



**POLE GEO-ENVIRONNEMENT**

3, rue Jean Monnet

34830 Clapiers - France

Tél : 0467591811

Fax : 0467591824

Email : [geoter@geoter.fr](mailto:geoter@geoter.fr)

Site Web : <http://www.geoter.fr>



**DEAL Guadeloupe**  
**Service Risque, Energie et Déchets (RED)**  
**Pôle Risques Naturels(RN)**  
**Cellule Prévention des Risques (PR)**



**RAPPORT FINAL**

**PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES NATURELS  
MÉTÉOROLOGIQUES ET GÉOLOGIQUES  
COMMUNE DE CAPESTERRE DE MARIE-GALANTE**

*Note de présentation*

**RAPPORT GTR/DDEG/1007-409**

**GEOTER S.A.S.**

Capital 384 000 € - R.C.S. Montpellier 479 529 182 – APE 742 C

Client : <b>DEAL GUADELOUPE</b>	Nature du document : <b>RAPPORT FINAL</b>	Identification : <b>GTR/DDEG/1007-409</b> <b>N° Affaire : 4206</b>	
Destinataire : <b>M. Gérard LOUSTALOT</b> <b>M. Philippe THENARD</b>	Archivage GEO-TER (texte et figures) : GTI/Affaires/4206	Date d'origine : 10/2007	Nbre pages : 79

TITRE RAPPORT :

# PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES NATURELS MÉTÉOROLOGIQUES ET GÉOLOGIQUES COMMUNE DE CAPESTERRE DE MARIE-GALANTE

SOUS TITRE RAPPORT :

## *Note de présentation*

Réalisation :



**GEOTER** international

Espace 890  
Route Nationale 96  
13360 ROQUEVAIRE – France

Tél. : (33) 04 42 36 08 60  
Fax : (33) 04 42 36 08 61  
Courriel :  
[geoter.international@geoter.fr](mailto:geoter.international@geoter.fr)

N° de commande : Acte d'engagement

Date : 26/10/2006

Approbation CLIENT : M. LOUSTALOT – P. THENARD  
Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement  
(DEAL) de la Guadeloupe, Service Risques, Énergie et Déchets (RED),  
Pôle Risques Naturels (RN), Cellule Prévention des Risques (PR),  
Saint-Phy, BP 54, - 97102 Basse-Terre Cedex

Ce document est propriété du client et ne peut être reproduit ou communiqué sans son autorisation

Date	Rédacteurs	Vérificateur	Approbateur
26/10/2007	O. MONGE R. JOURNEAU D. CARBON	Ch. MARTIN	Ch. MARTIN
Visas			

**GEOTER S.A.S.**

Capital 384 000 € - R.C.S. Montpellier 479 529 182 – APE 742 C

---

# SOMMAIRE

<b>1 LA DÉMARCHE GLOBALE DE GESTION DES RISQUES NATURELS.....</b>	<b>5</b>
1.1 Les risques naturels.....	5
1.2 Les Plans de Prévention des Risques (PPR) .....	5
<b>2 LES RAISONS DE LA PRESCRIPTION DU PPR.....</b>	<b>6</b>
<b>3 LE CONTEXTE PHYSIQUE DE MARIE-GALANTE.....</b>	<b>7</b>
3.1 Contexte morphologique.....	7
3.2 Contexte climatique.....	8
3.3 Contexte géologique.....	9
3.4 Contexte géotechnique.....	11
<b>4 LES PRINCIPAUX ENJEUX.....</b>	<b>14</b>
4.1 Principe et objectif.....	14
4.2 Zonage des enjeux.....	14
4.3 Identification des principaux enjeux.....	16
4.4 Données relatives aux réseaux.....	16
<b>5 PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES.....</b>	<b>18</b>
<b>6 PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES.....</b>	<b>21</b>
6.1 Phénomènes volcaniques.....	21
6.2 Tremblement de terre.....	21
6.3 Phénomènes de mouvements de terrain.....	33
<b>7 ALÉAS CYCLONIQUES.....</b>	<b>39</b>
7.1 Modélisation de la houle.....	39
7.2 Evaluation et cartographie des aléas houle et submersion cycloniques.....	43
7.3 Commentaires de la carte.....	45

---

<b>8 ALÉAS INONDATIONS.....</b>	<b>46</b>
8.1 Remarques préliminaires.....	46
8.2 Présentation de la démarche.....	46
8.3 Evaluation de l'aléa inondation .....	48
8.4 Commentaires de la carte d'aléa inondation.....	49
<b>9 ALÉAS SISMIQUES.....</b>	<b>51</b>
9.1 Secousse sismique.....	51
9.2 Faille active, capable d'engendrer une rupture cosismique en surface.....	54
9.3 Liquéfaction des sols.....	59
<b>10 ALÉAS MOUVEMENTS DE TERRAIN.....</b>	<b>61</b>
10.1 Typologie des phénomènes.....	61
10.2 Facteurs de prédispositions ou permanents.....	61
10.3 Facteurs déclencheurs ou aggravants : occurrence temporelle.....	62
10.4 Intensité des phénomènes.....	62
10.5 Evaluation de l'aléa chute de blocs et éboulement.....	64
<b>11 PRÉSENTATION DU PLAN DE ZONAGE ET DU RÈGLEMENT.....</b>	<b>67</b>
11.1 Présentation du plan de zonage.....	67
11.2 Présentation du règlement.....	70
<b>12 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>71</b>
<b>13 LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>72</b>
<b>14 LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>73</b>
<b>15 PLANCHES HORS TEXTE.....</b>	<b>74</b>
<b>16 LISTE DES ENCARTS.....</b>	<b>74</b>

# PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES NATURELS MÉTÉOROLOGIQUES ET GÉOLOGIQUES COMMUNE DE CAPESTERRE DE MARIE-GALANTE

## *Note de présentation*

## 1 LA DÉMARCHE GLOBALE DE GESTION DES RISQUES NATURELS

### 1.1 Les risques naturels

En matière de sécurité face aux risques naturels, l'action de la collectivité prend trois formes principales : l'alerte, la protection et la prévention.

- **L'alerte** consiste à prévenir à temps la population et les responsables de la sécurité pour que des dispositions de sauvegarde soient prises.
- **La protection** est une démarche plus active. Elle met en place un dispositif qui vise à réduire, à maîtriser, à supprimer les effets d'un aléa.
- **La prévention** est une démarche fondamentale à moyen et long termes. La prévention consiste essentiellement à éviter d'exposer les personnes et les biens par la prise en compte du risque dans la vie locale et notamment dans l'utilisation et l'aménagement du territoire communal. Elle permet aussi des économies très importantes en limitant les dégâts. En effet, un événement naturel majeur peut avoir un coût considérable : endommagement des biens privés et des infrastructures publiques, chômage technique, indemnités, mises en état, coût des personnels et des matériels mobilisés sans compter les effets psychologiques.

### 1.2 Les Plans de Prévention des Risques (PPR)

Les PPR poursuivent deux objectifs principaux :

- **Constituer et divulguer une connaissance du risque**, pour que chaque personne concernée soit informée et responsabilisée.
- Instituer une **réglementation minimum mais durable**, afin de garantir les mesures de prévention. C'est pour cela que le PPR constitue une **servitude d'utilité publique** affectant l'utilisation du sol et s'impose notamment au plan local d'urbanisme (PLU) lorsqu'il existe.

**Le PPR est donc aussi l'outil qui permet d'afficher et de pérenniser la prévention.**

Il est utile de préciser qu'avant l'approbation des PPR, il était déjà tenu compte des risques naturels dans la délivrance des Permis de Construire. En Guadeloupe, les atlas communaux étaient exploités en tant que documents informatifs, portant à connaissance les risques naturels.

## 2 LES RAISONS DE LA PRESCRIPTION DU PPR

Les communes de Guadeloupe sont exposées à plusieurs phénomènes naturels, météorologiques et géologiques. Pour mémoire, il suffit de rappeler quelques unes des manifestations naturelles :

- Le grand cyclone de 1928 (12 septembre), qui fit des milliers de victimes en Guadeloupe ;
- Les vents violents de l'Ouragan Hugo qui cyclonèrent une grande partie de la Guadeloupe en septembre 1989 ;
- Les inondations récurrentes lors de fortes pluies comme JEANNE (septembre 2004) ou celles de novembre 2004 ;
- Le séisme du 8 février 1843 qui fit des milliers de victimes en Guadeloupe ;
- Plus récemment, le séisme du 21 novembre 2004, moins catastrophique mais qui reste très présent dans les esprits des Marie-Galantais ;
- Les mouvements de terrains, dont le déclenchement se généralise lors d'épisode pluvieux importants ;

Ces événements naturels ont ainsi donné lieu à plusieurs arrêtés de catastrophe naturelle (CAT-NAT, Tableau 1), démontrant incidemment la vulnérabilité des biens exposés.

L'exposition de la commune aux risques naturels justifie donc la prescription du présent Plan de Prévention des Risques naturels météorologiques et géologiques.

Type de catastrophe	Evénement	Arrêté
Phénomène lié à l'atmosphère - Cyclone/ouragan (vent). Inondation : - Par submersion marine - Marée de tempête. - Par ruissellement et coulée de boue. - Par une crue (débordement de cours d'eau). Mouvement de terrain	4 au 7/09/1995 (Ouragan LUIS)	19/09/1995
Séisme	21/11/2004 (séisme des Saintes)	11/01/2005

Tableau 1 : Arrêtés de catastrophe naturelle (d'après <http://www.prim.net>).

### 3 LE CONTEXTE PHYSIQUE DE MARIE-GALANTE

La superficie de l'île de Marie-Galante est de 158 km<sup>2</sup>, dont 46,1 km<sup>2</sup> sur la commune de Capesterre de Marie-Galante.

#### 3.1 Contexte morphologique

Morphologiquement, il faut distinguer deux compartiments, séparés par un escarpement vigoureux (Barre de l'île), d'environ 130 m de dénivelé (Figure 1) :

- Les Bas au Nord, environ 20% de la superficie de l'île ;
- Les Hauts au Sud, plateau culminant à 204 m au Morne Contant.

La topographie de Marie-Galante est largement due à la tectonique. Outre l'escarpement principal, celle-ci se traduit par une pente générale vers l'Ouest et le Sud-Ouest. En conséquence :

- La plaine occidentale est particulièrement étendue entre Grand-Bourg et Saint-Louis.
- Le réseau hydrographique suit essentiellement cette direction.
- Des terrasses marines surélevées constituent des ressauts morphologiques à l'Est et au Sud.

Le littoral est essentiellement caractérisé par les éléments suivants :

- Erosion des falaises au Nord, compartiment des Bas ;
- Constructions récifales sur la côte située au vent (Est et Sud-Est) du compartiment des Hauts.
- L'accumulation littorale sur la Côte-sous-le-Vent. La construction triangulaire sableuse de la pointe de Folle-Anse est due au contournement de l'île par les grandes houles d'Est.

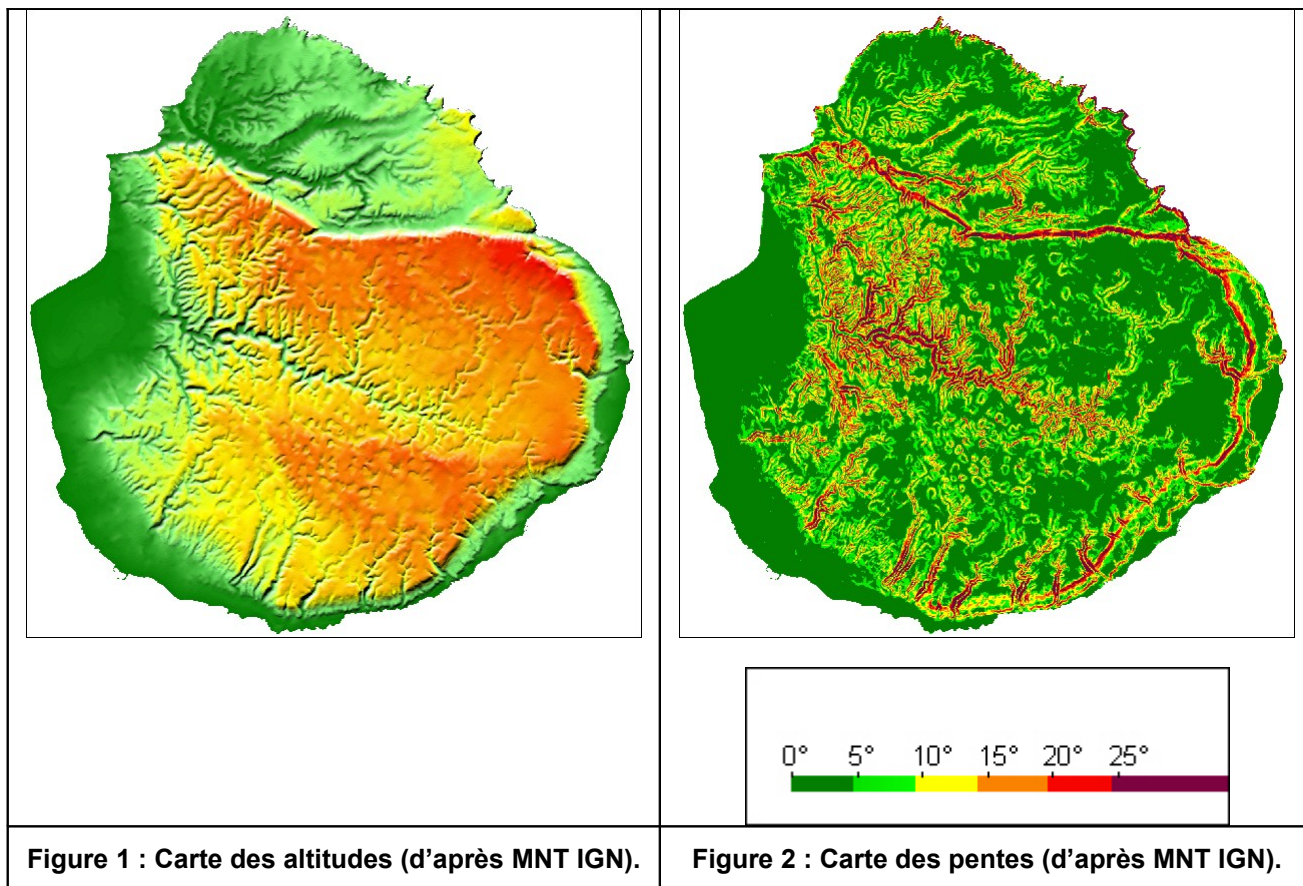
La distribution des altitudes de Marie-Galante (Figure 1) est la suivante :

- 15% des altitudes sont inférieures à 15 m ;
- 25% des altitudes sont inférieures à 40 m ;
- 50% des altitudes sont inférieures à 90 m ;
- 75% des altitudes sont inférieures à 135 m ;
- 50% des altitudes sont comprises entre 90 et 175 m (plateau des Hauts).

La carte des altitudes permet la visualisation d'un certain nombre de dolines au sein du plateau des Hauts.

La répartition des pentes de Marie-Galante (Figure 2) est la suivante :

- 50% des pentes sont inférieures à 5° ;
- 75% des pentes sont inférieures à 10°.



### 3.2 Contexte climatique

Le climat de Marie-Galante est de type tropical chaud (26 à 30°C) et humide, partagé entre :

- Une saison sèche (carême, de janvier à mai) avec des pluies peu abondantes et des températures plus modérées ;
- Une saison humide et plus chaude (hivernage, de juillet à novembre), propice aux cyclones.

En raison de ses faibles reliefs, l'île ne retient que partiellement l'humidité des masses d'air atlantiques poussées par les alizés d'Est / Nord-Est. Les hauteurs annuelles moyennes de précipitation sont inférieures à 1500 mm.

### 3.3 Contexte géologique

Le paysage actuel est façonné par les formations géologiques mises en place, puis leur évolution sous l'action de la tectonique et de l'érosion (karstification).

Marie-Galante fait partie des Antilles calcaires (arc externe de l'arc insulaire des Petites-Antilles). Il s'agit à l'affleurement, de calcaires de plate-forme plio-quadernaires (BOUISSE et al., 1993) :

- Essentiellement de calcaires à nodules algaires (rhodolites) ;
- Plus sporadiquement, de calcaires à polypiers.

Des terrains plus anciens (pliocène inférieur et miocène supérieur) sont connus à la faveur de petits affleurements ou de sondages géologiques.

Une tectonique cassante plio-quadernaire a conduit à la formation d'un vigoureux escarpement (jusqu'à 130 m de dénivélé), la « barre de l'île » qui sépare le compartiment « des Hauts » au Sud, de celui « des Bas », affaissé au Nord.

Des terrasses pléistocènes sont des marqueurs des différents niveaux marins (+5 m, +50 m et +120 m). Leur absence au Nord est une indication du caractère récent de la tectonique.

Les formations superficielles récentes et actuelles sont :

- Les plages sableuses et cordons littoraux ;
- Des sols de mangroves et sédiments de lagune, riches en matière organique ;
- Des colluvions et plus marginalement, des alluvions.

Enfin, bien que non représentées sur la carte géologique, il convient d'y ajouter les argiles de décalcification, issues de l'altération du calcaire. De couleur marron, elles permettent notamment la culture de la canne à sucre.

Les eaux de pluies s'infiltrant dans les formations calcaires sont responsables de phénomènes de dissolution. Cette action érosive, superficielle et souterraine, est responsable du paysage karstique (Encart 1) de l'île de Marie-Galante :

- Très nombreuses dolines, parfois occupée par des mares ;
- Quelques avens, dont Gueule Grand-Gouffre (Figure 3), Le Trou à Diable, Le Petit Trou à Diable ;

## SITE 6 : GUEULE GRAND GOUFFRE À MARIE-GALANTE

L'île de Marie-Galante est singulière de par son type d'érosion. En effet c'est une île calcaire et celui-ci est dissous par les eaux de pluie qui pénètrent la roche. De très nombreuses mares sont présentes en tous points de l'île. Ces mares occupent des dolines, véritables dépressions de dissolution dont le fond est en général rendu étanche par des argiles de décalcification.

Gueule Grand Gouffre correspond à une ancienne doline ayant rejoint la mer, constituant un vaste gouffre de plusieurs dizaines de mètres de diamètre et de hauteur percé à la base par la houle Marine.

Sur les bords du Gouffre des lapiez sont en formation. Un lapiez est une surface de roche calcaire ou dolomitique creusée par dissolution de trous, de cannelures, ou de rigoles.



Noter aussi les formes d'érosion cylindriques en falaise, témoins de phénomènes équivalents.

**Figure 3 : Gueule Grand Gouffre (Extrait de la carte des curiosités géologiques de la Guadeloupe, crédit BRGM).**

### 3.4 Contexte géotechnique

Les reconnaissances géotechniques en place, mises en œuvre sur Marie-Galante comprennent essentiellement :

- Des fouilles à la pelle mécanique, de profondeur limitée 3 à 4 m dans le meilleur des cas ;
- Rarement des sondages carottés ou destructifs ;
- Des sondages de pénétration dynamique de type B, technique « aveugle » et dont le refus peut être prématuré sur des blocs, biaisant l'interprétation ;
- Rarement des sondages avec essais pressiométriques.

Les reconnaissances disponibles concernent essentiellement la plaine occidentale et la terrasse inférieure, où sont situés les trois bourgs de Marie-Galante.

Généralement, elles mettent en évidence la présence à faible profondeur (souvent <5 m), d'un substratum carbonaté résistant, surmonté de formations argileuses ou sableuses de caractéristiques médiocres à moyennes et / ou de remblais, généralement calcaire.

Des sols argilo sableux voire des sables ont été rencontrés, plus particulièrement à Saint-Louis et à Capesterre de Marie-Galante. Des essais de laboratoire ont démontré la susceptibilité des sables de Folle-Anse (Photo. 1) à se liquéfier. Ils sont fins uniformes et saturés à faible profondeur.

Localement, des approfondissements importants du substratum résistant sont notés :

- Plus de 12 m à Bas-de-la-Source (Saint-Louis) ;
- Plus de 7,5 m d'un côté de la bibliothèque Guy TIROLIEN (Grand-Bourg) ;

De plus ces variations sont constatées sur de faibles distances. Elles peuvent se traduire par des surprises géotechniques, voire des sinistres. Elles s'expliquent par la nature karstique de l'île : poches d'argiles de décalcification et accumulation de matériaux fins (colluvions, argile et vases) dans les dépressions.

Les très nombreuses mares naturelles de l'île illustrent cette hétérogénéité. A titre d'exemple, on peut citer :

- La Mare d'aimer qui se trouvait au Nord de la bibliothèque Guy TITROLIEN (Figure 4), mare Savane, terrain Régis ;
- Les mares de Bas-de-la-Source à Saint-Louis ou des Caps à Capesterre de Marie-Galante (Photo. 2).

D'un point de vue géomorphologique, on propose de distinguer les zones suivantes.

- **Les formations calcaires affleurantes** assimilées au substratum rocheux, éventuellement surmontée d'une frange d'altération de caractéristiques mécaniques moyennes à bonnes.
- **Les plages sableuses et cordons sableux** : Anses de Vieux-Fort et de Moustique, Pointe de Folle-Anse, Plages de Grand-Bourg, de Petite-Anse et de La Feuillère. Les caractéristiques mécaniques sont médiocres à moyennes. Leur épaisseur, connue par quelques sondages, est métrique à plurimétrique (>6m à la centrale électrique de Folle-Anse).

- **Les colluvions et alluvions récentes.** Elles recouvrent partiellement les terrasses marines et la plaine occidentale de Marie-Galante, en particulier sur leur côté interne. Il s'agit de matériel colluvial résultant de l'évolution des falaises mortes et d'apports alluviaux des ravines. Dans l'Ouest de Marie-Galante, entre Saint-Louis et Grand-Bourg ces dépôts sont les plus étendus, compte tenu de la pente générale des plateaux des hauts et du drainage général vers l'Ouest et le Sud-Ouest. Pour des raisons cartographiques, on associe à ces horizons détritiques, des formations d'altération telles que les argiles de décalcification. Les caractéristiques mécaniques sont médiocres à moyennes. Leur épaisseur est très variable métrique à plus de 10 m.
- **Les résidus d'altération riches en matière organique,** qui tapissent les marécages (Mangles de Folle-Anse, de Saint-Charles et de Poisson) et le fond de la Ria de la rivière de Vieux-Fort. Les caractéristiques mécaniques sont médiocres : vases ou argiles très plastiques, compressibles et à forte teneur en eau. Nous n'avons pas trouvé d'information sur leur épaisseur (métrique à décamétrique ?).

La cartographie des zones présentant une relative homogénéité du sous-sol et donc de leur réponse sismique est entreprise grâce à :

- La carte géologique ;
- Les données géotechniques collectées ;
- Des témoignages ;
- Une enquête de terrain ;
- La photo-interprétation ;

Néanmoins, au sein des formations calcaires et des terrasses marines, préjugés de nature largement rocheuse, les données géotechniques disponibles et l'expérience de nos interlocuteurs montrent que des hétérogénéités locales sont possibles. A l'inverse, l'épaisseur des formations superficielles de moindres caractéristiques peut être limitée.



**Photo. 1 : Sables fins uniformes du cordon de Folle-Anse.**



**Photo. 2 : Mare des Caps à Capesterre de Marie-Galante.**

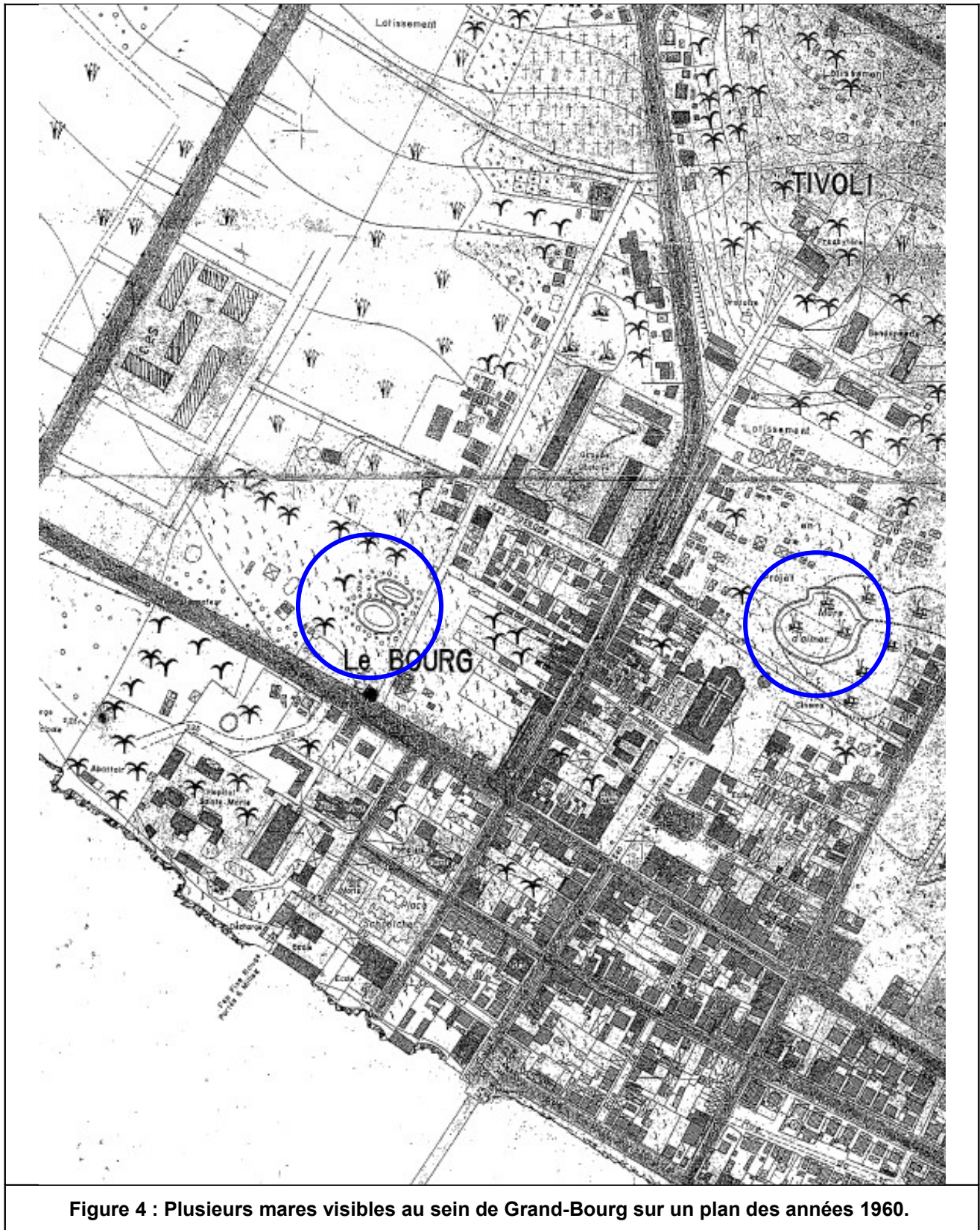


Figure 4 : Plusieurs mares visibles au sein de Grand-Bourg sur un plan des années 1960.

