauteur d'eau de submersion est calculée par différence entre le niveau cyclonique de référence atteint par la mer et le niveau du terrain naturel.



En ce qui concerne les niveaux d'aléa, on distingue généralement :

- l'aléa fort de submersion, les zones submergées par plus 1 mètre d'eau,
- l'aléa moyen de submersion, les zones étant submergées par moins d'un mètre d'eau.

C1.2 - Aléa « houle »

Ce phénomène est généré par le vent cyclonique. Sa propagation sur la côte est fonction de nombreux paramètres qui dépendent étroitement de la morphologie du rivage et de la bathymétrie des fonds.

La houle cyclonique peut être combinée avec une mer du vent générée localement. D'autre part, dans le cas d'un rivage complètement protégé par une barrière de corail continue qui provoque le déferlement de la houle, seule une mer de vent générée derrière la barrière peut atteindre le rivage. En se propageant vers le rivage, à l'occasion de la remontée des fonds, la houle déferle et ses caractéristiques s'en trouvent modifiées.

L'analyse de terrain est une étape fondamentale dans la procédure de définition de l'aléa houle. En effet, ce n'est que sur le terrain que l'on peut appréhender au mieux l'ensemble des paramètres à prendre en compte : forme du rivage, exposition à la houle du large, remontée des fonds, niveau du terrain naturel...

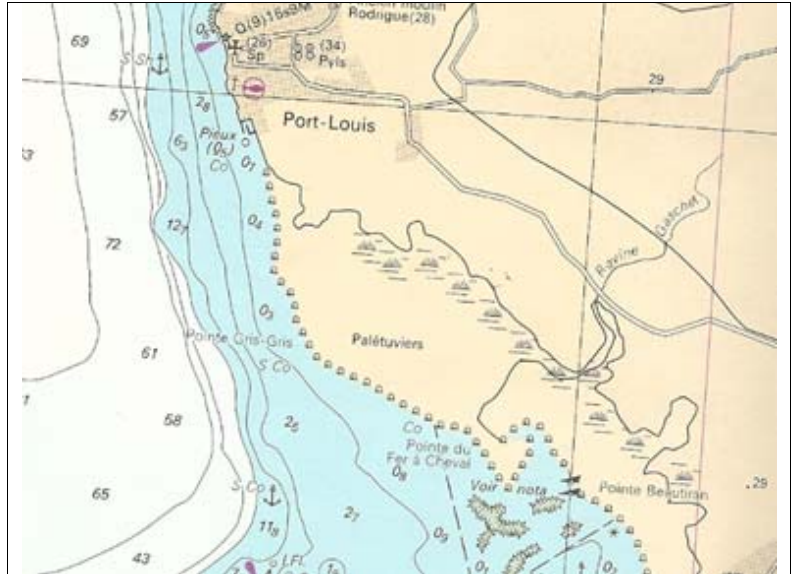
Dans les zones urbanisées, la surface concernée par l'aléa de houle s'arrête généralement à la première rangée de maison, considérant que celles-ci atténuent fortement la propagation des vagues.

Quelques remarques sur la cartographie de l'aléa houle:

- l'aléa houle n'est pas cartographié dans les zones de mangrove. Ces zones sont généralement peu exposées et le déferlement des vagues y est dissipé progressivement par la densité de la végétation,
- des terrains non cartographiés en zone de submersion peuvent l'être en zone de houle (terrain en hauteur non submersible par une remontée directe de la mer mais soumis à l'impact de vagues).

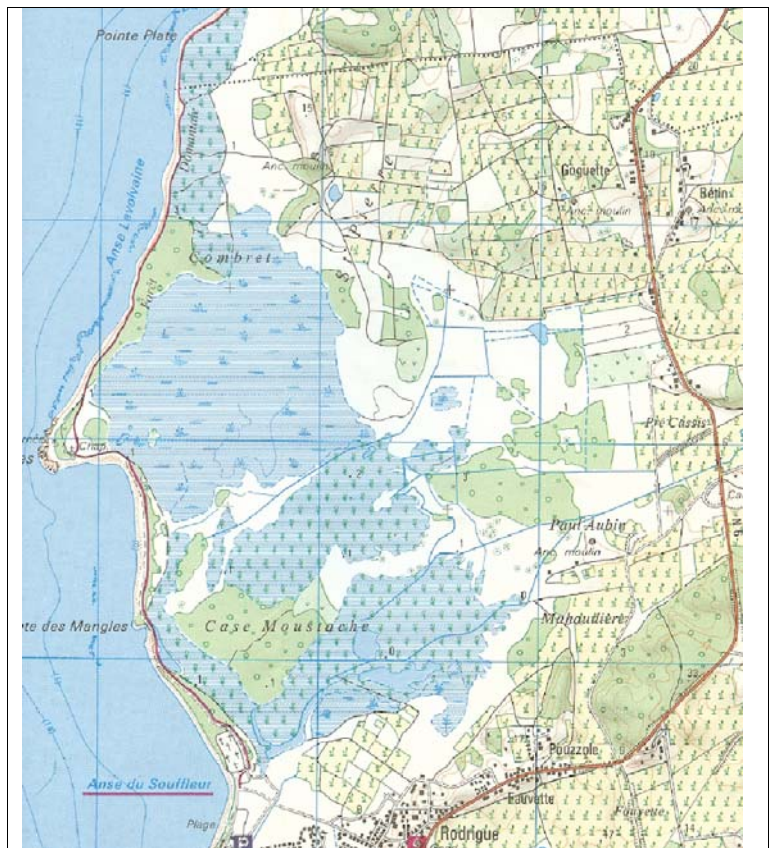
La bathymétrie de la zone

Source : SHOM carte 7302



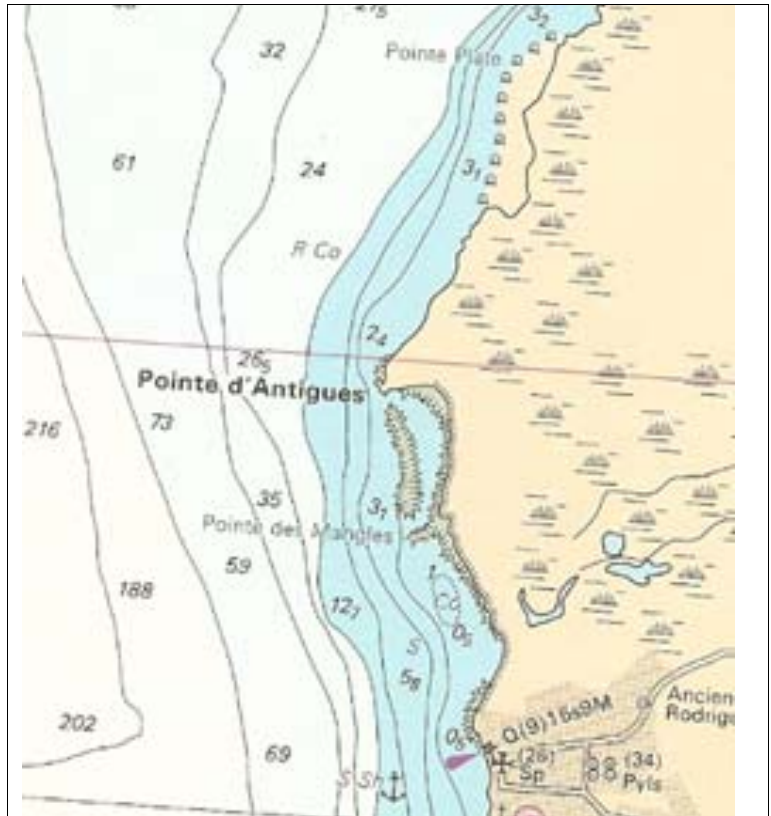
Zone 3

Du port de la commune de Port Louis à la Pointe Plate, cette zone présente l'alternance de mangrove, marais et quelques parcelles de culture de canne à sucre.



La bathymétrie de la zone

Source : SHOM carte 7302

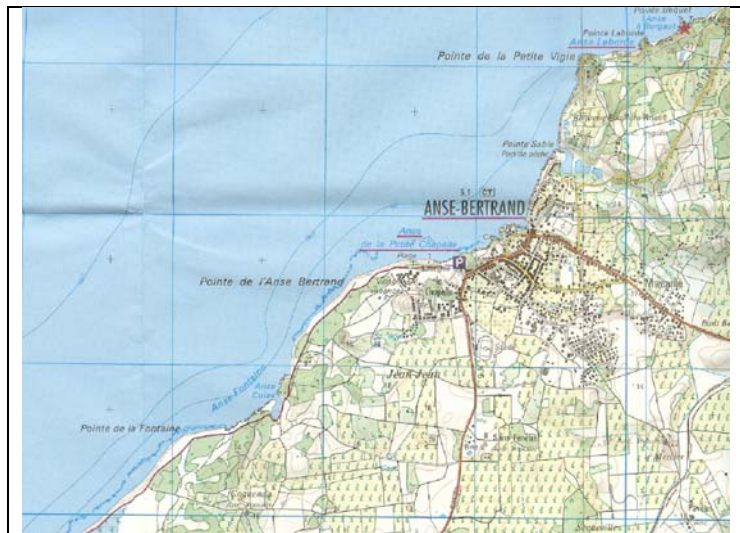


Zone 4

De la Pointe Plate à la Pointe Castalia : ce cordon littoral est constitué de plages jusqu'à l'Anse Bertrand puis de rochers jusqu'à la Pointe Castalia où débute les falaises.



Figure n°4. photographie des rochers bordant la zone 4, jusqu'à la pointe Castalia (Février 2007)



La bathymétrie de la zone

Source : SHOM carte 7302



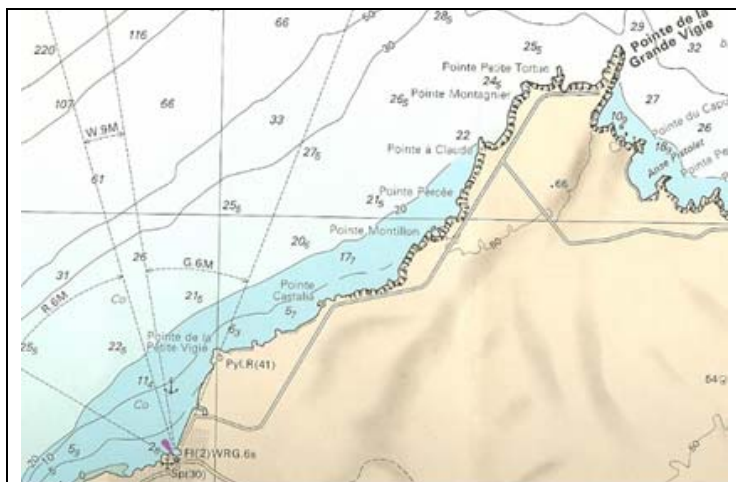
Zone 5

Elle s'étend de la Pointe Castalia à la limite communale Sud-est de Petit Canal. Toute cette zone présente des falaises abruptes allant de la cote +19m NGG (Pointe Castalia) à +95m NGG (Pointe de la Grande Vigie).



La bathymétrie de la zone

Source : SHOM carte 7302



C1.4 – Rappels de climatologie

Les petites Antilles sont entièrement comprises dans la zone des alizés de l'océan Atlantique Nord. Les vents y soufflent du secteur Est pendant presque toute l'année : l'alizé est très régulier en mer de novembre à février (lors de 90 % du temps, il souffle d'entre Est et Nord Est avec la force de 3

Beaufort ou plus) ainsi que d'avril à juillet. En mars, il est plus léger et plus irrégulier (du secteur Nord Est à Est Nord Est) de même que d'août à octobre (du secteur Est Sud Est à Sud Est).

Outre ces vents d'Est, les « Northers » sont des vents froids, du secteur Nord Ouest à Nord Est qui atteignent quelquefois les Antilles pendant les mois d'hiver. Ils soufflent avec violence, quelquefois en tempête, pendant plusieurs jours sans changer de direction.

Si la température est élevée et l'air généralement humide pendant toute l'année, on peut toutefois distinguer, schématiquement, deux saisons plutôt déterminées par la fréquence des pluies que par la température :

- la saison sèche s'étend de décembre à avril, on lui donne le nom de « Carême ». C'est aussi la période la plus fraîche avec des températures de 26°C à 29°C dans la journée,
- la saison humide ou « hivernage » court de mai à novembre, mois pendant lesquels la pluviosité est la plus forte. Les températures sont en moyenne supérieures de 5°C à celles de la saison sèche.

Les pluies se présentent en général sous forme de brèves mais fortes averses. Durant la saison humide, les précipitations peuvent durer plusieurs jours consécutifs. C'est aussi en cette saison que les cyclones sont les plus fréquents dans les petites Antilles.

Ainsi, on retiendra trois type d'agitations au large de la Guadeloupe coexistant toute l'année ou périodiquement :

- les houles d'Alizés générées sur l'Atlantique très fréquentes,
- les houles de secteurs Nord générées dans l'Atlantique Nord par les puissantes perturbations qui se déplacent d'Ouest en Est mais de périodicité faible,
- les agitations cycloniques. Leurs connaissances se sont nettement améliorées depuis l'apparition des dernières générations de satellites qui permettent de déterminer leurs caractéristiques avec précisions.

Ce sont ces dernières agitations qui vont déterminer les aléas houles et submersion.

C2 - PHÉNOMÈNES CYCLONIQUES SUR LES CARAÏBES

C2.1 – Généralités

C2.1.1 – Les cyclones

La zone des Caraïbes est soumise aux phénomènes cycloniques qui sont de fortes perturbations à circulation tourbillonnaire prenant naissance au-dessus des eaux tropicales ou subtropicales et se déplaçant généralement d'Est en Ouest dans l'hémisphère Nord. Les cyclones s'accompagnent de vents violents, de dépressions barométriques importantes provoquant une forte surélévation du niveau moyen de la mer, de mers formées et de fortes pluies. Ils sont responsables de nombreux dégâts tant à l'intérieur des terres que sur les zones côtières directement exposées à l'action des houles.

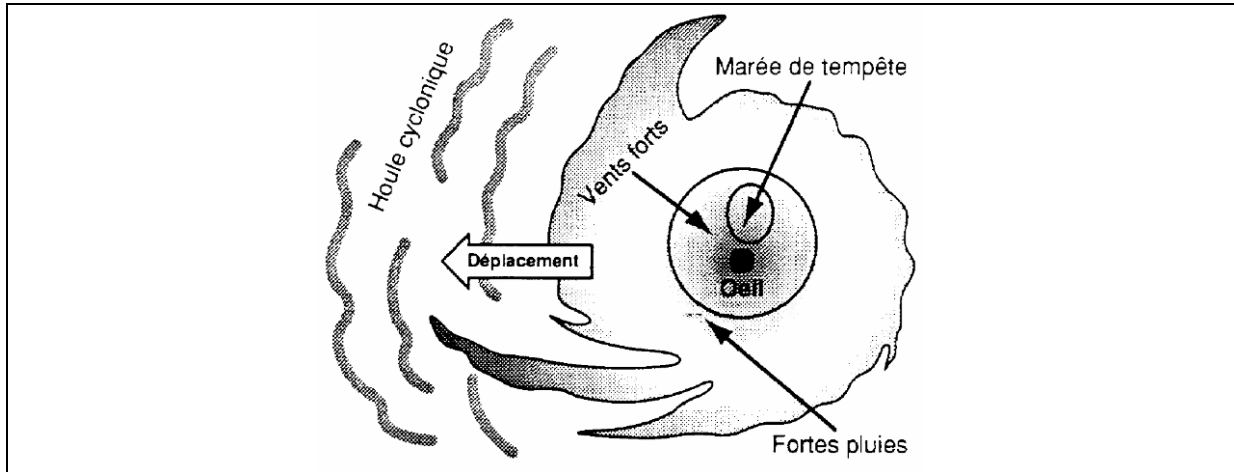


Figure C3 - Dangers associés au cyclone (Source Météo France)

C2.1.2 - Structure et trajectoire des cyclones

Structure

La structure générale d'un cyclone tropical est caractérisée par une énorme masse nuageuse pouvant s'étendre sur un rayon de 500 à 1000 km, organisée en bandes spiralées convergeant en un anneau central compact et étroit. Au sein de cet anneau se trouve la partie centrale de la perturbation appelée « œil du cyclone ». La pression atmosphérique y est minimale.

L'œil a, en général, un diamètre de 20 à 35 km. La violence du cyclone tropical est à son maximum dans le « mur » de nuages qui encerclent l'œil. Cette zone très dangereuse peut s'étendre sur un rayon de 200 km. Elle se caractérise par des nuages à développement vertical (cumulonimbus) dont les sommets atteignent 12 à 15 km d'altitude, des vents violents soufflant en rafales et des précipitations intenses.

Déplacement : trajectoire et vitesse

La trajectoire théorique d'un cyclone tropical peut être définie à l'aide d'une parabole dont le grand axe aurait une direction est-ouest. Les cyclones qui intéressent l'Arc des Petites Antilles, naissent généralement au large du Sénégal, au Sud des îles du Cap-Vert. Ils sont parfois issus d'ondes tropicales formées sur l'Afrique de l'Ouest.

Les cyclones traversent l'Atlantique Nord généralement en moins d'une semaine. Les vitesses de déplacement évoluent entre 10 et 30 km/h, suivant une trajectoire Est-Ouest, qui dévie généralement vers le Nord-Ouest à l'approche de la Caraïbe. Elles dépassent ensuite 25 km/h et deviennent maximales au stade « extra tropical » quand les cyclones sont repris dans la circulation d'ouest.

Toutefois, certains événements cycloniques beaucoup plus rares (période de retour d'ordre centennale) n'obéissent pas à ces règles générales. Par exemple, la trajectoire atypique de l'ouest vers l'est, adoptée par l'ouragan LENNY (novembre 1999), dont on n'a pas retrouvé semblable durant les 120 dernières années (depuis 1886, date de début de la base de données américaines des cyclones sur la région).

C2.1.3 - Classification des cyclones

Aux Caraïbes et sur le continent Nord Américain, le terme générique de cyclone regroupe trois phénomènes météorologiques faisant référence à l'intensité des vents maximaux générés : la dépression tropicale, la tempête tropicale et l'ouragan. Ainsi :

- la dépression tropicale est caractérisée par des vents soutenus ne dépassant pas 63 km/h. elle est numérotée, la première de l'année en début de saison portant le numéro 1. Les vents étant relativement faibles, les risques sont essentiellement induits par les fortes pluies qui l'accompagnent.
- la tempête tropicale est caractérisée par des vents soutenus plus forts compris entre 63 et 117 km/h. On lui attribue un prénom. Si les pluies sont toujours à craindre, les vents commencent à faire des dégâts, notamment dans la végétation fragile telle que les bananeraies, et avec eux la mer devient grosse et dangereuse à son passage.
- l'ouragan est caractérisé par des vents pouvant dépasser le seuil des 117 km/h. Pour distinguer l'ampleur des dégâts que ces vents peuvent occasionner, plusieurs catégories ont été déterminées selon la force des vents maximums générés par ces ouragans. La classification qui fait référence est celle de Saffir-Simpson, qui comporte 5 catégories :

Classe 1 : vents maximums compris entre 118 et 153 km/h,

Classe 2 : vents maximums compris entre 154 et 177 km/h,

Classe 3 : vents maximums compris entre 178 et 209 km/h,

Classe 4 : vents maximums compris entre 210 et 249 km/h,

Classe 5 : vents maximums dépassant 249 km/h, c'est la catégorie des super-cyclones.

C2.1.4 - Statistiques sur les Antilles

De nombreuses observations ont été faites et le nombre des cyclones qui traversent annuellement la région des Antilles est très variable. Le tableau C4 indique le nombre de ces perturbations relevées au cours de la période 1886-1977 dans l'Atlantique Nord. Les figures C5 et C6 précisent les statistiques sur les petites Antilles ainsi que la trajectoire des cyclones les affectant.

