



PREFECTURE DE LA REGION
GUADELOUPE

COMMUNE DE GOURBEYRE

Plan de Prévention des Risques Naturels

Rapport de présentation

- Avril 2003 -

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	5
2	LES RAISONS DE LA PRESCRIPTION DU PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES MÉTÉOROLOGIQUES ET GÉOLOGIQUES	6
3	LE CONTEXTE PHYSIQUE.....	7
3.1	CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE	7
3.2	CONTEXTE CLIMATIQUE	7
3.3	CONTEXTE GÉOLOGIQUE	9
3.4	CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE	10
4	EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DES PRINCIPAUX ENJEUX.....	11
4.1	POPULATION.....	11
4.2	AMÉNAGEMENT ET URBANISME	11
4.3	PRINCIPAUX ENJEUX.....	12
4.4	PRÉSUMPTION DE VULNÉRABILITÉ DES PRINCIPAUX BÂTIMENTS DE CLASSE C ET D	18
5	LES PHÉNOMÈNES NATURELS CONNUS.....	19
5.1	PRÉSENTATION DE LA DÉMARCHE	19
5.2	PHÉNOMÈNES ASSOCIÉS AUX TREMBLEMENTS DE TERRE.....	19
5.3	PHÉNOMÈNES DE MOUVEMENT DE TERRAIN	27
5.4	PHÉNOMÈNES VOLCANIQUES	29
5.5	PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES	31
5.6	A RETENIR SUR LES PHÉNOMÈNES NATURELS CONNUS	34
6	EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA FAILLE ACTIVE, CAPABLE D'ENGENDRER UNE RUPTURE CO-SISMIQUE EN SURFACE	36
6.1	LA FAILLE DE LA SOUFRIÈRE OUEST	36
6.2	LES SEGMENTS DE FAILLE DE RIVIÈRE SENS, BALISIER ET BOUCANIER DU SYSTÈME DE FAILLES DES MONTS CARAÏBES-MADELEINE	36
6.3	EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA FAILLE ACTIVE, CAPABLE D'ENGENDRER UNE RUPTURE CO-SISMIQUE EN SURFACE.....	37
7	EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA SISMIQUE	38
7.1	PRÉSENTATION DE LA DÉMARCHE	38
7.2	MOUVEMENTS SISMQUES AU ROCHER	39
7.3	MOUVEMENTS SISMQUES TENANT COMPTE DES CONDITIONS PARTICULIÈRES DE SITE...	42
7.4	EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA SISMIQUE.....	46

8	EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA LIQUÉFACTION.....	49
8.1	PRÉSENTATION DE LA DÉMARCHE	49
8.2	SUSCEPTIBILITÉ À LA LIQUÉFACTION.....	49
8.3	INITIATION DE LA LIQUÉFACTION	54
8.4	INTENSITÉ DE LA LIQUÉFACTION	54
8.5	EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA LIQUÉFACTION.	55
9	EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DES ALÉAS MOUVEMENT DE TERRAIN	56
9.1	PRÉSENTATION DE LA DÉMARCHE	56
9.2	CHUTE DE PIERRES, CHUTE DE BLOCS, ÉBOULEMENT EN MASSE OU EN GRANDE MASSE .	57
9.3	GLISSEMENT, COULÉE DE BOUE, GLISSEMENT/COULÉE	59
9.4	MOUVEMENT GRAVITAIRE INDIFFÉRENCIÉ	61
9.5	EMBÂCLES	61
10	EVALUATION DES SCÉNARIOS D'ÉRUPTION VOLCANIQUE	62
10.1	PRÉSENTATION DE LA DÉMARCHE	62
10.2	LES SCÉNARIOS D'ÉRUPTION VOLCANIQUE.....	62
10.3	EVALUATION DES SCÉNARIOS D'ÉRUPTION VOLCANIQUE	64
11	EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DES ALÉAS CYCLONIQUES.....	65
11.1	PRÉSENTATION DE LA DÉMARCHE	65
11.2	SURCOTE CYCLONIQUE.....	65
11.3	EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA CYCLONIQUE	67
12	EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA INONDATION.....	69
12.1	PRÉSENTATION DE LA DÉMARCHE	69
12.2	EVALUATION DE L'ALÉA INONDATION	72
12.3	CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA INONDATION.....	73
13	RÉFÉRENCES.....	79
14	LISTE DES FIGURES	81
15	LISTE DES TABLEAUX.....	82
16	LISTE DES CARTES.....	84
17	ANNEXE 1 : MÉTHODES ET DÉFINITIONS	85
17.1	FAILLE ACTIVE, CAPABLE D'ENGENDRER UNE RUPTURE CO-SISMIQUE EN SURFACE	85
17.2	LIQUÉFACTION DES SOLS SOUS SÉISME	86
17.3	MOUVEMENTS DE TERRAIN	87
17.4	PHÉNOMÈNES VOLCANIQUES.....	93
17.5	PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES	94
18	ANNEXE 2 : EQUATION DES BRANCHES DES SPECTRES DE RÉPONSE.....	100
19	ANNEXE 3 : ARTICLES DE PRESSE	101

RESUME DETAILLE

Le Service Aménagement et Urbanisme de la Direction Départementale de l'Équipement de Guadeloupe a confié¹ à GEOTER International, la réalisation du Plan de Prévention des Risques (PPR) géologiques et météorologiques et sur la commune de Gourbeyre. Le BCEOM a eu la responsabilité de l'évaluation et la cartographie des aléas météorologiques.

Les pièces constitutives du PPR sont :

- Une note de présentation ;
- Un document graphique délimitant le zonage réglementaire et un règlement.

La note de présentation, objet du présent rapport, présente :

- Les raisons de la prescription du PPR (§ 2) ;
- Le contexte physique (§ 3) ;
- Les principaux enjeux (§ 4) ;
- Les phénomènes naturels connus (§ 5) ;
- L'évaluation et la cartographie de l'aléa faille active avec rupture de surface (§ 6) ;
- L'évaluation et la cartographie de l'aléa sismique (§ 7) ;
- L'évaluation et la cartographie de l'aléa liquéfaction (§ 8) ;
- L'évaluation et la cartographie des aléas mouvements de terrain (§ 9) ;
- L'évaluation des scénarios d'éruption volcanique (§ 10) ;
- L'évaluation et la cartographie de l'aléa cyclonique (§ 11) ;
- L'évaluation et la cartographie de l'aléa inondation (§ 12) ;

Les aléas sont représentés dans l'atlas de cartes hors texte, à l'échelle du 1/10 000. Il en est de même pour les principaux enjeux.

Le plan de zonage et le règlement font l'objet d'un rapport particulier. Ce plan délimite les zones dans lesquelles sont applicables des interdictions, des prescriptions réglementaires homogènes, et/ou des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde.

Ces dispositions réglementaires constituent le règlement du PPR multirisque de la commune de Gourbeyre.

¹ Lettre de commande du 26 avril 2002.

Note de présentation

Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles.
Risques géologiques et météorologiques.
Commune de Gourbeyre.

1 INTRODUCTION

Le Service Aménagement et Urbanisme de la Direction Départementale de l'Équipement de Guadeloupe a confié² à GEOTER International, la réalisation du Plan de Prévention des Risques (PPR) géologiques et météorologiques et sur la commune de Gourbeyre. Le BCEOM a eu la responsabilité de l'évaluation et la cartographie des aléas météorologiques.

Conformément aux termes du cahier des charges et de notre proposition technique et financière³, le présent rapport constitue le **dossier technique de présentation du PPR**. Il comprend les aspects suivants :

- Les raisons de la prescription du PPR (§ 2) ;
- Le contexte physique (§ 3) ;
- Les principaux enjeux (§ 4).
- Les phénomènes naturels connus (§ 5) ;
- L'évaluation et la cartographie des aléas :
 - o Faille active capable d'engendrer une rupture co-sismique en surface (§ 0),
 - o Sismique (§ 7) ;
 - o Liquéfaction (§ 8) ;
 - o Mouvement de terrain (§ 9) ;
 - o Volcanique (§ 10) ;
 - o Cyclonique (§ 11) ;
 - o Inondation (§ 12) ;

Le **dossier administratif du PPR**, comporte le plan de zonage et la proposition de règlement ; il fait l'objet d'un second rapport.

² Lettre de commande du 26 avril 2002.

³ Devis DGTI/DDEG/0901-112-Rev2 du 2 janvier 2002.

2 LES RAISONS DE LA PRESCRIPTION DU PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES MÉTÉOROLOGIQUES ET GÉOLOGIQUES

La pression démographique existant en Guadeloupe, qui plus est compte tenu de son insularité, pose de façon aiguë le problème de l'aménagement du territoire.

Dans ce contexte, les phénomènes naturels dangereux représentent des contraintes supplémentaires dont il convient d'apprécier les intensités et les conséquences potentielles sur le développement local. Comme cela est précisé sur le site internet⁴ du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD), la commune de Gourbeyre est exposée aux phénomènes suivants (§ 5) :

- Séisme (zone de sismicité III) ;
- Mouvement de terrain ;
- Volcan ;
- Cyclone/Tempête ;
- Inondation.

Ces phénomènes, qui se manifestent parfois avec violence, sont susceptibles d'affecter la population et les biens exposés.

L'agglomération de Basse-Terre, comprenant la commune de Gourbeyre, représente un pôle administratif et économique régional.

L'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques géologiques et météorologiques est essentielle tant pour le développement et l'aménagement de la commune que pour ceux de la Guadeloupe.

Il va permettre dans un premier temps de différencier :

- Les zones où les contraintes naturelles sont incompatibles avec des projets d'aménagement, en raison de l'impossibilité de les réduire par des mesures techniquement possibles et économiquement réalistes ;
- Des zones sans contraintes spécifiques, ou pour lesquelles des mesures compensatoires ou préventives peuvent être envisagées.

Dans un second temps, il va fournir les éléments nécessaires à la politique d'aménagement, de développement et de construction dans ces zones.

⁴ <http://www.prim.net/>

3 LE CONTEXTE PHYSIQUE

3.1 Contexte géographique

La commune de Gourbeyre est située au Sud de l'île de Basse-Terre, sur les flancs du massif de la Soufrière, au Nord et des Monts Caraïbes au Sud (Figure 1). Sa superficie est de 23 km². Les limites communales sont naturelles :

- La Rivière du Galion au Nord-Ouest, mitoyenne avec les communes de Basse-Terre et Saint-Claude ;
- La ligne de crête passant par les volcans de l'Echelle (1397 m) et la Citerne (1155 m) au Nord, mitoyenne avec les communes de Capesterre-Belle-Eau et de Trois-Rivières ;
- La Rivière Grande Anse à l'Est, mitoyenne avec la commune de Trois-Rivières ;
- La ligne de crête des Monts Caraïbes passant par Vent Soufflé (687 m) et Morne Grand Voute au Sud mitoyenne avec les communes de Trois-Rivières et Vieux-Fort ;
- La mer caraïbe au Sud-Ouest ;

Aux rivières déjà nommées, il convient d'ajouter la Rivière Sens. Les altitudes s'étagent entre 0 et 1400 m. Les pentes sont très variables selon les unités géomorphologiques.

Les données de base servant de référence pour les différentes cartographies sont les suivantes :

- Orthophoto OPTIA⁵ ;
- Modèle numérique de terrain OPTIA⁶.

A la demande de la DDE Guadeloupe, service instructeur du PPR, ces données, homogènes entre elles et avec la base de données du bâti ont été préférées à celles de l'IGN.

3.2 Contexte climatique

La Guadeloupe a un climat tropical humide en contexte insulaire. Les principales particularités sont :

- La variabilité spatiale du régime des précipitations, imposée par la morphologie des îles ;
- La variabilité temporelle du régime des précipitations ;
- L'échelle et la fréquence des perturbations atmosphériques.

Le plateau calcaire de la Grande-Terre et les îles connaissent régulièrement de sévères sécheresses. En Basse-Terre, le relief, perpendiculaire au flux des alizés, régule le régime des pluies. Les précipitations annuelles du Sud de la Basse-Terre sont très contrastées⁷ :

- Moins de 1 250 mm/an sur le littoral de la côte sous le vent ;
- Plus de 4 000 mm/an au sommet de la soufrière, à 10 km de distance.

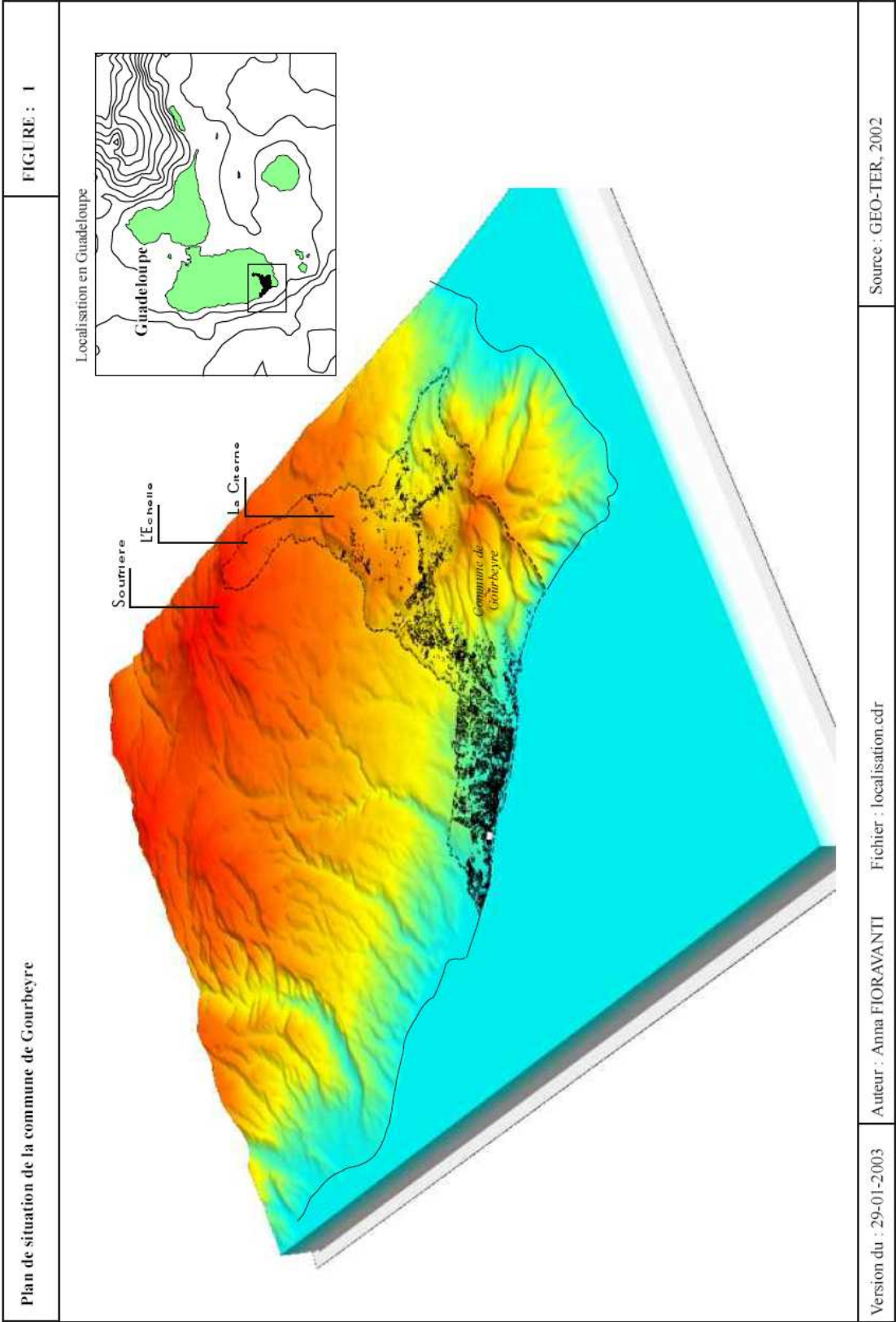
Au cours de l'année, alternent une saison plus sèche et une saison plus humide. Il s'agit respectivement du **carême** (environ décembre à mai) et de l'**hivernage** (environ juin à novembre). L'hivernage correspond à la **saison cyclonique**.

Les phénomènes météorologiques peuvent provoquer de terribles intempéries, sources d'inondations catastrophiques ou de coups de vent tout aussi dévastateurs. A grande échelle il s'agit par exemple des cyclones et lignes de grains. A l'échelle locale, des convections diurnes favorisent le développement de nuages vecteurs d'averses orageuses souvent violentes.

⁵ Convention DDAF Guadeloupe

⁶ Acquisition auprès de l'observatoire DDE Guadeloupe

⁷ Figure 7 : d'après projet de SDAGE Guadeloupe (octobre 2002).



3.3 Contexte géologique

Six ensembles volcano-structuraux se sont succédés dans l'espace et dans le temps pour donner à la Basse-Terre sa configuration actuelle (Tableau 1). Les Monts Caraïbes au Sud, la Chaîne Axiale et la Chaîne de Bouillante vers le Nord forment le soubassement du massif de la Soufrière (Tableau 2).

Géologie	Ensembles volcano-structuraux	Age ⁸
(Tableau 2)	Massif de la Soufrière.	Depuis –250 ou –140 ka.
X3	Episode explosif de l'Anse des Pères	–150 ka
	Chaîne de Bouillante , ensemble de petits appareils éruptifs, construits sur le flanc caraïbe de la Chaîne Axiale.	Depuis –0,8 ou –0,6 Ma jusqu'au début de l'activité de la Soufrière.
X2	Monts Caraïbes , morphologiquement bien individualisés à la pointe méridionale de la Basse-Terre.	–0,5 Ma
X1	Chaîne Axiale , ensemble Pitons de Bouillante, Sans – Toucher et Montagne de Capesterre	–1,5 à –0,6 Ma
Non représenté	Massif septentrional , s'achevant avec l'extrusion des Mamelles	–4 à –1 Ma
Non représenté	Complexe de base , affleurant à l'extrémité septentrionale de l'île	–3,5 Ma

Tableau 1 : Ensembles volcano-structuraux de la Basse-Terre (d'après BOUDON *et al.*, 1987).

Phases	Géologie	Evolution	Age
Soufrière	S7 S8	Episode Soufrière	1440 ±100 ans
	S6	Cônes stromboliens de l'Echelle et de la Citerne	cal 360 AD ⁹
	S5		2 700 BP
Carmichaël	S4	Episode Amic	
	S3	Eruption cataclysmale de type «Mount Saint-Helens»	3 100 BP ¹⁰
	S1 et S2		3 100 à 4 500 BP
	G7 et G8	Effondrement sectoriel de la Grande Découverte	11 500 et 8 000 BP
	M1 à M7	Phase Madeleine <i>stricto sensu</i>	
	GM	Dépôts pyroclastiques du Grand Carbet	–14 à >–40 ka
	G5 et G6	Episode Carmichaël	Environ –100 à 15 ka (Entre –140 ka et 11 500 BP)
/	GM1 à GM5	Ensemble effusif de Trois-Rivières	–14 à –150 ka
Grande découverte	G4	Episode plinien de Pintade	Vers –100 ka
	G1 à G3	Grande découverte <i>stricto sensu</i>	–140 ka

Tableau 2 : Principales unités au sein du Massif de la Soufrière (d'après BOUDON *et al.*, 1987).

⁸ Ma : million d'années ; ka : millier d'années.

⁹ Date calibrée du calendrier grégorien Anno Domini

¹⁰ BP : « Before Present », avant l'année de référence de 1950.