## 4 LES PRINCIPAUX ENJEUX

### 4.1 Principe et objectif

La cartographie des enjeux, croisée avec celle des aléas est le fondement de la détermination du risque et par suite de la délimitation du zonage réglementaire. **L'analyse des enjeux** est nécessaire pour identifier et évaluer, à l'échelle du périmètre d'étude, les enjeux d'ordre humain, socio-économique et environnemental. Cette approche permet d'asseoir les choix réglementaires, de caractériser les éléments sensibles (aggravant ou réduisant les risques) et de faire l'inventaire de ceux participant à l'intervention des secours.

Dans l'optique de la réalisation d'un PPR (Encart 2), le principal objectif de l'évaluation des enjeux est de déterminer géographiquement quels sont :

- Les espaces urbanisés, protégés ou non par un ouvrage<sup>1</sup> ;
- Les espaces non urbanisés.

### 4.2 Zonage des enjeux

A ce jour (octobre 2007), et malgré l'avancement de certains PLU, les informations disponibles se limitent à celles fournies par la DEAL (ex-DDE) :

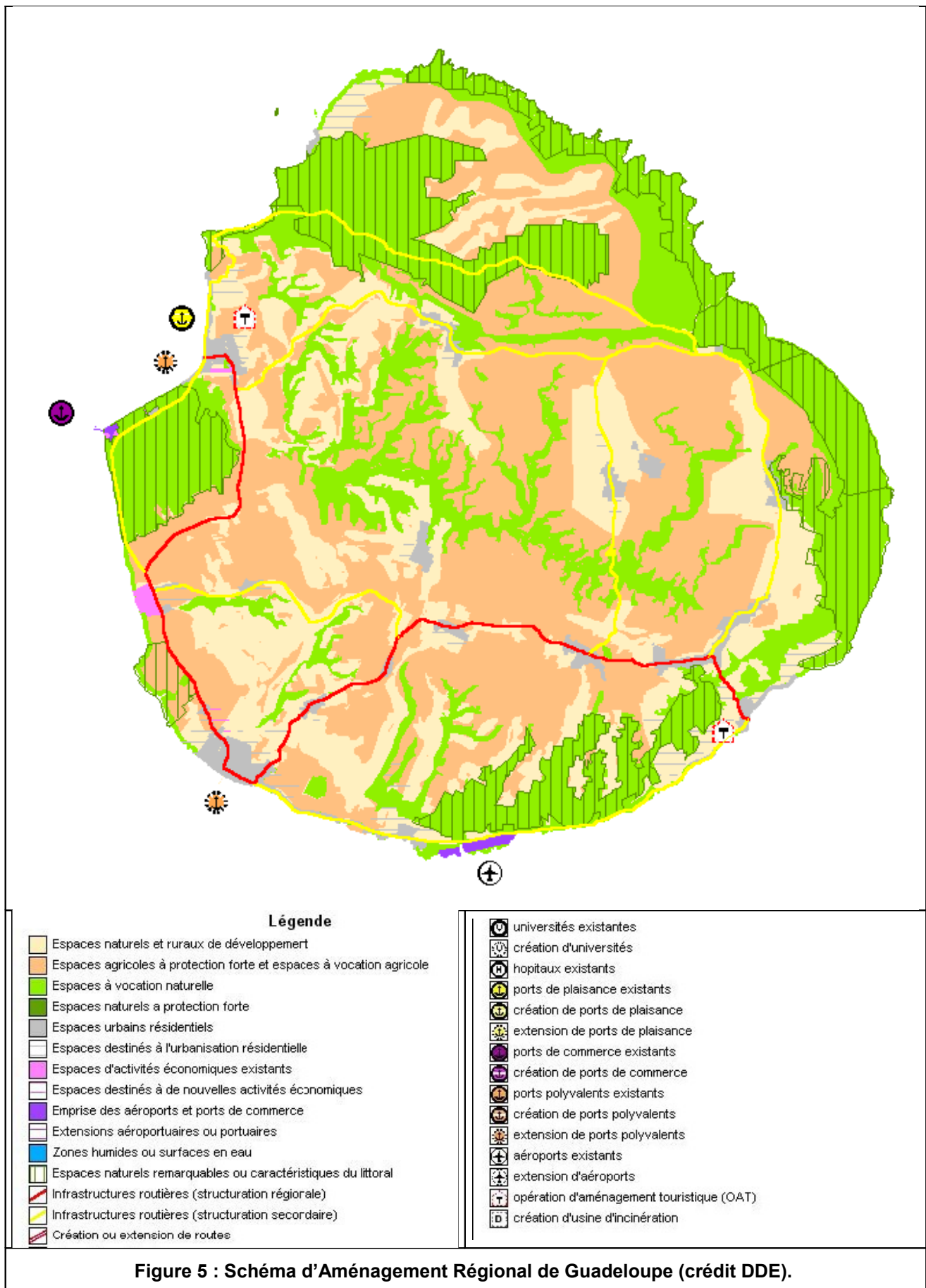
- Le Schéma d'Aménagement Régional (SAR, Figure 5) ;
- Le Plan d'Occupation des Sols de chaque commune, par conséquent repris sur la carte des enjeux à l'échelle de Marie-Galante (Planches hors texte).

Dans l'optique du plan de zonage, nous avons par défaut, considéré comme zones à enjeux de la commune l'ensemble du littoral, situé sur la terrasse inférieure, entre Les Caps et Ravine Coma.

A noter que les falaises du Nord et de l'Est de Marie-Galante sont classées « monuments naturels » (Figure 6).

---

<sup>1</sup> Aucun ouvrages de protection particulier n'est identifié.



**Figure 5 : Schéma d'Aménagement Régional de Guadeloupe (crédit DDE).**

### 4.3 Identification des principaux enjeux

Les enjeux suivants ont été recensés et décrits en fonctions des informations mises à notre disposition (Erreur : source de la référence non trouvée). Une classification est proposée au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 (modifié par arrêté du 19 juillet 2011)<sup>2</sup> :

- Catégorie d'importance I : Bâtiment dont la défaillance ne présente qu'un risque minime pour les personnes ou l'activité économique.
- Catégorie d'importance II : Bâtiment dont la défaillance présente un risque moyen pour les personnes.
- Catégorie d'importance III : La défaillance présente un risque élevé pour les personnes et pour leur activité, étant donné son importance socio-économique.
- Catégorie d'importance IV : Regroupe les bâtiments, les équipements et les installations dont le fonctionnement est primordial pour la sécurité civile, pour la défense ou pour le maintien de l'ordre public.

Les données relatives aux effectifs scolaires proviennent soit des documents remis soit du site du rectorat (<http://www.ac-guadeloupe.fr/etab/presentation.htm>).

### 4.4 Données relatives aux réseaux

#### 4.4.1 Réseau de transport

Outre la hiérarchisation des routes issues de la BD TOPO Pays, les points suivants sont recensés :

- Aérodrome de Marie-Galante ;
- 3 ports, un dans chaque bourg ;
- Port Autonome de Folle-Anse.

Ces ouvrages pouvant jouer un rôle dans l'accès des secours depuis la Guadeloupe, on considère qu'ils relèvent de la catégorie d'importance IV.

#### 4.4.2 Réseau d'eau

L'inventaire, réalisé essentiellement d'après les bases de données Carthage (DIREN) et BD TOPO Pays (IGN) comprend :

- 3 Stations de pompage ;
- 11 Réservoirs ;
- 2 stations d'épuration (Folle-Anse et Les Basses).

Les ouvrages de production et de stockage d'eau potable relèvent de la catégorie d'importance IV.

#### 4.4.3 Réseau énergie

- Station EDF Folle-Anse ;
- Réservoir d'hydrocarbures de Saint-Louis ;
- 46 Eoliennes (d'après BD TOPO Pays).

---

<sup>2</sup> Relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la catégorie dite à risque normal.

Nom	Fonction	Effectifs	Catégorie d'importance	Date
Mairie	Administratif	/	IV	1945, 1993
Ecole Bourg 1 & 2	Enseignement	/	III	/
Collège	Enseignement	200 élèves	III	/
Ecole Bourg	Enseignement	/	III	1986
Ecole Tacy Grand Case	Enseignement	/	III	/
Ecole Etang Noir	Enseignement	50 élèves	III	1945, 1976
Réfectoire Etang noir	Enseignement	/	II	1945
Distillerie Bellevue	Industrie	/	II	/
Eglise du bourg	Religieux	/	II ou III	1932
Chapelle Etang Noir	Religieux	/	II ou III	1959

**Tableau 2 : Principaux enjeux de Capesterre de Marie-Galante.**

### Les falaises du nord et de l'est classées "monuments naturels"



La zone protégée, qui s'étend de l'anse Madame aux Galeries, représente 20 km de côte. L'anse Feuillard est bien entendu incluse dans le classement.

Les falaises qui s'étendent de l'anse Madame (commune de Saint-Louis) aux Galeries (commune de Capesterre) ont été reconnues par l'Etat comme "monuments naturels". En effet, leur "conservation présente au point de vue artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque, un intérêt général".

Cette procédure, commencée en 1977, a fait l'objet d'une large consultation auprès des mairies concernées et de la Communauté de Communes.

Les pratiques agricoles traditionnelles et la pêche ne sont pas remises en cause. Et cette protection de la "qualité paysagère du site" ne donne pas lieu à expro-

priation. Seuls sont interdits : le camping, la construction de villas de vacances et la publicité.

Le classement est un label dont l'objectif est de maintenir le site en l'état et de le préserver pour les générations futures. Ce classement des falaises ouvrira, à terme, des possibilités d'emplois pour l'entretien du site.

Dans son projet de développement durable du "Pays Marie-Galante", la Communauté de Communes intègre en premier lieu la préservation du patrimoine naturel de l'île. Le classement des falaises s'inscrit parfaitement dans cette démarche.

**Figure 6 : Classement des falaises du Nord et de l'Est (extrait de La lettre de la Communauté de Communes - n° 4 – septembre 2004).**

## 5 PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES

Au total, lors des 100 dernières années, on comptabilise 26 phénomènes cycloniques sur la Guadeloupe, soit 14 Tempêtes Tropicales et 12 Ouragans, ce qui représente en moyenne :

- 1 phénomène cyclonique (tempête ou ouragan) tous les 3,8 ans ;
- 1 ouragan tous les 8,3 ans.

Les cyclones les plus "marquants" resteront sans doute :

- Le cyclone du **26 juillet 1825**, avec probablement plus de 300 morts essentiellement sur le sud Basse-Terre et à Marie-Galante ;
- Le cyclone du **6 septembre 1865** qui a fait plus de 80 morts à Marie-Galante ;
- Le **Grand Cyclone de 1928** pour sa violence et ses 1200 à 1500 morts en Guadeloupe. A Marie-Galante, il donnera le coup de grâce aux moulins de l'île. Grand-bourg est dévasté. Les édifices publics comme la mairie, le palais de justice, et l'école du Morne Lolo sont détruits. Ils seront reconstruits par l'architecte Ali Tur. Le bourg de Saint-Louis est reconstruit autour de l'église de Courbail.
- En 1964, le cyclone **CLEO** touche durement Marie-Galante : 60 % des toitures sont emportée à Grand-Bourg.
- En 1995, durant le passage de **LUIS**, il tombe 199 mm de pluie en 24h à Marie-Galante.

Rappelons que le cyclone **HUGO**, en traversant la Guadeloupe, cause la mort de 12 personnes et occasionne 25 000 sans abri, ravage les cultures et l'élevage (65 000 ha de bananeraies sont détruits) et sinistre l'économie de l'ensemble de l'île.

Ces cyclones ont essentiellement marqué les esprits par les dégâts que la puissance de leurs vents a provoqués. Plus récemment, **la tempête tropicale JEANNE** est passée au-dessus de l'île de Marie-Galante pendant la nuit du 13 au 14 septembre 2004. Durant la journée du 14, les pluies orageuses ont continué de s'abattre jusque dans la soirée. Au total, sur une trentaine d'heures, l'île a reçu plus de 300 mm de pluie, ce qui est tout à fait exceptionnel. Au sein de la Guadeloupe, c'est Marie-Galante qui a été subie les pluies les plus intenses. JEANNE a provoqué des inondations importantes sur toute la plaine littorale, et de nombreux dégâts ont été recensés.

Outre les nombreux témoignages de riverains qui ont pu être recueillis, les éléments tangibles suivants attestent de la violence du phénomène :

- Article de « La Lettre », Bulletin d'information édité par la CCMG, N° 4 de septembre 2004 (Figure 7) ;
- Article extrait du France Antilles du 15 septembre 2004 :
  - *« C'est à Marie-Galante, et particulièrement à Grand-Bourg que la pluie a fait le plus de ravages, réveillant des familles dans leur sommeil. Plusieurs personnes, habitant près des cours d'eau ou au bord de la mer ont dû être secourues. Les pompiers ont même été appelés pour le sauvetage de bovins du côté de Ducos.*

- Hier on dénombrait une quinzaine de familles victimes, chez elles, d'inondations. Mme Thebo, âgée de 69 ans, a eu la peur de sa vie lorsqu'elle fut surprise, en pleine nuit, par la montée des eaux. Ce sont les pompiers qui ont dû l'aider à sortir de sa maison située non loin du premier pont de Grand-Bourg.
- Au collège Gaston Calmet, les eaux sont montées durant la nuit et envahi les salles de classes et locaux administratifs. »
- Un état des dégâts sur le réseau routier de l'île a été établi par la DDE. Le montant total des travaux est estimé à plus de 5 millions d'euros.
- Une série de photos a été prise par M. Sigiscar de Grand-Bourg la Treille, en milieu de journée du 14 septembre. Les clichés sont éloquentes, ils figurent dans la carte informative des phénomènes météorologiques (Figure 8).

MARIE-GALANTE - La lettre de la Communauté de Communes - n° 4 - septembre 2004 - p. 3

## Environnement

### Après les inondations dues au passage de Jeanne

Le passage de la dépression tropicale n° 11, appelée Jeanne, sur Marie-Galante a occasionné des inondations en plusieurs endroits. Heureusement, dans l'ensemble, les dégâts sont limités. La commune de Grand-Bourg a déclaré 25 maisons détériorées ainsi que plusieurs routes communales. La mairie de Saint-Louis a dénombré 7 maisons endommagées et la portion de route entre Saint-Louis et Folle-Anse à refaire. L'abattoir intercommunal a eu son incinérateur endommagé et sa clôture emportée. Les habitations qui ont subi des dégâts étaient situées dans des zones inondables ou entrant, dans le cas de Grand-Bourg, dans le projet de Résorption de l'Habitat Insalubre (RHI). Les dossiers de sinistre



sont étudiés par les communes et la préfecture. Les opérations de relogement ont été gérées au cas par cas.

Les inondations ont principalement concerné les communes de Grand-Bourg et Saint-Louis. (photo F. Hiroquoy)

**Figure 7 : Inondations dues au passage de JEANNE (extrait de La lettre de la Communauté de Communes - n° 4 – septembre 2004) .**



1 Abreuvoir, vers Fond Jeanne



2 Rivière Saint-Louis



3 Ravine Bambara : débordement devant le stade



4 Ravine Bambara : mise en charge du pont RN9



5 Anse-Vieux-Fort : Carbet et barbecue basculés



6 Siblet RN9



6 Siblet RN9



7 Incinérateur de l'abattoir





7 Abattoir



8 Centre de secours (aéroport)



**Phénomènes météorologiques**

-  Inondation (Jeanne 09-2004)
-  Houle

## 6 PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES

### 6.1 Phénomènes volcaniques

Les phénomènes volcaniques concernent la Soufrière de Guadeloupe. En effet, Marie Galante appartient aux Antilles calcaires (arc externe), dont l'activité volcanique a cessé depuis plus de 30 millions d'années. Grâce à sa position orientale, Marie-Galante est préservée, hormis des retombées limitées de cendres volcaniques (d'après DDRM). Il n'y a donc pas lieu de cartographier plus spécifiquement cet aléa.

### 6.2 Tremblement de terre

Les Guadeloupéens ressentent régulièrement des tremblements de terre de faible intensité. Les séismes destructeurs, fort heureusement moins nombreux, appartiennent toutefois à l'histoire récente de la Guadeloupe. Les manifestations (1 victime, de nombreuses destructions et des mouvements de terrain) du séisme du **21 novembre 2004** (magnitude 6,3) sont considérées comme un avertissement, rappelant la tragique réalité des tremblements de terre. Mais le séisme du **8 février 1843** est de loin le plus destructeur connu (plus de 1 500 morts dans la population). De magnitude estimée entre 7,5 et 8, il était situé entre Antigua et la Guadeloupe, à une distance épacentrale de l'ordre de 100 à 120 km.

Par ailleurs, deux autres séismes survenus au 19<sup>ème</sup> siècle, sont remarquables, associés au graben de Marie-Galante :

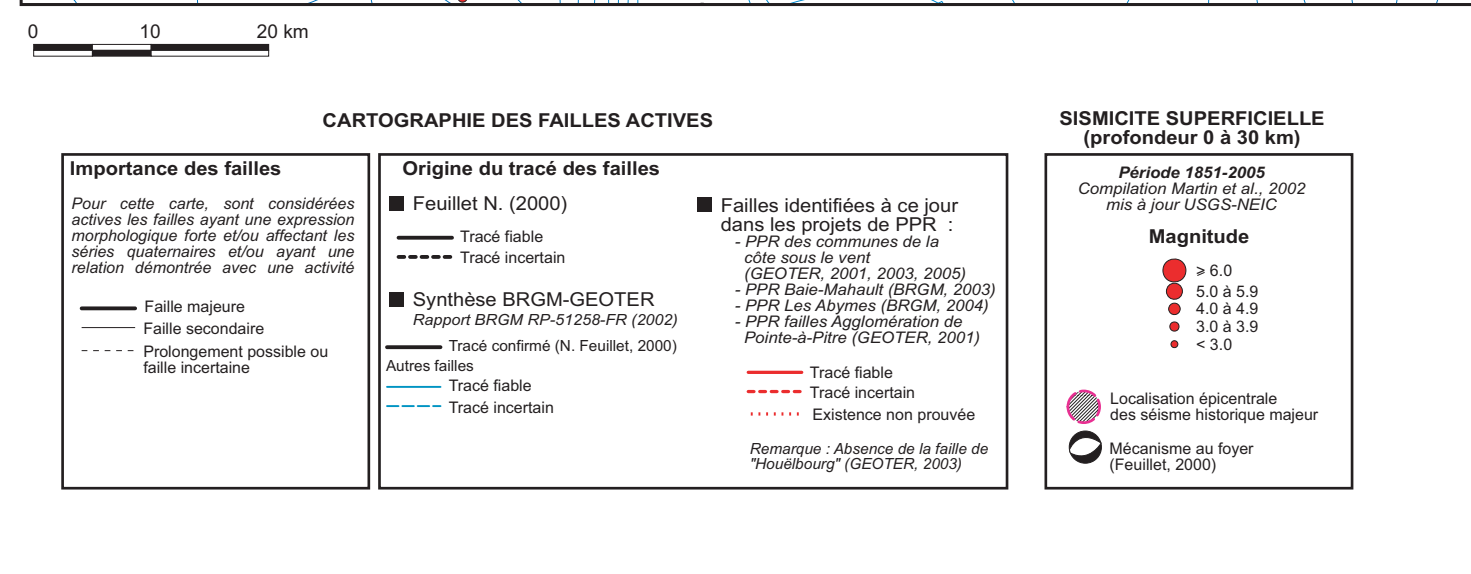
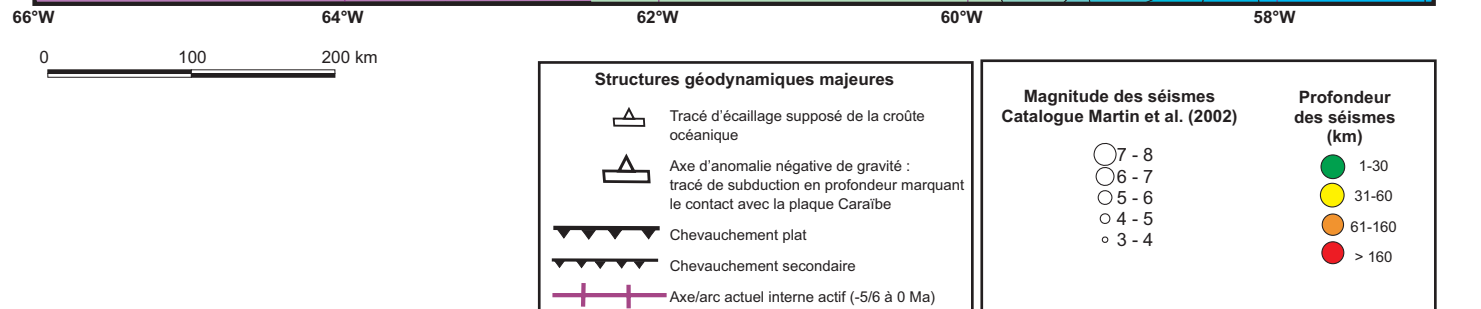
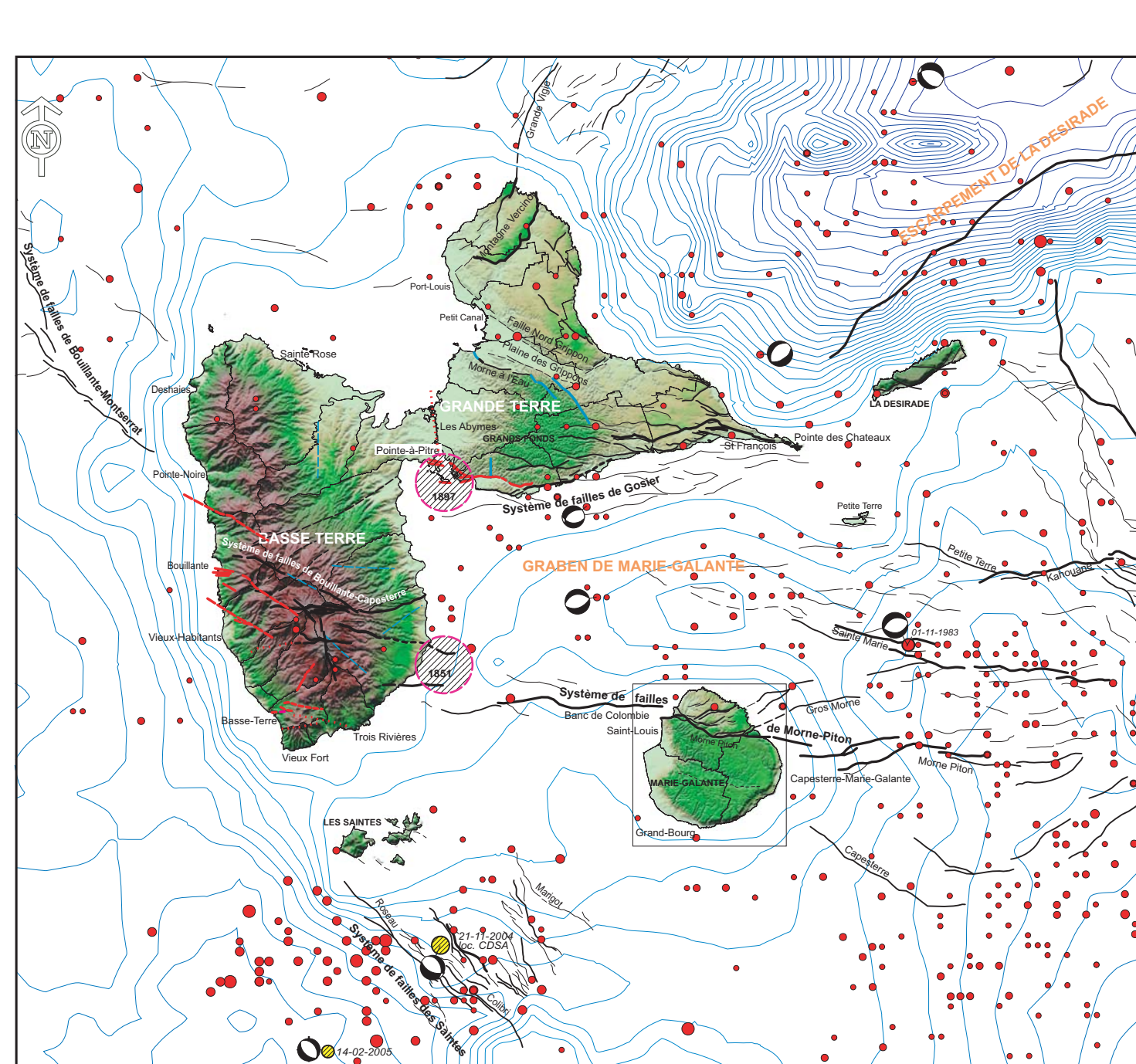
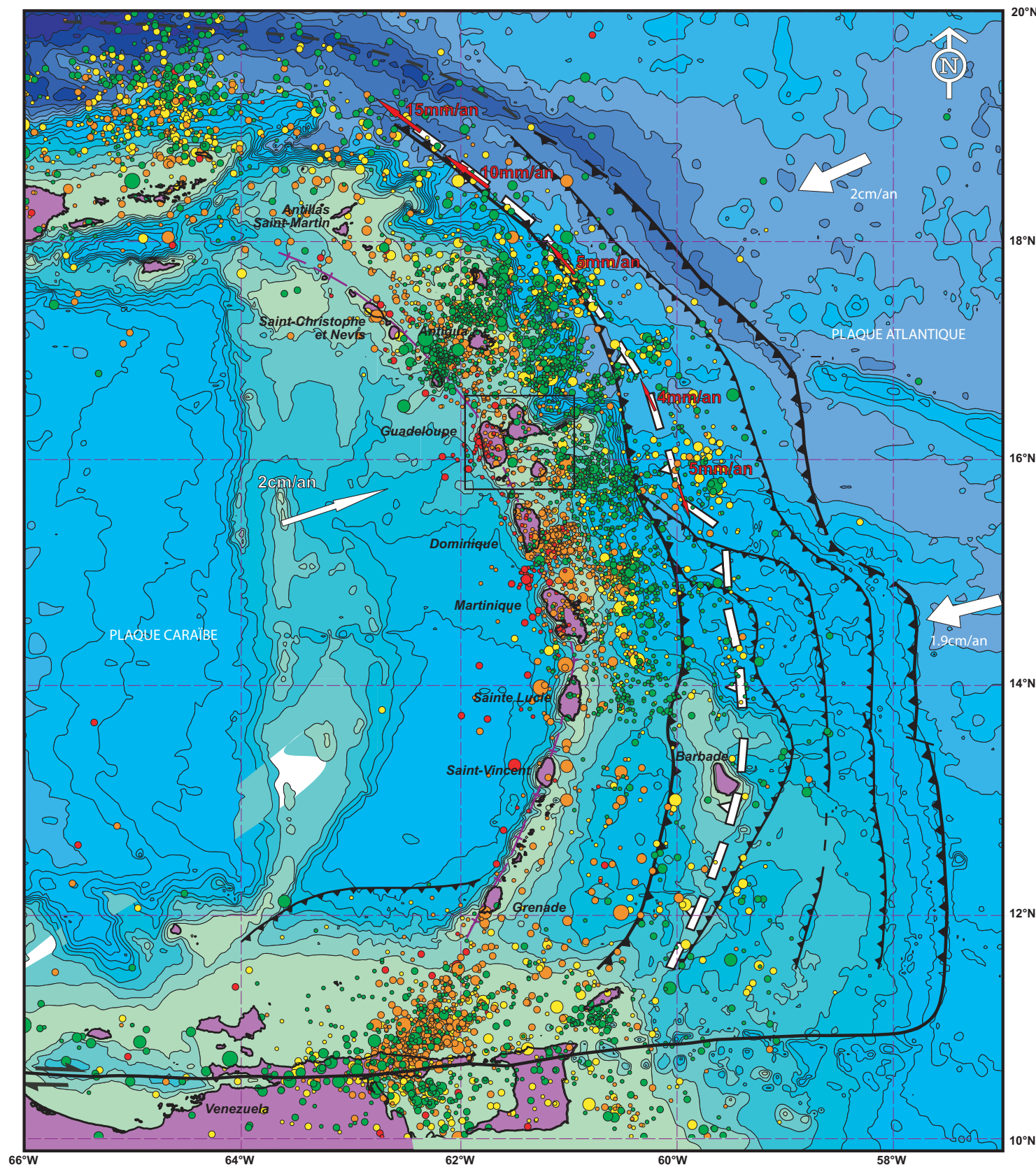
- Sur la bordure Sud, le séisme superficiel du 16 mai 1851, localisé en mer, au large de Capesterre-Belle-Eau, de magnitude estimée entre 5,0 et 5,5 est dans le prolongement du système de faille de Morne Piton ;
- Sur la bordure Nord, le séisme superficiel du 29 avril 1897, localisé dans le Petit-cul-de-sac marin, de magnitude estimée entre 5,5 et 5,8.