	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc	Total
Cyclones tropicaux	3	21	33	125	164	79	14	2	441
Tempêtes tropicales	8	27	24	44	87	82	17	2	291

Tableau C4 - Nombre de tempêtes et cyclones tropicaux ayant traversé l'Atlantique nord entre 1886 et 1977 D'après Météorologie Marine – René Mayençon 1992

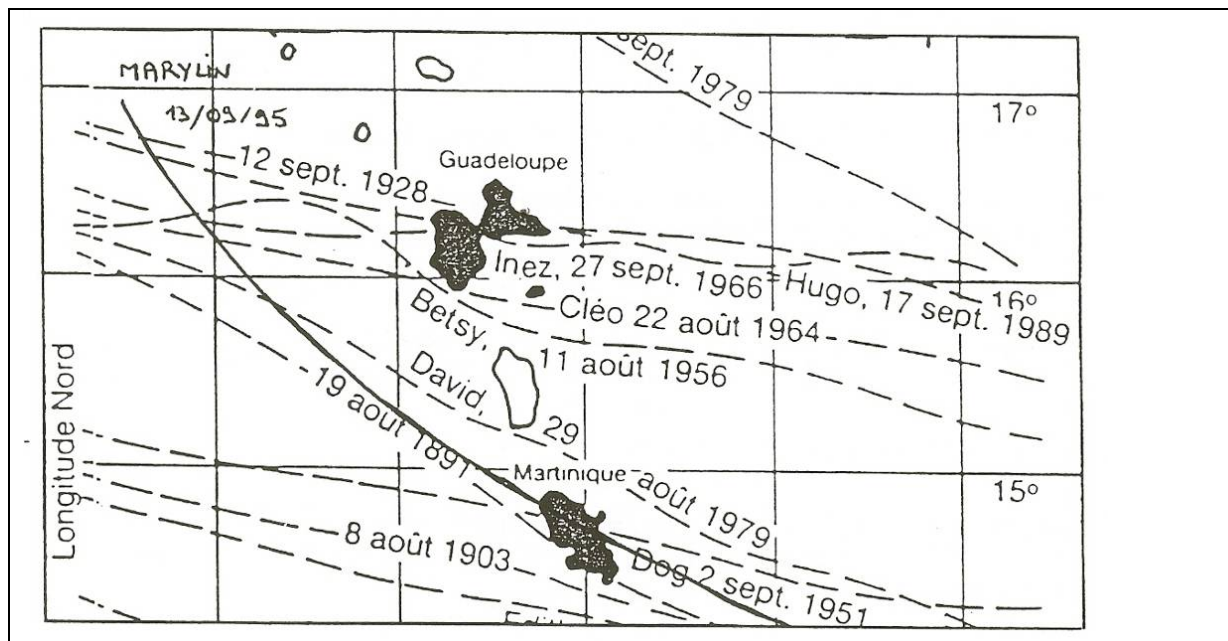


Figure C5 - Trajectoire des cyclones dans les Petites Antilles entre 1888 et 1999 D'après le Service Météorologique Interrégional Antilles-Guyane - 1990

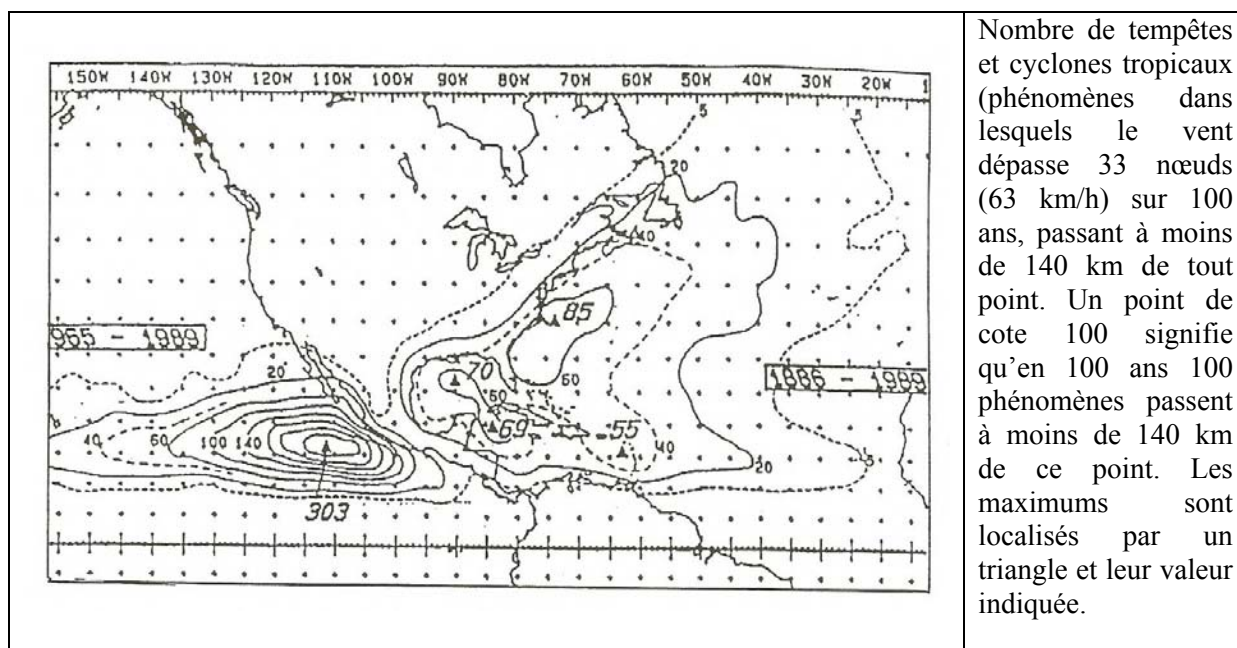


Figure C6 - Statistique graphique du nombre de cyclones sur les Petites Antilles entre 1965 et 1989 D'après Météorologie Maritime – revue METEO FRANCE – n° 170 Mars 1996

Les principaux phénomènes présentés ci-dessus sont complétés par les trajectoires des cyclones de 1900 à 2000 ayant permis le calcul des surcotes.

C2.1.5 - Statistiques sur la Guadeloupe

Le calcul des durées de retour a été réalisé par Météo France, à l'aide des données disponibles dans la base de données HURDAT (Hurricane Data) réalisé par le NHC (National Hurricane Center) de Miami. La méthode employée pour calculer le vent maximum atteint lors du passage d'un cyclone a

permis d'obtenir des durées de retour de vents cycloniques maximaux atteints sur une île de l'arc antillais. Pour la Guadeloupe, elles ont été calculées de 2 manières différentes : par la méthode de Gumbel et par la méthode du renouvellement, pour 57 cyclones toutes classes confondues observés sur 100 ans à 75 miles nautiques (environ 140 km) de Pointe-à-Pitre.

Les résultats obtenus par ces 2 méthodes ont été reportés dans le tableau C7. Le tableau C8 présente les valeurs théoriques du vent cyclonique sur la Guadeloupe correspondant à des durées de retour fixes.

Classification	Vent (nœuds)	Durée de retour théorique (ans)	
		méthode de Gumbel	méthode du Renouvellement
tempête tropicale	34	3	3
ouragan classe 1	64	8	9
ouragan classe 2	84	19	23
ouragan classe 3	96	31	41
ouragan classe 4	114	66	97
Ouragan classe 5	135	160	264

Tableau C7 - Vents sur la Guadeloupe Sources - Météo France

Durée de retour théorique	Vent cyclonique calculé (nœuds)	
	méthode de Gumbel	méthode du Renouvellement
2 ans	25	26
5 ans	51	50
10 ans	69	66
20 ans	86	81
50 ans	108	100
100 ans	124	115
200 ans	140	129
400 ans	157	144

Tableau C8 - Valeurs théoriques du vent cyclonique sur la Guadeloupe correspondant à des durées de retours fixes (données Météo France) Sources : Météo France

En ce qui concerne les phénomènes littoraux (submersion marine en cas de cyclone), le guide méthodologique des Plans de préventions des risques littoraux, document de référence en la matière, préconise par convention d'évaluer le phénomène à partir d'une probabilité d'occurrence au moins centennale. L'ouragan de référence « théorique » d'une période de retour de 100 ans est un ouragan dont les vents cycloniques associés sont de l'ordre de 119,5 nœuds (moyenne par approximation entre les 2 méthodes), soit 221 km/h (ouragan de début classe 4).

Cependant, la vitesse des vents associés à l'ouragan de référence de période de retour 100 ans et la marée de tempête associée à ces vents, sont toutefois plus faibles du fait des approximations faites dans le cadre de l'étude Météo France. Ces dernières sont rappelées ci-après :

- la méthode employée pour calculer le vent maximum atteint lors du passage d'un cyclone ne tient pas compte du relief,
- un seul ouragan de classe 5 a été recensé à moins de 75 miles de Pointe-à-Pitre depuis 1886, sans affecter directement la Guadeloupe et Marie-Galante. Il s'agit du cyclone DONNA (septembre 1960) à 67 miles de Pointe-à-Pitre,

- il n'est pas fait de distinction en fonction de la trajectoire des ouragans. Or, l'incidence de la houle et de la marée de tempête, sur un point donné de la Guadeloupe, est étroitement liée à la position du cyclone et notamment à celle de son centre.

Il est admis qu'un cyclone passant au nord de la Guadeloupe générera une marée de tempête relativement faible au droit de la côte sud de la Guadeloupe, le processus s'inversant dans le cas d'un cyclone passant au sud de la Guadeloupe :

- HUGO a engendré une marée de l'ordre de + 2,50 m dans le Grand Cul-de-sac Marin. Par contre, la houle et la marée ont été relativement faibles à Marie-Galante, dans le Petit Cul-de-sac et encore plus modestes sur la côte sud de la Grande-Terre,
- il semble en revanche que le cyclone de 1928, avec une trajectoire plus au sud de celle de HUGO, ait engendré une houle et une marée importantes dans la région de Pointe-à-Pitre / Gosier. Il n'est cependant pas possible de les quantifier (hors approche théorique),
- l'ouragan LENNY a produit sur les côtes exposées à l'Ouest, dans la journée du 17 novembre 1999, des vagues très énergétiques d'une hauteur de l'ordre de 4 mètres accompagnées d'une hausse du niveau de la mer relativement faible d'environ 50 cm. Cette « marée cyclonique » était probablement due à l'absence de courant de retour en profondeur. La trajectoire du centre dépressionnaire était cependant relativement éloignée de la Guadeloupe.

C2.1.6 - Phénomènes liés aux cyclones

Les pluies

Les précipitations engendrées par un cyclone tropical prennent le plus souvent un caractère torrentiel (200 à 500 mm en 24h) provoquant des inondations et des glissements de terrains.

Les vents

La capacité des cyclones à générer des vents forts et tourbillonnants ne permet pas de fixer des directions privilégiées. Toutefois, l'orientation des trajectoires cycloniques a pour conséquence :

- de renforcer les vents d'Est lorsque le cyclone suit une trajectoire Est Ouest en direction de la Guadeloupe,
- d'élargir le secteur venté aux secteurs plus Nord lorsque le cyclone « s'échappe » au Nord Ouest avant de repartir direction Nord Est.

A l'intérieur d'un cyclone, les vents soufflent en rafales dans le sens inverse des aiguilles d'une montre « hémisphère Nord » en croissant au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'œil : dans les plus puissants cyclones ils peuvent atteindre 350 km/h (vent instantané) en rafales. Ces vents sont plus forts dans la partie Nord (demi-cercle dangereux à droite de la trajectoire), ils présentent une composante dans le sens de déplacement Est Ouest du phénomène.

Dans la partie Sud (demi cercle maniable à gauche de la trajectoire) les vents soufflent avec en général moins de violence que dans la partie Nord à distance égale du centre.

Le courant

Le courant de dérive induit par le vent porte en surface à environ 45° à droite de la direction vers laquelle souffle le vent. La vitesse atteinte est alors de l'ordre de 1 à 3% de la vitesse du vent.

Dans un cyclone évoluant dans l'hémisphère Nord, le vent souffle dans une direction faisant un angle de 70 à 80° avec la direction du centre du cyclone. Le courant induit par ces vents diverge du centre et porte en direction comprise entre 100 et 130° à droite de la direction dans laquelle se trouve le centre du cyclone. L'effet d'un cyclone sur le courant peut être sensible jusqu'à une centaine de milles du centre.

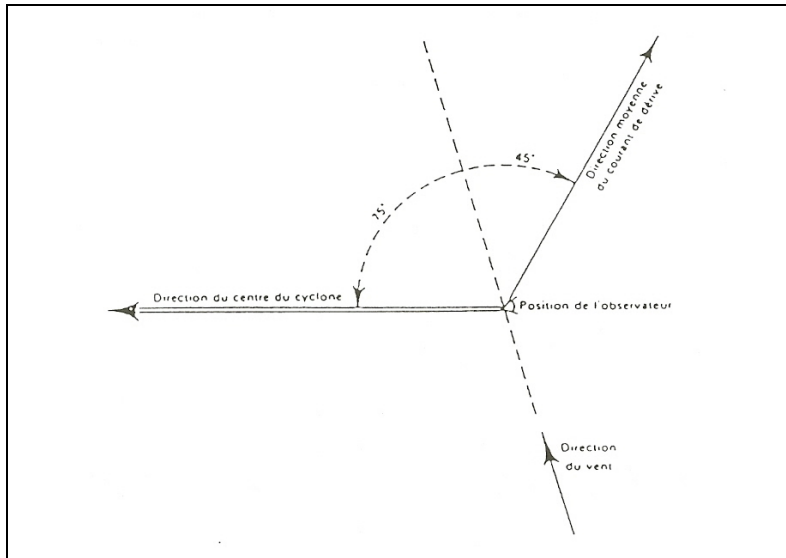


Figure C9 - Direction des courants et des vents induits par un cyclone (dans l'hémisphère Nord) D'après le Guide Nautique des Antilles (1984)

On peut donc estimer, par exemple, que pour des cyclones, dans le rayon des vents forts supérieurs à 100 nœuds, les vitesses des courants de dérive résultants varient entre 1 et 3 nœuds.

La marée de tempête

Cette marée consiste en une élévation du niveau de l'eau, indécélable au large mais qui se manifeste sur le littoral par une élévation qui peut atteindre plusieurs mètres au-dessus du niveau normal. Pour peu qu'elle coïncide avec une marée haute astronomique, elle provoque l'inondation de régions parfois immenses.

La marée de tempête est essentiellement due à quatre causes qui ajoutent leurs effets quand le cyclone s'avance vers la terre :

- la baisse de pression entraîne une montée de l'eau par aspiration,
- les vents provoquent un basculement du plan d'eau,
- le déferlement des vagues,
- les courants, entraînent une accumulation d'eau le long d'une partie du littoral.

Il y a alors apparition d'une pente de la surface de la mer, qui provoque un courant parallèle à la côte et qui peut être très fort.

Les houles

La houle générée par les vents de la zone de tempête a une direction tangente aux isobares circulaires et pour un observateur éloigné, tout se passe comme si elle sortait du cyclone.

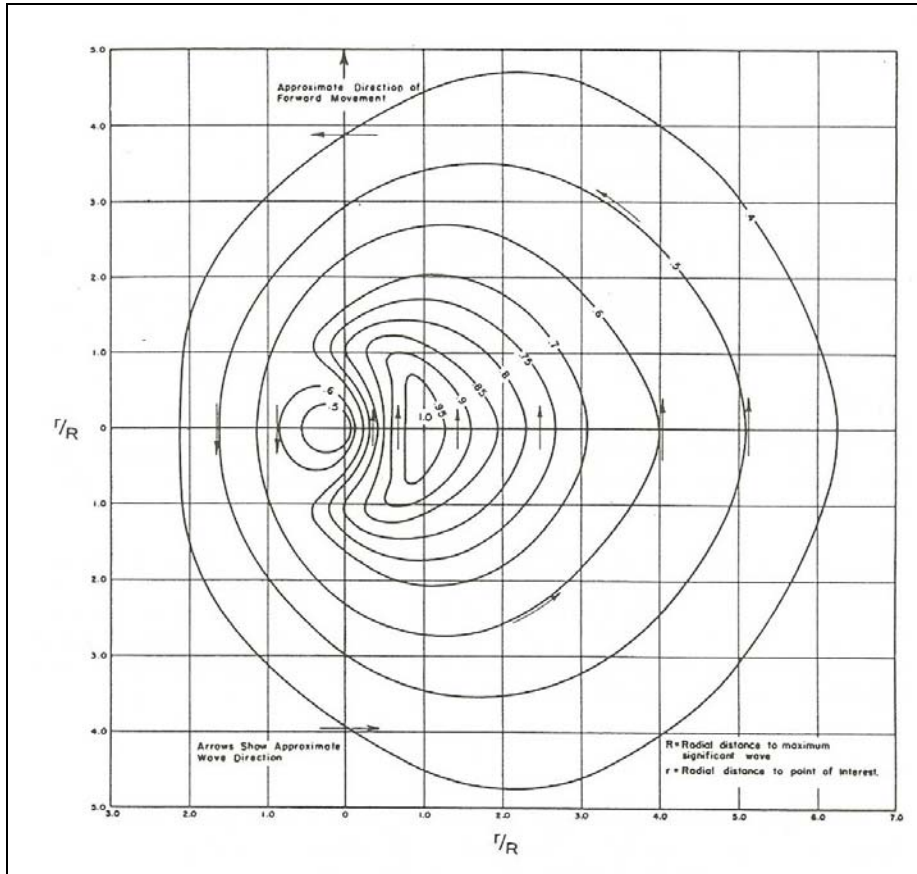


Figure C10 - Courbes d'iso-hauteurs des vagues dans un cyclone à déplacement lent
Sources : *Shore Protection Manual* (1977)

On peut cependant remarquer que les houles engendrées par les vents de certains secteurs du cyclone sont plus fortes car elles restent plus longtemps au « contact ». Le cadran se déplaçant dans la même direction que la houle formée, il équivaut à une zone de fetch plus grande et la houle peut se développer et atteindre des hauteurs importantes. Dans le cas des cyclones évoluant dans l'hémisphère Nord, le cadran avant droit est le plus dangereux.

La figure ci-dessus présente la répartition des hauteurs de vagues générées autour du cyclone.

C2.2 - Variation du niveau d'eau sur les zones d'étude

Les variations du niveau de la mer sont principalement le fait de la marée astronomique et de phénomènes météo océanographiques tels que variations de pression atmosphérique, vent, courant, vagues...

Trois paramètres majeurs vont être ci-après développés :

- le niveau d'eau lors d'une marée astronomique,
- la surélévation cyclonique (ou « onde de tempête »)
- les phénomènes de houle.

C'est la combinaison de ces trois paramètres qui donnera le niveau d'eau maximum pouvant atteindre le site de projet.

C2.2.1 - Nivellement

Le zéro des cartes marines (CM) ou Niveau Général Hydrographique (NGH) est situé 0,56 m au-

dessous du zéro du Nivellement Général de la Guadeloupe (NGG) soit :

$$0 \text{ m CM} = - 0,46 \text{ m N}$$

C2.2.2 - Marée (Pointe-a-Pitre)

En Guadeloupe, la marée astronomique est faible. Les niveaux extrêmes de la marée sont :

Pour les pleines mers de vives eaux diurnes : + 0,74m CM

Pour les basses mers de vives eaux diurnes : + 0,12m CM

Si d'une façon générale, les marées astronomiques ont un marnage faible, les niveaux d'eau caractéristiques sont assez variables et sont fortement influencés par les vents régnants et de manière plus générale par les conditions océano-météorologiques. C'est pourquoi l'étude concernant les surélévations cycloniques suivante est nécessaire.