Les principales unités géomorphologiques suivantes sont identifiées sur la commune de Goubeyre :

- Les **Monts Caraïbes** au Sud (X2), au relief très abrupt, formés de crêtes effilées et de pentes très fortes ;
- Les coulées de lave massive superposées de Trois rivières (GM4 et GM5) au Nord de Dolé et de la phase Grande découverte *stricto sensu* (G2 et G3) entre la Rivière du Galion et la Rivière de Grande Anse au Nord de la commune avec alternance de fronts de coulées raides et de zones planes ;
- Le volcan du **Morne Lenglet** (PM7) et la coulée massive du **Plateau du Palmiste** (M7) avec un fond et des bords de coulées épais (200 m environ) et très raides ($\geq 30^\circ$) ;
- La **planèze** de Blanchet au Sud de la Rivière du Galion, avec une pente régulière, de l'ordre de 5° est orientée au Sud-Ouest, formée par l'ensemble superposé de coulées de débris de l'éruption cataclysmale de type Saint-Helens (DbS3) que l'on retrouve également sur le plateau du Palmiste et jusqu'à Dolé ;
- La **dépression de Val Kanaërs**, ayant accumulé des dépôts limniques, consécutivement à l'obstruction de la vallée par la coulée du Plateau du Palmiste.

En outre, une bonne partie des terrains sont recouverts par les dépôts de la déferlante associée à l'éruption cataclysmale datée de 3 100 BP. Compte tenu de la nature des matériaux et des conditions climatiques tropicales, les formations sont généralement altérées. Enfin, des alluvions sont présentes à Rivière Sens, ainsi que des lahars dans le lit de certaines rivières.

Des contours des unités géomorphologiques ont été définis en tenant compte de traits physiques : pentes, crêtes, altitudes.

3.4 Contexte hydrogéologique

En domaine volcanique, les aquifères sont souvent discontinus. Leur extension est difficile à apprécier.

Toutefois, on peut considérer l'existence d'un certain nombre de zones saturées en eau :

- Les zones alluviales, notamment littorales ;
- La zone sub-endoréique de Val Kanaërs avec une zone saturée proche de la surface ;
- Des zones localement saturées à la faveur d'un contraste de perméabilité ou d'une perméabilité de fissure (coulées de laves, dépôts pyroclastiques,).

La commune de Goubeyre, avec la source de Capes-Dolé et les sources de Belle-Terre sont des exemples d'aquifères productifs d'extension limitée.

4 EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DES PRINCIPAUX ENJEUX

4.1 Population

La population de la ville de Gourbeyre était de 7 642 habitants lors du dernier recensement général de la population (1999) par l'INSEE (www.recensement.insee.fr). La densité communale est de 333 habitants/km².

4.2 Aménagement et urbanisme

D'après les documents numériques remis par la DDE, le Plan d'Occupation des Sols (POS) de la commune de Gourbeyre distingue les entités géographiques suivantes (Carte 1) :

- U, zones urbanisées ;
- NA, zones naturelles destinées à l'extension urbaine ;
- NB, zones naturelles à l'urbanisation diffuse où l'insuffisance des équipements (voirie, eau, assainissement) entraîne une stricte limitation de la construction ;
- NC, zones de richesses naturelles protégées en raison de la valeur agricole des terres ;
- ND, zones naturelles protégées pour la qualité des sites et des paysages ou pour l'existence de risques naturels.

Le Schéma d'Aménagement Régional (SAR) de Guadeloupe a été approuvé par décret en conseil d'état du 5 janvier 2001 (n°2001-16). Il fournit des indications sur la destination générale des sols (Tableau 3).

Espaces	Localisation
Urbains résidentiels Destinés à l'urbanisation résidentielle	Bourg de Gourbeyre, Val Kanaërs Autour de la RN1 Champfleury Liard (Plateau du Palmiste)
Agricoles à protection forte A vocation agricole	Essentiel du Plateau du Palmiste Les fonds de Champfleury Gilardin Denisse
Naturels et ruraux de développement	Plaine de Ravine Blanche (Houëlmont) Saint Jean bosco Grande Savane, Robert
D'activité économique existant	Carrière de Rivière Sens
Naturels à protection forte	Parc National de Guadeloupe
Naturels remarquables ou caractéristiques du littoral.	Monts Caraïbes
A vocation naturelle	Rivière du Galion Versant Sud-Ouest de la crête Zandoli Contre-fort du plateau du Palmiste Morne Boucanier Ravine Gaudry, Ravine l'Ilet et Ravine Blanche (Dolé).

Tableau 3 : Destination générale des sols de Gourbeyre (d'après le Schéma d'Aménagement Régional de Guadeloupe).

4.3 Principaux enjeux

Il est nécessaire d'identifier et d'évaluer les éléments exposés¹¹ qui constituent des enjeux significatifs. Pour cela, on se réfère notamment à la réglementation parasismique française en vigueur et aux textes afférents :

- Décret n°91-461 du 14 mai 1991 ;
- Arrêté du 29 mai 1997 ;
- Code de la construction et de l'habitation.

4.3.1 Bâtiments courants et bâtiments stratégiques

Une liste des principaux bâtiments, notamment publics, a été établie (Tableau 4), en reprenant notamment les travaux réalisés dans le cadre du XI^{ième} CPER (LE BRUN et MONGE, 2001). Les informations sur les établissements scolaires proviennent de l'académie de Guadeloupe (www.ac-guadeloupe.fr).

Les bâtiments ayant un rôle dans l'organisation des secours et la gestion de crise relèvent de la classe D à risque normal. Pour les autres bâtiments identifiés, selon qu'ils peuvent accueillir simultanément, plus ou moins de 300 personnes, ils sont respectivement affectés à la classe C ou B à risque normal.

Nom	Fonction	Propriétaire	Caractéristiques	Classe de risque
Mairie	Gestion de crise Administration	Commune		Normal, D
Centre de Secours	Gestion de crise	SDIS		Normal, D
Gendarmerie	Sécurité	Etat (Armée)		Normal, D
Observatoire volcanologique	Sciences, gestion de crise	Etat		Normal, D
Collège Richard SAMUEL	Enseignement	Conseil Général	338 élèves	Normal, C
Collège Grand Camp	Enseignement	Conseil Général		Normal, C
3 écoles primaires	Enseignement	Commune	460 élèves	Normal, B
3 écoles maternelles	Enseignement	Commune	330 élèves	Normal, B
Lycée professionnel Blanchet	Enseignement	Privé		Normal, C
Centre éducatif. Institution Jeanne d'Arc	Enseignement	Privé		Normal, C
Centre médico pédagogique	Santé			Normal, C
Archives départementales	Administration	Etat		Normal, C

Tableau 4 : Classification des principaux enjeux de la commune de Gourbeyre.

¹¹ Eléments exposés ou éléments à risque (Nations Unies, 1992) : “ Population, constructions et ouvrages de génie civil, activités économiques, services et infrastructures publiques, etc., exposés à un aléa ”. Selon sa valeur, un élément exposé est un enjeu plus ou moins important.

4.3.2 Réseaux de service

4.3.2.1. Eau Potable, assainissement et pluvial

On ne dispose que d'éléments imprécis vis-à-vis du réseau d'eau potable.

Par ailleurs, la carte topographique et les photographies aériennes ont permis de repérer un certain nombre d'éléments de ces réseaux de service :

- Réservoirs d'eau dont les réservoirs du Palmiste (1000 m³) et de Bisdary (2000 m³) ;
- Stations de pompage dont celles du plateau du Palmiste (1000 m³), de Dolé (1700 m³) et du Pont des Braves (1200 m³) ;
- Station d'épuration à l'embouchure de la Rivière des Pères au Baillif.

4.3.2.2. Electricité

Une centrale électrique (poste source) se trouve à Rivière Sens. Elle est située sur la boucle de Basse-Terre du réseau électrique haute tension (63 kV) de Guadeloupe. Cette ligne comporte plusieurs pylônes d'angles.

4.3.2.3. Communications

Des antennes de télécommunications sont implantées au volcan de la Citerne, sur la limite communale de Trois-Rivières.

4.3.2.4. Autres réseaux de service

EDF Guadeloupe nous a confirmé qu'il n'y avait pas de réseau de gaz « de ville » en Guadeloupe.

Une décharge d'ordures ménagères existe actuellement au Baillif en bordure de la RN2.

Deux installations d'incinération des déchets avec valorisation énergétique sont retenues dans le schéma départemental d'élimination des déchets en Guadeloupe, agréé par les pouvoirs publics. Pour la Basse-Terre, il s'agit d'une installation au Baillif, devant traiter environ 30 000 tonnes de déchets par an, et produire de l'ordre de 1 500 kW d'électricité.

4.3.3 Réseaux de transport

4.3.3.1. Routes

Les principales voies de communication à partir de la ville de Gourbeyre sont les suivantes :

- Route Nationale 1, reliant Basse-Terre à Pointe à Pitre par la Côte au vent ;
- Route Départementale 9, reliant Gourbeyre à Saint-Claude par Chosy ;
- Route Départementale 7, reliant Gourbeyre à Trois-Rivières par Dolé ;
- Route Départementale 6, reliant Rivière Sens à Vieux-Fort.

Les ouvrages de franchissement de la Rivière du Galion à l'Ouest et la Rivière Grande Anse à L'est sont des passages incontournables pour quitter Gourbeyre par la route. Sept ponts revêtent par conséquent un intérêt particulier :

- Rivière du Galion ;
 - Pont des Marsouins sur la RD9 ;
 - Pont au niveau du Fort Delgrès ;
 - Pont sur la RN1, à l'aval de la Rivière du Galion ;
- Rivière Grande Anse ;
 - Ponts sur la RD5, la RN1 et la RD7 entre Gourbeyre et Trois Rivières ;
 - Pont sur la RD6 à Trois-Rivières.

En outre, la RD10 est l'unique route permettant d'accéder au Plateau du Palmiste.

Plusieurs stations services sont présentes sur la commune :

- RN1, Blanchet (Elf) ;
- Val kanaërs (Elf) ;
- Rivière sens (Total).

4.3.3.2. Port

La ville de Basse-Terre accueille des infrastructures portuaires du Port Autonome de Guadeloupe (Figure 2). Les caractéristiques du port sont les suivantes (<http://www.port-guadeloupe.com>) :

- Site abrité du vent ;
- Pas de marée ;
- Le chenal d'accès est dragué à 11 m.
- Fret et croisière ;
- Quai de 300 m de long ;
- 8,7 m de tirant d'eau.

La ville de Gourbeyre est en train de réaliser (juin 2002) une plate-forme logistique pour le Port Autonome de Guadeloupe.

La marina de Rivière Sens à Gourbeyre est un port de plaisance (Figure 3).

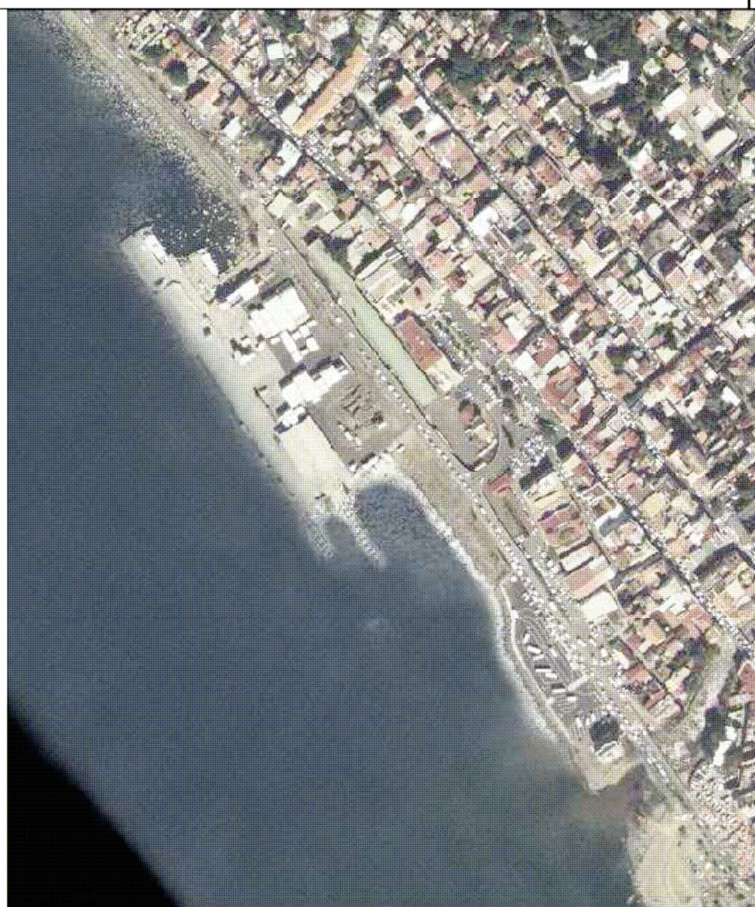
4.3.3.3. Autres réseaux de transport

Il n'y a pas d'aéroport à Gourbeyre, le plus proche aérodrome étant situé à Baillif (Figure 4), tandis que l'aéroport international est aux Abymes à environ 60 km de là.

Il n'y a pas de réseau ferré en Basse-Terre.

Vue aérienne des installations du Port Autonome de Guadeloupe à Basse-Terre

Figure : 2

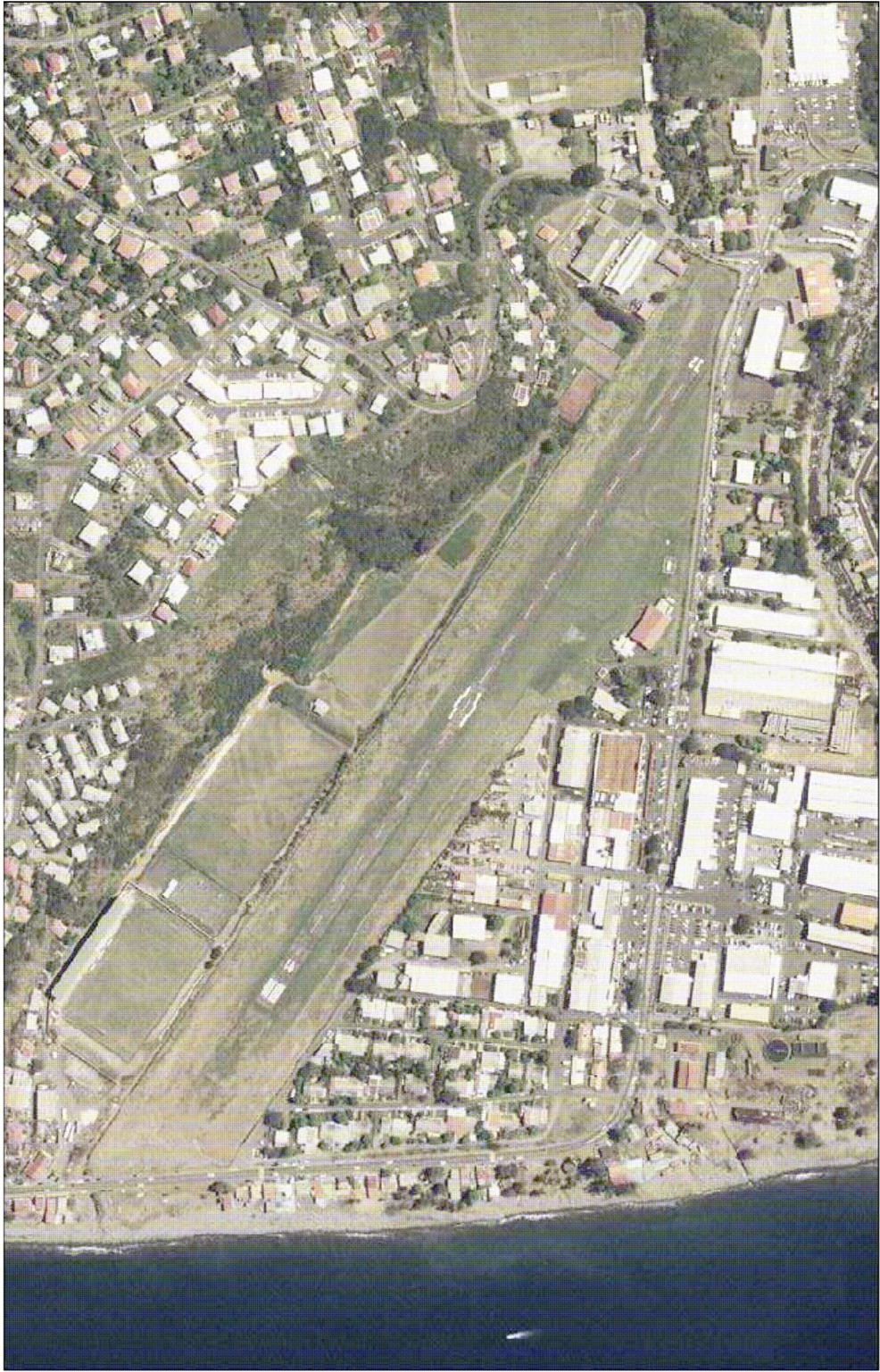


Echelle : 1/5 000

Version :
15 oct. 2002Auteur :
O. MONGEFichier :
GTI-DDEG-0402 Fig02Source :
DDAF (ortho-photo OPTIA)

Port Autonome Guadeloupe

Vue aérienne du port de plaisance de la Marina de Rivière Sens à Gourbeyre.		Figure : 3
		
Echelle : 1/5 000		
Version : 15 oct 2002	Auteur : O. MONGE	Fichier : GTI-DDEG-0402 Fig.03
		Source : DDAF (ortho-photo OPTIA)

Vue aérienne des installations de l'aérodrome du Baillif (1/5 000)		Figure : 4
Version : 15 oct. 2002	Auteur : O. MONGE	Fichier : GTI-DDEG-0402 Fig04
		Source : DDAF (ortho-photo OPTIA)

4.3.4 **Présomption de vulnérabilité des principaux bâtiments de classe C et D**

La vulnérabilité¹² rend compte de la fragilité du milieu construit. Dans le cadre du XI^{ème} CPER (LE BRUN *et al.*, 2001), les principaux bâtiments, notamment publics, des classes C et D, on fait l'objet d'une évaluation qualitative de leur vulnérabilité à partir d'une analyse simplifiée. Elle est basée sur un calcul d'indices à partir d'observations de terrain.

Ce type d'approche ne permet pas d'évaluation prédictive précise du comportement sous séisme. Elle constitue toutefois un bon indicateur d'une présomption de vulnérabilité. Elle permet l'établissement d'une hiérarchie des actions prioritaires à engager sur le milieu existant.

Parmi les bâtiments étudiés dans l'étude du BRGM (Lebrun *et al.*, 2001), les indicateurs élevés attribués à certains bâtiments du lycée professionnel, ainsi qu'à la Mairie laissent supposer une présomption de vulnérabilité forte, qui mériterait d'être précisée par une approche plus détaillée de la vulnérabilité.

D'après cette même étude (Lebrun *et al.*, 2001), la vulnérabilité des bâtiments courants à usage d'habitation s'établit comme suit (Tableau 5) :

- Environ 20% des bâtiments ont une vulnérabilité très faible ou faible ;
- Plus de la moitié des logements ont une vulnérabilité présumée forte à extrême.

Classe de vulnérabilité	Distribution des bâtiments
Très faible	9,5 %
Faible	9,8 %
Moyenne	21,7 %
Forte	25,0 %
Très forte	24,2
Extrême	9,8 %

Tableau 5 : Vulnérabilité des bâtiments à usage de logements au sein de la commune de Gourbeyre.

¹² Vulnérabilité (Nations Unies, 1992) : « Degré de perte (de 0 % à 100 %) d'un élément à risque résultant d'un phénomène susceptible d'engendrer des victimes et des dommages matériels ».

5 LES PHÉNOMÈNES NATURELS CONNUS

5.1 Présentation de la démarche

La connaissance des phénomènes historiques ou actifs constitue une étape essentielle et incontournable de la démarche. Au plan technique, elle présente un double intérêt :

- D'une part, celui de dresser un historique des événements, ce qui permet d'avoir une idée de la sensibilité du site concerné envers tel ou tel phénomène ;
- D'autre part, celui d'identifier les conditions d'environnement ayant favorisé l'apparition des phénomènes et, le cas échéant, de bénéficier des analyses techniques effectuées à l'occasion d'expertises ou de diagnostics.