**La sismicité , historique et instrumentale, est représentée à l'échelle de l'arc antillais**, en fonction de la magnitude et de la profondeur des événements (Figure 9).

Les sources qui peuvent être à l'origine de dommages en Guadeloupe sont respectivement :

- Des sources locales, de magnitude modérée (jusqu'à 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 (jusqu'à 7 à 8), associées aux mécanismes de la subduction de la plaque Atlantique, sous la plaque Caraïbes.

Ainsi, le séisme du 21 novembre 2004 relève d'une source locale de magnitude 6,3 (Mw), tandis que le tremblement de terre du 8 février 1843 correspond à un séisme de subduction (magnitude estimée entre 7,5 et 8).



La base de données SisFrance-Antilles<sup>3</sup> et l'enquête du bureau central sismologique français (BCSF) permettent d'apprécier globalement les effets (intensité macrosismique) de ces différents séismes (Tableau 3).

Localisation	Séismes	Intensité (Encart 3)	Effets macrosismiques
Marie-Galante	8 février 1843	VIII (MSK)	Dégâts massifs.
Marie-Galante	16 mai 1851	V-VI (MSK)	Forte secousse à dommages légers.
Saint-Louis	29 avril 1897	VI (MSK)	Dommages légers.
Saint-Louis	21 novembre 2004	V-VI (EMS98)	Forte secousse à dommages légers.
Grand-Bourg	21 novembre 2004	V-VI (EMS98)	Forte secousse à dommages légers.
Capesterre de Marie-Galante	21 novembre 2004	VI (EMS98)	Dommages légers.

**Tableau 3 : Effets macrosismiques ressentis en Guadeloupe (d'après Sis-France-Antilles).**

### 6.2.1 Faille capable d'engendrer une rupture de surface co-sismique

**Dans l'état actuel des connaissances sur la sismicité historique locale, il n'y a pas, à terre, dans l'archipel de la Guadeloupe (y compris à Marie-Galante) d'exemple de faille ayant produit des ruptures de surface co-sismiques.** Sur la période historique, qui ne remonte toutefois pas au-delà du XVI<sup>ème</sup> siècle, seuls les séismes superficiels du 26 avril 1897 (magnitude probable comprise entre 5.5 et 6.0) et des Saintes (magnitude 6.3) auraient pu produire de telles ruptures, mais leurs épencentres ont été localisés en mer (Figure 9).

En revanche, les travaux de recherche de Nathalie FEUILLET, réalisés dans le cadre de sa thèse de doctorat publiée en 2000<sup>4</sup>, montrent que des failles et des déformations affectent les dépôts géologiques récents en surface (quelques centaines de milliers d'années), constituant le substratum de Marie-Galante. Ce travail a fait l'objet de plusieurs publications dans des revues internationales (e.g. FEUILLET *et al.*, 2004<sup>5</sup>). Les travaux de GEOTER par sismique haute résolution sur le segment de faille de Gosier, appartenant au même système que celui de Marie-Galante, attestent également de déformations très récentes.

Les travaux sur l'identification et l'activité des failles ont été synthétisés dans une étude intitulée « Failles actives et évaluation de l'aléa sismique : prise en compte des failles actives dans l'aménagement du territoire aux Antilles (Martinique et Guadeloupe) » réalisée en 2001 pour le compte du MEDD (TERRIER *et al.*, 2002). Les résultats de cette étude ont été discutés avec le groupe de travail de l'Association Française de Génie Parasismique (AFPS) chargé de la problématique « failles actives et aménagement ».

<sup>3</sup> <http://www.sisfrance.net/antilles/>

<sup>4</sup> FEUILLET N. (2000). Sismotectonique des Petites Antilles. Liaison entre activité sismique et volcanique. *Thèse de Doctorat, Université Paris 7, Denis Diderot, p. 1-283 (deux volumes)*.

<sup>5</sup> FEUILLET N., TAPPONNIER P., MANIGHETTI I., VILLEMANN B. KING G.C.P. (2004). Differential uplift and tilt of Pleistocene reef platforms and Quaternary slip rate on the Morne-Piton normal fault (Guadeloupe, French West Indies). *Journal of Geophysical Research*, Vol. 109.

L'île de Marie-Galante est recoupée d'Est en Ouest par l'un des systèmes de failles majeurs de l'archipel de la Guadeloupe. Il s'agit du système de failles de Morne-Piton qui constitue la bordure Sud du graben de Marie-Galante. Le système de failles de Gosier forme quant à lui la bordure Nord (Figure 9). Le graben de Marie-Galante est globalement orienté Est-Ouest, long d'environ 200 km et profond de plus de 1 500 m.

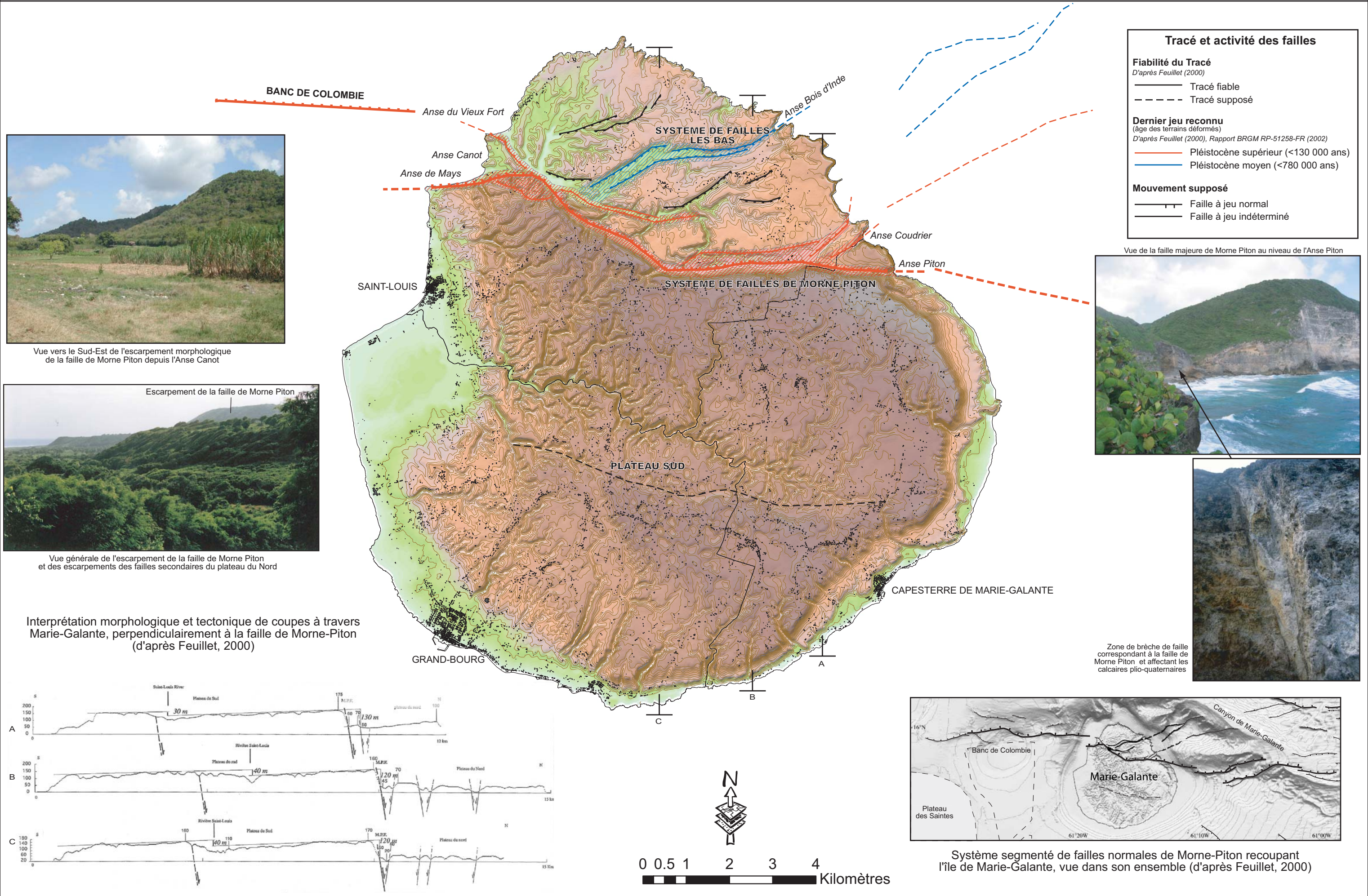
Le système de failles de Morne-Piton s'étend en mer de part et d'autre de l'île de Marie-Galante sur plus de 100 km. Il forme une succession de ressauts morphologiques particulièrement importants, à la fois à terre (cf. coupes topographiques et leur interprétation morpho-tectonique, Figure 10) qu'en mer. Les failles ont été cartographiées assez précisément en mer grâce à l'interprétation de modèles bathymétriques détaillés (campagnes AGUADOMAR 98, 99) et de profils sismiques réflexion. Le rejet total de la faille de Morne-Piton atteint environ 250 m à l'Est de Marie-Galante, décroît progressivement vers l'Ouest et n'est plus que de 30 m, là où elle limite, au Nord, le banc de Colombie.

La sismicité superficielle est relativement importante entre Grande-Terre et Marie-Galante et le long du graben Est-Ouest. Ceci confirme que les failles normales qui le limitent sont sismiquement actives, et que les séismes qu'elles peuvent produire sont suffisamment forts pour laisser des traces dans la morphologie actuelle, avec des escarpements de failles de plusieurs dizaines de mètres d'amplitude. Le séisme qui s'est produit le 3 août 1992 (magnitude  $M_s=5.6$ , profondeur 10 km), situé à 40 km à l'Est de Marie-Galante est attribué à l'un des segments orientaux du système de failles de Morne Piton (faille de Coudrier). Son mécanisme au foyer est compatible avec un mouvement normal, accompagné par une petite composante décrochante. Le dernier séisme récent rattaché à ce système est celui du 5 avril 2001, de magnitude proche de 5.0, bien ressenti en Guadeloupe. De nombreux autres séismes de magnitude supérieure à 3.5 se sont produits le long de ce système de failles attestant de son activité continue.

A Marie-Galante (Figure 10), deux familles de failles majeures sont observées. Ces familles de failles recoupent la partie Nord de l'île et concernent principalement la commune de Saint-Louis et, dans sa partie la plus septentrionale, la commune de Capesterre de Marie-Galante. La commune de Grand-Bourg n'est recoupée que par la faille supposée du Plateau Sud.

**La première famille** de failles (en rouge sur la carte informative) appartient au système principal de Morne-Piton. Avec une orientation Est-Ouest à NO-SE, elle recoupe Marie-Galante depuis l'Anse Piton à l'Est jusqu'à l'Anse de Mays à l'Est, au Nord de Saint-Louis. On distingue la faille principale de Morne-Piton (en trait épais) et différents segments de failles secondaires qui se connectent à la faille principale.

**La seconde famille** (en bleu sur la carte informative) correspond au système faillé des Bas, qui forme une structure satellite de la faille principale de Morne-Piton, avec une orientation générale ENE-OSO. Il s'agit d'un petit graben avec deux segments Nord et Sud, qui se prolonge en mer au-delà de l'Anse Bois d'Inde sur une longueur de plus de 25 km. D'après FEUILLET (2000), le graben des Bas affecte la surface d'entablement calcaire plio-pléistocène, dont l'âge est estimé à -330 000 ans.



D'autres failles de moindre importance sont indiquées (Figure 10, en noir). Elles sont localisées sur le compartiment des Bas. En raison de l'absence de connexion avec les systèmes principaux, et de leur faible longueur, ces failles secondaires ne sont pas considérées comme capables de générer des séismes de magnitude suffisante pour produire des ruptures co-sismiques.

Au niveau du Plateau des Hauts, GRELLET *et al.* (1988) envisage l'existence d'une faille Est-Ouest à l'aplomb de la rivière Saint-Louis d'une longueur estimée à 9 km. D'après FEUILLET (2000), il s'agirait d'une faille ancienne, caractérisée par un escarpement haut de 40 m présentant une morphologie dégradée. Elle décalerait la surface d'entablement des calcaires plio-pléistocènes dont l'âge est estimé à 330 000 ans. Néanmoins, en l'état actuel des connaissances, il n'y a aucune certitude de l'existence même de cette faille.

### **CARACTÉRISTIQUES DE LA FAILLE DE MORNE-PITON, STRUCTURE MAJEURE DE MARIE-GALANTE**

Longue de 12 km à terre, la faille de Morne-Piton pourrait avoir une longueur continue de plus de 50 km avec son prolongement en mer à l'Est. 75 km sont en outre possibles si sa connexion avec la faille du Banc de Colombie est envisagée à l'Ouest de Marie-Galante. D'après FEUILLET (2000), le décalage vertical du Plateau supérieur de Marie-Galante au niveau de l'escarpement de faille serait de 130 m environ. L'âge du Plateau supérieur étant estimé à 330 000 ans, émergence à l'interglaciaire Mindel-Günz. Avec une longueur d'une quinzaine de kilomètres et une hauteur comprise entre 60 et 130 m, l'escarpement de Morne-Piton est le plus important de l'archipel de la Guadeloupe. Le sommet de l'escarpement de faille est marqué par une succession de vallées perchées qui attestent, selon FEUILLET (2000) de son activité récente. Les terrains les plus récents affectés correspondent à des terrasses marines de l'interglaciaire Riss/Würm (Eemien) estimées à -120 000 ans environ.

L'analyse géomorphologique de l'escarpement de faille et des terrasses marines qu'elle décale, couplée à la datation U/Th de ces surfaces a permis d'évaluer la vitesse moyenne de glissement sur la faille (FEUILLET, 2000 ; FEUILLET *et al.*, 2004). Cette vitesse est estimée à  $\approx 0.5 \pm 0.2$  mm/an pour les derniers 350 000 ans.

#### **6.2.2 Le séisme du 21 novembre 2004**

Le réseau accélérométrique permanent (RAP <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/main.html>) dispose d'une station de mesure à Marie-Galante (GBGA). Située à Grand-Bourg, à 25 km de l'épicentre du séisme des Saintes, elle a enregistré les mouvements du sol selon trois directions (Figure 11). Les pics d'accélération sont de  $1,5 \text{ m/s}^2$  (0,15 g) pour les directions horizontales et  $1,2 \text{ m/s}^2$  (0,12 g) dans la direction verticale. Les mouvements forts ont duré une dizaine de secondes. Le traitement de ces signaux permet une représentation du spectre de réponse (Figure 12) et de la fonction de transfert du site (Figure 13), indiquant un effet de site probable, liés aux conditions de sol.

Outre une grande frayeur, le séisme a endommagé plus ou moins sévèrement certains bâtiments.

- A Capesterre de Marie-Galante, l'ancien Moulin de Pichery s'est effondré pendant le séisme (Photo. 3).
- L'ancienne tour des Phares et Balise, derrière la douane de Grand-Bourg, a dû être démolie (29/11/004) ;
- Le clocher situé à côté de l'église de Saint-Louis a dû être démoli.
- A l'Etang Noir, le bâtiment des sanitaires a dû être démoli et reconstruit (Photo. 4) ;

Les bâtiments communaux ont fait l'objet d'une double inspection :

- En urgence, par une équipe d'architecte et d'ingénieurs, aboutissant à une classification tricolore : vert, orange rouge.
- Rapidement (fin novembre et début décembre 2004), une inspection visuelle par un bureau de contrôle.

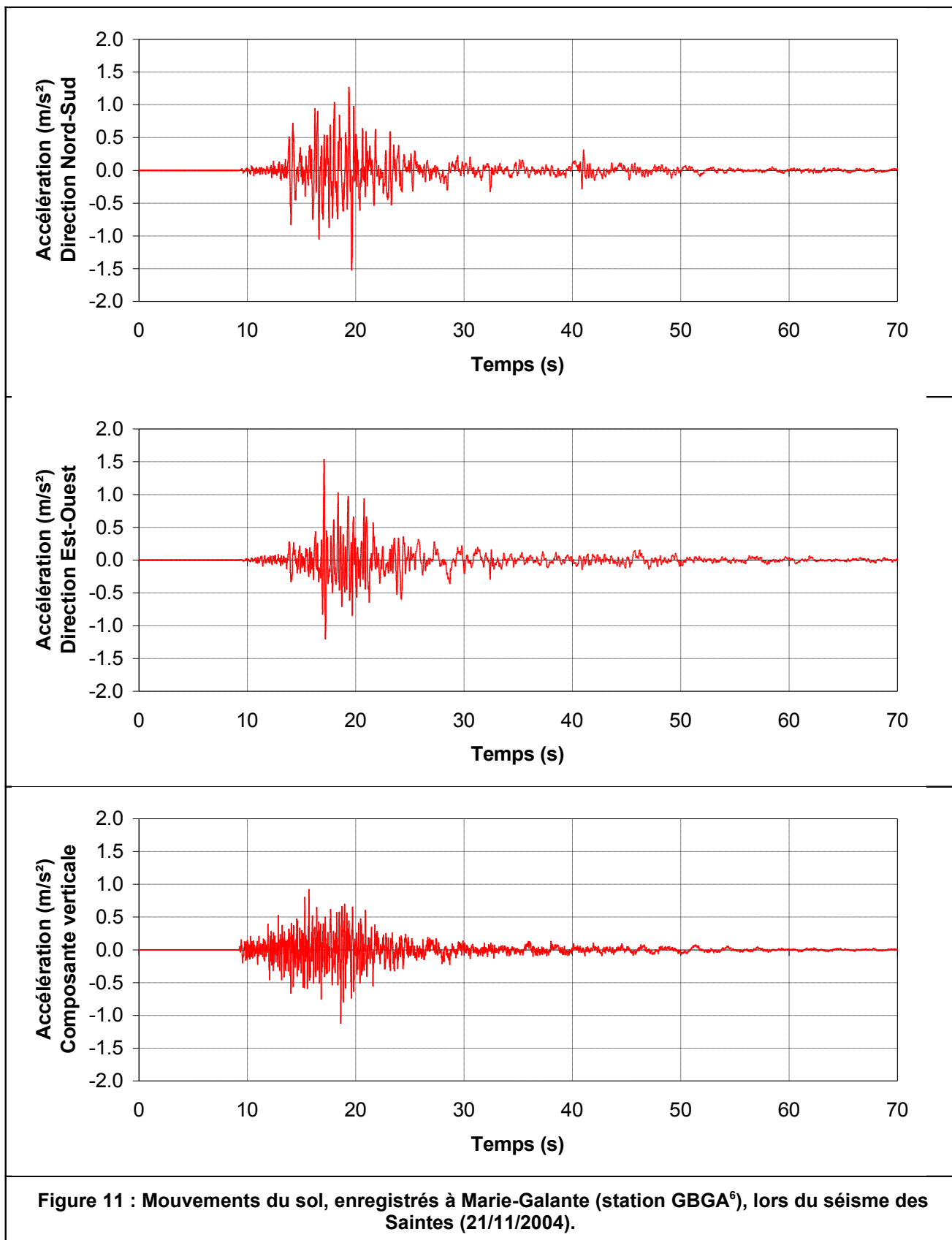
En outre, des expertises contradictoires ont été nécessaires pour confronter les évaluations (maître d'ouvrage versus assureur) en statuant notamment sur la vétusté au moment du séisme.