C2.2.3 - Surélévations cycloniques : « l'onde de tempête »

Les surcotes maximales sont atteintes lors des événements cycloniques.

Cette « onde de tempête » est l'effet conjugué :

- de la forte baisse de la pression atmosphérique ou effet de baromètre inverse (surélévation de 1 cm par une baisse de 1 hPa), Pour HUGO, lors de son passage sur la Guadeloupe, la pression au centre était de l'ordre de 940 hPa ce qui correspond à une élévation du niveau de la mer dans l'œil du cyclone d'environ 70cm.
- du vent qui fait naître des courants qui viennent buter sur les rivages. En pleine mer, ces courants ne provoquent pas de surcotes car ils peuvent s'écouler librement à toutes les profondeurs. Il en est de même près d'une côte bordée par des eaux très profondes. Par contre, dans les zones de faible profondeur, l'advection d'eau ne pourra être compensée efficacement ni par des contre-courants de profondeur, ni par une divergence de surface.
- des effets de site qui sont accentués en fond de baie, où l'eau peut s'accumuler, et minimisés au niveau des caps, des avancées (l'onde de tempête contourne l'obstacle sans accumulation additionnelle importante).

Au vue de l'importance que peuvent atteindre de telle surélévation, SOGREAH a sollicité METEO FRANCE à la Direction Interrégionale Antilles-Guyane (DIRAG) basée à Fort de France, afin de pouvoir disposer de données complémentaires sur les surcotes établis à partir d'outils récents et performants.

Météo-France dispose aujourd'hui d'un modèle de surcote cyclonique opérationnel qui permet d'effectuer des prévisions à partir de données de vent et de trajectoires cycloniques prélevées à la fois dans la base de données cycloniques « HURDAT » et dans les messages spécialisés dits « ADVISORIES » émis par le National Hurricane Center, à Miami. Ce modèle est utilisé non seulement dans le but de réaliser des études statistiques (cf. § 5.2.5), mais il sert également de manière opérationnelle lorsque le plan spécialisé de Secours Cyclone est déclenché par le préfet de Guadeloupe ou de Martinique.

Les résultats des simulations numériques réalisées par METEO FRANCE sont présentés en **annexe 9** pour une période de retour de 100 ans sur tout le littoral guadeloupéen. Un zoom permet de mieux visualiser la baie de Petit-Canal où les surcotes sont très fortes.

Surélévation cyclonique pour la zone 1

L'étude statistique de Météo France montre que la zone 1 définie au § 4 peut être soumise à une surcote cyclonique centennale très élevée de l'ordre de **1.40 m**. L'« effet de baie » est la composante majeure de cette valeur.

Surélévation cycloniques pour la zone 2

L'étude statistique de Météo France montre que la zone 2 définie au § 4 peut être soumise à une surcote cyclonique centennale encore élevée de l'ordre de **1.00m**. En effet, le phénomène de surcote dû à la configuration en baie est encore bien marqué.

Surélévation cycloniques pour les zones 3 à 5

Dans ces zones, l'effet de baie n'existe plus. Météo France préconise cependant de prendre une surcote cyclonique centennale de l'ordre de **0.60m**.

C2.2.4 - Synthèse de l' « onde de tempête »

Le tableau C11 ci-dessous illustre les phénomènes qui ont mené aux valeurs de surélévations cycloniques centennales calculées par le modèle numérique de Météo France pour chaque zone.

Zones	Effet dû au site	Effet dû à la bathymétrie	Effet dû au vents et courants	Surcote envisagé par Météo France
1	très fort	fort	très fort	1.4
2	fort	moyen	fort	1
3	faible	moyen	moyen	0.6
4	faible	faible	moyen	0.6
5	faible	faible	moyen	0.6

Tableau C11 - Evaluation des effets provoquant l' « onde de tempête » et valeurs de surélévations obtenues par Météo France pour chaque zone

C2.3 - Houles cycloniques sur les zones d'étude

C2.3.1 Houles au large

Pour la Guadeloupe, les zones les plus exposées en cas de très forte houle sont la côte Caraïbe de Basse-Terre et surtout la côte Nord-Atlantique de Grande-Terre qui présente des isolignes de déferlement proches du rivage et qui reçoit beaucoup plus fréquemment de fortes houles cycloniques. Entre 1964 et 1999, les hauteurs de houle les plus importantes simulées par les modèles de Météo France sont de plus de 16 mètres au nord-est de la Guadeloupe (cf. figure C12).

Pour cette même période (1964 à 1999), le « maximum » de houle simulé pour une période de retour de 100 ans atteint **12 mètres** au large de la zone d'étude Ouest (approximativement jusqu'à l'Anse Bertrand); toute la partie Nord a été simulée avec une hauteur de houle de **16 mètres**.

Il convient de noter une diminution globale des hauteurs de houle au fur et à mesure que l'on descend en latitude, qui s'explique par la trajectoire moyenne incurvée vers le nord des cyclones à l'approche

de l'arc antillais. Les hauteurs de houle diminuent également à l'approche des îles et dans les canaux en raison de la bathymétrie relativement plus faible qui entraîne une dissipation d'énergie par frottement au fond.

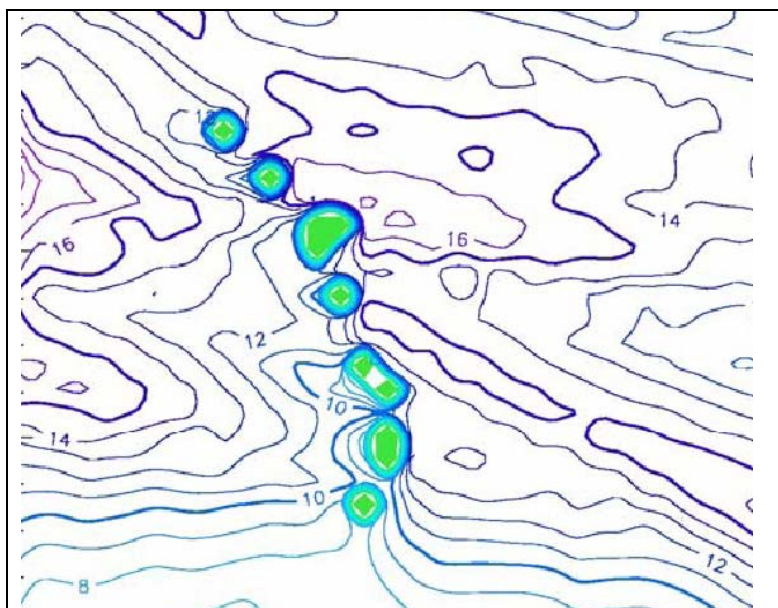


Figure C12 - Hauteurs de houle les plus importantes simulées sur modèles entre 1964 et 1999
Sources : Météo France

Ces hauteurs sont transmises à titre indicatif car à l'approche des rivages côtiers les houles déferlent. Météo France a établi une carte présentant la zone côtière à l'intérieur de laquelle les durées de retour ne sont pas valables en raison de ce problème de déferlement et de la méthode statistique utilisée. A l'intérieur de cette limite côtière (cf. figure C9), le déferlement perturbe les résultats qui ne sont plus valides par simple lecture et un calcul spécifique de hauteur de houle résiduelle s'impose.

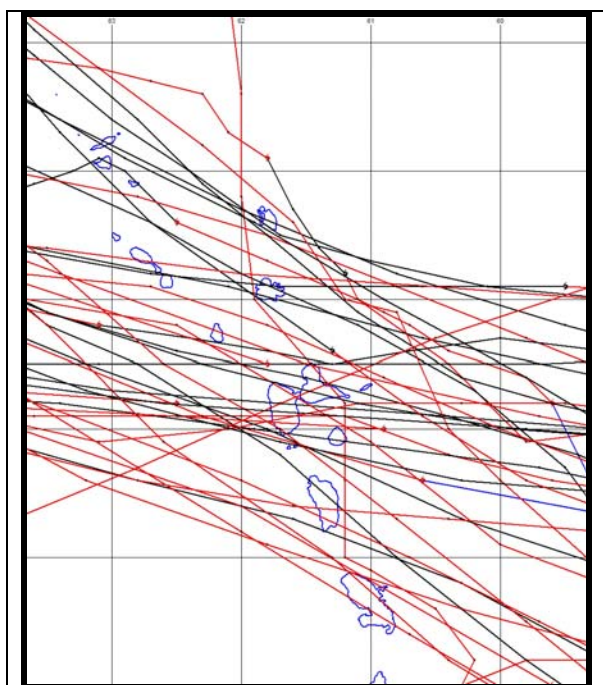


Figure C13 - Trajectoires des cyclones sur les petites Antilles sélectionnés pour le calcul des surcotes

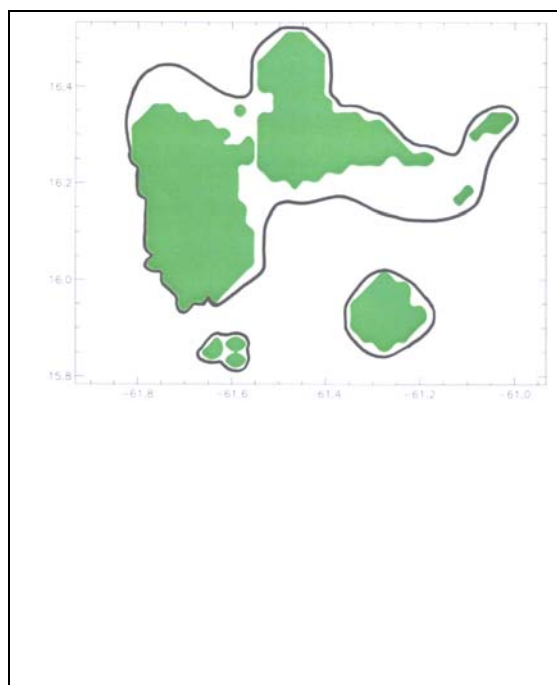


Figure C14 - Limite de validité des hauteurs de houle données par Météo France

La remontée des fonds provoque donc l'écèlement progressif des vagues et limite par conséquent leur hauteur, cela dans le cas d'une remontée progressive des fonds.

Dans le cas d'une remontée progressive des fonds, (de l'ordre de 1%), le critère de déferlement de Miche (1944) en faible profondeur, donne une relation entre la profondeur « d » d'eau et la hauteur « H » de la vague compatible avec cette profondeur :

$$\frac{H}{d} = 0.88 \quad (1)$$

Ce critère n'est pas valable dans le cas de fonds abrupts (à partir d'une pente des fonds de l'ordre de 5%). Dans ce cas on prendra :

$$H = d \quad (2)$$

Pour l'ensemble des données bathymétriques nécessaires à l'étude, on se référera à l'**annexe 8**.

C2.3.2 - Houles propagées

Houles propagées en zone 1

En période cyclonique de retour 100 ans, on a vu ci-dessus que la houle au large de la Guadeloupe pouvait atteindre, côté mer des Caraïbes, 12 à 16 mètres de hauteur du Sud au Nord de l'île. Mais cette houle va rapidement déferler à l'approche de la zone 1.

En effet, au large de cette zone, la bathymétrie présente des hauts fonds remontant lentement vers le départ de la mangrove (pente de 0.5% en moyenne sur 4 km). Au contact de ces hauts fonds, la houle du large va être progressivement écelée.

On prendra comme valeur de profondeur d'eau significative une moyenne se situant à environ 100 mètre du départ de la mangrove pour tenir compte de l'énergie résiduelle de la houle. Sur la zone 1, on peut donc appliquer le critère de Mitch à une profondeur d'eau de 1m (cf. carte SHOM) à laquelle on ajoutera la surcote cyclonique.

Donc, en utilisant la relation 1 :

$$H_s = 0.88 * (1.00 + 1.40)$$

$$H_s \approx 2.10m$$

Les vagues atteignant la mangrove seront de l'ordre de 2.10m de hauteur dont l'énergie sera très rapidement dissipée.

Houles propagées en zone 2

Sur cette zone, la pente des fonds est de l'ordre de 5%. Cette remontée plus rapide que la zone 1 s'explique par l'absence de plateau.

Cependant, on observe des fonds faible de 1.5m de moyenne à 100 m du rivage. En appliquant la relation (2), la hauteur de houle déferlante maximum sur la zone 2 sera :

$$H_s = 1.50 + 1.00$$

$$H_s = 2.50m$$

Comme pour la zone 1, cette houle sera très rapidement atténuée dans son intégralité par la mangrove. Cependant, il est à noter que la commune de Port-Louis n'est pas « protégée » de la houle par la mangrove. Il faudra donc en tenir compte pour préciser l'aléa du même nom.

Houles propagées en zone 3

Tout comme la zone 2, la pente des fonds est d'environ 5% sur la zone 3. Par contre, ce cordon littoral légèrement en pointe est plus exposé aux houles de Nord-ouest. La profondeur d'eau est

approximativement de 3m à 100m du début de la zone de marais et mangrove de Port Louis. Elle détermine la hauteur significative de houle cyclonique H_s maximum atteignant le site :

$$H_s = 3.00 + 0.6$$

$$H_s = 3.60m$$

Il est prévisible que cette houle viendra submerger la fine bande de plage se situant en amont des zones de mangroves et marais à une cote altimétrique très faible (environ 0.00m NGG). Mais comme pour les cordons littoraux des zones 1 et 2, cette houle sera rapidement atténuée par la végétation contigüe.

Houles propagées en zone 4

Aux abords du cordon littoral, on retrouve les fonds à pente forte des zones 1 et 2. D'après la bathymétrie du site, des fonds de 3 à 7m de hauteur existent à environ 100m du rivage. La moyenne des fonds est donc de 5m. Par la relation (2), cette profondeur détermine également la hauteur H_s des houles cycloniques résiduelles affectant le cordon de sable ou de rocher caractérisant cette zone 4 :

$$H_s = 5 + 0.60$$

$$H_s = 5.60m$$

Notons que la nature, la morphologie et l'exposition du site mèneront à envisager un aléa houle notoire, surtout autour de la commune de l'Anse Bertrand. En effet, on remarque que :

- le littoral est constitué de plage (au Sud de l'Anse Bertrand), rochers (au Nord de l'Anse Bertrand) puis de forêt: aucune zone de marais ou mangrove pour atténuer sensiblement les houles incidentes.
- cette frange littorale est exposée à la direction Nord-Est. C'est la direction des houles les plus fortes provenant de la mer des Caraïbes. Elles frapperont le site sans aucune atténuation d'obliquité (que l'on rencontre pour les zones 2 et 3 grâce à leurs expositions d'avantage Ouest ou même Sud-ouest.).

Houles propagées en zone 5

A partir de la Point de Castalia (limite entre les zones 4 et 5), les falaises débutes. Cette morphologie de terrain permet d'obtenir une protection naturelle.

Les houles maximums arrivant jusqu'à la hauteur des falaises seront directement celle détaillées dans le § 7.1.

Ainsi, on considèrera sur la zone 5 :

- un aléa houle nul : les vagues viendront directement frapper la falaise. On peut noter que des fonds très grands bordent rapidement ces falaises : les houles ne déferleront donc pas.
- un aléa submersion nul. La topographie du terrain montre des valeurs altimétriques rapidement importantes le long de la falaise (+19m NGG à la point Castalia à +95m NGG à la Pointe de la Grande Vigie).

C2.4 - Surcotes liées aux phénomènes de houles à la côte

C2.4.1 - Effet de Set-up

Dans la zone comprise entre le déferlement et la côte, la houle peut engendrer, par apport d'eau lors de la succession des déferlements, une surélévation du niveau de la mer : c'est le phénomène de set-up. Son intensité est fonction de la pente des fonds et des caractéristiques des vagues (hauteur et période). La valeur estimée du set-up est de l'ordre de 10% de la hauteur de la houle déferlante incidente.

A partir des résultats du § 6.3.4, des valeurs de set-up ont été déterminées sur l'ensemble des zones étudiées (à l'exception de la zone 5 pour laquelle la houle ne déferle pas). Le tableau C15 ci-dessous présente les surcotes préconisées pour l'effet de set-up.

Zones	Hauteur de houle déferlante (m)	Surcote liée à l'effet de set-up (m)
1	2.1	0.21
2	2.5	0.25
3	3.6	0.36
4	5.6	0.56

Tableau C15 - Synthèse des surcotes liées à l'effet de set-up

C2.4.2 - Effet d'ensachage

Ce phénomène se produit en présence d'une barrière de récif peu profonde proche du rivage. Pour un site donné, l'intensité de l'ensachage est fonction de son exposition et de la continuité des récifs qui en sont la cause.

Le guide méthodologique du PPR littoral définit des valeurs de variation de la mer en fonction de la situation géographique de la barrière (au large de l'île ou proche du rivage). En fonction de ces valeurs, nous préconisons certaines surcotes liées à cette effet d'ensachage uniquement sur certaines zones (**cf. tableau n°6**).

Zones	Présence de récif	Surcote liée à l'effet d'ensachage (m)
1	non	0
2	oui	0.1
3	oui	0.1
4	oui	0.1
5	non	0

Tableau C16 - Synthèse des surcotes liées à l'effet d'ensachage

C3 - SYNTHÈSE DES VARIATIONS DU NIVEAU D'EAU ET DE L'AGITATION DU SITE LORS D'UN ÉVÉNEMENT CYCLONIQUE DE PÉRIODE DE RETOUR 100 ANS

C3.1 - Surcotes sur le site de projet

Le **tableau n°7** récapitule ci-dessous les surcotes cycloniques totales pour un événement de période de retour 100ans sur le site étudié.

Zones	Surcote liée à l'onde de tempête	Surcote liée à l'effet de set-up (m)	Surcote liée à l'effet d'ensachage (m)	Surcotes cycloniques centennale (m CM)
1	1.4	0.21	0	1.61
2	1	0.25	0.1	1.35
3	0.6	0.36	0.1	1.06
4	0.6	0.56	0.1	1.26
5	0.6	0	0	0.6

Tableau C17 - Surcotes cycloniques centennales sur le site de projet

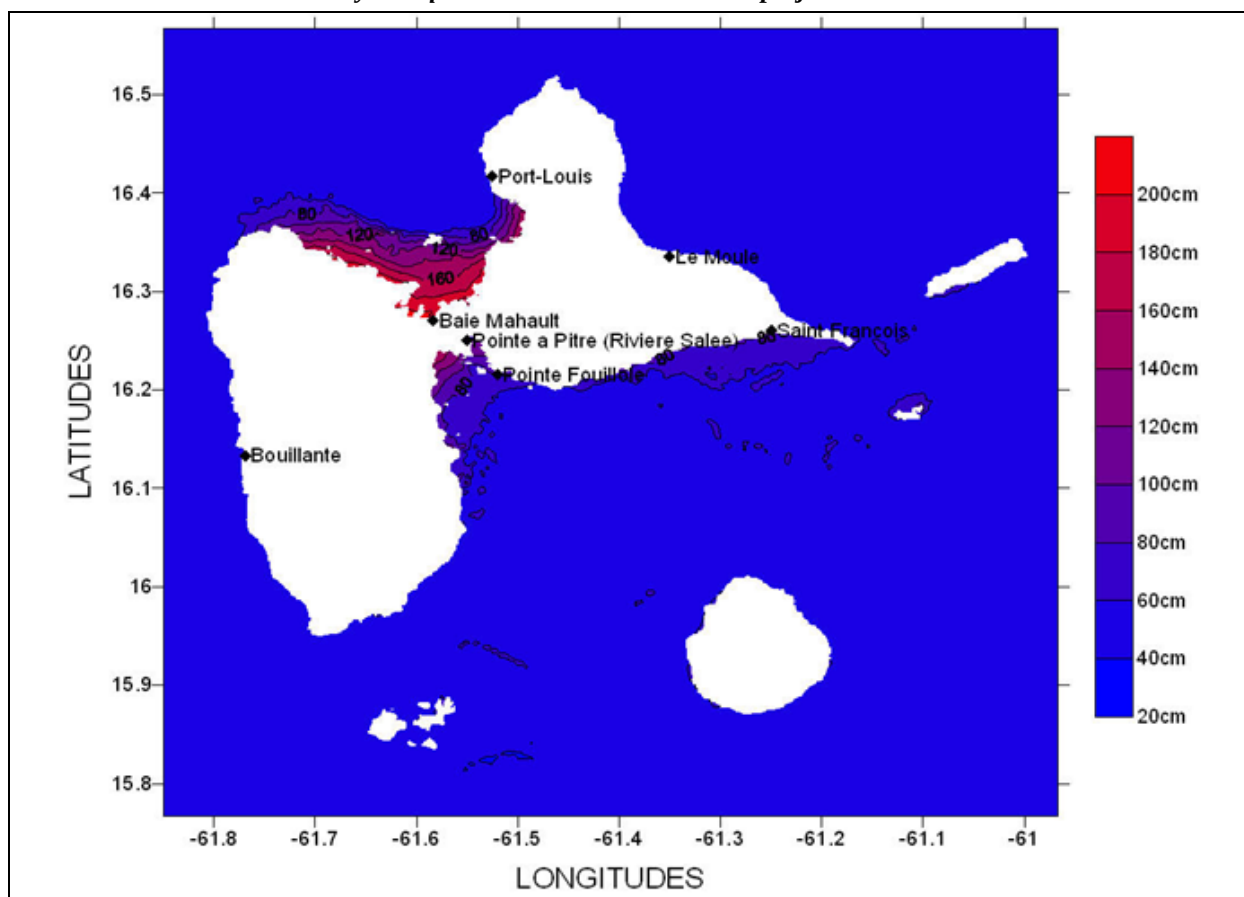


Figure C18 - Surcote pour une durée de retour de 100 ans

C3.2 - Niveau d'eau maximum en période cyclonique centennale

Le tableau C19 ci-après dresse un bilan des niveaux d'eau maximums qu'il est possible de rencontrer lors d'un cyclone de période de retour 100 ans pour chaque zone étudiée.

