GEOTER
POLE GEO-ENVIRONNEMENT
3, rue Jean Monnet
34830 Clapiers - France
Tél : 0467591811
Fax : 0467591824
Email : geoter@geoter.fr
Site Web : http://www.geoter.fr

ACSES
BUREAU D'ÉTUDES TECHNIQUES

URBATER

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
GUADELOUPE

DEAL
de la GUADELOUPE

RAPPORT FINAL

PLAN DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS METEOROLOGIQUES ET GEOLOGIQUES

COMMUNE DE TERRE-DE-HAUT

Note de présentation

RAPPORT GTR/DDEG/1207-433

Client : **DDE GUADELOUPE**	Nature du document : **RAPPORT FINAL**	Identification : GTR/DDEG/1207-433 **N° Affaire : 3207**	
Destinataire : **M. Gérard LOUSTALOT** *Responsable des Opérations*	Archivage GEOTER (texte et figures) : GTI/Affaires/3207	Date d'origine : 10/2007	Nbre pages : 96

TITRE RAPPORT :

PLAN DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS METEOROLOGIQUES ET GEOLOGIQUES COMMUNE DE TERRE-DE-HAUT

SOUS TITRE RAPPORT :

Note de présentation

Réalisation :

GEOTER

Pôle Géoenvironnement
3, rue Jean Monnet
34830 Clapiers

Tel.: 04-67-59-18-11
Fax: 04-67-59-18-24
Email: geoter@geoter.fr

N° de commande : Acte d'engagement

Date : 24/07/2007

Approbation CLIENT : M. LOUSTALOT
Direction départementale de l'équipement de la Guadeloupe, Service Aménagement et Urbanisme, Cellule Prévention des Risques et qualité des constructions, Saint-Phy, BP 54, F-97102 Basse-Terre Cedex

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

Date	Rédacteurs	Vérificateur	Approbateur
14/12/2007	O. MONGE, V. CLOAREC, D. CARBON, E. LEROI	Ch. MARTIN	Ch. MARTIN
Visas			

SOMMAIRE

1 LA DÉMARCHE GLOBALE DE GESTION DES RISQUES NATURELS 6

1.1 Les risques naturels 6

1.2 Les Plans de Prévention des Risques (PPR) 6

2 LES RAISONS DE LA PRESCRIPTION DU PPR 7

3 LE CONTEXTE PHYSIQUE DE L'ARCHIPEL DES SAINTES 8

3.1 Contexte morphologique 8

3.2 Contexte climatique 8

3.3 Contexte géologique (d'après JACQUES et MAURY, 1988). 9

3.4 Contexte géotechnique 12

4 LES PRINCIPAUX ENJEUX 17

4.1 Principe et objectif 17

4.2 Les zones urbanisées et non urbanisées – la population 17

4.3 Les documents d'urbanisme et documents directeurs 17

4.4 Les principaux éléments construits et sites importants 22

4.5 Le bâti courant 23

4.6 Les réseaux 23

4.7 Les enjeux environnementaux 25

5 PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES 27

6 PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES 30

6.1 Phénomènes volcaniques 30

6.2 Tremblement de terre 30

6.3 Phénomènes de mouvements de terrain 50

7 ALÉAS CYCLONIQUES 55

7.1 Préambule 55

7.2 Modélisation de la houle 55

7.3 Cartes d'aléa 59

7.4 Commentaires 60

8 ALÉAS INONDATIONS 61

8.1 Remarques préliminaires 61

8.2 Présentation de la démarche 61

8.3 Evaluation de l'aléa inondation 62

8.4 Commentaires 64

9 ALÉAS SISMIQUES 66

9.1 Secousse sismique 66

9.2 Faille active, capable d'engendrer une rupture cosismique en surface 72

9.3 Liquéfaction des sols 76

10 ALÉAS MOUVEMENTS DE TERRAIN 78

10.1 Typologie des phénomènes 78

10.2 Facteurs de prédispositions ou permanents 78

10.3 Facteurs déclencheurs ou aggravants : occurrence temporelle 79

10.4 Intensité des phénomènes 79

10.5 Evaluation de l'aléa chute de blocs et éboulement 81

11 PRÉSENTATION DU PLAN DE ZONAGE ET DU RÈGLEMENT 83

11.1 Présentation du plan de zonage 83

11.2 Présentation du règlement 86

12 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 87

13 LISTE DES FIGURES 89

14 LISTE DES TABLEAUX 91

15 LISTE DES ENCARTS 92

16 PLANCHES HORS TEXTE 92

PLAN DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS METEOROLOGIQUES ET GEOLOGIQUES COMMUNE DE TERRE-DE-HAUT

Note de présentation

1 LA DEMARCHE 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, indemnisations, remises 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 effets de la houle cyclonique HUGO (1989), MARYLIN (1995), GEORGES (1998) ou LENNY (1999) ;
- Les inondations récurrentes lors de fortes pluies comme LUIS (1995), MARYLIN (1995), LENNY (1999), 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, qui a durablement marqué la mémoire des Saintois, le patrimoine et les paysages ;
- 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'arrêté de prescription du PPR de Terre-de-Haut a été actualisé. Il date du 21 juin 2007. Le périmètre d'étude est la commune, hors îlets et îlots.

Type de catastrophe	Evénement	Arrêté
Phénomène lié à l'atmosphère - Cyclone/ouragan : chocs mécaniques liés à l'action des vagues. 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
Phénomène lié à l'atmosphère - Cyclone/ouragan: chocs mécaniques liés à l'action des vagues. Inondation : - Par ruissellement et coulée de boue. - Par une crue (débordement de cours d'eau). Mouvement de terrain	14 au 15/09/1995 (Ouragan MARYLIN)	06/11/1995
Inondation et chocs mécaniques liés à l'action des vagues.	18 au 19/11/1999 (Ouragan LENNY)	14/02/2000

Type de catastrophe	Evénement	Arrêté
Inondation : - Par ruissellement et coulée de boue. - Par une crue (débordement de cours d'eau).	18/11/2004	11/01/2005
Séisme	21/11/2004 (séisme des Saintes)	11/01/2005

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

3 LE CONTEXTE PHYSIQUE DE L'ARCHIPEL DES SAINTES

La superficie de Terre-de-Haut est de 4,52 km².

3.1 Contexte morphologique

Terre-de-Haut est une île très découpée par de nombreux Caps et Anses. Elle culmine à 306 m (le Chameau). La distribution des altitudes et des pentes de Terre-de-Haut (Figure 1) est la suivante :

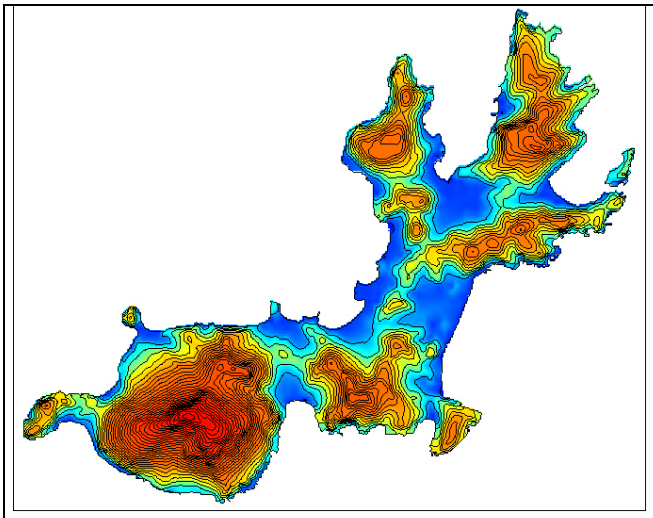
- 10% des terrains sont à une altitude inférieures à 5 m (6% inférieurs à 3 m) ;
- 25% des altitudes sont inférieures à 15 m ;
- Altitude médiane de 38 m ;
- 75% des altitudes sont inférieures à 72 m ;
- Pente médiane de 17° ;
- 50% des pentes sont comprises entre 9 et 24° ;
- 80% des pentes sont inférieures à 26°.

3.2 Contexte climatique

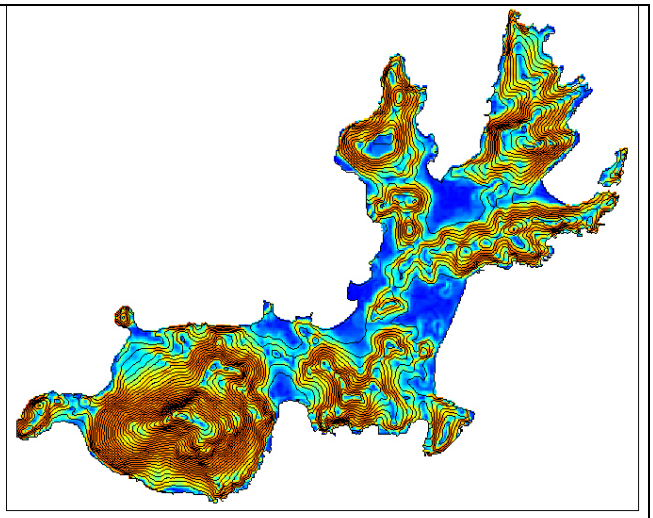
Le climat des Saintes est de type tropical maritime, partagé entre :

- 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 (inférieurs à 300 m), l'archipel 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 1250 mm.



Altitudes : équidistance 10 m



Pentes



Figure 1 : Morphologie de Terre-de-Haut (d'après données IGN et OPSIA).

3.3 Contexte géologique (d'après JACQUES et MAURY, 1988).

Hormis les dépôts littoraux récents, l'archipel des Saintes est de nature exclusivement volcanique.

Les formations ont été mises en place au plio-pléistocène (5 à 0,6 Ma[1]). L'évolution chronologique semble relativement comparable à celle de Basse-Terre de Guadeloupe, bien que le volcanisme très récent n'y soit pas représenté.

Cinq phases d'activité ont été identifiées aux Saintes (Figure 2).

- Les trois premières sont responsables de l'édification de la partie orientale de l'archipel : Terre-de-Haut (où la phase IV n'est représentée que par une intrusion), Grand Ilet, Ilet à Cabrit, la Coche.
- L'île de Terre-de-Bas, plus récente, résulte de l'activité des phases IV et V.

[1] MA : Million d'années.

La **phase I**, aux environs de 5 Ma, est essentiellement effusive et correspond à l'émission d'épaisses coulées andésitiques qui constituent le substratum de Terre-de-Haut et affleurent également dans la partie occidentale de l'Ilet à Cabrit et de Grand Ilet. Cette phase est assez mal connue du point de vue géochronologique, car les andésites correspondantes ont fréquemment subi une altération hydrothermale postérieure, notamment dans la partie centrale de Terre-de-Haut où les effets en sont très intenses (environs de l'aéroport).

La **phase II**, (3,6 à 3 Ma) correspond à la phase majeure d'édification des îles orientales des Saintes. Cinq centres éruptifs fonctionnent de façon à peu près simultanée :

- A Terre-de-Haut, mise en place de l'important dôme andésitique du Chameau, des coulées et des brèches dacitiques du Fort Napoléon et des coulées d'andésites basiques de la Pointe Morel ;
- A l'Ilet à Cabrit, coulées dacitiques de la Pointe Bombarde ;
- A Grand Ilet, volcan andésitique de la Pointe des Colibris.

La **phase III**, (2,8 à 2,4 Ma) débute par une violente activité phréatomagmatique qui aboutit à l'apparition des dépôts bréchiques finement lités de la base du Morne Morel et de la Pointe à l'Eau (Terre-de-Haut), et de la partie centrale de filet à Cabrit. Elle se poursuit par des nuées ardentes, puis par des intrusions andésitiques acides (Morne à Craie, Ilet à Cabrit). L'altération hydrothermale du substratum (coulées andésitiques de la phase I) intervient vraisemblablement durant cette période.

La **phase IV** (aux environs de 2 Ma) n'est représentée sur Terre-de-Haut que par une petite intrusion d'andésite acide, qui représente le témoin le plus récent de l'activité volcanique sur cette île. Elle correspond par contre à la phase majeure d'édification de Terre-de-Bas, où se mettent en place (probablement dans un court laps de temps) de nombreuses coulées, fréquemment autobréchifiées, d'andésites acides à phénocristaux de quartz. Leurs points d'émission, qui n'ont pas été identifiés avec certitude, se situent probablement dans la partie centrale de Terre-de-Bas (zone de l'Etang).

L'activité finale du volcanisme des Saintes (**phase V**, de 1,3 à 0,6 Ma) est limitée à Terre-de-Bas, où s'individualise un cratère ouvert vers l'Ouest qui émet plusieurs nuées ardentes andésitiques de type Saint-Vincent (Petites Anses, Gros Cap), recouvertes par la suite par des couches de cendres qui comblent partiellement la dépression de Petites Anses.

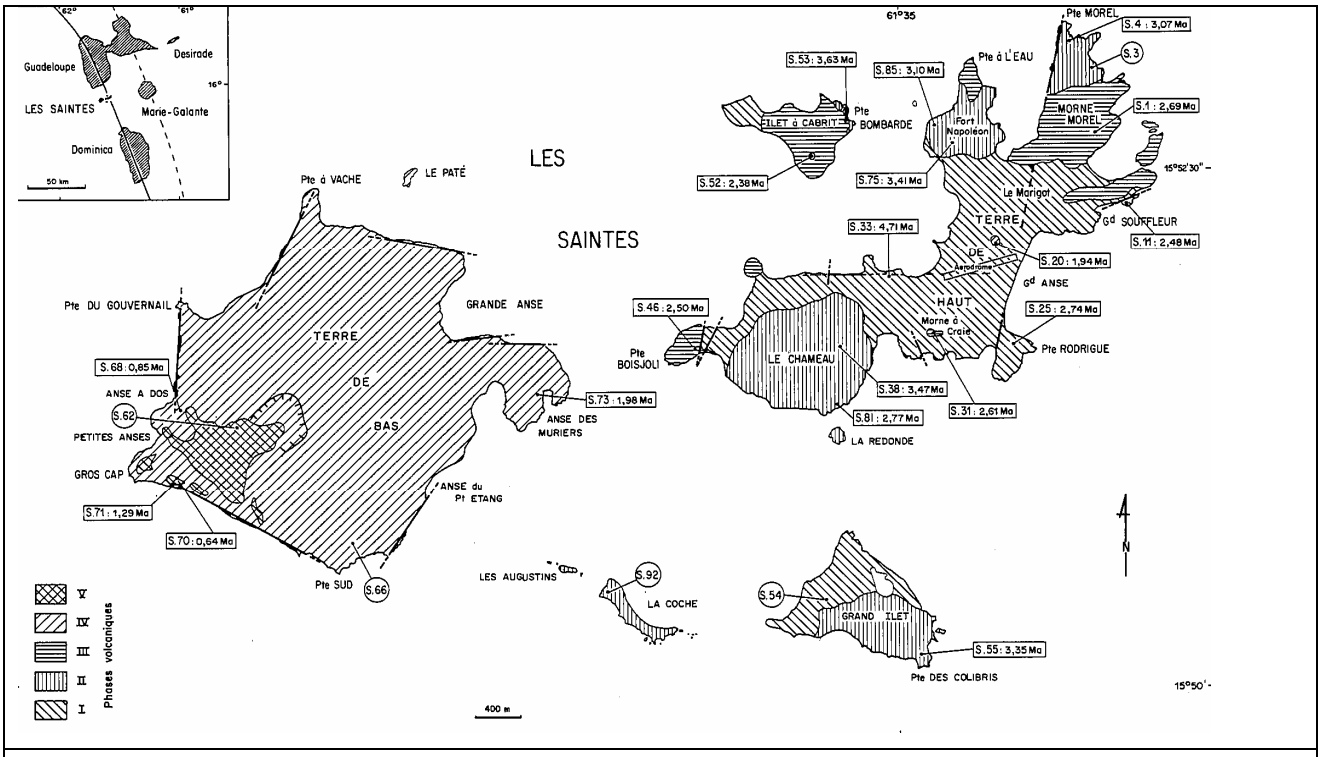


Figure 2 : Chronologie des 5 phases volcaniques de l'histoire géologique des Saintes (d'après JACQUES et MAURY, 1988).

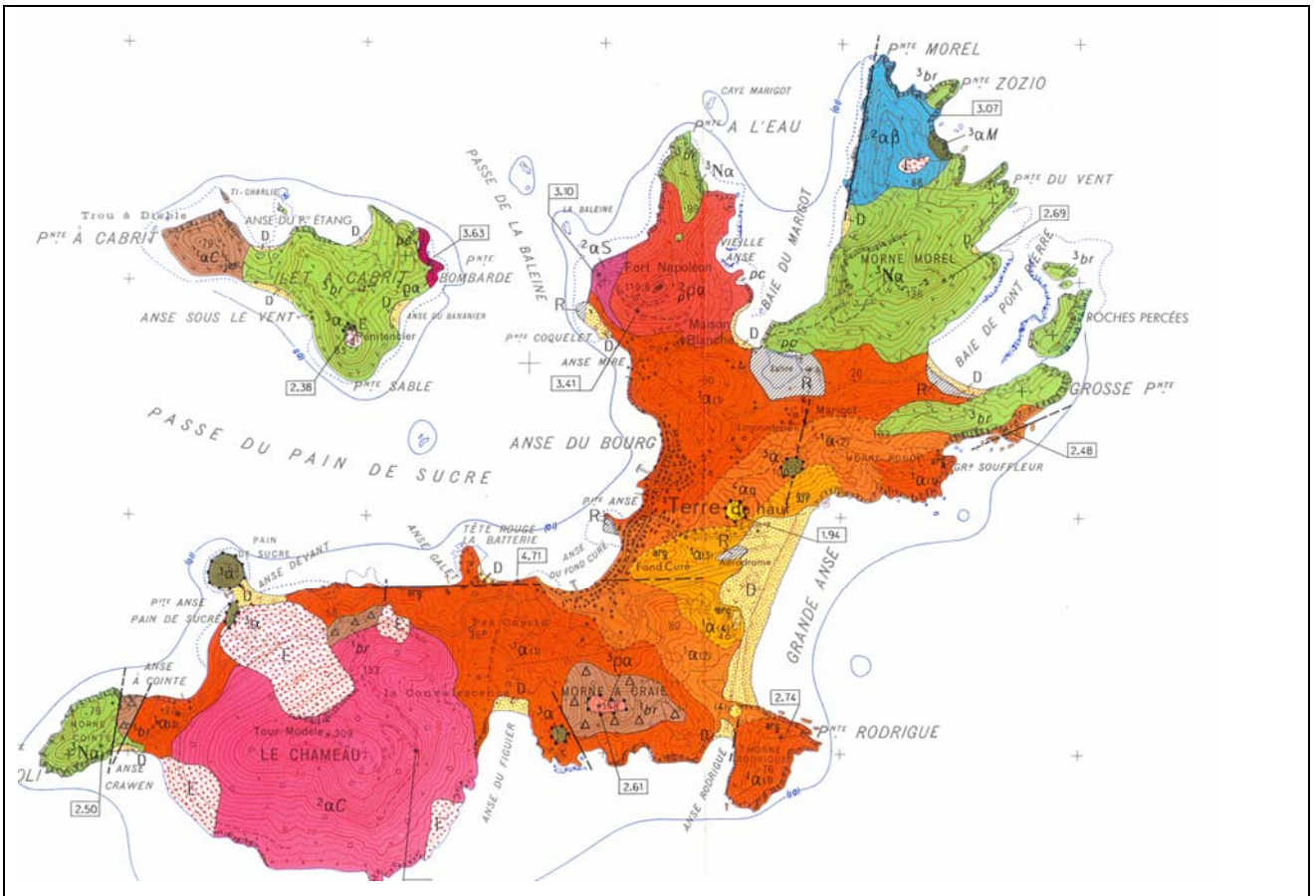


Figure 3 : Carte géologique de Terre-de-Haut (extrait de la carte géologique des Saintes d'après JACQUES et MAURY, 1988).

3.4 Contexte géotechnique

Les reconnaissances géotechniques en place, mises en œuvre aux Saintes 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 ;
- Quelques sondages avec essais pressiométriques sont disponibles sur Terre-de-Haut.

3.4.1 Essais pressiométriques

Les essais pressiométriques permettent une caractérisation mécanique y compris de formations rocheuses, sans l'écueil d'un refus prématuré, non représentatif. De plus, le module de cisaillement maximal (Gmax en MPa) et la vitesse des ondes de cisaillement peuvent être estimés à partir du module pressiométrique (E_M en MPa), en considérant les relations suivantes (Equation 1, Equation 2).

Equation 1: $Gmax=\alpha.E_M$

Equation 2: $Gmax=\rho.Vs^2$

Avec :

- α, coefficient de l'ordre de 10 (7 à 12) ;
- ρ, masse volumique du terrain (kg/m^3).

Le « tuf volcanique » (E_M généralement compris entre 50 et 100 MPa) correspond à un rocher altéré ; soit de bonnes caractéristiques mécaniques (sol a des règles PS92), mais rarement rocheuses. Les vitesses de cisaillement obtenues à partir de la corrélation (Equation 1) sont de l'ordre de 500 à 700 m/s.

Les caractéristiques mécaniques sont moyennes (E_M généralement compris entre 5 et 25 MPa, sol b des règles PS92) pour les horizons d'altération argileuse du « tuf volcanique ». Les vitesses de cisaillement sont estimées de l'ordre de 150 à 400 m/s (Equation 1).

Les formations sableuses du bourg de Terre-de-Haut ont des caractéristiques mécaniques médiocres à moyennes (E_M de l'ordre de 3 à 15 MPa, sol c ou b des règles PS92). Les vitesses de cisaillement sont estimées inférieures à 300 m/s (Equation 1).

Les caractéristiques mécaniques de la formation argilo-sablo vasarde de Marigot sont médiocres (E_M inférieur à 3 MPa, sol c des règles PS92). Les vitesses de cisaillement sont estimées inférieures à 180 m/s (Equation 1).

3.4.2 Caractérisation des sites par mesures de bruit de fond et traitement H/V

3.4.2.1. Principe des mesures de bruit de fond

Le bruit de fond est une vibration mécanique de faible amplitude ($<10^{-3}$ m/s²), engendrée par les sources locales, liées à l'activité courante (BONNEFOY-CLAUDET, 2004). Le bruit de fond sollicite les sols dont il est

possible, avec du matériel adapté, de mesurer la réponse et d'en déduire un comportement dynamique. Cette méthode a plusieurs avantages :

- Ne pas avoir à créer de sollicitation (explosif, marteau vibreur) ;
- Ne nécessiter qu'un matériel d'enregistrement léger ;
- Permettre de réaliser les mesures dans un intervalle de temps limité.

Le procédé utilisé est la méthode H/V bruit de fond, dite de NAKAMURA (1989 ; BARD, 1995). A partir de l'enregistrement du bruit de fond, elle consiste à calculer le rapport spectral entre les composantes horizontales et la composante verticale (H/V). Les composantes horizontales du bruit de fond sont amplifiées par les réflexions sur les interfaces des couches surmontant le substratum, alors que la composante verticale, qui contient aussi la signature des sources de bruit, n'est pas affectée.

Le rapport spectral des composantes horizontales sur la composante verticale (H/V) permet d'obtenir une pseudo fonction de transfert au point de mesure. Il fournit une bonne mesure de la fréquence de résonance du sol, et une amplification relative à comparer aux autres sites de mesure.

La typologie des rapports H/V permet de caractériser les zones du point de vue géotechnique. En ce sens, il s'agit d'un outil géophysique utile pour apprécier l'homogénéité d'un site. Dans le cas de zones différentes, leur extension géographique peut également être circonscrite par cette méthode en multipliant les points de mesure.

De plus, dans le cas d'une configuration géologique simple (monocouche), l'Equation 3 lie les trois paramètres suivants :

- F, fréquence du site (en hertz) ;
- H, épaisseur (en m) de la couche de sol souple surmontant le substratum ;
- Vs, vitesse de propagation des ondes de cisaillement (en m/s).

Equation 3 : F = Vs / 4 H

Dans le cas d'un modèle monocouche, la connaissance de deux paramètres permet l'estimation du troisième. Alternativement, la connaissance simultanée des trois paramètres permet de valider ou de rejeter l'hypothèse d'une configuration monocouche.

3.4.2.2. Calcul des rapports spectraux H/V

Le traitement des enregistrements de bruit de fond suit la procédure recommandée par le projet européen SESAME (2004). La méthode comporte les 3 étapes suivantes :

- Choix de fenêtres de signal sans perturbation ;
- Calcul du rapport spectral sur chacune de ces fenêtres ;
- Moyennes des rapports spectraux calculés.

3.4.2.3. Campagnes de mesure du bruit de fond aux Saintes

Le CETE Méditerranée a réalisé une campagne de mesure de bruit de fond en février 2005. Les résultats (CETE, 2006) ont aimablement été mis à la disposition de l'étude PPR.

Une campagne de mesure du bruit de fond complémentaire a été menée par GEOTER à Terre-de-Haut le 12 juillet 2007. Les enregistrements ont été effectués avec des sismomètres Lennartz 1 seconde à 3 composantes et des stations d'acquisition LEAS CityShark II (CHATELAIN *et al.,* 2000). La durée des enregistrements a été fixée à 15 minutes, après un test sur le niveau de bruit du site et sur les fréquences d'amplification obtenues (SESAME, 2004).

3.4.2.4. Résultats

31 points de mesures ont été réalisés à Terre-de-Haut, ainsi qu'une mesure en réseau à l'aérodrome (CETE, 2006).

- « Les zones de remblais de Marigot et de l'aérodrome montrent une courbe H/V assez chahutée » ;
- Au niveau du bourg, les courbes H/V montrent généralement un pic vers 4 à 5Hz en bord de mer. Il évolue vers 7 à 8 Hz en direction des reliefs puis disparaît.

La mesure en réseau (CETE_124) permet l'estimation d'un profil des vitesses des ondes de cisaillement (Vs) :

- 10 m avec des Vs de 195 m/s (caractéristiques mécaniques moyennes) ;
- 17 m avec des Vs de 330 m/s (caractéristiques mécaniques moyennes).

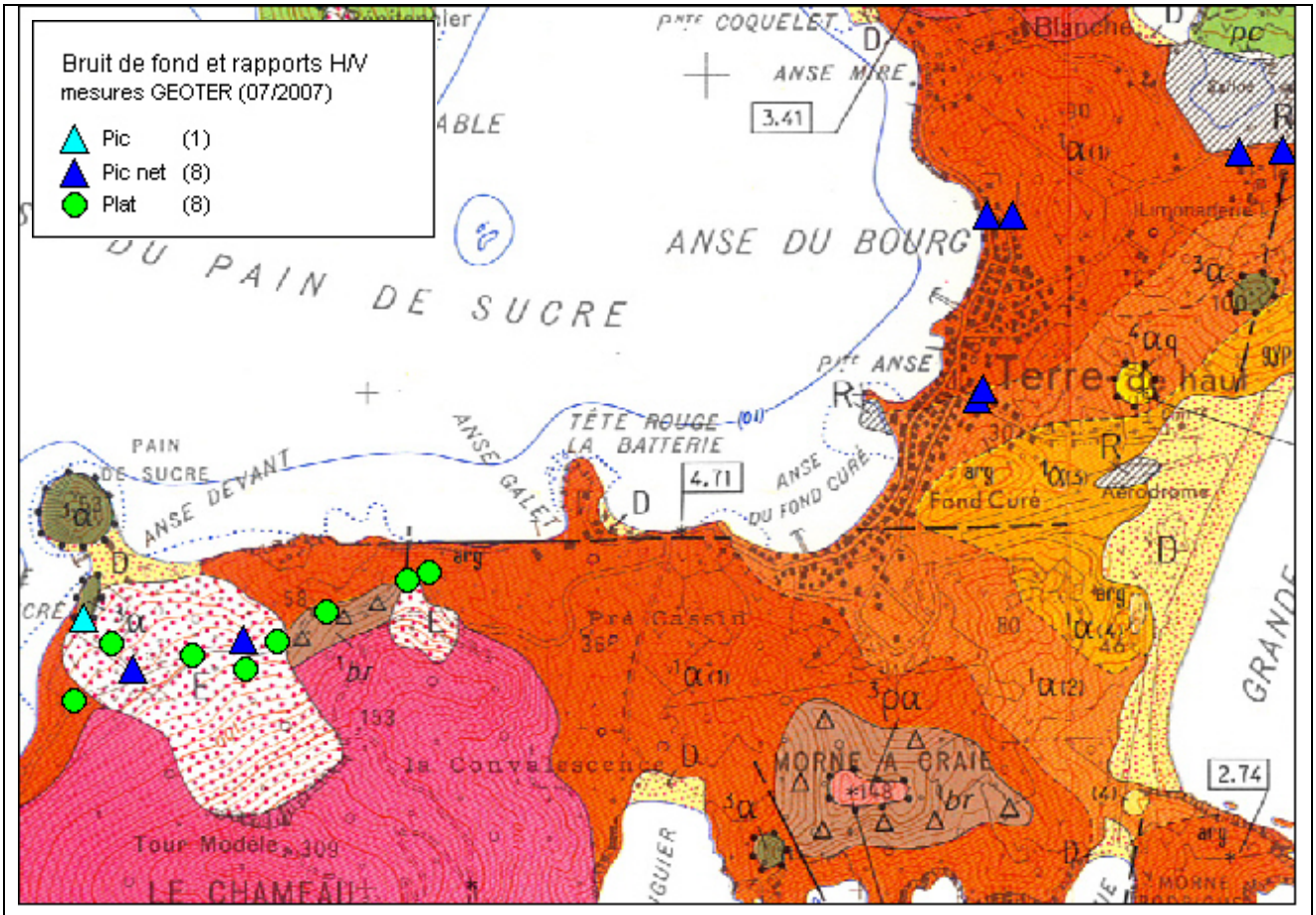
GEOTER a réalisé 17 mesures supplémentaires (Figure 4). Un pic net est mis en évidence dans le bourg (école primaire et mairie) et à Marigot. En revanche, les résultats sont plus variables et donc difficilement interprétables dans le quartier du pain de Sucre : quelques pics, parfois nets, vers 3 et 13 Hz, parmi des rapports H/V plats.