A Capesterre de Marie-Galante, on peut souligner :

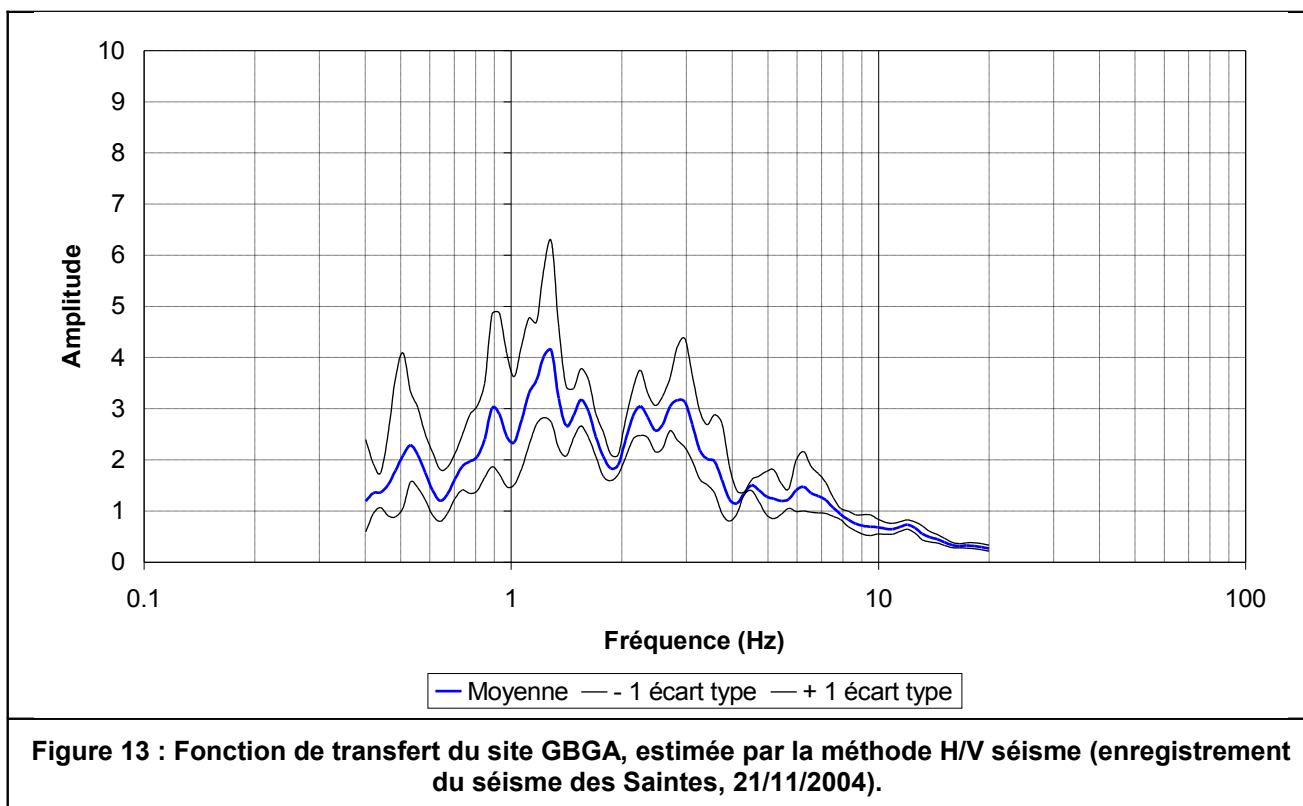
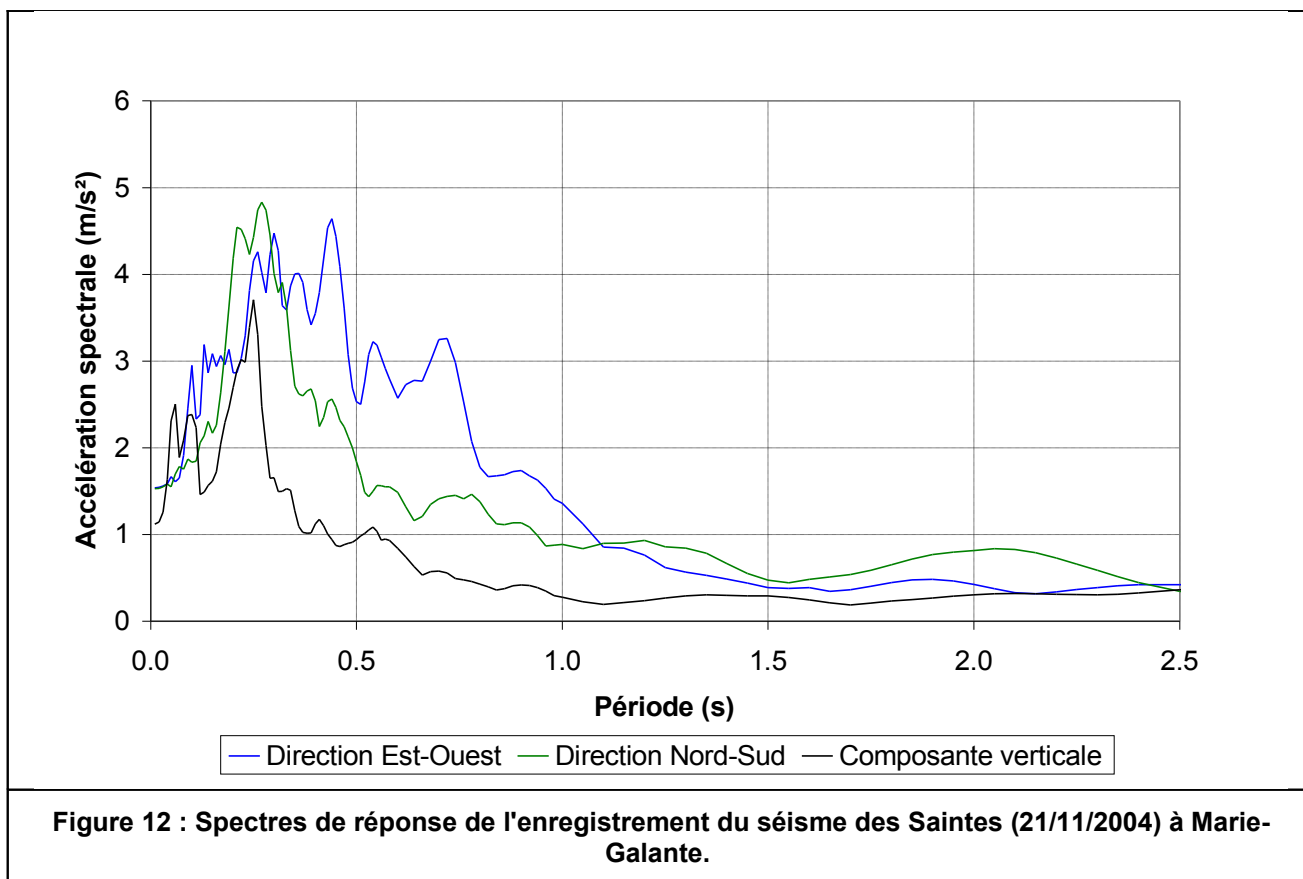
- Dans le bourg, le bâtiment du marché souffrait des pathologies suivantes : « poteaux de ceinture éclatés », « fers corrodés apparents sur les poteaux de la galerie de ceinture. » Cette construction a dû être démolie.
- A l'Etang Noir, de nombreux désordres sont visibles sur la chapelle (Photo. 5). L'autorisation de démolir était effective (02/2007), en vue de sa reconstruction.
- Les stigmates du séisme sont encore visibles, par exemple sur les édicules de la mairie et de l'église (Photo. 6) ;
- Des réparations, parfois importantes ont été réalisées (école mixte 1 et 2, école de l'étang noir).

En outre, d'après la CCAS de Capesterre de Marie-Galante, 63 familles de la commune ont sollicité des aides pour les dégâts du séisme, notamment des problèmes d'infiltrations.

En termes d'effets induits (Photo. 7), le séisme et ses répliques ont purgé des écaillés en falaises, en particulier à Gueule Grand Gouffre et Caye Plate et déclenché des éboulements significatifs, comme à Vieux-Fort.



<sup>6</sup> <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/main.html>

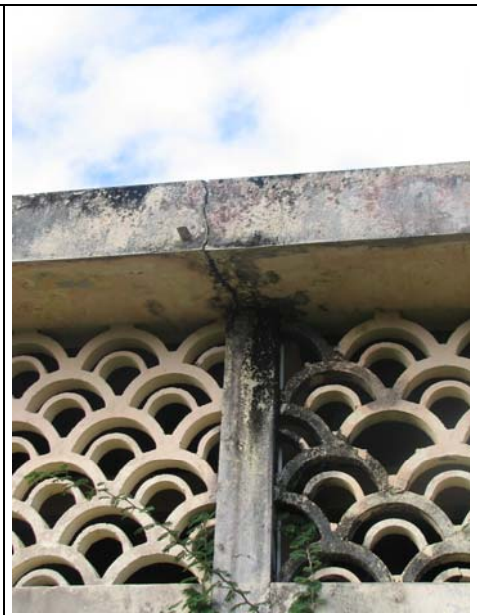




**Photo. 3 : Effondrement du moulin de Pichery (Capesterre de Marie-Galante).**



**Photo. 4 : Reconstruction nécessaire des sanitaires de l'école de l'Étang Noir (Capesterre de Marie-Galante).**



**Photo. 5 : Murs lézardés de la chapelle de l'Étang Noir.**



**Photo. 6 : Eclats de bétons visibles sur la mairie et l'église de Capesterre de Marie-Galante.**



Gueule Grand Gouffre



Caye plate



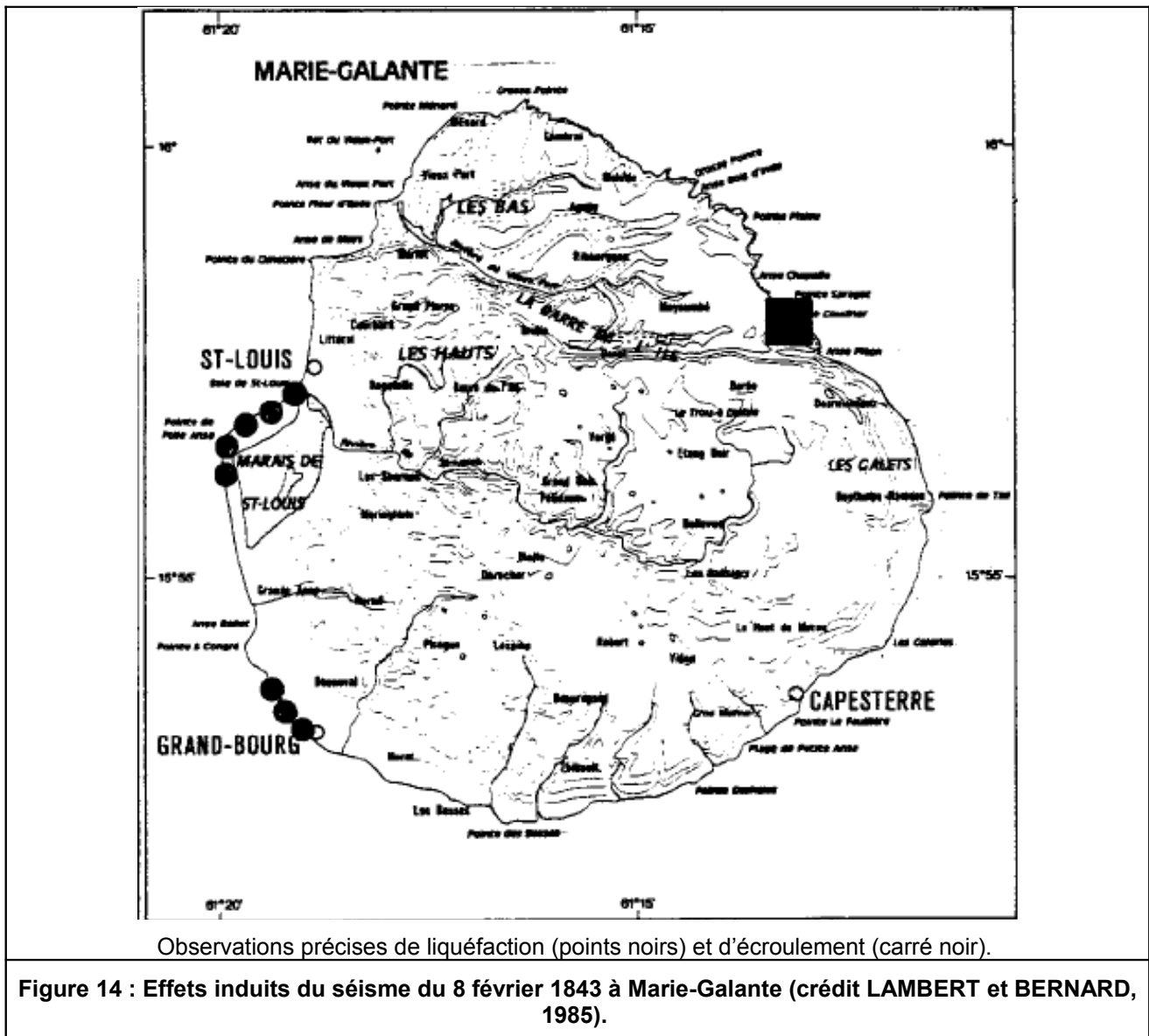
Vieux-Fort

**Photo. 7 : Chutes de blocs ou éboulements déclenchés par la crise sismique des Saintes (21/11/2004, 14/02/2005).**

### 6.2.3 Effets induits du séisme du 8 février 1843

Les traces de liquéfaction 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. A Marie-Galante, **SAINTE-CLAIRE DEVILLE** (1843) rapporte des observations précises de liquéfaction. Elles concernent (Figure 14) :

- L'ensemble du cordon sableux de Folle-Anse qui confine le marais de Saint-Louis ;
- Le littoral au Nord de Grand-Bourg.



Ce témoignage de **SAINTE-CLAIRE DEVILLE** montre à la fois :

- La susceptibilité avérée de formations présentes sur le littoral de la Guadeloupe (plages et cordons sableux, formations de mangroves et alluvions fluviales).
- L'initiation possible de phénomènes de liquéfaction par des séismes affectant la Guadeloupe, et le déclenchement avéré pour les plus forts séismes de subduction.

Malgré leur qualité, ces indications ne prétendent toutefois pas à l'exhaustivité. D'autres phénomènes ayant pu échapper à l'observation.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (1843, in BERNARD et LAMBERT, 1985) rapporte également un éboulement de très grande ampleur, déclenché par le séisme du 8 février 1843 (Figure 14) : « Les falaises de Saragot, hautes de 80 mètres se sont écroulées sur une longueur de 1200 à 1500 mètres dans un fracas épouvantable ; les débris, battus par la houle colorèrent la mer devenue comme " blanche et laiteuse " »

### 6.3 Phénomènes de mouvements de terrain

Pour nos différents interlocuteurs, les mouvements de terrain n'apparaissent pas comme un phénomène aussi fréquent ou dommageable que les événements météorologiques. Les seuls secteurs qui nous ont été signalés sont les suivants :

- Route de Piton, avec des chutes de blocs assez courantes (Service Technique de Saint-Louis et DDE) ;
- Talus de la RN9 à Morne Lolo (Mairie de Grand-Bourg et DDE), protégé par des grillages ;
- Talus de la RN9 à Rabi (DDE), soutenu par un mur en béton armé ;
- Talus de la route de Pichery (Mairie de Capesterre de Marie-Galante et DDE), ayant nécessité la purge d'un bloc (« tombé d'un coup de barre à mine ») ;
- Talus de la RN9 à Capesterre de Marie-Galante (Mairie), protégé par des grillages.

Aucune victime ou bien endommagé à cause d'un mouvement de terrain ne nous a été signalé. De même, malgré notre insistance, aucun interlocuteur n'a connaissance d'effondrement associé aux nombreuses dolines rencontrées sur le plateau.

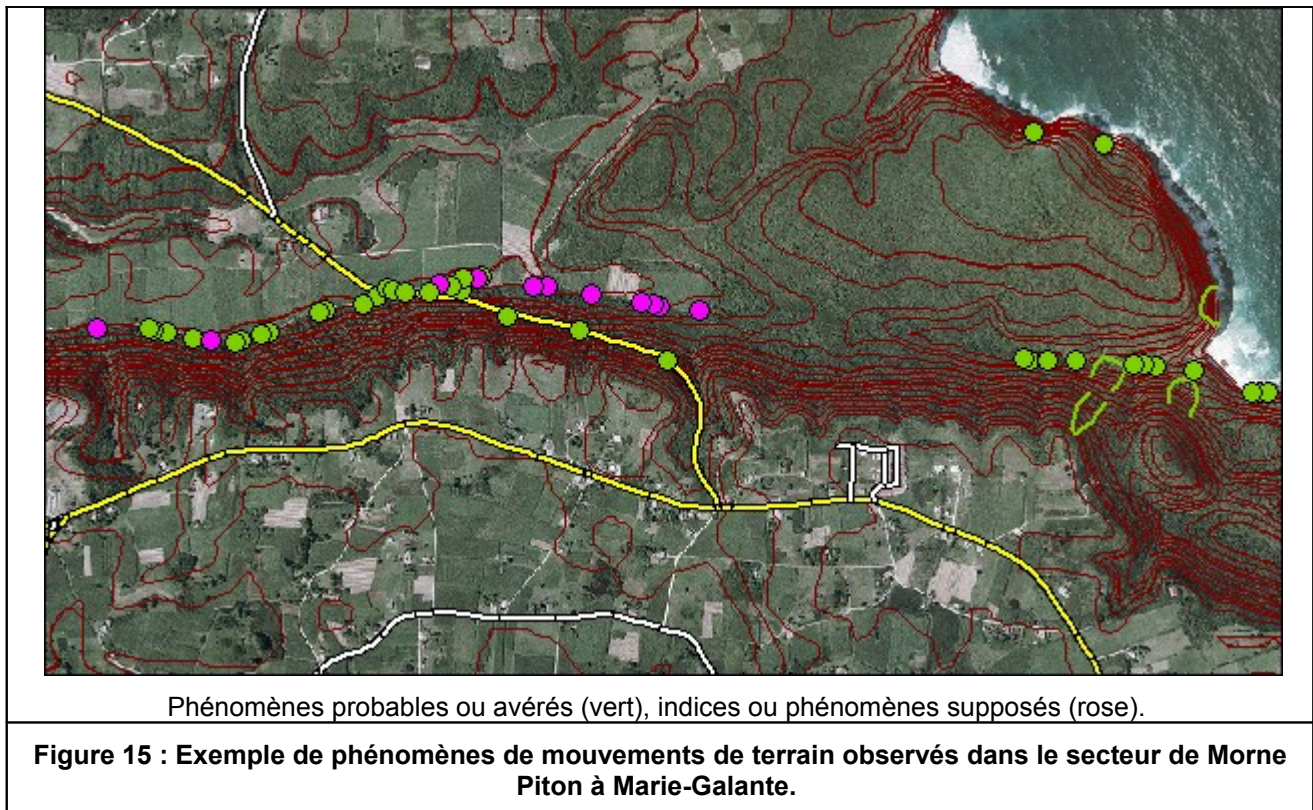
Dans les **archives**, l'éboulement des falaises Saragot (SAINTE-CLAIRE DEVILLE, 1843) est l'événement recensé ayant la plus grande ampleur : 80 mètres de hauteur sur une longueur de 1200 à 1500 mètres.

L'**enquête de terrain** est la principale source d'information. Les observations représentent plus de 90% de l'inventaire). Sans prétendre à l'exhaustivité, il s'agissait d'apprécier la densité des événements sur des zones cibles (secteurs signalés par nos interlocuteurs, axes de communication traversant des zones d'instabilités potentielles, Figure 15).

La **photo interprétation** (exploitation de la BD ORTHO et du modèle numérique de terrain, MNT de l'IGN) a permis l'identification supplémentaire de plus d'une vingtaine de morphologies suspectes (environ 10%). Il s'agit d'événements ayant une ampleur suffisante, pour être repérés grâce à la photographie aérienne (Figure 16).

La **base de données nationale sur les mouvements de terrain** (BDMvt, [www.bdmvt.net](http://www.bdmvt.net)) n'indique pas de mouvements de terrain connu sur Marie-Galante.

La **carte géologique** de Marie-Galante ne mentionne pas d'instabilités, ni ne représente de dépôts de versants. En revanche, une douzaine de cavités karstiques remarquables sont figurées.



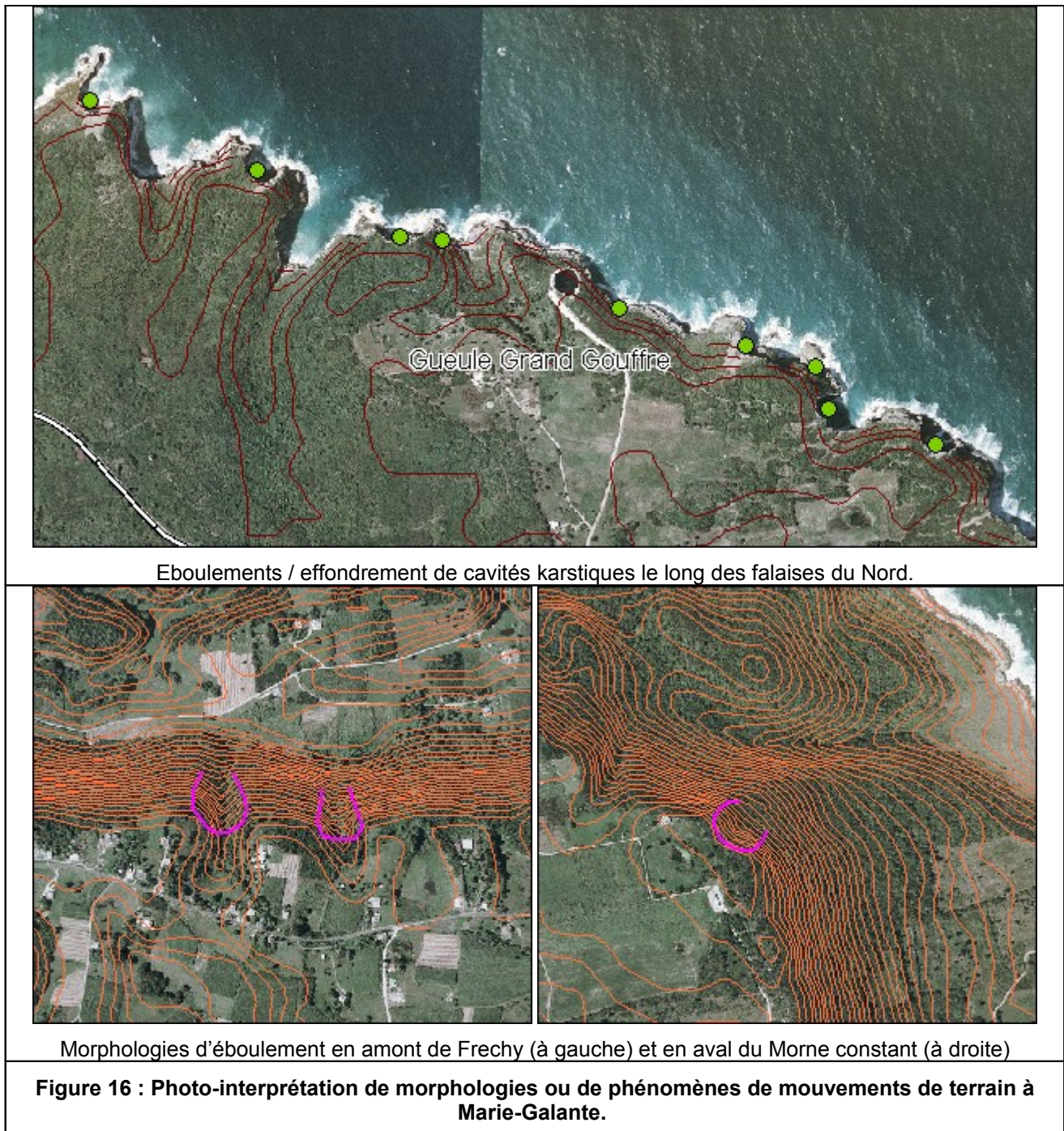
En plus des sites remarquables (Gueule Grand Gouffre, Le Trou à Diable, Le Petit Trou à Diable) les **bases de données topographiques** de l'IGN (BD TOPO Pays et SCAN25) indiquent quelques toponymes de cavités souterraines : Le Gouffre, Les Galeries, Le trou comblé, etc..

Ainsi, **environ 225 phénomènes ou indices** sont recensés et décrits. Les informations sont classifiées selon leur type (Figure 17) et en distinguant s'il s'agit de d'événements probables ou avérés (67%) ou plutôt d'indices ou de phénomènes supposés (33%). Du point de vue typologique, on dénombre :

- 201 chutes de blocs ou éboulements (Encart 5) ;
- 19 éboulements / effondrements ;
- 2 glissements / éboulements ;
- 2 affaissements observés sur la chaussée.

Les chutes de blocs et éboulement sont le type de phénomène le plus souvent rencontrés (environ 90% des informations collectées, Encart 5). La proportion est encore plus importante (98%) si l'on ajoute les phénomènes mixtes éboulement / effondrement. Cette prédominance s'explique par l'homogénéité des facteurs de prédispositions, la lithologie et la topographie notamment.

Les éboulements en masse sont caractéristiques des falaises du Nord de Marie-Galante, principalement depuis l'Anse Piton à l'Est jusqu'à la Pointe du Nord, et dans une moindre mesure jusqu'à Belle-Hotesse.



Entre la Pointe du Nord et l'Anse Piton, la forme cylindrique de certains éboulements suggère un mécanisme impliquant l'effondrement d'une cavité karstique littorale. Gueule Grand Gouffre en est une probante illustration (Figure 3).

Les chutes de blocs ou de gros blocs se situent essentiellement le long de la « Barre de l'île » (Photo. 8) et des falaises mortes séparant les différentes terrasses marines. Ils concernent également les versants des vallées incisées dans le plateau (rivière de Saint-Louis par exemple). La forme sphérique des blocs rencontrés explique les distances de propagation parfois importantes. La taille des masses mobilisées est le plus souvent supérieure à 1 m<sup>3</sup>.

Des exemples éloquentes, masqués par la végétation, se situent :

- Le long de la RN9 entre Capesterre de Marie-Galante et Jean-Baptiste ;
- En face de l'aéroport ;
- Le long de la route de Pichery.