Zones	Surcotes cycloniques centennales (m CM)	Niveau d'eau lors de marées astronomiques (m CM)	Niveau d'eau maximum en période cyclonique centennale (m CM)	Niveau d'eau maximum en période cyclonique centennale (m NGG)
1	1.61	+ 0.74	+ 2.35	+ 1.89
2	1.35		+ 2.09	+ 1.63
3	1.06		+ 1.80	+ 1.34
4	1.26		+ 2.00	+ 1.54
5	0.6		+ 1.34	+ 0.88

Tableau C19 - Niveau d'eau maximum en période cyclonique centennale sur le site de projet

L'étude réalisée par la société ANTEA donnait pour la commune de Port Louis un niveau pour la mise hors d'eau des bâtiments implantés en zone côtière de l'ordre de +1.80m NGG. D'après le tableau ci-dessus, la commune étant située entre la zone 2 et la zone 3, on peut s'attendre à des niveaux maximum de +1.34m NGG à +1.63m NGG.

On peut expliquer cette différence par la précision apportée à la présente étude en matière de surcote liée à la houle, en particulier le set-up en zone de déferlement. En effet, la société ANTEA n'a pas évalué la surcote à la côte. Cette surcote est simplement fixée à 0.6m au large. Le calcul proposé ici prend en compte ce phénomène à la côte en considérant le déferlement. D'où un le calcul précis de set-up donnant un résultat de 0.25m à 0.36m selon les zones. Cette différence de surcote explique la variation finale entre le résultat de niveau d'eau maximum sur la commune donnée par l'entreprise ANTEA et celle donnée dans la présente étude.

C3.3 - Houles maximales associées

Le tableau C20 ci-dessous synthétise les résultats du § 7.2 concernant la hauteur des houles propagées à la côte lors d'un cyclone de période de retour 100 ans.

Zones	Hauteurs de houles cycloniques centennales (m)
1	2.10
2	2.50
3	3.60
4	5.60
5	12 à 16 (pas de déferlement)

Tableau C20- Houles maximales en période cyclonique centennale sur le site de projet (à 100m du trait de côte)

C4 - SYNTHÈSES DES ALÉAS « HOULE » ET « SUBMERSION » DU SITE ÉTUDIÉ – CARTOGRAPHIES ASSOCIÉES

C4.1 - Cartographie de l'aléa « Submersion »

Le tableau ci-dessous donne le niveau d'aléa en fonction de la définition du guide méthodologique de rédaction des PPR.

Zones	Niveau de l'aléa Houle	Observation
1	Moyen	Pour le bande littorale submergée par moins d'un mètre d'eau (au dessus de +0.89m NGM)
	Fort	Pour le bande littorale submergée par plus d'un mètre (au dessous de +0.89m NGM)
2	Moyen	Pour le bande littorale submergée par moins d'un mètre d'eau (au dessus de +0.63m NGM)
	Fort	Pour le bande littorale submergée par plus d'un mètre (au dessous de +0.63m NGM)
3	Moyen	Pour le bande littorale submergée par moins d'un mètre d'eau (au dessus de +0.34m NGM)
	Fort	Pour le bande littorale submergée par plus d'un mètre (au dessous de +0.34m NGM)
4	Moyen	Pour le bande littorale submergée par moins d'un mètre d'eau (au dessus de +0.54m NGM)
	Fort	Pour le bande littorale submergée par plus d'un mètre (au dessous de +0.54m NGM)
5	/	Pas d'aléa submersion car zone de falaises
	/	Pas d'aléa submersion car zone de falaises

C4.2 - Cartographie de l'aléa « Houle »

Toute la zone d'étude n°5 est constituée de hautes falaises stoppant la houle incidente par réflexion. La zones n°1 est quant à elle « protégée » de l'aléa houle par la mangrove ; celle-ci va progressivement absorber l'énergie de la houle incidente.

Les zones n°2, 3 et 4 présentent des morphologies plus variées constituées de plages, rochers et des fronts de mer des communes de Port-Louis et de l'Anse Bertrand directement exposées à la houle. Le tableau C21 montre que les houles sont de hauteurs croissantes plus on se rapproche du Nord de la Guadeloupe. Cependant, le guide méthodologique du PPR ne définit pas le niveau d'aléa houle uniquement en fonction de la hauteur des vagues, mais aussi en fonction de la nature des éléments constituant la zone d'impact. Celle-ci étant principalement constituée de sable et de rocher brut (pas de

galets ou de blocs synonymes de projectiles en cas de vagues déferlantes cycloniques), le niveau d'aléa n'est pas augmenté.

De plus, des mesures de protection sont possibles sur l'ensemble de ces zones. C'est pourquoi, à la lecture du guide méthodologique précisant la définition des niveaux d'aléas, on les affecte d'un niveau moyen.

On obtient ainsi le tableau ci-après.

Zones	Niveau de l'aléa Houle	Observation
1	/	Pas d'aléa car zone de mangrove
2	Moyen	Cordon de sable (largeur 25m) exposé - mesures de protection possibles
3	Moyen	Commune de Port-Louis et chemin exposés - mesures de protection possibles
4	Moyen	Chemin et Commune de l'Anse Bertrand exposés - mesures de protection possibles
5	/	Pas d'aléa car zone de falaises

Tableau C21 - Niveau de l'aléa houle par zone sur l'ensemble du site d'étude

Les cartes d'aléas ainsi déterminées sont fournies en annexe, pour chacune des trois communes, en un cahier au format A3, comportant plusieurs planches. Conformément aux spécifications, et pour chacun des aléas déterminés, ces cartes sont fournies au 1/25.000ème pour l'ensemble de la commune et au pour les zones les plus urbanisées.

On a choisi de fournir en outre une carte à 1/5.000 des centres-ville sur fond orthophotographique.

Autour de la commune de Port Louis, on peut noter que la société ANTEA donnait dans son étude une largeur maximum de bande d'interception de la houle cyclonique de 18m, très proche de celle de 25m exposée en zone 2 dans le tableau ci-dessus.

Par ailleurs, l'aléa cyclonique vis-à-vis de la houle a été considéré par la société ANTEA comme élevé sur cette commune. Cependant, ce terme n'est pas employé dans les plans de prévention des risques ; on utilise les termes majeur, fort ou moyen.

Pour les raison évoquées ci-dessus (plage de sable, mesures de protection possibles) et en accord avec le guide méthodologique des risques littoraux, les zones intégrant la commune de Port Louis (zones 2 et 3) ont été affectées d'un niveau moyen

D – ALEAS LIES AUX PHENOMENES SISMIQUES

D1 - PHÉNOMÈNES ASSOCIÉS AUX TREMBLEMENTS DE TERRE

D1.1 - Déplacements le long de failles (faille co-sismique) et indices de rupture de surface

Une faille est définie comme une fracture dans l'écorce terrestre, le long de laquelle des déplacements peuvent se produire. Dans le cas de séismes peu profonds et de magnitude importante, le déplacement le long du plan de faille peut atteindre la surface et provoquer une dislocation du sol. Ce déplacement irréversible, vertical, oblique ou en coulissement, peut s'avérer inadmissible pour la stabilité des ouvrages construits au droit de la faille et provoquer alors des dommages.

Dans l'état actuel des connaissances géologiques, il n'y a pas, en Guadeloupe, d'exemple de faille ayant produit des ruptures en surface co-sismiques. La sismicité historique locale ne permet pas non plus de suspecter que de telles ruptures aient pu avoir lieu sur la période historique, qui ne remonte toutefois pas au-delà du XVI^e siècle.

En revanche, les études géologiques montrent que des failles et des déformations affectent des dépôts géologiques de moins de quelques centaines de milliers d'années (postérieurs au pléistocène moyen, 780 ka). Ainsi, grâce aux travaux de BOUDON *et al.* (1987), GODEFROY *et al.* (1990) et FEUILLET (2000), 55 grandes failles actives ont été cartographiées à proximité ou au niveau des îles de l'Archipel guadeloupéen, 21 étant localisées en Grande-Terre.

Sur la base de l'étude de synthèse réalisée conjointement par GEOTER et le BRGM en 2002, la classification des failles actives présentes sur les trois communes concernées est la suivante.

	Classification multicritère	Classification simplifiée	Anse Bertrand	Petit Canal	Port Louis
Faille Montagne Vercinot	Faille active, bon niveau de connaissance régionale (classe 3C)	Faille moyennement active, bonne connaissance régionale (classe 2C)	x		x
Faille de la Pointe de la Vigie	Faille moyennement active, bon niveau de connaissance régionale (classe 2C)	Faille moyennement active, bonne connaissance régionale (classe 2C)	x		x
Faille Anse des Corps	Faille peu active, niveau de connaissance régionale faible (classe 1A)	Faille moyennement active, connaissance régionale faible (classe 2A)	x		
Faille de Port-Louis :	Faille peu active, niveau de connaissance régionale faible (classe 1A)	Faille moyennement active, connaissance régionale faible (classe 2A)		x	
Faille Nord Grippon	Faille peu active, niveau de connaissance régionale faible (classe 1B)	Faille moyennement active, connaissance régionale moyenne (classe 2B)		x	
Faille Duval Sainte-Marguerite	Faille peu active, niveau de connaissance régionale faible (classe 1A)	Faille moyennement active, connaissance régionale faible (classe 2A)		x	

Selon ces mêmes études, les activités sont jugées :

- faible (analyse multicritère) à moyenne (analyse simplifiée), pour la faille Nord Grippon,
- moyenne pour la faille de la Grande Vigie,
- forte pour celle de Montagne Vercinot.

La bande de neutralisation sera de 100 m de part et d'autre des failles dans les trois cas.

Aucune faille n'ayant montré en Guadeloupe d'indice de rupture en surface, la bande de neutralisation devra être réservée aux bâtiments de classe C et D, et pourra être levée si une étude spécifique est engagée pour déterminer, au droit du bâtiment, de son extension ou de son implantation future, la réalité de ladite faille.

Au-delà des failles majeures inventoriées dans les études précédemment citées, il existe sur l'ensemble de la Grande-Terre de nombreuses familles de discontinuités qui peuvent être identifiées dans la morphologie. Ces structures ne sont toutefois pas associées à une sismicité clairement établie ; elles n'engendreront par conséquent pas de contraintes vis-à-vis de l'occupation des sols au titre des failles dites actives avec rupture en surface.

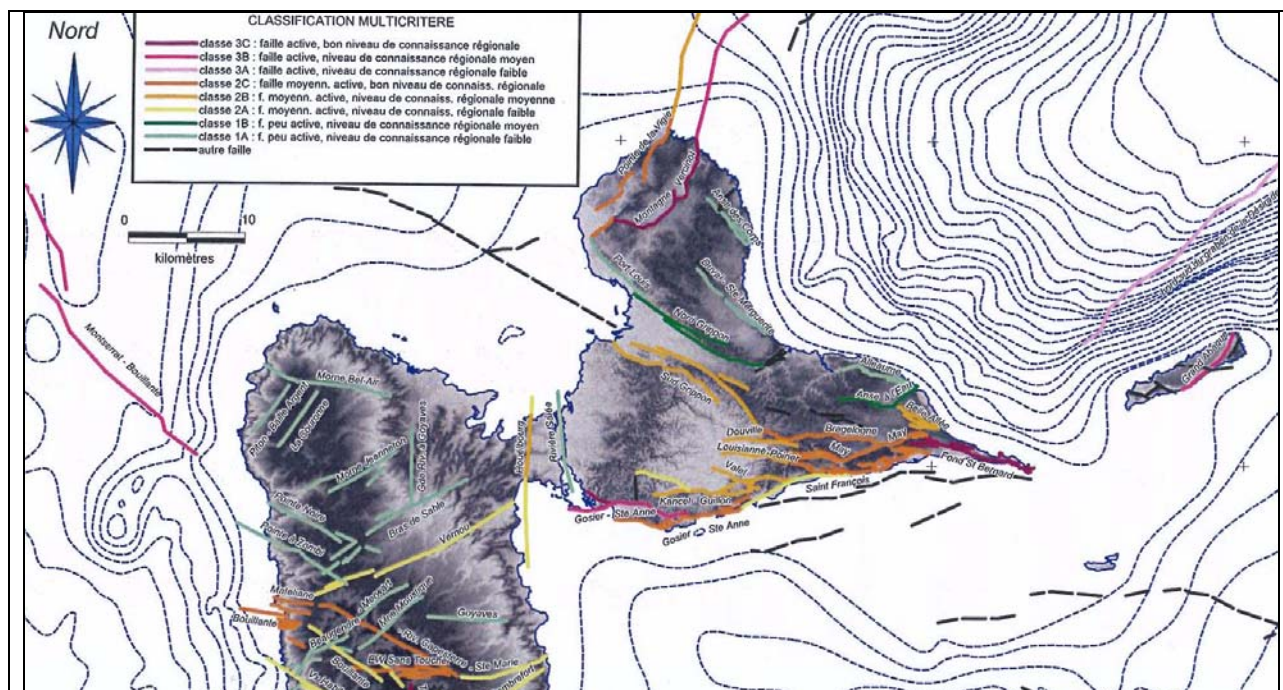


Figure D2 : Classification des failles actives de la Guadeloupe – méthode multicritère (BRGM & GEOTER, 2002)

Tableau 3.4 Classification MULTICRITERE des failles actives de Guadeloupe: synthèse des données et résultats à <u>Grande Terre, Marie-Galante, La Désirade</u>	Extension en profondeur Anomalie géophysique (magnétique ou gravimétrique)	Rejeu (âge des derniers terrains déformés)	Expression morphologique (escarpement de faille)		sismicité (d'origine tectonique)	niveau d'activité et importance	niveau de connaissance	classification "multicritère"	classification "simplifiée"
	corrélation faible = 1 corrélation incertaine = 0,5	[entre 0 et - 120 ka] = 2 [entre 120 Ka et - 1,8 Ma] = 1 [entre - 1,8 Ma] = 0	dérivée moyenne très forte = 1,5 forte = 1 moyenne = 0,5 faible = 0	pente moyenne très forte = 1,5 forte = 1 moyenne = 0,5 faible = 0	sûre (=2) possible (=1) faible (=0)	total > 5, niveau très élevé 3< total <= 5, niveau élevé 2 <= total <= 3, niveau moyen total < 2, niveau faible			
Grande Terre									
Montagne Vercinot		1	1	1,5		3,5	élevé	bon	3C
Fond Saint Bernard		2	0,5	1		3,5	élevé	bon	3C
Ouest/Gosier - Sainte Anne		2	1	1	1	4	élevé	moyen	3B
Pointe de la Vigie		1	1	1		3	moyen	bon	2C
Est/Gosier - Sainte Anne		1	1	1		3	moyen	bon	2C
May		1	0,5	1		2,5	moyen	bon	2C
Saint François		1	0,5	1		2,5	moyen	bon	2C
Brageolgne		1	0,5	0,5		2	moyen	bon	2C
Kancel - Gullion		1	1	1		3	moyen	moyen	2B
Sud Grippon		1	0,5	1		2,5	moyen	moyen	2B
Belle Allée		1	0,5	0,5		2	moyen	moyen	2B
Douville		1	0	1		2	moyen	moyen	2B
Louisianne - Poinier		1	0	1		2	moyen	moyen	2B
Valet		1	0	1		2	moyen	moyen	2B
Nord Grippon	0,5	1	0	0		1,5	faible	moyen	1B
Anse à l'Eau		1	0	0		1	faible	moyen	1B
Rivière Salée	0,5	1	0	0		1,5	faible	faible	1A
Port Louis		1	0	0		1	faible	faible	1A
Alleume		1	0	0		1	faible	faible	1A
Duval - Sainte Marguerite		1	0	0		1	faible	faible	1A
Anse des Corps - Mazoulier		1	0	0		1	faible	faible	1A
Marie Galante									
Morne Piton	0,5	2	1,5	1,5	2	7,5	très élevé	bon	3C
Bas	0,5	1	0,5	0,5	2	4,5	élevé	moyen	3B
Plateau Sud		1	0	0		1	faible	faible	1A
La Désirade									
Grande Abaque		1	1	1,5		3,5	élevé	moyen	3B
Bord sud du graben de la Désirade	0,5	2	1,5	1	2	7	très élevé	faible	3A

Tableau D3 - Classification des failles actives de la Guadeloupe – méthode multicritère (BRGM & GEOTER, 2002)