Cette approche vise donc à déterminer les facteurs de prédisposition aux différents phénomènes. Elle permet en outre de justifier de manière objective les caractéristiques des aléas pris en compte. Elle constitue souvent la meilleure démonstration de la pertinence et de la crédibilité du zonage et des contraintes réglementaires du PPR. Ainsi, les aléas de référence pris en compte seront le plus souvent basés sur les caractéristiques des événements connus les plus importants ou les plus dommageables.

Il convient dès à présent de faire la différence entre les deux notions de phénomène et d'aléa.

Un **phénomène** constitue un événement, tel qu'un glissement de terrain, une inondation ou un tremblement de terre par exemple. Dans la mesure du possible, ces phénomènes sont caractérisés par une date d'occurrence (plus ou moins précise) et par un certain nombre de descripteurs spécifiques : type, intensité, extension, etc..

Un **aléa** représente l'éventualité qu'un phénomène survienne dans le futur avec une intensité ou des effets donnés. C'est un modèle prévisionnel, basé sur la connaissance scientifique et technique du moment et généralement étayée par des phénomènes historiques.

L'appréciation des aléas est susceptible d'évoluer dans le temps en fonction de l'état des connaissances et des progrès des méthodes, alors que les données factuelles sur les phénomènes peuvent augmenter mais sont *a priori* considérées comme intangibles.

5.2 Phénomènes associés aux tremblements de terre

5.2.1 Faille co-sismique et indice de rupture de surface

Une faille active est définie comme une fracture dans l'écorce terrestre, le long de laquelle des déplacements peuvent se produire. Ces brusques mouvements relatifs, de part et d'autre du plan de faille, sont généralement associés à un ébranlement du sol : le séisme. En profondeur, le tremblement de terre libère l'énergie tectonique sous la forme d'ondes sismiques.

Dans le cas de séismes peu profonds et de magnitude importante, le déplacement le long du plan de faille peut atteindre la surface et provoquer une dislocation du sol. Il s'agit dans ce cas d'une **faille active, capable d'engendrer une rupture co-sismique en surface**. Ce déplacement irréversible, vertical, oblique ou en coulissement, peut s'avérer inadmissible pour la stabilité des ouvrages construits au droit de la faille et provoquer alors des dommages.

Une étude concernant les failles actives de l'agglomération de Basse-Terre a été réalisée récemment (CARBON, 2001). **Les failles et les indices de rupture en surface considérés sur l'agglomération de Basse-Terre sont classifiés et cartographiés à l'échelle du 1/25 000** (Carte 2).

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

En revanche, sans préjuger de leur origine (tectonique *versus* volcanique), les études géologiques montrent que des failles et des déformations affectent des dépôts géologiques de moins de quelques centaines de milliers d'années (postérieurs au pléistocène moyen, 780 ka). Ainsi, grâce aux travaux de BOUDON *et al.* (1987), GODEFROY *et al.* (1990) et FEUILLET (2000), on distingue notamment sur la commune de Gourbeyre (Carte 2, CARBON, 2001) :

- **La faille de la Soufrière Ouest**, recoupant principalement la commune de Saint-Claude, et à son extrémité Sud la commune de Gourbeyre.
- **Le système de failles des Monts Caraïbes – Madeleine**, composé de plusieurs segments :
 - Morne Boucanier,
 - Balisier ;
 - Rivière Sens ;
 - Monts Caraïbes.

Pour ces structures, les connaissances sur le tracé (Tableau 6) et l'activité (Tableau 7) des failles sont analysées successivement et synthétisées. Le degré de connaissance est variable. Chaque faille est ainsi qualifiée par un indice de qualité (I.Q., Tableau 8) :

- Faille de la Soufrière Ouest, de localisation précise et d'activité reconnue (I.Q.=C) ;
- Segments de failles de la Rivière Sens, de Balisier, et de Boucanier, de présence confirmée et d'activité probable (I.Q.=B) ;
- Segment de faille des Monts-Caraïbes, d'existence présumée et d'activité douteuse (I.Q.=A). La présence de cette faille, mentionnée dans certains documents, n'est pas confirmée dans cette étude. Par conséquent, elle ne sera pas conservée sur la carte d'aléa.

Ces informations sont représentées géographiquement (Carte 2). La qualité des connaissances sur l'activité et le tracé, et les incertitudes restantes, sont notamment transcrites, respectivement, par :

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

Dénomination des failles		Tracé et géométrie en surface							Géométrie en profondeur et expression géophysique	
Faille ou système de failles	Segment de faille	Longueur observée	Longueur totale suspectée	Orientation	Faille identifiée à l'échelle régionale (1/100 000)	Faille identifiée sur la carte géologique (1/50 000 à 1/20 000)	Faille identifiée dans le cadre d'une thèse universitaire	Faille identifiée dans le cadre d'une étude appliquée (1/25 000 à 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)
Faille de la Soufrière Ouest		2,3 km	4,2 à ?? km	NNW-SSE	Synthèse BRGM (1990) 1/100 000	BOUDON <i>et al.</i> (1987) 1/20 000	FEUILLET (2000) 1/50 000	CARBON (2001) 1/25 000	Néant	Néant
Système de failles des Monts Caraïbes-Madeleine	Faille de la Rivière Sens	2,5 km	10 km à terre à 20 km (prolongement possible en mer)	Est-Ouest	Synthèse BRGM (1990) 1/100 000	Néant	FEUILLET (2000) 1/50 000	CARBON (2001) 1/25 000	Expression magnétique et gravimétrique	Néant
	Faille de Balisier	1,5 km		Est-Ouest		Néant	FEUILLET (2000) 1/50 000	CARBON (2001) 1/25 000		Néant
	Faille de Boucanier	4,3 km		Est-Ouest		Néant	FEUILLET (2000) 1/50 000	CARBON (2001) 1/25 000		Néant
	Faille des Monts Caraïbes	4,4 km		Est-Ouest		Néant	FEUILLET (2000) 1/50 000	Non identifiée		Néant

Tableau 6 : Synthèse des connaissances relatives au tracé des failles actives sur la commune de Gourbeyre (d'après CARBON, 2001).

Dénomination		Activité (approche géologique)				
Faille ou système de failles	Segment de faille	Expression morphologique reconnue	Âge des terrains décalés les plus récents	Indice de rupture quaternaire ponctuel	Rupture paléosismique reconnue	Séisme connu de magnitude ≥ 5.0 à 5.5 associé à la faille
Faille de la Soufrière Ouest		FEUILLET (2000) CARBON (2001)	3 100 ans	BOUDON <i>et al.</i> (1987)	Non	Non
Système de failles des Monts Caraïbes-Madeleine	Faille de la Rivière Sens	FEUILLET (2000) CARBON (2001)	400 à 500 ka	Non	Non	Non
	Faille de Balisier	FEUILLET (2000) CARBON (2001)	400 à 500 ka	Non	Non	Non
	Faille de Boucanier	FEUILLET (2000) CARBON (2001)	400 à 500 ka	Non	Non	Non
	Faille des Monts-Caraïbes	FEUILLET (2000)	400 à 500 ka	Non	Non	Non

Tableau 7 : Synthèse des connaissances relatives à l'activité des failles actives sur la commune de Gourbeyre (d'après CARBON, 2001).

Tracé de la faille : connaissance et précision spatiale	Activité de la faille : connaissance de ruptures de surface		
	Douteuse (≤ 2 Ma)	Probable (≤ 700 ka)	Reconnue ($\leq 30\,000$ ans)
Présomption d'existence, 1/100 000 à 1/50 000, 300 à 500 m de large.	Segment de faille des Monts-Caraïbes (I.Q.=A)		
Présence confirmée, 1/25 000, 150 à 300 m de large.		Segments de faille de Rivière Sens, Balisier, Boucanier (I.Q.=B)	
Localisation précise, 1/10 000 à 1/1 000, 50 à 150 m de large.			Faille de la Soufrière Ouest (I.Q.=C)

Tableau 8 : Appréciation (Indice de Qualité) des connaissances relatives aux failles actives sur la commune de Gourbeyre.

5.2.2 Secousses sismiques

Les Guadeloupéens ressentent régulièrement des tremblements de terre de faible intensité, avec une fréquence plus élevée en Grande Terre que sur la Basse Terre. Les séismes destructeurs, fort heureusement moins nombreux, appartiennent toutefois à l'histoire récente de la Guadeloupe.

Chacun sait que le séisme du 8 février 1843 fit à l'époque, plus de 1 500 morts dans la population. Les sources d'information analysées par FEUILLARD (1982) puis par BERNARD et LAMBERT (1985) concernant le Sud Basse-Terre permettent une estimation de l'intensité macrosismique atteinte lors des séismes de 1843 (Carte 3) et 1897 (Tableau 9).

Séisme	Effets macrosismiques	Intensité MSK
8 février 1843	« nombreuses maisons rendues inhabitables [mais] deux seulement se sont écroulées ¹³ au moment de la secousse » Pas de morts à Basse-Terre.	VIII
16 Mai 1851	Pas de destructions lourdes aux habitations (lézardes dans quelques bâtiments en maçonnerie de la commune de Gourbeyre), mais effets fortement ressentis par la population.	VI
29 avril 1897	Pas d'effet notable.	<VI

Tableau 9 : Effets macrosismiques relatés pour le Sud Basse-Terre (d'après BERNARD et LAMBERT, 1985).

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

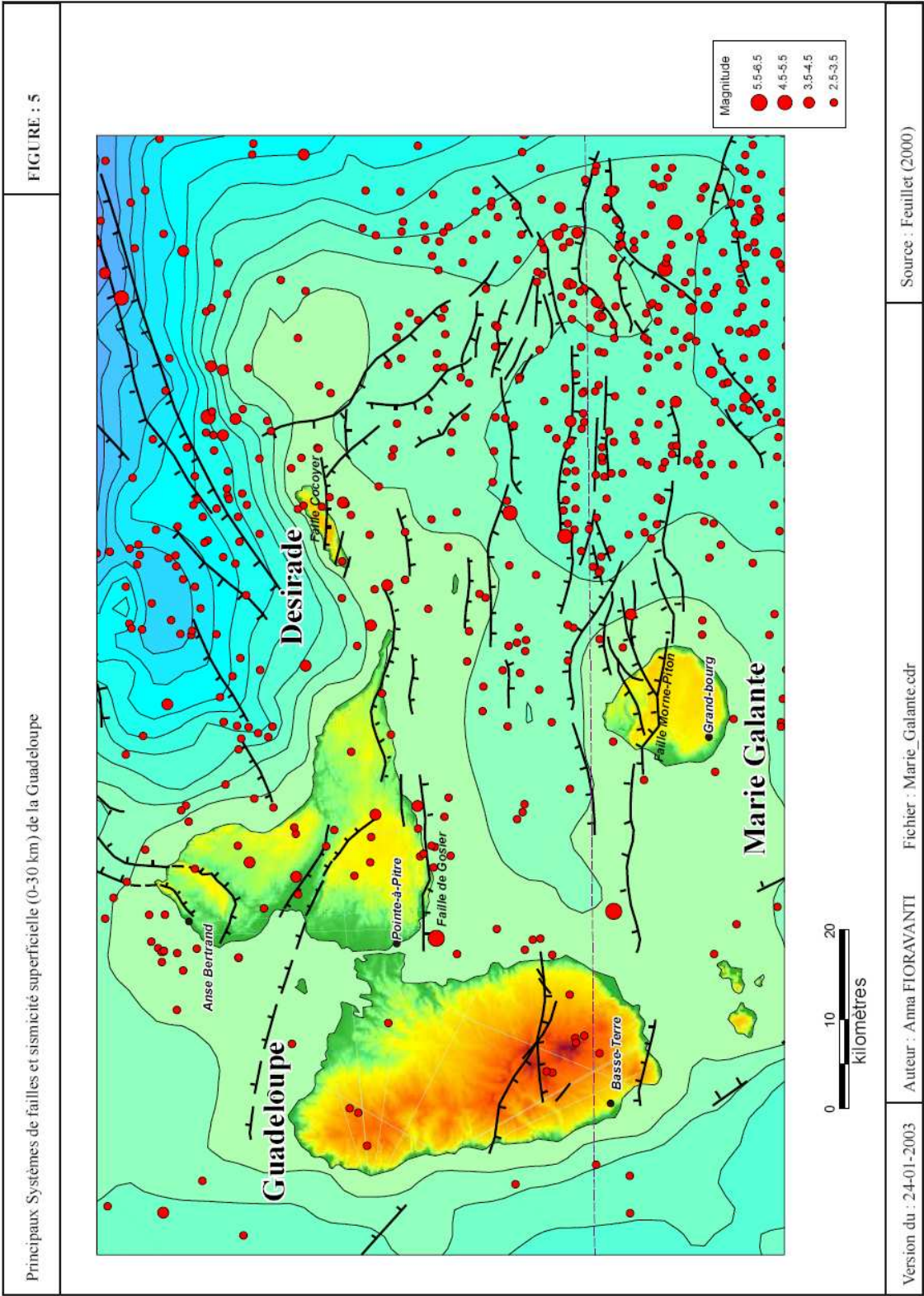
La répartition des séismes autour de la Guadeloupe est représentée en plan et en coupe, en fonction de la magnitude et de la profondeur des événements (Carte 4).

La coupe (Carte 4) montre que les sources qui peuvent être à l'origine de dommages en Guadeloupe sont respectivement :

- Des sources locales, de magnitude modérée (5 à 6.5), localisées à faible profondeur, dans la plaque Caraïbes, et associées à des failles crustales. La Figure 5 représente les liens qui peuvent exister entre la localisation des principaux systèmes de failles connus, et les séismes superficiels ;
- Des sources sismiques plus lointaines, qui peuvent atteindre des magnitudes plus fortes (7 à 8), associées aux mécanismes de la subduction de la plaque Atlantique, sous la plaque Caraïbes.

Pour le Sud-Ouest de la Basse-Terre, les effets des tremblements de terre d'origine tectonique ont été, sur la période historique, inférieurs à ceux produits sur la côte Est ou en Grande Terre. Cela s'explique par la situation géographique de cette partie de la Basse-Terre, par rapport à la localisation des séismes majeurs historiques (Carte 4). Cette situation fait que l'aléa sismique est plus faible à l'Ouest de la Basse Terre qu'en Grande Terre (Figure 6). Pour autant, cette partie de l'île n'a pas été épargnée par des dommages significatifs au milieu construit, en particulier lors du séisme de 1843.

¹³ Ces effondrements semblent, au moins partiellement, consécutifs à la liquéfaction du sol (§ 5.2.3).



5.2.3 Liquéfaction des sols

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

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

Le phénomène de liquéfaction est décrit par ailleurs (Annexe 1 : Méthodes et définitions, § 17.2). **Les éventuelles manifestations sont signalées (Carte 3) et représentées à l'échelle du 1/25 000 (Carte 5).**

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

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (1843, *in* BERNARD et LAMBERT, 1985) rapporte de très nombreuses observations, postérieurement attribuées à des phénomènes de liquéfaction, et notamment en Basse-Terre, vraisemblablement localisées dans les zones basses littorales (Tableau 10, Carte 3).

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

Séisme	Magnitude	Distance épicentrale	Phénomènes de liquéfaction
8 février 1843	75,5 à 8	80 à 160 km	« dans la cité de Basse-Terre, les habitants ont vu une flaque d'eau à l'emplacement de deux maisons écroulées se trouvant sur le cours [probablement quartier Saint-François] et sur un terrain de rapport. »
16 mai 1851	5,0 à 5,5	15 à 20 km	Aucun phénomène signalé.
29 avril 1897	5,5 à 5,8	20 à 35 km	Aucun phénomène signalé.

Tableau 10 : Phénomènes historiques de liquéfaction dans le Sud Basse-Terre (d'après BERNARD et LAMBERT, 1985).

Vis-à-vis de la liquéfaction, le témoignage de SAINTE-CLAIRE DEVILLE montre à la fois :

- **L'initiation possible de phénomènes de liquéfaction par des séismes affectant la Guadeloupe ;**
- **Des effets parfois dommageables sur les constructions.**

5.2.4 Mouvement de terrain

Les phénomènes de mouvement de terrain sont traités ci-après (§ 5.3), quel que soit le déclencheur : sismique, hydraulique ou anthropique.

5.3 Phénomènes de mouvement de terrain

5.3.1 Collecte et exploitation des informations

Différentes sources d'informations ont été interrogées. Elles permettent un inventaire assez complet, bien que non exhaustif, des événements passés ou de leurs traces. Ainsi, outre les enquêtes et observations de terrain, les interlocuteurs ou documents suivants ont été consultés :

- Monsieur LAQUITAINER, élu de la ville de Gourbeyre ;
- Monsieur MOMPELAT, géologue régional du BRGM ;
- Base de données nationale sur les mouvements de terrain (BDMvt, www.bdmvt.net) ;
- Rapports d'études géotechniques ;
- Etude des séismes majeurs du 8 février 1843 et du 29 avril 1897 (BERNARD et LAMBERT, 1985).
- Carte géologique du massif volcanique de la Soufrière (BOUDON *et al.*, 1987) ;
- Photo-aériennes IGN (1963-64 et 1999) ;
- Photo-aériennes IGN (1982), interprétées par Monsieur MOMPELAT dans le cadre du microzonage sismique de l'agglomération de Basse-Terre ;
- Orthophoto (OPTIA, convention DDAF).

Toutes ces informations sont classifiées selon le type de phénomène, et représentées à l'échelle du 1/25 000 par des éléments ponctuels, linéaires ou des contours, associées le cas échéant à des photographies (Carte 5).

Nos interlocuteurs nous ont fait part de leurs expériences et indiqué nombre de phénomènes ou d'indices d'instabilités. Il s'agit par exemple de chutes de blocs ou de gros blocs à Val Kanaërs, entre le bourg et Dos-d'Ane, ou d'un versant instable entre Champ-Fleury et Trois-Rivières.

La base de données nationale sur les mouvements de terrain (BDMvt) comporte à ce jour (septembre 2002) 10 références d'événements sur la commune de Gourbeyre (Tableau 11). Après enquête de terrain, la localisation de certains événements qui paraissait douteuse a été corrigée.

Identification BDMvt	Type	Date	Localisation
MVT-BRGM-GPE-97109-00018	Eboulement	10 janvier 1999	Dos-d'Ane
MVT-BRGM-GPE-97109-00005	Eboulement	21/22 octobre 1992	Carrière de Rivière Sens
MVT-BRGM-GPE-97109-00019	Eboulement	Hivernage 1979	Dos-d'Ane
MVT-BRGM-GPE-97109-00007	Glissement	1999	Dubeau (Nord RN1, PK8)
MVT-BRGM-GPE-97109-00009	Glissement	Hivernage 1999	Nord Morne Boucanier
MVT-BRGM-GPE-97109-00014	Glissement	Hivernage 1995	Grand-Camp
MVT-BRGM-GPE-97109-00010	Glissement	Septembre 95	Route de Denisse
MVT-BRGM-GPE-97109-00020	Glissement	Septembre 95	Champ-Fleury
MVT-BRGM-GPE-97109-00021	Coulée	Septembre 95	Champ-Fleury
MVT-BRGM-GPE-97109-00022	Coulée	Septembre 95	Champ-Fleury

Tableau 11 : Mouvements de terrain recensés sur la commune de Gourbeyre au sein de la base de données nationale (BDMvt).