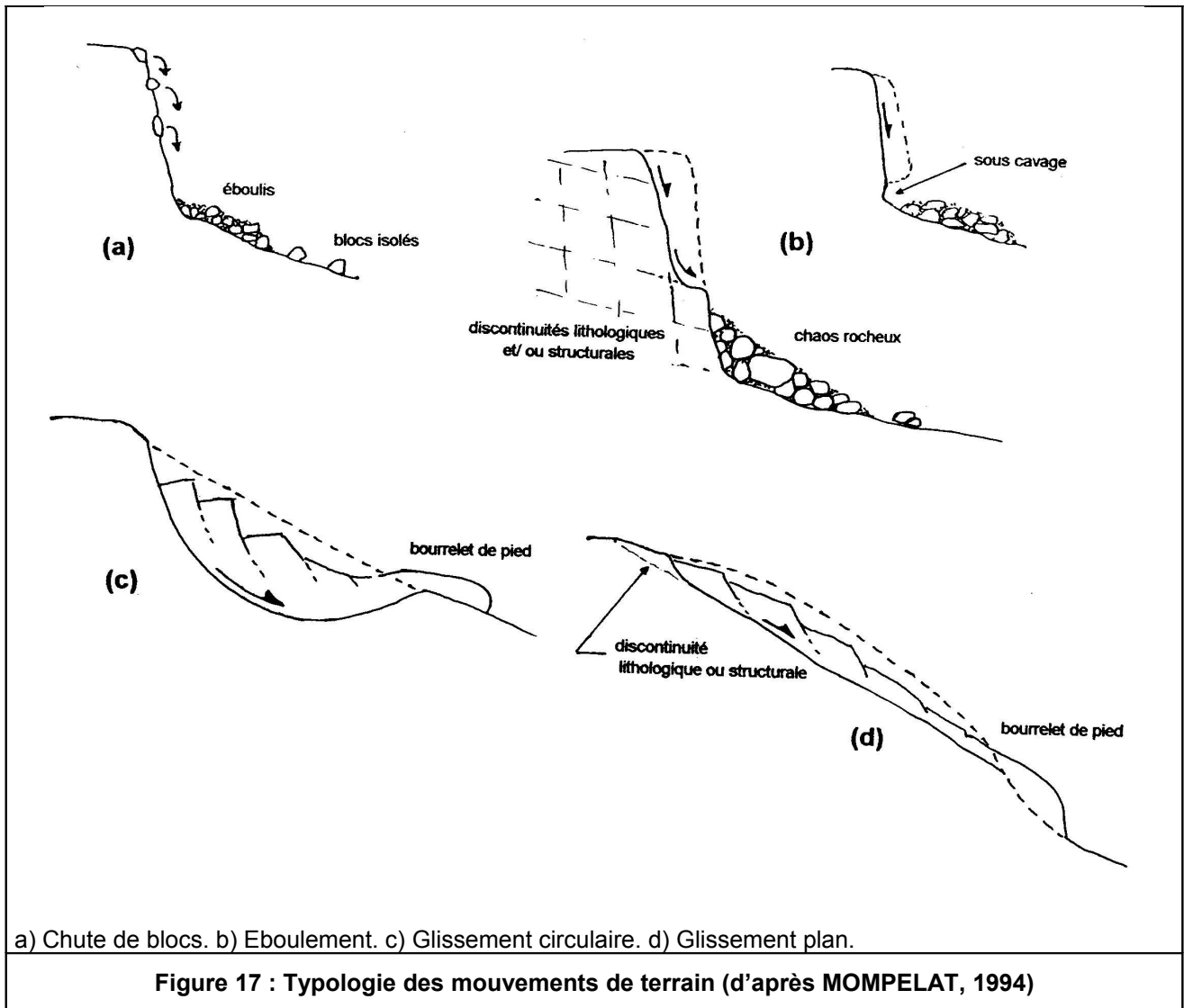
Plus marginalement, les glissements / éboulement ont été observés à la faveur de talus routiers. Ils se produisent dans des faciès altérés ou friables. Les affaissements relèvent de désordres de la chaussée : tassement ou glissement de remblai ? Deux cas ont été relevés mais de nombreux autres cas peuvent être constatés sur les routes de Marie-Galante.

Les deux principales causes naturelles, susceptibles de déclencher des mouvements de terrain sont : des épisodes pluvieux (passage d'un cyclone, hivernage particulièrement arrosé ou épisode pluvieux intense) et des séismes. Le déclenchement peut être étalé dans le temps, compte tenu de la cinématique et de l'évolution de chaque phénomène ou bien synchrone d'un événement exceptionnels (séismes du 8 février 1843 et à un degré moindre du 21 novembre 2004). Ces déclencheurs ont eu un effet de purge pour un grand nombre de versants.

Les nombreuses instabilités récentes observables sur les falaises du Nord de Marie-Galante sont probablement imputables aux tremblements de terre du 21 novembre 2004 et du 14 février 2005 (Photo. 7). Pour certains mouvements de terrain, des riverains ont pu confirmer cette hypothèse co-sismique.

Toutefois, des indices plus anciens montrent que ce démantèlement des falaises est aussi un phénomène naturel plus continu pour lequel, l'érosion maritime en pied, la végétation (poussée radiculaire) et les précipitations sont des facteurs aggravants possibles.

Les phénomènes de mouvements de terrain recensés sont représentés à l'échelle de l'île de Marie-Galante, sur la **carte informative des mouvements de terrain** (Figure 18).



**Photo. 8 : Gros blocs éboulés à l'aval de la Barre de l'île, à la lisière de la forêt et des zones cultivées.**



Eboulement falaise (séisme des Saintes)



Gros bloc éboulé (sup. à 1m3)



Gros bloc éboulé (1m3), RD 205, PK 14



Eboulement en masse  
dont gros blocs (env. 10 m3)



Cicatrice d'éboulement en masse



Gros blocs éboulés



Cicatrice d'éboulement en masse  
(plus de 100 000 m3)

**Phénomènes de mouvements de terrain**

- ✂ Chute de bloc, éboulement
- ( Eboulement, glissement
- ) Affaissement
- ) Eboulement, effondrement
- ∅ Morphologie

- 🌿 Phénomène probable ou avéré
- 🌸 Indice ou phénomène supposé

**Autres informations**

- ^ Grottes et cavités, toponymie

## 7 ALÉAS CYCLONIQUES

Le système de référence retenu pour évaluer les surcotes est le Nivellement Général de la Guadeloupe (NGG). C'est le système de référence utilisé sur les cartes IGN et par les géomètres de Guadeloupe.

Le 0 NGG correspond sensiblement au niveau moyen de la mer, et donc à la ligne de rivage.

Nota : le 0 NGG se situe 0,46 m au-dessus du 0 NH des cartes marines. En effet, le NH ou Niveau Hydrographique prend son origine au niveau des plus basses mers.

L'évaluation de l'aléa cyclonique repose sur une estimation des caractéristiques de la houle lorsqu'elle aborde le rivage, croisée avec la topographie de la côte sur laquelle elle vient s'abattre. Les caractéristiques de la houle au rivage dépendent : de celles de la houle au large d'une part, et de la bathymétrie à l'approche des côtes d'autre part. La houle au large est décrite par Météo-France<sup>7</sup>, tandis que la bathymétrie à l'approche des côtes a été évaluée sommairement à partir des cartes IGN 25 000 et 3 000 000 (IGN Caraïbes).

Les observations de terrain et, lorsqu'ils n'étaient pas contradictoires, les témoignages recueillis, ont permis d'ajuster les résultats issus de la théorie.

### 7.1 Modélisation de la houle

#### 7.1.1 Caractéristiques de la houle au large

Dans le cadre global des études du risque cyclonique, Météo France utilise un modèle de calcul des durées de retour de houle cyclonique aux abords des petites Antilles. L'étude « Evaluation du risque lié aux houles cycloniques sur les Antilles Françaises » fixe l'ordre de grandeur des vagues aux larges. La direction de houle la plus défavorable est dans la majeure partie des cas celle dont l'incidence est perpendiculaire à la ligne de rivage.

D'après Météo-France, pour Capesterre de Marie-Galante, la hauteur significative de la houle au large (Hs), d'occurrence centennale est de 12 m avec une période (T) entre deux crêtes de 8 à 12 s.

Nota : Hs, la hauteur significative des vagues, est une mesure de l'état de la mer. Elle peut être comprise comme une moyenne de la hauteur maximum des vagues. A l'origine, il y a 50 ans, quand seulement les observations visuelles dominaient, on disait qu'il s'agissait de la moyenne des hauteurs du 1/3 des vagues les plus grandes. On la retrouve parfois sous la notation  $H_{1/3}$ . La hauteur maximale Hmax de la houle est comprise entre 1,6 et 2 fois Hs.

<sup>7</sup> Etude de 2002 intitulée « Estimation du risque lié aux marées de tempête à Marie-Galante »

## 7.1.2 Caractéristiques de la houle à l'arrivée sur le rivage

### 7.1.2.1. Terminologie

La **marée astronomique**, indépendante de la présence d'un cyclone, correspond aux variations du niveau de la surface de la mer observées au quotidien.

En cas de cyclone, la forte dépression atmosphérique (aspiration) et les vents latéraux (accumulation) qui caractérisent ce phénomène entraînent un exhaussement du niveau de la mer nommé **marée de tempête**. Cette marée de tempête, dans le cas le plus défavorable, vient s'ajouter à l'amplitude de la marée astronomique : l'élévation qui en résulte s'appelle **la surcote statique**. La surcote statique ne tient compte d'aucun effet dynamique lié aux vagues. Elle donne en quelque sorte le niveau, pendant la tempête, qu'aurait la mer « au repos ». Bien sûr, la réalité est toute autre, et les turbulences provoquées par la forte houle provoquent des exhaussements supplémentaires. Ces exhaussements dynamiques, à l'approche du rivage, sont de plusieurs natures<sup>8</sup>. Leur détermination nécessite de connaître Hs, T, la bathymétrie et la topographie littorale.

**La surcote dynamique (setup)** désigne une surcote, liée à l'accumulation d'eau, apportée par les vagues à l'approche de la côte, en eau peu profonde.

**Le runup** quantifie la hauteur maxi atteinte par l'étalement de la vague sur le rivage, au-dessus des surcotes (statique et dynamique).

**L'overtopping** : est le franchissement par les vagues du sommet d'un rivage ou d'un obstacle, entraînant une submersion des terres situées derrière et en contrebas. L'overtopping n'intervient donc qu'en présence de topologies côtières particulières.

**La surcote totale** est la somme des surcotes statiques et dynamiques. Elle représente le niveau minimum permanent de submersion du rivage pendant l'événement étudié.

La connaissance de l'ensemble de ces paramètres permet d'appréhender le comportement de la houle lorsqu'elle atteint le rivage.

### 7.1.2.2. Détermination de la surcote totale

#### a/ Marée astronomique

Son amplitude maximale, bien connue pour la Guadeloupe, est de l'ordre de + ou – 40 cm.

Le niveau de pleine mer est donc considéré comme étant une constante égale à :

**0,40 m NGG**

<sup>8</sup> Voir le *Shore Protection Manual* édité par le US Army Corps of Engineers

**b/ Marée de tempête**

Influencée par certains effets de site, l'élévation supplémentaire du niveau de la mer due à la marée de tempête est estimée en conditions cycloniques centennales, c'est-à-dire sous l'effet d'un cyclone de catégorie 5. La valeur retenue, issue des rapports Météo-France, est de **0,75 m** à Capesterre de Marie-Galante.

**c/ Surcote statique**

Somme des deux paramètres précédents, sa valeur est donc de **1,15 m** à Capesterre de Marie-Galante.

**d/ Surcote dynamique (Setup)**

Pour des hauteurs de houle significatives variant de 10 m à 12 m, la valeur du setup peut être estimée (d'après le Shore Protection Manual) à **1,60 m** à Capesterre de Marie-Galante.

**e/ Surcote totale théorique**

Somme des paramètres précédents, elle est égale à **2,75 m** à Capesterre de Marie-Galante.

**7.1.2.3. Détermination de la hauteur de vagues  $H_v$  au droit du littoral, du runup et de l'overtopping**

Ces paramètres ont été déterminés à l'aide du logiciel CHAMP, acronyme de Coastal Hazard Analysis Modeling Program. Ce logiciel a été conçu par l'US Army Corps of Engineers pour les besoins de l'Agence Américaine de Gestion des Crises (Federal Emergency Management Agency). CHAMP est très largement utilisé et préconisé dans le cadre de l'établissement de cartes d'aléa destinées aux compagnies d'assurance américaines.

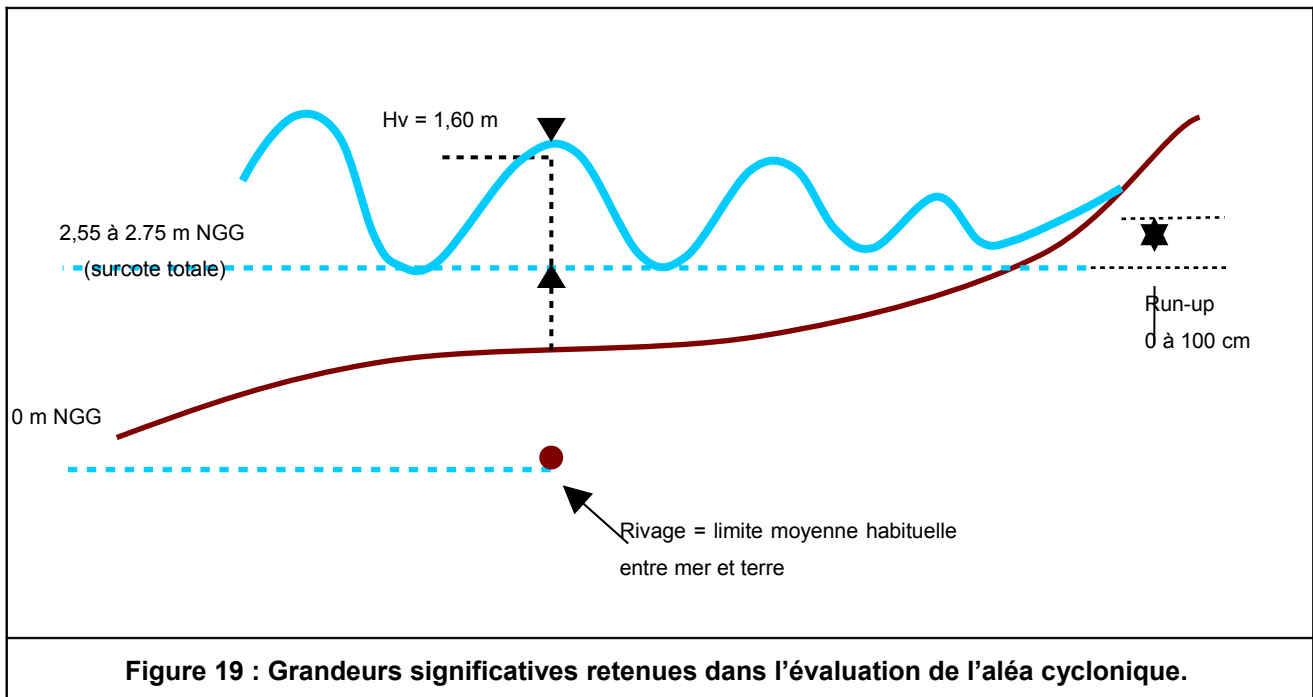
Les références suivantes rassemblent les connaissances et théories à l'origine des modèles de calcul utilisés par CHAMP :

- Reanalysis of Wave Runup on Structures and Beaches, *Coastal Engineering Research Center, 1978*
- Wave Runup on Composite Slopes, Proceedings of the Sixth Conference on Coastal Engineering, *ASCE, Council of Wave Research, 1958*

Sur l'ensemble de la côte de Marie-Galante, les paramètres qui caractérisent le comportement des flots lorsqu'ils franchissent le littoral pour pénétrer dans les terres habituellement sèches sont :

- $H_v = 1,60 \text{ m}$
- Runup = **0 à 100 cm**, selon profil en travers de la côte
- Overtopping, existe dès qu'il y a présence d'énrochements maritimes.

Le schéma suivant (Figure 19) illustre grandeurs significatives retenues dans l'évaluation de l'aléa cyclonique.



#### 7.1.2.4. Commentaires

### CARACTÈRE EXCEPTIONNEL DE L'ÉVÉNEMENT CYCLONIQUE CONSIDÉRÉ

La conjonction d'une marée astronomique pleine, d'une marée de tempête centennale et d'une houle elle-même centennale constitue un événement théorique dont la période de retour est nettement supérieure à 100 ans. Cela laisserait supposer que l'événement théorique retenu dépasse largement l'objectif de sécurité centennal imposé par la démarche PPR. Cependant, plusieurs aspects viennent atténuer cette observation :

- La détermination précise du runup nécessite d'avoir recours à de la simulation sur modèles réduits. En l'absence de ce type d'approche (coûteuse), le runup est extrapolé à partir de cas de figure connus. La part d'incertitude est probablement de + ou - 50% sur ce terme.
- Les valeurs de setup retenues dans les PPR sont des moyennes. A certains endroits, il est vraisemblable que des effets de site accentueront l'effet du setup. Seules des modélisations numériques aux éléments finis permettent de quantifier ces effets de site.
- La hauteur de houle centennale retenue est une hauteur moyenne des vagues pendant le cyclone. Les vagues les plus hautes peuvent dépasser cette moyenne de 60 à 100% !
- Enfin, la surcote totale calculée équivaut à un niveau moyen de l'eau « calme », c'est à dire au niveau que l'eau atteindrait, au rivage, s'il n'y avait pas de vagues. La réalité est bien sûr que les vagues sont bien présentes, ce qui fait osciller le niveau autour de la surcote statique avec une amplitude d'environ 1,60 m.

## **BARRIÈRES DE CORAIL**

La présence de récifs coralliens à quelques centaines de mètres du rivage constitue une protection naturelle vis-à-vis des impacts provoqués par la houle. Cependant, le phénomène de dissipation d'énergie au passage des récifs, ne fait pas l'objet, dans la littérature technique, d'une formalisation théorique qui permettrait de retenir un ordre de grandeur de l'abattement à prendre en considération. On peut affirmer que les effets d'impacts par l'eau et par les matériaux solides que la houle met en mouvement sont considérablement réduits du fait de la présence de la barrière récifale. On peut aussi présumer que la hauteur de houle diminue brutalement au passage de la barrière. Cependant, aucun élément ne montre que la surcote dynamique (setup) est affectée par la présence des coraux. Aussi, puisque la surcote totale n'est pas diminuée de manière certaine par la présence des récifs, la prudence conduit à ignorer ces derniers dans l'établissement du zonage de l'aléa.

## **7.2 Evaluation et cartographie des aléas houle et submersion cycloniques**

En croisant les données de hauteur d'eau (NGG) avec la topographie des zones étudiées, les hauteurs d'eau en tout point du plan X,Y peuvent être déterminées et, par conséquent, les limites de pénétration des eaux à l'intérieur des terres deviennent connues.

Nous avons pris la décision de retenir principalement les niveaux d'aléa fort (C3) et moyen (C2) Ce choix repose sur plusieurs considérations :

- La méthodologie générale des PPR est naturaliste. En d'autres termes, des études hydrauliques approfondies et des modélisations informatiques fines des sites étudiés ne sont pas menées, et ne seraient de toutes les façons pas financièrement réalisables, dans le cadre du PPR.
- Les données topographiques et bathymétriques en possession sont d'une précision faible en regard du phénomène étudié.
- Nous ne possédons pas de témoignages relatifs aux effets d'une houle cyclonique exceptionnelle.

Compte tenu de ces observations, nous avons jugé qu'un découpage faisant intervenir de nombreux niveaux d'aléas entraînerait des erreurs d'affectation, et qu'il était donc préférable de travailler sur des intervalles plus larges, pour lesquels les inévitables effets de bord auront un poids relatif moins important.

Les critères retenus pour la détermination de l'intensité de l'aléa sont les suivants (Tableau 4).

Secteurs	Critères	Aléa cyclonique (houle et submersion)
Ensemble du territoire	Situé à moins de 10 m du rivage OU Exposé à des vagues supérieures à 1 m OU Submersion « permanente » supérieure 1 m ; OU Vitesse d'eau importante ( $\geq 0,5$ m/s)	Fort (C3)
Hors des secteurs à enjeux (MNT IGN)	Submergé ET pas d'aléa fort	Moyen (C2)
Secteurs à enjeux (topographie spécifique)	Exposé à des vagues supérieures à 50 cm OU Submersion « permanente » supérieure à 50 cm ET pas d'aléa fort	Moyen (C2)
Secteurs à enjeux (topographie spécifique)	Submergé ET pas d'aléa fort ni moyen	Faible (C1)
Ensemble du territoire	Non submergé	Nul ou considéré comme négligeable

**Tableau 4 : Critères de détermination des niveaux d'aléa cyclonique (houle et submersion marine).**

En ce qui concerne les vitesses d'écoulement de l'eau, seules les quelques zones dépressionnaires alimentées par un écoulement « indirect » peuvent présenter des vitesses pratiquement nulles. C'est le cas par exemple de zones en contrebas (Les Basses) auxquelles l'eau accède en remontant par le lit d'une rivière, ou bien qui se remplissent par « overtopping » ou bien par intermittence, au franchissement d'une route par exemple. La règle générale à appliquer par défaut est que les vitesses de l'eau pour tous les points mouillés sont fortes.

Après établissement des cartes d'aléa, une comparaison du zonage obtenu avec le zonage de l'Atlas Communal des Risques a été menée, dans le but de cerner les zones pour lesquelles des différences significatives apparaissaient. Ces zones ont alors fait l'objet d'une remise en question avant validation définitive de leur découpage.

**L'aléa houle et submersion cyclonique est cartographié à l'échelle du 1/10 000 sur l'ensemble du territoire communal** (Planches hors texte).

### **7.3 Commentaires de la carte**

Les zones où l'aléa est élevé correspondent principalement aux zones littorales basses. Par ailleurs, comme indiqué au chapitre précédent, une bande littorale de 10 m de large est systématiquement considérée en aléa fort (C3) sur tout le périmètre de l'île.

Les listes de lieux sont établies en parcourant le littoral de la commune dans le sens anti-horaire. Les principales zones exposées aux aléas sont les suivantes :

- La plage de Petite-Anse ;
- La plage des Ferrières ;
- Le littoral du bourg, notamment au nord du port. Selon M. PASBEAU (CCMG), il y a 40 ans, l'eau est arrivée au pied de l'église du bourg. C'était avant que les protections maritimes n'existent. Chaque année, en novembre ou décembre, des paquets de mer viennent envahir le boulevard de front de mer.
- Le secteur des Caps ;
- Les Galets.

## **8 ALÉAS INONDATIONS**

### **8.1 Remarques préliminaires**

Du fait de la grande variabilité des phénomènes naturels et des nombreux paramètres qui interviennent dans leur déclenchement, l'aléa ne peut être qu'estimé et cette estimation est relativement complexe. Son évaluation reste en partie subjective ; elle fait appel à l'ensemble des informations recueillies, notamment aux différentes études antérieures, au contexte géologique, aux caractéristiques des précipitations, et à l'appréciation du chargé d'études. Pour limiter l'aspect subjectif, le guide des PPR préconise que la crue de référence à prendre en compte soit celle de la plus grande crue connue, et si celle-ci est d'une fréquence inférieure à 100 ans, qu'on se base sur une crue reconstituée d'occurrence au moins centennale. Ceci nécessite une bonne connaissance pluviométrique et une topographie relativement précise au droit de la zone considérée. Hors des secteurs à enjeux du littoral, la précision du MNT de Marie-Galante est décimétrique. Il est dès lors difficile d'identifier des hauteurs de submersion de 50 cm, comme le recommande le guide d'élaboration des PPR.

Les précipitations sont un des processus hydrologiques les plus variables. Elles diffèrent selon plusieurs facteurs (déplacement de la perturbation, lieu de l'averse, influence de la topographie, etc.). Leur mesure est relativement compliquée car elles ont une grande variabilité dans l'espace, et ceci quelle que soit l'échelle spatiale prise en compte (régionale, locale, etc.) mais également dans le temps, aussi bien à l'échelle annuelle qu'à celle d'un événement pluvieux.

De plus, l'imbrication étroite existante entre les causes météorologiques et les conséquences hydrologiques n'est pas exempte de difficultés.

Les données statistiques pluviométriques sur Marie-Galante portent sur des périodes de mesure courtes et leur pas de mesure n'est pas adapté aux crues rapides des petits bassins versants.

Nous estimons, sur la base des coefficients de Montana établis sur la station du Raizet, que la période de retour de Jeanne a été comprise entre 20 et 50 ans sur 24h.

### **8.2 Présentation de la démarche**

La détermination de l'aléa inondation a été conduite par une approche géomorphologique (analyse de la topographie et de la photo aérienne, expertise de terrain) et hydrologique. Les résultats obtenus ont été confrontés à ceux des études existantes et aux témoignages recueillis sur le terrain.

C'est principalement la tempête JEANNE (septembre 2004) qui a été une source d'indications importantes. Les débordements de rivières ont été nombreux, les dégâts occasionnés dans certains secteurs ont été importants, et les esprits ont conservé une assez bonne mémoire de cet événement récent.

Marie-Galante offre une grande diversité de faciès hydrographiques. La rivière de Vieux-Fort et le cours aval de la rivière de Saint-Louis fonctionnent en régime fluvial. Les écoulements sont relativement lents, sur des largeurs importantes. Ce sont là les 2 principaux bassins versants de l'île. Sur la frange littorale située entre Grand-Bourg et Capesterre de Marie-Galante, on est au contraire en présence de bassins versants côtiers de moindre surface ( $\leq 3 \text{ km}^2$ ) dont les pentes sont beaucoup plus raides. Ces cours d'eau descendent du plateau calcaire de Marie-Galante en passant d'une altitude voisine de 100 m NGG à environ 20 m NGG en parfois moins d'1 km. Le régime est ici nettement torrentiel, jusqu'à ce que les eaux débouchent sur une plaine côtière dont la largeur varie entre quelques dizaines de mètres seulement (Grande Ravine, Ravine des Cayes à Capesterre de Marie-Galante) à plusieurs centaines de mètres (Les Basses, Blanchard, Coulisse).