Au droit de l'**école primaire** (Figure 5), deux mesures montrent un pic net à une fréquence de 5,4 et 8,9 Hz. Cet effet de site est attribué aux formations littorales et colluviales, surmontant le substratum volcanique altéré (05 GEO 4028 et 05 GEO 4602). L'exploitation du sondage pressiométrique disponible (SP1) comme un modèle monocouche (Equation 3), indique une fréquence très comparable de 6,1 à 7,0 Hz pour une vitesse des ondes de cisaillement moyenne estimée de l'ordre de 210 m/s et une épaisseur de 7,5 ou 9 m. Alternativement, les fréquences mesurées correspondent à une épaisseur de 6 à 10 m de formation de caractéristiques médiocres à moyennes.

Autour de la mairie (Figure 6) les pics nets à une fréquence de 6.8 et 8,9 Hz sont attribués à un contexte géotechnique équivalent, probablement un peu moins épais, en se rapprochant du relief.

Au stade de Marigot (Figure 7), deux mesures montrent un pic net à une fréquence de 6,8 et 7,8 Hz. Cet effet de site est attribué aux formations de comblement et au remblaiement surmontant le substratum

volcanique altéré. L'exploitation d'un modèle monocouche (Equation 3) indique qu'il s'agit probablement de formations de caractéristiques médiocres à moyennes (Vs inférieur à 250 m/s) peu épaisses (< 10 m).



Extrait de la carte géologique des Saintes (JACQUES et MAURY, 1988). Crédit BRGM.

Figure 4 : Interprétation des mesures de bruit de fond réalisées par GEOTER.

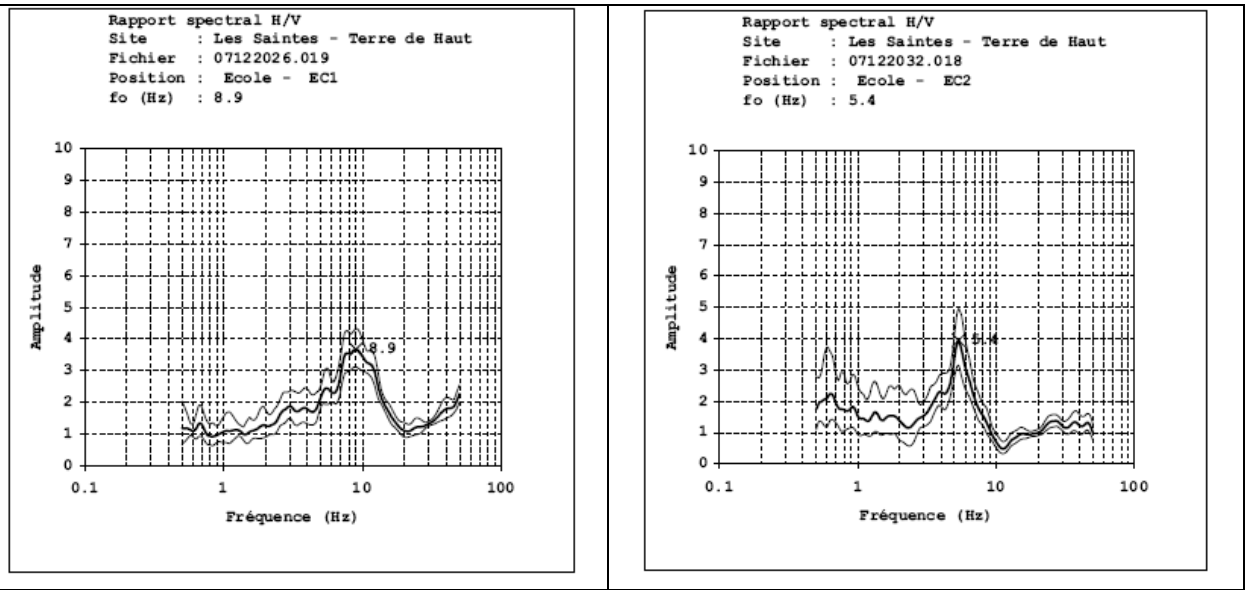
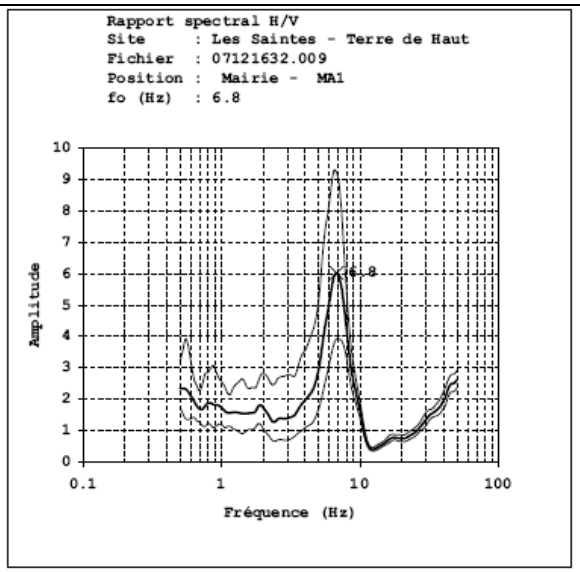


Figure 5 : Mesures de bruit de fond et rapports H/V au droit de l'école primaire de Terre-de-Haut.



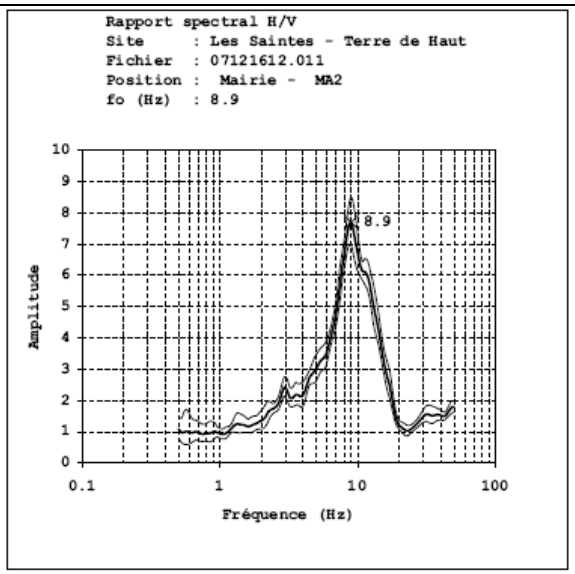
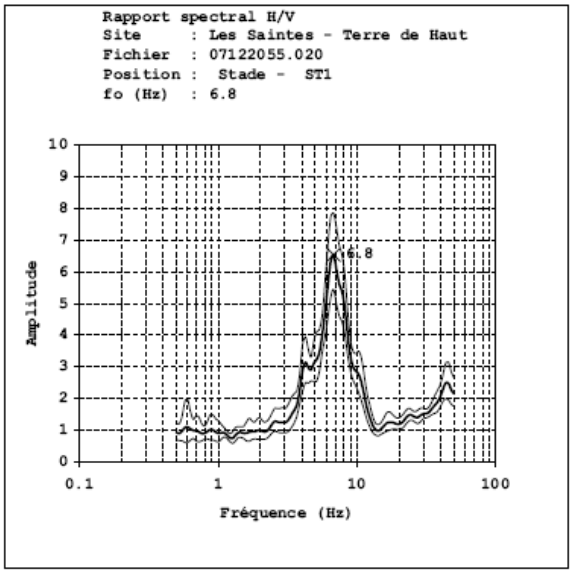


Figure 6 : Mesures de bruit de fond et rapports H/V autour de la mairie de Terre-de-Haut.



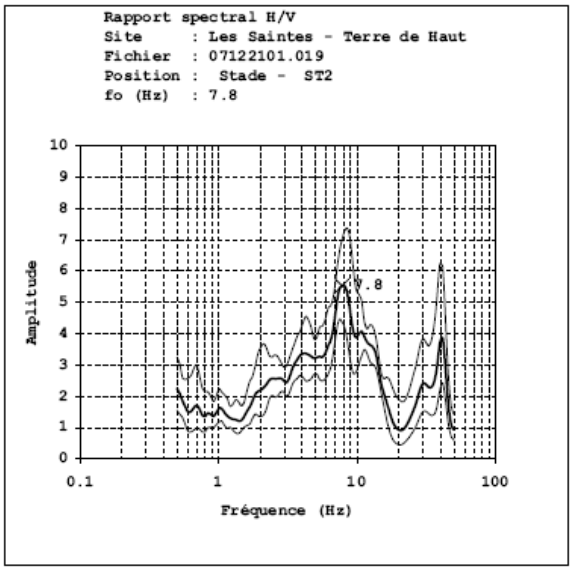


Figure 7 : Mesures de bruit de fond et rapports H/V au droit du stade de Marigot.

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[2], en identifiant notamment les espaces urbanisés denses ;
- Les espaces non urbanisés.

Il s'agit en outre d'identifier les ambitions de développement portées par la municipalité sur son territoire à travers son document d'urbanisme directeur (POS ou PLU) et le cas échéant de projets de ZAC hors POS, afin d'identifier les éventuels secteurs à conflits d'usages forts, notamment entre les ambitions de développement et les « contraintes » de protection.

Il s'agit également d'identifier les éléments physiques ou non qui représentent des enjeux pour le territoire et qui pourraient représenter des fragilités au regard des risques naturels. Il s'agit principalement :

- De la population,
- Des éléments construits
- Des fonctions associées au territoire (services, administrations…)
- Des divers réseaux

Il s'agit enfin d'identifier les enjeux environnementaux soumis à des obligations de protection.

4.2 Les zones urbanisées et non urbanisées – la population

Si les secteurs urbanisés et non urbanisés se répartissent en fonction des zones U et N du POS, on peut identifier une zone urbaine dense correspondant au centre bourg (Figure 8), pour laquelle des objectifs de réduction de la vulnérabilité du bâti peuvent être appréciés à l'échelle du secteur et non pas individuellement, et définis dans le cadre d'un projet global de développement.

4.3 Les documents d'urbanisme et documents directeurs

4.3.1 Le Schéma d'Aménagement Régional - SAR

La région Guadeloupe dispose d'un schéma d'aménagement régional approuvé en janvier 2001. Ce schéma a les mêmes effets que les directives territoriales d'aménagement, et dans ce cadre, le POS ou le PLU, tout

[2] Aucun ouvrage de protection particulier n'est identifié.

comme les SCOT doivent lui être compatibles. Il en est de même des documents d'urbanisme avec le Schéma de Mise en Valeur de la Mer (SMVM).

Les objectifs et orientations définis par le SAR sur Terre-de-Haut (Figure 9) sont les suivants :

- Valoriser les espaces agricoles et naturels ruraux
- Rééquilibrer les territoires : pour Terre-de-Haut, l'accent est mis sur le rattrapage structurel des infrastructures d'accueil (assainissement, traitement des déchets, aménagement portuaire),
- Mailler équitablement le territoire et développer les communications : l'île de Terre-de-Haut est retenue comme pôle d'accueil d'espaces ludiques de dimension régionale décrits dans le schéma de mise en valeur de la mer - SMVM (détente, sports nautiques notamment). Il s'agit par ailleurs de désenclaver l'archipel des Saintes et d'assurer la continuité territoriale. A ce titre, les infrastructures aéroportuaires et portuaires revêtent une importance toute particulière, avec pour ces dernières le renforcement du rôle polyvalent du port de Terre-de-Haut (espace de stockage, activités de transformation, activités artisanales, pêche, activités de plaisance).
- Revitaliser les centres-villes et centres bourgs : il s'agit dans un premier temps de lutter contra l'habitat insalubre, d'offrir une diversité urbaine et d'améliorer la qualité des espaces publics. Il s'agit également de renouveler le milieu urbain sur lui-même. A ce titre, le bourg de Terre-de-Haut a déjà fait l'objet dans le cadre de la révision du POS, d'une démarche opérationnelle d'ensemble.

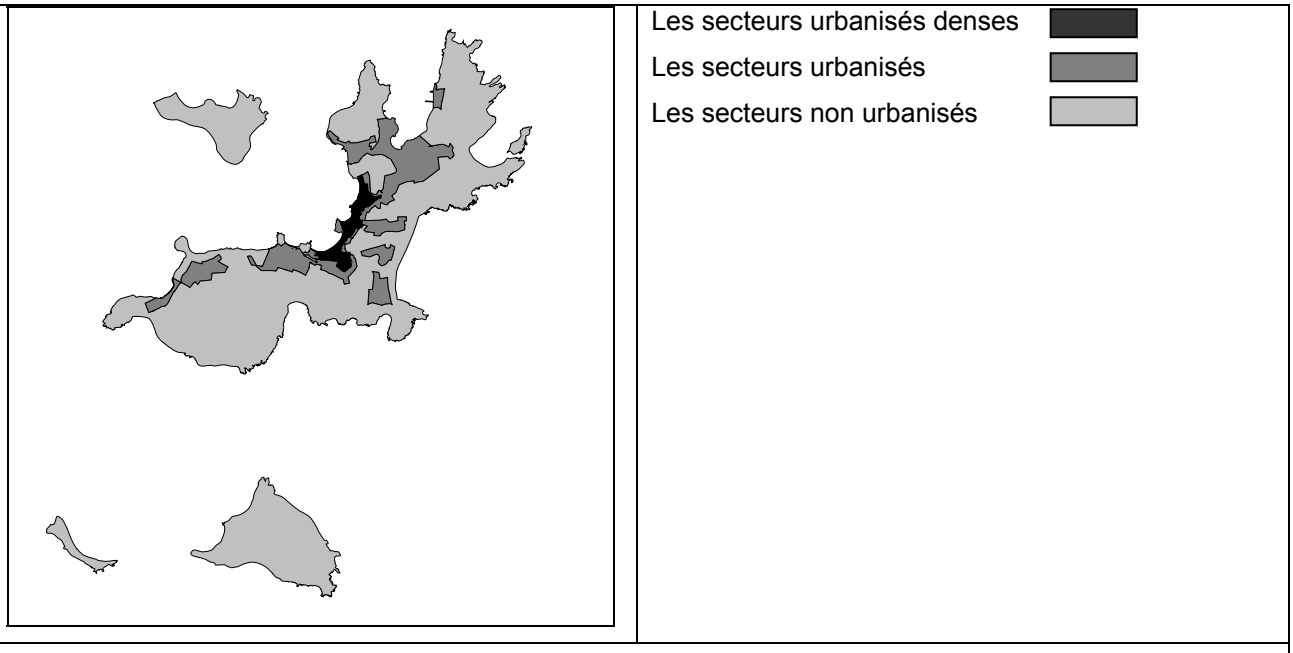


Figure 8 : Zones urbanisées et non urbanisées de Terre-de-Haut.

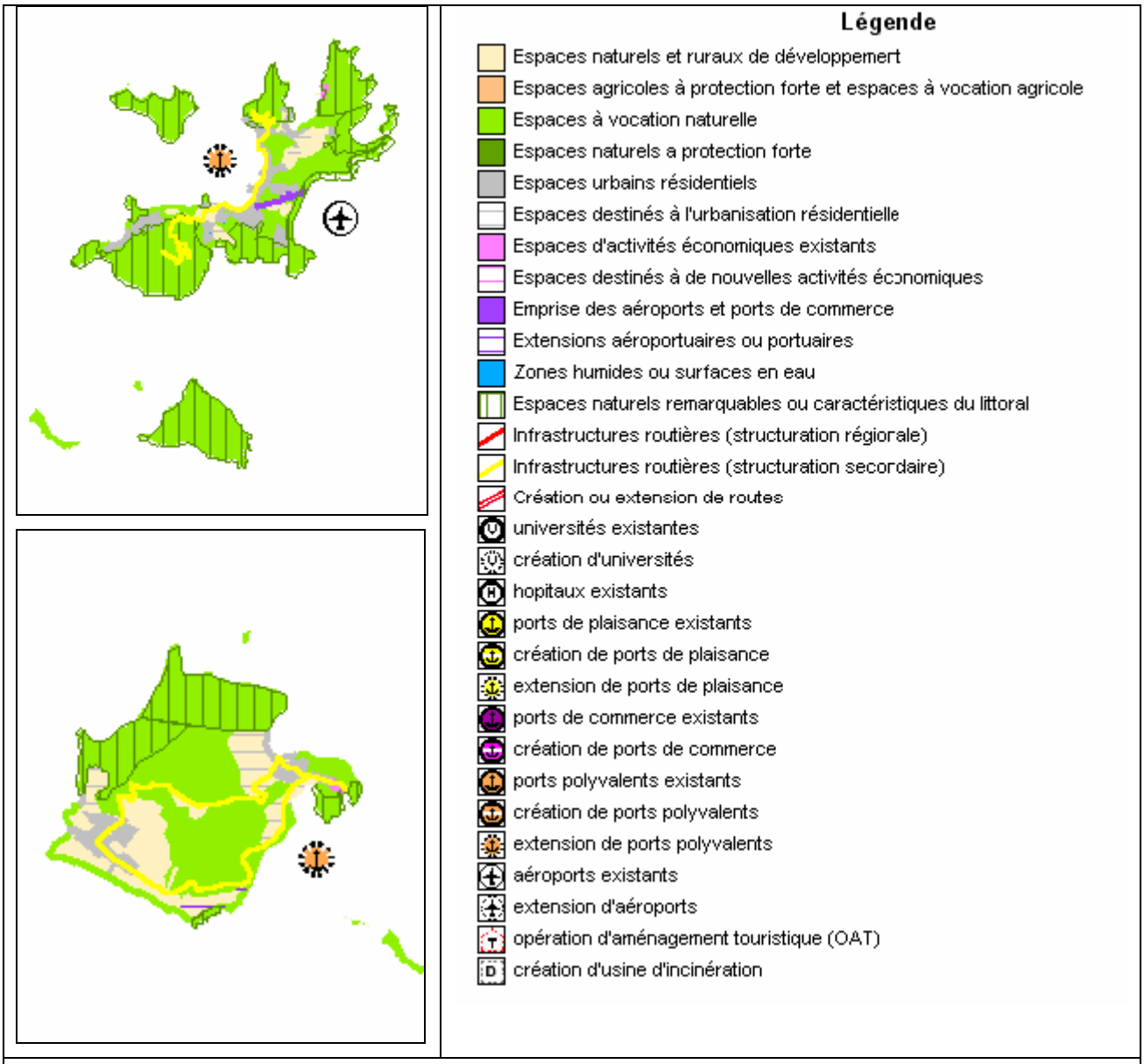


Figure 9 : Schéma d'Aménagement Régional (SAR) sur l'archipel des Saintes.

4.3.2 Plan d'Occupation des Sols - POS et Plan Local d'Urbanisme - PLU

Avec la loi SRU, le législateur a voulu rendre les politiques d'urbanisme plus claires et plus démocratiques, doter les agglomérations d'un instrument de mise en cohérence de l'ensemble des politiques sectorielles en matière d'urbanisme, d'habitat, de déplacements et d'équipements, et transformer les POS en véritables plans d'urbanismes adaptés aux besoins des politiques de renouvellement urbain.

Quatre grands principes sous-tendent la mise en œuvre de la loi SRU :

- Respecter l'équilibre entre le développement rural et urbain : équilibre entre le développement urbain maîtrisé et le développement rural, la protection et la préservation des espaces affectés aux activités agricoles et forestières ainsi que la préservation des espaces naturels et des paysages.
- Réussir une véritable mixité urbaine et sociale : lutter contre les ségrégations spatiales et urbaines résultantes d'une division fonctionnelle abusive de l'espace, lutter contre la constitution de zones mono-fonctionnelles, respecter la diversité des fonctions urbaines et la mixité sociale dans l'habitat

(favoriser le logement social)

- Enclencher une véritable dynamique de renouvellement urbain : faciliter des actions de différentes natures telles que les RHI, OPAH, etc. Prendre en compte la diversification des fonctions urbaines et la mixité sociale.
- Utiliser d'une façon économe et équilibrée les espaces naturels, urbains et ruraux : limiter la constructibilité en l'absence de projet d'aménagement et de cohérence territoriale.

Le PLU remplace le POS ; il présente le projet de développement de la commune en matière d'habitat, d'emploi et d'équipement, ainsi que le régime des règles et des servitudes, sur la base d'un projet urbain. Il doit respecter les principes de la SRU quant à une utilisation économe de l'espace (notamment grâce à la densification), à un équilibre entre maîtrise des déplacements et circulation automobile,à un équilibre entre d'une part, renouvellement et développement urbain et d'autre part, préservation des espaces naturels, et à un équilibre entre les différentes fonctions urbaines.
Le PLU doit être compatible avec les SCOT, les PLH, les PDU.

Le PPR est annexé au POS comme PLU en tant que servitude d'utilité publique, et il convient d'analyser les incidences du zonage réglementaire, tant sur le projet de la commune que sur les principes mêmes de la loi SRU. Les zonages POS et leurs correspondances futures en zonages PLU sont les suivants (Tableau 2) :

Zonage des enjeux	Description	POS	PLU[3]
Zones urbanisées	Zones urbaines	U	U
Zones non urbanisées	Zones agricoles	NC	A
	Zones à protéger / Zones naturelles et forestières	ND	N
Zones à préciser, en fonctions des enjeux de la commune	Zones d'urbanisation future / Zones à urbaniser	NA	AU
	Zones d'urbanisation diffuse, partiellement équipées	NB	/

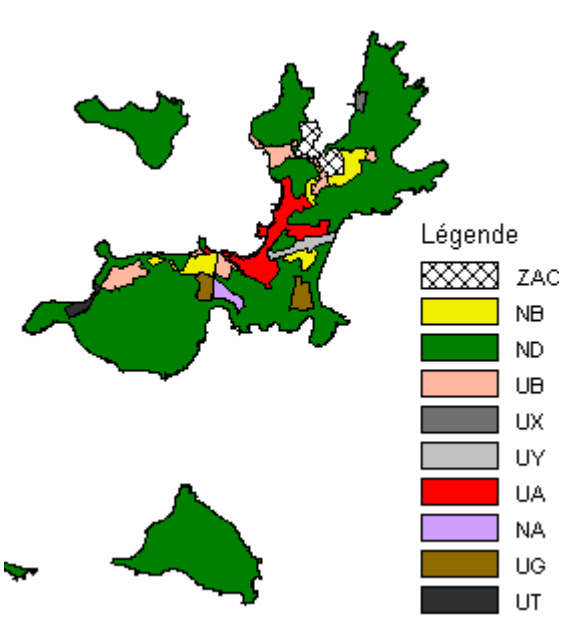
Tableau 2 : Evolution des zonages entre le POS et le PLU.

Le PLU de Terre-de-Haut n'a pas encore été réalisé, le document d'urbanisme conduisant le développement de la commune étant un POS dont la seconde révision en vigueur a été approuvée en conseil municipal par délibération du 19 juillet 2001. Les priorités identifiées dans le document de présentation du POS (Figure 10) sont les suivantes :

- « la réactualisation de la trame urbaine communale et sa meilleure intégration dans le site,
- la mise en valeur et la protection du patrimoine culturel, avec une large place à l'expression de l'architecture pointoise,

[3] Note : dans le nouveau zonage du PLU les zones NB du POS sont amenées à disparaître ; elles devront selon les situations locales être transformées en zones « U » ou en zones « N ».

- Le développement des activités afin d'asseoir une dynamique économique, par l'exploitation des ressources naturelles et des savoir-faire, et l'ouverture du secteur « tourisme intégré » déjà présent sur l'île. »



Zones urbaines

Zone	UA	UB	UG	UT	UX	UY
Superficie approchée en HA	28	21.50	9.60	3.42	2.10	6.90
Caractéristiques des terrains	200 m²	400 m² 300 m² en UBt	800 m²	5000 m²	Néant	Néant
Implantation/ voies publiques	2m ou dif. suivant situation	7m 3m en UBp et UBt	7m	9m	10m DPM	10m DPM
Hauteur des constructions (faîtage)	8m 5m en UAa	8m 7m en UBp	8m	8m	10m	10m (5m habitat)
C.O.S.	1	0.40 250 m2 SHON en UBp et UBt	0.30	0.30	0.20	0.10

• Les zones naturelles

Zone	NA	NB	ND
Vocation ou destination principale	Extensions urbaines lotissements, équipements	Habitat rural diffus	Zones naturelles soumises protection
Superficie	4.7	6.12	423.66
C.O.S	0.15	0.20 avec 250 m2 SHON maxi	Néant

Figure 10 : POS de Terre-de-Haut.

Le quartier du Marigot fait l'objet hors POS d'une zone d'aménagement concertée (ZAC) prévue en habitat résidentiel et activités para-touristiques.

Plusieurs emplacements réservés ont également été identifiés sur le territoire de Terre-de-Bas ; ils ne peuvent faire l'objet que de projets cohérents avec les ambitions de développement portés par la commune.

Trois opérations majeures d'aménagement sont en cours de réalisation ou envisagées par la municipalité sur son territoire (Figure 11), il s'agit :

- de la ZAC de marigot où de nombreux projets ont déjà été réalisés, notamment la future gendarmerie
- du Plan d'Eau dans le centre bourg
- de la zone d'activités située au pied du morne Morel, l'objectif étant d'y développer une déchetterie ainsi qu'une activité de construction ou réparation navale.

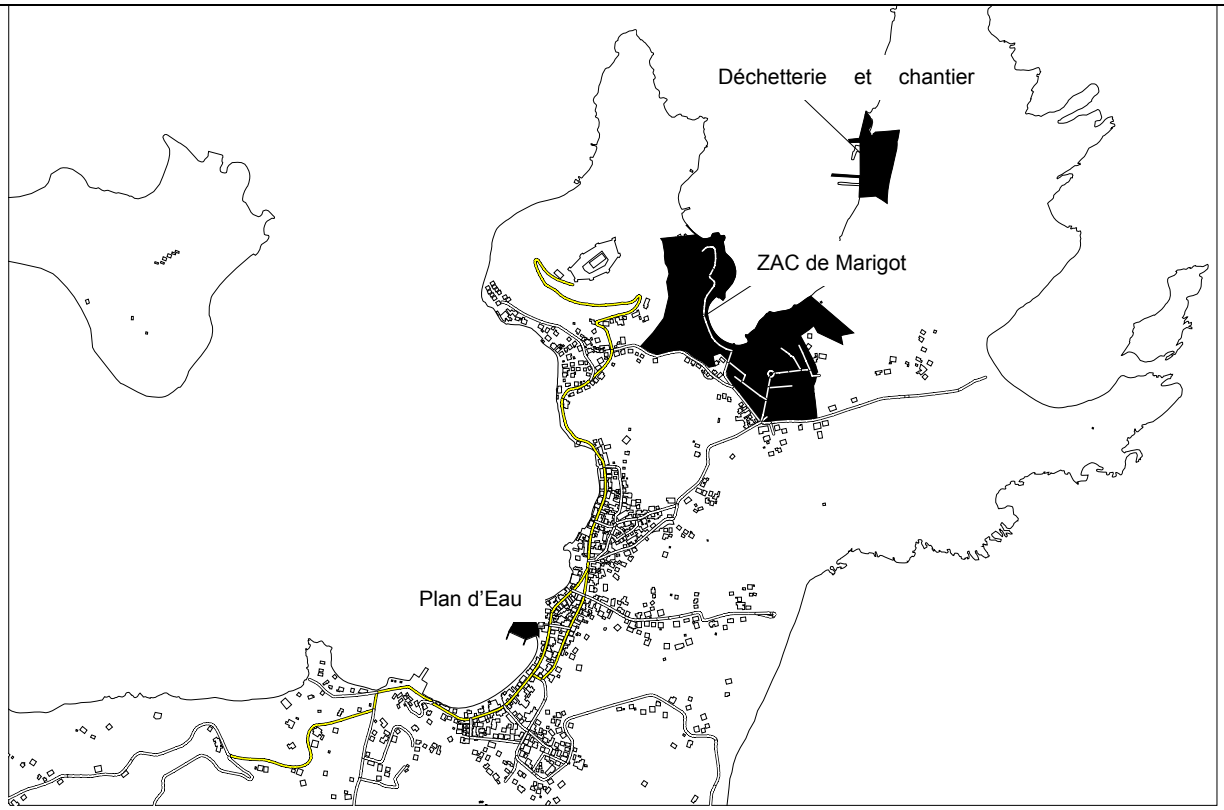


Figure 11 : Projets d'aménagement en cours ou envisagés sur Terre-de-Haut.