Des **rapports géotechniques**, formulant un avis sur la stabilité ou rendant compte de désordres, ont été exploités. BERNARD et LAMBERT (1985) rapportent de nombreux éboulements en Basse-Terre, concernant les falaises de la Côte Sous-le-Vent, comme les zones montagneuses. Ils citent notamment l'éboulement du Piton de la Soufrière d'une quinzaine de mètres. Par ailleurs,

leur carte des effets sur le sol signale des glissements de terrain le long de la Rivière des Pères, ayant induit des coulées de boue à l'embouchure (Carte 3).

Des figurés spécifiques de la **carte géologique** (BOUDON *et al.*, 1987) indiquent l'existence de niches d'arrachement et de masses glissées de mouvement de grande ampleur, tel que celui de la crête à mangles, au Nord du Carmichaël. Toutefois, aucune indication ne concerne la commune de Gourbeyre. De tels mouvements n'ont vraisemblablement pas été recherchés dans le massif des Mont-Caraïbes où ils sont pourtant pressentis, notamment au lieu dit Les Fosses, sur le versant Nord-Ouest du Morne Cadet. Ne s'agissant que du substratum du massif volcanique de la Soufrière, les auteurs de la carte géologique n'y ont certainement pas accordé la même attention. En revanche, l'ensemble du secteur de Grand-Camp, en amont de la RN1, est interprété comme un éboulis. Il s'agit du démantèlement du front de la coulée du Palmiste.

Les **photographies aériennes**, notamment les campagnes IGN de 1963-64 et 1982 indiquent un très grand nombre d'indices morphologiques pouvant être associés à des mouvements de terrain. En particulier, des glissements – coulées ayant décapé la végétation sont particulièrement visibles.

Les **investigations de terrain** menées à l'occasion de cette étude, ont permis, outre une analyse des faits connus, l'observation de désordres nouveaux. La localisation et l'extension des phénomènes étant vérifiées et précisées grâce aux photographies aériennes.

Le recensement sur le territoire communal comporte finalement :

- Environ 85 indices morphologiques de mouvements de terrain interprétés en photographies aériennes (IGN, 1982) ;
- Environ 75 indices ou manifestations de phénomènes de mouvement de terrain ;
- 10 mouvements de terrains répertoriés dans la base de données nationale sur les mouvements de terrain (BDMvt).

5.3.2 Typologie des mouvements de terrain

Les phénomènes de mouvements de terrain sont définis par ailleurs (Annexe 1 : Méthodes et définitions, § 17.3). Les différents types sont désignés par des lettres (Tableau 12) dans la suite du document et sur les cartes, conformément aux recommandations des guides méthodologiques (CFG, 2000, MATE et METL, 1999).

Code	Type de phénomène	Exemple
P	Chute de pierres	
	Chute de blocs	Val Kanaërs, Dos-d'Ane
	Eboulement en masse	RN1, entre Dos-d'Ane et Bellevue Rivière du Galion
	Eboulement en grande masse	Carrière de Rivière Sens
G	Glissement rotationnel	Lotissement Monts-Caraïbes
	Coulée de boue	Champfleury, lotissement Monts-Caraïbes
	Glissement/coulée	Nord Morne Boucanier, Dubeau (Nord RN1, PK8)
PG	Mouvement gravitaire de grande ampleur	Monts-Caraïbes, versant Nord-Ouest du Morne Cadet
	Mouvement gravitaire indifférencié ou associant P et G	

Tableau 12 : Désignation des types de phénomènes de mouvements de terrain.

5.4 Phénomènes volcaniques

5.4.1 Collecte et exploitation des informations

Différentes sources d'informations ont été exploitées. Elles permettent un inventaire des événements passés ou de leurs traces :

- Monsieur MOMPELAT, géologue régional du BRGM ;
- Monsieur BEAUDUCCEL, directeur de l'Observatoire Volcanologique de la Soufrière de Guadeloupe (OVSG) ;
- Atlas communaux des risques naturels (<http://www.brgm.fr/risques/antilles/index.htm>) ;
- Préfecture de Guadeloupe (<http://www.guadeloupe.pref.gouv.fr>) ;
- Communication, présentée lors du colloque tenu pour commémorer le centenaire de l'éruption de la montagne Pelée de 1902 (KOMOROWSKI *et al.*, 2002) ;
- Carte géologique du massif volcanique de la Soufrière (BOUDON *et al.*, 1987).

La typologie des phénomènes volcaniques est décrite par ailleurs (Annexe 1 : Méthodes et définitions, § 17.4). **Les événements recensés sont représentés à l'échelle du 1/50 000** (Carte 6).

5.4.2 Manifestations actuelles

La Soufrière de la Guadeloupe est un volcan vivant susceptible d'entrer en éruption sur une échelle de temps humaine (année, décennie, siècle, voire millénaire). En période de repos, son activité est caractérisée par :

- Une sismicité permanente se manifestant sous forme d'essaims. Il s'agit de séismes généralement de faible (magnitude < 2), localisés principalement sous le dôme, à des profondeurs variant entre 0 et 5 km et regroupés sur une courte période de temps. Cette activité sismique alterne avec des longues périodes sans sismicité ;
- Des émanations de gaz fumerolliens composés de vapeur d'eau et de gaz soufrés qui peuvent présenter une forte toxicité ;
- Des zones aux températures élevées (60-120°C), et un risque de projection d'eau en ébullition ;
- Des terrains instables, en constante évolution, suite à l'intense altération du milieu par les gaz et les eaux acides.

5.4.3 Eruption phréatique

BOUDON *et al.* (1987) détaillent l'activité phréatique historique de la soufrière. On retiendra notamment les événements suivants :

- Activité en 1680 ou 1690 ;
- Eruption phréatique de 1797 – 1798 ;
- Eruption phréatique de 1836 – 1838 ;
- Eruption phréatique d'octobre 1956 avec deux explosions en surface ;
- Crise éruptive de 1975 - 1977 ;

Ce dernier événement reste bien évidemment très présent dans la mémoire collective guadeloupéenne :

- Eruption phréatique prolongée avec 26 explosions majeures entre le 8/07/76 et le 1/03/77 ;
- Emanations de gaz acides, retombées de blocs et cendres et coulées de boue (juillet, septembre 76) ;
- De très nombreux séismes ressentis.
- Evacuation entre le 15/08/76 et le 5/01/77 de 75 000 personnes, avec des conséquences économiques graves pour la capitale économique de la Guadeloupe et son agglomération.

5.4.4 Eruption magmatique

L'édification d'un volcan résulte de la mise en place et de l'évolution des matériaux produits par des éruptions volcaniques. L'établissement de la carte géologique (BOUDON *et al.*, 1987) contribue donc à l'inventaire des événements passés.

Ainsi, parmi les éruptions magmatiques modelant les paysages actuels, on peut retenir :

- L'édification des **cônes stromboliens de l'Echelle et de la Citerne** (projections scoriacées PS6), vers le IV^{ième} siècle (datée environ de cal 360 AD) ;
- La **mise en place de la Soufrière stricto sensu**, au XV^{ième} siècle (datée de l'an 1440 ± 100 ans), avec des projections de cendres et lapilli (PS8), des coulées de scories (NS8) et l'extrusion du Dôme (S8).

5.4.5 Ecrroulement sectoriel du volcan

L'effondrement sectoriel de la Grande Découverte (formation DbG7), dont les dépôts affleurent très largement à l'échelle du massif serait imputable à une éruption phréatique majeure de type Bandaï-San, daté de 11 500 ans BP.

La coulée de débris (DbS3) et l'enveloppe des affleurements de la déferlante lithiques associée constituent un épisode majeur de l'histoire de la Soufrière. Cet événement, daté en moyenne de 3 100 ans B.P., occupe l'ensemble des terrains au Sud – Ouest de la Soufrière, depuis le Dôme jusqu'à la mer Caraïbe. Il s'agit d'une éruption cataclysmale de type Mont Saint Helens pour laquelle on retrouve la trilogie :

- Coulée de débris pouvant atteindre 80 m d'épaisseur et d'extension estimée à 40 km² ;
- Cratère d'avalanche en amphithéâtre ;
- Dépôts d'explosion d'extension estimée à 100 km².

KOMOROWSKI *et al.* (2002) ont dénombré au moins 10 écroulements de flanc du volcan de la Grande – Découverte / La Soufrière pendant les 50 000 dernières années. En plus des événements préalablement datés de 11 500 et 45 000 B.P., au moins 6 événements distincts se sont produits lors des 8 500 dernières années, dont l'éruption cataclysmale de 3 100 B.P. Les écroulements affectent essentiellement le flanc Sud – Ouest du volcan. Le volume des dépôts est variable mais inférieur à 1 km³. La mise en place du dôme de la Soufrière a débuté par un petit écroulement de flanc qui s'est propagé, comme la plupart des autres, jusqu'à la ville de Basse-Terre à 10 km de la source. A la Soufrière, ces événements sont rarement associés à des éruptions magmatiques significatives. L'intense altération hydrothermale, conduit à une fragilisation récurrente de la base du dôme. Ainsi, le phénomène d'écroulement de flanc est un des aléas volcaniques les plus significatifs à la Soufrière de Guadeloupe.

5.4.6 Lahars

La carte géologique (BOUDON *et al.*, 1987) identifie les traces de plusieurs lahars, notamment :

- Un lahar d'effondrement (LhG) antérieur à l'épisode plinien de Pintade, particulièrement étendu (rive droite de la Rivière des Pères au Baillif, cimetière de Basse-Terre, confluence de la Rivière Sens et la Ravine Rouge, Rivière du Galion en aval de Mouzingue) ;
- Un lahar (LhG8) daté d'environ 8 100 BP, visible dans la rivière du Galion ;
- Des lahars phréatiques (LhS5, LHS6), y compris certains de la période historique (1837 et 1976).

5.5 Phénomènes météorologiques

5.5.1 Cyclone

Le cyclone est une perturbation météorologique des zones tropicales. Ce phénomène météorologique destructeur est caractérisé par des vents très forts et des pluies diluviennes. Les conséquences d'un cyclone dépendent essentiellement de la force du cyclone et de la proximité de la trajectoire de son centre. La zone la plus dangereuse se situe au voisinage de l'œil. Le vent souffle très fort en s'enroulant autour de l'œil. Les rafales peuvent atteindre jusqu'à 350 km/h.

La classification des cyclones (Tableau 13) dépend essentiellement de leur force, estimée à partir de la vitesse moyenne (sur une minute) du vent maximum. Ce paramètre caractérise bien les destructions potentielles. En effet, l'énergie libérée est proportionnelle au carré de la vitesse du vent. Ainsi des vents de 240 km/h disposeront d'une énergie, et donc d'un potentiel destructeur 14 fois supérieurs à ceux générés par des vents de 64 km/h. Pour les ouragans l'échelle de SAFFIR-SIMPSON, en fonction de la vitesse du vent et de la pression atmosphérique est classiquement utilisée.

Classes	Pression au centre	Force du vent : vitesse moyenne (sur une minute) du vent maximum
Ouragan de catégorie 5	<920 hpa	>249 km/h
Ouragan de catégorie 4	920 – 944 hpa	210 – 249 km/h
Ouragan de catégorie 3	945 – 964 hpa	178 – 209 km/h
Ouragan de catégorie 2	965 – 980 hpa	154 – 177 km/h
Ouragan de catégorie 1	>980 hpa	118 – 153 km/h
Tempête tropicale		64 – 117 km/h
Dépression tropicale		<63 km/h

Tableau 13 : Classification des cyclones et catégories d'ouragans selon l'échelle de SAFFIR-SIMPSON.

Une base de données HURDAT (HURican DATa) est établie par le National Hurricane Centre (NHC) de Miami. La base recense actuellement plus de 985 phénomènes cycloniques s'étant produit de 1886 à 1999 sur l'Atlantique Nord, le golfe du Mexique et la mer des Caraïbes.

L'ensemble de la Guadeloupe est susceptible d'être affectée par les effets dévastateurs d'un cyclone. Les phénomènes cycloniques intéressant La Guadeloupe ont été extraits de la base de données et grâce au logiciel HURDAT de METEO France. Les trajectoires des cyclones sur un siècle d'observation (1899 à 1999) sont représentés géographiquement (Carte 7). Les tempêtes et ouragans ayant affecté la Guadeloupe depuis 1950 sont indiqués ci-après (Tableau 14). L'analyse des trajectoires correspondantes (Carte 7) montre que le passage d'un cyclone à proximité de la Guadeloupe est loin d'être un phénomène exceptionnel.

Année	Date	Nom des tempêtes et ouragans	Classe
1950	22/08	Baker	3
1950	01/09	Dog	5
1956	11/08	Betsy	3
1958	30/08	Ella	3
1959	18/08	Edith	Tempête
1960	04/09	Donna	5
1961	01/10	Frances	3
1963	26/10	Helena	Tempête
1964	22/08	Cleo	5
1966	27/09	Inez	4
1979	29/08	David	5
1979	03/09	Frederic	4
1981	08/09	Gert	2
1989	17/09	Hugo	5
1990	05/10	Klaus	1
1995	27/08	Iris	2
1995	05/09	Luis	4
1995	14/09	Marilyn	3
1999	17/11	Lenny	5

Tableau 14 : Tempêtes et ouragans ayant affecté la Guadeloupe.

5.5.2 Précipitations

La pluviométrie pour des durées inférieures à 24 heures peut être approchée par la formule suivante (interprétation étude CEMAGREF 2000). Cette formule permet d'estimer les pluies pour des périodes de retour variables pour des pluies inférieures à 24 heures.

$$P=60,3 \times d^{0,38} \times \ln(T) + 13,8 \times d^{0,51}$$

- P, précipitations (en mm) ;
- T, période de retour (en année) ;
- D, durée des précipitations (en heure).

Les précipitations sont très variables d'un cyclone tropical à l'autre. Les pluies sont souvent torrentielles et responsables d'inondations brutales et de mouvements de terrain. On admet généralement que 50% des pluies totales d'un cyclone sont dues aux énormes nuages à fort développement vertical entourant l'œil. Les langues spiralées de nuages qui s'enroulent autour de l'œil du cyclone génèrent également des pluies abondantes, parfois jusqu'à 1000 km du centre. Les hauteurs de pluies provoquées par HUGO, IRIS, LUIS et MARILYN dans le Sud de la Basse-Terre sont indiquées ci-dessous (Tableau 15).

Les pluies de MARILYN ont été les plus abondantes. Elles ont causé d'énormes dégâts sur toute l'île de la Basse-Terre (Annexe 3 : Articles de presse), à l'exception de la région de Baie-Mahault. Les quantités d'eau sont impressionnantes et contrairement à LUIS, aussi importantes sur le littoral caraïbes, les sommets et la côte habituellement au vent (Capesterre à Petit-Bourg).

La région du Sud-Ouest Basse-Terre a été la plus arrosée, à cause de la proximité de l'œil de l'ouragan. Les périodes de retour des pluies de MARILYN sont estimées comprises entre 50 et

100 ans dans cette région. L'intensité des pluies est également exceptionnelle : à Saint-Claude, il est tombé 400 mm en 10 heures, alors que pendant LUIS, l'apport de pluie avait été plus étalé dans le temps (près de 36 heures).

De plus, les pluies de MARILYN se produisent seulement 8 jours après le passage de LUIS, sur des sols par conséquent gorgés d'eau. Ceci explique l'ampleur des conséquences de MARILYN : débordements de cours d'eau, inondations brutales, glissements de terrain, coulées de boues...

Lieu	HUGO (16 et 17/09/1989)	IRIS (27/08/1995)	LUIS (04 et 05/09/1995)	MARILYN (14 et 15/09/1995)
Saint-Claude	191 mm	80 mm	175 mm	551 mm
Soufrière	389 mm	337 mm	582 mm	600 mm
Vieux-Habitants	172 mm	80 mm	103 mm	450 mm

Tableau 15 : Hauteurs de pluies mesurées lors de cyclones récents.

5.5.3 Inondations et crues torrentielles

Les cours d'eau du Sud Basse-Terre prennent leur source sur les flancs Sud et Ouest de la Soufrière, ces secteurs font partie des zones les plus arrosées de Guadeloupe (pluviométrie annuelle moyenne supérieure à 4500 mm, Figure 7).

Compte tenu de la topographie, ces cours d'eau connaissent donc des crues rapides et violentes dites torrentielles, responsables d'inondations.

Les crues peuvent intervenir à n'importe quelle période de l'année compte tenu de l'imprévisibilité du climat et des précipitations très rapides qui peuvent faire monter le niveau d'eau en quelques minutes. Ces pluies dites "averses exceptionnelles" sont rares mais elles peuvent faire tomber plusieurs centimètres d'eau en quelques minutes.

On retiendra donc que les inondations ne sont pas obligatoirement générées par des phénomènes atmosphériques exceptionnels mais sont aussi liées à des situations météorologiques particulières. Les plus forts événements cycloniques n'ont pas toujours été accompagnés de crues alors que certains événements pluviométriques de courtes durées, souvent engendrés par des perturbations stationnaires intenses, ont provoqué d'importantes inondations.

D'importantes précipitations ont été mesurées en dehors du passage d'ondes tropicales :

- Avril 1927 en Basse-Terre ;
- Septembre 1949 ;
- Août et septembre 1981 ;
- Septembre 1995.

Les divers événements météorologiques recensés sont représentés sur la carte informative (Carte 8). Cet inventaire entretient la mémoire collective, grâce notamment aux illustrations photographiques. Il démontre aussi l'occurrence de phénomènes catastrophiques et les effets d'événements pluvieux de grande intensité ou répétitifs. Cette carte permet en outre d'étayer de manière objective le zonage des aléas. Plusieurs sources d'information ont été analysées. municipales et départementales ont été sollicitées ainsi que les médias locaux (Annexe 3 : Articles de presse). Cette démarche a permis la délimitation des zones inondées par les

différentes crues, évènements marquants de l'actualité (dégâts, victimes, rupture d'ouvrage protection, ouvrages emportés...).

Des enquêtes de terrain ont été menées, permettant en particulier, l'estimation des hauteurs d'inondation, l'emprise des zones inondées, les dommages occasionnés, les dysfonctionnements d'ouvrage. Ces enquêtes ont été systématiquement réalisées avec la participation d'un représentant de l'administration (DDE – subdivision de Basse-Terre) et d'un représentant de la commune concernée.