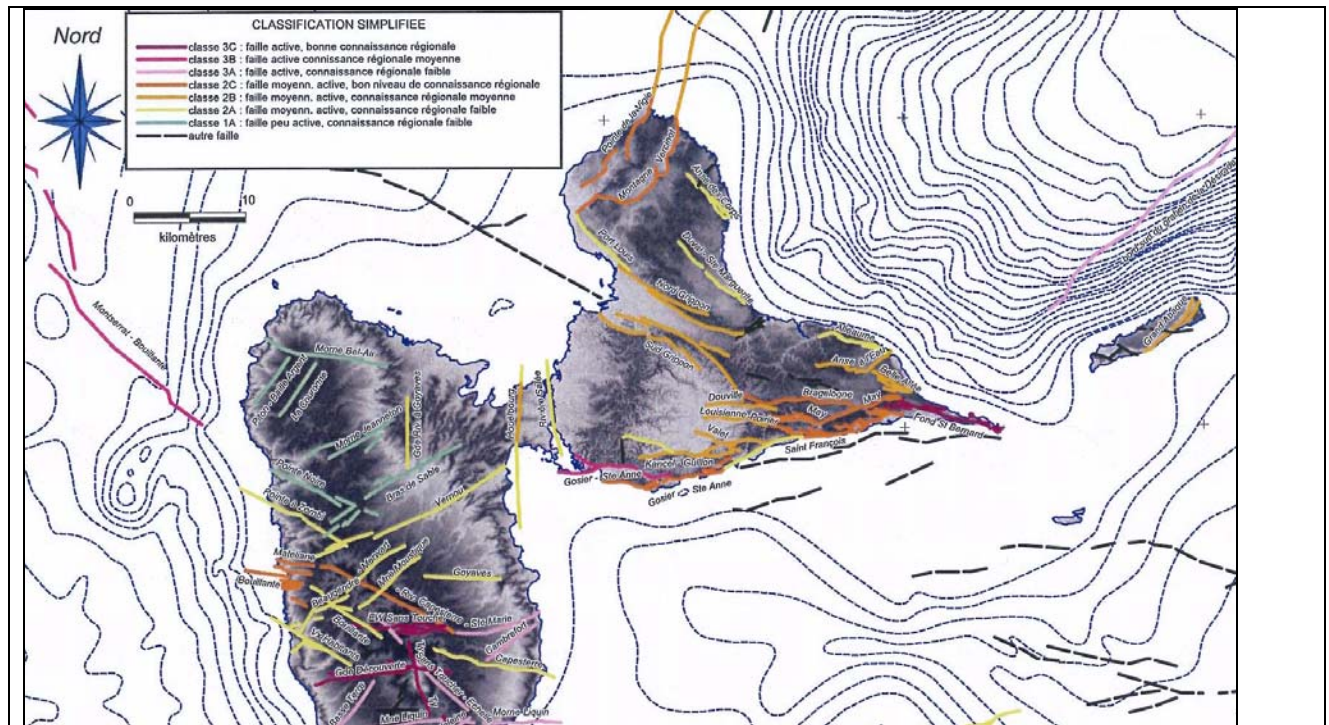


Figure D4 - Classification des failles actives de la Guadeloupe – méthode simplifiée (BRGM & GEOTER, 2002)

Tableau 3.6 Classification SIMPLIFIEE des failles actives de Guadeloupe : synthèse des données et résultats à <u>Grande Terre, Marie-Galante, La Désirade</u>		EXTENSION DU PLAN DE FAILLE		ACTIVITE NEOTECTONIQUE						sismicité associée	Classification simple					
		largeur	longueur	dernier jeu reconnu			Expression Morphologique (objets néotectoniques)	Evolution de l'axe de déformation actuelle (présence aux relations temporelles de Stenstrom (1982))				niveau de connaissance	niveau d'activité	numéro de classe correspondant		
				corrélation avec une discontinuité géochronologique profonde	cartographie en surface	Holocène à Pléistocène supérieur (0 à -120 Ka)		Pléistocène moyen ou inférieur (-120 Ka à -1,8 Ma)	anti-Pléistocène (<-1,8 Ma)		1 mètre (M4 = 5,5, T=100 ans)				0,5 mètre (M4 = 5,5, T=500 ans)	0,1 mètre (M4 = 5,5, T=1000 ans)
CLASSIFICATION	nom de la FAILLE															
	<u>Grande Terre</u>															
faille supposée active, bon niveau de connaissance régionale	Fond Saint Bernard		B	C			moyenne	A ?				BON	ELEVE	3C		
faille supposée active, niveau de connaissance régionale moyen	Ouest/Gosier - Sainte Anne		B	A			forte	A ?		A		MOYEN	ELEVE	3B		
	Est/Gosier - Sainte Anne		B		C		forte	A ?				BON	MOYEN	2C		
	Brageolonne		B		C		faible	A ?				BON	MOYEN	2C		
	May		B		C		moyenne	A ?				BON	MOYEN	2C		
faille supposée moyennement active, bon niveau de connaissance régionale	Montagne Vercinot		B		C		forte	A ?				BON	MOYEN	2C		
	Pointe de la Vierge		B		C		moyenne	A ?				BON	MOYEN	2C		
	Saint François		B		B		moyenne	A ?				BON	MOYEN	2C		
	Anse à l'Eau		B		A		faible					MOYEN	MOYEN	2B		
	Belle Allée		B		A		moyenne					MOYEN	MOYEN	2B		
	Nord Grippon	A ?	B		A		faible					MOYEN	MOYEN	2B		
faille supposée moyennement active, niveau de connaissance régionale moyen	Sud Grippon		B		A		moyenne					MOYEN	MOYEN	2B		
	Douville		B		A		moyenne					MOYEN	MOYEN	2B		
	Louisiane - Poirier		B		A		moyenne					MOYEN	MOYEN	2B		
	Kancel - Guillon		B		A		forte					MOYEN	MOYEN	2B		
	Valet		B		A		moyenne					MOYEN	MOYEN	2B		
	Anse des Corps - Mazoulier		A		A		faible					FAIBLE	MOYEN	2A		
faille supposée moyennement active, niveau de connaissance régionale faible	Port Louis		A		A		faible					FAIBLE	MOYEN	2A		
	Alleau		A		A		faible					FAIBLE	MOYEN	2A		
	Duval - Sainte Marguerite		A		A		faible					FAIBLE	MOYEN	2A		
	Rivière Salée	A	A		A ?		faible					FAIBLE	MOYEN	2A		
	<u>Marie Galante</u>															
faille supposée active, bon niveau de connaissance régionale	Morne Pilon	A	B	C			forte	A ?		B		BON	ELEVE	3C		
faille supposée moyennement active, niveau de connaissance régionale moyen	Bas	A	B		A		moyenne			B		MOYEN	MOYEN	2B		
faille supposée moyennement active, niveau de connaissance régionale faible	Plateau Sud	A ?	A		A		faible					FAIBLE	MOYEN	2A		
	<u>La Désirade</u>															
faille supposée active, niveau de connaissance régionale faible	Bord sud du graben de la Désirade	C	A	A			forte			B		FAIBLE	ELEVE	3A		
faille supposée moyennement active, niveau de connaissance régionale moyen	Grande Abaque		B		A		forte					MOYEN	MOYEN	2B		
	Moule		B		A		moyenne									
	Pointe du Fromager		B	C			faible									
	Morne Blanc		B		A		forte									
	Trou Madame		B		A		forte									
longueur totale de la faille < 5 KM																

Tableau D5 - Classification des failles actives de la Guadeloupe – méthode simplifiée (BRGM & GEOTER, 2002)

Démarche pour la classification des failles de l'archipel de la Guadeloupe et de la Martinique

Etape 1

Evaluation du niveau de connaissance

ACTIVITE : "dernier jeu connu"		LOCALISATION : "Cartographie en surface"		
		fiable	moyennement fiable	extrapolée
Actuel à début Pléistocène (0 à -1,8 Ma)	fiable ou assez fiable	C	C	A
	peu fiable	B	B	
Anté Pléistocène (anté -1,8 Ma)	fiable ou assez fiable	C	B	
	peu fiable	B	A	

Etape 2 : Evaluation multicritère du niveau d'activité

Etape 2a : Table des valeurs

Critères			Valeur			
			2	1,5	1	0,5
Extension en profondeur	anomalie géophysique profonde	fiable			X	
		possible				X
rejeu reconnu	âge des terrains déformés les plus récents	0 à -120 Ka	X			
		(-120 Ka à -1,8 Ma)			X	
expression morphologique	interprétation d'objets néotectoniques (Basse Terre)	fiable	X			
		possible			X	
	dénivelé moyen (Grande Terre, Marie Galante, La Désirade)	très fort (> 50m)		X		
		fort (30 à 50 m)			X	
		moyen (20 à 30 m)				X
	pente moyenne (Grande Terre, Marie Galante, La Désirade)	très forte (<= 20°)	X			
		forte (~ 15°)			X	
activité sismique	corrélation avec des épisodes de séismes	fiable	X			
		possible			X	

Etape 2b : Evaluation du niveau d'activité

Niveau d'activité		Somme des valeurs (Expression, Rejeu, Morphologie, Sismicité)			
		Très élevé	élevé	moyen	faible
		X			
			X		
				X	
					X

Evaluation simplifiée du niveau d'activité

Etape 2 : Evaluation du niveau d'activité

Niveau d'activité		dernier rejeu reconnu (âge des terrains les plus récents déformés)		
		Actuel - Pléistocène sup. 0 à -120 Ka	Pléistocène moyen et inf. (-120 Ka à -1,8 Ma)	anté-Pléistocène anté -1,8 Ma
	élevé	X		
	moyen		X	
	faible			X

Lorsque les connaissances de base sont insuffisantes, une démarche simplifiée est proposée. Les critères pris en compte sont : l'âge supposé des derniers dépôts déformés (d'après la carte géologique, ou, éventuellement d'autres observations), l'appréciation du tracé cartographique de la faille (sûr, observé ponctuellement, en grande partie supposé).

Etape 3

Classification des failles en fonction de leur niveau d'activité présumé et des connaissances disponibles

			niveau de connaissance		
			bon	moyen	faible
niveau d'activité	très élevé ou élevé	3	classe 3C	classe 3B	classe 3A
	moyen	2	classe 2C	classe 2B	classe 2A
	faible	1	classe 1C	classe 1B	classe 1A

FigureD6 - Description des approches multicritères et simplifiées

D1.2 - Secousses sismiques

Les séismes destructeurs appartiennent à l'histoire récente de la Guadeloupe ; celui du 8 février 1843 fit plus de 1 500 morts dans la population. Les sources d'information analysées par FEUILLARD (1982) puis par BERNARD et LAMBERT (1985) concernant le Nord Basse-Terre permettent une estimation de l'intensité macrosismique atteinte lors des séismes de 1843 et 1897, les plus destructeurs enregistrés sur la Guadeloupe (cf. **Figure**) :

Séisme du 8 février 1843 : Intensité MSK = IX

Séisme du 29 avril 1897 : Intensité MSK < VI

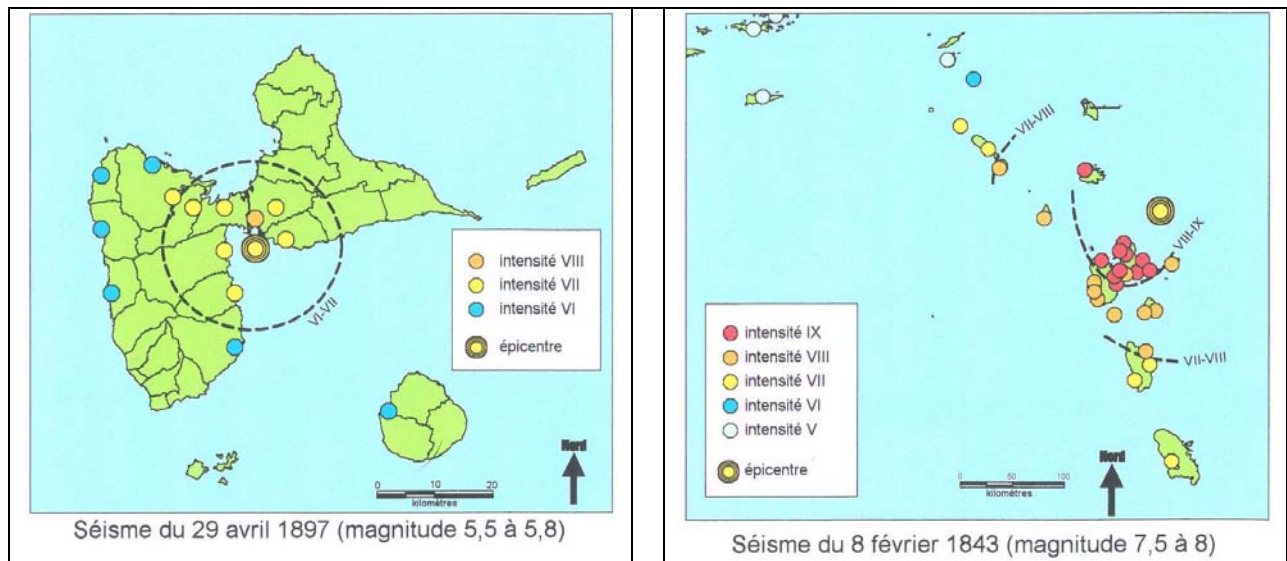


Figure D7- Intensités macrosismiques des séismes majeurs historiques sur le Nord Grande-Terre

La sismicité historique et instrumentale peut être appréciée à partir d'un nouveau catalogue de sismicité élaboré récemment, dans le cadre de la réalisation du zonage probabiliste de la France (MARTIN *et al.*, 2002), à partir d'une synthèse de catalogues existants (IPGP, BEGM, MIDAS/IPGH).

La répartition des séismes sous et autour de la Guadeloupe (cf. **Figure**) montre que les sources qui peuvent être à l'origine de dommages en Guadeloupe sont de deux types :

- des sources locales, de magnitude modérée (5 à 6.5), localisées à faible profondeur, dans la plaque Caraïbes, et associées à des failles crustales.
- des sources sismiques plus lointaines, qui peuvent atteindre des magnitudes plus fortes (7 à 8), associées aux mécanismes de la subduction de la plaque Atlantique, sous la plaque Caraïbes.

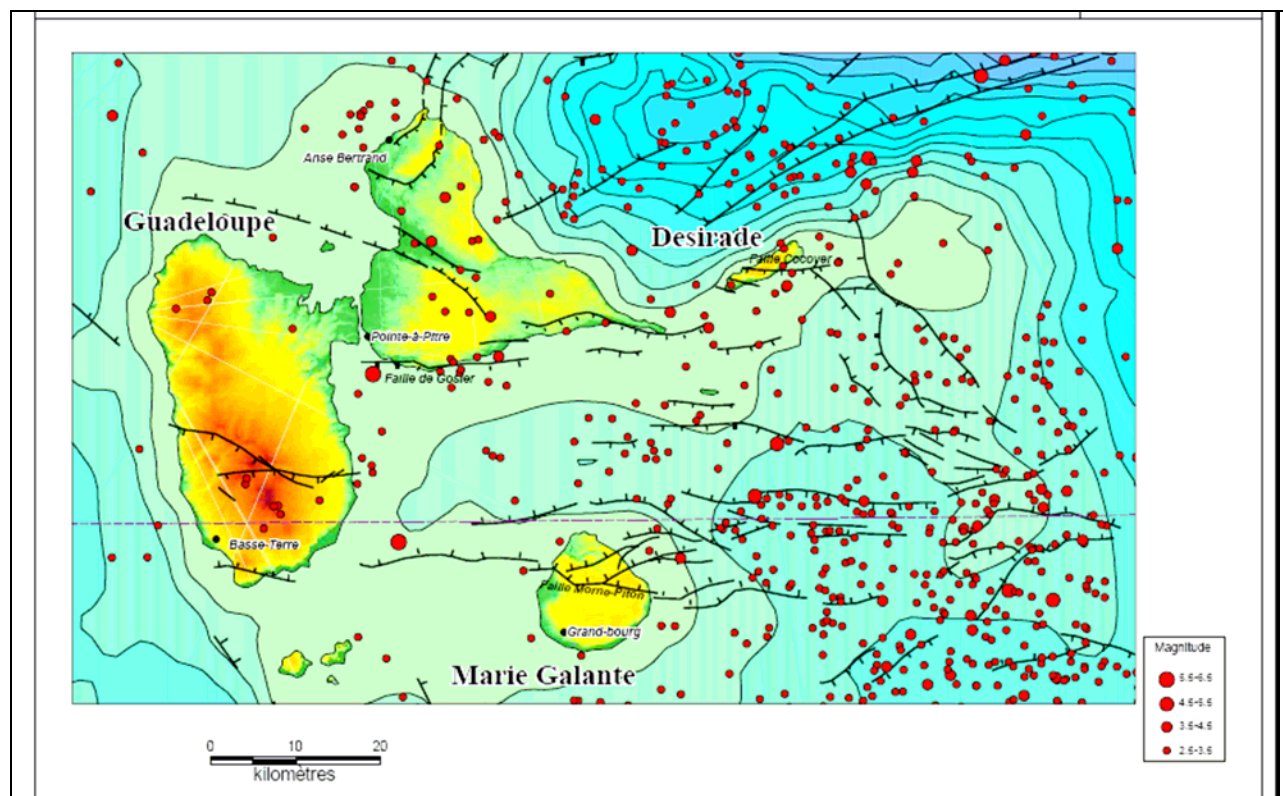


Figure D8 - Principaux systèmes de failles et sismicité superficielle (0 – 30 km) de la Guadeloupe (D'après Feuillet, 2000 in Geoter, 2003)

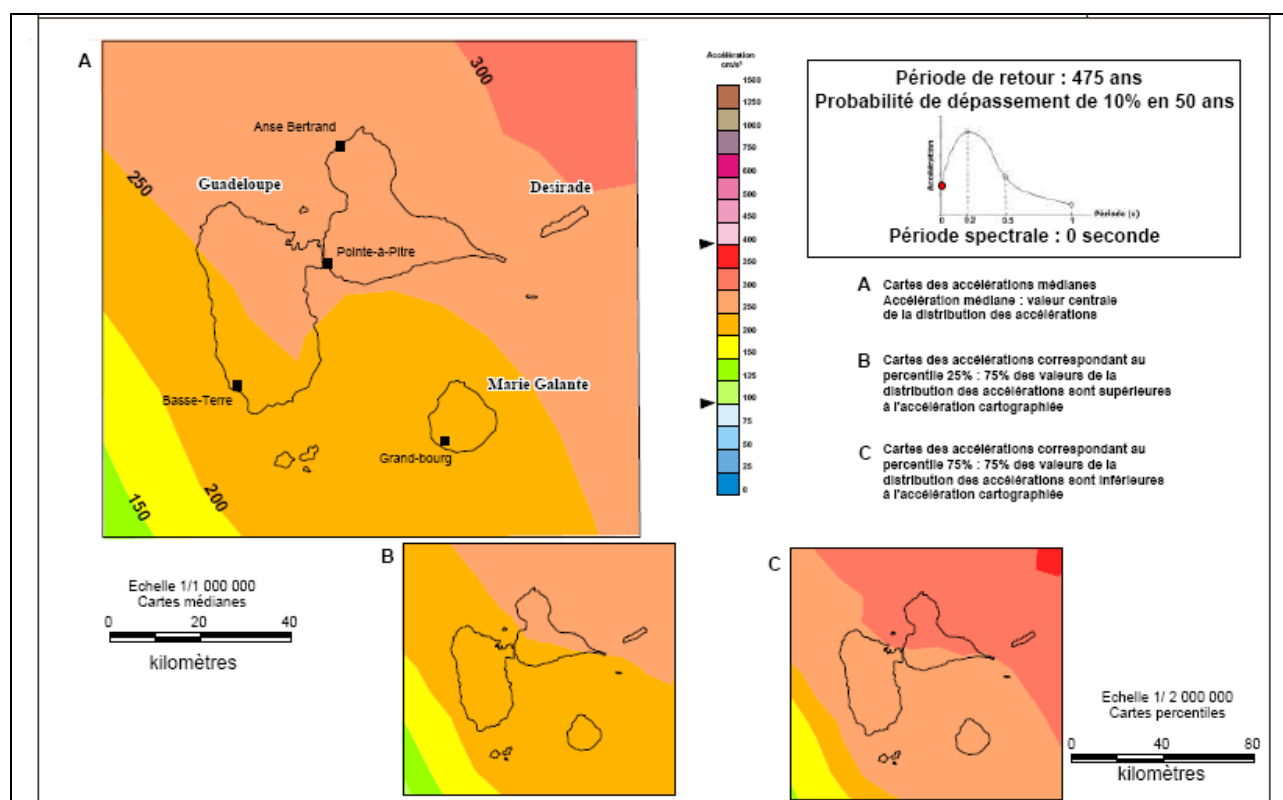


Figure D9 - Cartographie de l'accélération maximale du sol (cm/s²) sur un site rocheux, pour une période de retour de 475 ans (Martin et al. 2002) - source : GEOTER 2003.