4.4 Les principaux éléments construits et sites importants

4.4.1 Les éléments stratégiques

Maire

Gendarmerie

Pompiers - Centre de secours

4.4.2 Les services et activités

Bureau de poste

Distri-banque

Distribution de carburant

Personnel de santé et de soins (Médecin, infirmière, kinésithérapeute, dentiste)

Office de tourisme

4.4.3 Les commerces

Alimentation générale

Supérette

Quincaillerie, bricolage

Boulangerie –pâtisserie

Café, débit de boissons

Restaurant,

Bureaux de tabac

Pointe de vente, presse, photos

Pharmacie

Marché de détail

Antiquités, souvenirs

Prêt-à-porter

4.4.4 Equipements scolaires

Crèche collective

Maternelle publique

Ecole primaire publique

Collège public

Cantine scolaire

4.4.5 Sites de Sports et de loisirs

Plans d'eau, plages aménagées

Itinéraire balisé pour randonnées pédestres

Aire de pique-nique

Terrain de sport (football…)

Terrain de tennis

Sports nautiques

4.4.6 Equipements socio-culturels

Ecole de danse

Centre aéré

Foyer rural

Salle des fêtes

Tourisme – hôtels / Gîtes

Zone industrielle et d'activité économique

Ports

4.4.7 Activités économiques

Aérodrome

Port

Aire de marchandise et de matériaux en terminaison de l'Anse de fond du Curé

Zone d'activités en piémont ouest du morne Morel que la commune souhaite développer.

4.4.8 Patrimoine bâti et sites historiques

L'Eglise du bourg

Le Fort Napoléon

Le Fort Joséphine à l'îlet à Cabrit

La tour de guet du Chameau

La batterie de Tête Rouge

L'ancienne batterie de Vieille Anse à Marigot

L'ancienne batterie du morne Morel

L'ancienne batterie du Pain de Sucre

Périmètres d'investigations archéologiques à l'Ilet à Cabrit

4.4.9 Hébergements avec service hôtelier ou spécialisés

Hôtels

Village de vacances

Loueur de chambres d'hôtel

Pension de famille

Maison familiale

Ensemble locatif avec service hôtelier

Résidences de tourisme

Colonie de vacances

Centre de jeunes

Centre sportif

4.4.10 Les lieux de culte

Eglise

Cimetière

4.5 Le bâti courant

Sur Terre-de-Haut, (Figure 12) le nombre de constructions s'est fortement accru au cours de la dernière décennie, confirmant une tendance qui pouvait déjà être observée au cours des 20 dernières années du 20^{ième} siècle (+ 83,3% de logements en plus alors que la population n'a cru que de 17, 3% au cours de la même période sur Terre-de-Haut – source : POS de Terre-de-Haut). Même si une part importante du bâti est récente, le parc reste globalement fragile et vulnérable aux séismes, comme en témoigne le séisme du 21 novembre 2004.

Les constructions sont basses et restent pour l'essentiel confinées aux zones U, NA et NB, sans mitage du territoire, avec un développement essentiellement monopolaire, autour du bourg centre, même si un pôle d'équilibre s'est développé à l'Anse Mire et à la Pointe Coquelet (quartier Maison Blanche), et que des aménagements récents portent les développements sur Marigot.

4.6 Les réseaux

4.6.1 Le réseau viaire

Le réseau viaire présente des secteurs qui sont exposés au risques naturels, qu'il s'agisse de chutes de blocs, comme ce fut le cas lors du séisme de 20004, ou qu'il s'agisse de mouvements en plus grande masse. L'organisation viaire ne confère pas aux réseaux une vulnérabilité fonctionnelle forte. Néanmoins, si le réseau de Terre-de-Haut permet d'accéder facilement à l'ensemble des secteurs de l'île, nombre de

segments ne présentent pas de redondance. Par ailleurs, la zone d'activité en piémont du Morne Morel n'est pas desservie, et la municipalité fonde des projets ambitieux pour désenclaver et valoriser cette zone.

4.6.2 Les autres réseaux

Le réseau d'adduction en eau potable : Le réseau des Saintes est raccordé au réseau Sud Basse-Terre par une liaison sous marine, Terre-de-Bas étant alimenté depuis Terre-de-Haut.

- les conduites : pas d'information disponible
- Les réservoirs : ils sont au nombre de 4 sur Terre-de-Haut

Le réseau d'assainissement des eaux usées : pas d'information disponible ; il est incomplet sur le territoire.

- une station d'épuration pour Terre-de-Haut

Le réseau pluvial : pas d'information disponible ; il est incomplet sur le territoire.

Le réseau électrique :

- le réseau BT et HT : pas d'information disponible

Le réseau téléphonique : pas d'information disponible

4.6.3 Autres

- Une décharge sur Terre-de-Haut situé sur le Chameau

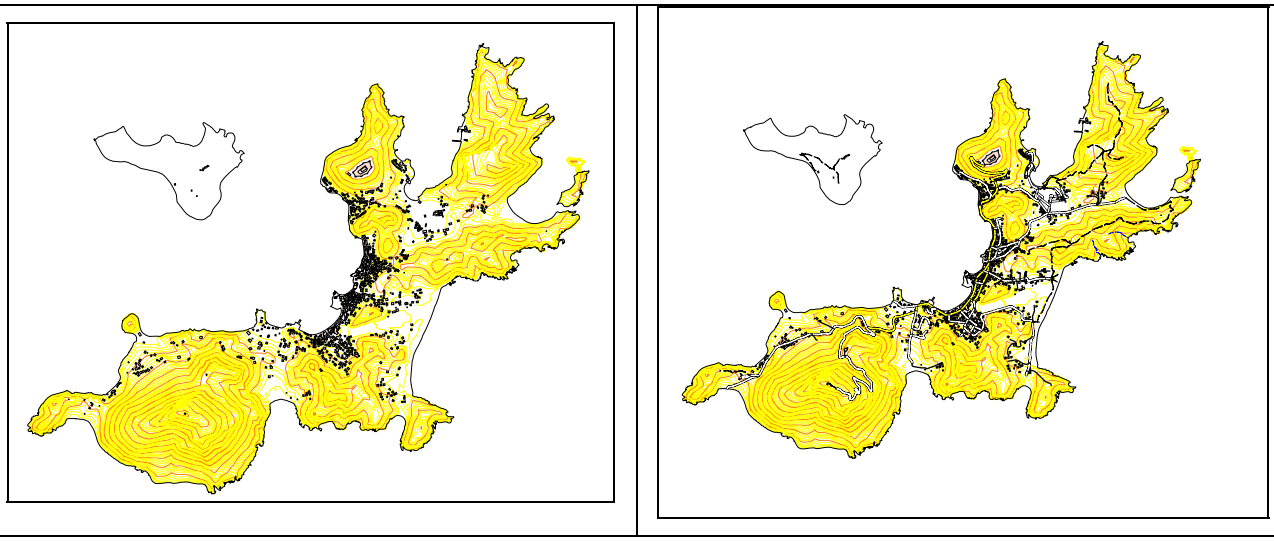


Figure 12 : Le bâti (gauche) et le réseau viaire (droite) de Terre-de-Haut.

4.7 Les enjeux environnementaux

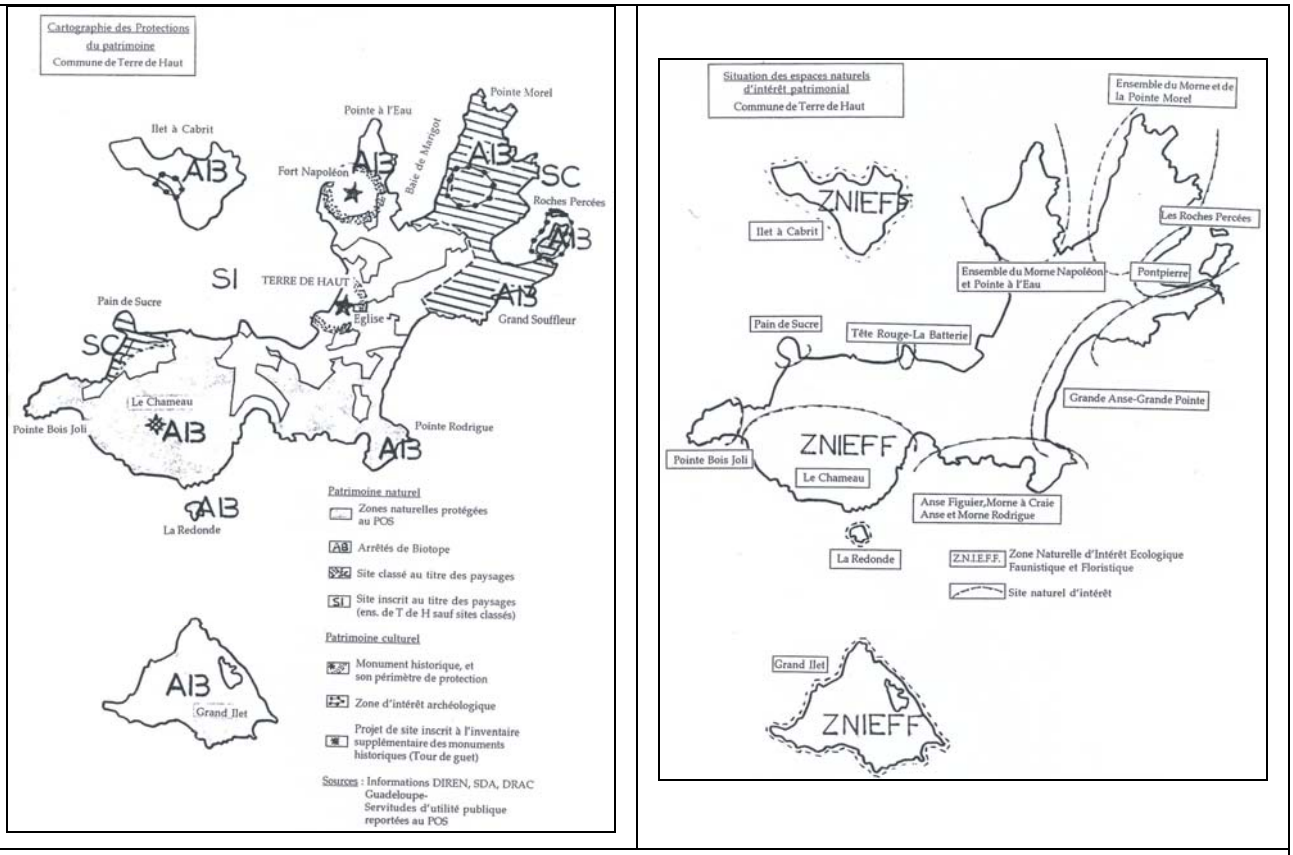


Figure 13 : Les enjeux environnementaux de Terre-de-Haut.

Site inscrit : L'ensemble de la commune de Terre-de-Haut est un site inscrit.

Sites classés : deux sites sont classés sur la commune de Terre-de-Haut ; il s'agit de :

- Pontpierre et des environs
- Le Pain de Sucre

RAMSAR : la convention RAMSAR est un traité intergouvernemental pour la conservation des zones humides.

Les Arrêtés de biotope : un arrêté a été pris pour l'ensemble de la commune, concernant les îlets et les reliefs dominants ainsi que les secteurs littoraux sensibles. Il s'agit de :

- Le Chameau
- La Redonde
- Le Pain de Sucre
- Le Fort Napoléon
- Le Morne Morel
- Le Souffleur
- Les Roches Percées
- Le Morne Rodrigue

ZNIEFF : elles sont au nombre de 3 sur la commune de Terre-de-Haut

- Grand Ilet
- Ilet à Cabrit
- Le Chameau

Sites remarquables : un inventaire des sites remarquables a été effectué dans le cadre de l'article L146-6 relatif à la Loi Littoral. Il s'agit de :

- Les Ilets avec Ilet à Cabrit et Grand Ilet
- La Pointe Joli Bois
- Le Pain de Sucre
- Tête Rouge, la Batterie
- Le Chameau
- Site méridional de l'Anse Figuier à Morne Rodrigue
- Grande Anse – Morne Rouge
- Baie de Pontpierre et Les Roches Percées
- Site Nord-Est de Morne Morel à Pointe Morel
- Morne Napoléon

5 PHENOMENES METEOROLOGIQUES

Au total, lors des 100 dernières années, on comptabilise 27 phénomènes cycloniques sur la Guadeloupe, soit 15 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 sont détectés très à l'avance. A l'origine, des vents modérés et des masses pluvieuses forment une dépression tropicale. Le phénomène passe au stade de tempête tropicale dès que les vents oscillent entre 63 km/h et 117 km/h. La tempête est alors baptisée d'un prénom, auparavant exclusivement féminin, désormais alternant avec les prénoms masculins à la suite des plaintes des ligues féminines. Au-delà de 118 km/h, c'est un ouragan. Des niveaux d'alertes sont prévus pour prévenir la population qui est familiarisée avec les consignes régulièrement diffusées à la télé et à la radio. Souvent, il ne s'agit que de simple alerte, par mesure de sûreté, car les cyclones changent fréquemment de trajectoire.

Les cyclones les plus "marquants" resteront sans doute :

- Le cyclone de **1825 dévaste le sud de la Guadeloupe et les Saintes.**
- Le cyclone du **6 eptembre 1865** qui a fortement touché l'archipel des Saintes.
- Le **Grand Cyclone de 1928** pour sa violence et ses 1200 à 1500 morts en Guadeloupe. Ce cyclone met **à mal Terre-de-Haut**. La mairie de bois cède à la tourmente et laisse s'envoler bon nombre des archives administratives des Saintes.
- En **1964, le cyclone Cléo** :
  - *« […] Les plus gros dégâts causés par le cyclone sont visibles jusqu'à une distance approximative de 15 milles de l'œil. C'est ainsi que Marie-Galante, **les Saintes** et les communes du Sud de Basse-Terre ont été les plus touchées. […] »*[4]
  - *« […] Les dégâts sont considérable dans Basse-Terre, Marie-Galante et **les Saintes** […] »*[5]
- le **29 août 1979**, le **cyclone David** :
  - *« […] la piste de Terre-de-Haut est partiellement inondée on ne peut encore évaluer les dégâts […] les Saintes […] n'ont pas été épargnées par « David ». Terre-de-Bas a eu six cases détruites, quatre endommagées, trois canots ont été écrasés et un autre endommagé les routes de l'île ont été obstruées par de chutes d'arbres et de pierres. Le débarcadère de l'anse des Mûriers s'est affaissé, celui de l'anse à Dos est sérieusement endommagé et celui de Petite Anse par lequel on accostait pour venir de l'île, est dorénavant hors d'usage. Ainsi l'île qui n'a même pas d'aéroport, se trouve-t-elle à l'heure actuelle totalement isolée […] »*[6]
- Le cyclone **Hugo en septembre 1989**, 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.

[4] Direction de la Météorologie Nationale, Service Météorologique du Groupe Antilles-Guyannes, 1964, le cyclone CLEO.

[5] Pierre-Fanfan E, 1966, les Cyclone aux Antilles.

[6] France Antille Guadeloupe, 1er septembre 1979.

- Lors du passage de **Marilyn en septembre 1995**, il est tombé plus de 200 mm de pluie sur Terre-de-Bas et plus de 150 mm sur Terre-de-Haut. Le port de Petites Anses a été très endommagé.
- La houle du cyclone **George en 1998** s'est fait fortement sentir à Grande Anse à Terre-de-Bas.
- La houle de **Lenny en 1999** a détruit les aménagements portuaires de Petite Anse qui venait d'être construits.
- En août 2007, le **cyclone Dean** a provoqué une **houle destructrice** ravageant l'ensemble des plages des Saintes. Les digues du port de l'anse des Mûriers sur Terre-de-Bas ont été partiellement détruites. La piste de l'aérodrome de Terre-de-Haut a été ensablée sur 50 m.

Les informations localisables figurent sur la carte informative des phénomènes météorologiques (Figure 14).

GEOTER

ACSES BUREAU D'ÉTUDES TECHNIQUES

Figure 14: Carte informative des phénomènes météorologiques de Terre-de-Haut

Direction de l'Environnement
de l'Aménagement et du Logement
de la GUADELOUPE



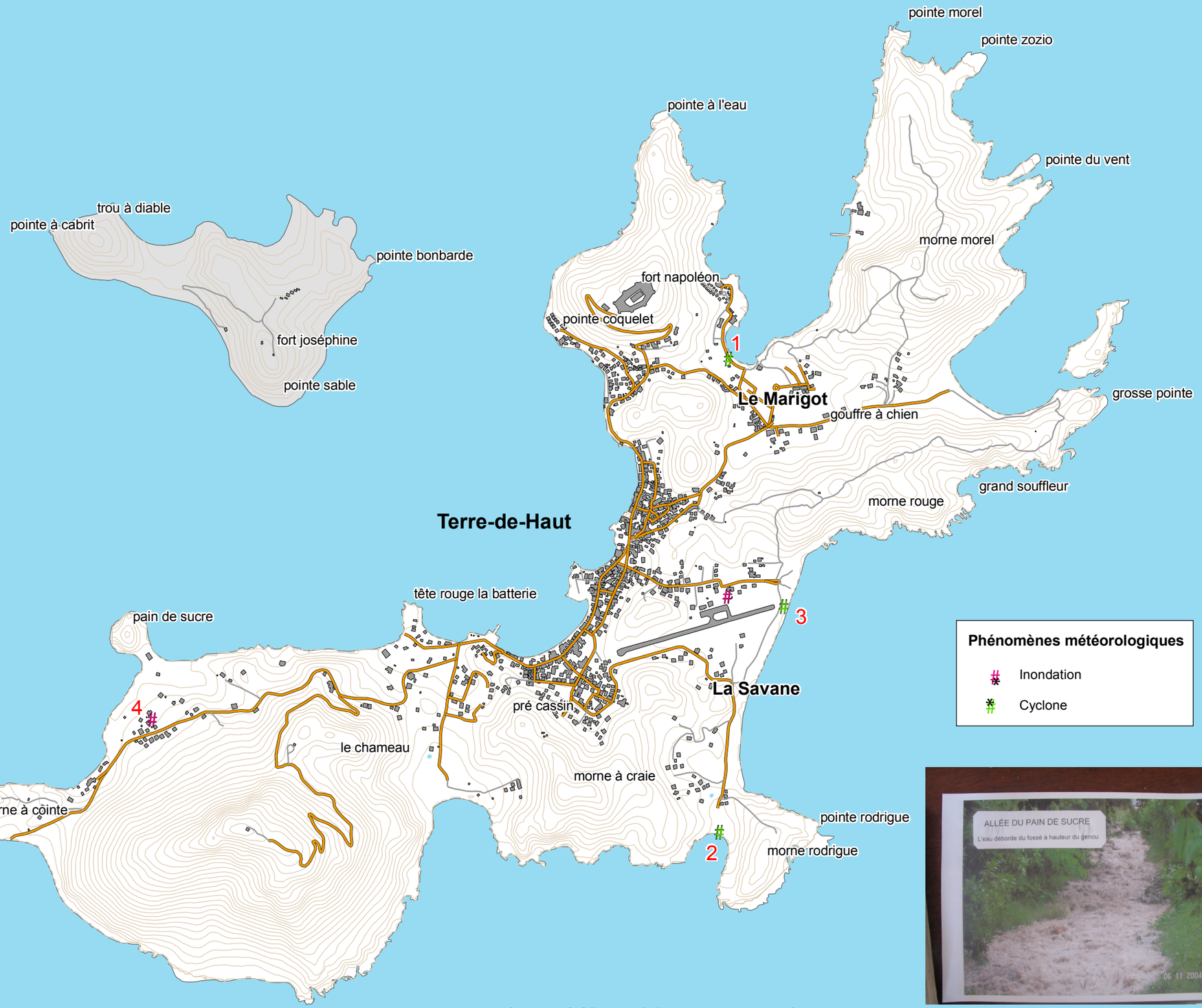
1 : Rivage à Marigot une semaine aprés le passage de Dean (2007) attaqué par la houle



2 : L'anse Rodrigue une semaine après le passage de Dean (2007) :1,5 m en profondeur de sable emporté par endroit



3 : Laisse de mer sur la plage de Grande Anse une semaine après le passage de Dean (2007)



Phénomènes météorologiques

- Inondation
- Cyclone

Courbe de niveau, équidistance : 10 mètres

4 : Allée du Pain de Sucre le 6 novembre 2004 (source : Jacques Boone)

6 PHENOMENES GEOLOGIQUES

6.1 Phénomènes volcaniques

Le volcanisme des Saintes est plio-pléistocène (environ 5 à 0,6 millions d'années). Le volcanisme très récent n'est pas représenté sur l'Archipel des Saintes. Les phénomènes volcaniques actifs concernent la Soufrière de Guadeloupe, mais grâce à sa position méridionale, l'Archipel des Saintes est peu exposée. Seules des retombées limitées de cendres volcaniques sont signalées comme possible dans le Dossier Départemental des Risques Majeurs de la Guadeloupe. Il n'y a donc pas lieu de cartographier plus spécifiquement cet aléa.

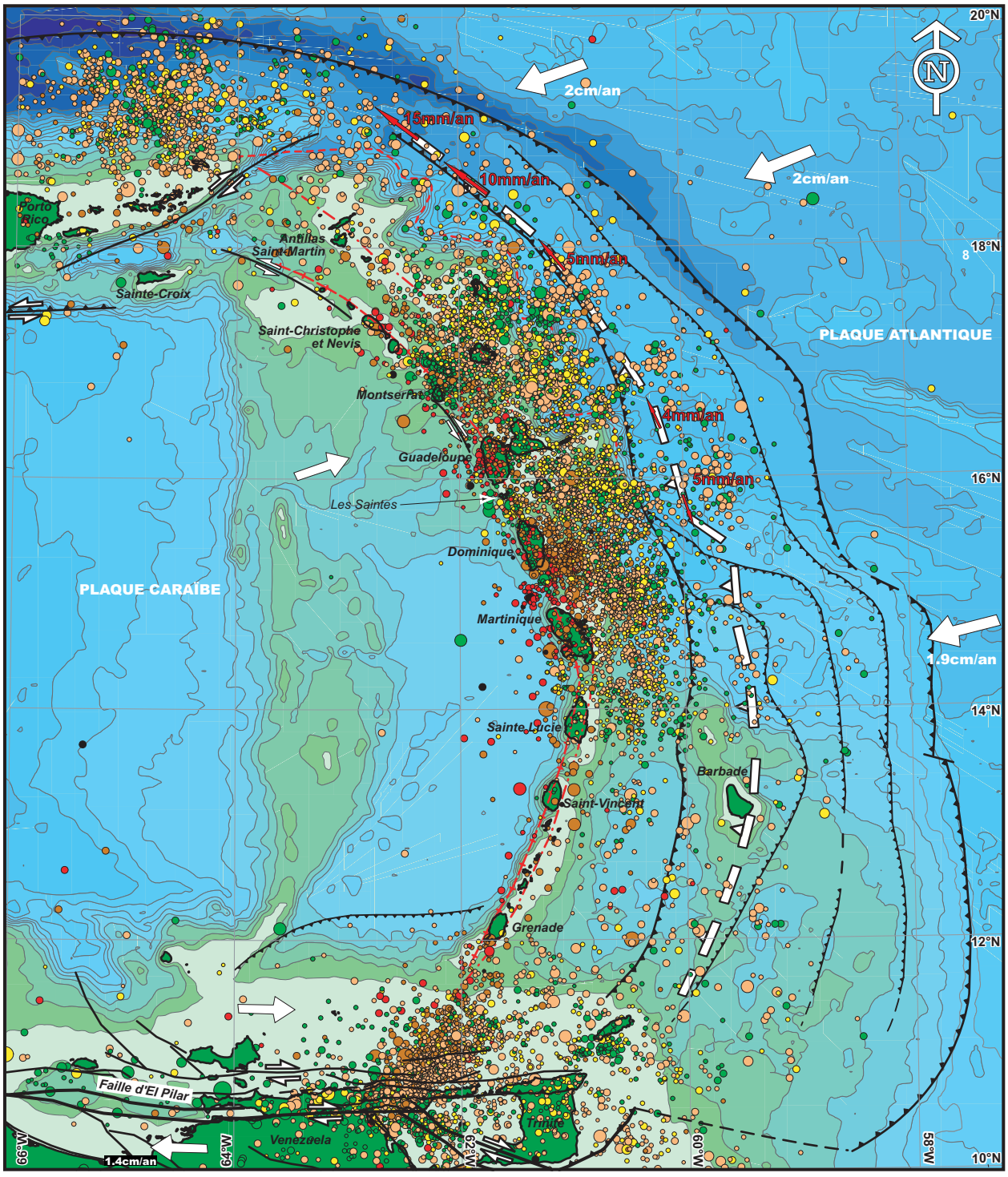
6.2 Tremblement de terre

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 sur l'archipel des Saintes, à Marie-Galante et sur la Basse-Terre) 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 épicentrale de l'ordre de 150 km.

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 15), et à l'échelle de la partie Nord de l'arc des Petites Antilles (Figure 16). Une coupe de la subduction à la latitude de la Guadeloupe est présentée sur cette figure. La projection des foyers des séismes sur la coupe, traduit l'approfondissement de l'activité sismique suivant le plan de la subduction de la lithosphère Atlantique sous la plaque des Caraïbes. Le contexte sismotectonique conduit à différencier l'activité sismique liée :

- Aux déformations interplaques localisées dans la zone de couplage entre les deux plaques, capables de générer de forts séismes à des profondeurs intermédiaires (comme celui de 1843) ;
- Aux déformations intraplaque subductée (« intraslab »), localisées dans la plaque plongeante à plus grande profondeur (~60-200 km) ;
- Et enfin aux déformations de la plaque des Caraïbes, en domaine d'avant-arc et d'arc volcanique, capable de générer des séismes de magnitude parfois importante à de faibles profondeur (cas du séisme des Saintes du 21 novembre 2004).