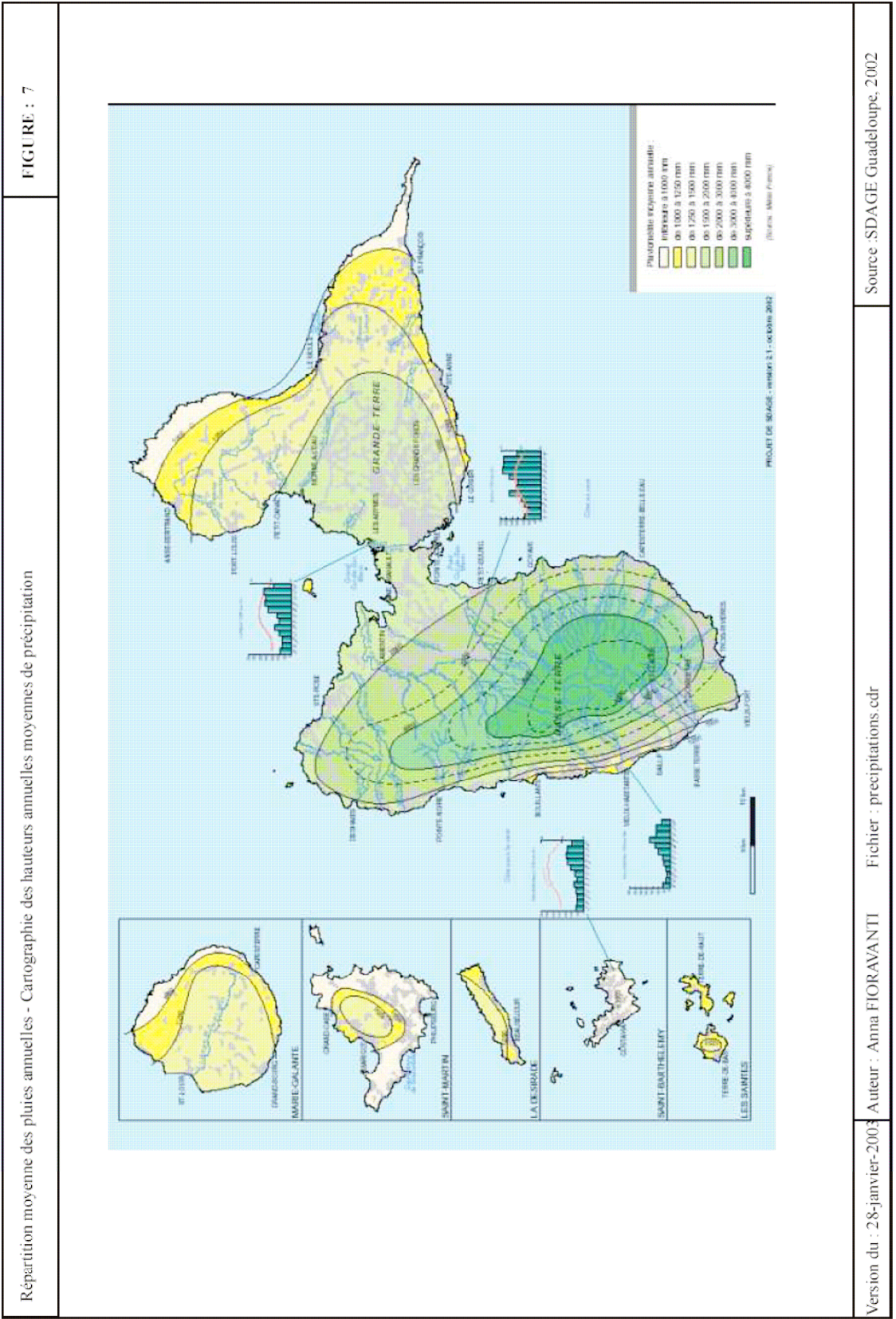
LENNY, mais surtout MARILYN, sont des événements récents ayant causé des dommages importants en Basse-Terre. Ils sont particulièrement vivaces dans les mémoires. C'est pourquoi, la carte informative des phénomènes météorologiques (Carte 8) rend essentiellement compte de ces deux événements.

5.6 A retenir sur les phénomènes naturels connus

On **retrouve sur le territoire communal des traces**, des témoignages ou des manifestations de tous les phénomènes naturels considérés dans le PPR :

- Tremblements de terre ;
- Mouvements de terrain ;
- Eruptions volcaniques ;
- Cyclone (vent et houle) ;
- Inondations.

Outre une justification *a posteriori* des raisons du PPR (§ 2), ces événements sont exploités comme une aide à l'évaluation et à la caractérisation des aléas.



6 EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA FAILLE ACTIVE, CAPABLE D'ENGENDRER UNE RUPTURE CO-SISMIQUE EN SURFACE

La démarche d'évaluation de l'aléa faille active est menée conformément à l'état de l'art, et notamment en considérant les références suivantes :

- Réglementation parasismique en vigueur (règles PS 92) et à venir (Eurocode 8) ;
- Guide méthodologique de réalisation des microzonages sismiques (AFPS, 1993) amendé des discussions du groupe de travail relatif aux failles actives ;
- Guide méthodologique de réalisation des PPR sismiques (MEDD et METLTM, 2002).

L'étude des failles actives de l'agglomération de Basse-Terre (CARBON, 2001) est reprise ci-après. Il s'agit d'une analyse et d'une synthèse des travaux antérieurs, souvent très récents, et d'observations réalisées à la faveur de nouveaux affleurements.

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

- La faille de la Soufrière Ouest ;
- Les segments de faille de Rivière Sens, Balisier et Boucanier du système de failles des Monts Caraïbes-Madeleine.

6.1 La faille de la Soufrière Ouest

Compte tenu de son orientation, de sa faible extension et de sa relation avec la bordure d'une caldéra, la faille de la Soufrière Ouest est considérée comme une **structure associée au volcanisme de la Soufrière**, et non comme une structure tectonique. Une rupture en surface relèverait donc d'un phénomène associé à l'aléa volcanique, avec une probabilité très faible d'une origine purement tectonique. Ceci signifie qu'une telle rupture pourrait se reproduire ailleurs, associée à un scénario éruptif majeur, dont les conséquences dépasseraient très largement les effets de la simple rupture en surface.

L'aléa rupture co-sismique en surface est par conséquent jugé négligeable.

6.2 Les segments de faille de Rivière Sens, Balisier et Boucanier du système de failles des Monts Caraïbes-Madeleine

Afin de préciser l'aléa faille active avec rupture de surface, les périodes de retours associées à des magnitudes suffisantes pour engendrer une rupture co-sismique en surface ($M \geq 5.5$) sont estimées.

Le zonage sismo-tectonique et le catalogue de sismicité élaborés dans le cadre de l'étude probabiliste pour la révision du zonage sismique de la France (MARTIN *et al.*, 2002) sont exploités pour calculer les paramètres d'une loi de distribution de l'activité sismique propre au système de faille qui recoupe le territoire communal.

L'approche consiste à déterminer, dans un premier temps, les taux d'activité par rang de magnitude, dans une zone géographique contenant la Basse-Terre, et les failles qui la recoupent. Cela permet de considérer un échantillon de sismicité suffisant pour calculer les paramètres

d'une loi de distribution, dont l'exploitation permet de définir la période de retour des séismes forts.

Dans un second temps, on fait l'hypothèse pénalisante suivante :

- Ces séismes forts sont rattachés à l'un des 4 systèmes de la zone de la Basse-Terre, dont le système de failles des Monts Caraïbes – Madeleine.
- Il y a équiprobabilité d'occurrence sur chacun des systèmes.

Les périodes de retour et les incertitudes qui leur sont attachées sont précisées (Tableau 16), pour l'ensemble de la Basse-Terre, et pour le système de failles des Monts Caraïbes-Madeleine.

Seuil de magnitude	Longueur de rupture co-sismique	Profondeur hypocentrale	Périodes de retour (ans) Valeur plus probable [Intervalle de vraisemblance maximum]	
			Zone de la Basse-Terre	Système de failles des Monts Caraïbes-Madeleine
5.5	5 km	3 km	700 [400-1 200]	2 800 [1 600-4 800]
6.0	10 km	4 km	2 200 [1 200-3 600]	8 800 [4 800-14 400]
6.5	30 km	8 km	6 300 [3 600-11 000]	25 200 [14 400-44 000]

Tableau 16 : Estimation des périodes de retour associées à des séismes capables d'engendrer une rupture co-sismique en surface.

6.3 Evaluation et cartographie de l'aléa faille active, capable d'engendrer une rupture co-sismique en surface

L'aléa faille active, capable d'engendrer une rupture co-sismique en surface sur la commune de Gourbeyre est cartographié à l'échelle du 1/25 000 (Carte 9).

Le niveau d'aléa est jugé :

- Faible (période de retour des séismes capables d'engendrer une rupture comprise entre 2 500 et 30 000 ans) pour les segments Rivière Sens, Balisier, Boucanier du système de failles des Monts Caraïbes – Madeleine ;
- Négligeable pour le reste du territoire communal.

7 EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA SISMIQUE

7.1 Présentation de la démarche

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

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

L'évaluation tient par ailleurs compte des résultats du microzonage sismique réalisé par le BRGM (à paraître).

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

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

La signification est la suivante :

- a_N et a_g traduisent la **composante régionale liée aux sources sismiques** à considérer. Elles n'ont cependant pas la même signification dans les 2 réglementations. Le coefficient a_N de la réglementation française correspond à une accélération de plateau du spectre, divisée par 2,5. Il varie également en fonction de l'importance de l'ouvrage (bâtiment B, C ou D). Le coefficient a_g correspond lui à une accélération à période nulle, pour une période de retour de 475 ans.
- Le facteur de forme $Si(T)$ 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 configurations (S0, S1, S2 et S3), et la réglementation européenne 5 types de configurations de base (A, B, C, D, E) et deux sites spéciaux S1 et S2.

Nous distinguons dans les chapitres suivants :

- L'évaluation de l'aléa sismique telle qu'elle résulte de l'application de la réglementation nationale en vigueur ;
- Une approche spécifique menée à l'échelle communale, à l'occasion de cette étude.

¹⁴ Norme NF P 06-013 (AFNOR, 1995)

7.2 Mouvements sismiques au rocher

7.2.1 Application de la réglementation nationale en vigueur (octobre 2002)

Le département de la Guadeloupe est situé en totalité en zone de sismicité III, la plus forte du territoire national. Il convient par conséquent de considérer les éléments suivants (Tableau 17). La forme spectrale représentative du site rocheux (S0), pour un ouvrage courant de classe B est par ailleurs représentée (Figure 8).

Accélération nominale (a_N en m/s^2) par classe d'ouvrage			Nombre de cycles équivalent	Magnitude indicative (M_S)
B	C	D		
3,5	4,0	4,5	20	8

Tableau 17 : Caractérisation de la sollicitation sismique forfaitaire réglementaire en Guadeloupe pour un site de référence rocheux (règles PS 92).

7.2.2 Approche spécifique : anticipation des réglementations européenne et nationale

L'approche que nous avons adoptée, permet d'anticiper l'évolution de la réglementation nationale, prévue à l'horizon 2003/2004, soit peu de temps après la mise en place du PPR de la commune.

Le zonage sismique de la France de 1985¹⁵ et les paramètres des actions sismiques des règles PS92¹⁶ sont en cours de révision au moment de la rédaction de ce document (octobre 2002). Cette dernière est entreprise sur la base notamment, de l'évaluation probabiliste de l'aléa sismique sur le territoire national, réalisée par GEOTER (MARTIN *et al.*, 2002) pour le compte du MEDD.

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

En s'appuyant sur les résultats de l'étude probabiliste récente (MARTIN *et al.*, 2002), la carte de l'accélération du sol correspondant à cette période de retour de 475 ans (Figure 6) montre que l'aléa n'est pas uniforme sur l'ensemble du territoire de la Guadeloupe. Il augmente significativement d'Ouest en Est. Les communes du Sud-Sud-Ouest de la Basse-Terre, sont celles où l'aléa sismique régional est le plus faible de Guadeloupe.

Pour le Sud-Ouest de la Basse-Terre, la valeur de l'accélération à 475 ans de période de retour est comprise entre 2,0 et 2,5 m/s^2 (Figure 6), valeur nettement inférieure à celle de l'accélération nominale (3,5 m/s^2) des règles actuelles, adoptée pour le dimensionnement des ouvrages de classe B.

Nous avons calculé un spectre spécifique à la commune, applicable sur site rocheux à partir :

¹⁵ Entériné par le décret de 1991.

¹⁶ Instaurées par l'arrêté de 1997.

- Du calcul d'un spectre probabiliste, pour la période de retour de 475 ans, en exploitant les modèles de zones source développés en 2002 (MARTIN et al. , 2002). Ce type de spectre présente l'avantage d'intégrer l'influence spatiale et temporelle de tous les types de source influents sur le territoire communal : aussi bien les sources proches associées à la déformation crustale, que les sources plus lointaines de subduction ;
- De la comparaison de ce spectre à ceux proposés dans le microzonage du BRGM (à paraître), suivant une approche déterministe.

Le spectre de réponse spécifique, proposé pour tout site rocheux situé sur le territoire communal est fourni (Figure 8). Il est comparé au spectre réglementaire actuel applicable dans les mêmes conditions (site rocheux S0, ouvrage de classe B). Le spectre spécifique à la commune, à 475 ans de période de retour, est significativement moins fort que le spectre S0 utilisé dans la réglementation actuelle.

D'un point de vue réglementaire, se posera concrètement, dès l'officialisation du nouveau zonage sismique de la France, le problème de la coexistence de deux réglementations parasismiques : PS 92 et EC8. La solution envisagée par l'Etat consiste actuellement à ce que le nouveau zonage réglementaire français fournisse, pour chaque zone, des valeurs de a_N pour l'application des PS92 et de a_g pour l'application des EC8. Cette nouvelle carte de zonage devrait être disponible au second semestre 2003.

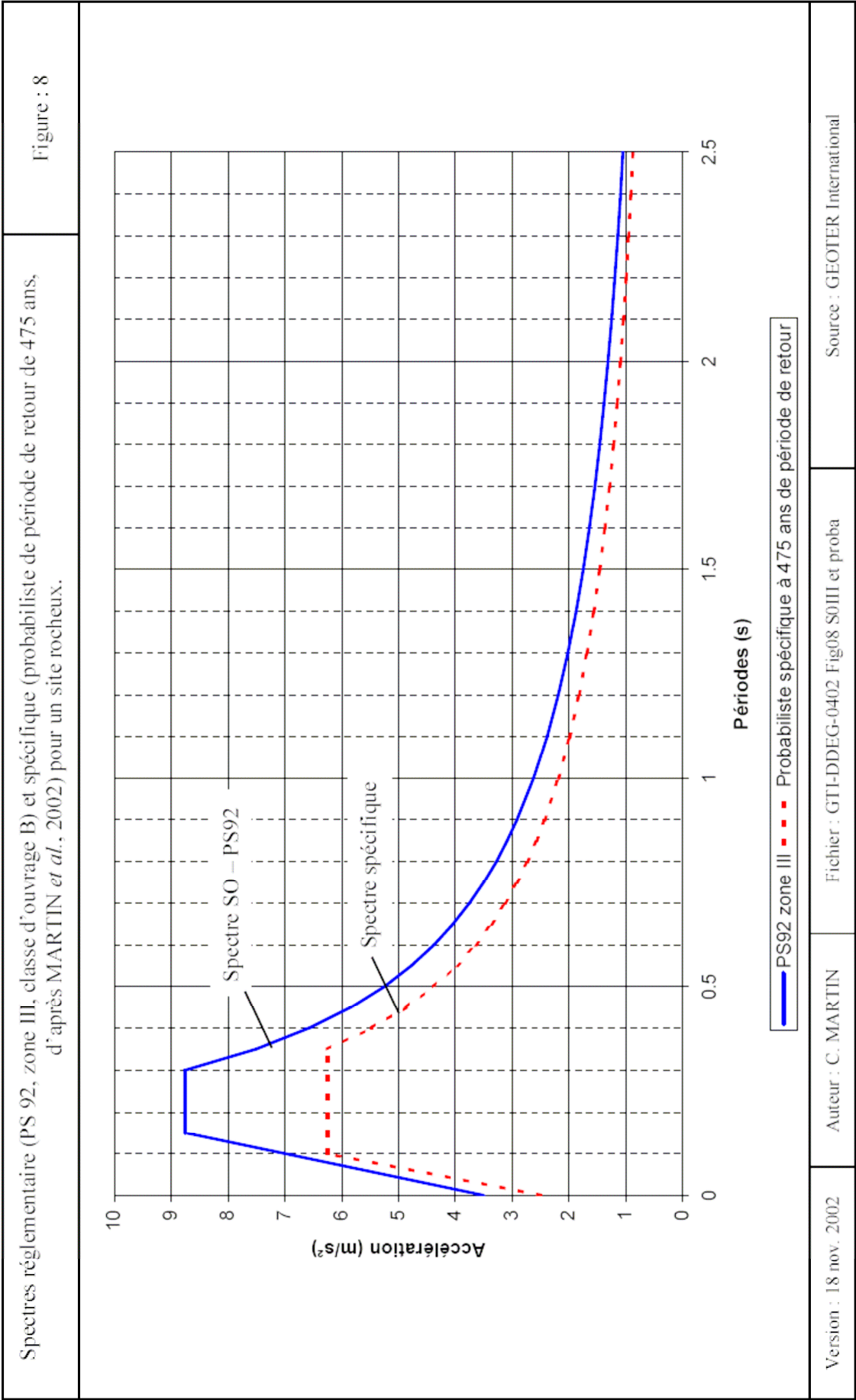
Il est trop tôt pour préjuger des valeurs de a_N et a_g qui seront *in fine* adoptées pour le Sud de la Basse Terre. Leur définition relève de considérations aussi bien techniques, qu'économiques et politiques.

Etant précisé que l'accélération a_N correspond à l'accélération de plateau du spectre divisée par 2,5, et que a_g correspond à l'accélération maximale du sol à la période de retour spécifiée (475 ans), il est possible, sur des considérations purement techniques, d'anticiper ces valeurs, qui devraient être proches de celles proposées (Tableau 18).

On notera que les valeurs de a_N , correspondant à la classe d'ouvrage B, et de a_g sont équivalentes.

Valeurs possibles de l'accélération nominale (a_N en m/s^2), par classe d'ouvrage, pour l'application des règles PS 92			Valeur possible de a_g dans le Sud Basse-Terre (a_g en m/s^2) pour l'application des EC8
B	C	D	
2,5	3,0	3,5	2,5

Tableau 18 : Evolution vraisemblable des paramètres a_N et a_g du prochain zonage sismique de la France.



7.3 Mouvements sismiques tenant compte des conditions particulières de site

Seuls les effets de site géologiques sont appréhendés à l'occasion de cette étude. En effet, la prise en compte des effets de site topographique dans le calcul de l'agression sismique reste relativement aisée¹⁷, 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**¹⁸.

De même, des modifications locales du mouvement sismique ont parfois été observées à proximité de la faille sismogène. Faute de méthodologie éprouvée, cet aléa n'est pas pris en compte dans la présente évaluation de l'aléa sismique.

7.3.1 Zones à enjeux, étudiées au 1/10 000

La cartographie des zones présentant une réponse sismique homogène est entreprise grâce à :

- Une enquête de terrain ;
- L'interprétation des données géotechniques existantes collectées (épaisseurs et types de formations) ;
- L'exploitation des documents relatifs à la réalisation du microzonage sismique de la commune par le BRGM.

Les spectres de réponse élastique sont fournis sous forme normalisée, de telle sorte, qu'ils puissent être utilisés quelle que soit la valeur de a_N ou a_g qui sera adoptée *in fine*.

On établit, pour chaque zone homogène, la correspondance avec le type de site de la réglementation EC8, pour les raisons suivantes :

- Les spectres et sites EC8 reflètent mieux l'état des connaissances scientifiques actuelles que les PS 92 ;
- Les fonctions de transfert expérimentales obtenues par le BRGM dans son microzonage sont en meilleur accord avec les spectres EC8 qu'avec les spectres PS 92 ;
- Les spectres des sites S2 et S3 des PS 92, sont contredits par les enregistrements des mouvements forts réalisés durant les 15 dernières années sur des sites de type S2 et S3 ;
- Le choix des sites EC8, peut permettre une homogénéité de la cartographie des effets de site, dans les zones limitrophes des territoires communaux.

Les zones homogènes identifiées sont décrites par rapport aux EC8 et caractérisées (Tableau 19) en s'appuyant sur l'exploitation :

- De la carte géologique ;
- Des mesures H/V et SASW réalisées par le BRGM à l'occasion du microzonage sismique ;
- Des sondages géotechniques recensés sur le territoire communal ;
- Des reconnaissances de terrain.

Les reconnaissances géophysiques disponibles (H/V et SASW) permettent de reconnaître les types de site EC8, et d'apprécier l'homogénéité spatiale de la réponse des sols sous très faible

¹⁷ Coefficient d'amplification topographique (τ) des règles PS 92 et de l'Eurocode 8

¹⁸ Au terme d'une démarche différente, le microzonage sismique de l'agglomération de Basse-Terre arrive à la même conclusion.

niveau de déformation. Les contours des zones homogènes (Carte 10) reprennent en partie les travaux du microzonage sismique de l'agglomération de Basse-Terre (BRGM, 2002).