Pour les trois communes, la valeur de l'accélération à 475 ans de période de retour est comprise entre 250 et 300 cm/s², valeur inférieure à celle de l'accélération nominale (350 cm/s²) des règles actuelles, adoptée pour le dimensionnement des ouvrages de classe B. Ce zonage technique ne correspond pas à la définition d'un niveau d'accélération réglementaire. Il laisse supposer que le niveau d'accélération nominale réglementaire est susceptible d'évoluer dès que le décret entérinant le zonage probabiliste aura été adopté.

Le séisme récent dit « des Saintes » ne fut pas majeur ; il provoqua toutefois des dommages importants et une victime fut à déplorer. Il vient nous rappeler que la menace des tremblements de terre est permanente sur l'ensemble de la Guadeloupe.

D1.3 - Liquéfaction des sols

Le terme de liquéfaction a historiquement été employé pour une variété de phénomènes qui impliquent des déformations du sol, induites par des perturbations monotones, transitoires ou répétées, de sols pulvérulents saturés en conditions non drainées. La génération d'un excès de pression interstitielle est une marque de tous les phénomènes de liquéfaction³⁶.

La tendance pour des sols pulvérulents secs à se densifier sous un chargement statique ou cyclique est bien connue. Quand ces sols sans cohésion sont saturés, l'occurrence d'un chargement rapide en conditions non drainées, a pour conséquence une densification qui produit :

- une augmentation de la pression interstitielle ;
- une diminution des contraintes effectives.

La liquéfaction correspond ainsi à une perte de résistance mécanique sous action sismique. Elle se traduit par la perte de la capacité portante des sols, des tassements, le plus souvent différentiels, ou des glissements horizontaux importants. De petits cônes de sable apparaissent à la surface du sol et certaines structures peuvent alors s'enfoncer, voire basculer entièrement. Les glissements horizontaux, concernant surtout le domaine littoral, fluvial, maritime ou lacustre, peuvent provoquer des déplacements pluridécimétriques inadmissibles.

Le phénomène peut se produire lorsque des couches sableuses, situées sous le niveau de la nappe phréatique et à moins d'une vingtaine de mètres de profondeur, perdent leur résistance au cisaillement, sous l'effet d'une sollicitation sismique par exemple, et se comportent dès lors comme un fluide.

L'occurrence de phénomènes de liquéfaction requiert un ensemble de conditions pour lesquelles on distingue habituellement :

- les facteurs permanents ou de prédisposition : Les **facteurs permanents** définissent dans l'espace (X, Y, Z) **la susceptibilité du sol à la liquéfaction**. Il s'agit notamment des conditions de dépôts, de l'hydrogéologie, de la nature lithologique et des caractéristiques mécaniques des formations lithologiques. Les sols plutôt pulvérulents, dans un état peu compact, peu contraints et situés sous la nappe (exemple des sables ou des limons lâches saturés) sont *a priori* suspects. Tous ces paramètres ne varient pas ou peu dans le temps, ce sont les conditions inhérentes au milieu physique.
- les facteurs déclencheurs ou aggravants : Les **facteurs déclencheurs** introduisent, en plus de l'aspect spatial, une condition temporelle sur l'occurrence du phénomène. Pour la liquéfaction, on considère essentiellement le déclencheur sismique comme le facteur aggravant. Il s'agit de **l'opportunité** que des ondes sismiques soient suffisamment énergiques pour provoquer le phénomène de liquéfaction.

Le phénomène de liquéfaction peut se manifester par des traces telles que :

- éjection de sable sous forme de volcans de boues et de fissures émissives ;
- remontée d'eau et « inondations » localisées ;
- rupture du sol (poinçonnement, tassement ou glissement).

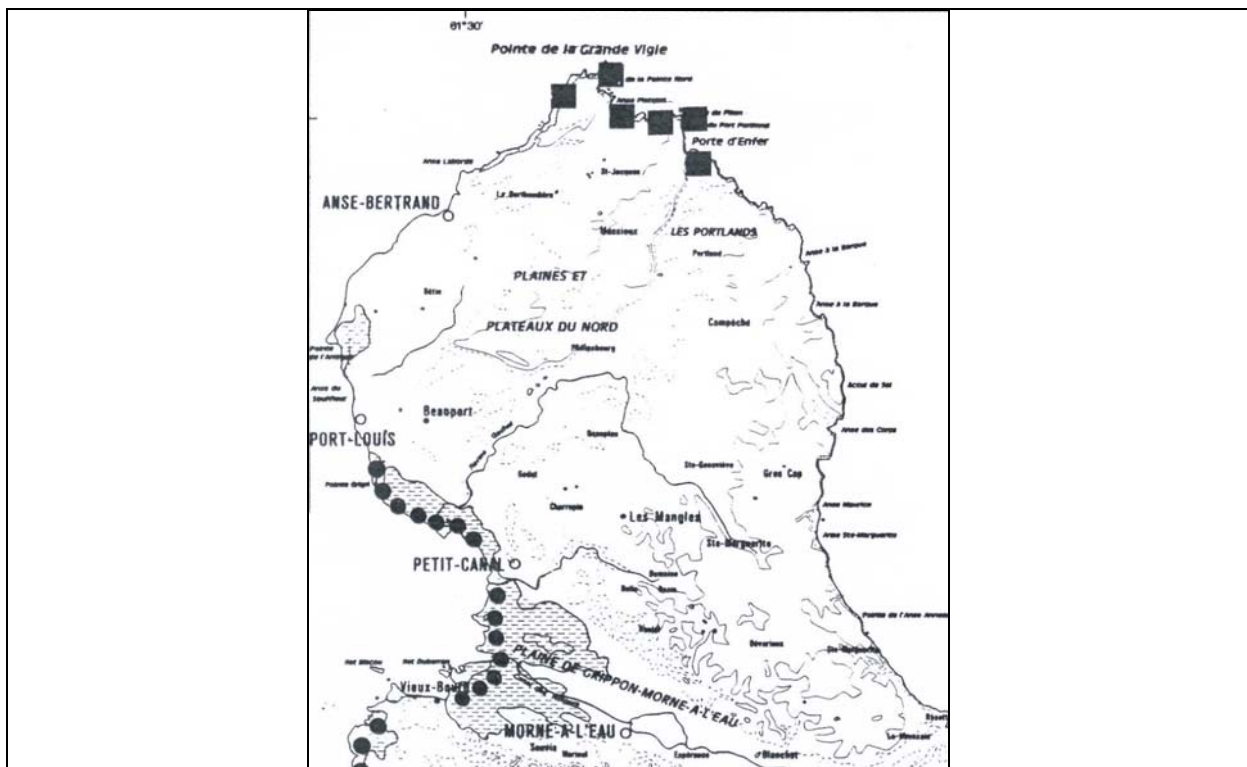
Ces traces que l'on observe parfois lors de séismes de forte magnitude, s'estompent le plus souvent assez rapidement après un tremblement de terre. La recherche de tels événements est par conséquent plus probante dans les écrits que sur le terrain.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE, à propos du séisme de 1843, (1843, in BERNARD et LAMBERT, 1985) rapporte de très nombreuses observations de phénomènes de liquéfaction sur la Grande-Terre (cf. Liquéfaction observée de façon précise Ecoulements)

Figure). Ces phénomènes sont localisés sur l'ensemble du littoral de la commune d'Anse-Bertrand, mais également dans la plaine de Cayes, en limite des collines calcaires. Dans ce cas, plusieurs excavations circulaires remplies d'eau, dont l'un d'un diamètre de 3 mètres environ et de 3 à 4 mètres de profondeur, ont présenté des signes de liquéfaction.

En revanche, il n'est pas rapporté de phénomène de liquéfaction relatif au séisme de 1897, ce qui est conforme aux critères magnitude – distance classiquement utilisés (AMBRASEYS, 1988).

Ainsi, au regard des témoignages historiques, le risque de liquéfaction est avéré en Guadeloupe.



Liquéfaction observée de façon précise Ecoulements

Figure D11 : Phénomènes de liquéfaction identifiés lors du séisme de 1843

D2 - EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA FAILLE ACTIVE

Les principes de la démarche d'évaluation sont donnés au chapitre D1.1. Cette démarche d'évaluation de l'aléa faille active est menée conformément à l'état de l'art, et notamment en considérant les références suivantes :

- réglementation parasismique en vigueur (règles PS 92) et à venir (Eurocode 8) ;
- guide méthodologique de réalisation des microzonages sismiques (AFPS, 1993) ;
- guide méthodologique de réalisation des PPR sismiques (MEDD et METLTM, 2002).

On rappelle que selon les études de synthèse réalisées conjointement par le BRGM et GEOTER, les activités sont jugées :

- faible (analyse multicritère) à moyenne (analyse simplifiée), pour la faille Nord Grippon,
- moyenne pour la faille de la Grande Vigie,
- forte pour celle de Montagne Vercinot.

La bande de neutralisation sera de 100 m de part et d'autre des failles dans les trois cas.

Aucune faille n'ayant montré en Guadeloupe d'indice de rupture en surface, la bande de neutralisation devra être réservée aux bâtiments de classe C et D, et pourra être levée si une étude spécifique est engagée pour déterminer, au droit du bâtiment, de son extension ou de son implantation future, la réalité de ladite faille.

Au-delà des failles majeures inventoriées dans les études précédemment citées, il existe sur l'ensemble de la Grande-Terre de nombreuses familles de discontinuités qui peuvent être identifiées dans la morphologie. Ces structures ne sont toutefois pas associées à une sismicité clairement établie ; elles n'engendreront par conséquent pas de contraintes vis-à-vis de l'occupation des sols au titre des failles dites actives avec rupture en surface.

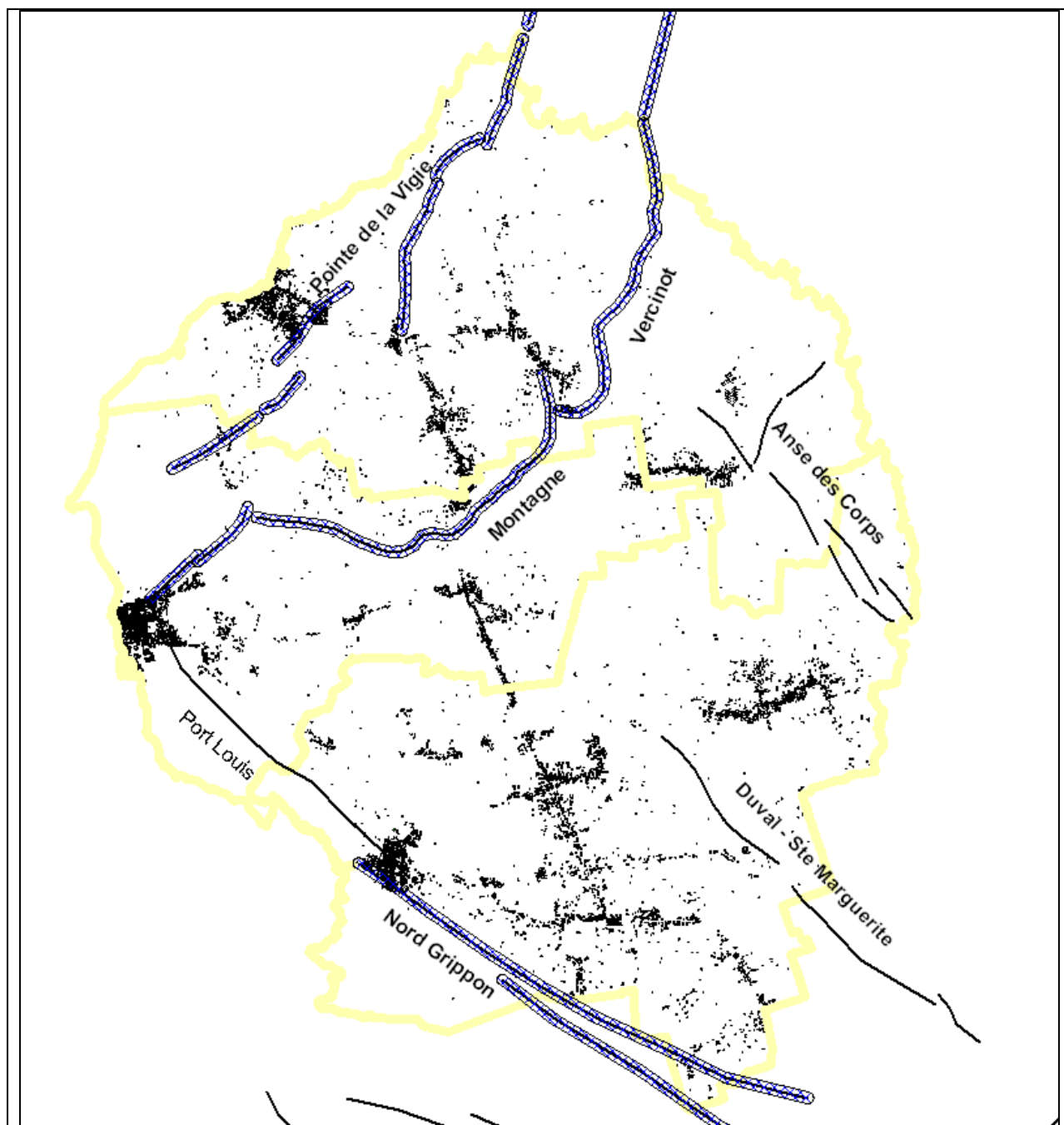


Figure D12 - Cartographie de l'aléa faille active, capable d'engendrer une rupture co-sismique en surface sur le Nord Grande-Terre

D3 - EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA SISMIQUE

D3.1 - Présentation de la démarche

La démarche suivie est conforme à l'état de l'art. Elle s'appuie notamment sur les documents de référence suivants :

- Réglementation parasismique en vigueur (règles PS 9214) et à venir (Eurocode 8) ;
- Guide méthodologique de réalisation des microzonages sismiques (AFPS, 1993) ;
- Recommandations du groupe de travail « failles actives avec rupture de surface » de l'AFPS ;
- Guide méthodologique de réalisation des PPR sismiques (MEDD et METLTM, 2002).

Pour l'application des règles nationales de construction parasismique, la sollicitation est essentiellement décrite par une expression de la forme :

- a_N . $S_i(T)$ pour les règles nationales PS92 ;
- a_g . $S_i(T)$ à l'occasion du futur Eurocode 8.

La signification est la suivante :

a_N et a_g traduisent la **composante régionale liée aux sources sismiques** à considérer. Elles n'ont cependant pas la même signification dans les 2 réglementations. Le coefficient a_N de la réglementation française correspond à une accélération de plateau du spectre, divisée par 2,5. Il varie également en fonction de l'importance de l'ouvrage (bâtiment B, C ou D). Le coefficient a_g correspond lui à une accélération à période nulle, pour une période de retour de 475 ans.

Le facteur de forme $S_i(T)$ fonction de la période, correspond à un spectre de réponse. Il traduit en particulier l'influence des **configurations géologiques**, capables de modifier le mouvement vibratoire (effets de site). La réglementation française distingue 4 types de configurations (S0, S1, S2 et S3), et la réglementation européenne 5 types de configurations de base (A, B, C, D, E) et deux sites spéciaux S1 et S2.

D3.2 - Mouvements sismiques au rocher

Au 1^{er} janvier 2007, la réglementation sismique en vigueur est celle des règles PS92 ; à ce titre, le département de la Guadeloupe étant situé en totalité en zone III, la plus forte du territoire national, les accélérations nominales réglementaire à retenir par classe de bâtiments sont les suivantes :

- Bâtiments de classe B : $A_N = 3.5 \text{ m/s}^2$
- Bâtiments de classe C : $A_N = 4.0 \text{ m/s}^2$
- Bâtiments de classe D : $A_N = 4.5 \text{ m/s}^2$

Toutefois, le zonage sismique de la France de 1985 (entériné par le décret de 1991) et les paramètres des actions sismiques des règles PS92 (instaurées par l'arrêté de 1997) sont en cours de révision sur la base notamment, de l'évaluation probabiliste de l'aléa sismique sur le territoire national, réalisée par GEOTER (MARTIN *et al.*, 2002) pour le compte du MEDD.

Comme le suggère les EC8, les mouvements pris en compte sont ceux correspondant à la période de retour de 475 ans. Cela signifie que les mouvements déterminés ont une probabilité de 10 % d'être atteints ou dépassés sur une période de 50 ans, qui correspond à la durée de vie moyenne d'un bâtiment courant de classe B.

En s'appuyant sur les résultats de l'étude probabiliste (MARTIN et al., 2002), la carte de l'accélération du sol correspondant à cette période de retour de 475 ans montre que les communes du Nord de la Grande-Terre, sont celles où l'aléa sismique régional est le plus fort de Guadeloupe.

Pour la commune d'Anse-Bertrand, la valeur de l'accélération à 475 ans de période de retour est comprise entre 2,5 et 3.0 m/s², valeur inférieure à celle de l'accélération nominale (3,5 m/s²) des règles actuelles, adoptée pour le dimensionnement des ouvrages de classe B. Ce zonage technique ne correspond pas à la définition d'un niveau d'accélération réglementaire. Il laisse supposer que le niveau d'accélération nominale réglementaire est susceptible d'évoluer dès que le décret entérinant le zonage probabiliste aura été adopté.

D3.3 - Mouvements sismiques tenant compte des conditions particulières de site

L'évolution attendue de la réglementation parasismique dans le cadre de l'EC8 conduit à une approche normalisée des spectres de réponse. Il s'agit de définir des spectres normalisés, calés à 1, spécifique à chaque condition de site. Ces spectres seront ensuite calés à l'accélération réglementaire valide au moment de leur utilisation. Une telle démarche offre une meilleure pérennité des documents du PPR.

Seuls les effets de site géologiques sont pris en compte.

L'intégration des effets de site topographique dans le calcul de l'agression sismique demande une topographie précise adaptée au projet de construction, et il n'existe pas une méthodologie suffisamment éprouvée pour prendre en compte les modifications locales du mouvement sismique parfois observées à proximité de la faille sismogène

Il est reconnu que les spectres de réponse normalisés définis pour chacun des sites A, B, C, D et E des Eurocodes présentent une pertinence supérieure à ceux définis pour la réglementation parasismique PS92 en cours. Ils seront utilisés dans le cadre du PPR, de préférence aux spectres PS92.

Une correspondance indicative vis-à-vis des types de sites réglementaires (PS92 et EC8) et en terme d'aléa est présentée dans le **Tableau D13** ci-après.

Cartographie des Atlas	Aléa « effet de site »	Type de site associé (indicatif)	
		PS 92	EC8
Zones sans effets de site	Négligeable	S0	A
Zones avec effets de site	Faible	S1	B
	Moyen	S2	C
	Fort	S3	D ou E

Tableau D13 : Correspondance entre les types de site et les niveaux d'aléa "effet de site" dans les zones à faible enjeux

Les classes de sols A, B, C, D et E des EC8 sont décrites dans le **Tableau** ci-après.

Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (coups/30 cm)	c_u (kPa)
A	Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant	> 800	-	-
B	Dépôts raides de sable, de gravier ou d'argile sur-consolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur	360 – 800	> 50	> 250
C	Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres	180 – 360	15 – 50	70 – 250
D	Dépôts de sol sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant une majorité de sols cohérents mous à fermes	< 180	< 15	< 70
E	Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de v_s de classe C ou D et une épaisseur comprise entre 5 m environ et 20 m, reposant sur un matériau plus raide avec $v_s > 800$ m/s			
S_1	Dépôts composés, ou contenant, une couche d'au moins 10 m d'épaisseur d'argiles molles/vases avec un indice de plasticité élevé ($PI > 40$) et une teneur en eau importante.	< 100 (valeur indicative)	-	10 – 20
S_2	Dépôts de sols liquéfiables d'argiles sensibles ou tout autre profil de sol non compris dans les classes A à E ou S_1 .			