De manière générale, l'hydrologie des cours d'eau de Marie-Galante est particulièrement délicate à appréhender. Le plateau karstique et les nombreuses zones endoréïques (mares ou « dolines ») font que la réponse hydrologique des bassins versants est fort complexe. Par exemple, pour 2 averses d'intensité et de durée équivalentes, l'hydrogramme de crue pourra être radicalement différent selon que les heures et les journées précédentes ont été sèches ou bien pluvieuses. Ce phénomène tient aux capacités de stockages en surface et en sous sol des terrains. Le réseau karstique et les mares offrent une capacité de stockage importante des eaux de ruissellement, mais l'hydrogramme de crue augmente brutalement lorsque cette capacité est atteinte.

Sur les cours torrentiels, l'observation des matériaux transportés et surtout la taille des cailloux charriés permettent d'estimer les vitesses d'écoulement de façon assez simple. En effet, l'érodabilité d'un sol, matériau plus ou moins cohérent, a été étudiée dans les travaux de Hjulström. L'érodabilité caractérise la résistance d'un sol face à deux contraintes : d'une part, la battance des gouttes de pluies à la surface du sol, et d'autre part, l'entaille du ruissellement entre les mottes, dans les griffes ou les rigoles. Par extension, lorsqu'on observe la taille des granulats drainés par un ruissellement, on en déduit une estimation de la vitesse du ruissellement en question.

L'application de cet abaque nous indique que des blocs d'environ 40 cm de diamètre sont susceptibles d'être charriés par la rivière lors des crues importantes. Par ailleurs, l'analyse des éléments charriés permet, par double entrée, d'obtenir des vitesses d'écoulement approximatives.

Il faut signaler que l'aléa inondation n'est pas indépendant de l'aléa cyclonique. Au contraire, le second aggrave l'intensité du premier : l'élévation du niveau de la mer peut fortement entraver l'évacuation des ruissellements pluviaux vers la mer.

Les reliefs de Marie-Galante sont propices à la formation de ruissellements qui peuvent être intenses en cas de fortes précipitations. Ces derniers se concentrent généralement dans les talwegs ou sur des chemins, et évoluent très souvent en phénomène torrentiel. Ces écoulements sont parfois sans exutoire ce qui peut entraîner des ruissellements diffus à leur base, dans des zones généralement habitées. Les écoulements

amont, dans presque tous les cas, sont de type torrentiel, et menacent fortement les infrastructures routières.

De nombreux points sont concernés par ce phénomène, ces sites sont identifiés ci-après.

### **8.3 Evaluation de l'aléa inondation**

L'évaluation de l'aléa inondation porte sur :

- L'analyse des facteurs intervenants dans leur formation ;
- La description et la prise en compte des événements ayant affecté le territoire communal ;
- L'évaluation du niveau de l'aléa, jugé fort (I3) moyen (I2), éventuellement faible (I1).
- Les niveaux d'aléa sont déterminés en fonction de l'inondation de référence. Les paramètres physiques capables de traduire les dommages aux biens et la gravité pour les personnes sont essentiellement les suivants :
  - Les hauteurs d'eau ;
  - Les vitesses d'écoulement ;
  - Les durées de submersion.

#### **8.3.1 Aléa inondation fort**

Est classée en zone d'aléa inondation fort, une zone dont au moins une des conditions suivantes est vérifiée :

- Les hauteurs d'eau peuvent être supérieures à 0,5 m ;
- Les vitesses d'écoulement peuvent représenter un danger vis-à-vis des personnes et de la stabilité des terrains, la vitesse d'écoulement de la crue centennale est supérieure à 0,5 m/s (1,8 km/h) ;
- Les durées de submersion peuvent être importantes dans le cas des inondations lentes (supérieures à la journée).
- Le risque d'embâcles est clairement identifié et / ou témoigné ;

Ces zones correspondent généralement :

Au lit mineur des cours d'eau où à leurs abords immédiats (lit moyen) ;

- A la grande majorité des fonds de ravines.
- Aux zones au sein desquelles le lit peut divaguer au cours d'une crue, c'est à dire engendrer une modification significative dans le tracé du thalweg principal (méandres éventuels).

On considère aujourd'hui que le risque pour les personnes débute à partir d'une hauteur d'eau de 0,50 m. Ce risque est essentiellement lié aux déplacements :

- Routiers (véhicules emportés en tentant de franchir une zone inondée)
  - A 0,5 m une voiture peut être soulevée par l'eau et emportée par le courant.
  - 0,5 m est aussi la limite de déplacement des véhicules d'intervention classique de secours.
- Pédestres ; des études basées sur les retours d'expérience des inondations passées, menées par les services de secours (équipement, pompiers, services municipaux...) montrent qu'à partir de 0,5 m d'eau,

un adulte non entraîné et, a fortiori des enfants, des personnes âgées ou à mobilité réduite, sont mis en danger :

- Fortes difficultés dans leurs déplacements ;
- Plus de visibilité du relief (trottoirs, fossés, bouches d'égout ouvertes, etc...).

### 8.3.2 Aléa inondation moyen, éventuellement à faible

Il s'agit des zones avec les caractéristiques suivantes :

- Les hauteurs d'eau restent inférieures à 50 cm ;
- Les vitesses d'écoulement ne font pas craindre de danger pour la sécurité des biens et des personnes ;
- Les durées de submersion sont limitées dans le cas des inondations lentes (quelques heures).

Il s'agit de zones d'expansion des crues. Le risque, en terme de fréquence de submersion, de hauteur d'eau et de vitesse de courant y est moins important. Elles ne sont donc pas concernées par les crues courantes, cependant elles ont été ou seront submergées lors des crues rares ou exceptionnelles.

Ces zones correspondent généralement :

- Aux zones de débordement, dans le lit majeur des cours d'eaux ;
- Aux dépressions topographiques qui peuvent entraîner des phénomènes de stagnation des eaux pluviales (cuvettes naturelles) avec des hauteurs de submersion qui peuvent être localement supérieures à 0,5 m mais inférieure au mètre.

**L'aléa inondation est cartographié à l'échelle du 1/10 000 sur l'ensemble du territoire communal** (Planches hors texte).

Hauteur	Vitesse d'écoulement		
	Faible (stockage)	Moyenne (écoulement)	Forte (grand écoulement)
H < 0,50 m	Moyen (2)	Moyen (2)	Fort (3)
0,50 m < H < 1 m	Moyen (2)	Moyen (2)	Fort (3)
H > 1 m	Fort (3)	Fort (3)	Fort (3)

**Tableau 5 : Détermination des niveaux d'aléa inondation.**

## 8.4 Commentaires de la carte d'aléa inondation

Toutes les mares ont été placées en aléa fort (I3). Les hauteurs d'eau atteintes pendant les fortes pluies le justifient. Par ailleurs, du point de vue hydrologique, le rôle de rétention qu'elles jouent durant les épisodes pluvieux doit être préservé. En dehors de ces dolines et des abords concernés par leur marnage, nos interlocuteurs nous ont indiqué qu'il n'y avait pas de problème d'inondation à l'intérieur de l'île.

Il faut toutefois citer deux exceptions : Balisier et Vidon à Capesterre de Marie-Galante.

De même, une zone en aléa fort (I3) d'au moins 10 mètres de large a été ménagée de part et d'autre des principaux axes hydrauliques de l'île (réseau hydrographique de la BD TOPO Pays, IGN).

Les listes de lieux sont établies en parcourant le littoral de la commune dans le sens anti-horaire. Les principales zones exposées aux aléas sont les suivantes :

- Les embouchures de la Grande Ravine et de la ravine des Cayes.
- De nombreuses zones situées en amont de la RD 206, mais en contrebas de celle-ci : Céleste, la Source, l'ancienne carrière, Blanchard, Vincent. Ces zones sont alimentées par des ravines qui ont des difficultés à franchir la route.
- La source (ravine Morisset) : le tracé final de cette ravine est surprenant et laisse penser que le site hôtelier « La Rose du Brésil » est exposé à une crue majeure de ce cours d'eau. Une étude complémentaire basée sur une topographie précise serait souhaitable sur ce site.
- La route de Pichery a fait l'objet de travaux récents d'assainissement. Dans les tronçons amonts, les eaux sont renvoyées directement dans la ravine Blanchard, mais dans la descente vers Maillard, les eaux suivent la pente de la route sur les 2 rives puis se dispersent dans la plaine, sans canalisation particulière. Le bassin versant n'est cependant pas très important, limitant la hauteur des eaux en jeu.
- Les tronçons avals des ravines Blanchard, Coulisse et Jean-Baptiste possèdent de faibles pentes et de vastes débordements sont confirmés par certains témoignages lors des grosses averses.
- Le bourg est traversé par un aléa moyen correspondant au tracé d'un axe hydraulique naturel qui sature le réseau EP en cas de fortes averses. Des travaux de dérivation de cet axe entrepris en 1975 en amont de la Chapelle ont, selon les anciens, amélioré considérablement la situation. Ces travaux n'ont pas pu être identifiés sur le terrain. Jadis, une mare existait sous la cantine de l'école actuelle. Une construction (Maison Monfret) est sise dans le lit mineur au pied du tronçon à forte pente de cet axe hydraulique.
- Entre le bourg et les Caps, la ravine Cabanice et la ravine des Caps placent le secteur en aléa moyen.
- Au Nord des Galets, la zone de plaine à proximité de l'embouchure de la ravine Pompierre est inondable.

Entre Vincent et Petite Anse, les terrains situés en amont de la RD 203 sont en contrebas de la route.

## 9 ALÉAS SISMIQUES

### 9.1 Secousse sismique

Comme l'ensemble de la Guadeloupe, Marie-Galante est exposée à un aléa sismique, considéré comme le plus fort du territoire national.

La sollicitation sismique de référence, contre laquelle il convient de se prémunir comporte une composante régionale et locale (Encart 4).

Les règles parasismiques en vigueur sont obligatoires, il s'agit actuellement (avril 2007) des :

- Règles PS 92 (NF P 06-013, AFNOR, 1995) ;
- Règles PS-MI Antilles pour les maisons individuelles.

Cependant, la réglementation parasismique est en cours d'évolution (Eurocode 8) du point de vue du règlement et du zonage sismique. Comme le suggère cette évolution réglementaire, les mouvements sismiques pris en compte dans cette étude correspondent à une approche probabiliste et une période de retour de 475 ans. Ceci signifie que les mouvements déterminés ont une probabilité de 10% d'être atteints ou dépassés sur une période de 50 ans.

#### 9.1.1 Composante régionale de l'aléa sismique

Un calcul probabiliste spécifique à la zone d'étude a été réalisé. Les modèles de zones source développés par MARTIN et al. (2002) sont mis à jour et exploités. Cette approche intègre l'influence spatiale et temporelle de tous les types de source, aussi bien les sources proches associées à la déformation crustale, que les sources plus lointaines de subduction. **L'accélération maximale de calage** proposée pour le périmètre d'étude **est de 3,0 m/s<sup>2</sup>** (ouvrage de catégorie d'importance II, situé au rocher).

#### 9.1.2 Prise en compte des effets de site géologiques

Au-delà de la sollicitation sismique régionale, il convient de préciser si des effets de site géologiques sont de nature à modifier localement la secousse sismique. Les unités géotechniques distinguées ci-dessus (§ 3.4) sont exploitées, en gardant à l'esprit les limites de cet exercice, compte tenu :

- De la faible représentativité spatiale des données géotechniques disponibles ;
- Des singularités géologiques intrinsèques au contexte karstique de l'île de Marie-Galante.

Il convient dès lors d'être prudent pour l'utilisation de la carte des effets de site. Il ne s'agit pas d'une carte d'orientation géotechnique ; elle ne peut se substituer à une étude de sol au droit du projet. Ainsi, on préconise pour tout projet d'aménagement la réalisation d'une étude géotechnique préalable visant à préciser la nature et la géométrie du sous-sol. Il s'agit en particulier de repérer des singularités géologiques : variation de l'épaisseur et des caractéristiques des formations surmontant le substratum : poche d'argiles, cavité souterraines, anciennes mares remblayées, etc..

Unités géomorphologiques	Effet de site	Site EC8 (Tableau 7)	Site PS92 (Tableau 8)
Formations calcaires (sub)-affleurantes	A priori non, sauf hétérogénéité locale (doline, cavité, remplissage argileux, mare remblayée, etc.)	A, éventuellement B	S0, éventuellement S1
Plages sableuses et cordons sableux	Oui, si épaisseur suffisante	E (A si épaisseur inférieure à 5 m)	S1 à S3
Colluvions et alluvions récentes	Oui, si épaisseur suffisante	E ou S2 (A si épaisseur inférieure à 5 m)	S1 à S3
Résidus d'altération riche en matière organique	Oui, si épaisseur suffisante	E ou S1 (A si épaisseur inférieure à 5 m)	S2 à S3

**Tableau 6 : Types de site associés aux différentes unités géomorphologiques de Marie-Galante.**

Classe de sol	Description du profil stratigraphique	$V_{s,30}$ (m/s)
A	Rocher ou toute autre formation proche du rocher, incluant au plus 5 m de formation plus molle en surface.	>800
B	Dépôts de sable très dense, de gravier ou d'argile très dure, au moins sur plusieurs dizaines de mètres, caractérisés par une augmentation graduelle des propriétés mécaniques avec la profondeur.	360 – 800
C	Dépôts profonds de sable dense ou moyennement dense, de gravier ou d'argiles dures avec des profondeurs de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres.	180 – 360
D	Dépôts de sols de cohésion faible à moyenne (avec ou sans couches de sols mous cohérents) ou dépôts prédominants de sol cohérent mou à ferme.	<180
E	Profil de sol consistant en une couche de surface d'alluvions avec une valeur de $V_{s,30}$ des classes C ou D et des épaisseurs variant entre 5 et 20 m, reposant sur du matériau plus ferme de $V_{s,30} > 800$ m/s	
S1	Dépôts contenant (ou consistés de) des couches d'au moins 10 m d'épaisseur, d'argiles / limon avec une forte plasticité ( $I_p > 40$ ) et une forte teneur en eau.	<100 (indication)
S2	Dépôts de sols liquéfiables, d'argiles molles ou tout profil de sol non compris dans les classes A –E ou S1	

**Tableau 7 : Classification des classes de sol selon la réglementation EC8.**

Sites (PS 92)	Description
S0	Sol rocheux ou sol de bonnes caractéristiques mécaniques sur une épaisseur inférieure à 15 m
S1	Sol de bonnes caractéristiques mécaniques sur une épaisseur supérieure à 15 m OU Sol de caractéristiques mécaniques moyennes sur une épaisseur inférieure à 15 m
S2	Sol de caractéristiques mécaniques moyennes en épaisseur comprises entre 15 et 50 m OU Sol de caractéristiques mécaniques médiocres sur une épaisseur inférieure à 10 m
S3	Sol de caractéristiques mécaniques médiocres sur une épaisseur supérieure à 10 m

**Tableau 8 : Définition des types de site (PS92).**

Les formes spectrales suivantes sont proposées (Tableau 9, Figure 20).

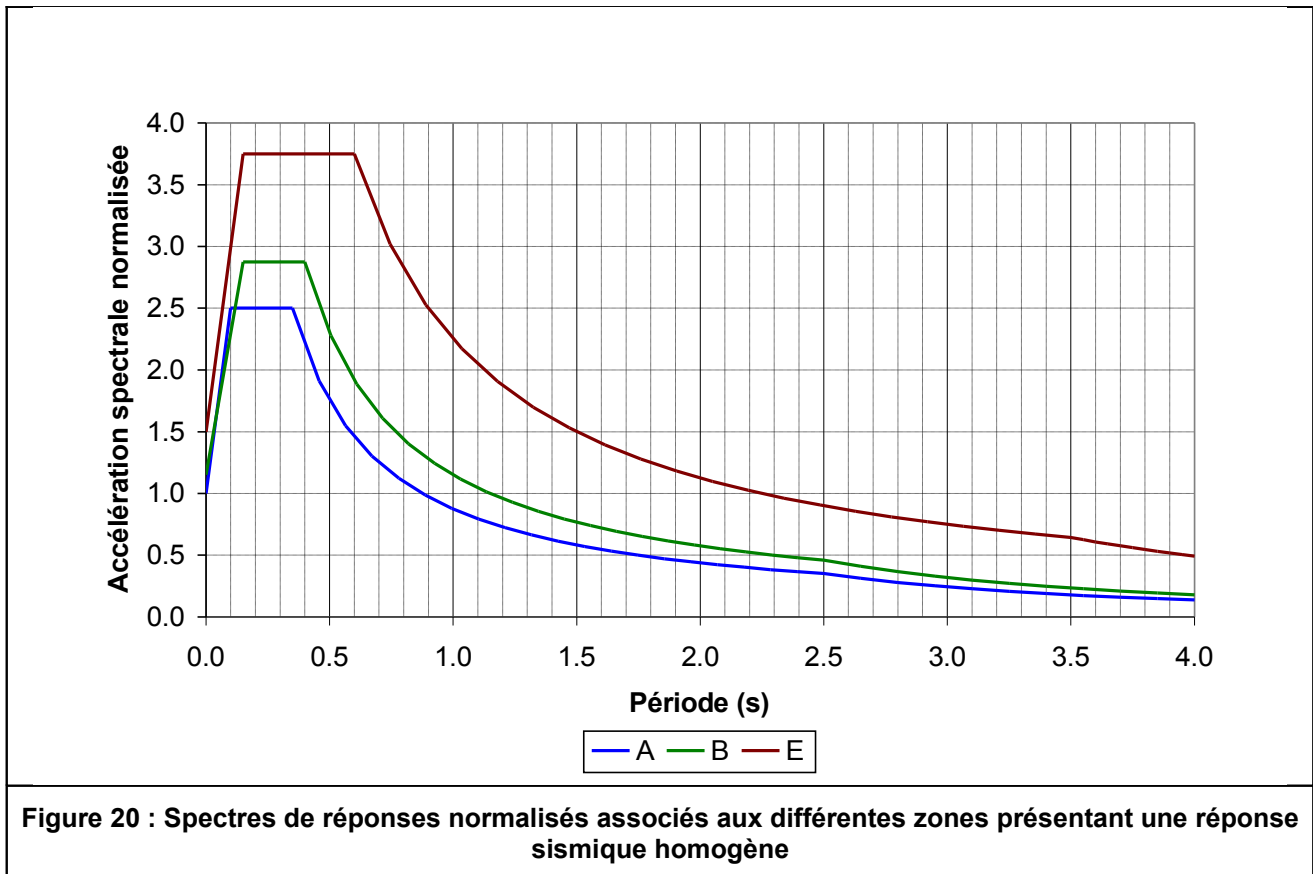
Type de site EC8 (PS92)	$V_{s,30}^9$	S	$T_B$	$T_C$	$T_D$
<b>A (S0)</b>	<b><math>\geq 800</math> m/s</b>	<b>1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,35</b>	<b>2.5</b>
<b>B (S1)</b>	<b>360 à 800 m/s</b>	<b>1,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,4</b>	<b>2.5</b>
E (S1 à S3)		1,5	0,15	0,6	3

**Tableau 9 : Spectres de réponses, associés aux différentes zones présentant une réponse sismique homogène.**

Avec :

- S, Ordonnée à l'origine du spectre de réponse élastique normalisé (traduit l'amplification de l'accélération maximale du sol par rapport au site de référence purement rocheux) ;
- $T_B$ ,  $T_C$ , Périodes caractéristiques des branches du spectre ;
- $T_D$ , Période définissant le début de réponse constante en déplacement du spectre.

<sup>9</sup>  $V_{s,30}$  : Moyenne harmonique des vitesses des ondes de cisaillement ( $V_s$ ) sur les 30 premiers mètres..



## 9.2 Faille active, capable d'engendrer une rupture cosismique en surface

### 9.2.1 Présentation des failles actives sélectionnées

Le système de failles actives dominant est celui de Morne-Piton. De direction Est-Ouest à NO-SE, il est constitué d'un segment de faille principal, auquel viennent se connecter plusieurs failles secondaires. Il concerne les communes de Saint-Louis et Capesterre de Marie-Galante.

Le système de failles des Bas est constitué de deux failles principales, antithétiques qui forment un petit graben orienté NE-SO. Ce système se prolonge en mer vers le Nord-Est sur une longueur probablement supérieure à 25 km. Il forme une structure satellite de la faille de Morne Piton. Il concerne la commune de Saint-Louis.

Pour ces structures, les connaissances sur le tracé (Tableau 10) et l'activité (Tableau 11) sont analysées successivement et synthétisées. Chaque faille est ainsi qualifiée par un indice de qualité (I.Q., Tableau 12). Ces informations sont représentées géographiquement (Figure 10). La qualité des connaissances sur l'activité et le tracé, et les incertitudes restantes, sont notamment transcrites, respectivement, par :

- La nature du trait de faille (continu, tirets, absent) ;
- La largeur des zones concernées et le type de trame.

### 9.2.2 Estimation des périodes de retour de séismes capables d'engendrer une rupture co-sismique en surface

Afin de préciser l'aléa faille active avec rupture de surface pour les failles retenues, les périodes de retour associées à des magnitudes suffisantes pour engendrer une rupture co-sismique en surface ( $M \geq 5.5$ ) sont estimées. Les données empiriques indiquent par exemple qu'un séisme de magnitude 6.0 à 6.5 peut provoquer une rupture pluridécimétrique (20 à 40 cm). Plusieurs méthodes permettent d'estimer les périodes de retour.

La première méthode repose sur l'analyse des marqueurs géologiques ou géomorphologiques décalés par la faille. Compte tenu de la longueur totale de la faille de Morne-Piton (> 50 km), de sa profondeur, de l'amplitude du rejet vertical cumulé (60 à 130 m) et de la vitesse de glissement ( $\sim 0.5 \pm 0.2$  mm/an), les évaluations récentes (Tableau 13) indiquent qu'elle est capable de produire des séismes de magnitude **M~6.5** avec une **période de retour de 1 400 à 3 300 ans**. Pour des événements moins importants (**M~5.5**) comme ceux du 16 mai 1851 et du 3 août 1992, une **période de retour de 400 à 1 000 ans** est déterminée (FEUILLET *et al.*, 2004). Ces travaux universitaires nécessitent néanmoins d'être confirmés par d'autres datations des marqueurs décalés.

La deuxième méthode consiste à exploiter les données de sismicité pour calculer les paramètres d'une loi de distribution de l'activité sismique, propre au système de failles de Morne-Piton.

On exploite pour cela le modèle probabiliste actualisé, initialement développé par GEOTER pour les Antilles françaises dans le cadre de la révision du zonage sismique (MARTIN *et al.*, 2002<sup>10</sup>). Cela débouche sur l'évaluation des périodes de retour de séisme de magnitude supérieure ou égale à des niveaux prédéfinis : dans notre cas 5.5, 6.0 et 6.5.

Le Tableau 14 précise les périodes de retour associées à ces dépassements de magnitudes.

---

<sup>10</sup> MARTIN C., COMBES Ph., SECANELL R., LIGNON G., CARBON D., FIORAVANTI A., GRELLET B. (2002). Révision du zonage sismique de la France. Etude probabiliste. Rapport de phase 3. GTR/MATE/0701-150.

Dénomination des failles	Tracé et géométrie en surface							Expressions morphologique et géophysique en profondeur (géométrie)	
	observée Longueur	Longueur totale suspectée	Orientation	Faille identifiée :				A l'échelle de la faille (1/100 000 à 1/50 000)	Ponctuellement, à l'échelle d'un site (1/10 000)
Echelle régionale (1/100 000)				Carte géologique (1/50 000 à 1/20 000)	Thèse universitaire	Etude appliquée (1/25 000-1/10 000)			
Système de failles de Morne Piton	12 km	> 50 km	N90°E à N120°E	BRGM (1990)	BOUISSE <i>et al.</i> (1993)	FEUILLET (2000)	/	Expression géomorphologique forte	Géomorphologique Indices ponctuels Géophysique (Sismique en mer)
Système de failles des Bas	~5 km	> 25 km	~N70°E	BRGM (1990)	BOUISSE <i>et al.</i> (1993)	FEUILLET (2000)	/	Expression géomorphologique forte	Néant
Faille du Plateau Sud	9 km	9 km	N100°E	BRGM (1990)	BOUISSE <i>et al.</i> (1993)	FEUILLET (2000)	/	Expression géomorphologique faible	Néant

**Tableau 10 : Synthèse des connaissances relatives à la géométrie des failles de Marie-Galante (d'après TERRIER et al, 2002 ; FEUILLET, 2000 ; FEUILLET et al., 2004).**

Dénomination	Activité (approche géologique)					
	Expression morphologique reconnue	Age des terrains décalés les plus récents	Age probable d'après analyse morphostructurale	Indice de rupture quaternaire ponctuel	Rupture paléosismique reconnue	Séisme connu de magnitude $\geq 5.0$ à 5.5 associé
Système de failles de Morne Piton	Oui Grellet et al. (1988) FEUILLET (2000)	< 120 000 ans	< 120 000 ans	Oui	Non	Oui (1992, 2001)
Système de failles des Bas	Oui FEUILLET (2000)	< 330 000 ans		Non	Non	
Faille du Plateau Sud	Oui Grellet et al. (1988) FEUILLET (2000)	< 330 000 ans		Non	Non	

**Tableau 11 : Synthèse des connaissances relatives aux évidences de déplacement en surface des failles de Marie-Galante, à partir des travaux de TERRIER et al (2002) FEUILLET (2000) et FEUILLET et al. (2004).**

Tracé de la faille : connaissance et précision spatiale	Activité de la faille : connaissance de ruptures de surface		
	Douteuse ( $\leq 2$ Ma)	Probable ( $\leq 700$ ka)	Reconnue ( $\leq 30$ 000 ans)
Présomption d'existence, 1/100 000 à 1/50 000, ~400 à 600 m de large.	/	/	/
Présence confirmée, 1/25 000, 200 m de large à terre à 400 m en mer.	/	<b>Système de failles de Morne-Piton et système de failles des Bas (I.Q.=B)</b>	/
Localisation précise, 1/10 000 à 1/1 000, 50 à 150 m de large.	/	/	/

**Tableau 12 : Appréciation (Indice de Qualité) des connaissances relatives aux failles actives pour les communes de Marie-Galante.**

Magnitude	Borne minimale	Borne maximale
5.5	400 ans	1 000 ans
6.5	1 400 ans	3 300 ans

**Tableau 13 : Evaluation des périodes de retour de séismes capables de générer des ruptures de surface ( $M \geq 5.5$ ) sur la faille de Morne-Piton d'après les données géologiques et morphologiques (d'après FEUILLET et al., 2004).**

Magnitude	Période de retour minimum	Période de retour maximum
$M \geq 5.5$	200 ans	800 ans
$M \geq 6.0$	670 ans	2 700 ans
$M \geq 6.5$	2 300 ans	9 000 ans

**Tableau 14 : Evaluation des périodes de retour des séismes de magnitude  $M \geq 5.5$ , 6.0 et 6.5, capables de générer des ruptures de surface ( $M \geq 5.5$ ) sur la faille de Morne-Piton, à partir de la distribution de l'activité associée au système de faille.**

### 9.2.3 Evaluation du niveau de l'aléa

Les niveaux d'aléa sont évalués suivant l'activité, définie en termes de période de retour de séismes de magnitude suffisante ( $M \geq 5.5$ ) pour engendrer une rupture en surface, selon les correspondances suivantes (Tableau 15).