Zone	Description	Caractérisation ¹⁹	Type de site	
			EC8	PS 92
Marina Rivières Sens	Dépôts alluviaux et formations volcaniques de caractéristiques mécaniques moyennes à bonnes. ≥ 50 m d'épaisseur. Augmentation progressive des propriétés mécaniques en profondeur.	$V_{s,30} = 380$ m/s (V_s de 180 à 600 m/s) Sols de type a	B	S1
Archives départementales Saint Jean Bosco	Dépôts et formations volcaniques de caractéristiques mécaniques moyennes à bonnes. ≥ 45 m d'épaisseur. Augmentation progressive des propriétés mécaniques en profondeur.	$V_{s,30} = 400$ m/s Sols de type b et a	B	S1
Val Kanaërs	Sols essentiellement cohérents de caractéristiques mécaniques médiocres. ≥ 10 m d'épaisseur.	Fréquence fondamentale (mesures H/V) très nette entre 1 et 3Hz. V_s de 60 à 260 m/s Sols de type c	D	S3
Palmiste	Formations volcaniques de caractéristiques mécaniques moyennes (DbS3) à bonnes (M7). ≥ 30 m d'épaisseur (probablement hectométrique). Augmentation progressive des propriétés mécaniques en profondeur. Conditions géométriques particulières (coulée).	Fréquence fondamentale (mesures H/V) très nette autour de 4 Hz (2 à 6 Hz). $V_{s,30} < 360$ m/s (DbS3) $V_{s,30} > 360$ m/s (M7) Sols de type b (DbS3) et a (M7).	B (M7), B ou C (DbS3)	S2
Monts Caraïbes	Morphologie complexe (crêtes effilées, versants raides, dômes)	/	/	/
Embouchure Galion	Dépôts alluviaux et formations volcaniques de bonnes caractéristiques mécaniques. ≥ 50 m d'épaisseur.	/	B	S1
Reste commune	Rocher altéré, formations volcaniques de bonnes caractéristiques mécaniques. ≥ 30 m d'épaisseur. Augmentation progressive des propriétés mécaniques en profondeur.	$V_{s,30} < 800$ m/s Sols de type a ou b.	B	S1

Tableau 19 : Caractérisation des zones de réponse sismique homogène au sein des secteurs à enjeux.

¹⁹ $V_{s,30}$: vitesse moyenne de ondes de cisaillement (V_s) sur les 30 m superficiels de sol.

Nous avons privilégié des formes spectrales comparables à celles proposées par les EC8, pour plusieurs raisons :

- La forme du spectre spécifique au rocher intégrant la contribution des sources proches et lointaines, est très cohérente avec celle du spectre au rocher des EC8 ;
- Pour les différentes catégories de site, elles résultent du traitement statistique d'un très grand nombre d'observations de mouvements forts. Les formes sont validées et représentatives de la réponse statistique des différentes catégories de site ;
- Elles faciliteront l'application du règlement.

Les formes spectrales spécifiques proposées sont comparées aux spectres de la réglementation PS 92 (Figure 9).

Les spectres sont également fournis sous forme normalisée (Tableau 20, Figure 10). Pour la conception et le dimensionnement, il suffit de multiplier les formes spectrales normalisées par l'accélération de calage du spectre (a_g), fixée par la réglementation en vigueur au moment du dépôt du permis de construire. Dans l'état actuel des connaissances sur l'aléa sismique, nous recommandons d'utiliser les valeurs suivantes de a_g sur le territoire communal (Tableau 21).

Les équations des branches des spectres applicables sur le territoire communal sont détaillées par ailleurs (Annexe 2 : Equation des branches des spectres de réponse).

Le règlement du PPR peut néanmoins s'appliquer, quelles que soient les valeurs de l'accélération qui pourrait être retenue par le service instructeur :

- Associée au futur zonage sismique de la France, qui paraîtra en 2003 ;
- Décision propre au règlement communal.

Type de site (EC8)	S	T _B	T _C	T _D
A	1,0	0,1	0,35	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0

Tableau 20 : Valeurs caractéristiques des branches du spectre.

Avec :

- S, Ordonnée à l'origine du spectre de réponse élastique ;
- T_B, T_C, Périodes caractéristiques des branches du spectre ;
- T_D, Période définissant le début de réponse constante en déplacement du spectre,

Classe d'ouvrage	Valeur recommandée a_g
B	2,5 m/s ²
C	3,0 m/s ²
D	3,5 m/s ²

Tableau 21 : Valeurs proposées pour le calage des spectres normalisés en fonction des classes de bâtiment.

7.3.2 Zones à faibles enjeux, étudiées au 1/25 000

La cartographie est réalisée en exploitant l'atlas communal, mis à jour et corrigé pour assurer la cohérence et l'homogénéité aux frontières avec les zones à enjeux, pour lesquelles des investigations plus fines ont été réalisées.

L'atlas distingue de manière binaire les zones avec et sans effets de site. La correspondance indicative vis-à-vis des types de sites réglementaires (PS92 et EC8) et en terme d'aléa est précisée dans le Tableau 22.

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

Tableau 22 : Correspondance entre types de site et niveaux d'aléa « effet de site » dans les zones à faibles enjeux.

Sur la commune, toutes les zones identifiées à effet de site dans l'atlas communal sont aussi des zones à enjeux, donc traitées de manière plus précise à l'occasion de cette étude.

Pour certaines zones à faibles enjeux, étudiées au 1/25 000, ou n'ayant pas fait l'objet d'investigations particulières à l'occasion du microzonage sismique de l'agglomération de Basse-Terre, l'aléa sismique est jugé **faible** (site S1 des PS 92 ou B des EC8). Ceci assure la cohérence avec l'évaluation réalisée dans les zones à enjeux traitées au 1/10 000. Il s'agit notamment :

- Monts Caraïbes et Morne Boucanier ;
- Les coulées de lave massive superposées de Trois rivières à Dolé;
- Ravine Gaudry, Ravine l'Ilet et Ravine Blanche de Dolé;
- Rivière Grande-Anse ;
- Les hauts de Gourbeyre
- Rivière du Galion.

L'aléa effet de site est jugé **fort** dans la continuité Sud de la zone de Val Kanërs.

Les reliefs très particuliers des Monts Caraïbes n'ont pas été évalués plus précisément. Il convient toutefois de considérer qu'il ne s'agit pas de rocher affleurant, et que des effets particuliers liés à la morphologie sont susceptibles de s'y produire.

7.4 Evaluation et cartographie de l'aléa sismique

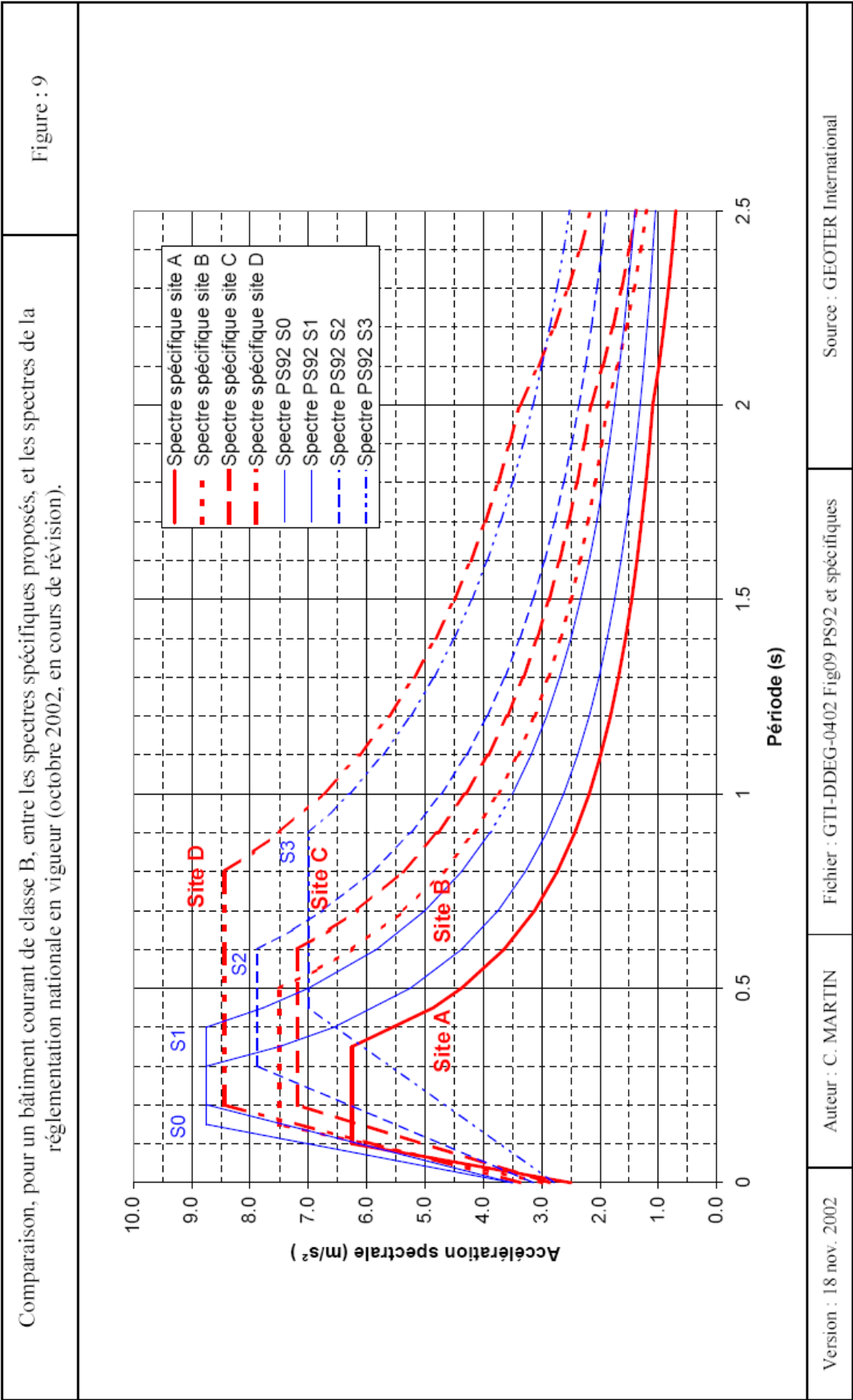
L'aléa sismique concerne l'ensemble du territoire communal. Il est caractérisé par :

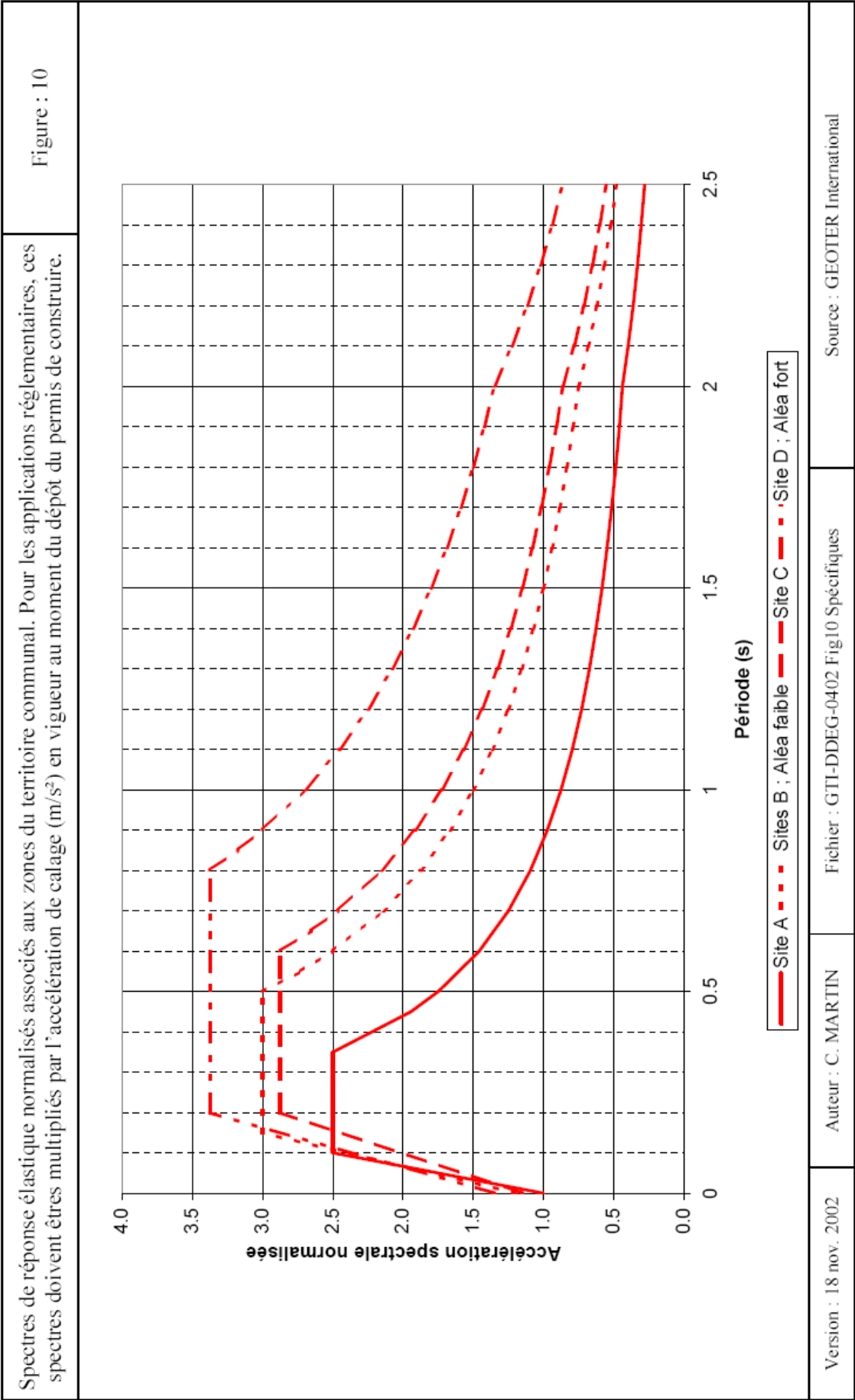
- Un paramètre de calage a_N et a_g , traduisant la composante régionale liée aux sources sismiques à considérer ;
- Un type de site, correspondant à une forme spectrale, propre à chacune des configurations locales (Tableau 23), capables de modifier le mouvement vibratoire.

Description	Zones à enjeux, étudiées au 1/10 000	Zones à faibles enjeux, étudiées au 1/25 000
Rocher altéré et formations superficielles de bonnes caractéristiques mécaniques	Site de type S1 (PS92) ou B (EC8)	Aléa effet de site faible
Formations superficielles de caractéristiques mécaniques moyennes	Site de type S2 (PS92) ou C (EC8)	/
Formations superficielles de caractéristiques mécaniques médiocres	Site de type S3 (PS92) ou D (EC8)	Aléa effet de site fort

Tableau 23 : Caractérisation géologique des types de site.

L'aléa sismique sur la commune de Gourbeyre est cartographié à l'échelle du 1/10 000 (Carte 10).





8 EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA LIQUÉFACTION

8.1 Présentation de la démarche

L'évaluation de l'aléa liquéfaction nécessite de s'interroger sur les questions suivantes :

- Le sol est-il susceptible de se liquéfier ?
- Le séisme peut-il initier la liquéfaction ;
- Les effets éventuels attendus sont-ils dommageables ?

La démarche d'évaluation de l'aléa liquéfaction est exposée par ailleurs (Annexe 1 : Méthodes et définitions, § 17.2). Elle comprend les étapes suivantes :

- Susceptibilité à la liquéfaction, compte tenu du contexte géologique et hydrogéologique ;
- Initiation de la liquéfaction tenant compte des mouvements sismiques de référence ;
- Nature et intensité des effets de la liquéfaction ;
- Evaluation de l'aléa liquéfaction ;
- Cartographie de l'aléa liquéfaction.

Selon les données disponibles, elle est menée conformément à l'état de l'art, et notamment en considérant les références suivantes :

- Réglementation parasismique en vigueur (règles PS 92) et à venir (Eurocode 8) ;
- Guide méthodologique de réalisation des microzonages sismiques (AFPS, 1993) amendé des améliorations préconisées par le groupe de travail chargé de sa mise à jour ;
- Guide méthodologique de réalisation des PPR sismiques (MATE et METLM, 2002) ;
- Version mise à jour par un comité d'expert (NCEER, 1997) de la « procédure simplifiée » initialement développée par SEED.

8.2 Susceptibilité à la liquéfaction

8.2.1 Critères géologique et géomorphologique

La susceptibilité des sols à se liquéfier dépend de la nature et de l'âge de dépôts. La carte géologique (BOUDON et al., 1987) identifie sommairement les formations superficielles. Les sondages de la base de données GEO-TER / GEOMAT apportent ponctuellement quelques compléments. D'après des critères géologiques (YOUD et PERKINS, 1978) et géomorphologiques (WAKAMATSU, 1992²⁰), les formations superficielles *a priori* suspectes vis-à-vis de la liquéfaction sont les suivantes :

- Les alluvions à l'embouchure de la Rivière du Galion, formant un cône de déjection, d'une pente de l'ordre de 3 % ;
- Les alluvions et dépôts de plage de faible énergie de la Marina de Rivière Sens ;
- Les dépôts limniques²¹ de Val Kanaërs, largement remblayées ;
- Les remblais, non représentés sur la carte géologique.

8.2.2 Critère hydrogéologique

La susceptibilité des sols à se liquéfier requiert la présence d'eau dans les sols. Le niveau de la nappe dans les formations identifiées ci-dessus est souvent proche de la surface. Ceci indique une saturation, au moins partielle, de ces formations.

²⁰ Dans ISSMGE-TC4 (1999).

²¹ Lacustres ou palustres ;

8.2.3 Critère géotechnique

Pour caractériser la résistance des sols à la liquéfaction, les essais *in situ* sont recommandés, notamment par ordre de prédilection décroissante :

- Essai de pénétration statique (CPT, AFNOR NF P 94-113) ;
- Mesure de la vitesse des ondes de cisaillement (V_s) par une méthode appropriée.

A l'occasion du microzonage de l'agglomération de Basse-Terre (BRGM, 2002), des reconnaissances géotechniques spécifiques ont été réalisées :

- Mesures géophysiques par analyse spectrale des ondes de surface (SASW).
 - Rivière Sens ;
 - Val Kanaërs.
- 3 essais de pénétration statique (CPT) à Val Kanaërs (PS11, PS13 et PS14) ;
- Prélèvement d'échantillons pour identification en laboratoire.

Leur nombre et leur répartition ne permettent qu'une représentativité partielle des conditions de sols.

8.2.3.1. Essai de pénétration statique

A partir des paramètres mesurés (résistance de pointe et frottement latéral), le rapport de frottement normalisé (R_f) et un indice de comportement (I_c) caractérisent les matériaux fins de Val Kanaërs (Figure 12). Selon ce dernier paramètre ($I_c \geq 2,6$), l'essentiel des sols sont effectivement des argiles, éventuellement limoneuses, des tourbes ou des sols organiques. Dans ce cas, les critères d'identification usuels (PS 92) doivent permettre de rejeter la susceptibilité à la liquéfaction (NCEER, 1997). Cependant, des valeurs nulles (ou non mesurables) de la résistance de pointe et du frottement latéral (PS14 de 4 à 8 m de profondeur), indiquent d'ores et déjà des sols de très faible résistance mécanique, c'est-à-dire ce que l'on redoute en cas de liquéfaction.

8.2.3.2. Vitesse des ondes de cisaillement

Au sein des matériaux alluvionnaires grossiers, la vitesse des ondes de cisaillement est *a priori* le paramètre de caractérisation géotechnique le plus fiable. Les résultats sont exploités par profils (Figure 11), en comparant la vitesse normalisée des ondes de cisaillement et une valeur critique (V_{s1c}) en deçà de laquelle la formation est suspecte vis-à-vis de la liquéfaction (NCEER, 1997).