Tableau D14 - Classes de sol des EC8

Le spectre de réponse élastique $S_e(T)$ pour les composantes horizontales de l'action sismique est défini par les expressions suivantes (cf. **Figure**) :

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$

avec :

- $S_e(T)$ spectre de réponse élastique ;
- T période de vibration d'un système linéaire à un seul degré de liberté ;
- a_g accélération de calcul pour un sol de classe A ($a_g = \gamma_I \cdot a_{gR}$) ;
- T_B limite inférieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante ;
- T_C limite supérieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante ;
- T_D valeur définissant le début de la branche à déplacement spectral constant ;
- S paramètre du sol ;
- η coefficient de correction de l'amortissement avec la valeur de référence $\eta=1$ pour 5% d'amortissement visqueux.

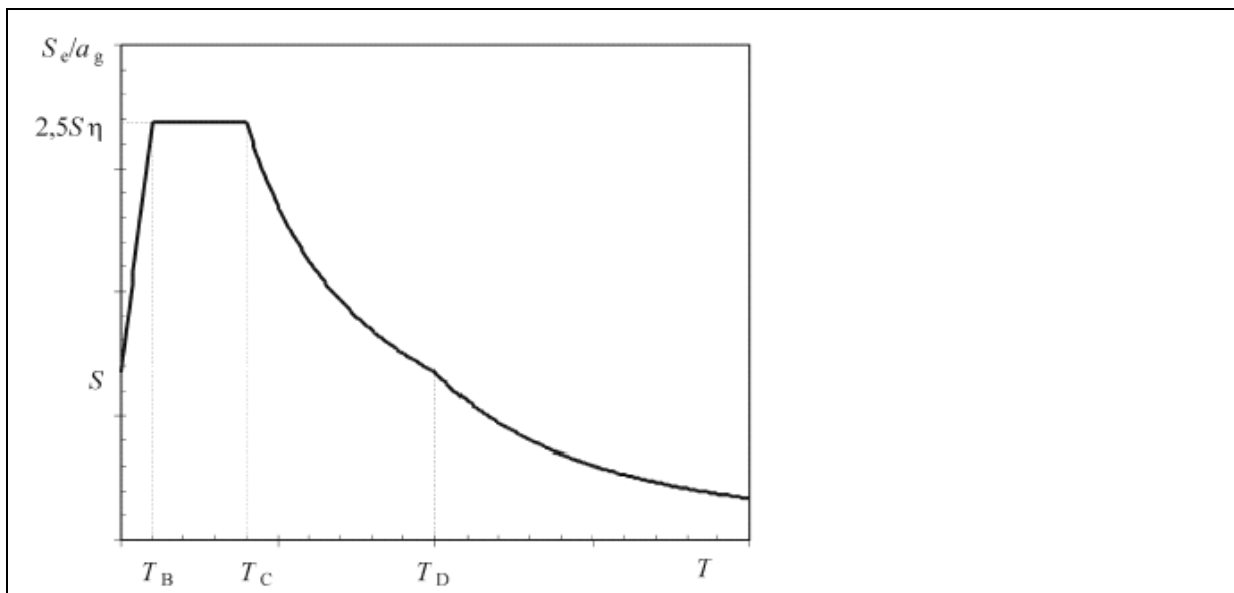


Figure D15 - Forme du spectre de réponse élastique

Les valeurs des périodes T_B , T_C et T_D et du paramètre du sol S qui décrivent la forme du spectre de réponse élastique dépendent de la classe de sol.

D3.4 - Evaluation et cartographie de l'aléa sismique

L'aléa sismique concerne l'ensemble du territoire communal. Il est caractérisé par :

- un paramètre de calage traduisant la composante régionale liée aux sources sismiques à considérer ;
- une forme spectrale correspondant à un type de site, propre à chacune des configurations locales de site, capables de modifier le mouvement vibratoire.

Compte tenu des éléments présentés dans les paragraphes précédents, la cartographie a été élaborée sur la base des types de site de l'EC8. Les spectres de réponse élastique normalisés associés aux types de sites A, B, C, D et E sont présentés dans la **Figure D16** ci-après.

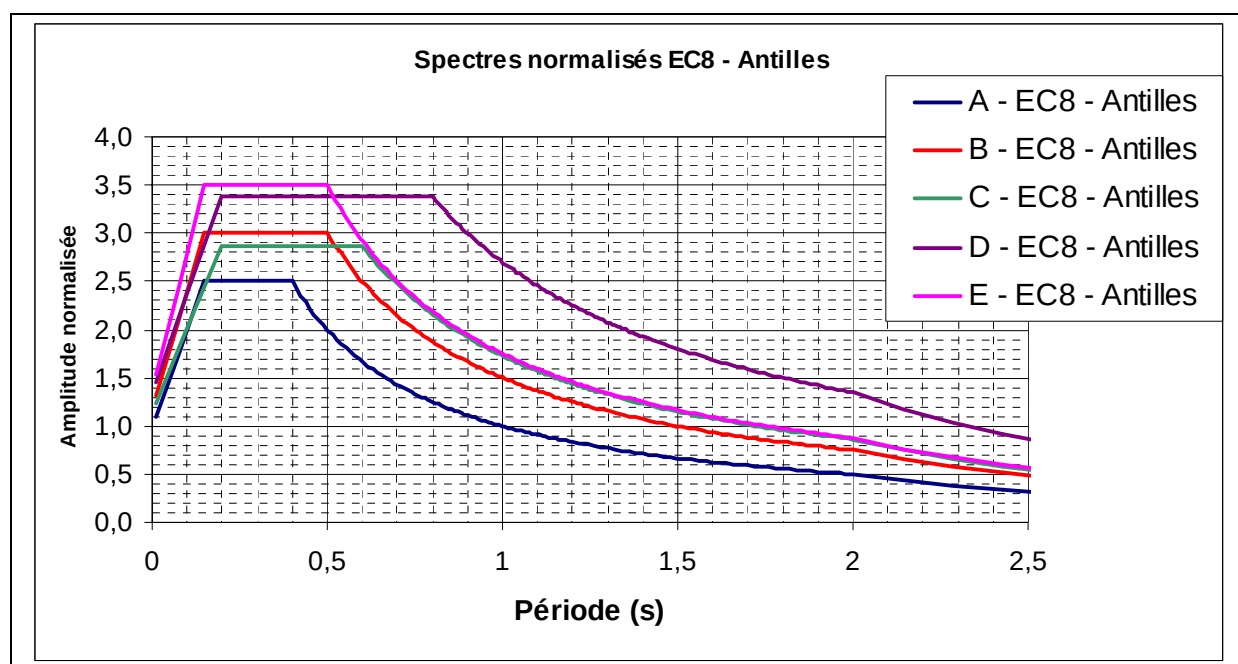


Figure D16 - Spectres normalisés EC8 pour les sites A,B,C,D et E aux Antilles

	A	B	C	D	E
S	1,00	1,20	1,15	1,35	1,40
T_B	0,15	0,15	0,20	0,20	0,15
T_C	0,40	0,50	0,60	0,80	0,50
T_D	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

Les correspondances indicatives entre classes de sol, formations géologiques (pour les principales) et types de site EC8 sont présentées dans le tableau ci-après.

Type de site EC8	Lithologie type	Formation géologique
A	Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant	Calcaires biodétritiques et calcaires à polypiers (p1, p2, IVi, A/IVi)
B	Dépôts raides de sable, de gravier ou d'argile sur-consolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur.	
C	Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres.	
D	Dépôts de sol sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant une majorité de sols cohérents mous à fermes	Formations superficielles (RA)
E	Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de v_s de classe C ou D et une épaisseur comprise entre 5 m environ et 20 m, reposant sur un matériau plus raide avec $v_s > 800$ m/s	Mangroves (RFM)

La carte des effets de site sismiques réalisée sur la base des seuls effets de site lithologiques est présentée sur la figure ci-dessous ; elle repose sur les correspondances suivantes :

Type de site EC8	Aléa effet de site sismique
A	Nul
B	Faible
C	Moyen
D	fort
E	

Les deux formations superficielles, vertisols et sols vertiques à smectites (RA), et mangroves (RFM) sont classées comme pouvant générer des effets de site sismiques importants.

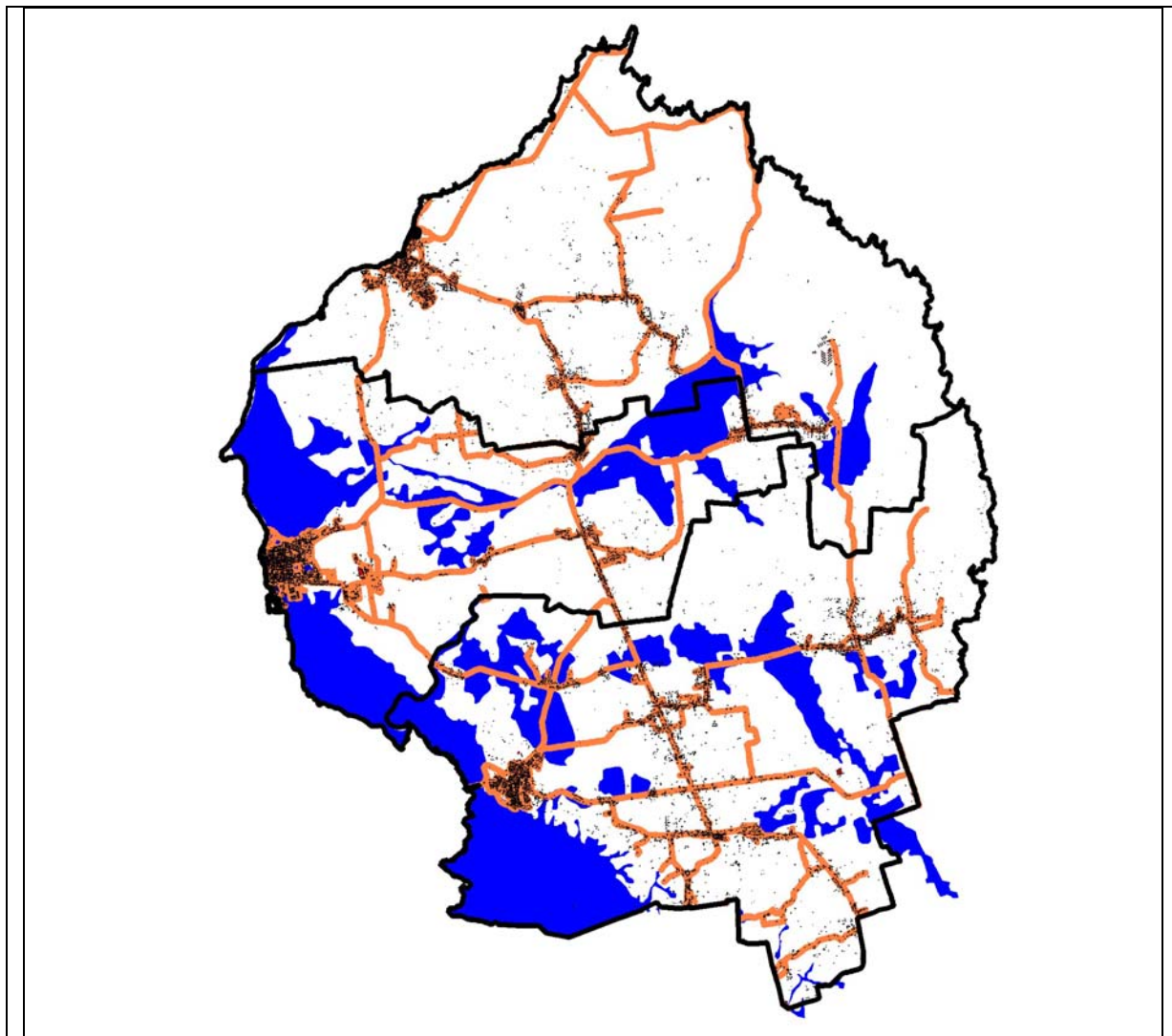


Figure D17 - Carte des effets de site lithologiques sur le Nord Grande-Terre

D4 - EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA LIQUEFACTION

Compte tenu des enjeux présents sur la commune d'Anse-Bertrand, et des conséquences du zonage de l'aléa liquéfaction dans le PPR et dans l'occupation des sols, l'évaluation et la cartographie de l'aléa liquéfaction ont été réalisés selon une approche dite naturaliste.

Comme cela a été présenté précédemment, la Grande-Terre a été largement affectée par des phénomènes de liquéfaction lors du séisme de 1843. L'ensemble des zones littorales basses a été concerné ; cela signifie qu'au-delà des caractéristiques propres des formations susceptibles de liquéfier, l'initiation du processus par des vibrations sismiques est possible.

Deux critères essentiels entrent en ligne de compte dans la susceptibilité à la liquéfaction :

la nature lithologique des formations superficielles,
la présence d'une nappe subaffleurante.

Les formations de mangroves et les autres formations superficielles récentes dans lesquelles les niveaux de nappe sont souvent sub-affleurant peuvent se liquéfier ; le séisme de 1843 en témoigne.

Les remblais peuvent également présenter des caractéristiques propices à la liquéfaction. Ils ne sont toutefois pas représentés sur la carte géologique, et aucun inventaire systématique n'a été réalisé.

Ainsi, on retiendra le tableau suivant :

Formation géologique	Nature lithologique Susceptible de liquéfier	Nappe affleurante	Niveau d'accélération sismique suffisant	Niveau d'aléa
Sable de plage	Oui	Oui	Oui	Fort
Mangroves	Oui	Oui	Oui	Moyen à fort
Formations superficielles (RA)	Possible	Possible	Oui	Moyen
Reste de la commune	non	Possible	possible	Négligeable

La carte d'aléa liquéfaction sur le Nord Grande-Terre est présentée ci-dessous.

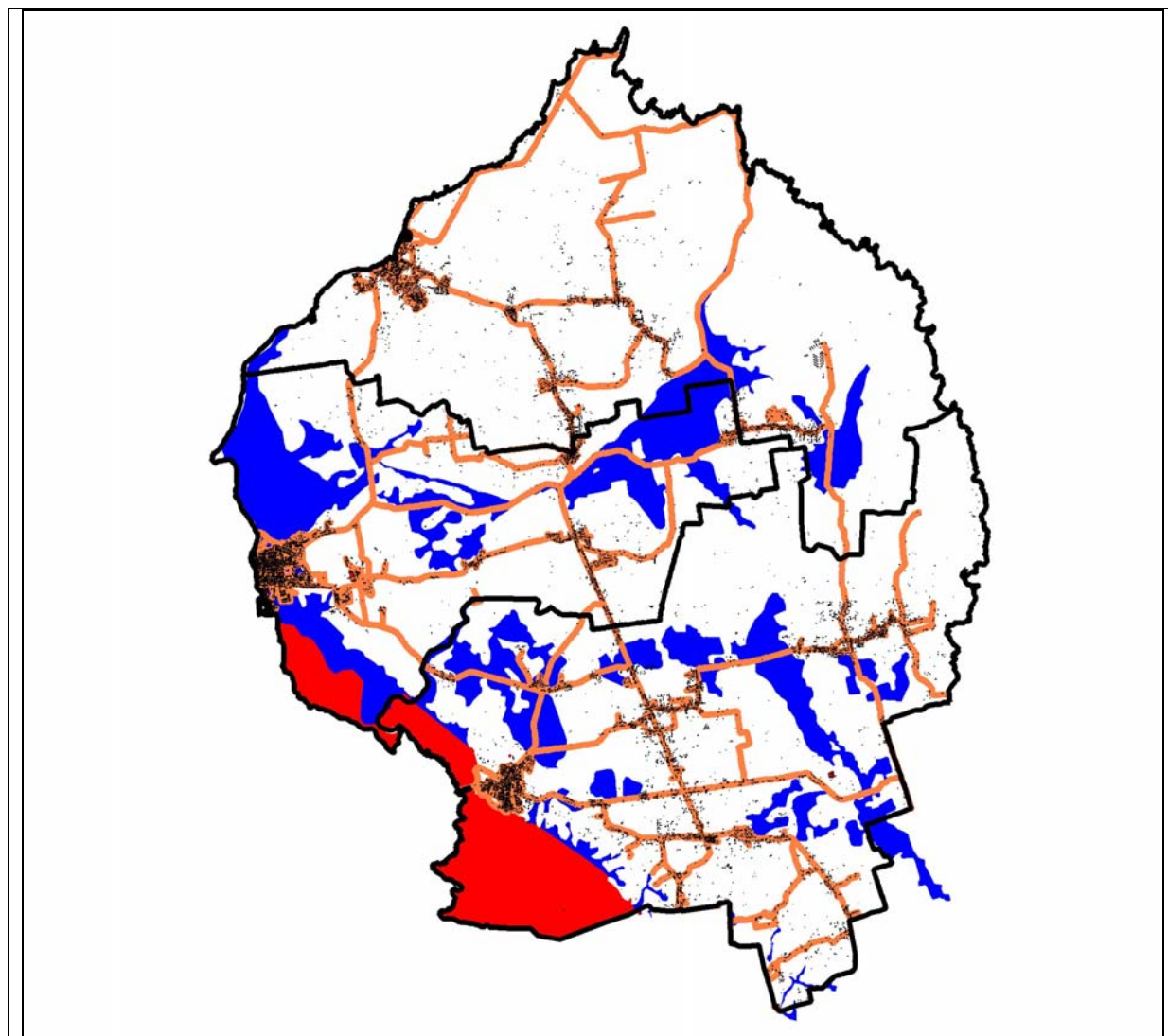


Figure D18 - Carte d'aléa liquéfaction sur le Nord Grande Terre

E – ALEAS LIES AUX MOUVEMENTS DE TERRAIN

E1 – RAPPEL SUR LA GÉOLOGIE DES TERRITOIRES CONCERNÉS

D'un point de vue géologique, la Grande Terre est constituée d'un socle magmatique rigide, recouvert par des terrains sédimentaires. Sous l'effet de la tectonique, l'ensemble de ces terrains a subi des déformations, à l'origine de la présence de failles actives.

Les communes d'Anse Bertrand, Port Louis, et Petit Canal appartiennent à l'ensemble morphologique sédimentaire des « plateaux du Nord », incliné d'Est en Ouest. Au niveau de ces communes affleurent des calcaires à polypiers du Plio-Pléistocène et des formations superficielles du Quaternaire. Par ailleurs, les communes de Petit Canal et Port Louis sont structurées autour d'un réseau de failles, d'orientation NW-SE et N-S pour Petit Canal, et NW-SE et SW-N pour Port Louis.

Les calcaires de la Grande Terre, solubles, ont généré un modèle karstique. Les calcaires durs, relativement massifs, riches en polypiers, sont généralement emballés dans des calcaires tendres, de solidité médiocre. Ces caractéristiques lithologiques expliquent une hétérogénéité marquée en termes de perméabilité.

Les calcaires subissent une érosion chimique sous l'effet des conditions météorologiques locales. Cette dissolution crée des cavités souterraines qui peuvent localement s'effondrer, donnant en surface ponctuellement des dépressions ou dolines. Ce même processus est encore accentué le long du littoral par l'action de la mer. Les sous cavages provoqués par la dissolution des formations les plus tendres provoquent d'inexorables éboulements qui contribuent au développement de falaises abruptes.

Le fond des dolines est généralement tapissé d'argiles sur des épaisseurs plus ou moins importantes. Cela génère un triple problème :

- d'une part, ces argiles constituent un horizon plus ou moins imperméable qui facilite la rétention des eaux de pluie et de ruissellement, ralentissant mais sans l'empêcher à moyen terme leur infiltration vers les cavités sous-jacente : elles facilitent donc des inondations temporaires,
- d'autre part, ces argiles sont compressibles et peuvent nuire à la stabilité des fondations,
- enfin, comme on l'a vu, les progrès de la dissolution à chaque phase d'infiltration, même lente, peuvent conduire à des ruptures et effondrements brutaux.