Contexte géodynamique et activité sismique de l'arc des Petites Antilles	FIGURE : 15



0 200 400 km

STRUCTURES GEODYNAMIQUES MAJEURES

- Tracé d'écaillage supposé de la croûte océanique
- Axe d'anomalie négative de gravité : tracé de subduction en profondeur marquant le contact avec la plaque Caraïbe
- Chevauchement plat
- Chevauchement secondaire
- Axe / arc actuel interne actif (-5/6 à 0 Ma)
- Axe / arc externe
- Direction et taux de déplacement des plaques (1.4cm/an)

SISMICITE
(catalogue GEOTER, 2006)

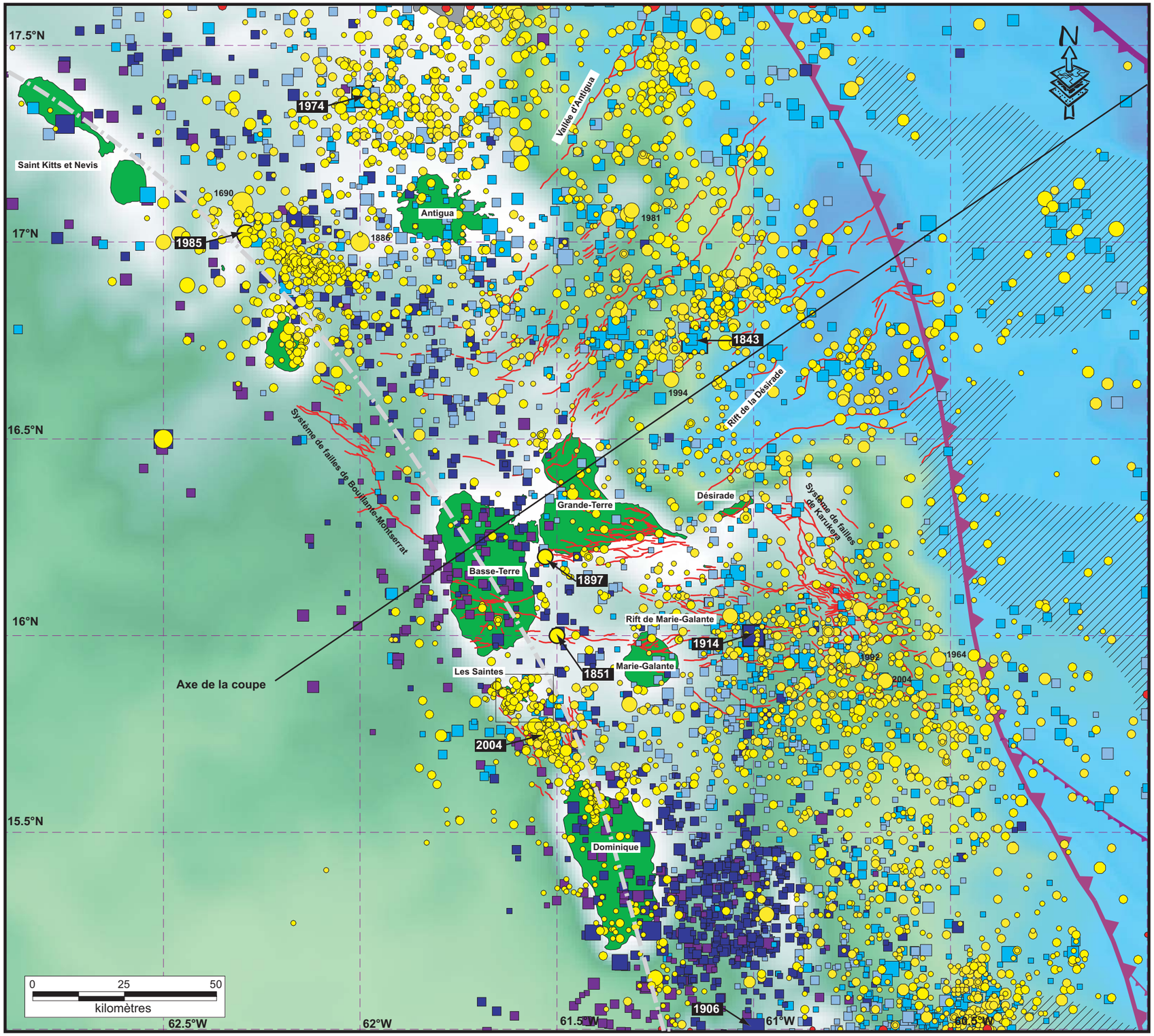
Magnitude	Profondeur des séismes (km)
8 - 9	> 200
7 - 8	150 - 200
6 - 7	100 - 150
5 - 6	30 - 100
4 - 5	15 - 30
3 - 4	< 15

BATHYMETRIE
ETopo 2, Smith and Sandwell (1997)

-8500 à -8000	-4000 à -3500
-8000 à -7500	-3500 à -3000
-7500 à -7000	-3000 à -2500
-7000 à -6500	-2500 à -2000
-6500 à -6000	-2000 à -1500
-6000 à -5500	-1500 à -1000
-5500 à -5000	-1000 à -500
-5000 à -4500	-500 à 0
-4500 à -4000	

Activité sismique superficielle et profonde de la partie Nord de l'arc des Petites Antilles et coupe de la subduction à la latitude de la Guadeloupe

FIGURE : 16



STRUCTURES SISMOTECTONIQUES

STRUCTURES ASSOCIEES A LA SUBDUCTION

- tracé de la subduction en profondeur
- Chevauchement plat (tracé des fosses internes)
- Rides océaniques
- Axe de l'arc volcanique interne actif

STRUCTURES TECTONIQUES CRUSTALES
(d'après N. Feuillet, 2000)

- Grands systèmes de failles normales actives

SISMICITE

Profondeur des séismes

Séisme superficiel
- < 30 km

Séisme de subduction
- 30 - 60 km
- 60 à 100 km
- 100 à 150 km
- > 150 km

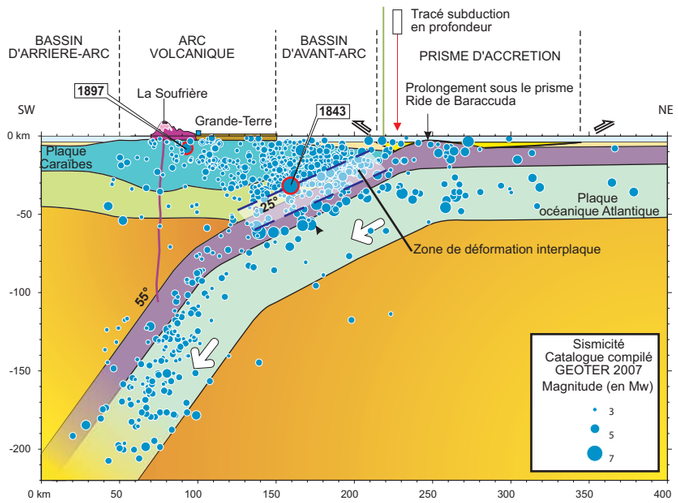
Magnitude des séismes
- >= 8.0
- 7.0 - 7.9
- 6.0 - 6.9
- 5.0 - 5.9
- 4.0 - 4.9
- 3.0 - 3.9
- 2.5 - 2.9

Catalogues :

Compilation GEOTER, 2007
à partir des sources suivantes :

- Catalogue de l'Institut Panaméricain de Géographie et d'Histoire (IPGH)
- Catalogue de l'International Seismological Centre (ISC)
- Catalogue de l'Institut de Physique du Globe de Paris (Clément et Bernard, 2001)
- Données de la base SISFRANCE Antilles du BRGM

Coupe de la subduction de l'arc des Caraïbes à la latitude de la Guadeloupe



Fond : bathymétrie eTopo2v2 (2006), Smith and Sandwell (1997)

Ainsi, 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 en distance focale, 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, conséquence de la rupture de l'une des failles du système des Saintes, correspondant à une source locale de magnitude 6,3 (Mw), tandis que le tremblement de terre du 8 février 1843 correspond à un séisme de subduction dont le foyer est situé dans la zone de couplage interplaques (magnitude estimée entre 7,5 et 8).

La base de données SisFrance-Antilles[7] 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
Archipel des Saintes (Terre-de-Haut)	**8 février 1843**	**VIII (MSK)**	**Dégâts massifs.**
Archipel des Saintes (Terre-de-Haut)	16 mai 1851	V-VI (MSK)	Forte secousse à dommages légers.
Terre-de-Haut et Terre-de-Bas	9 juin 1870	VI (MSK)	Dommages légers.
Terre-de-Haut et Terre-de-Bas	**21 novembre 2004**	**VIII (EMS98)**	**Dégâts importants**
Terre-de-Bas	14 février 2005	VI (EMS98)	Dégâts légers.

Tableau 3 : Effets macrosismiques ressentis aux Saintes (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 dans l'archipel de la Guadeloupe, il n'est pas répertorié, hormis pour le volcan de la Soufrière, d'exemple de faille ayant produit des ruptures de surface co-sismiques à l'intérieur des îles. Néanmoins, sur la période historique qui ne remonte toutefois pas au-delà du XVI^{ème} 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 épicentres sont localisés en mer (Figure 16 et Figure 17). En ce qui concerne le séisme des Saintes, une plongée sous-marine a été organisée aux abords des Saintes par l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP), en concertation avec l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU), afin de localiser la trace éventuelle d'une rupture de surface sur le fond sous-marin (BEAUDUCEL *et al.*, 2005[8]).

[7] http://www.sisfrance.net/antilles/

[8] http://www.ipgp.jussieu.fr/~beaudu/download/Poster_OVSG_Saintes.pdf.

Cette expédition sous-marine n'a pas révélé de traces de la faille aux endroits explorés. Néanmoins, l'IPG est convaincu que la rupture a atteint la surface (magnitude et profondeur du foyer notamment[9]).

Les travaux de recherche de Nathalie FEUILLET (thèse de doctorat, 2000), montrent l'existence de systèmes de failles actives en graben, d'orientation générale NO-SE, qui affectent le domaine de l'arc volcanique, entre l'archipel des Saintes et la Dominique (Figure 17). Ces systèmes de failles s'expriment par des escarpements morphologiques des fonds marins, relativement abrupts, qui affectent des monts sous-marins d'origine volcanique dont l'âge est estimé entre -2.7 et -1.7 Ma (par comparaison avec l'âge des volcans du Nord de la Dominique, Figure 18). Ces escarpements sont la trace de ruptures de failles répétées et cumulées qui ont atteint la surface des fonds marins. On peut donc se poser la question de leurs prolongements à terre.

Par ailleurs, l'activité continue de ces systèmes de failles à l'échelle de l'archipel des Saintes est attestée par :

- L'occurrence à l'aplomb de ces failles de crises sismiques et en particulier du séisme des Saintes du 21 novembre 2004, localisé à une profondeur de 14 km. Il a été suivi par une forte réplique le 14 février 2005 (magnitude 5.9, BERTIL, 2005), située au Nord-Ouest du choc principal, à environ 6 km au Sud de l'archipel des Saintes ;
- La distribution des séismes instrumentaux entre la Dominique et les Saintes qui montre une activité significative, concentrée et alignée le long des systèmes de failles, avec deux essaims bien distincts. Le premier, où a été localisé le séisme de novembre 2004, est situé à l'aplomb de l'ancien volcan de Roseau, à l'est de la faille du même nom. L'autre se localise sur l'archipel des Saintes (Figure 17).
-

6.2.1.1. Le système de failles des Saintes entre la Dominique et le plateau insulaire des Saintes

Grâce à l'exploitation des données bathymétriques AGUADOMAR (IPGP, CNRS-INSU) acquises lors de la campagne océanographique qui s'est déroulée sur le navire Atalante de l'Ifremer en 1998-1999, FEUILLET a mis en évidence la présence d'un système de failles normales d'orientation générale NO-SE affectant les fonds sous-marins entre le Nord de la Dominique et la bordure du plateau insulaire des Saintes (Figure 18). Ce système de failles s'exprime en effet par des escarpements linéaires dans le fond sous-marin, formant des « marches nettes et relativement abruptes » dans la bathymétrie et affectant des surfaces en pente régulière vers le Sud-Ouest (plateau de Rodrigues, dépression de Savane, dépression de Roseau…). Par ailleurs, les données bathymétriques mettent en évidence l'existence de plusieurs monts sous-marins d'origine volcanique entre la Dominique et les Saintes, alignés suivant la direction de l'arc actuel (*e.g.* volcans de Roseau et de Colibri). Cet alignement est situé à l'Est de l'axe volcanique de la Dominique, dont la prolongation sous-marine est exprimée par les volcans de Madis et d'Abymes (Figure 18). Tous ces ensembles et édifices volcaniques sont affectés et décalés par les failles normales appartenant au système des Saintes (Feuillet, 2000).

[9] Courriel de François BEAUDUCEL du 26/10/2007.

Dans le détail, le système de failles des Saintes se divise en deux sous-systèmes, un graben principal occidental et un réseau oriental constitué de failles à pendage plutôt vers l'Ouest. Les failles principales de direction N150±20°E appartenant au réseau occidental semblent disposées en échelons senestre le long d'une direction moyenne Nord-Sud, suggérant une composante de mouvement senestre dans cette direction. En revanche, les failles principales bordières Sud du graben occidental (failles de Roseau, de Havre, de Colibri, de Carrata) semblent plutôt s'organiser en échelons dextre dans la direction moyenne N115°±5°E. Ces cinématiques sont compatibles avec une direction d'extension moyenne NE-SW, cohérente avec la direction d'extension fournie par les mécanismes au foyer des séismes du 21 novembre 2004 et du 14 février 2005 (Figure 17, Figure 19). Les deux sous-systèmes en échelons convergent vers le Sud et se rejoignent pour constituer la zone de failles de Savane, donnant à l'ensemble du système des Saintes une forme en « V » pointant vers le Sud.

De direction moyenne NO-SE, le graben occidental du système de failles des Saintes est limité :

- Au Sud-Ouest par trois failles principales à pendage Nord-Est : failles de Roseau, de Havre et de Colibri. Ces failles présentent des longueurs de 7 à 16 km et des escarpements de faille de plusieurs dizaines de mètres et pouvant atteindre 120 m.
- Au Nord-Est par la faille de Coche qui présente un pendage vers le Sud-Ouest et une longueur de 12-13 km. Elle est divisée en deux segments majeurs. Le segment Nord-Ouest décale les volcans d'Îlet et de Roseau et son escarpement atteint 140 m de hauteur. Le segment Sud, long de 3 km présente un escarpement de 80 m.

Ainsi, les escarpements les plus importants (120-140 m) sont localisés au Nord-Ouest du graben sur les failles bordant la dépression de Roseau (Figure 18).

Les failles du système oriental recoupent le plateau de Rodrigues. Trois failles principales de direction moyenne NNW-SSE sont identifiées. Il s'agit des failles de Rodrigues, de Souffleur et de Mariguot (Figure 18). De longueur moyenne de 10 km, ces failles segmentées montrent des escarpements hauts de 40 à 140 m (Feuillet, 2000). Les coupes de la Figure 18 présentent une interprétation morphologique et tectonique des profils bathymétriques recoupant le graben occidental et le réseau oriental du système de failles des Saintes.

Afin d'estimer les vitesses verticales probables sur les failles du système des saintes, une extrapolation de l'âge des volcans situés à l'extrémité Nord de la Dominique (volcans de Morne Diablotin et de Morne aux Diables) a été faite pour les volcans de Roseau et de Colibri, décalés par le graben occidental. Les volcans du Nord de la Dominique ont été datés à 2.7-1.7 Ma (BELLON, 1988). Sur l'hypothèse d'un âge similaire du volcan de Roseau, il est postulé un âge postérieur à 1.7 Ma pour les failles du graben occidental, puisqu'elles sont postérieures au volcan. En considérant un rejet cumulé maximum d'environ 900 m, une vitesse moyenne minimum de mouvement vertical de ~0.5 mm/an est évaluée pour l'ensemble des systèmes de failles. Si l'on considère d'une part, l'escarpement unique de la faille de Roseau, avec un rejet cumulé de 120 m qui traduit des mouvements verticaux répétés sur 1.7 Ma, et d'autre part que cette faille est synchrone des failles affectant le volcan de Roseau, la vitesse minimum sur cette faille serait de ~0.07 mm/an.

A titre de comparaison, la hauteur des escarpements des failles principales du système des Saintes (faille de Roseau par exemple) est du même ordre de grandeur que celui de la faille de Morne-Piton à Marie-Galante (60 à 130 m de hauteur). Par contre, les vitesses moyennes de mouvements verticaux estimés sur les failles sont nettement inférieures pour les failles principales du système des Saintes :

- ~0.07 mm/an pour la faille de Roseau sur les derniers 1.7 Ma ;
- ~0.5±0.2 mm/an pour la faille de Morne Piton sur les derniers 350 000 ans (Feuillet *et al.,* 2004).

En terme d'estimation de vitesse de mouvement vertical et de longueur de faille (7 à 16 km), les failles principales du système de Saintes se rapprochent plus des failles de la Grande Terre (Gosier, Montagne Vercinot).

Lors de la campagne océanographique AGUADOMAR, les zones peu profondes (moins de 200 m de profondeur) situées autour de l'archipel des Saintes n'ont pas pu être étudiées. C'est pour cette raison qu'elles apparaissent en blanc sur la Figure 18. Par conséquent, le prolongement des failles du système des Saintes vers le Nord-Ouest en direction de l'archipel n'est actuellement pas connu. FEUILLET fait apparaître toutefois dans sa cartographie des failles, quelques segments de failles de direction NO-SE recoupant l'archipel.

Malgré cette lacune de reconnaissance sur les failles pouvant affecter le plateau insulaire des Saintes, l'analyse de la distribution des très nombreuses répliques qui ont suivi le séisme de novembre 2004, et notamment celle de février 2005, conduit fortement à suspecter leur extension vers le plateau insulaire et l'archipel des Saintes. L'OVSG a comptabilisé en effet à partir de son réseau plus de 22 000 répliques de magnitude comprises entre 1.0 et 5.7 entre le 21 novembre 2004 et le 30 avril 2005.

Le Centre de Données Sismologiques des Antilles (CDSA) a re-localisé les répliques les plus fortes (magnitude ≥ 4.0) de la crise à partir des données provenant des différents réseaux de surveillances locaux (Bertil *et al.*, 2005). La carte A de la Figure 19 présente la localisation de ces principales répliques re-localisées par le CDSA. Les hypocentres obtenus ont une précision de localisation de l'ordre du kilomètre. Les répliques forment un essaim allongé de 22 km de long suivant une direction N135° et large de 8 à 10 km. Deux groupes de répliques sont distinguées, l'un relativement dispersé autour du choc principal, l'autre plus concentré sur un secteur de 5 km environ au Sud-Est de Terre-de-Bas.

La moitié de ces répliques font partie de ce deuxième groupe proche de l'archipel des Saintes, dont les trois répliques principales du 21 novembre après-midi, du 27 décembre et du 14 février 2005. Entre l'épicentre du 14 février et celui du 21 novembre, il apparaît un « gap » de sismicité de 4 km environ, qui apparaît également si l'on considère les magnitudes plus faibles des répliques (cf. carte B, Figure 19). La zone sismique active reste strictement limitée au Sud des Saintes, aucune réplique n'est en effet située entre les Saintes et Vieux-Fort (Sud de la Basse-Terre).

D'après Bertil (2005), en supposant que :

- Les épicentres localisés par le CDSA sont précis au kilomètre près ;
- La profondeur du foyer du choc principal est comprise entre 10 et 14 km ;
- La faille, d'après les mécanismes au foyer, présente une valeur de pendage de 50°;

la trace en surface de la faille responsable du séisme du 21 novembre est à rechercher, latéralement, à une distance de 8 et 12 km de l'épicentre.

Dans ce cas, le tracé de la faille de Roseau, bordure Ouest du graben occidental, est trop proche de l'épicentre (~5 km). La faille réactivée serait plutôt localisée du côté nord-est du graben et pourrait correspondre à l'une des failles à pendage ouest du système oriental (e.g. failles de Rodrigues, de Redonde, ou de Souffleur).

Le nombre élevé et la localisation des répliques au niveau de l'archipel des Saintes, au Nord-Ouest du choc principal semblent confirmer le prolongement vers le Nord-Ouest à travers le plateau insulaire, du système de failles normales actives NO-SE cartographié par FEUILLET (2000). Néanmoins, l'absence de données tectoniques dans les fonds de moins de 200 m du plateau insulaire ne permet pas d'identifier les failles mises en jeu dans cette zone.

6.2.1.2. Les failles recoupant l'archipel des Saintes

D'après la carte géologique au 1/20 000ème

D'après la cartographie géologique des Saintes au 1/20 000ème (Jacques et Maury, 1988), deux épisodes de fracturation en failles normales ont été décelés aux saintes. Les zones faillées sont généralement soulignées par des altérations hydrothermales et par des petits filons de jaspes et de quartz.

La première fracturation affecterait uniquement le complexe andésitique basal (Terre-de-Haut, Grand Îlet, Îlet à Cabrit). Elle est notamment responsable de deux failles les plus importantes, de direction respectives Est-Ouest et NNE-SSO, qui recoupent la partie centrale de Terre-de-Haut. Leur trajet est matérialisé par des produits hydrothermaux. L'âge de cet épisode de fracturation serait compris entre 5 et 3.6 Ma, les produit volcaniques les plus récents n'étant pas affectés par ces failles.

Le deuxième épisode de fracturation est plus récent, car il affecte les nuées ardentes datées de 1.3 à 0.6 Ma). Il concerne essentiellement l'île de Terre-de-Bas avec des directions principales ONO-ESE et NNE-SSO. Cette fracturation serait responsable de l'aspect rectiligne de la plupart des côtes de cette île (Jacques et Maury, 1988).

Les failles de la carte géologique de Jacques et Maury (1988) on été reportées en violet sur la Figure 20. D'après cette cartographie, les failles affectant Terre-de-Bas ont des longueurs connues réduites, de 1 à 2 km. Mais leur éventuelle extension en mer n'est pas connue. La plus importante semble être la faille qui longe la falaise Sud-Ouest de l'île, entre Gros Cap et Point Sud suivant une direction NO-SE.

Pour Terre-de-Haut, la faille principale Est-Ouest a une longueur connue de l'ordre de 2 km. Elle s'étend entre l'Anse à Galet à l'Ouest du Pain de Sucre, jusqu'à l'aéroport. La faille Nord-Sud, qui s'étend depuis le morne Morel jusqu'au Morne Rodrigue et qui recoupe le Marigot, est la plus longue connue à terre (3 km). Là encore, l'extension possible de ces failles en mer n'est pas connue.

En 1985-1986, des investigations néotectoniques de terrain ont été menées par GEOTER et le BRGM en Guadeloupe et en particulier aux Saintes, dans le cadre d'un programme d'évaluation de l'aléa sismique au niveau de l'arc des Petites Antilles (Grellet *et al.*, 1988). Aux Saintes, les observations géologiques ont permis de relever des données microtectoniques sur les deux îles principales.
A Terre-de-Bas, les observations montrent la présence de failles normales et normales décrochantes dans des brèches andésitiques. La Figure 20 présente la projection sur stéréogramme et en rosace directionnelle des plans de faille mesurés entre Grande Anse et le bourg de Petites Anses. Les mesures révèlent des directions principalement NO-SE à NE-SO. D'après cette étude, ces mesures sont cohérentes avec une extension Est-Ouest.
A Terre-de-Haut, la plupart des mesures correspondent à des plans décrochants sub-méridiens et des failles normales ENE-OSO à Est-Ouest (Figure 20). Ces mesures seraient cohérentes avec une extension de direction NO-SE. Les auteurs admettent néanmoins que les mesures microtectoniques dans les formations volcaniques sont délicates à interpréter.
Il ressort toutefois de ces données que les directions des plans mesurés à Terre-de-Bas et Terre-de-Haut apparaissent cohérentes avec les directions des failles principales de la carte géologique des Saintes. C'est particulièrement le cas des mesures faites près de l'aéroport de Terre-de-Haut où une direction sub-méridienne ressort nettement, similaire à la direction de la faille principale de l'île (faille de Morne Morel-Morne Rodrigue).

Cartographie de FEUILLET (2000)

La cartographie des failles du système des Saintes proposée par FEUILLET (2000), présentée sur la Figure 18, montre que l'archipel des Saintes serait recoupé par 5 failles normales actives globalement orientées NO-SE. Ces failles ont été numérotées de 1 à 5 sur la Figure 20. Elles ont été tracées en pointillés, ce qui laisse supposer une grande incertitude sur leur tracé ou leur réalité. Les travaux de FEUILLET publiés dans sa thèse ne fournissent pas d'informations plus précises sur ces failles.

Les trois premières failles pourraient affecter l'île de Terre-de-Haut. Les deux premières formeraient (un graben orienté ONO-ESE entre le Morne à Craie/Morne à Rodrigues au Sud et le Morne Rouge au Nord, expliquant la zone affaissée entre le bourg de Terre-de-Haut et la plage de la Grande Anse (Figure 20). Vers l'Ouest, la faille n°1 pourrait limiter la côte Sud-Ouest de l'îlet à Cabrit. Plus au Sud, la troisième faille, à pendage Sud-Ouest, séparerait le Morne à Craie du Morne Le Chameau, entre l'Anse du Figuier et le Pain de Sucre.

A Terre-de-Bas, la seule faille indiquée par FEUILLET (faille n°4) suit la falaise Sud-Ouest de l'île entre le Gros Cap et le Cap Sud. Suivant une direction NO-SE, cette faille est cohérente avec la faille principale de la carte géologique. La cinquième faille limiterait au Sud-Ouest l'îlet de la Coche au Sud-Est de Terre-de-Bas.

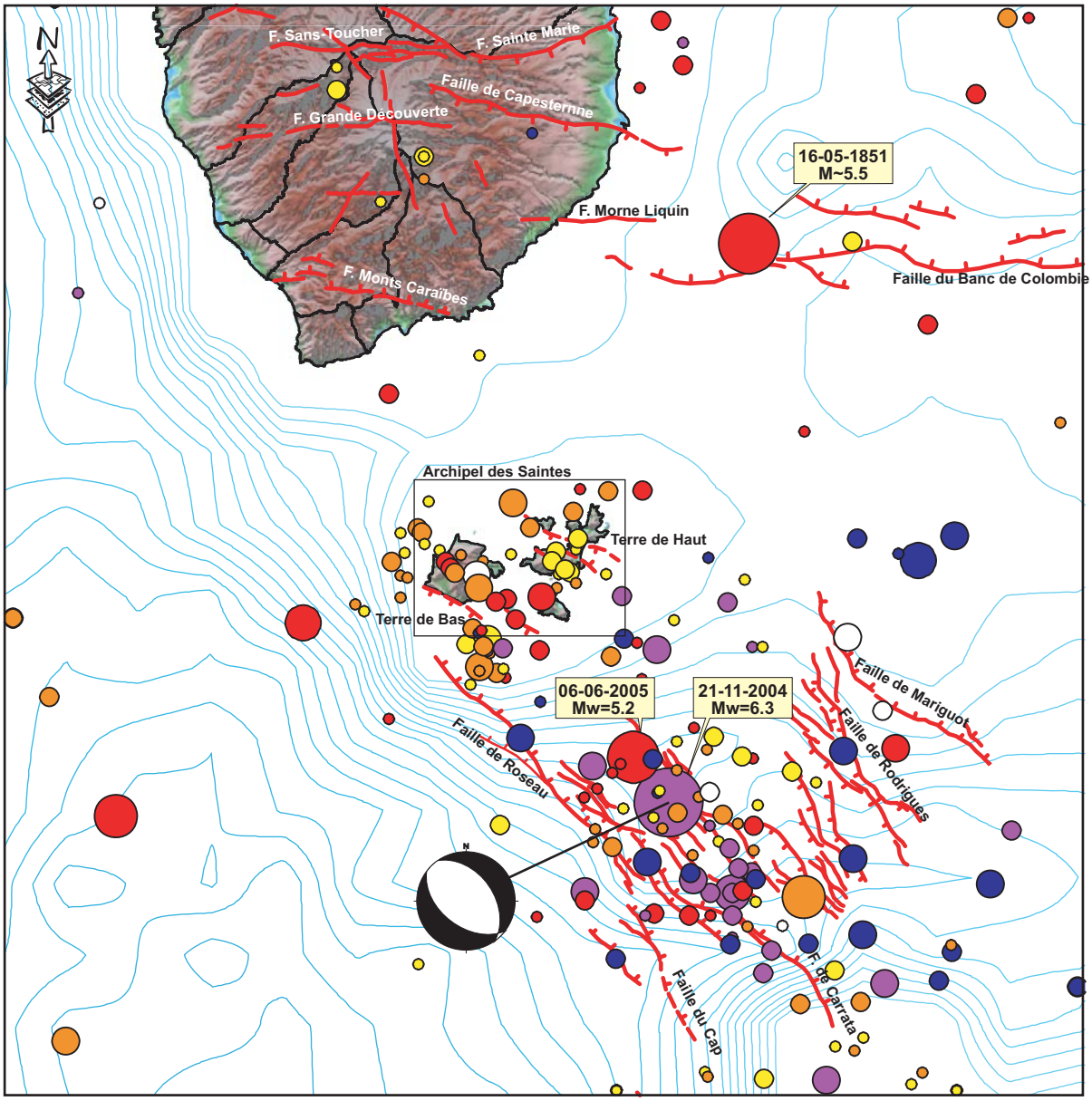
Conformément à la méthodologie mise en œuvre par FEUILLET dans le cadre de ses travaux de thèse, il semble que l'identification et le tracé de ces failles ait été fait sur des critères essentiellement morphologiques (ce qui est délicat dans les formations volcaniques). Les informations publiées sur ces

travaux de recherche ne précisent pas si un contrôle géologique et structural sur le terrain a été réalisé pour mettre en évidence des indices susceptibles de confirmer l'existence de ces failles recoupant les îles.