Les profils montrent que les formations testées à la Marina de Rivière Sens ne sont pas susceptibles de liquéfaction. Toutefois, l'estimation des vitesses est parfois proche de la valeur critique, voire inférieure en considérant la variabilité sur les mesures (écart type). Ainsi, **la susceptibilité à la liquéfaction reste supposée pour les premiers mètres entre l'embouchure du Galion et de la Marina de Rivière Sens.**

La vitesse normalisée des ondes de cisaillement pour les dépôts fins et de caractéristiques médiocres de Val Kanaërs est inférieure à la valeur critique. Ce n'est pas pour autant une démonstration suffisante de la susceptibilité à la liquéfaction.

8.2.3.3. Identification en laboratoire

Les matériaux prélevés et testés permettent assez souvent d'estimer la susceptibilité vis-à-vis de la liquéfaction (Tableau 24).

Echantillon Classification	Granulométrie ²²					Cu ²³	w ²⁴	w _L ²⁵	I _p ²⁶	Critères PS 92
	d10	d15	d50	d60	d70					
Plage du Galion 0,5 m Sable superficiel	0.220	0.280	1.2	2.5	8	11.4				Oui
Rivière Sens F9 à 3,6 m argile sableuse	0.008		0.160	0.200	0.250	25.0	29	33	4	<i>A priori</i> Non
Plage de Rivière Sens 0,5 m Sable superficiel	0.700	0.850	2.1	2.6	4	3.7				<i>A priori</i> Non
Val Kanaërs F1 à 3,5 m Argile molle plastique							79	108	55	Non
Val Kanaërs F10 à 1,1 m Sable grossier	0.040	0.100	0.750	1.5	4	37.5	30			<i>A priori</i> Non

Tableau 24 : Evaluation de la susceptibilité à la liquéfaction (critères PS 92).

8.2.4 Conclusion sur la susceptibilité à la liquéfaction

Compte tenu des différents critères évalués, la susceptibilité est qualifiée (Tableau 25) :

Localisation	Critère historique	Critères géologique géomorphologique	Critère hydrogéologique	Critère géotechnique		Susceptibilité
				CPT ou SASW	PS 92	
Embouchure Rivière du Galion	?	Modérée à faible Improbable	Oui	/	/	Faible
Marina de Rivière Sens	?	Modérée Improbable	Oui	<i>A priori</i> Oui	<i>A priori</i> Non	Faible
Val Kanaërs	?	Elevée à modérée Possible à probable	Oui		<i>A priori</i> Non	Faible
Remblais	?	Très élevée à faible Probable	?	/	/	Modérée

Tableau 25 : Evaluation de la susceptibilité à la liquéfaction.

²² Diamètre à 10, 15, 50, 60 et 70 % de tamisat.

²³ Cu : coefficient d'uniformité (d60/d10).

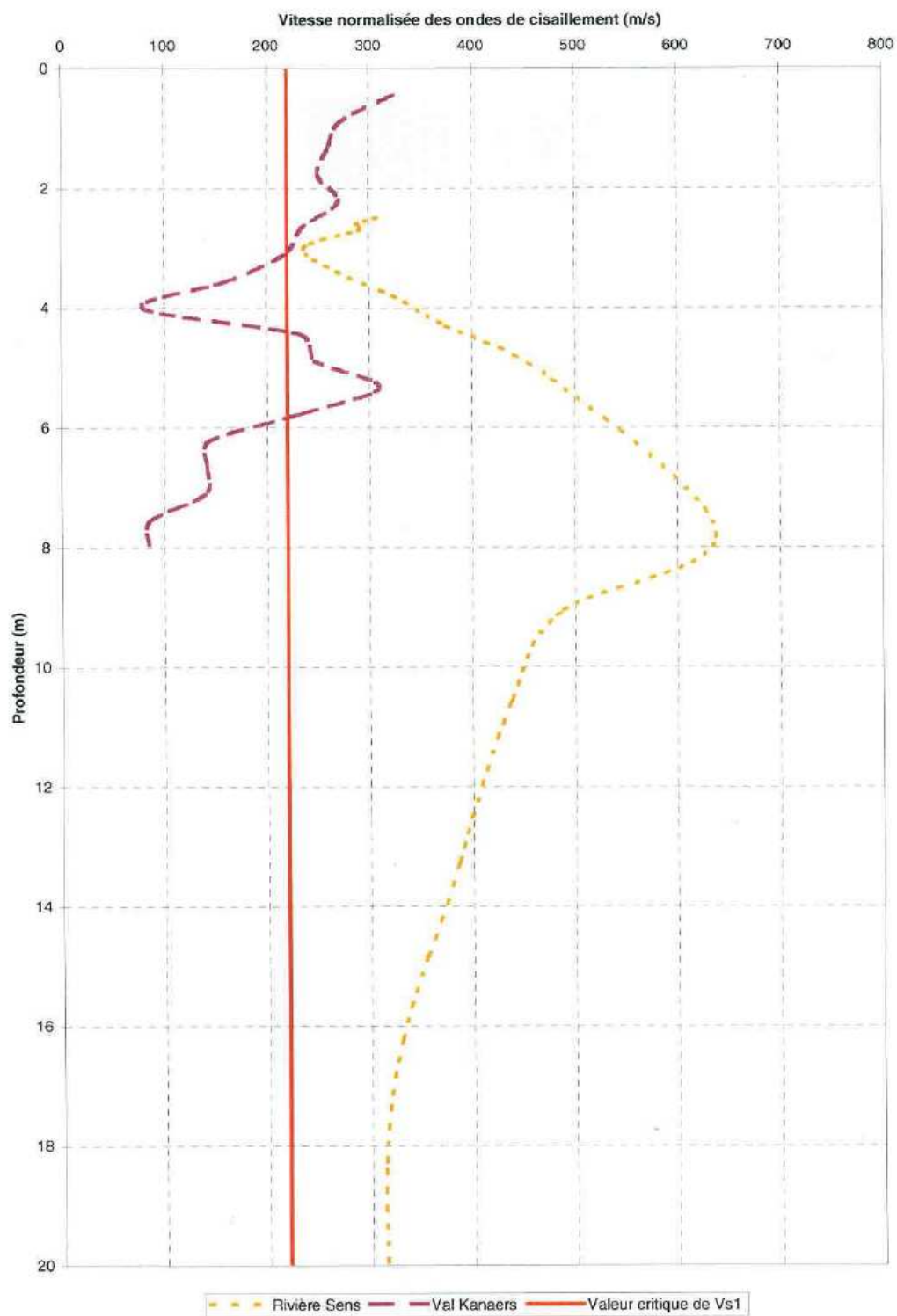
²⁴ w : Teneur en eau naturelle.

²⁵ w_L : Limite de liquidité.

²⁶ I_p : Indice de plasticité.

Exploitation des mesures SASW réalisées pour le microzonage sismique de l'agglomération de Gourbeyre (d'après BRGM, 2002).

Figure : 11



Version :
15 oct. 2002

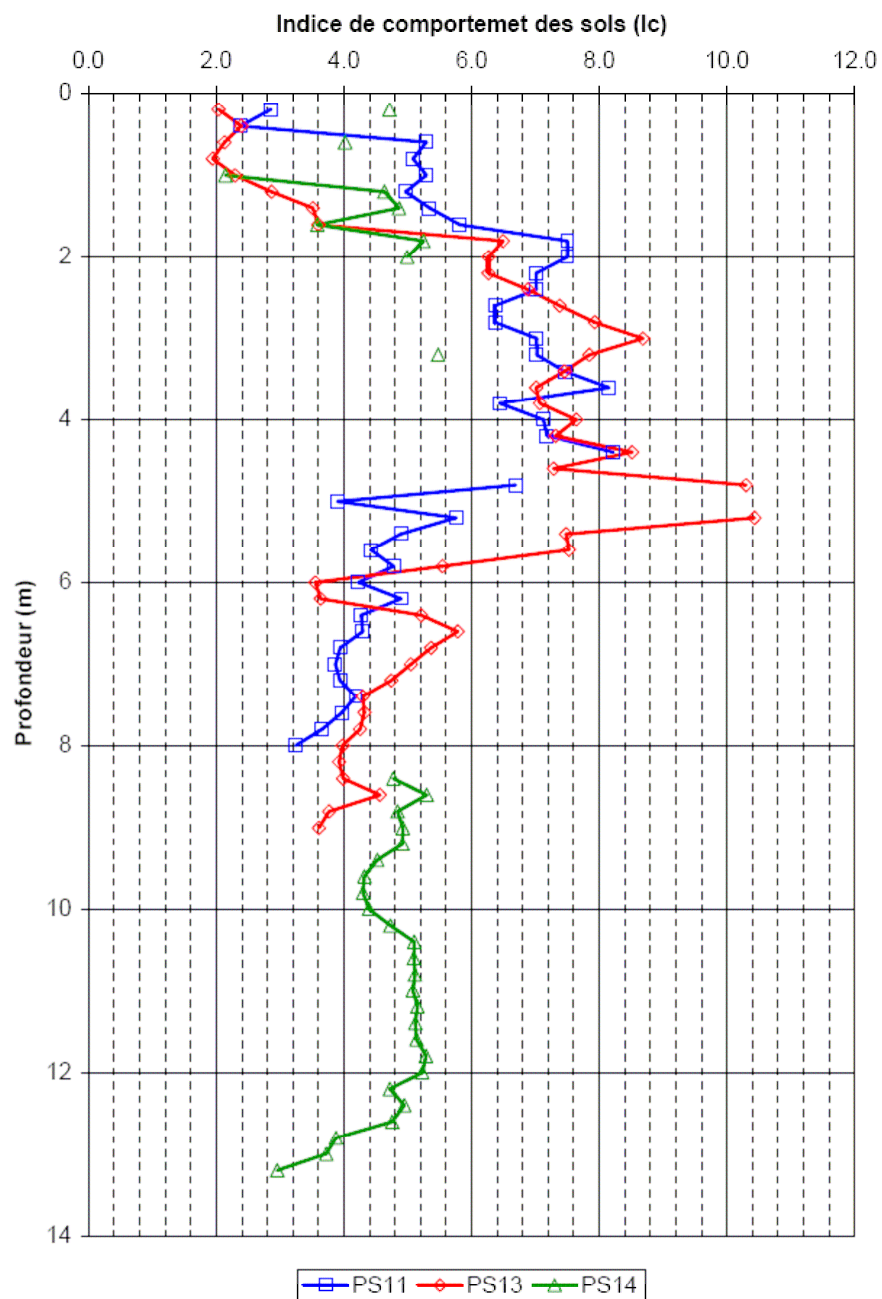
Auteur :
O. MONGE

Fichier :
GTI-DDEG-0402 Fig11 profil Vs G

Source : GEOTER International
(2002)

Exploitation des mesures CPT réalisées pour le microzonage sismique de l'agglomération de Basse-Terre (d'après BRGM, 2002).

Figure : 12



Version :
15 oct. 2002

Auteur :
O. MONGE

Fichier :
GTI-DDEG-0402 Fig12 profil Ic

Source : GEOTER
International(2002)

8.3 Initiation de la liquéfaction

Pour préciser l'initiation de la liquéfaction, on considère une sollicitation sismique issue de l'étude probabiliste (MARTIN *et al.*, 2002). Les caractéristiques sont notamment (Tableau 26) :

- Une période de retour de 475 ans,
- Une contribution à l'aléa de 70 % pour la source proche et 30 % pour les sources lointaines.

Les magnitudes considérées permettent en outre de couvrir des hypothèses de scénarios plus déterministes ou de séismes historiques. Pour tenir compte des effets de site, un coefficient d'amplification de l'accélération maximale au rocher d'environ de 1,2 à 1,4 est retenu. Le niveau de la nappe est supposé à 1 m de profondeur.

Source sismique	Magnitude	Accélération maximale au rocher	Accélération maximale du sol
Proche	6.1	2,5 m/s ²	3,0 à 3,5 m/s ²
Lointaine	7.5	2,0 m/s ²	2,4 à 2,8 m/s ²

Tableau 26 : Caractéristiques de la sollicitation sismique vis-à-vis l'aléa liquéfaction.

L'occurrence de phénomènes interprétés comme de la liquéfaction lors du séisme de 1843 (§ 5.2.3), démontre que certains séismes de références sont suffisants pour initier la liquéfaction à Gourbeyre. Ceci est confirmé par un critère magnitude – distance (AMBRASEYS, 1988). Ainsi, la liquéfaction peut être initiée pour des distances épacentrales de moins de :

- 25 km pour un séisme de magnitude 6,1 ;
- 210 km pour un séisme de magnitude 7,5.

L'hypothèse d'un séisme lointain, de magnitude plus élevée, est plus défavorable vis-à-vis de la sollicitation sismique (CSR, « Cyclic Stress Ratio »,).

Compte tenu des caractéristiques sismiques (Tableau 26) et mécaniques (Figure 11, Figure 12) et de leur représentativité partielle, l'initiation de phénomènes de liquéfaction est jugée :

- Possible à la marina de Rivière Sens ;
- Possible dans la zone de Val Kanërs.
- Possible à l'embouchure de la Rivière du Galion.

8.4 Intensité de la liquéfaction

8.4.1 Manifestations de la liquéfaction

Compte tenu du contexte géomorphologique, en cas d'initiation de phénomène de liquéfaction, on peut *a priori* redouter les manifestations suivantes :

- Glissements horizontaux ou propagations latérales ("lateral spreads") dans le secteur de la marina de Rivière Sens ;
- Ruptures du sol (perte de capacité portante et tassement) à Val Kanaërs.

8.4.2 Ampleur des effets

Des relations empiriques²⁷ donnent un ordre de grandeur des déplacements associés à des glissements horizontaux. Compte tenu des hypothèses de calcul (Tableau 26), et en considérant plusieurs distances épacentrales, les déplacements éventuels sont estimés centimétriques à pluri-décimétriques.

Les tassements envisageables sont estimés pluricentimétriques à décimétriques.

Par conséquent, les effets sont qualifiés²⁸ de :

- Mineur à modérée pour les tassements ;
- Modérés à significatifs pour les déplacements latéraux.

8.5 Evaluation et cartographie de l'aléa liquéfaction.

L'aléa liquéfaction est jugé en fonction (Tableau 27) :

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

L'aléa liquéfaction est désigné par la lettre L pour indiquer le type de phénomène et un indice chiffré (0 à 4) pour préciser le niveau d'aléa. Il n'y a pas d'aléa considéré comme fort ou majeur (L3 ou L4).

L'aléa liquéfaction sur la commune de Gourbeyre est cartographié à l'échelle du 1/10 000 (Carte 11).

Localisation	Susceptibilité	Initiation	Intensité	Aléa liquéfaction
Embouchure de la Rivière du Galion	Faible	Possible	/	L1 : Faible
Marina de Rivière Sens	Modérée	Possible	Modérée à significative	L1 : Faible
Val Kanaërs	Faible	Possible	Mineure à modérée	L1 : Faible
Remblais	Modérée	Possible	/	L1 : Faible
Reste du territoire communal	Non	Improbable	/	L0 : Négligeable

Tableau 27 : Evaluation et cartographie de l'aléa liquéfaction.

²⁷ YOUNG et PERKINS (1987) ; YOUNG *et al.* (1999) ; modèle EPOLLS, d'après RAUCH *et al.* (1999)

²⁸ « GF: Ground Failure index », d'après EERI (2000).

9 EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DES ALÉAS MOUVEMENT DE TERRAIN

9.1 Présentation de la démarche

L'occurrence d'un phénomène menaçant tel qu'un mouvement de terrain requiert un ensemble de conditions pour lesquelles on distingue habituellement :

- Les facteurs permanents ou de prédisposition ;
- Les facteurs déclencheurs ou aggravants.

Les facteurs permanents définissent dans l'espace (X, Y, Z) la susceptibilité vis-à-vis d'un phénomène. Il s'agit, par exemple, pour les mouvements de terrain de la lithologie, de la pente, des caractéristiques mécaniques, de l'occupation du sol, de la fracturation, de l'altération, etc.. Tous ces paramètres ne varient pas ou peu dans le temps, ce sont les **conditions inhérentes au milieu** physique.

Les **facteurs déclencheurs** introduisent en plus de l'aspect spatial une condition temporelle sur l'occurrence du phénomène. Pour les mouvements de terrain, on considère généralement les facteurs aggravants suivants :

- Le déclencheur hydraulique, c'est-à-dire un épisode météorologique et ses répercussions en un point donné, par exemple en termes de pression interstitielle et d'état de saturation ;
- Le déclencheur sismique, qui modifie et majore la composante gravitaire dans l'équilibre d'un versant ou de blocs instables ;
- Le déclencheur anthropique, car l'action de l'homme est capable de modifier rapidement certains facteurs comme la pente (travaux de terrassement), la couverture végétale (défrichage et incendies) ou la répartition des écoulements d'eau.

Conformément aux recommandations du guide méthodologique²⁹, la démarche utilisée 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 donc d'un jugement qui classe les phénomènes puis intègre et pondère les différents facteurs à partir de la description et l'interprétation des observations de terrain.

Pour étayer cette évaluation, il est nécessaire de se référer aux phénomènes connus tels qu'ils ont été recensés dans la carte informative des phénomènes (Carte 5) et à des échelles d'évaluations explicites et partagées.

La démarche mise en œuvre comprend les étapes suivantes :

- Analyse des facteurs de susceptibilité et de déclenchement ;
- Intensité de l'aléa ;
- Evaluation et cartographie de l'aléa.

Le recensement des phénomènes de mouvements de terrain (§ 5.3, Carte 5) a mis en évidence les principaux types de phénomènes. Il permet en outre d'analyser les conditions de leur occurrence spatiale et temporelle et leur intensité en fonction de la nature et l'ampleur des parades à mettre en œuvre pour un phénomène déclenché.

Les aléas mouvement de terrain sur la commune de Gournay sont cartographiés à l'échelle du 1/10 000 (Carte 12).

²⁹ MATE et METL (1999).

L'aléa est identifié par une trame rendant compte du type de phénomène et un code de couleur qui caractérise le niveau. Parfois, en redondance, une lettre et un chiffre transcrivent de même la nature du phénomène potentiel et son intensité supposée.

9.2 Chute de pierres, chute de blocs, éboulement en masse ou en grande masse

9.2.1 *Analyse des facteurs de susceptibilité et de déclenchement des phénomènes de chute de pierres, chute de blocs, éboulement en masse ou en grande masse*

Un grand nombre de matériaux d'origine volcanique est propice à des phénomènes de chutes de pierres, de blocs et éboulements. En effet, par leur nature, les formations pyroclastiques, les coulées de débris, et les coulées de lave comportent des pierres, des blocs ou des gros blocs, individualisés dans une matrice. Ces éléments sont libérables à la faveur d'une topographie localement plus raide comme une falaise, un escarpement, un changement de pente significatif, une bordure de coulée, une berge ou un talus d'origine anthropique.

La libération peut résulter du déclenchement par un épisode pluvieux intense ou prolongé, un séisme ou une intervention anthropique.

La propagation de la masse libérée dépend de son comportement mécanique, de sa géométrie, du relief et de la rugosité (couverture végétale, etc..) de la zone d'arrêt.

Ainsi, les secteurs les plus susceptibles vis-à-vis de ce phénomène sont :

- Les berges de la Rivière Grande Anse.
- Les bords de la coulée de lave du plateau du Palmiste ;
- Le Morne Boucanier ;
- Les fronts de taille de la carrière de Rivière Sens ;
- La plupart des versants des Monts Caraïbes ;
- Les berges de la Rivière Sens ;
- Les berges de la Rivière du Galion.