Pour le système de failles de Morne-Piton, la période de retour d'un séisme de magnitude  $M \geq 5.5$  est comprise entre 200 et 800 ans. Celle d'un séisme de magnitude  $M \geq 6,0$  pouvant provoquer une rupture significative décimétrique à pluridécimétrique en surface (10 à 30 cm) est comprise entre 670 et 2 700 ans. Par contre pour un séisme de magnitude  $M_w \geq 6,5$  pouvant provoquer une rupture pluridécimétrique à métrique, la période de retour est plutôt comprise dans une fourchette de 2 300 à 9 000 ans.

L'aléa est ainsi jugé :

- **Moyen (F2) pour le système de failles de Morne Piton.**
- **Faible (F1) pour le système de failles des Bas.** Il s'agit d'un système secondaire de moindre importance que le système de Morne-Piton sur lequel aucune évidence de rejeu post-Pléistocène moyen n'a été observé à ce jour.

Niveau d'aléa	Activité déterminée par exploitation des données géologiques et sismologiques
Aléa fort	$T < 500$ ans
Aléa moyen	$500 < T < 2\,500$ ans
Aléa faible	$2\,500 < T < 30\,000$ ans
Aléa très faible	$T > 30\,000$ ans

**Tableau 15 : Niveaux d'aléas associés à l'activité de la faille.**

## 9.3 Liquéfaction des sols

### 9.3.1 Susceptibilité à la liquéfaction

La susceptibilité des sols à se liquéfier dépend :

- De la nature, de l'âge et des conditions de dépôts (YOUDE et PERKINS, 1978).
- De la présence d'eau dans les sols ;
- Des caractéristiques géotechniques des formations lithologiques.

L'expérience montre que la liquéfaction se reproduit aux mêmes endroits. Le témoignage de SAINTE-CLAIRE DEVILLE (1843, Figure 14) indique donc qu'il convient de considérer comme suspects ;

- L'ensemble du cordon sableux de Folle-Anse qui confine le marais de Saint-Louis ;
- Le littoral au Nord de Grand-Bourg.

Par nature, les plages sableuses et cordons sableux sont les formations les plus suspectes vis-à-vis de la liquéfaction :

- D'autant plus qu'il s'agit de cordons bien développés (Folle-Anse, Moustique, Vieux-Fort, Feuillère) ;
- Avec une suspicion accrue pour le côté sous le vent favorisant des dépôts sableux de moindre énergie : plus fins et homogènes. Les quelques analyses granulométriques disponibles confirment cet avis, pour les sables entre la pointe de Folle-Anse et Belle-Hotesse et sur le littoral de Grand-Bourg entre Murat et Les Basses<sup>11</sup>.

Néanmoins, les formations de mangrove, et dans une moindre mesure les colluvions et alluvions, peuvent contenir des formations également suspectes de se liquéfier.

En outre, le niveau de la nappe dans ces formations est souvent proche de la surface. Ceci indique donc une saturation, au moins partielle.

Aucune donnée géotechnique n'est disponible pour estimer la résistance à la liquéfaction de ces formations (CRR, Cyclic Resistant Ratio, NCEER, 1997). Cette évaluation devra être menée à l'échelle du projet.

### 9.3.2 Initiation de la liquéfaction

L'occurrence de phénomènes interprétés comme de la liquéfaction lors du séisme de 1843, démontre que l'initiation de la liquéfaction est possible, au moins pour des séismes de subductions. Ceci est conforme au critère empirique magnitude – distance (AMBRASEYS, 1988). Ainsi, la liquéfaction peut être initiée pour des distances épacentrales de :

- Environ 40 km pour un séisme de magnitude 6,3 ;
- 200 à 350 km pour un séisme de magnitude 7,5 à 8,0.

<sup>11</sup> Respectivement : études GEOMAT 01 GEO 2936 et Antéa A29791.

### 9.3.3 Intensité de la liquéfaction

Compte tenu du contexte géomorphologique, si des phénomènes de liquéfaction se produisent, il faut *a priori* redouter :

- Des ruptures du sol (perte de capacité portante) et tassements
- Des glissements horizontaux.

### 9.3.4 Evaluation et cartographie de l'aléa liquéfaction.

L'aléa liquéfaction est jugé en fonction :

- De la susceptibilité des formations d'après des critères historiques, géologiques et hydrogéologiques ;
- De l'occasion qu'un séisme déclenche la liquéfaction ;
- De l'intensité envisageable du phénomène.

Ainsi, l'aléa liquéfaction est considéré :

- Fort (L3) pour les sites ayant éprouvé de la liquéfaction lors du séisme du 8 février 1843 (Figure 14) ;
- Fort (L3) pour les plages sableuses et cordons sableux les plus importants (Feuillère) ;
- Moyen (L2) pour les plages sableuses et cordons sableux peu développés (Petite-Anse) ;
- Faible (L1) pour les colluvions et alluvions ;
- Négligeable (L0) sur le reste du territoire.

**L'aléa sismique (effet de site, faille active, liquéfaction) est cartographié à l'échelle du 1/10 000 sur l'ensemble du territoire communal (Planches hors texte).**

## 10 ALÉAS MOUVEMENTS DE TERRAIN

Conformément aux recommandations du guide méthodologique mouvement de terrain (MATE et METL, 1999) la démarche proposée pour évaluer l'aléa mouvement de terrain est une approche naturaliste du type expertise a priori, excluant le recours à des études particulières. Il s'agit d'un jugement qui classe les phénomènes puis intègre et pondère les différents facteurs à partir de la description et l'interprétation des observations de terrain.

Le niveau d'aléa est estimé conformément au guide du CFGI (2000) en essayant de tenir compte du type de phénomènes, des facteurs de prédisposition, de l'occurrence et de l'intensité.

### 10.1 Typologie des phénomènes

Compte tenu de la typologie des événements recensés (Figure 18), l'évaluation de l'aléa mouvements de terrain est limitée au cas des chutes de blocs et éboulements (P). Il existe toutefois des nuances quant aux mécanismes de rupture et à l'ampleur des phénomènes. Il est tenu compte de ce dernier aspect en termes d'intensité.

### 10.2 Facteurs de prédispositions ou permanents

La géologie et la topographie sont les principaux facteurs permanents à considérer. Du point de vue géologique, l'île de Marie-Galante est relativement homogène. Les formations calcaires dans leur ensemble sont le siège des phénomènes de chutes de blocs et d'éboulements. Dans le détail, une distinction peut être introduite pour le littoral Nord-Est des Bas. Les falaises du Nord sont soumises à une évolution karstique littorale, à l'origine de nombreuses cavités littorales (Figure 18).

Le facteur prépondérant pour la cartographie des aléas est donc la topographie (Figure 1, Figure 2) :

- La pente, favorisant la libération de masses éboulées et leur propagation.
- Le dénivelé du versant, augmentant le nombre d'instabilités potentielles et l'énergie des masses éboulées.

Cet élément permet une hiérarchisation cohérente à l'échelle de Marie-Galante entre :

- Falaises vive du Nord de l'île ;
- Escarpement de la faille de Morne Piton (Barre de l'île) ;
- Falaises mortes séparant les terrasses supérieures, intermédiaires et inférieures, à l'Est et au Sud de Marie-Galante ;
- Vallées incisant le plateau (rivière de Saint-Louis, Coulée Ouillée, etc.).
- Zones plus planes telle que le plateau et la plaine occidentale relativement épargnée.

### 10.3 Facteurs déclencheurs ou aggravants : occurrence temporelle

Bien que plus de 200 phénomènes soient recensés (Figure 18), la perception de nos interlocuteurs est qu'il s'agit plutôt de phénomènes rares ou localisés. Deux raisons objectives expliquent ce constat.

- Une large partie du territoire étant en zones agricoles ou naturelles, des phénomènes s'y produisent sans forcément être connus. L'éboulement face à l'aérogare de Marie-Galante est un exemple de phénomène assez récent, de taille importante, masqué par la végétation malgré la proximité d'une voie de communication importante.
- La plupart des phénomènes observés ne peuvent être datés. On observe donc le résultat d'instabilités s'étant produites depuis plusieurs siècles.

Par ailleurs, les conditions naturelles de déclenchement de ces instabilités apparaissent doubles :

- Continues ou régulières, pour l'action de la mer vis-à-vis des falaises ou des phénomènes pluvieux assez fréquents ;
- Plutôt discontinues ayant un effet de purge lors de tremblement de terre ou d'événements pluviométriques exceptionnels.

Le facteur déclencheur doit être considéré comme relativement uniforme à l'échelle de l'île. Néanmoins, selon la trajectoire des perturbations, les pluies peuvent être plus importantes d'un côté de l'île que de l'autre. Dans l'hypothèse d'un séisme se produisant sur la faille de Morne Piton, des effets particuliers peuvent se produire à proximité de cet accident, majorant la sollicitation sismique.

### 10.4 Intensité des phénomènes

Dès que des phénomènes ont été recensés, les blocs ou masses éboulés sont de l'ordre de 100 dm<sup>3</sup> à plusieurs m<sup>3</sup>. Sur ce critère volumique, l'intensité à considérer (Tableau 16) est alors moyenne à forte :

Des éboulements en masses plus importants (1 000 à plus de 100 000 m<sup>3</sup>) sont reconnaissables ou envisageables dans des secteurs plus particuliers : les falaises du Nord, l'escarpement de la faille de la barre de l'île, ou de quelques ravines incisant profondément les reliefs. Dans ces configurations, l'intensité est qualifiée de forte, élevée ou majeure (Tableau 16).

Compte tenu des volumes mobilisables et de la cinématique rapide des chutes de blocs et éboulement, ces phénomènes peuvent :

- Faire des victimes (gravité moyenne à forte, Tableau 17) ;
- Endommager la structure de construction (agressivité moyenne à élevée, Tableau 18).

L'ampleur des parades à mettre en œuvre (Tableau 19) est donc l'échelle d'intensité la plus fine à utiliser. Elle dépend en particulier de la taille du versant et du volume des masses mobilisables.

Volume mobilisé (V)	Gravité (Tableau 17)	Agressivité (Tableau 18)	DPP (Tableau 19)
$V < 1 \text{ dm}^3$	Très faible à moyenne	Nulle à faible	Faible
$1 \text{ dm}^3 < V < 100 \text{ dm}^3$	Moyenne	Faible à moyenne	Faible
$0,1 \text{ m}^3 < V < 1 \text{ m}^3$	Moyenne à forte	Moyenne	Moyenne
$1 \text{ m}^3 < V < 1 000 \text{ m}^3$	Forte à majeure	Moyenne à élevée	Moyenne
$1 000 \text{ m}^3 < V < 100 000 \text{ m}^3$	Majeure	Elevée	Forte
$100 000 \text{ m}^3 < V$	Majeure	Elevée	Forte à majeure

**Tableau 16 : Estimation de l'intensité des chutes de blocs et éboulement rocheux, d'après le volume mobilisé (CFGI, 2000).**

Gravité	Préjudices humains	Exemple de phénomènes
Très faible	Pas d'accident ou accident très improbable	Retrait par dessiccation, affaissement minier, fluage, glissement lent ( $< 1 \text{ m/h}$ )
Moyenne	Accident isolé	Glissement important à paroxysme rapide (quelques dam/h), chutes de pierres isolées
Forte	Quelques victimes	Chute de blocs, lave torrentielle, fontis
Majeure	Quelques dizaines de victimes ou plus	Eboulement en masse, écroulement, lave torrentielle majeure, effondrement généralisé de carrière

**Tableau 17 : Exemple de définition de quatre niveaux de gravité vis-à-vis des vies humaines sous l'effet d'un mouvement de terrain (CFGI, 2000).**

Agressivité	Type de dommage attendu	Exemple de phénomènes
Faible	Gros œuvre très peu touché	Affaissement de faible amplitude, chutes de pierres, glissement pelliculaire, etc.
Moyenne	Gros œuvre atteint mais réparation possible (e.g. fissuration modérée)	Affaissement de grande amplitude, effondrement ponctuel de faible diamètre, chute de blocs, glissement d'ampleur limité, etc.,
Elevée	Gros œuvre fortement touché (voire destruction totale), rendant inutilisable la construction ; réparation très coûteuse ou impossible	Eboulement rocheux, glissement de grande ampleur, effondrement généralisé de carrière, etc.

**Tableau 18 : Exemple de niveaux d'agressivité vis-à-vis des vies des constructions (CFGI, 2000).**

Intensité Demande de Protection Potentielle	Niveau des mesures de prévention nécessaires	Exemple de mesure de prévention (à titre indicatif)
Faible	Supportables financièrement par un propriétaire individuel (moins de 10% de la valeur vénale d'une maison individuelle moyenne)	Purge de quelques blocs instables en falaise, confortation d'une cave par piliers maçonnés
Moyenne	Parades financièrement supportables par un groupe restreint de propriétaires (immeuble collectif, petit lotissement)	Réalisation d'un merlon de terre en protection contre les chutes de blocs, comblement d'une carrière souterraine, drainage de faible ampleur dans une zone instable
Forte	Parades spécifiques, intéressant une aire géographique débordant largement le cadre parcellaire et d'un coût très important	Stabilisation d'un glissement de terrain de grande ampleur, confortement d'un pan de falaise instable
Majeure	Pas de parade sûre qui soit techniquement et économiquement envisageable	Phénomène exceptionnel tel que Séchilienne (Isère) ou la Clapière (Alpes-Maritimes), impliquant plusieurs dizaines de millions de mètres cubes

**Tableau 19 : Exemple de définition de 4 niveaux d'intensité d'un mouvement de terrain, basée sur la DPP (in CFGI, 2000, d'après un document de la Délégation aux Risques Majeurs, 1990).**

## 10.5 Evaluation de l'aléa chute de blocs et éboulement

Conformément aux recommandations des guides méthodologiques (CFGI, 2000 ; MATE et METL, 1999), l'aléa mouvements de terrain est désigné par une lettre pour indiquer le type de phénomène (P, pour chute de bloc et éboulement) et un indice chiffré (0 à 4) pour préciser le niveau d'aléa.

Pour expliciter notre démarche, assurer sa cohérence sur l'ensemble du territoire et faciliter la reproductibilité de l'évaluation, les règles suivantes sont énoncées et mises en œuvre pour établir la carte de l'aléa mouvements de terrain. Elle a été mise en œuvre à partir de la carte des pentes, issue du modèle numérique de terrain de l'IGN. La précision de la carte d'aléa mouvements de terrain est donc dépendante de la qualité des données topographiques. S'il n'y a pas de souci vis-à-vis des versants de plusieurs dizaines de mètres de dénivelé, les reliefs de moindre ampleur peuvent être minimisés par un effet de lissage.

Tout en restant cohérent avec l'état de l'art (ci-dessus), l'évaluation de l'aléa est notamment motivée par un souci d'homogénéité à l'échelle régionale. Ainsi, les phénomènes décrits à Marie-Galante sont moins fréquents et posent généralement moins de problèmes que les glissements et glissements – coulées de la Basse-Terre.

Comme pour le reste de la Guadeloupe, on ne considère pas d'aléa majeur (P4).

L'aléa fort (P3) est réservé pour des configurations très pénalisantes en terme :

- De phénomènes possibles, éboulement en (grande) masse ou effondrement de cavité karstique ou grand nombre de chutes de gros blocs.
- De facteurs de prédispositions, pentes supérieures moyennes supérieures à 25° environ, dénivelé pluri-décamétrique à hectométrique ;
- Ou de facteur déclencheur (proximité de la faille de Morne Piton).

Géographiquement, l'aléa fort (P3) concerne donc :

- Les falaises du Nord (Saragot, Gueule Grand Gouffre, etc.) ;
- La Barre de l'île ;
- Quelques ravines (Morrisset, Blanchard).

En amont des falaises du Nord, selon leur hauteur, une zone de régression de 10 à 25 m en aléa fort est retenue pour tenir compte de phénomènes d'effondrement de cavités karstiques littorales. Une seconde zone, de largeur équivalente, est considérée en aléa moyen (P2).

L'aléa est jugé moyen (P2) lorsque les conditions suivantes sont rencontrées :

- Un grand nombre des phénomènes de chutes de gros blocs.
- Versants avec un dénivelé pluri-décamétrique et des pentes moyennes supérieures à 20° environ.

Faute d'observation directe, alors que les conditions topographiques pourraient justifier un aléa fort pour certains versants, l'aléa est globalement considéré moyen (P2) pour la vallée de Saint-Louis entre les Sources et Balisiers. Ceci est conforme à l'atlas des risques naturels.

Le zonage proposé est une enveloppe des blocs éboulés recensés. Néanmoins, à l'aval de certains versants, des bandes de sécurité supplémentaires de 25 m sont considérées avec un aléa moindre au-delà des zones de propagation observées.

L'aléa est jugé faible (P1) lorsque les conditions suivantes sont rencontrées :

- Peu de phénomènes de chutes de blocs observés.
- Versants avec un dénivelé limité ou des pentes moyennes inférieures à 20° environ.

Sur le reste du territoire, de manière cohérente avec la cartographie des atlas communaux des risques, le niveau d'aléa mouvements de terrain est jugé nul à faible (0-1) ou considéré comme négligeable (0).

Sur le reste du territoire en particulier, Il faut ne pas perdre de vue les éléments suivants :

- Compte tenu de la nature karstique de l'île, des cavités souterraines sont présentes, en particulier à proximité des dolines. Bien que non inscrits dans la mémoire de nos interlocuteurs, des phénomènes d'effondrement sont jugés possibles. La détection de telle cavité est techniquement difficile, en particulier à des fins de cartographie.

- Les phénomènes susceptibles d'affecter des talus anthropiques de dimensions limités (déblais et remblais routiers, terrassements, etc.) ne peuvent être considérés à l'échelle de la carte. De plus il s'agit plus d'une problématique de géotechnique de projet, que d'aléas naturels.

Ces critères ont été fixés au regard de la carte informative des mouvements de terrain et de notre expérience. Il s'agit toutefois d'un compromis :

- Avec des valeurs plus sévères, plus de phénomènes recensés coïncideraient avec une zone d'aléa fort, mais cet aléa fort couvrirait trop de zones pour lesquelles il n'y a pas d'évidence de mouvements de terrain ou dont l'aménagement reste techniquement et économiquement possible.
- Avec des valeurs moins sévères, la proportion de mouvements de terrains recensés en zone d'aléa moyen et surtout faible augmente significativement, risquant d'affecter la pertinence et la crédibilité du zonage de l'aléa mouvements de terrain.

Les valeurs proposées nous semblent un compromis raisonnable, pour lesquels il faut entendre que :

- L'essentiel des phénomènes recensés se retrouve en aléa fort, notamment les mouvements de terrain de grande ampleur ou de déclenchement strictement naturel, hors des zones d'influence anthropique.
- De nombreux phénomènes avérés ou supposés sont situés en zone d'aléa moyen, il s'agit souvent de phénomènes relativement maîtrisables ou pour lesquels des perturbations anthropiques, difficiles à appréhender a priori, aggravent le pronostic initial.
- L'aléa mouvements de terrain faible ne signifie pas absence de phénomènes, mais bien qu'il s'agit d'événements de plus faible ampleur, jugés maîtrisables (chutes de blocs), ou dont la survenue à l'échelle d'une centaine d'année est estimée comme faible.

**L'aléa mouvements de terrain est cartographié à l'échelle du 1/10 000 sur l'ensemble du territoire communal** (Planches hors texte).

# 11 PRÉSENTATION DU PLAN DE ZONAGE ET DU RÈGLEMENT

## 11.1 Présentation du plan de zonage

### 11.1.1 Rappel des principes édictés par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable

Les principes conduisant au zonage réglementaire sont résumés ci-après (Tableau 20), conformément à la doctrine promue par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable à travers ses diverses publications. Les différentes zones sont identifiées à partir de la combinaison suivante :

- La nature et le niveau d'aléa ;
- La nature et l'importance des enjeux (y compris des enjeux environnementaux) ;
- Eventuellement, et avec quelques précautions, l'existence d'ouvrage de protection (inondation, houle, mouvement de terrain).

Ce principe de croisement des aléas et des enjeux est supposé représenter le risque. Il permet d'identifier des zones fortement contraintes (dites « rouges ») et des zones faiblement contraintes (dites « bleues ») :

- Zones de contraintes fortes en cas d'aléa fort ;
- Zones de contraintes fortes, éventuellement faibles selon les enjeux, en cas d'aléa moyen.
- Zones de contraintes faibles en cas d'aléa faible.

Quel que soit le niveau d'aléa, des **espaces naturels à préserver** ou des zones d'expansion de crue peuvent justifier un classement plus sévère.

Il convient également le cas échéant, de considérer des **zones dites de protection**. Il s'agit de zones non directement exposées, cependant réglementées, si l'aménagement ou l'utilisation incontrôlée peuvent aggraver le risque ou en créer de nouveaux.

Des ajustements à la règle générale peuvent être proposés, compte tenu de la concertation avec les acteurs locaux, de leurs propositions argumentées et de leurs engagements. Ces dérogations peuvent également ponctuellement se justifier vis-à-vis de l'intérêt général (zones protégées notamment).

Détermination du risque (aléa versus enjeux)	Espaces urbanisés protégés	Espaces urbanisés non protégés	Espaces non urbanisés	Espaces naturels à préserver
Aléa fort	Zone rouge	Zone rouge	Zone rouge	Zone rouge
Aléa moyen	Zone bleue	Zone rouge	Zone rouge	Zone rouge
Aléa faible	Zone bleue	Zone bleue	Zone bleue	Zone rouge

**Tableau 20 : Principe général de détermination des zones du plan de zonage.**

### 11.1.2 Les principes proposés en Guadeloupe

La prise en compte des enjeux et des aléas est le fondement de la délimitation du zonage réglementaire (Tableau 22). Le plan de zonage réglementaire repose sur une cartographie multirisque pour plusieurs raisons :

- La conjonction de plusieurs aléas peut conduire à un zonage et des clauses réglementaires plus sévères que s'ils étaient considérés isolément ;
- Les prescriptions doivent être définies en veillant à la compatibilité de protection vis-à-vis des divers aléas.

Phénomène naturel	Niveau d'aléa	Espaces urbanisés	Espaces à urbaniser Zones naturelles ou agricoles
Houle cyclonique (effets directs de la houle)	Aléa fort	Rouge	Rouge
Inondation (crue torrentielle ou surcote marine)	Aléa fort	Rouge	Rouge
Mouvements de terrain	Aléa fort	Rouge	Rouge
Mouvements de terrain	Aléa moyen	Bleu foncé	Bleu foncé
Inondation ou marée de tempête	Aléa moyen	Bleu	Bleu foncé
Inondation ou marée de tempête	Aléa faible	Bleu clair	Bleu clair
Faïlle active	Aléa faible	Bleu clair	Bleu clair
Liquéfaction	Quel que soit son niveau	Bleu clair	Bleu clair
Mouvements de terrain	Aléa faible	Bleu clair	Bleu clair
Aléa nul ou considéré comme négligeable, venant s'ajouter aux aléas cyclonique et sismique		Non colorées	Non colorées

**Tableau 21 : Principe proposé pour la détermination des zones du plan de zonage en Guadeloupe.**

Le territoire comprend donc 5 zones dont la définition est synthétisée dans le tableau ci-après (Tableau 22).

Zone	Niveau de contraintes	Nature des prescriptions
Rouge	Zones inconstructibles	Zones d'interdictions
Bleu foncé	Contraintes spécifiques fortes	Zones soumises à opération d'aménagement préalable
Bleu	Contraintes spécifiques moyennes	Zones soumises à prescriptions individuelles et/ou collectives
Bleu clair	Contraintes spécifiques faibles	Zones soumises à prescriptions individuelles
Non colorées	Contraintes courantes	Zones soumises aux règles de construction applicables à l'ensemble du territoire

**Tableau 22 : Description des différentes zones du plan de zonage.**

#### 11.1.2.1. Zones inconstructibles

Les zones inconstructibles sont les zones où les niveaux d'aléa sont les plus forts.