Deux indices peuvent toutefois être soulignés, en faveur de l'existence d'une zone de failles entre le Bourg de Terre-de-Haut et la plage de la Grande Anse (failles n° 1 et 2). Sur la carte géologique au 1/20 000ème les auréoles d'altérations hydrothermales des formations volcaniques du complexe de base semblent s'allonger suivant une direction NO-SE à Est-Ouest avec une intensité croissante depuis le morne de la Craie et le Morne Rouge, en direction de l'aérodrome. L'autre indice concerne l'observation à la suite du séisme du 21 novembre 2004, d'une longue fissure ouverte sur environ 200 m, le long du versant Nord-Est du Morne à Craie, au niveau du tracé de la faille n°2.
L'axe de croissance et la localisation de ces altérations hydrothermales et l'indice de fissure ouverte, pourraient être en relation avec une zone de faille dans ce secteur.

Par ailleurs, à la suite de la réplique 14 février 2005, de nombreux témoignages parlent d'une traînée blanchâtre anormale observée juste après la secousse située dans le canal de mer entre Terre-de-Haut et Terre-de-Bas, au niveau de la Passe du Pain de Sucre (Figure 21). Cette traînée de forme circulaire s'est étalée sur plusieurs centaines de mètres et est restée visible dans les deux heures qui ont suivi le séisme. Le phénomène est dû sans doute à une agitation de vase ou de sédiment sur le fonds sous-marins. L'origine ponctuelle de ce phénomène reste toutefois inconnue. On peut envisager un mouvement de terrain, mais il n'existe pas de haut fond dans ce secteur du plateau insulaire. L'autre hypothèse est un mouvement lié à une faille active. D'après Bertil (2005), la position de l'épicentre et une longueur de faille de 5 à 6 km ne sont pas incompatible avec un positionnement de la trace en surface de la faille à ce niveau là. Cette auréole blanchâtre est située dans le prolongement à l'Ouest du possible graben de Terre-de-Haut.

Contexte sismotectonique du secteur de l'archipel des Saintes | FIGURE : 17



SISMICITE HISTORIQUE ET INSTRUMENTALE
(Catalogue compilé GEOTER, 2007,
trié des principales répliques)

Magnitude Mw

- 6.0 - 6.5
- 5.5 - 5.9
- 5.0 - 5.5
- 4.5 - 4.9
- 4.0 - 4.4
- 3.5 - 3.9
- 3.0 - 3.4
- 2.5 - 2.9

Profondeur

- < 5 km
- 6 à 10 km
- 11 à 15 km
- 16 - 20 km
- 21 - 30 km

STRUCTURES TECTONIQUES CRUSTALES
(D'après N. Feuillet, 2000)

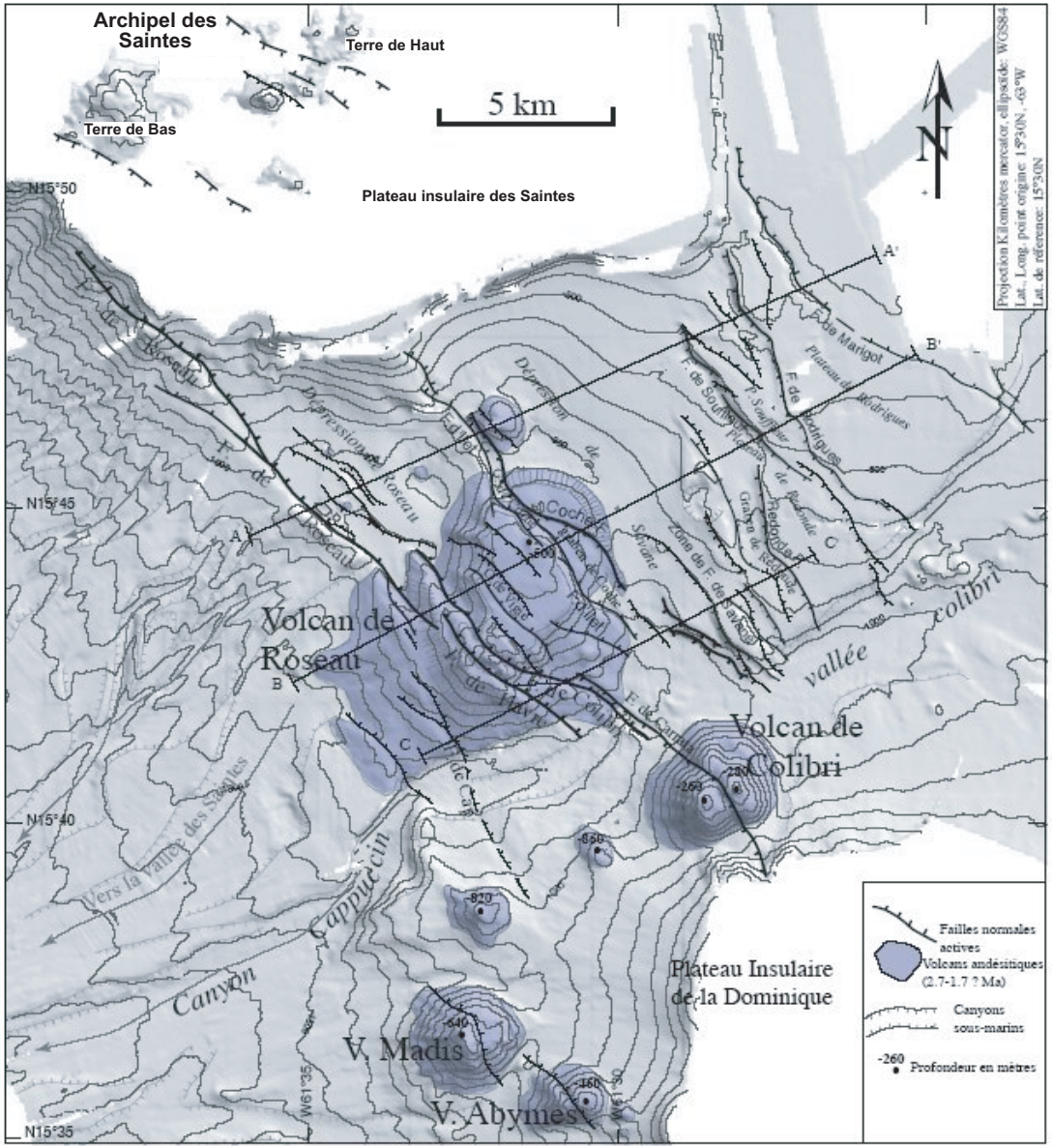
Faille normale active majeure

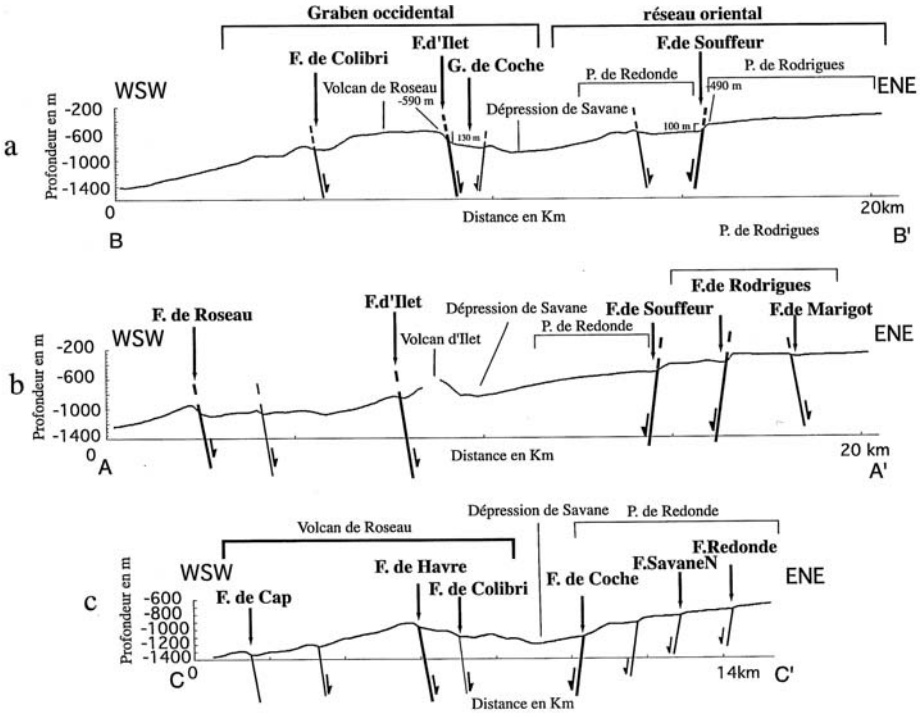
MECANISME AU FOYER DU SEISME DU 21-11-2004
(D'après CMT Harvard Database, 2007)

Mécanisme en extension

Cartographie du système de failles des Saintes d'après Feuillet (2000) et profils bathymétriques WSW-ENE recoupant le système de failles normales

FIGURE : 18

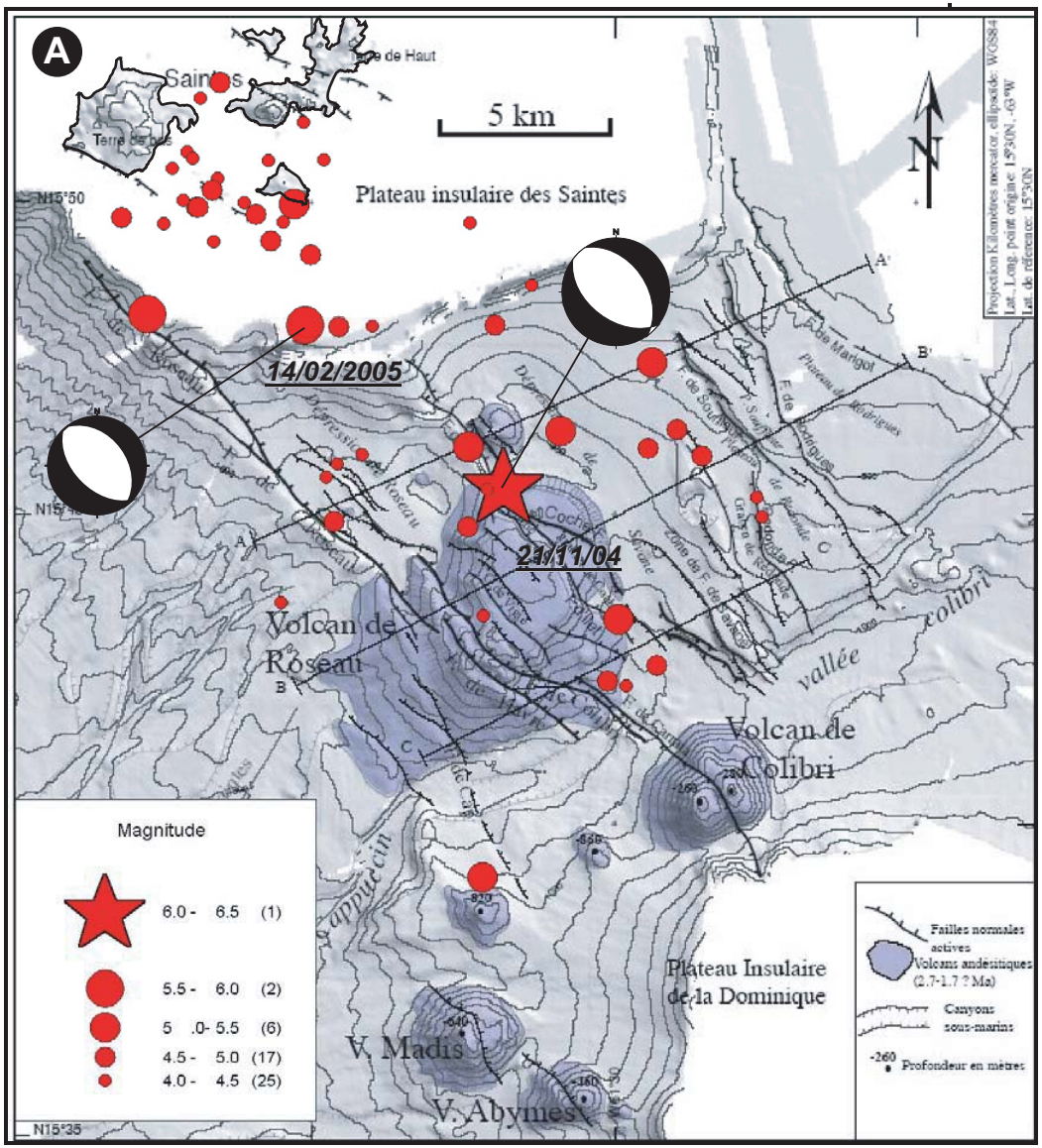


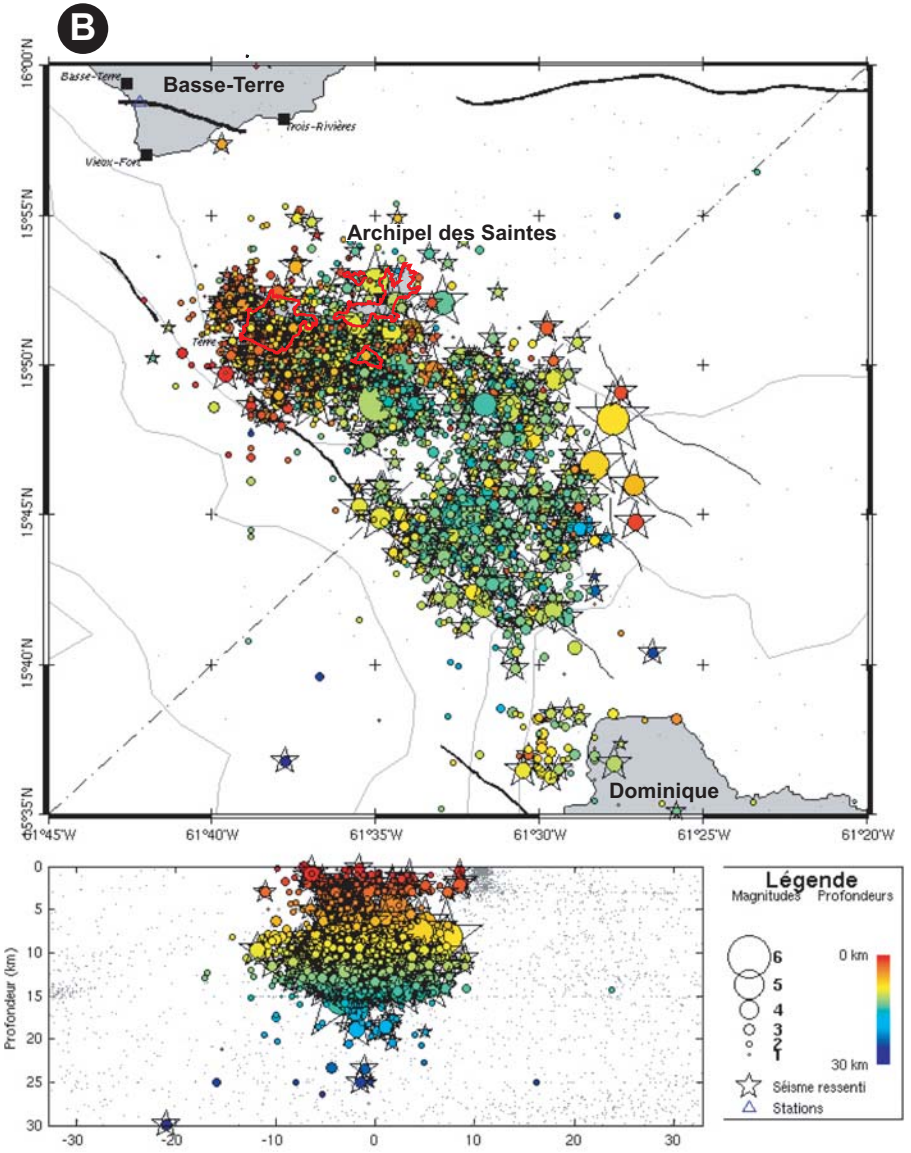


Interprétation morphologique et tectonique des profils bathymétriques recoupant le système de failles des Saintes

Localisation des épicentres du séisme des Saintes du 21 novembre 2004 et de ses principales répliques

FIGURE : 19



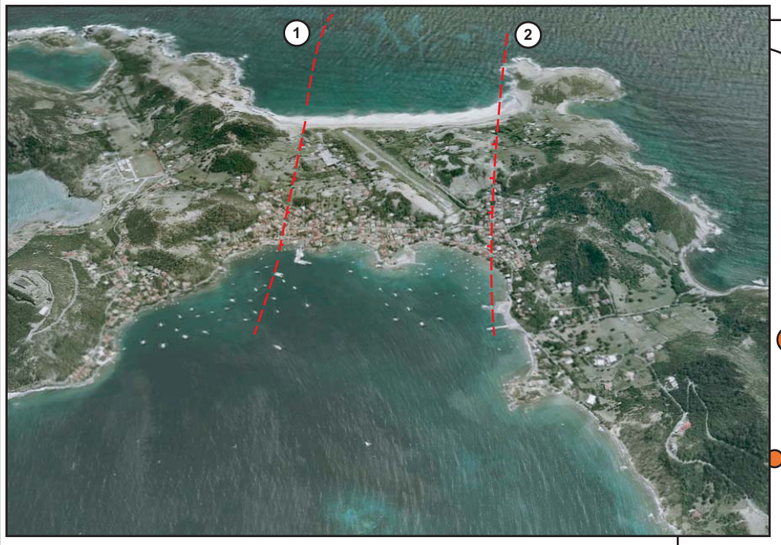


Cartographie des failles d'après N. Feuillet, 2000
Localisation des épicentres d'après Bertil *et al.*, 2005
Mecanismes au foyer d'après CMT Harvard Database

Localisation en carte et en coupe des épicentres des principales répliques du séisme des Saintes qui ont eu lieu entre Septembre 2004 et Septembre 2005 d'après Beauducel *et al.* (2005)

Carte des failles de l'archipel des Saintes et épicentres des séismes d'après le catalogue ISC (1978-2006)

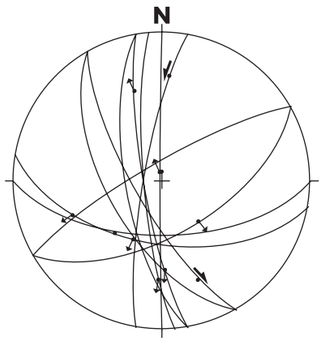
FIGURE : 20



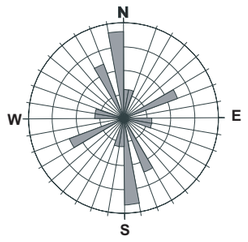
Failles n°1 et 2 : Vue aérienne vers le Sud Est et tracé possible des failles normales actives du graben de Terre de Haut

Données microtectoniques
(Mesures Chabellard et Grellet, 1985)

Station microtectonique de l'aéroport à Terre-de-Haut

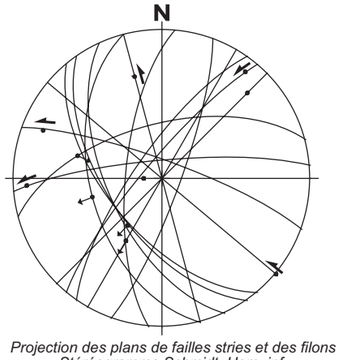


Projection des plans de failles et des stries
Stéréogramme Schmidt, Hem. inf.

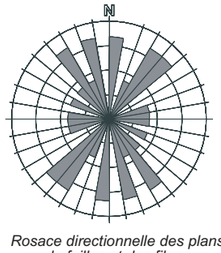


Rosace directionnelle des plans de failles

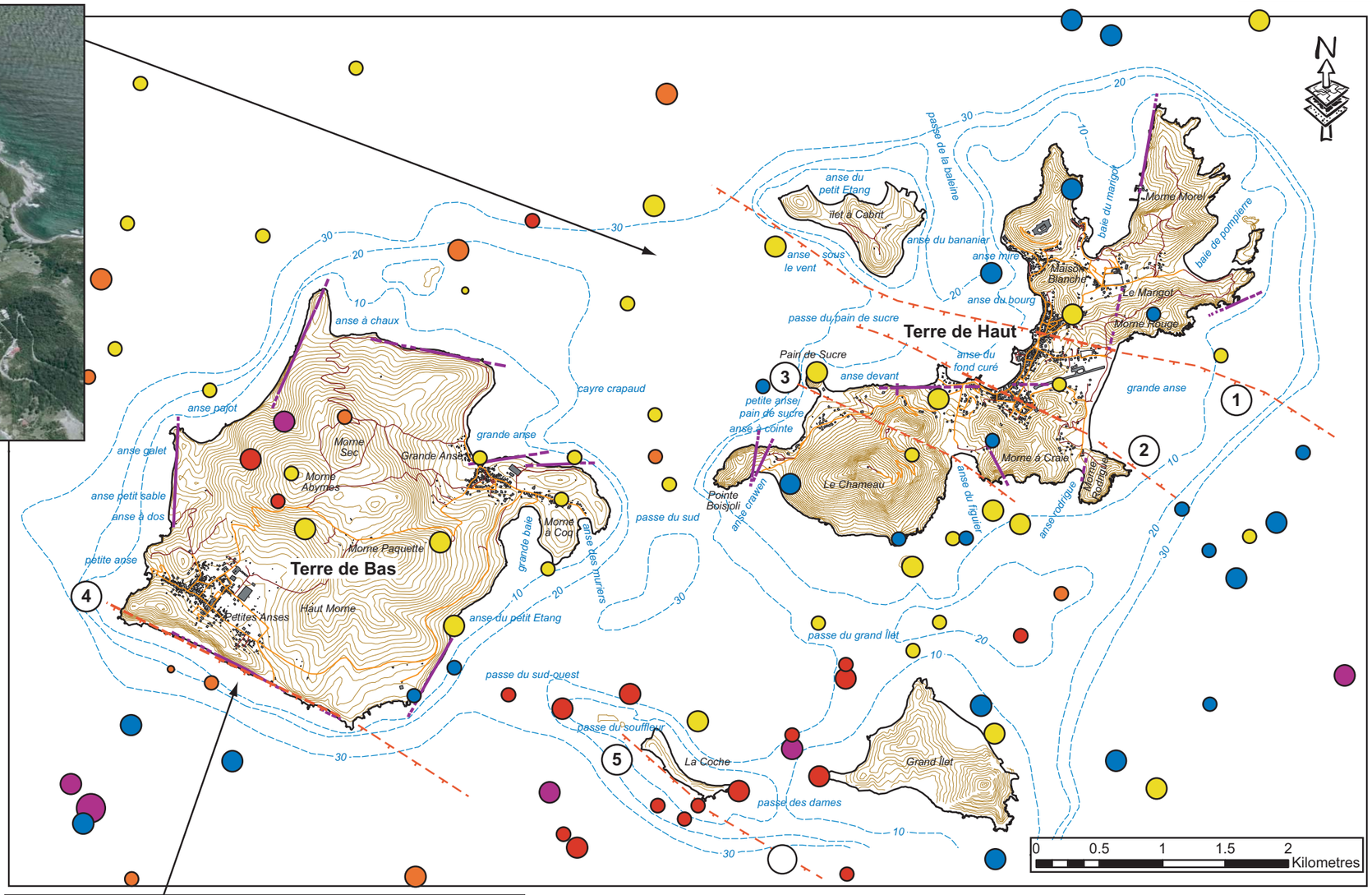
Station microtectonique de Terre-de-Bas
(Entre la Grande Anse et le Bourg de Petites Anses)



Projection des plans de failles stries et des filons
Stéréogramme Schmidt, Hem. inf.



Rosace directionnelle des plans de failles et des filons





Faille n°4 : Vue aérienne de la côte Sud-Ouest de Terre de Bas

CARTOGRAPHIE DES FAILLES

d'après N. Feuillet (2000)

Tracé supposé de faille normale active

d'après la carte géologique des Saintes au 1/20 000ème (Jacques et Maury, 1988)

Faille observée

Faille possible

SISMICITE

D'après le catalogue ISC (1978-2006)
Données non triées des répliques du séisme du 11 novembre 2004

Magnitude

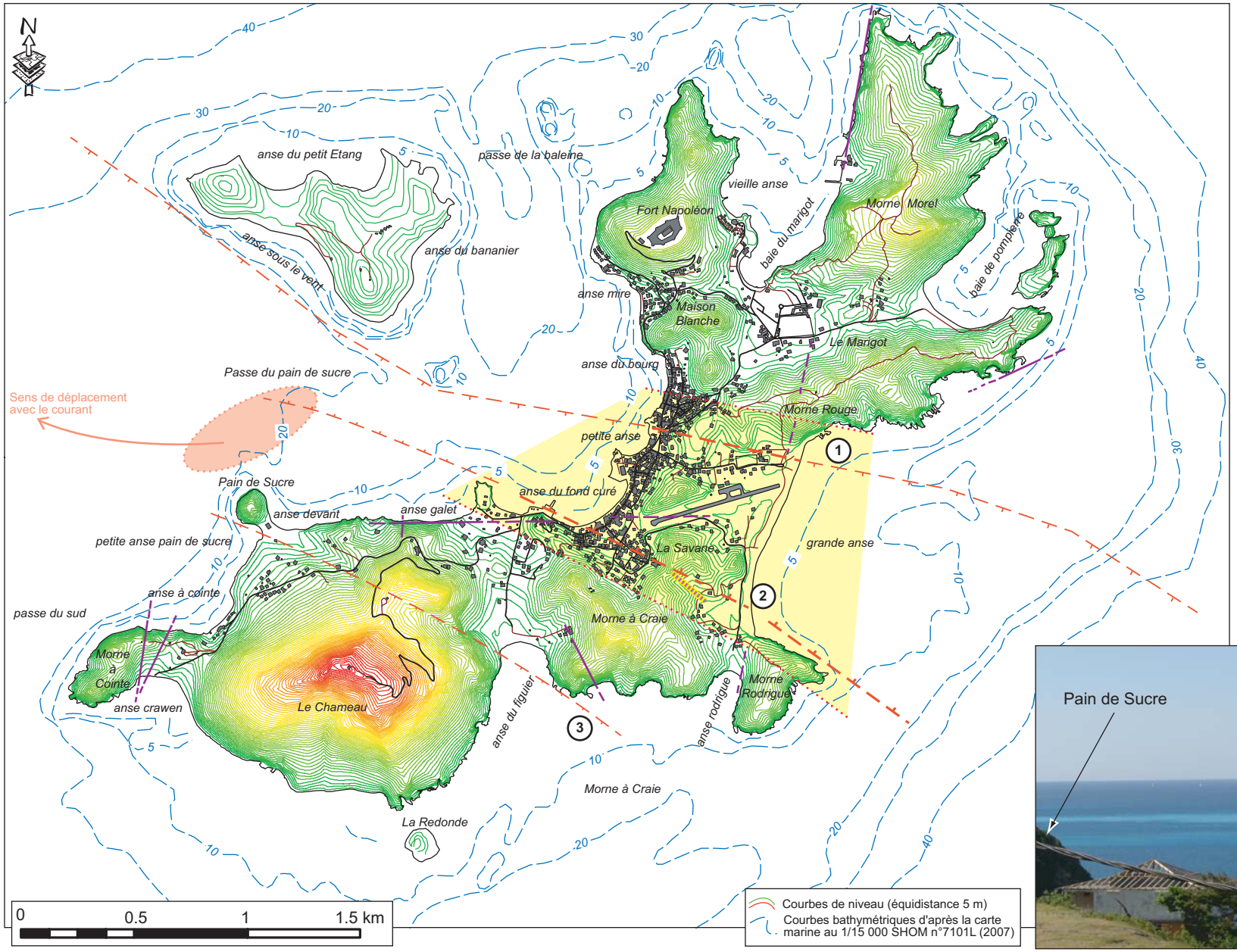
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0

Profondeur

5 km
10 km
15 km
20 km
33 km

Carte de zones de failles actives avec rupture de surface potentielle de Terre-de-Haut aux Saintes

FIGURE : 21



Cartographies des zones de failles actives potentielles

Tracé supposé de faille normale active

Zone d'incertitude sur le tracé et l'activité des failles

Autres failles, d'après la carte géologique des Saintes au 1/20 000ème (Jacques et Maury, 1988)

Faille observée

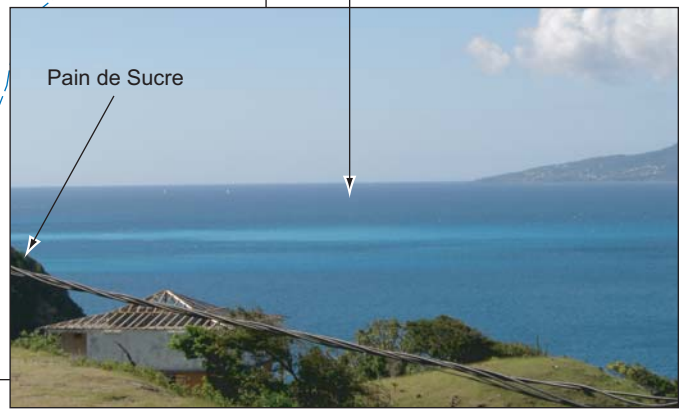
Faille possible

Indices possibles de rupture récente consécutif au séisme du 21 novembre 2004 (M=6.3)

Fissuration rectiligne d'environ 200m de long

Indices possibles de rupture récente consécutif à la forte réplique du 14 février 2005 (M=5.7) (cf. Bertil, 2005)

Position d'une traînée laiteuse observée dans le passe du Pain de Sucre



6.2.2 Le séisme du 21 novembre 2004

Le réseau accélérométrique permanent (RAP http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/main.html) ne disposait pas de station de mesure aux Saintes lors du séisme du 21 novembre 2004. L'enregistrement le plus proche est celui de Grand-Bourg à Marie-Galante (GBGA), situé à 25 km de l'épicentre du séisme des Saintes (Figure 22). Les pics d'accélérations sont de 1,5 m/s² (0,15 g) pour les directions horizontales et 1,2 m/s² (0,12 g) dans la direction verticale. Ces valeurs, atténuées avec la distance ont probablement été dépassées aux Saintes.