Ces caractéristiques expliquent les deux principaux types de phénomènes dangereux que l'on peut rencontrer sur le territoire des trois communes. Le mécanisme de dissolution qui en est la cause est le même, mais sa manifestation est différente selon que l'on est sur le littoral ou à l'intérieur des terres. Par ailleurs, cette nature relativement homogène et continue du substratum rocheux ne favorise guère l'apparition de glissements de terrain au sens strict. On ne mentionne aucun glissement superficiel important, sinon des ruptures locales de talus, de faible dimension, et qui relèvent des mécanismes précédents.

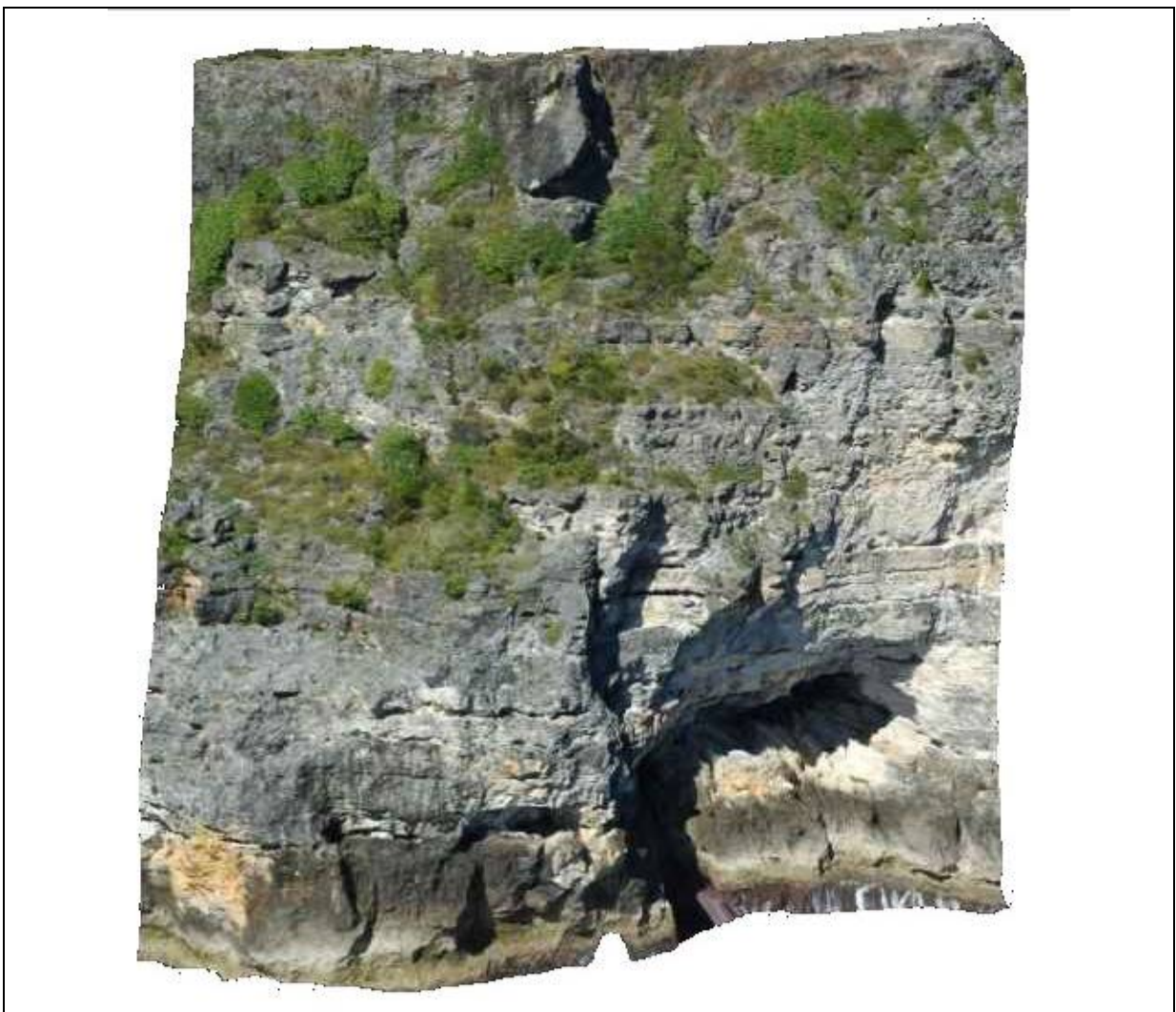
On s'est donc efforcé d'identifier séparément et successivement :

- **les aléas d'éboulements et d'effondrements de falaises rocheuses sur le littoral,**
- **les aléas d'affaissement et d'effondrements des dolines dans l'intérieur des territoires**

E2 - LES ALÉAS D'ÉBOULEMENT ET D'EFFONDREMENT DE FALAISES ROCHEUSES SUR LE LITTORAL

Il est omniprésent sur les côtes Ouest et Nord, sur les communes de Petit Canal et Anse Bertrand. Sur cette dernière, un cas particulier¹ a été étudié par GIPEA pendant la même période durant laquelle était mené le présent projet de PPR. Cela a donné une opportunité exceptionnelle de survoler le littoral à basse altitude avec un hélicoptère de la protection civile. On a pu ainsi couvrir une bonne partie du littoral avec des photographies obliques rapprochées qui permettent de comprendre le détail de certains mécanismes.

Un traitement volumétrique de la portion de falaise correspondante a été mené dans ce cas particulier et permet de mesurer l'importance du sous-cavage provoqué par la dissolution karstique en pied de falaise, au niveau de la mer.



L'instabilité de la falaise à Grande Vigie. On discerne en bas, à gauche le sous cavage important créé par la dissolution sous l'effet de la mer, et en haut la masse instable dangereuse à court terme.

¹ Il s'agit de l'étude de stabilité d'un compartiment instable de 2000 tonnes à Grande Vigie, à proximité du parking qui dessert le circuit piétonnier touristique du Nord.

S'il n'est pas possible de consentir le même traitement pour l'ensemble du littoral, cela suffit pour qualifier l'aléa de fort chaque fois que la morphologie révèle des talus abrupts. C'est le cas non seulement sur le littoral, mais également à l'intérieur, et notamment sur le bord du massif de la montagne, le long de failles principales.

C'est donc un critère morphologique de pente que l'on a choisi pour qualifier l'aléa. À partir du calcul d'une carte des pentes sur l'ensemble du territoire, on a affecté les aléas de la façon suivante :

	Pente exprimée en degrés
Aléa très fort	Supérieure à 45 degrés
Aléa fort	Comprise entre 35 et 45 degrés
Aléa moyen	Comprise entre 25 et 35 degrés
Aléa faible	Comprise entre 15 et 25 degrés

Les cartes correspondantes sont fournies en annexe, avec les mêmes découpages et formats que pour les aléas présentés précédemment.

Par ailleurs, l'ensemble des photographies collectées au cours de la mission aérienne fait également l'objet d'un cahier annexé.

E2 - LES ALÉAS LIÉS AUX EFFONDEMENTS DES DOLINES

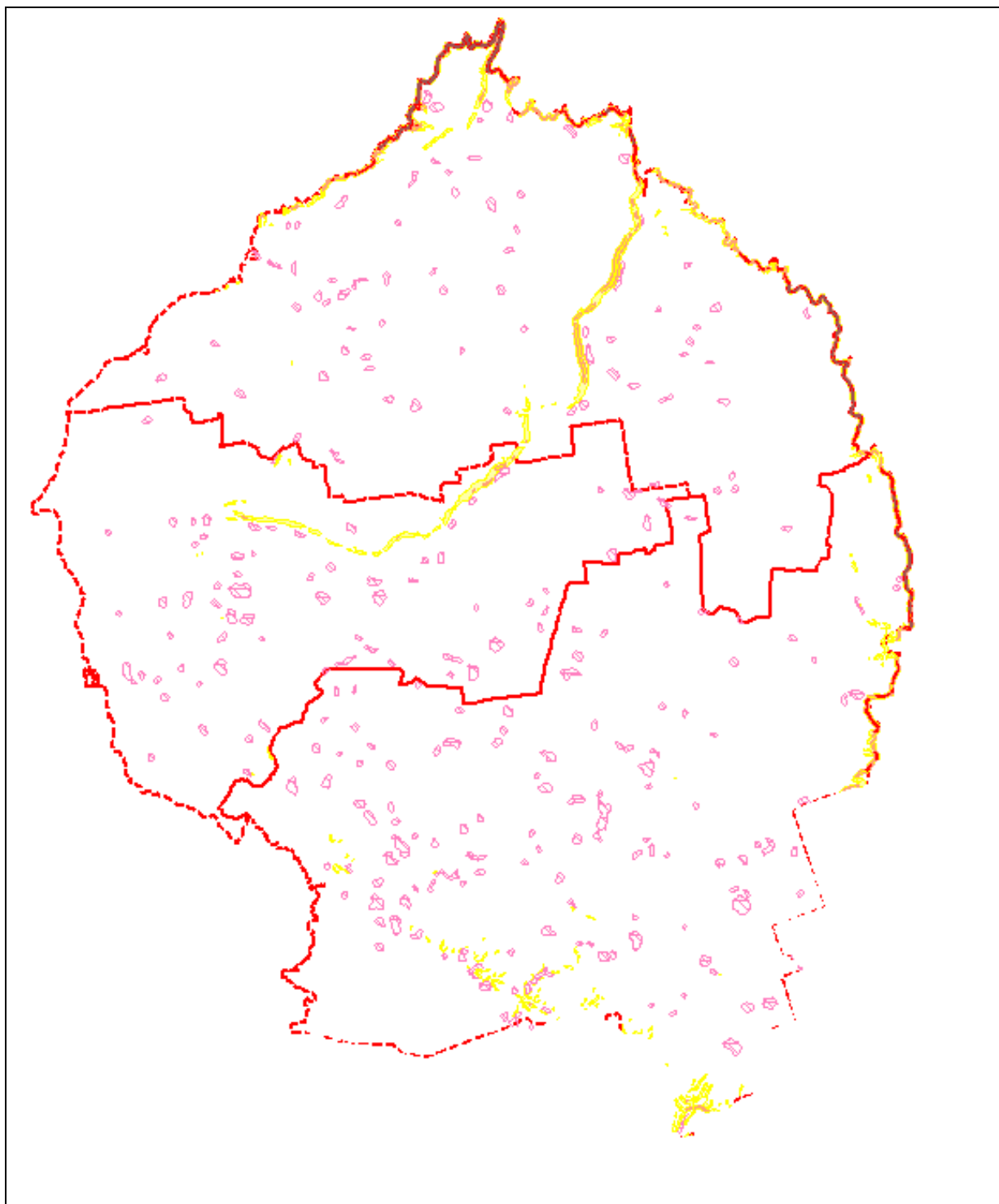
E2.1 – La mise au point d'une méthode de détermination des dolines

Pour aider au travail de terrain, GIPEA a développé un algorithme particulier d'extraction, à partir du MNT, de toutes les dépressions fermées marquées par la topographie. Il faut souligner cependant que MNT a une résolution limitée. La méthode méritera donc d'être remise en œuvre le jour où l'on disposera d'une meilleure définition topographique du territoire. Les vérifications de terrain ont toutefois montré qu'elle donnait déjà des résultats très intéressants.

On a ainsi dressé une carte inventoriant toutes les dolines sur le territoire de Grande Terre. Ces dépressions ont ensuite fait l'objet d'un classement selon leurs profondeurs.

Ce traitement a permis de déceler 845 dépressions sur la zone d'étude et de mesurer leur profondeur et leur extension en surface :

- la profondeur varie entre 1 et 21 mètres, mais la plupart des dépressions ne sont profondes que de 1 à 2 mètres, ce qui, compte tenu de la résolution du MNT, laisse planer un doute sur leur signification. On remarque un que les plus profondes sont, situées à proximité du littoral, et correspondent bien à des zones d'effondrement,
- la surface de ces dépressions s'échelonne entre 0.01 et 71 hectares, mais la majorité (61%) s'étend sur au plus un hectare.

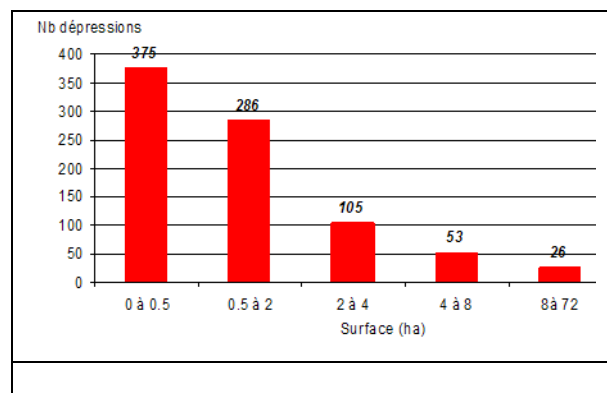
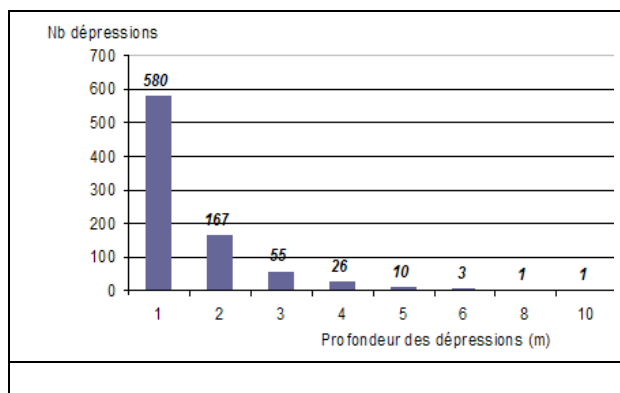


**Les aléas d'éboulements de falaise et d'affaissements et effondrements de dolines sur Grande Terre :
aperçu général. On trouvera les cartes détaillées en annexe**

Les tableaux suivants illustrent ces résultats.

Profondeur des dépressions (m)	Nombres de dépressions	Pourcentage
1	580	68.5%
2	167	20%
3	55	6.5%
4	26	3%
5	10	1.2%
6	3	0.35%
8	1	0.1%
Supérieure à 8	3	0.35%

	Min	Max
Profondeur (m)	1	21
Surface (ha)	0.01	71



On a procédé à une double vérification de ce processus de repérage des dolines :

- d'abord par interprétation photostéréoscopique,
- ensuite par vérification sur le terrain.

Cette double vérification a porté sur les dépressions de profondeur supérieure à 2 mètres. Elle a permis de vérifier une concordance satisfaisante entre le repérage automatisé et la réalité.

Cette concordance est encore renforcée par les témoignages apportés aussi bien à Anse Bertrand qu'à Port Louis sur les problèmes géotechniques (surcoûts de fondations, difficultés et légers désordres) constatés lors de la réalisation de deux projets sur des zones ainsi décelées (collège d'Anse Bertrand notamment).

E2.2 – L'alea « doline »

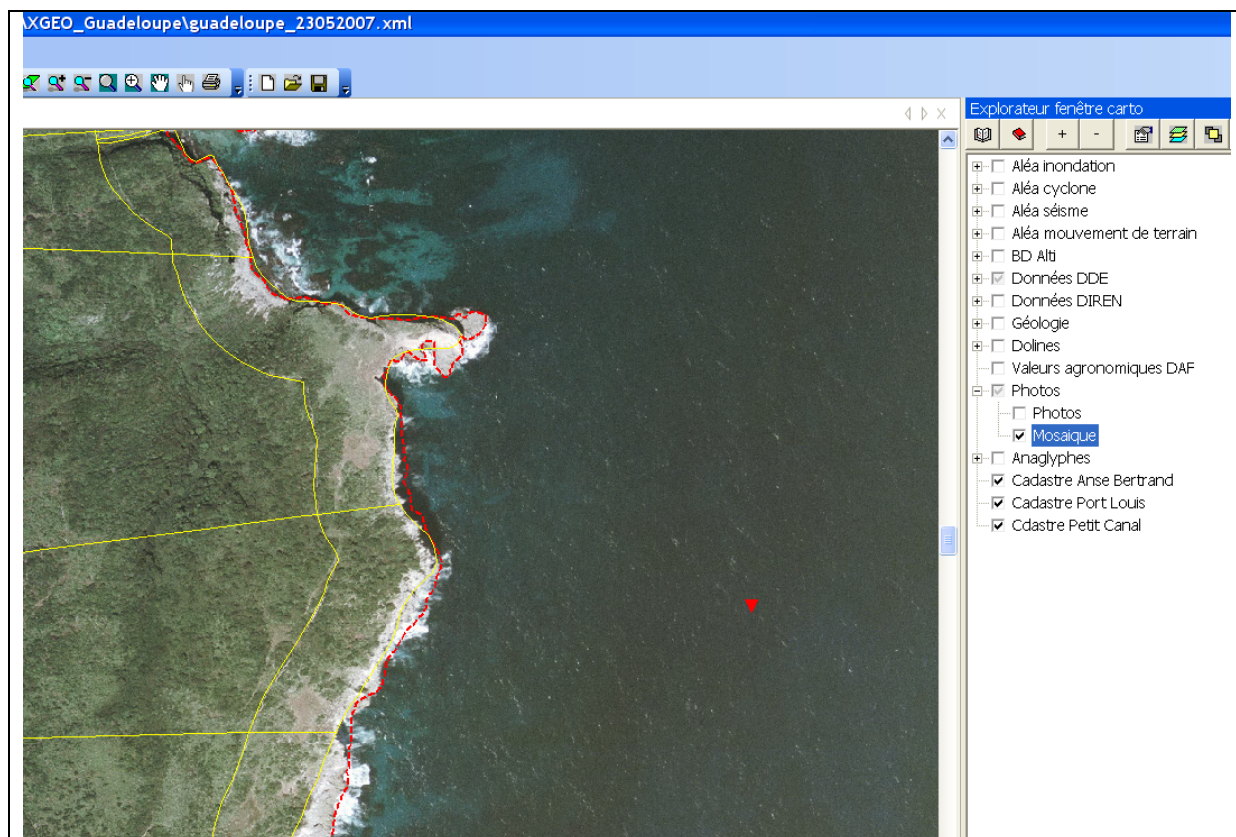
Cette réflexion ne suffit toutefois pas pour proposer une hiérarchisation de l'alea « doline ». Il faudrait pour cela recourir à de véritables investigations géotechniques.

C'est pourquoi on propose un affichage d'un alea « moyen », homogène, qui aura pour objectif d'attirer l'attention des urbanistes et aménageurs sur la nécessité de mettre en œuvre sur ces zones, en accompagnement d'études géotechniques et pour leur bonne réalisation, des moyens d'investigation particuliers qui seront proposés dans le règlement. On ne saurait interdire ou réglementer à priori le développement, mais le soumettre à des réflexions préalables dont l'objectif sera clairement défini.

ANNEXE AU CHAPITRE E : PHOTOGRAPHIES HÉLIPORTÉES DE LA CÔTE

Ces photographies sont insérées sur le disque d'exploitation du système XGEO, en mode utilisateur fourni aux communes et au service SERAU – PRQC de la DDE Guadeloupe.

Le processus de lecture est illustré sur le schéma suivant. En sélectionnant Photo/Mosaïque dans l'arborescence de droite, on peut sélectionner le point de vue d'où est constituée la mosaïque. En ouvrant la fenêtre d'affichage correspondante, la mosaïque apparaît à l'écran, avec des possibilités de zoom et d'exportation d'images.



Sélection du point de vue (triangle rouge)



Affichage de la mosaïque des photographies correspondantes

On peut faire la même chose au niveau élémentaire de chaque photographie. C'est alors la photographie et non l'assemblage de plusieurs photographies sur une même mosaïque qui apparaît.

Il faut bien comprendre que, bien au-delà des objectifs affichés du PPR, ces photographies constituent une base de données précieuse pour le suivi de l'évolution des phénomènes littoraux dangereux.