Dans ces zones, il convient de prendre les mesures permettant de mieux maîtriser les risques, d'améliorer la sécurité des personnes déjà présentes et de ne pas augmenter la population et les biens exposés.

Certains aménagements, ouvrages ou exploitations pourront néanmoins y être admis de façon à permettre aux occupants de mener une vie et des activités normales, et s'ils sont compatibles avec les objectifs visés ci-dessus.

#### 11.1.2.2. Zones constructibles sous prescriptions

Les zones constructibles sont constituées de zones à contraintes spécifiques fortes, moyennes ou faibles et des zones à contraintes courantes.

Dans ces zones moins exposée, il convient cependant de prendre des mesures particulières afin de limiter les risques pour les personnes et les biens et de préserver la sécurité des personnes présentes.

- Les zones à contraintes spécifiques fortes sont des zones constructibles sous prescription de réalisation d'une opération d'aménagement préalable qui devra prendre en compte les risques naturels identifiés, par des mesures visant à réduire les risques, réduire la vulnérabilité et maîtriser les enjeux.
- Les zones à contraintes spécifiques moyennes sont des zones constructibles soumises à prescriptions individuelles et/ou collectives.
- Les zones à contraintes spécifiques faibles sont des zones constructibles soumises à prescriptions individuelles.
- Les zones à contraintes courantes sont les autres zones du territoire soumises aux prescriptions liées notamment à l'application des règles de construction paracyclonique et parasismique.

## 11.2 Présentation du règlement

### 11.2.1 Préambule

L'élaboration du règlement est de la responsabilité du service instructeur, avec l'assistance technique du bureau d'étude. La version du règlement retenue est le résultat d'une longue maturation et d'une large concertation tenant compte des discussions et remarques formulées par les municipalités (élus et techniciens) ou lors des enquêtes publiques.

Le PPR réglemente fortement les nouvelles constructions dans les zones très exposées. Dans les autres secteurs, il veille à ce que les nouvelles constructions n'aggravent pas les phénomènes (facteurs de risques) et ne soient pas vulnérables en cas de catastrophe naturelle. Ainsi, les règles du PPR s'imposent soit aux constructions futures, soit aux constructions existantes, mais aussi selon les cas aux différents usages possibles du sol : activités touristiques, de loisirs, exploitations agricoles ou autres. Ces règles peuvent traiter de l'urbanisme, de la construction ou de la gestion des espaces.

### 11.2.2 Quelques principes

Un soin particulier a été apporté à la rédaction du règlement. Ainsi, dans la mesure du possible, les mesures réglementaires comportent tout à la fois :

- Une **intention**, *a priori* motivée par la mitigation, la maîtrise ou la gestion des risques ;
- Un **objet** générique, qui peut être très général (occupations et utilisations du sol) ou très précis ;
- Des **conditions** encadrant son champ d'application.

Le risque résulte de la présence d'enjeux vulnérables exposés à un aléa. Par conséquent, les intentions de réduction du risque qui motivent les mesures réglementaires pertinentes se déclinent, explicitement ou non, selon quatre axes :

- **Connaître et limiter les enjeux exposés ;**
- **Connaître et réduire la vulnérabilité ;**
- **Connaître et réduire l'aléa naturel ;**
- Plus généralement, **connaître et réduire les risques** par des **mesures de prévention ou de préparation.**

Par ailleurs, l'objet des mesures relève inévitablement de l'un des trois aspects suivants :

- Projets nouveaux ;
- Biens et activités existants ;
- Mesures de prévention, de protection et de sauvegarde<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> Les mesures générales de prévention, de protection et de sauvegarde concernent tout ce qui touche la préservation des vies humaines par des dispositifs de protection, des dispositions passives, l'information et la signalisation préventive et l'entretien des ouvrages que l'on oublie trop souvent. (Extrait rapport COPRNM)

## 12 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BERNARD P., LAMBERT J. (1985). Sismicité des petites Antilles. Les séismes majeurs du 8 février 1843 et du 29 avril 1897. Effets macrosismiques et caractéristiques focales. Etude de la vulnérabilité du bâti et corrélations avec les formations géologiques superficielles sur le site de la Pointe-à-Pitre en 1897. *Rapport BRGM 85 SGN 085 GEG*.
- CFGI (2000). Caractérisation et cartographie de l'aléa dû aux mouvements de terrain. Collection environnement. Les risques naturels. *LCPC, Paris, 91 p.*
- FEUILLET N. (2000). Sismotectonique des Petites Antilles. Liaison entre activité sismique et volcanique. *Thèse de doctorat, Université Paris 7*.
- MARTIN C., COMBES Ph., SECANELL R., LIGNON G., CARBON D., FIORAVANTI A., GRELLET B. (2002). Révision du zonage sismique de la France. Etude probabiliste. Rapport de phase 3. *GTR/MATE/0701-150*.
- MOMPELAT P. (1994). Unités cartographiques et évaluation de l'aléa mouvements de terrain en Guadeloupe (Antilles françaises). Thèse de doctorat de l'université Paris 6. N°94-09. 337 pages.
- NATIONS UNIES (1992) – Glossaire international multilingue agréé de termes relatifs à la gestion des catastrophes. *UN DHA, Genève, 83 p.*
- SAINTE-CLAIRE DEVILLE Ch. (1843). Observations sur le tremblement de terre éprouvé à la Guadeloupe le 8 février 1843. Basse-Terre, juillet 1843.

### GUIDES PPR

- MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTÈRE DE L'EQUIPEMENT DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT (1997). Guide général – Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR). *La Documentation française, Paris, 76 p.*
- MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTÈRE DE L'EQUIPEMENT DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT (1997). Guide méthodologique – Plans de prévention des risques littoraux (PPR). *La Documentation française, Paris, 56 p.*
- MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTÈRE DE L'EQUIPEMENT DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT (1999). Guide méthodologique – Plans de prévention des risques naturels (PPR) : risques d'inondations. *La Documentation française, Paris, 124 p.*
- MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTÈRE DE L'EQUIPEMENT DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT (1999). Guide méthodologique – Plans de prévention des risques naturels (PPR) : risques de mouvements de terrains. *La Documentation française, Paris, 71 p.*
- MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, MINISTÈRE DE L'EQUIPEMENT DES TRANSPORTS, DU LOGEMENT, DU TOURISME ET DE LA MER (2002). Guide

méthodologique – Plans de prévention des risques naturels (PPR) : risques sismiques. *La Documentation française, Paris, 112 p..*

### **13 LISTE DES FIGURES**

**FIGURE 1 : CARTE DES ALTITUDES (D'APRÈS MNT IGN).**

**FIGURE 2 : CARTE DES PENTES (D'APRÈS MNT IGN).**

**FIGURE 3 : GUEULE GRAND GOUFFRE (EXTRAIT DE LA CARTE DES CURIOSITÉS GÉOLOGIQUES DE LA GUADELOUPE, CRÉDIT BRGM).**

**FIGURE 4 : PLUSIEURS MARES VISIBLES AU SEIN DE GRAND-BOURG SUR UN PLAN DES ANNÉES 1960.**

**FIGURE 5 : SCHÉMA D'AMÉNAGEMENT RÉGIONAL DE GUADELOUPE (CRÉDIT DDE).**

**FIGURE 6 : CLASSEMENT DES FALAISES DU NORD ET DE L'EST (EXTRAIT DE LA LETTRE DE LA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES - N° 4 – SEPTEMBRE 2004).**

**FIGURE 7 : INONDATIONS DUES AU PASSAGE DE JEANNE (EXTRAIT DE LA LETTRE DE LA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES - N° 4 – SEPTEMBRE 2004) .**

**FIGURE 8 : CARTE INFORMATIVE DES PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES DE MARIE-GALANTE.**

**FIGURE 9 : SISMICITÉ DE L'ARC ANTILLAIS ET PRINCIPALES FAILLES ACTIVES DE L'ARCHIPEL DE GUADELOUPE.**

**FIGURE 10 : CARTE INFORMATIVE DES FAILLES ACTIVES DE L'ÎLE DE MARIE-GALANTE.**

**FIGURE 11 : MOUVEMENTS DU SOL, ENREGISTRÉS À MARIE-GALANTE (STATION GBGA), LORS DU SÉISME DES SAINTES (21/11/2004).**

**FIGURE 12 : SPECTRES DE RÉPONSE DE L'ENREGISTREMENT DU SÉISME DES SAINTES (21/11/2004) À MARIE-GALANTE.**

**FIGURE 13 : FONCTION DE TRANSFERT DU SITE GBGA, ESTIMÉE PAR LA MÉTHODE H/V SÉISME (ENREGISTREMENT DU SÉISME DES SAINTES, 21/11/2004).**

**FIGURE 14 : EFFETS INDUITS DU SÉISME DU 8 FÉVRIER 1843 À MARIE-GALANTE (CRÉDIT LAMBERT ET BERNARD, 1985).**

**FIGURE 15 : EXEMPLE DE PHÉNOMÈNES DE MOUVEMENTS DE TERRAIN OBSERVÉS DANS LE SECTEUR DE MORNE PITON À MARIE-GALANTE.**

**FIGURE 16 : PHOTO-INTERPRÉTATION DE MORPHOLOGIES OU DE PHÉNOMÈNES DE MOUVEMENTS DE TERRAIN À MARIE-GALANTE.**

**FIGURE 17 : TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN (D'APRÈS MOMPÉLAT, 1994)**

**FIGURE 18 : CARTE INFORMATIVE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN DE MARIE-GALANTE.**

**FIGURE 19 : GRANDEURS SIGNIFICATIVES RETENUES DANS L'ÉVALUATION DE L'ALÉA CYCLONIQUE.**

**FIGURE 20 : SPECTRES DE RÉPONSES NORMALISÉS ASSOCIÉS AUX DIFFÉRENTES ZONES PRÉSENTANT UNE RÉPONSE SISMIQUE HOMOGENÈME**

## **14 LISTE DES TABLEAUX**

**TABLEAU 1 : ARRÊTÉS DE CATASTROPHE NATURELLE (D'APRÈS [HTTP://WWW.PRIM.NET](http://www.prim.net)).**

**TABLEAU 2 : PRINCIPAUX ENJEUX DE CAPESTERRE DE MARIE-GALANTE.**

**TABLEAU 3 : EFFETS MACROSISMIQUES RESENTIS EN GUADELOUPE (D'APRÈS SIS-FRANCE-ANTILLES).**

**TABLEAU 4 : CRITÈRES DE DÉTERMINATION DES NIVEAUX D'ALÉA CYCLONIQUE (HOULE ET SUBMERSION MARINE).**

**TABLEAU 5 : DÉTERMINATION DES NIVEAUX D'ALÉA INONDATION.**

**TABLEAU 6 : TYPES DE SITE ASSOCIÉS AUX DIFFÉRENTES UNITÉS GÉOMORPHOLOGIQUES DE MARIE-GALANTE.**

**TABLEAU 7 : CLASSIFICATION DES CLASSES DE SOL SELON LA RÉGLEMENTATION EC8.**

**TABLEAU 8 : DÉFINITION DES TYPES DE SITE (PS92).**

**TABLEAU 9 : SPECTRES DE RÉPONSES, ASSOCIÉS AUX DIFFÉRENTES ZONES PRÉSENTANT UNE RÉPONSE SISMIQUE HOMOGENÈME.**

**TABLEAU 10 : SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES RELATIVES À LA GÉOMÉTRIE DES FAILLES DE MARIE-GALANTE (D'APRÈS TERRIER ET AL, 2002 ; FEUILLET, 2000 ; FEUILLET ET AL., 2004).**

**TABLEAU 11 : SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES RELATIVES AUX ÉVIDENCES DE DÉPLACEMENT EN SURFACE DES FAILLES DE MARIE-GALANTE, À PARTIR DES TRAVAUX DE TERRIER ET AL (2002) FEUILLET (2000) ET FEUILLET ET AL. (2004).**

**TABLEAU 12 : APPRÉCIATION (INDICE DE QUALITÉ) DES CONNAISSANCES RELATIVES AUX FAILLES ACTIVES POUR LES COMMUNES DE MARIE-GALANTE.**

**TABLEAU 13 : EVALUATION DES PÉRIODES DE RETOUR DE SÉISMES CAPABLES DE GÉNÉRER DES RUPTURES DE SURFACE ( $M \geq 5.5$ ) SUR LA FAILLE DE MORNE-PITON D'APRÈS LES DONNÉES GÉOLOGIQUES ET MORPHOLOGIQUES (D'APRÈS FEUILLET ET AL., 2004).**

**TABLEAU 14 : EVALUATION DES PÉRIODES DE RETOUR DES SÉISMES DE MAGNITUDE  $M \geq 5.5$ , 6.0 ET 6.5, CAPABLES DE GÉNÉRER DES RUPTURES DE SURFACE ( $M \geq 5.5$ ) SUR LA FAILLE DE MORNE-PITON, À PARTIR DE LA DISTRIBUTION DE L'ACTIVITÉ ASSOCIÉE AU SYSTÈME DE FAILLE.**

**TABLEAU 15 : NIVEAUX D'ALÉAS ASSOCIÉS À L'ACTIVITÉ DE LA FAILLE.**

**TABLEAU 16 : ESTIMATION DE L'INTENSITÉ DES CHUTES DE BLOCS ET ÉBOULEMENT ROCHEUX, D'APRÈS LE VOLUME MOBILISÉ (CFGI, 2000).**

**TABLEAU 17 : EXEMPLE DE DÉFINITION DE QUATRE NIVEAUX DE GRAVITÉ VIS-À-VIS DES VIES HUMAINES SOUS L'EFFET D'UN MOUVEMENT DE TERRAIN (CFGI, 2000).**

**TABLEAU 18 : EXEMPLE DE NIVEAUX D'AGRESSIVITÉ VIS-À-VIS DES VIES DES CONSTRUCTIONS (CFGI, 2000).**

**TABLEAU 19 : EXEMPLE DE DÉFINITION DE 4 NIVEAUX D'INTENSITÉ D'UN MOUVEMENT DE TERRAIN, BASÉE SUR LA DPP (IN CFGI, 2000, D'APRÈS UN DOCUMENT DE LA DÉLÉGATION AUX RISQUES MAJEURS, 1990).**

**TABLEAU 20 : PRINCIPE GÉNÉRAL DE DÉTERMINATION DES ZONES DU PLAN DE ZONAGE.**

**TABLEAU 21 : PRINCIPE PROPOSÉ POUR LA DÉTERMINATION DES ZONES DU PLAN DE ZONAGE EN GUADELOUPE.**

**TABLEAU 22 : DESCRIPTION DES DIFFÉRENTES ZONES DU PLAN DE ZONAGE.**

## **15 PLANCHES HORS TEXTE**

**Carte 1 : Principaux enjeux.**

**Carte 2 : Aléa cyclonique (houle et submersion).**

**Carte 3 : Aléa inondation.**

**Carte 4 : Aléas sismiques (effet de site, faille active, liquéfaction).**

**Carte 5 : Aléas chutes de blocs, éboulement.**

**Carte 6 : Plan de zonage.**

## **16 LISTE DES ENCARTS**

**ENCART 1 : QUELQUES DÉFINITIONS.**

**ENCART 2 : LES ESPACES URBANISÉS ET À PRÉSERVER (D'APRÈS LE GUIDE PPR SISMIQUE).**

**ENCART 3 : ECHELLE D'INTENSITÉ MACROSISMIQUE (D'APRÈS SIS-FRANCE-ANTILLES)**

**ENCART 4 : RAPPEL SUR LES PARAMÈTRES CARACTÉRISANT LE MOUVEMENT SISMIQUE.**

**ENCART 5 : CHUTE DE PIERRES, CHUTE DE BLOCS, ÉBOULEMENT EN MASSE OU EN GRANDE MASSE**

### Encart 1 : Quelques définitions.

#### LES FORMES DU RELIEF KARSTIQUE

D'après <http://fr.wikipedia.org/wiki/Karst>

Le **karst** est un paysage façonné dans des roches solubles carbonatées. Les paysages karstiques sont caractérisés par des formes de corrosion de surface, mais aussi par le développement de cavité par les circulations d'eaux souterraines.

Une **doline** est une dépression de terrain dont le fond est en général plat et fertile. Les dolines sont dues à des phénomènes de dissolution des calcaires et mesurent de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres. Leur fond est argileux permettant la rétention locale d'eau (mares).

Un **aven** est un gouffre caractéristique des régions karstique, le plus souvent formé par effondrement de la voûte d'une cavité karstique du à la dissolution des couches calcaires.

### Encart 2 : Les espaces urbanisés et à préserver (d'après le guide PPR sismique).

#### LES ESPACES URBANISÉS

Les parties urbanisées sont définies par référence aux dispositions de l'article L. 111-1-2 du code de l'urbanisme qui introduit la notion de *parties actuellement urbanisées de la commune*. Le caractère urbanisé ou non d'un espace doit s'apprécier en fonction de sa réalité physique et non du zonage opéré par le Plan d'Occupation des Sols ou le Plan Local d'Urbanisme. Ainsi, le classement constructible ou d'urbanisation future n'entraîne pas ipso facto l'inclusion du terrain dans la partie urbaine. Depuis l'entrée en vigueur de l'article L. 111-1-2, une abondante jurisprudence a précisé la notion d'espace urbanisé.

Aujourd'hui, un faisceau d'indices permet de déterminer si l'on est ou non dans un espace urbanisé :

- Le nombre de constructions existantes ;
- La distance du terrain par rapport au bâti existant ;
- La continuité avec des parcelles bâties ;
- Le niveau de desserte par les équipements.

Il convient de noter que les principes de l'article L. 111-1-2 (applicable depuis 1983) et de la jurisprudence s'y rapportant sont en tous points transposables à l'article L. 111-1-4 relatif aux entrées de villes (introduit dans le code de l'urbanisme en 1995 seulement), pour ce qui concerne la notion d'espaces urbanisés.

#### LES ESPACES À PRÉSERVER

- Les espaces urbanisés dont le développement ou la réhabilitation mal maîtrisés pourraient aggraver les phénomènes naturels. La modification des conditions d'écoulement des eaux pluviales ou usées, par exemple, peut provoquer des mouvements de terrain sur les zones en pentes et la liquéfaction des sols dans des zones basses ;
- Les zones d'urbanisation futures, en particulier celles qui sont soumises à des effets de site ou induit ou encore situées sur le tracé de failles supposées actives ;
- Les espaces naturels, agricoles et forestiers concourant à la protection des zones exposées pour les mouvements de terrains.














### Encart 3 : Echelle d'intensité macrosismique (d'après Sis-France-Antilles)

#### L'intensité est évaluée sur une échelle macrosismique.

En France et dans la plupart des pays européens, l'intensité est exprimée dans l'échelle M.S.K. 1964 (du nom de ses auteurs : Medvedev, Sponheuer et Karnik), qui comporte 12 degrés exprimés en chiffres romains pour souligner le caractère discret des degrés de l'échelle. Pour des raisons pratiques, les chiffres arabes sont ici utilisés. Pour les séismes actuels, l'échelle préconisée est l'EMS 1998 (European Macroseismic Scale) qui est une actualisation de l'échelle MSK plus adaptée aux constructions actuelles (notamment les constructions parasismiques).

#### Descriptif succinct des degrés de l'échelle d'intensité M.S.K. 1964 :

(M.S.K. : Medvedev, Sponheuer, Karnik : auteurs de l'échelle)

-  **secousse déclarée non ressentie** (valeur propre à SisFrance, hors échelle MSK),
-  **secousse non ressentie**, mais enregistrée par les instruments (valeur non utilisée),
-  **secousse partiellement ressentie**, notamment par des personnes au repos et aux étages,
-  **secousse faiblement ressentie**, balancement des objets suspendus,
-  **secousse largement ressentie** dans et hors les habitations, tremblement des objets,
-  **secousse forte**, réveil des dormeurs, chutes d'objets, parfois légères fissures dans les plâtres,
-  **dommages légers**, parfois fissures dans les murs, frayeur de nombreuses personnes,
-  **dommages prononcés**, larges lézardes dans les murs de nombreuses habitations, chutes de cheminées,
-  **dégâts massifs**, les habitations les plus vulnérables sont détruites, presque toutes subissent des dégâts importants,
-  **destructions** de nombreuses constructions, quelquefois de bonne qualité, chutes de monuments et de colonnes,
-  **destruction générale** des constructions, même les moins vulnérables (non parasismiques),
-  **catastrophe**, toutes les constructions sont détruites (ponts, barrages, canalisations enterrées...),
-  **changement de paysage**, énormes crevasses dans le sol, vallées barrées, rivières déplacées.

#### Encart 4 : Rappel sur les paramètres caractérisant le mouvement sismique.

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

- $a_N \cdot S_i(T)$  pour les règles nationales PS 92 ;
- $a_g \cdot S_i(T)$  pour le 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 deux réglementations. Le coefficient  $a_N$  de la réglementation française correspond à une accélération de plateau du spectre, divisée par 2,5. Il est supposé correspondre à une période de retour de 475 ans, soit une probabilité de dépassement de 10% en 50 ans. 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 sites (S0, S1, S2 et S3), et la réglementation européenne 5 sites de base (A, B, C, D, E) et deux sites spéciaux S1 et S2.

#### Encart 5 : Chute de pierres, chute de blocs, éboulement en masse ou en grande masse

##### TYPOLOGIE

Les chutes de masses rocheuses sont des mouvements rapides, discontinus et brutaux résultant de l'action de la pesanteur et affectant des matériaux rigides et fracturés. Ces chutes se produisent par basculement, rupture de pied, glissement banc sur banc, à partir de falaises, escarpements rocheux, formations meubles à blocs, blocs provisoirement immobilisés sur une pente.

Les blocs peuvent rouler et rebondir, puis se stabiliser dans une zone dite d'épandage. La trajectoire la plus fréquente suit en général la ligne de plus grande pente, mais on peut observer des trajectoires très obliques résultant notamment de la forme géométrique de certains blocs (plaque roulant sur la tranche) et de petites irrégularités du versant. Les distances parcourues sont fonction de la taille, de la forme et du volume des blocs éboulés, de la pente du versant, de la nature du sol, de la densité et de la nature de la végétation.

En ce qui concerne les éléments éboulés, on distingue :

- Les **pierres**, d'un volume inférieur à  $1 \text{ dm}^3$  ;
- Les **blocs**, d'un volume compris entre  $1 \text{ dm}^3$  et  $1 \text{ m}^3$  ;
- Les **gros blocs**, d'un volume supérieur à  $1 \text{ m}^3$  ;

Suivant le volume total éboulé, on distingue :

- Les **chutes de pierres ou de blocs**, d'un volume total inférieur à la centaine de  $\text{m}^3$  ;
- Les **éboulements** en masse, d'un volume allant de quelques centaines de  $\text{m}^3$  à quelques centaines de milliers de  $\text{m}^3$  ;
- Les **éboulements** (ou écroulements) **en grande masse**, d'un volume supérieur au million de  $\text{m}^3$ .

## Encart 5 : Chute de pierres, chute de blocs, éboulement en masse ou en grande masse

### CONDITIONS D'APPARITION

La densité, l'orientation des discontinuités, la structure du massif rocheux et la présence de cavités constituent des facteurs de prédisposition à l'instabilité. La phase de préparation, caractérisée par l'altération et l'endommagement progressifs du matériau et accompagnée d'ouvertures limitées des fractures difficiles à déceler, peut être longue. Des reliefs escarpés présentant un dénivelé important sont nécessaires pour des mouvements de grande ampleur.

Les principaux facteurs naturels déclencheurs sont la pluviométrie, la croissance de la végétation, les secousses sismiques, l'affouillement ou la sape de l'escarpement.

Les déclencheurs naturels sont prépondérants dans ce type d'instabilité. Notamment l'eau :

- Par son action mécanique, d'érosion en pied de paroi, modifiant les conditions aux limites ;
- Par son rôle physique développant des surpressions interstitielles dans le massif.

Les chutes de pierres ou de blocs résultent de l'individualisation d'éléments mobilisables et d'une géométrie propice à l'initiation du mouvement puis sa propagation.

L'altération et l'érosion peuvent favoriser l'individualisation des blocs et être ainsi considérées comme des facteurs déclencheurs. Outre l'initiation naturelle du mouvement par entraînement hydraulique, pression hydrostatique ou sollicitation sismique, le principal facteur aggravant est anthropique. Ainsi, travaux de terrassements ou prélèvement de matériaux peuvent modifier les conditions aux limites géométriques.

### EFFETS ET CONSÉQUENCES

Étant donné la rapidité, la soudaineté et le caractère souvent imprévisible de ces phénomènes, les instabilités rocheuses constituent des dangers pour les vies humaines, même pour de faibles volumes (chutes de pierres). Les chutes de blocs, et à plus forte raison les éboulements, peuvent causer des dommages importants aux structures, pouvant aller jusqu'à leur ruine complète, d'autant plus que l'énergie des blocs (fonction de la masse et du carré de la vitesse) est grande.

### TECHNIQUES DE PRÉVENTION

Au titre des techniques de prévention, les parades actives consistent à s'opposer à la manifestation du phénomène et sont appliquées dans la zone de départ (confortement des falaises, purges). Les parades passives sont destinées à protéger une construction ou un site exposé à des trajectoires de blocs, par la mise en place d'un écran. Ces techniques ne peuvent être utilisées que pour des phénomènes maîtrisables et non pour des mouvements de grande ampleur. Pour ces derniers, il n'existe pas de solutions techniques de traitement. Ils ne peuvent faire l'objet que d'une auscultation ou d'une surveillance, associé à la mise en place d'un plan d'évacuation et de secours.