Rapidement, deux stations accélérométriques ont été installées :

- A Terre-de-Bas, dans l'ancienne caserne des pompiers (TDBA, à partir du 23/11/2004).
- A Terre-de-Haut, au Fort Napoléon (TDHA, à partir du 27/11/2004) déplacé ensuite à la mairie (THMA, depuis le 21/02/2005).

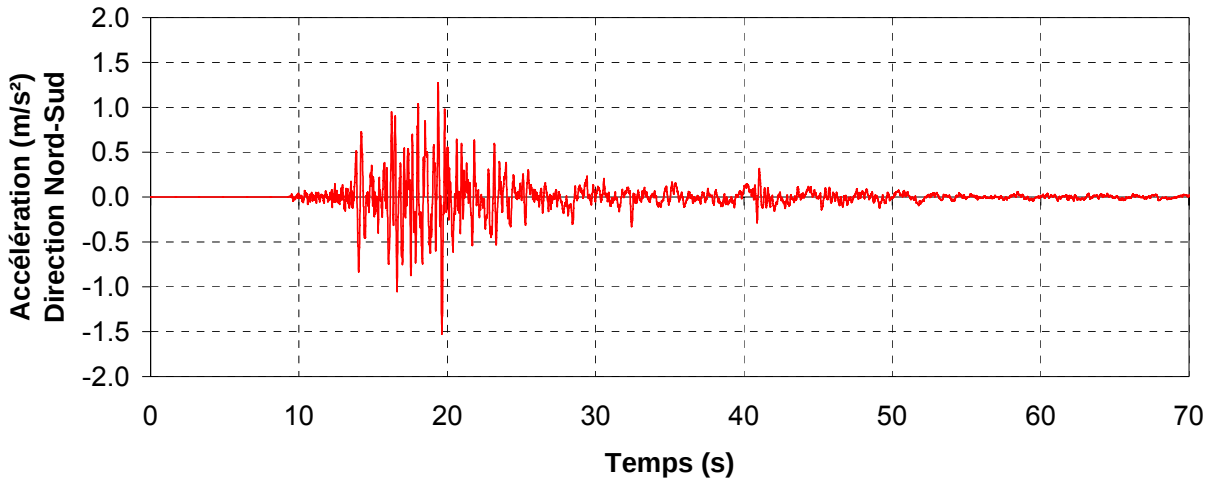
Le séisme n'a heureusement pas fait de victimes aux Saintes, malgré des endommagements importants de certains bâtiments. Il a causé une grande frayeur, voire chez certain un traumatisme psychologique durable. Les photos de certaines constructions endommagées illustrent la carte informative (Figure 25).

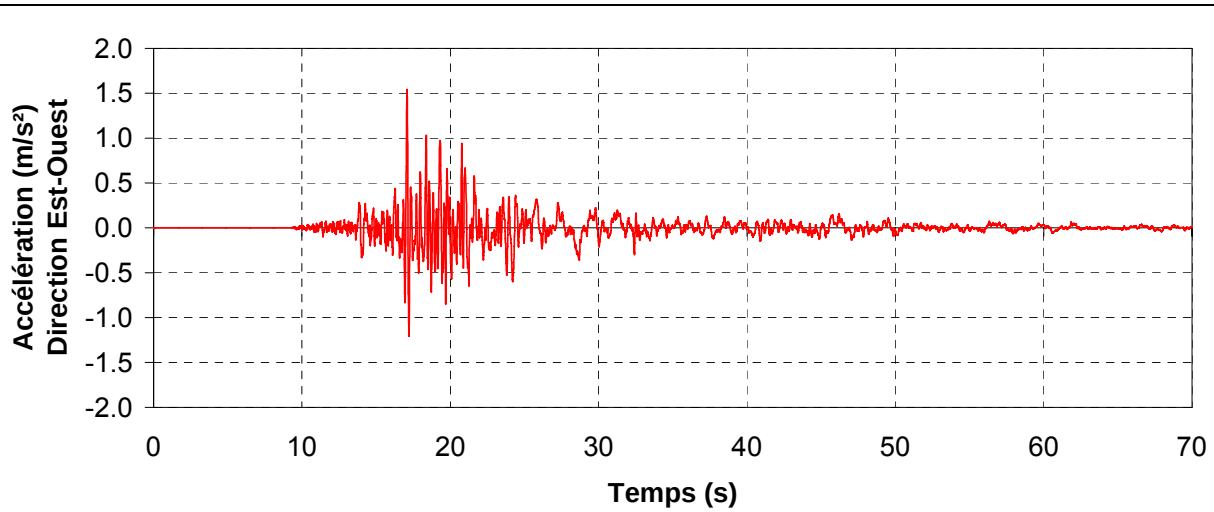
A Terre-de-Haut, l'école primaire et le clocher ont dû être démolis et reconstruits (Photo. 1, Photo. 2).

Les bâtiments suivants ont été plus ou moins endommagés (d'après CETE 2006) :

- Mairie ;
- L'église a du être réparée ;
- Annexe de l'école maternelle ;
- Ancienne prison ;
- Dépôt municipal ;
- Hôtel Sanson ;
- La cantine scolaire ;
- La bibliothèque ;
- 2 commerces ;
- 8 maisons individuelles (dont trois jugées à démolir au Pain de Sucre).

Le coût de reconstruction du seul domaine public de Terre-de-Haut est chiffré à six millions d'euros (Bulletin municipal août 2005).





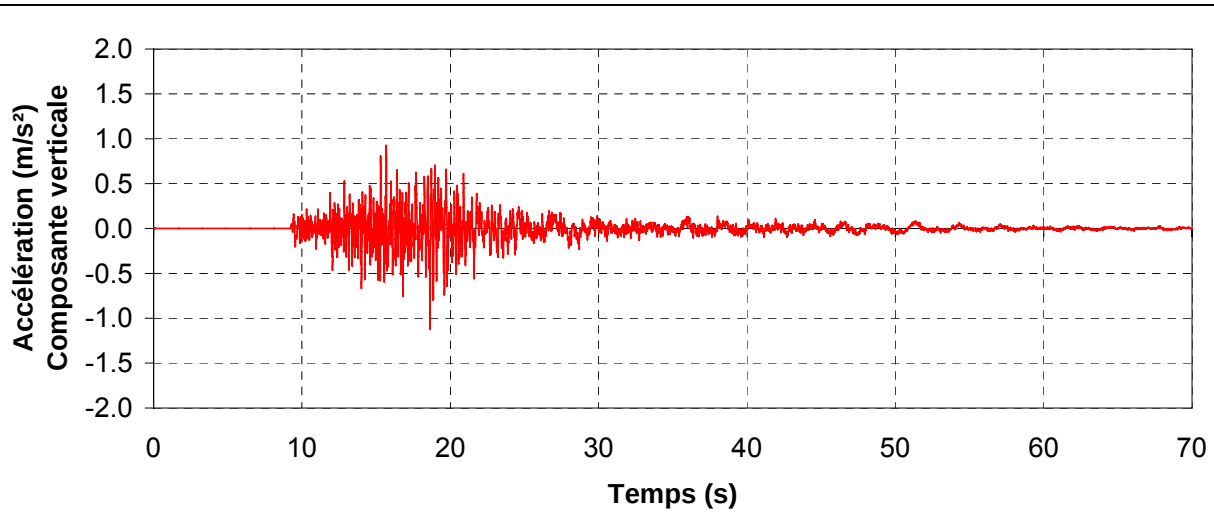
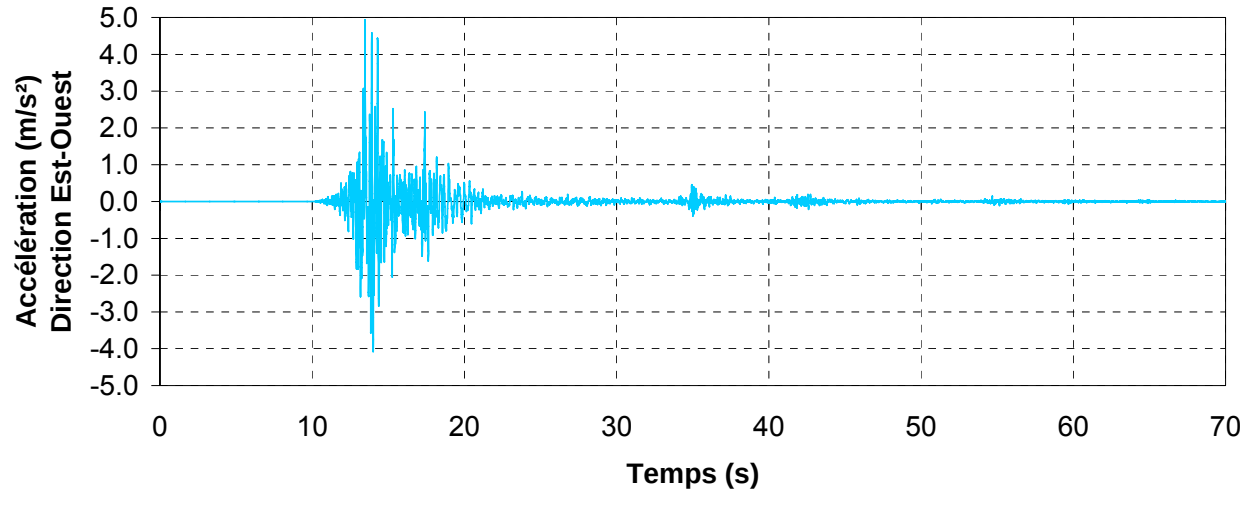
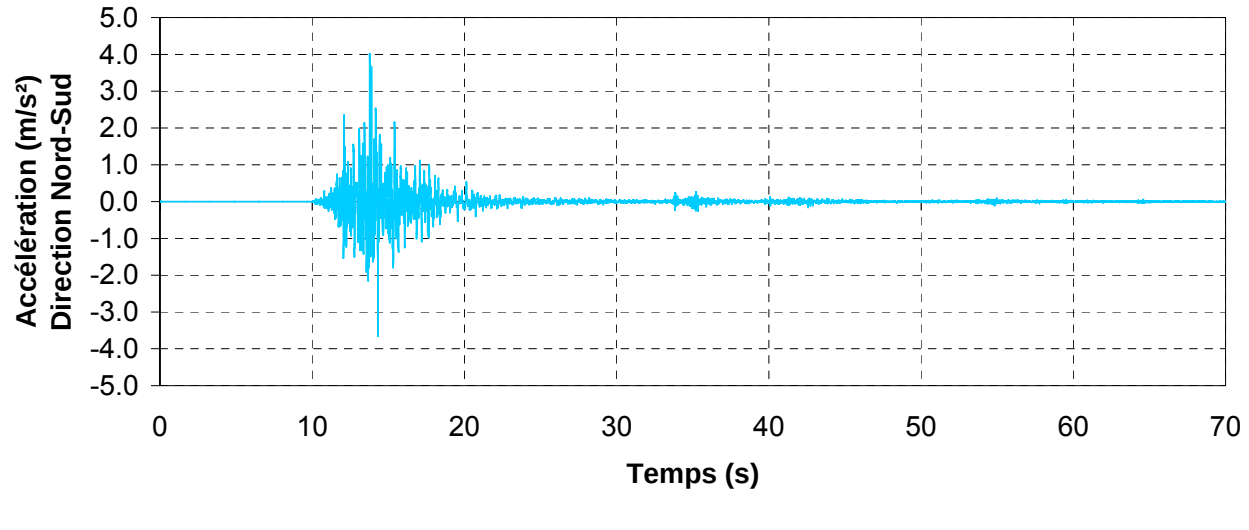


Figure 22 : Mouvements du sol, enregistrés à Marie-Galante (station GBGA[10]), lors du séisme des Saintes (21/11/2004).

[10] http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/main.html





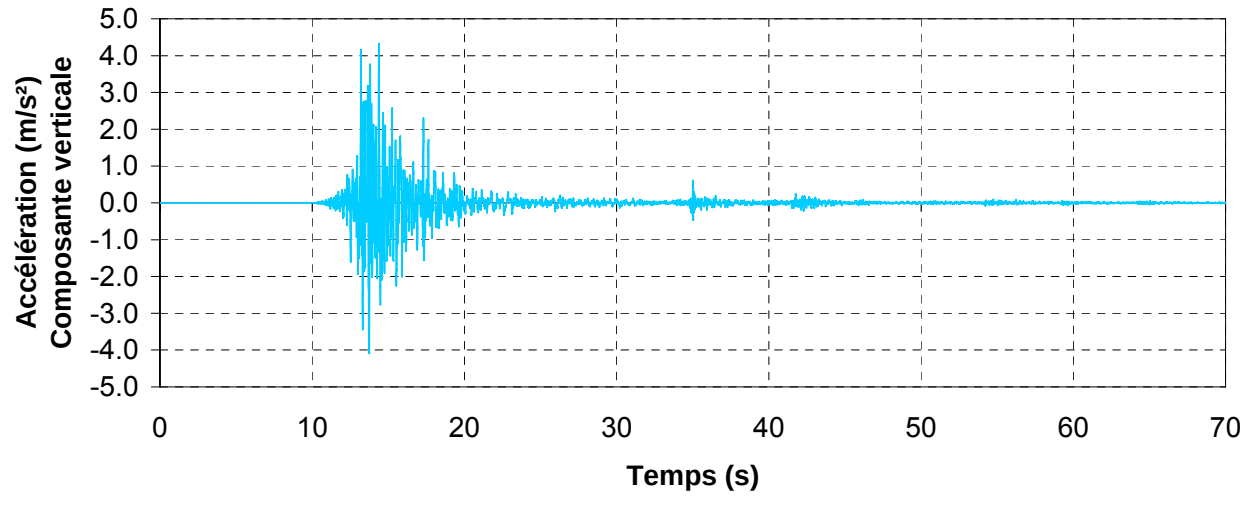


Figure 23 : Mouvements du sol, enregistrés à Terre-de-Bas (station TDBA[11]), lors de la réplique du 14 février 2005.

[11] http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/main.html



Photo. 1 : Reconstruction de l'école primaire de Terre-de-Haut.



Photo. 2 : Reconstruction du clocher de l'église de Terre-de-Haut.

6.2.3 Liquéfaction des sols

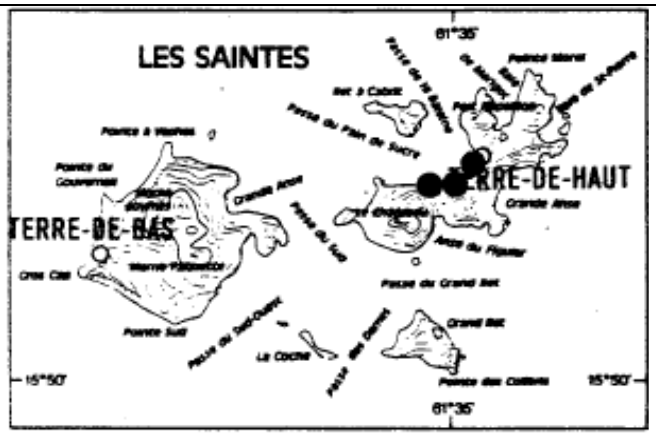
Les traces de liquéfaction que l'on observe parfois lors de séismes de forte magnitude, s'estompent le plus souvent assez rapidement après un tremblement de terre. La recherche de tels événements est par conséquent plus probante dans les écrits que sur le terrain. Aux Saintes, SAINTE-CLAIRE DEVILLE (1843) rapporte des observations précises de liquéfaction lors du séisme du 8 février 1843. Elles concernent la rade de Terre-de-Haut, depuis l'**Anse du Bourg jusqu'à la pointe batterie** (Figure 24).

A la vue des effets du séisme de 1843 (Figure 24), M. DE PROFT nous a appris que le phénomène s'était reproduit au même endroit lors du séisme du 21 novembre 2004. Ainsi, il nous décrit une **remontée d'eau** dans son jardin et ceux de ces voisins (**Anse de Fond Curé**, à proximité de l'OMCS) et montré un petit tassement attribué à un phénomène de liquéfaction. Il nous a également conduits chez un habitant de l'autre côté de fond Curé ou le tassement différentiel d'un partie du bâtiment pourrait résulter de la liquéfaction.

Par ailleurs, de la liquéfaction des sols a été décrite (AFPS, 2005) à proximité de la **plage de Marigot** et confirmé par les riverains interrogés. Un témoignage a également décrit une fissuration en forme de quadrillage éjectant e l'eau sableuse à l'**Anse Figuier**.

Ces témoignages sont localisés sur la carte informative (Figure 25). Ils montrent à la fois la susceptibilité avérée de formations sableuse littorales et l'initiation possible de phénomènes de liquéfaction par des séismes affectant la Guadeloupe, non seulement pour un séisme de subduction mais aussi pour un séisme crustal. Ceci est conforme au critère empirique magnitude – distance (AMBRASEYS, 1988) qui précise que de la liquéfaction a été observée par le passe jusqu'à une distance épicentrale de :

- 20 à 50 km pour un séisme de magnitude 6,0 à 6,5 ;
- 200 à 350 km pour un séisme de magnitude 7,5 à 8.0.



Observations précises de liquéfaction (points noirs).

Figure 24 : Effets induits du séisme du 8 février 1843 aux Saintes (d'après SAINTE-CLAIRE DEVILLE, 1843 in LAMBERT et BERNARD, 1985).

6.2.4 Mouvements de terrain lors du séisme du 21 novembre 2004

De très nombreux mouvements de terrains ont été déclenchés lors du séisme des Saintes, survenant après un hivernage pluvieux et un mois de novembre 2004 très arrosé. Ces phénomènes font l'objet d'un traitement spécifique ci-après (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**§ 6.3).

6.2.5 Tsunami lors de la crise sismique des Saintes

De multiples observations indiquent un retrait ou une montée des eaux lors du séisme du 21 novembre 2004.

A **Grande Anse de Terre-de-Bas**, « Madame Eugenette » nous a décrit :

- « la mer s'est retirée sur les bords de la plage et a gonflé au milieu, comme un éventail » ;
- Le phénomène ressemblait plus à une grosse marée qu'à des vagues ;
- La mer a atteint les murs de l'habitation en contrebas de son restaurant.

Compte tenu de la topographie précise disponible, la cote de l'inondation marine (« runup ») serait de 2 à 2,4 m NGG. Cette valeur très supérieure à celle de 0,7 m estimée par ZAHIBO et al. (2005).

ZAHIBO et al. (2005) ont réalisé une inspection post-sismique permettant de collecter divers témoignages supplémentaires :

- A l'**Anse des Muriers**, ils rapportent le témoignage d'un capitaine de navire : « 3 minutes après le séisme la mer a reculé de 5 m et est descendu de 80 cm. Elle remontée à son niveau normal 1 minute plus tard ».
- A l'**Anse à Dos**, un pêcheur raconte un recul de la mer estimé à 2 ou 3 m.

Un rapport du BRGM (BERTIL et al., 2005) fournit d'autres éléments :

- Différents témoignages parlent d'une vague ayant submergé l'**îlet La Coche** ou **Les Augustins** (« jusqu'à mi-hauteur »)

- A l'**Anse Figuier**, deux témoins ont rapporté le retrait de la mer (abaissement estimé à quelques dizaines de centimètres) et photographié (Dr. BROS) le retrait de la mer lors de **la réplique du 14 février 2005**. Un témoin nous a également décrit le retrait de la mer au même endroit lors du **choc principal (21 novembre 2004)**.

Dans la **Baie du Marigot**, ZAHIBO et al. (2005) rapport le témoignage d'une houle inhabituelle. Des riverains nous ont décrit le retrait de la mer jusqu'au cailloux émergé à hauteur de l'UCPA, soit une distance d'environ 150 m.

Ces manifestations co-sismiques peuvent avoir différentes origines :

- Rupture jusqu'en en surface de la faille ;
- Déformation du plancher océanique ;
- Mouvements de terrain sous-marin ou aérien arrivant en mer ;
- Effet de vague.

6.2.6 Autres effets co-sismiques

D'autres effets, associés à la crise sismique sont rapportés :

- Des déformations dues à la progression des ondes de surface ont été observées par les pompiers au niveau de la piste de l'aérodrome de Terre-de-Haut (AFPS, 2005) ;
- Le 21 novembre 2004, une rupture rectiligne est apparue dans le quartier de la Savane. L'ouverture n'est plus visible actuellement mais elle est décrite d'environ 10 cm.
- Le 14 février 2005 une traînée blanche est apparue dans la rade de Terre-de-Haut puis s'est propagée, pendant 1 à 2 h en direction du Nord de Terre-de-Bas.

6.3 Phénomènes de mouvements de terrain

Différentes sources d'informations et l'observation de terrain ont permis le recensement de plus de 250 phénomènes ou indices de mouvements de terrain sur l'archipel des Saintes.

A Terre-de-Haut, nos différents interlocuteurs, nous ont signalés les secteurs suivants :

- Le quartier de La Savane avec la route de l'Anse Rodrigue et des maisons menacées par des chutes de blocs ;
- Deux maisons atteintes par des chutes de blocs à proximité de la bifurcation entre le Chameau et Bois-Joli ;
- La route du Chameau ;
- La route de Bois-Joli ;
- Le versant Nord du Chameau, au-dessus du Pain de Sucre ;
- La route du Fort Napoléon.

Aucune victime imputable à un mouvement de terrain ne nous a été signalée. Pourtant, au moins trois maisons de Terre-de-Haut ont été atteintes par des chutes de bloc et les routes ont déjà été affectées sur au moins 5 sites.

GEOTER

Figure 25 : Carte informative des effets de la crise sismique des Saintes (21 novembre 2004 et 14 février 2005) à Terre-de-Haut

Direction de l'Environnement
de l'Aménagement et du Logement
de la GUADELOUPE



1 : Ecole primaire
(21/11/2004)



2 : Désordres à la bilbiothèque municipale



3 : Structure endommagée,
chute des ballustrades



7 : Mer laiteuse, forme un anneau se
déplacant vers l'Ouest
(14/02/2005)



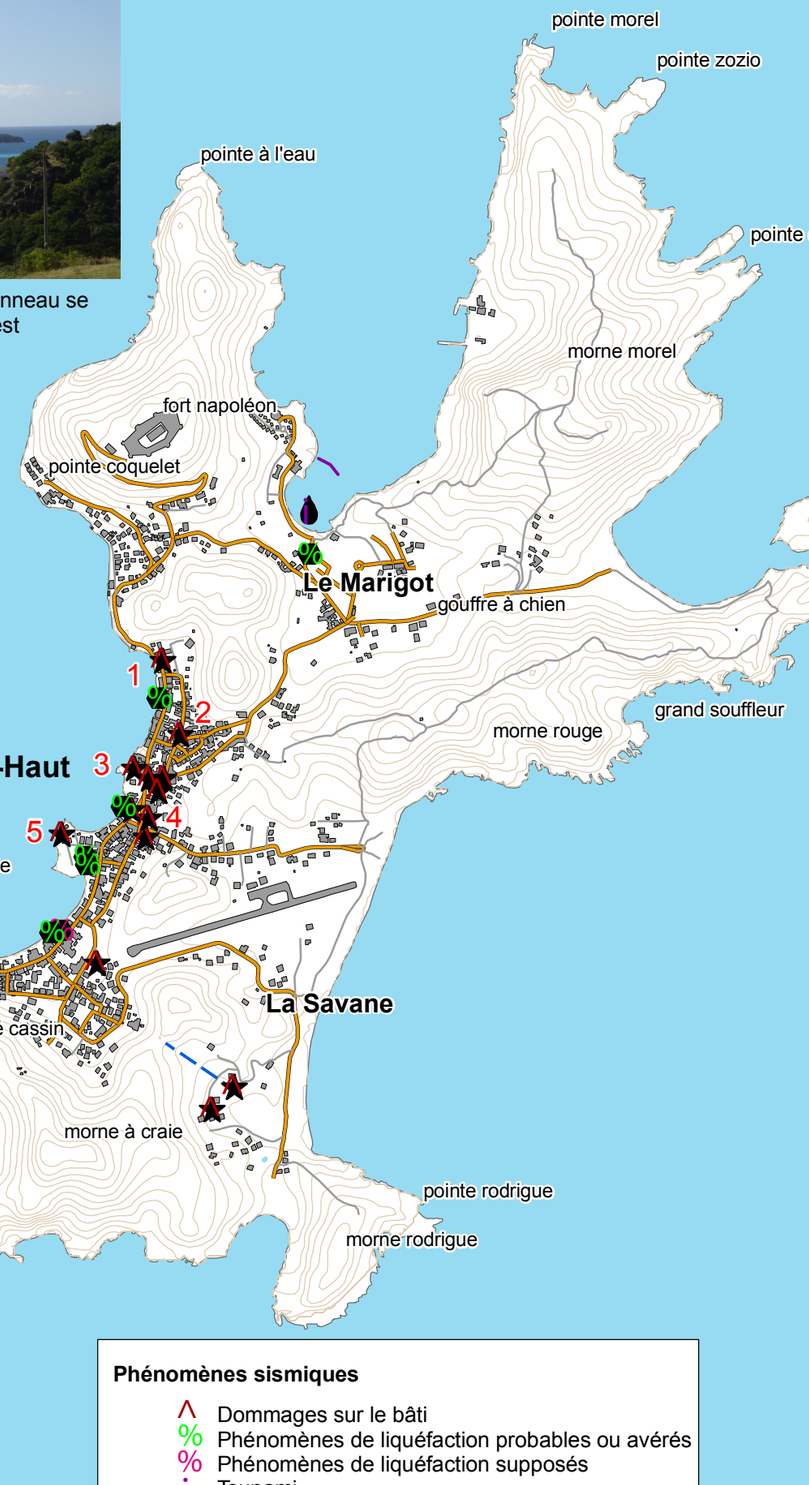
4 : Bureau du Maire
(21/11/2004)



5 : Gradins endommagés
(14/02/2005)



6 : Maison de Maisonneuve
(21/11/2004)



La **carte géologique des Saintes** (JACQUES et AMURY, 1988) mentionne plusieurs éboulis de pente. Il n'est pas toujours possible de distinguer des dépôts gravitaires liés à des instabilités (Flancs du Chameau) ou des formations probablement d'origine volcanique. Cette information est représentée sur la carte informative (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**Figure 27). Par ailleurs, d'autres dépôts de pentes observables sur le terrain n'ont pas toujours été cartographiés sur la carte géologique.

La **base de données nationale sur les mouvements de terrain** (BDMvt, www.bdmvt.net) indique 6 phénomènes, consécutifs des intempéries de novembre 2004 et du séisme du 21 novembre 2004, issue du rapport du BRGM (BES DE BERC et BERTIL 2005) :

- A Terre-de-Bas, l'éboulement sous chaussée et des chutes de blocs le long de la RD213 entre l'héliport et l'ancienne poterie ;
- L'éboulement le long de la route du Chameau ;
- Le glissement de la route de Boisjoli ;
- Des chutes de blocs au Morne Savane ;
- Une coulée puis des chutes de bloc route de l'Anse Rodrigue à La Savane.

Enfin, l'**enquête de terrain** reste une des principales sources d'information. Elle permet dans les endroits indiqués de préciser les conditions d'apparition des phénomènes. Dans d'autres secteurs, l'observation a mis en évidence des phénomènes probants et notamment :

- De nombreux éboulements ou chutes de gros blocs le long du versant entre Marigot et Anse Morel ;
- Une quinzaine de blocs éboulés à la plage de Pompierre, essentiellement lors du séisme du 21 novembre 2004, d'après un témoin interrogé ;
- Des phénomènes de glissement pelliculaire (reptation) ou d'érosion dans les formations fortement altérées de Terre-de-Haut (Phase 1, Figure 2)

La **photo interprétation** (exploitation de la BD ORTHO et du modèle numérique de terrain) a permet l'identification supplémentaire de morphologies suspectes, comme les versants Nord et Sud du Chameau. Il s'agit d'événements ayant une ampleur suffisante, pour être repérés grâce à la photographie aérienne. Les falaises de l'archipel ont été soulignées dans la mesure ou leur démantèlement relevant de phénomènes d'instabilités et ou d'érosion.

A notre connaissance aucun événement historique n'est signalé dans les archive, notamment lors du séisme 8 février 1843 (SAINTE-CLAIRE DEVILLE, 1843 ; BERNARD et LAMBERT, 1985).

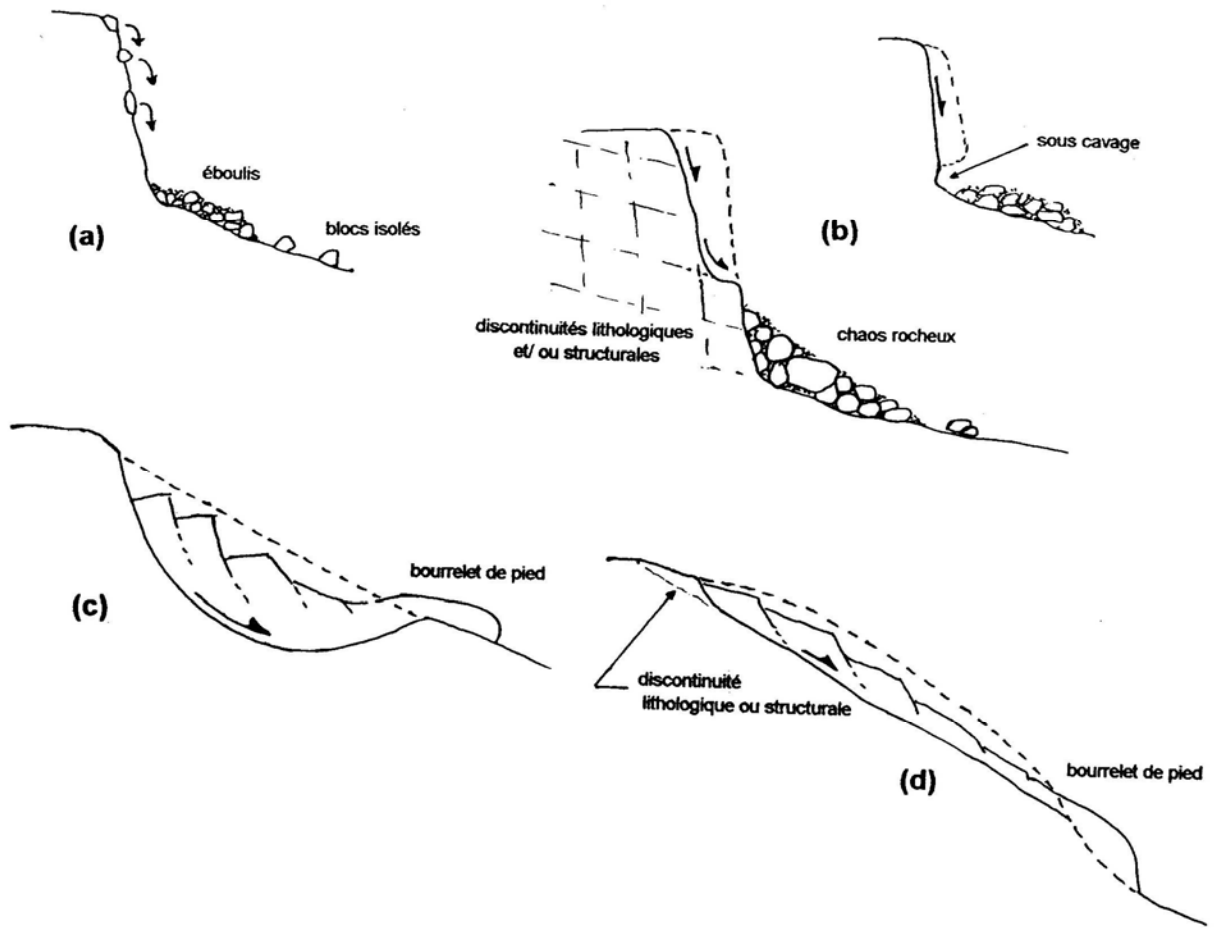
Chronologiquement, beaucoup de phénomènes ont été déclenchés par la crise sismique des Saintes. Deux autres phénomènes ponctuels sont datés (entre 2001 et 2004). La date des autres phénomènes n'est pas accessible : relativement récurrents ou cumul à l'échelle géologique ?

Plus de 240 phénomènes ou indices sont recensés et décrits pour l'ensemble de l'Archipel des Saintes. Les informations sont classifiées selon leur type (Figure 26) et en distinguant s'il s'agit de d'événements

probables ou avérés (90%) ou plutôt d'indices ou de phénomènes supposés (10%). Du point de vue typologique, on dénombre :

- Presque 84% de chutes de blocs ou éboulements (Encart 5) ;
- Plus de 10% de glissements profonds ou pelliculaires (érosion) ;
- Environ 6% de phénomènes mixtes.

Les chutes de blocs et éboulement sont le type de phénomène le plus souvent rencontrés (environ 90% des informations collectées, Encart 5). 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 exceptionnel (séisme du 21 novembre 2004). Ces déclencheurs ont eu un effet de purge pour un grand nombre de versants. Les phénomènes de mouvements de terrain recensés sont représentés à l'échelle de la commune, sur la **carte informative des mouvements de terrain** (Figure 27).



a) Chute de blocs. b) Eboulement. c) Glissement circulaire. d) Glissement plan.

Figure 26 : Typologie des mouvements de terrain (d'après MOMPELAT, 1994)

GEOTER

Figure 27 : Carte informative des mouvements de terrain de Terre-de-Haut

Direction de l'Environnement
de l'Aménagement et du Logement
de la GUADELOUPE



1 : Eboulement Pointe Coquelet (21/11/2004)



2 : Gros bloc éboulé (5 à 10 m3)



8 : Nombreux blocs éboulés sur la plage de Pompierre (21/11/2004)



3 : Bloc éboulé (21/11/2004)



4 : Très gros bloc déplacé



9 : Nombreux blocs éboulés sur la plage de Pompierre (21/11/2004)



5 : Bloc arrêté dans le mur de parpaing placé en protection (14/02/2005)



6 : Zone de départ d'un éboulement (21/11/2004)



7 : Cicatrice d'éboulement (21/11/2004)



15 : Blocs éboulés autour du Pain de sucre



11 : Cicatrice d'éboulement en amont de la plage de Pompierre



10 : Blocs instables en amont de la plage de Pompierre



14 : Nombreux blocs éboulés (21/11/2004)



13 : Coulée de boue dans formation très hydrothermalisée (11/2004)



12 : Eboulement de falaise (21/11/2004?)

pointe morel
pointe zozio
pointe à l'eau
pointe du vent
morne morel
fort napoléon
pointe coquelet
Le Marigot
gouffre à chien
grosse
grand souffleur
morne rouge
Terre-de-Haut
trou à diable
pointe à cabrit
pointe bonbarde
fort joséphine
pointe sable
pain de sucre
tête rouge la batterie
pré cassin
La Savane
le chameau
morne à craie
morne à cointe
pointe rodrigue
morne rodrigue

Phénomènes de mouvements de terrain

* Chute de bloc, éboulement
(Glissement
) Phénomènes mixtes ou indifférenciés

3 3 Phénomène probable ou avéré
Indice ou phénomène supposé

0 0.25 0.5 1
Kilomètres

Courbe de niveau, équidistance : 10 mètres

7 ALEAS CYCLONIQUES

7.1 Préambule

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[12], tandis que la bathymétrie à l'approche des côtes a été évaluée sommairement à partir des cartes marine du SHOM au 1/15 000.

Les données de relief utilisées sont issues des cartes IGN 1/25 000 et de la topographie mise à disposition par la DDE (BD alti IGN, levés photogramétriques réalisé par OPSIA).

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

7.2 Modélisation de la houle

7.2.1 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 (Tableau 4).

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 et sa hauteur, suivant une période de retour donnée, dépend de la direction de celle-ci. Ainsi, pour une même période de retour, une houle d'Est sera plus importante qu'une houle d'Ouest.

Compte tenu de la géométrie côtière de l'archipel, les différents sites du littoral des Saintes sont exposés à des directions différentes. De plus, compte tenu des phénomènes de diffraction et de réfraction de la houle, un littoral orienté dans une certaine direction peut-être exposé à une houle provenant d'une autre direction.

[12] Etude de 2002 intitulée « Estimation du risque lié aux marées de tempête aux Saintes »

Orientation du littoral	Hs, hauteur significative de la houle au large, d'occurrence centennale	T, période entre 2 crêtes
Vers le Sud, l'Est ou le Nord	12	12
Vers l'Ouest	10	12

Tableau 4 : Caractéristiques de la houle au large, d'occurrence centennale (d'après Météo-France).

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.

7.2.2 Caractéristiques de la houle à l'arrivée sur le rivage

7.2.2.1. 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 entraîne 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 nature[13]. Leur détermination nécessite de connaître Hs, T, la bathymétrie et la topographie côtières.

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 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.

[13] Voir le *Shore Protection Manual* et le *Coastal Engineering Manual (CEM)* édités par le US Army Corps of Engineers.

7.2.2.2. 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

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. Les valeurs retenue, issues des rapports Météo-France, sont de :

Bourg de Terre-de-Haut et baie de Marigot : **0,60 m**

Reste du littoral des saintes : **0,40 m**

c/ Surcote statique

Somme des deux paramètres précédents, sa valeur est donc :

Bourg de Terre-de-Haut et baie de Marigot : **1,0 m**

Reste du littoral des saintes : **0,8 m**

d/ Surcote dynamique (Setup) et surcote totale théorique

La valeur de la surcote dynamique (Setup) dépend de la hauteur de la houle au large mais également de la bathymétrie à l'approche du rivage.

Les valeurs de surcotes sont estimées (Tableau 5) pour les différents sites du littoral de l'archipel, pour une houle centennale.

Sites du littoral de Terre-de-Haut	Surcote dynamique (Setup)	**Surcote totale**
Bourg de Terre-de-Haut (de la Pointe Coquelet à la Tête rouge)	1,7 m	**2,7 m**
Baie de Marigot	1,7 m	**2,7 m**
Baie de Pont-Pierre	1,5 m	**2,3 m**
Grande Anse	1,4 m	**2,2 m**
Anse Rodrigue	1,4 m	**2,2 m**
Anse Figuier	1,4 m	**2,2 m**
Anse Crawen	1,5 m	**2,3 m**
De la Pointe à Cointe au Pain de Sucre	1,6 m	**2,4 m**
Du Pain de Sucre à la Tête Rouge	1,5 m	**2,3 m**

Tableau 5 : Surcotes estimées pour le littoral de Terre-de-Haut, selon une occurrence centennale.

7.2.2.3. Détermination de la hauteur du run-up et de l'overtopping

Ces paramètres ont été déterminés à l'aide *Shore Protection Manual* et le *Coastal Engineering Manual (CEM)* édité par le US Army Corps of Engineers.

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

- Runup = **0 à 200 cm**, selon profil en travers de la côte
- Overtopping : pas de recensement de ce phénomène sur la zone d'étude.

7.2.2.4. Récapitulatif et commentaires

Le schéma suivant (Figure 28) illustre grandeurs significatives retenues dans l'évaluation de l'aléa cyclonique.

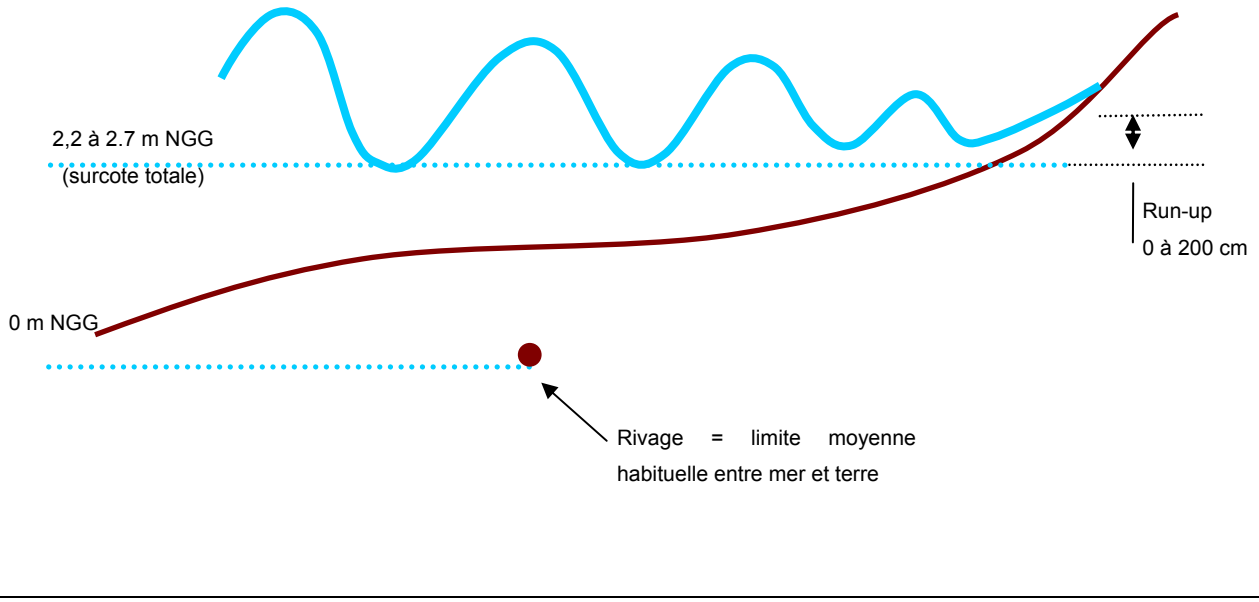


Figure 28 : Grandeurs significatives retenues dans l'évaluation de l'aléa cyclonique.

CARACTERE EXCEPTIONNEL DE L'EVENEMENT CYCLONIQUE CONSIDERE

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.

- Les valeurs de set-up retenues dans les PPR sont des moyennes obtenues à partir de formule simple. Compte tenu de la configuration du littoral de l'archipel, à certains endroits, il est très vraisemblable que des effets de site accentuent l'effet du set-up. Seules des modélisations numériques aux éléments finis en deux dimensions, dépassant le cadre de cette étude 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 qui peut être importante.

7.3 Cartes d'aléa

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 trois niveaux d'aléa fort (C3), moyen (C2) et faible(C1). Les critères retenus pour la détermination de l'intensité de l'aléa sont les suivants (Tableau 6).

Critères	Aléa cyclonique (houle et submersion)
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 (≥0,5m/s)	Fort (C3)
Exposé à des vagues supérieures à 50 cm OU Submersion « permanente » supérieure à 50 cm ET pas d'aléa fort	Moyen (C2)
Submergé ET pas d'aléa fort ni moyen	Faible (C1)
Non submergé	Nul ou considéré comme négligeable

Tableau 6 : Critères de détermination des niveaux d'aléa cyclonique (houle et submersion marine).

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).

7.4 Commentaires

Les zones où l'aléa est élevé correspondent principalement aux zones littorales basses, c'est-à-dire aux anses de l'archipel. 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 principales zones de Terre-de-Haut exposées aux aléas sont les suivantes :

- *Le bourg de Terre-de-Haut depuis la Tête Rouge jusqu'à l'Anse du Bourg et Marigot;*

Le bourg et Marigot semblent protégés par leur exposition favorable par rapport à la direction la plus courante des cyclones (de l'Est vers l'Ouest). Cependant, leur géométrie côtière amplifie le phénomène de marée de tempête. De plus, la bathymétrie à l'approche du rivage est favorable à une surcote dynamique (set-up) importante. Ainsi, même si la houle a perdu une grande partie de son énergie en arrivant sur le trait de cote, la surcote totale engendrée par la marée de tempête et par la houle crée une hauteur d'eau moyenne relativement élevée par rapport à la topographie locale. Il s'agit ainsi plus d'un risque de submersion dû à la surcote que d'un risque dû aux vagues venant frapper le rivage. De plus, la trajectoire des cyclones étant aléatoire, un phénomène venant de l'Ouest n'est pas à exclure comme cela a été le cas par le passé (Lenny, 1999).

- *Grande Anse*

Pour Grande Anse, son exposition est favorable au risque cyclonique. La houle d'Est vient ainsi frapper de front cette partie du rivage et la topographie du littoral est favorable au run-up. Il arrive également que les vagues obstruent, par le sable, les exutoires de deux axes d'écoulement situés de part et d'autre de l'aérodrome.

8 ALEAS 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.

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.

L'évènement pluviométrique le plus important connu ces dernières années est Marilyn. Nous considérons cet événement comme la référence pour la cartographie de l'aléa inondation.

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.

L'archipel des Saintes ne connaît pas de problème d'inondation important mettant en péril la sécurité des personnes, mais seulement dans certain cas la sécurité des biens.

Les différents axes d'écoulements sont des petites ravines prenant naissance au flanc des mornes. Les tailles des bassins versants sont relativement réduites, induisant des crues de courte durée et s'évacuant rapidement.

Les disfonctionnements et donc les inondations apparaissent généralement au droit des ouvrages de franchissement, au niveau de l'insuffisance du réseau d'eau pluviale et dans les dépressions naturelles favorables à un stockage de l'écoulement.

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 (Figure 29). 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 appréciation de la vitesse du ruissellement en question.

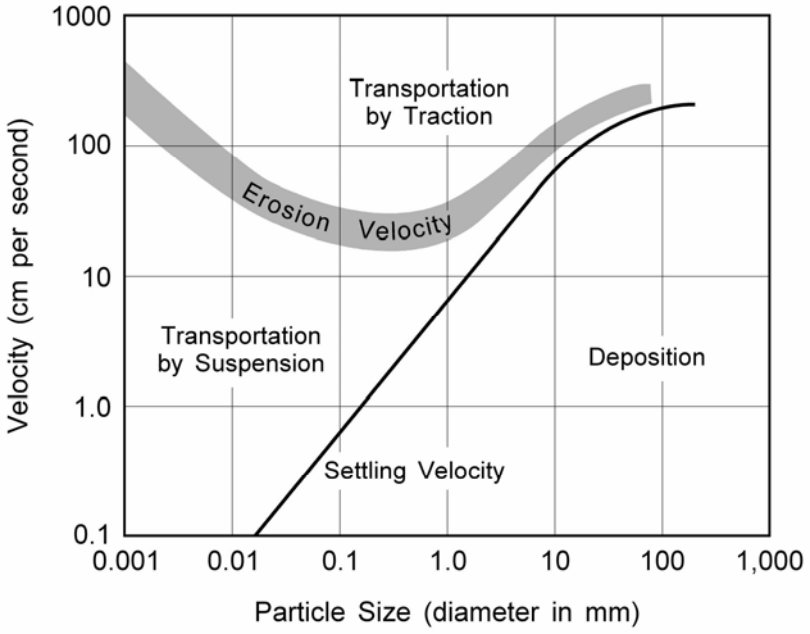


Figure 29 : Diagramme de Hjulström.

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.

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 que le risque pour les personnes débute à partir d'une hauteur d'eau de 0,5 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'égouts 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 7 : Détermination des niveaux d'aléa inondation.

8.4 Commentaires

Toutes les mares ont été placées en aléa rouge. 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. De même, une zone rouge d'au moins 20 mètres de large a été ménagée le long des axes hydrauliques principaux des îles et centrée sur ces derniers.

Les principales zones de Terre-de-Haut exposées aux aléas inondation sont les suivantes :

- *Marigot ;*

Le secteur de Marigot est encerclé par des mornes dont le ruissellement se concentre en pied. Deux canaux permettent l'évacuation de ces eaux pluviales. Cependant ceux-ci sont susceptibles de se retrouver obstrués au niveau de leur exutoire (sable ramené par la mer) et ils paraissent sous dimensionnées par endroit pour un événement décennal (d'après le Schéma directeur d'assainissement EP de Terre-de-Haut). Ces canaux peuvent ainsi déborder et inonder l'ensemble du secteur de Marigot.

- *Grande Anse*

Du côté de Grande Anse, la forte houle peut obstruer par le sable les exutoires des petites ravines s'y rejetant. Il s'ensuit une montée des eaux dans ces ravines engendrant des inondations localisées, notamment au niveau de la discothèque le Cha Cha.

- *le Chameau*

Le Chameau possède des pentes très fortes et le ruissellement dévale les pentes très rapidement et peut emporter des blocs avec lui. Quelques ravines concentrent l'écoulement. Des bandes de 20 m de large le

long de leur axe ont été mises en aléa fort en raison des fortes vitesses d'écoulement et de l'entraînement potentiel d'embâcle.

L'allée du Pain de Sucre a été placée en aléa fort en raison des forts écoulements observés (vitesse importante et hauteur de l'ordre de 50 cm). Ces écoulements proviennent du ruissellement du flanc Nord du Chameau.

Au niveau de l'anse à Cointe, le bas de la route communale et les terrains de part et d'autre ont été placés en aléa moyen en raison de la concentration par la route du ruissellement issu du flanc Nord-ouest du Chameau.

9 ALEAS SISMIQUES

9.1 Secousse sismique

Comme l'ensemble de la Guadeloupe, L'archipel des Saintes est exposé 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 (automne 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) et le catalogue de sismicité 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.

Pour les communes de l'Archipel des Saintes, la valeur médiane de l'accélération à 475 ans de période de retour est de 2,2 m/s². Néanmoins, l'**accélération maximale de calage** proposée pour le périmètre d'étude **est de 3,0 m/s²** (ouvrage de classe B, situé au rocher de référence).

9.1.2 Non prise en compte des effets de site topographiques

La prise en compte des effets de site topographique dans le calcul de l'agression sismique reste relativement aisée[14], tout en requérant une géométrie suffisamment fiable du relief. C'est pourquoi, l'évaluation et la cartographie qui pourraient être réalisées n'auraient qu'une valeur informative d'une part, sans se substituer d'autre part à un calcul propre au site de construction, selon la règle générale. Par conséquent, **l'aléa effets de site topographique n'est pas évalué ni cartographié**.

9.1.3 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.

[14] Coefficient d'amplification topographique (τ) des règles PS 92 et de l'Eurocode 8

Le **retour d'expérience** du séisme des Saintes met en évidence une zone de majoration des dommages au milieu construit. A Terre-de-Haut, le quartier du Pain de Sucre a paru plus affecté que le reste de la commune, même si le bourg a également été touché. Ce constat est à nuancer dans la mesure où l'urbanisation discontinue limite la portée des observations. Toutefois, une majoration des dommages peut s'expliquer soit par une sollicitation sismique ponctuellement plus forte, soit par un comportement moins bon des habitations d'un quartier. Il ne semble pas que des différences importantes du type ou de l'age des constructions puissent expliquer une vulnérabilité plus forte dans les secteurs les plus touchés. L'hypothèse privilégiée est donc une sollicitation localement plus forte, résultant d'un effet de site géologique ou d'une interférence constructive des ondes sismiques[15].

Géologiquement, les formations préjugées capables de modifier localement le mouvement sismique sont :

- Les remblais ;
- Les formations sableuses (plages, dunes et cordons littoraux) ;
- Eventuellement les grandes zones d'éboulement géologique ;
- Eventuellement, le remplissage cendreux de la cuvette de Petites Anses à Terre-de-Bas.

En outre, il convient d'apprécier également si les formations volcaniques affleurantes peuvent être considérées comme un substratum rocheux de référence.

Géotechniquement, les données disponibles permettent dans certains cas, de sinon de quantifier, sinon qualifier les formations et les sites (classifications EC8 et PS92, Tableau 8, Tableau 10, Tableau 11).

La vitesse des ondes de cisaillement moyenne sur 30 m ($V_{s,30}$[16]) est le principal critère de classification des sites vis-à-vis du génie parasismique (Règles EC8, Tableau 10, lois d'atténuation). Son estimation est doublement délicate en l'absence de mesures directes des vitesses des ondes de cisaillement et compte tenu de la profondeur limité des reconnaissances géologiques disponibles.

Géophysiquement, les mesures de bruit de fond et les rapports H/V disponibles (CETE, 2006) ou réalisés sur Terre-de-Haut peuvent mettre en évidence la fréquence particulière d'un site, voir fournir un profil des ondes de cisaillement permettant d'estimer le paramètre Vs, 30 et e type de site (classifications EC8 et PS92).

[15] Situés pratiquement à la même distance hypocentrale, il n'y a pas lieu de considérer de différence d'atténuation selon la distance au séisme.

[16] Vs,30 : Moyenne harmonique des vitesses des ondes de cisaillement (Vs) sur les 30 premiers mètres.

Titre	Géologie	Type de site	Liquéfaction	Dossier
Anse du Fond Curé	Formations superficielles	B	L3	00 GEO 1914
Base d'exploitation des Saintes	Formations volcaniques	B	L0	00 GEO 2099 SP1
Pylône BT n°70	Formations volcaniques	B	L0	00 GEO 2128
Lycée	Remblai / saline	C ou D (E ?)	L2	00 GEO 2382 SP1
Lycée	Remblai / saline	C (E ?)	L2	00 GEO 2382 SP2
Lycée	Remblai / saline	C (E ?)	L2	00 GEO 2382 SP3
Ponton	Formations superficielles	B (E ?)	L3	01 GEO 2674 SP1
Eglise	Formations superficielles	B		05 GEO 4602
Bâtiment médical	Formations superficielles	/	L3	05 GEO 4602
Ecole primaire	Formations superficielles	/	/	05 GEO 4602 PD1 à PD5
Ecole primaire	Formations superficielles	C	L3	05 GEO 4602 SP1
Gendarmerie	Remblai / saline	C	L2	05 GEO 4711 (PD1 à 5)
Glissement (route de Bois-Joli)	Formations volcaniques instables	C	L0	06 GEO 5270
Parcelle AE306	Formations superficielles	/	L3	07 GEO 6027
Pylône hertzien	Formations volcaniques	B	L0	96 GEO 0619
Aérodrome	Remblai	C	L2	CETE 124

Tableau 8 : Types de site déduits des reconnaissances disponibles.

Sur la base des essais géotechniques disponibles, aucun site rocheux de référence n'a été testé aux Saintes (A, $V_{s,30} \geq 800$ m/s). Néanmoins, il n'est pas exclut que certaines formations géologiques, non testées correspondent à du rocher (Vs>800 m/s). A l'échelle d'un projet, si un site A s'avérait plus approprié, le spectre correspondant pourra être retenu.

Les formations volcaniques courantes à l'affleurement correspondent plutôt à un site B ($360 \leq V_{s,30} \leq 30$ m/s). Exception, la zone du glissement de la route de Bois-Joli (06 GEO 5270, pressiomètre de 30 m) qui relève d'un site C ($180 \leq V_{s,30} \leq 360$ m/s).

Lorsqu'elles sont jugées suffisamment épaisses et / ou médiocres, les formations superficielles de Terre-de-Haut (plage, cordons littoral, dunes de Grande Anse, ancienne saline de Marigot) conduisent à un site de type C :

- L'Anse du Bourg et par similitude l'Anse du Fond Curé ;
- La zone de Marigot ;
- L'arrière plage de Grande Anse.

Les données géotechniques et géophysiques sont exploitées (Tableau 8), en gardant à l'esprit les limites de cet exercice, compte tenu :

- De la faible représentativité spatiale des données disponibles ;
- Des singularités géologiques intrinsèques au contexte volcanique de l'archipel des Saintes.

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 géotechniques : variation de l'épaisseur et des caractéristiques des formations.

Les formes spectrales suivantes sont proposées (Tableau 12, Figure 30).

Unités géomorphologiques	Effet de site	Site EC8 (Tableau 10)	Site PS92 (Tableau 11)
Formations volcanique (sub)-affleurantes	A priori oui, sauf formation particulièrement massive (e.g. Pain de Sucre)	B, éventuellement A	S1, éventuellement S0
Plages et cordons sableux, colluvions	Oui, si épaisseur suffisante	C (B si faible épaisseur < 5 m)	S2 ou S3
Ancienne Saline de Marigot	Oui	C (éventuellement D)	S2 à S3

Tableau 9 : Types de site associés aux différentes unités géomorphologiques des Saintes.

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 (Ip>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 S_1	

Tableau 10 : 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 11 : Définition des types de site (PS92).

Type de site EC8 (PS92)	Vs,30[17]	S	T_B	T_C	T_D
A (S0)	≥ 800 m/s	1	0,1	0,35	2.5
B (S1)	360 à 800 m/s	1,15	0,15	0,4	2.5
C (S2 à S3)	180 à 360 m/s	1,2	0,2	0,6	3.0
D (S2 à S3)	≤180 m/s	1,35	0,2	0,8	3.5

Tableau 12 : 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.

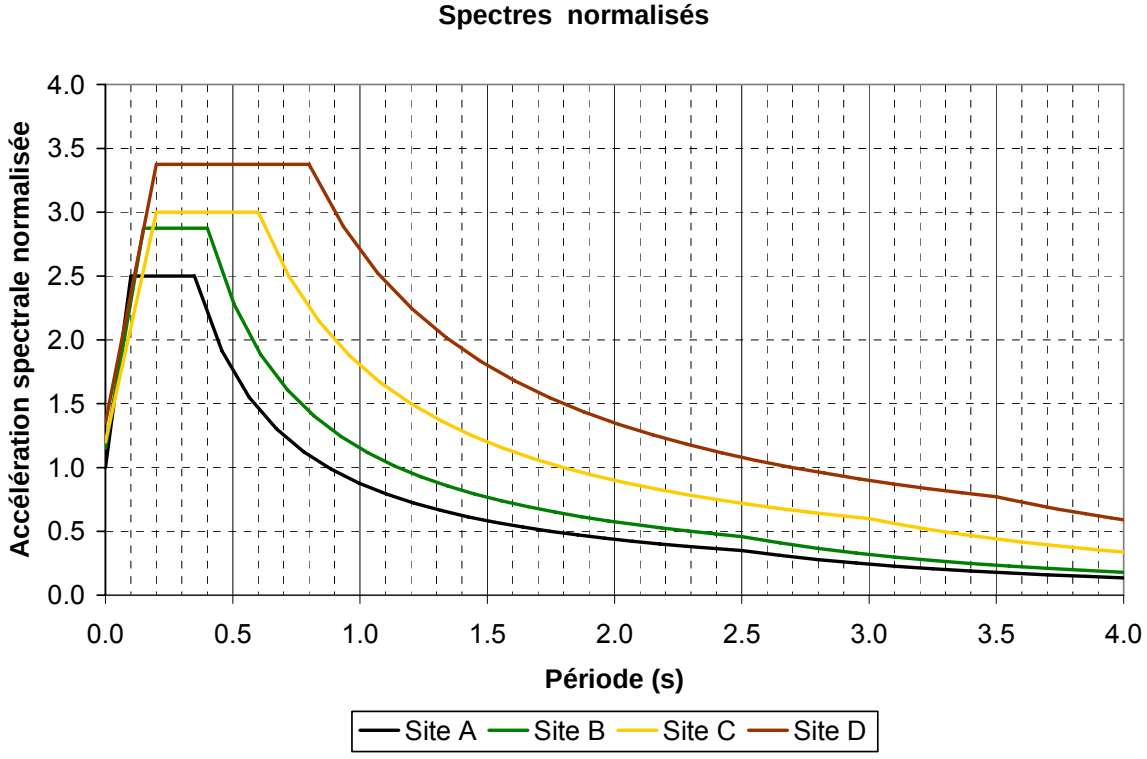


Figure 30 : Spectres de réponses normalisés associés aux différentes zones présentant une réponse sismique homogène

[17] Vs,30 : Moyenne harmonique des vitesse des ondes de cisaillement (Vs) 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

L'identification des failles et la caractérisation de leur activité et de leur potentialité d'engendrer des ruptures de surface restent problématiques en l'état actuel des connaissances sur l'archipel des Saintes. En effet, la récente crise sismique des Saintes a montré la possibilité d'occurrence dans ce secteur de séismes superficiels, de magnitude suffisante pour engendre des ruptures de surface. Le séisme principal du 21 novembre 2004 (magnitude 6.3) et l'ensemble de ses répliques (la plus forte a atteint la magnitude Mw=5.9) se sont produits sur le système de failles des Saintes, qui s'étend suivant une direction NO-SE de l'archipel des Saintes à la Dominique. Il existe actuellement une lacune de connaissance importante sur l'extension de ce système de failles normales, en mer, au niveau du plateau insulaire des Saintes (absence de profil sismique et de levés bathymétriques précis et continus), alors que la distribution des répliques du séisme des Saintes, montre clairement la présence de failles sismogènes sous l'archipel, et d'une connexion de ces failles avec le système des Saintes au Sud-Est. Actuellement, aucun argument ne permet d'exclure la possibilité que survienne un séisme équivalent au séisme du 21 novembre 2004, sous l'archipel des Saintes.

La morphologie et la géologie des îles de Terre-de-Bas et de Terre-de-Haut permettent de suspecter l'existence de failles possiblement actives les recoupant.

Le niveau d'investigation des études néotectoniques réalisées et les données actuelles sont insuffisants pour affirmer l'existence de failles actives capables d'engendrer des ruptures de surface et pour caractériser précisément le niveau d'aléa.

Compte tenu des informations structurales et sismologiques disponibles, acquises et exploitées, quatre zones de failles potentiellement actives sont identifiées, sur le territoire du PPR. Il s'agit :

- Des failles encadrant le possible graben de Terre-de-Haut (failles n°1 et 2) ;
- De la faille Sud de Terre-de-Haut (faille n°3) ;
- Et de la faille de Gros Cap-Pointe Sud à Terre-de-Bas (faille n°4).

Les failles non retenues sont :

- La faille probable n°5 qui longe l'Îlet de Coche. Elle n'est pas considérée car elle n'implique pas le territoire couvert par le PPR.
- Les deux failles NNE-SSO et Est-Ouest de Terre-de-Haut reportées sur la carte géologique ne sont pas retenues car, d'après les auteurs, elles n'affectent pas les formations plus récentes que 3,6 Ma.
- Les autres failles de Terre-de-Bas indiquées sur la carte géologique sont considérées comme des failles secondaires dont les directions ne sont pas compatibles avec la direction générale du système majeur de failles actives des Saintes.

Pour les zones de faille potentiellement actives retenues, les connaissances sur le tracé et l'activité sont synthétisées (Tableau 15 et Tableau 13). Chaque zone de faille potentielle est ainsi qualifiée par un indice de qualité (I.Q., Tableau 14). Ces informations sont représentées géographiquement (Figure 20). 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) ;
- La largeur des zones d'incertitude concernées.

Un indice de qualité des connaissances minimum (I.Q.=B ou C, Tableau 14) est requis pour évaluer l'aléa faille active capable d'engendrer une rupture co-sismique en surface. Ainsi, pour Terre-de-Haut, l'évaluation porte sur :

- Failles Nord du graben de Terre-de-Haut (faille n°1, I.Q.=B).
- Faille Sud du graben de Terre-de-Haut (faille n°2, I.Q.=B).

Ile	Dénomination	Activité (approche géologique)					
	Faille ou système de failles	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 ≥ 5.0 à 5.5 associé
Terre-de-Haut	Graben de Terre-de-Haut (failles n°1 et 2)	Oui Feuillet (2000)	Inconnu	Pas d'étude	Pas d'étude	Pas d'étude	**Oui sur le système de failles des Saintes Séisme du 21-11-2004 (M=6.3) et répliques (14-02-2005, M=5.7)**
Terre-de-Haut	Faille Sud de Terre-de-Haut (n°3)	Oui Feuillet (2000)	Inconnu	Pas d'étude	Pas d'étude	Pas d'étude	
Terre-de-Bas	Faille Gros Cap-Pointe Sud (n°4), Terre-de-Bas	Oui Feuillet (2000)	< 1.3 Ma à 600 000 ans	Pas d'étude	Pas d'étude	Pas d'étude	

Tableau 13 : Synthèse des connaissances relatives aux évidences de déplacement en surface des failles des Saintes, à partir de la carte géologique au 1/20 000ème (Jacques et Maury, 1988) et des travaux de FEUILLET (2000)

Tracé de la faille : connaissance et précision spatiale	Activité de la faille : connaissance de ruptures de surface		
	Douteuse (≤ 2 Ma)	Probable (≤ 700 ka)	Reconnue (≤ 30 000 ans)
Présomption d'existence, 1/100 000 à 1/50 000, ~300 à 400 m de large.	**Faille Sud de Terre-de-Haut (n°3)** (I.Q.=A)	/	**Failles du graben de Terre-de-Haut (failles n°1 et 2)** Rupture en mer possible mais non vérifiée, Et fissures observées à terre lors du séisme de 2004 (I.Q.=B)
Présence confirmée, 1/25 000, 200 m de large à terre à 400 m en mer.	/	**Faille Gros Cap-Pointe Sud A Terre-de-Bas** (I.Q.=B)	/
Localisation précise, 1/10 000 à 1/1 000, 50 à 150 m de large.	/	/	/

Tableau 14 : Appréciation (Indice de Qualité) des connaissances relatives aux failles actives pour les communes des Saintes.

Île	Dénomination des failles	Tracé et géométrie en surface							Expressions morphologique et géophysique en profondeur (géométrie)	
	Faille ou système de failles	Longueur observée	Longueur totale suspectée	Orientation	Faille identifiée : Echelle régionale (1/100 000)	Carte géologique (1/20 000)	Thèse universitaire	Etude appliquée (1/25 000-1/10 000)	A l'échelle de la faille (1/100 000 à 1/50 000)	Ponctuellement, à l'échelle d'un site (1/10 000)
Terre-de-Haut	Graben de Terre-de-Haut (failles n°1 et 2)	660 et 800 m	> 5 km	ESE-ONO	/	/	FEUILLET (2000)	Pas d'étude	Expression géomorphologique moyenne	Pas d'étude
	Faille Sud de Terre-de-Haut (n°3)	1 km	> 1 km	NO-SE	/	/	FEUILLET (2000)	Pas d'étude	Expression géomorphologique faible à nulle	Pas d'étude
Terre-de-Bas	Faille Gros Cap-Pointe Sud (n°4), Terre-de-Bas	2 km	> 2 km	NO-SE	/	Jacques et Maury (1988)	FEUILLET (2000)	Pas d'étude	Expression géomorphologique moyenne	Pas d'étude

Tableau 15 : Synthèse des connaissances relatives à la géométrie des failles de l'archipel des Saintes (d'après Feuillet, 2000 ; Jacques et Maury, 1988)

9.2.2 Définition du niveau d'aléa pour une prise en compte dans le règlement PPR

Les caractéristiques du séisme des Saintes du 21 novembre 2004 sont suffisantes pour engendrer une rupture en surface.

Les nombreuses répliques, localisées avec une assez bonne précision (de l'ordre du kilomètre) dans le secteur de Terre-de-Bas et de Terre-de-Haut, révèlent sans ambiguïté l'existence de failles sismogènes sous l'archipel, dans le prolongement du système de failles actives cartographiées entre le plateau insulaire des Saintes et la Dominique.

A terre, la fissure ouverte et rectiligne d'environ 200 m de longueur signalée entre La Savane et Anse Rodrigue, a une direction compatible avec la faille Sud du graben de Terre-de-Haut (faille n°2 Figure 21). En mer, dans la passe du Pain de Sucre, la traînée laiteuse observée lors de la réplique principale, a été initiée dans le prolongement de cette zone de faille. Elle pourrait donc être associée à une propagation de la rupture sismogène, jusque dans les terrains superficiels.

Des incertitudes fortes demeurent néanmoins, tant sur la réalité et la localisation, que sur le niveau d'activité des failles identifiées. En effet, à la différence des PPR menés sur les communes des agglomérations de Pointe-à-Pitre et de Basse-Terre, aucune étude préalable et spécifique des failles, n'a été menée sur l'Archipel des Saintes.

En l'état actuel des connaissances, et sans ces investigations spécifiques, il convient

- De considérer a minima, une bande de 200 m de large, de part et d'autre des tracés supposés, à l'intérieure de laquelle des prescriptions particulières doivent être adoptées. Le bourg Terre-de-Haut, et l'aérodrome sont situés dans cette zone ;
- De considérer les mêmes prescriptions que celles adoptées dans les règlements récents, à savoir l'interdiction des bâtiments, équipements et ouvrages de classe C et D de la catégorie à risque normal, ainsi que ceux de la catégorie à risque spécial et les installations classées pour la protection de l'environnement qui n'auraient pas fait l'objet d'une étude caractérisant le risque lié à la présence de faille active.

Ces prescriptions pourraient être minimisées, voire supprimées, par une amélioration de la connaissance des failles. Nous recommandons en particulier de mener aux Saintes, un diagnostic de localisation et de caractérisation de l'aléa, tel qu'il a pu être mené, en Guadeloupe sur le système de failles de Gosier.

Ceci implique :

- Des relevés géologiques et structuraux sur des affleurements rafraîchis ;
- La mise en œuvre de tranchées de reconnaissance sur quelques sites favorables (tracé supposé et présence de formations récentes) ;
- Le cas échéant mise en œuvre d'investigations géophysiques adaptées ;
- La caractérisation précise de l'activité des failles restant à considérer, et en particulier la détermination de la période de retour des séismes capables d'engendrer une rupture de surface.

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 (YOUD et PERKINS, 1978).
- De la présence d'eau dans les sols ;
- Des caractéristiques géotechniques des formations lithologiques.

Le séisme du 8 février 1843 et plus récemment celui du 21 novembre 2004 ont démontré la susceptibilité de certaines formations littorales. 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 ;
- Avec une suspicion accrue pour les anses abritées favorisant des dépôts sableux de moindre énergie : plus fins et homogènes.

Néanmoins, les formations colluviales fines et des formations de plages plus grossières peuvent également contenir des horizons suspects vis-à-vis de la liquéfaction. 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 épicentrales 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.

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 de Terre-de-Haut ayant déjà éprouvé de la liquéfaction, lors des séismes du 8 février 1843 ou du 21 novembre 2004 (Figure 24, Figure 25, Baie de Terre-de-Haut, plage du Marigot, Anse Figuier) ;
- Moyen (L2) pour les plages sableuses et cordons sableux (Grande-Anse, Pompierre, Anse Morel) ;
- Moyen (L2) pour l'ancienne Saline du Marigot ;
- Faible (L1) pour les plages comportant des matériaux grossiers (galets) ou hétérogènes (Anse Crawen) ;
- 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 ALEAS 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 classifie 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 en essayant de tenir compte du type de phénomènes, des facteurs de prédisposition, de l'occurrence et de l'intensité, conformément au guide du CFGI (2000).

10.1 Typologie des phénomènes

Compte tenu de la typologie des événements recensés (Figure 27), l'évaluation de l'aléa mouvements de terrain porte essentiellement sur des chutes de blocs et éboulements (P), des glissements (G) ou des phénomènes associés ou mixtes (PG).

10.2 Facteurs de prédispositions ou permanents

La géologie et la topographie sont les principaux facteurs permanents à considérer.

Du point de vue géologique (Figure 2), on peut distinguer :

- Les formations de la phase 1, largement altérées par des phénomènes hydrothermaux, où peuvent apparaître des glissements (G) ou des phénomènes associés ou mixtes (PG).
- Les formations plus récentes (phases 2 à 5), de nature plus rocheuse responsables essentiellement de phénomènes de glissements chutes de blocs et éboulements (P).

Au-delà, le facteur prépondérant pour la cartographie des aléas est donc la topographie (Figure 1) :

- 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 entre :

- Les falaises vives autour de l'Archipel ;
- Les versants du Chameau ;
- Les pentes des différents reliefs de Terre-de-Haut (Morne Morel, trace des Crêtes, Morne à Craie, Fort Napoléon, Morne Savane, etc.) ;

10.3 Facteurs déclencheurs ou aggravants : occurrence temporelle

Les conditions naturelles de déclenchement des phénomènes ou indices recensés (Figure 27) apparaissent doubles :

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

Le facteur déclencheur est relativement uniforme à l'échelle de l'archipel.

10.4 Intensité des phénomènes

Dès que des phénomènes ont été recensés, les blocs ou masses éboulés sont de l'ordre de 100 dm^3 à plusieurs m^3. 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^3) sont reconnaissables ou envisageables sur les flancs du Chameau. 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)
$V < 1\ dm^3$	Très faible à moyenne	Nulle à faible	Faible
$1\ dm^3 < V < 100\ dm^3$	Moyenne	Faible à moyenne	Faible
$0{,}1\ m^3 < V < 1\ m^3$	Moyenne à forte	Moyenne	Moyenne
$1\ m^3 < V < 1\ 000\ m^3$	Forte à majeure	Moyenne à élevée	Moyenne
$1\ 000\ m^3 < V < 100\ 000\ m^3$	Majeure	Elevée	Forte
$100\ 000\ m^3 < V$	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 (< 1m/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'un 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 ; G pour glissement) 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 établie à partir des observations, de la lithologie et de la carte des pentes.

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, la plupart des phénomènes décrits aux Saintes sont moins fréquents et posent généralement moins de problèmes que les glissements et glissements – coulées de la Basse-Terre ou les chutes de blocs de la Désirade.

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

L'aléa mouvements de terrain fort (3) est réservé pour des configurations très pénalisantes en terme :
- De phénomènes possibles, éboulement en (grande) masse ou grand nombre de chutes de gros blocs.
- De facteurs de prédispositions, formations susceptibles de libérer des blocs avec des pentes moyennes supérieures à 25° environ, dénivelé pluri-décamétrique.

Géographiquement, l'aléa mouvements de terrain fort concerne donc :
- Les falaises autour de l'archipel ;
- Une grande partie du Chameau ;
- Une partie du versant Ouest du Morne Morel.

L'aléa mouvements de terrain est jugé moyen (2) lorsque les conditions suivantes sont rencontrées :
- Un grand nombre des phénomènes de chutes de gros blocs.
- Versants avec des formations susceptibles de libérer des blocs avec des pentes moyennes supérieures à 20° environ et un dénivelé pluri-décamétrique.

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 mouvements de terrain est jugé faible (1) lorsque les conditions suivantes sont rencontrées :
- Peu de phénomènes de chutes de blocs observés.
- Des phénomènes de glissements pelliculaires donnant lieu à de l'érosion, en particulier dans les formations très altérées (phase 1, Figure 2).
- 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 que 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 et 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 (écrans pare blocs ou parades actives) 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 survenu 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 PRESENTATION DU PLAN DE ZONAGE ET DU REGLEMENT

11.1 Présentation du plan de zonage

11.1.1 Rappel des principes édictés par le Ministère de l'Ecologie 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'Ecologie 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
Faille 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 exposées, 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[18].

[18] 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 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AFPS (2005). Le séisme des Saintes (Guadeloupe) du 21 novembre 2004. Rapport de mission.

BEAUDUCEL F., ANTENOR-HABAZAC C., BAZIN S., FEUILLET N., DE CHABALIER J.B., NERCESSIAN A., JACQUES E., BOUDON G., LEFRIANT A., TAPPONIER P., HIRN A., LEPINE J.C., BERNARD P., KOMOROWSKI J.C., KING G., et équipe OVSG (Poster de présentation des travaux de l'IPGP et de l'OVSG http://www.ipgp.jussieu.fr/~beaudu/download/Poster_OVSG_Saintes.pdf.

BELLON H. (1988). Reconnaissance chronologique des deux premières phases d'activité volcaniques en Dominique (Petites Antilles). *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre. 1988, vol. 306, no20, pp. 1487-1492 (9 ref.).

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*.

BES DE BERC S., BERTIL D. (2004). Intervention de crise suite aux événements climatiques et au séisme du 21 novembre 2004 (Guadeloupe). Rapport final. BRGM/RP-53539-FR.

BERTIL D., avec la collaboration de BES DE BERC S. et DOUGLAS J. (2005). Synthèse de la crise sismique des Saintes (GPE) entre le 21 novembre 2004 et le 30 mars 2005. Rapport final. BRGM/RP-54404-FR.

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, Denis Diderot, p. 1-283 (deux volumes).*

GRELLET B., SAURET B., CHABELLARD J.G., BONNETON (1988). Cadre général de la tectonique récente de la Guadeloupe. Rapport BRGM, 88 SGN 627 GEG.

MONGE O. (2006). Etude de risques sur la zone dite des 50 pas géométriques. Secteur de Grande-Anse à Terre-de-Bas. Rapport GTR/AG50/1206-331.

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..*

SAFFACHE P., MARC J.-V., HUYGHES-BELROSE V. (2003). Les cyclones en Guadeloupe. Quatre siècles cataclysmiques. IBIS Rouge Edition

SAINTE-CLAIRE DEVILLE Ch. (1843). Observations sur le tremblement de terre éprouvé à la Guadeloupe le 8 février 1843. Basse-Terre, juillet 1843.

ZAHIBO N., PELINOVSKY E., OKAL E., YALÇINER A), KHARIF C., TALIPOVA T., KOZELKOV A. (2005). The earthquake and tsunami of November 21, 2004 at les Saintes, Guadeloupe, Lesser Antilles. Science of Tsunami Hazards, Vol. 23, No. 1, page 25.

GUIDES PPR

MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTERE 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.*.

MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTERE DE L'EQUIPEMENT DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT (1997). Guide méthodologique – Plans de prévention des risques littoraux (PPR). *La Documentation française, Paris, 56 p.*.

MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTERE 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.*.

MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTERE 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.*.

MINISTERE DE L'ECOLOGIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE, MINISTERE 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 : Morphologie de Terre-de-Haut (d'après données IGN et OPSIA).

Figure 2 : Chronologie des 5 phases volcaniques de l'histoire géologique des Saintes (d'après JACQUES et MAURY, 1988).

Figure 3 : Carte géologique de Terre-de-Haut (extrait de la carte géologique des Saintes d'après JACQUES et MAURY, 1988).

Figure 4 : Interprétation des mesures de bruit de fond réalisées par GEOTER.

Figure 5 : Mesures de bruit de fond et rapports H/V au droit de l'école primaire de Terre-de-Haut.

Figure 6 : Mesures de bruit de fond et rapports H/V autour de la mairie de Terre-de-Haut.

Figure 7 : Mesures de bruit de fond et rapports H/V au droit du stade de Marigot.

Figure 8 : Zones urbanisées et non urbanisées de Terre-de-Haut.

Figure 9 : Schéma d'Aménagement Régional (SAR) sur l'archipel des Saintes.

Figure 10 : POS de Terre-de-Haut.

Figure 11 : Projets d'aménagement en cours ou envisagés sur Terre-de-Haut.

Figure 12 : Le bâti (gauche) et le réseau viaire (droite) de Terre-de-Haut.

Figure 13 : Les enjeux environnementaux de Terre-de-Haut.

Figure 14 : Carte informative des phénomènes météorologiques de Terre-de-Haut.

Figure 15 : Contexte géodynamique et activité sismique de l'arc des Petites Antilles.

Figure 16 : Activité sismique superficielle et profonde de la partie Nord de l'arc des Petites Antilles et coupe de la subduction à la latitude de la Guadeloupe.

Figure 17 : Contexte sismotectonique du secteur de l'archipel des Saintes.

Figure 18 : Cartographie du système de failles des Saintes d'après FEUILLET (2000) et profils bathymétriques WSW-ENE recoupant le système de failles normales.

Figure 19 : Localisation des épicentres du séisme des Saintes du 21 novembre 2004 et de ses principales répliques.

Figure 20 : Carte des failles de l'archipel des Saintes et épicentres des séismes d'après le catalogue ISC (1978-2006).

Figure 21 : Carte de zones de failles actives avec rupture de surface potentielle de Terre-de-Haut aux Saintes.

Figure 22 : Mouvements du sol, enregistrés à Marie-Galante (station GBGA), lors du séisme des Saintes (21/11/2004).

Figure 23 : Mouvements du sol, enregistrés à Terre-de-Bas (station TDBA), lors de la réplique du 14 février 2005.

Figure 24 : Effets induits du séisme du 8 février 1843 aux Saintes (d'après SAINTE-CLAIRE DEVILLE, 1843 in LAMBERT et BERNARD, 1985).

Figure 25 : Carte informative des effets de la crise sismique des Saintes (21 novembre 2004 et 14 février 2005).

Figure 26 : Typologie des mouvements de terrain (d'après MOMPELAT, 1994)

Figure 27 : Carte informative des mouvements de terrain à Terre-de-Haut.

Figure 28 : Grandeurs significatives retenues dans l'évaluation de l'aléa cyclonique.

Figure 29 : Diagramme de Hjulström.

Figure 30 : Spectres de réponses normalisés associés aux différentes zones présentant une réponse sismique homogène

14 LISTE DES TABLEAUX

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

Tableau 2 : Evolution des zonages entre le POS et le PLU.

Tableau 3 : Effets macrosismiques ressentis aux Saintes (d'après Sis-France-Antilles).

Tableau 4 : Caractéristiques de la houle au large, d'occurrence centennale (d'après Météo-France).

Tableau 5 : Surcotes estimées pour le littoral de Terre-de-Haut, selon une occurrence centennale.

Tableau 6 : Critères de détermination des niveaux d'aléa cyclonique (houle et submersion marine).

Tableau 7 : Détermination des niveaux d'aléa inondation.

Tableau 8 : Types de site déduits des reconnaissances disponibles.

Tableau 9 : Types de site associés aux différentes unités géomorphologiques des Saintes.

Tableau 10 : Classification des classes de sol selon la réglementation EC8.

Tableau 11 : Définition des types de site (PS92).

Tableau 12 : Spectres de réponses, associés aux différentes zones présentant une réponse sismique homogène.

Tableau 13 : Synthèse des connaissances relatives aux évidences de déplacement en surface des failles des Saintes, à partir de la carte géologique au 1/20 000ème (Jacques et Maury, 1988) et des travaux de FEUILLET (2000)

Tableau 14 : Appréciation (Indice de Qualité) des connaissances relatives aux failles actives pour les communes des Saintes.

Tableau 15 : Synthèse des connaissances relatives à la géométrie des failles de l'archipel des Saintes

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 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

16 PLANCHES HORS TEXTE

Carte 1 : Aléa cyclonique (houle et submersion).

Carte 2 : Aléa inondation.

Carte 3 : Aléas sismiques (effet de site, faille active, liquéfaction).

Carte 4 : Aléas mouvements de terrain.

Carte 5 : Plan de zonage.

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 URBANISES

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 A PRESERVER

- 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)

0 **secousse déclarée non ressentie** (valeur propre à SisFrance, hors échelle MSK),

1 **secousse non ressentie**, mais enregistrée par les instruments (valeur non utilisée),

2 **secousse partiellement ressentie**, notamment par des personnes au repos et aux étages,

3 **secousse faiblement ressentie**, balancement des objets suspendus,

4 **secousse largement ressentie** dans et hors les habitations, tremblement des objets,

5 **secousse forte**, réveil des dormeurs, chutes d'objets, parfois légères fissures dans les plâtres,

6 **dommages légers**, parfois fissures dans les murs, frayeur de nombreuses personnes,

7 **dommages prononcés**, larges lézardes dans les murs de nombreuses habitations, chutes de cheminées,

8 **dégâts massifs**, les habitations les plus vulnérables sont détruites, presque toutes subissent des dégâts importants,

9 **destructions** de nombreuses constructions, quelquefois de bonne qualité, chutes de monuments et de colonnes,

10 **destruction générale** des constructions, même les moins vulnérables (non parasismiques),

11 **catastrophe**, toutes les constructions sont détruites (ponts, barrages, canalisations enterrées…),

12 **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 . Si(T) pour les règles nationales PS 92 ;
- a_g . Si(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 Si(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 dm^3 ;
- Les **blocs**, d'un volume compris entre 1 dm^3 et 1 m^3 ;
- Les **gros blocs**, d'un volume supérieur à 1 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 m^3 ;
- Les **éboulements** en masse, d'un volume allant de quelques centaines de m^3 à quelques centaines de milliers de m^3 ;
- Les **éboulements** (ou écroulements) **en grande masse**, d'un volume supérieur au million de 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 CONSEQUENCES

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 PREVENTION

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.