Hormis des amplifications topographiques difficiles à quantifier, il n'y a pas lieu de distinguer des zones plus défavorables vis-à-vis du déclencheur sismique. Les ravines, concentrant les écoulements, sont évidemment plus favorables au déclenchement d'instabilité, par érosion de berge. Cependant, le déclencheur hydraulique peut également agir en tout point du territoire communal. Enfin, la prise en compte du déclencheur anthropique est par essence difficile à apprécier géographiquement.

9.2.2 *Intensité des phénomènes de chute de pierres, chute de blocs, éboulement en masse ou en grande masse*

Compte tenu de l'échelle d'évaluation de l'intensité suggérée dans les guides méthodologiques, on considère que le niveau d'aléa est :

- Faible (P1), *i.e.* maîtrisable à l'échelle locale et supportable individuellement dans le cas de chute de pierres ou de blocs affectant des talus de dimensions limitées ;
- Moyen (P2), *i.e.* maîtrisable uniquement à l'échelle du versant et supportable collectivement dans le cas de phénomènes de chute de blocs ou éboulement affectant de manière récurrente des versants de grandes dimensions (talus de la RN1 au Nord de Gourbeyre) ;

- Fort (P3), si les parades à mettre en œuvre sont d'un coût très important ou techniquement difficile (Rivière du Galion, bordure de la coulée du Palmiste) ;
- Majeur (P4), s'il n'existe pas de parade technique.

9.2.3 *Evaluation et cartographie de l'aléa chute de pierres, chute de blocs, éboulement en masse ou en grande masse*

L'aléa chute de pierres, chute de blocs, éboulement en masse ou en grande masse est jugé en fonction :

- Des facteurs de susceptibilité et de déclenchement ;
- De l'intensité du phénomène.

Cette appréciation repose sur une approche naturaliste du type expertise *a priori*, excluant le recours à des études particulières, notamment en terme de propagation. Les principes généraux suivants sont retenus.

Le niveau d'aléa majeur (P4) n'a pas été rencontré sur le territoire communal.

Fort (P3) :

- Sur les pentes fortes des dômes (Morne Boucanier) et des coulées de lave (Plateau du palmiste) et dans la zone de propagation estimée probable ;
- Au droit des ravines encaissées avec des berges verticales plurimétriques (Rivière du Galion, Rivière Sens) ;
- Au droit et en pied d'escarpements sub-verticaux de plus de 15 m de hauteur ;
- En amont des escarpements d'une hauteur significative (décamétrique), selon une largeur comprise entre 5 et 15 m.

Moyen (P2) :

- Au droit et en pied de talus, berges ou falaises de moins de 15 m de hauteur (talus de la RN1, entrée Nord de Gourbeyre) ;
- Eventuellement en amont des escarpements d'une hauteur significative (pluridécamétrique), selon une largeur comprise entre 10 et 25 m au-delà de P3.
- Eventuellement à l'aval de P3 (propagation possible).

Faible (P1) :

- Au droit de talus, notamment routier, présentant ponctuellement un niveau d'aléa non négligeable ;
- Eventuellement à l'aval de P2.

L'aléa est jugé négligeable (P0) sur les zones plates du Plateau du Palmiste, entre Valeau et Liard.

Dans les autres secteurs, conformément à la cartographie des aléas des atlas communaux des risques, le niveau d'aléa est jugé nul à faible (P0-1). Il est considéré comme négligeable.

L'aléa chute de pierres, chute de blocs, éboulement en masse ou en grande masse sur la commune de Gourbeyre est cartographié à l'échelle du 1/10 000 (Carte 12).

9.3 Glissement, coulée de boue, glissement/coulée

9.3.1 *Analyse des facteurs de susceptibilité et de déclenchement des phénomènes de glissement, coulée de boue, glissement/coulée*

Les glissements de terrains, pouvant évoluer en coulées de boue, concernent essentiellement des formations argileuses. Il s'agit des projections cendreuses altérées et selon l'abondance et l'état de leur matrice, des coulées de débris et écoulements pyroclastiques. Il faut de plus une pente supérieure à 5°. Enfin, l'existence préalable d'une surface de discontinuité peut faciliter ou au moins guider l'occurrence d'un glissement. Les coulées de boues, hors laves torrentielles, sont la conséquence et la prolongation de certains glissements, dans des conditions de large remaniement et de forte saturation en eau. Outre les facteurs propres au glissement, il faut aussi une configuration capable de concentrer les écoulements et d'imbiber les matériaux.

Par conséquent, les secteurs les plus susceptibles vis-à-vis de phénomènes de glissement pouvant évoluer en coulées de boue sont :

- Les pentes recouvertes de retombées cendreuses argilisées (notamment les dépôts de la déferlante lithique de l'éruption cataclysmale de type «Mount Saint-Helens») ;
- Certains versants des Monts Caraïbes.

Les glissements/coulées sont des phénomènes assez particuliers, ils s'apparentent à un glissement plan très rapide. Leur occurrence nécessite de fortes pentes, supérieure à 25°, et une configuration : frange altérée métrique à plurimétrique reposant sur un substratum rocheux.

Ainsi, les secteurs les plus susceptibles vis-à-vis de phénomènes de glissement/coulée sont :

- Les bords de la coulée de lave du plateau du Palmiste ;
- Les dômes (Morne Boucanier, Houëlmont) ;
- La plupart des versants des Monts Caraïbes.

L'eau, associée à un épisode pluvieux important est le principal facteur aggravant, essentiellement par les pressions interstitielles développées dans le sol. A ce titre, le cumul des précipitations augmente fortement avec l'altitude.

Le séisme est un autre déclencheur naturel. Enfin, l'origine anthropique est également importante (travaux de terrassements tels que surcharge en tête d'un talus ou d'un versant, décharge en pied supprimant une butée stabilisatrice, rejets d'eau non maîtrisés, pratique culturelle, déboisement, etc.).

9.3.2 *Intensité des phénomènes de glissement, coulée de boue, glissement/coulée*

Compte tenu de l'échelle d'évaluation de l'intensité suggérée dans les guides méthodologiques, on considère que le niveau d'aléa est :

- Faible (G1), *i.e.* maîtrisable à l'échelle locale et supportable individuellement (talus de la rocade de Basse-Terre) ;
- Moyen (G2), *i.e.* maîtrisable uniquement à l'échelle du versant et supportable collectivement ;
- Fort (G3), si les parades à mettre en œuvre sont d'un coût très important ou techniquement difficile (Glissement/coulées, versants de plusieurs dizaines de mètres de hauteur, très argileux, beaucoup d'eau) ;
- Majeur (G4), s'il n'existe pas de parade technique.

9.3.3 Evaluation et cartographie de l'aléa glissement, coulée de boue, glissement/coulée

L'aléa glissement, coulée de boue, glissement/coulée est jugé en fonction :

- Des facteurs de susceptibilité et de déclenchement ;
- De l'intensité du phénomène.

Cette appréciation repose sur une approche naturaliste du type expertise *a priori*, excluant le recours à des études particulières, notamment en terme de propagation. Les principes généraux suivants sont retenus.

Le niveau d'aléa majeur (G4) n'a pas été rencontré sur le territoire communal.

Fort (G3) :

- Au niveau des pentes de plus de 25°, où une frange altérée repose sur un substratum rocheux (Morne Boucanier, bords du plateau du Palmiste) ;
- Au niveau des pentes de plus de 15°, recouvertes de cendres argileuses (piémont du Morne Boucanier, Champfleury, Grand Camp, lotissement Caraïbes) ;
- Dans la zone de propagation estimée probable d'éventuelles coulées de boue.

Moyen (G2) :

- Au niveau des pentes moyennes (10 à 15°), comportant des matériaux argileux (versants de l'ensemble effusif de Trois-Rivières, amont des versants du en bordure du plateau du palmiste) ;
- Dans la zone de propagation estimée possible d'éventuelles coulées de boue.

Faible (G1) :

- Au droit de talus, notamment routier, présentant ponctuellement un niveau d'aléa non négligeable ;
- Dans la zone de propagation estimée possible de coulées de boue exceptionnelles.
- Eventuellement à l'aval de G2.

L'aléa est jugé négligeable (G0) sur les zones plates du Plateau du Palmiste, entre Valeau et Liard.

Dans les autres secteurs, conformément à la cartographie des aléas des atlas communaux des risques, le niveau d'aléa est jugé nul à faible (G0-1). Il est considéré comme négligeable.

L'aléa glissement, coulée de boue, glissement/coulée sur la commune de Goubeyre est cartographié à l'échelle du 1/10 000 (Carte 12).

9.4 Mouvement gravitaire indifférencié

Hors des zones à enjeux, la cartographie des atlas communaux à l'échelle du 1/25 000 sert de référence. Ces documents ne distinguent pas le type de phénomène. Si nécessaire, le terme de mouvement gravitaire indifférencié (PG) est alors utilisé. Il peut s'agir également de mouvements gravitaires associant plusieurs types de phénomènes ou d'instabilités de grande ampleur.

Ainsi, cet aléa est par exemple jugé moyen (PG2) ou fort (PG3) au niveau des Monts Caraïbes, des fronts de taille de la carrière de Rivière Sens. En effet, certains phénomènes concernent l'ensemble du versant, en terme de conditions de déclenchement ou de zones de propagation.

L'aléa mouvement gravitaire indifférencié sur la commune de Gourbeyre est représenté à l'échelle du 1/10 000 (Carte 12).

9.5 Embâcles

L'ensemble des ravines soumises simultanément aux aléas mouvement de terrain d'une part et inondation d'autre part est *de facto* réputée soumise à un aléa embâcle de niveau équivalent à celui du mouvement de terrain à l'origine du barrage.

Pour des raisons de lisibilité, cet aléa n'est pas représenté sur les cartes.

10 EVALUATION DES SCÉNARIOS D'ÉRUPTION VOLCANIQUE

10.1 Présentation de la démarche

Conformément au cahier des charges, il ne s'agit pas d'une nouvelle évaluation des aléas volcaniques, mais d'exploiter les documents existants :

- Etude de l'aléa au 1/25 000 du massif de la soufrière (DAGAIN et RANÇON, 1990) ;
- Cartes de zonage des effets des éruptions magmatiques et des éruptions phréatiques au sein des atlas communaux des risques naturels³⁰ ;
- Des cartes d'exposition potentielle à l'aléa volcanique de la population et des constructions (STIELTJES, 1999).

Par ailleurs, le site internet de la préfecture de Guadeloupe (<http://www.guadeloupe.pref.gouv.fr>) a été consulté.

10.2 Les scénarios d'éruption volcanique

Une meilleure connaissance géologique du massif de la Soufrière (Grande Découverte, Soufrière, massif de la Madeleine) et une reconstitution désormais plus précise de l'activité passée du volcan permettent de définir plusieurs grands types d'éruptions qui pourraient avoir lieu dans le futur. Les différents types d'activité sont en fait constitués d'une succession de phénomènes volcaniques dont certains peuvent être communs à plusieurs éruptions à un stade donné d'une crise volcanique.

Au cours d'une même éruption, différents types d'activité peuvent se succéder. Il est donc important de définir des scénarios éruptifs (Tableau 28).

10.2.1 Lahars

Les lahars peuvent être induits par plusieurs scénarios éruptifs. Leur récurrence va donc en dépendre. Leur ampleur (extension, distance de propagation) dépendra du volume de matériaux mobilisables. Selon leur importance, ils suivront les talwegs actuels ou déborderont très largement.

10.2.2 Eruptions uniquement phréatiques

Les éruptions uniquement phréatiques sont les plus fréquentes, au moins sur les derniers 500 ans d'activité du volcan de la Soufrière (1680, 1797-98, 1836-37, 1956, 1975-77). Leur récurrence est estimée de 20 à 50 ans. Par ailleurs, toute éruption magmatique débutera aussi par une phase phréatique.

10.2.3 Eruptions avec édification d'un dôme de lave visqueuse

Les éruptions avec édification d'un dôme de lave visqueuse sont accompagnées ou non de la mise en place d'écoulements pyroclastiques de nature diverse, notamment de "nuées ardentes" dont la distribution est contrôlée ou non par le relief.

Depuis environ 3 000 ans, il y a eu au moins 3 éruptions de la Soufrière avec formation de dôme et mise en place d'écoulements pyroclastiques. La dernière en date (environ 1440 après JC) a

³⁰ <http://www.brgm.fr/risques/antilles/index.htm>

conduit à la formation du dôme actuel de la Soufrière de Guadeloupe. La récurrence de ce type d'éruption est estimée de 500 à 1 000 ans.

10.2.4 Eruptions à écoulement de flanc

Les travaux de recherches en cours (KOMOROWSKI *et al.*, 2002) suggèrent la récurrence d'au moins 6 écoulements de flanc depuis 8 500 ans accompagnés de mise en place de produits dits "d'avalanche de débris" de faible volume (quelques centaines de millions de m³) sur une zone de 40 à 60 km² s'étendant depuis la Soufrière jusqu'à la côte Caraïbe et principalement dans les anciennes vallées qui drainent les flancs du volcan. Au moins une de ces éruptions à écoulement de flanc (il y a environ 3 100 ans) a été associée à une activité magmatique caractérisée par une explosion latérale catastrophique qui a détruit une zone de 60 à 100 km². La récurrence de ce type d'éruption est estimée de 2 000 à 5 000 ans.

10.2.5 Eruptions explosives avec formation de cônes de scories

Les éruptions explosives avec formation de cônes de scories (type Echelle, Citerne) ont été peu fréquentes dans l'histoire du massif mais les cônes de scories de l'Echelle et de la Citerne se sont formés il y a environ 1 500 à 2 000 ans. La récurrence de ce type d'éruption est estimée de 5 000 à 10 000 ans.

10.2.6 Eruptions effusives avec formation de coulées de lave

Les éruptions effusives avec formation de coulées de lave ont été très fréquentes dans la construction du massif volcanique de la Soufrière et de la Madeleine jusqu'à il y a environ 15 000 ans. La récurrence de ce type d'éruption est estimée de 10 000 à 20 000 ans.

10.2.7 Eruptions pliniennes catastrophiques

Les éruptions pliniennes catastrophiques avec émission explosive de plusieurs km³ de magma sous forme de retombées de ponces et de coulées pyroclastiques couvrant plusieurs km² sont de loin les éruptions qui auraient les conséquences les plus catastrophiques. La récurrence de ce type d'éruption est estimée de 50 000 à 100 000 ans.

Plusieurs éruptions de ce type sont connues depuis le début de la formation du massif volcanique de la Grande Découverte - la Soufrière il y a plus de 200 000 ans. La dernière, dont l'âge se situe entre 100 000 et 40 000 ans, a émis les ponces de Pintade, d'un volume de plusieurs km³ présents sur toute la périphérie du massif.

10.3 Evaluation des scénarios d'éruption volcanique

Une éruption volcanique est en fait constituée de la succession des scénarios éruptifs décrits précédemment. L'éruption de « Soufriere hills » à Montserrat illustre ce propos et soulève tragiquement la question de la crédibilité de la cartographie prédictive des zones *a priori* menacées et de son caractère évolutif en fonction des différentes phases de l'éruption.

Par conséquent, on préfère considérer que l'ensemble du territoire communal est exposé aux aléas volcaniques décrits (Tableau 28).

Type	Eruption	Description	Réurrence estimée
Phréatique	Eruptions uniquement phréatiques		20 à 50 ans
Magmatique	Eruptions avec édification d'un dôme de lave visqueuse	Avec ou sans écoulements pyroclastiques	500 à 1 000 ans
Ecroulement sectoriel	Eruptions à écroulement de flanc	Avec avalanches de débris	2 000 à 5 000 ans
Magmatique	Eruptions explosives	Formation de cônes de scories	5 000 à 10 000 ans
Magmatique	Eruptions effusives	Formation de coulées de lave	10 000 à 20 000 ans
Magmatique	Eruptions pliniennes catastrophiques	Avec émission explosive de plusieurs km ³ de magma sous forme de retombées de ponces et de coulées pyroclastiques	50 000 à 100 000 ans

Tableau 28 : Evaluation des scénarios éruptifs du massif de la Soufrière de Guadeloupe (d'après <http://www.guadeloupe.pref.gouv.fr>).

11 EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DES ALÉAS CYCLONIQUES

11.1 Présentation de la démarche

En plus des effets du vent, l'aléa cyclonique comprend :

- L'impact de la houle et l'attaque des vagues ;
- La submersion de zones littorales, consécutivement à la surcote cyclonique et au déferlement des vagues (Annexe 1 : Méthodes et définitions, §17.5) ;
- L'érosion du rivage naturel.

En outre, les fortes précipitations, fréquentes lors du passage d'un cyclone, sont à l'origine d'inondations (hors submersion) et peuvent déclencher de mouvements de terrain. Ces aléas sont traités par ailleurs.

11.2 Surcote cyclonique

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

L'origine (0 m) NGG correspond sensiblement à la valeur moyenne du niveau de la mer. Il s'agit donc de la « ligne de rivage moyen ». Le zéro NGG se situe 0,46 m en dessus du niveau hydrographique (NH) ou niveau des cartes marines (CM) qui correspond plutôt au niveau des plus basses mers.

L'évaluation reprend une étude antérieure (ANTEA, 1996). La surcote cyclonique résulte de trois composantes :

- La marée astronomique ;
- La marée de tempête de fréquence de retour 10 ans ;
- Une élévation par déferlement des vagues (phénomène de Set-Up).

En outre, la hauteur de franchissement des vagues doit tenir compte d'une composante dynamique (effet de Run-up).

11.2.1 La marée astronomique

C'est un élément indépendant des cyclones. Elle correspond aux variations du niveau marin que l'on observe quotidiennement. Son amplitude maximale est de l'ordre de $\pm 0,4$ m.

La valeur du **niveau de pleine mer** est donc considérée égale à **+0,40 m NGG**.

Cette hypothèse, un peu pénalisante, considère que la surcote cyclonique survient en même temps que le niveau de pleine mer. La probabilité d'une telle simultanéité est inférieure à 50%.

11.2.2 La marée de tempête

La marée de tempête correspond l'élévation du niveau de la mer, provoquée par une tempête ou un ouragan, en raison des vents forts et des faibles pressions atmosphériques.

L'ampleur de la marée est influencée par certaines configurations côtières. Cette composante a été déterminée grâce au modèle de METEO-France. Au large immédiat de Basse-Terre, **La marée de tempête est estimée à :**

- **+0,2 m** pour un ouragan de **catégorie 1** ;
- **+0,4 m** pour un ouragan de **catégorie 3** ;
- **+0,7 m** pour un ouragan de **catégorie 5**.

11.2.3 Hauteur des vagues

L'étude "Propagation des houles entre le large et le site de Basse-Terre" réalisée par le BCEOM en 2002 fait état des hauteurs suivantes (Tableau 29). Les hauteurs de houles centennales pouvant se produire sur le site **de Basse-Terre sont donc estimées entre 5 et 6 m**. Ces valeurs sont inférieures à celles attendues pour la façade Atlantique : de l'ordre de 10 m.

Périodes de retour	Hauteurs de houle		
	SW	W	NW
5 ans	2,75 m	3 m	3,75 m
10 ans	3,75 m	4,25 m	4,75 m
25 ans	4,50 m	5 m	5,5 m
50 ans	4,75 m	5,25 m	5,75 m
100 ans	5 m	5,5 m	6 m

Tableau 29 : Hauteurs de houle associées à différentes périodes de retour.

11.2.4 L'effet du « Set-Up »

Le set-up correspond à une surélévation du niveau moyen de la mer, due au déferlement des vagues au rivage. L'intensité de l'effet du « Set-Up » dépend de la pente des fonds et des caractéristiques des vagues telle que la hauteur significative (Hs) et la période pic (Tp).

Pour une hauteur de houle décennale de 5 ou 6 mètres, le « **Set-up** » conduit à une surélévation du niveau de la mer de **0,6 à 0,9 m** sur le site.

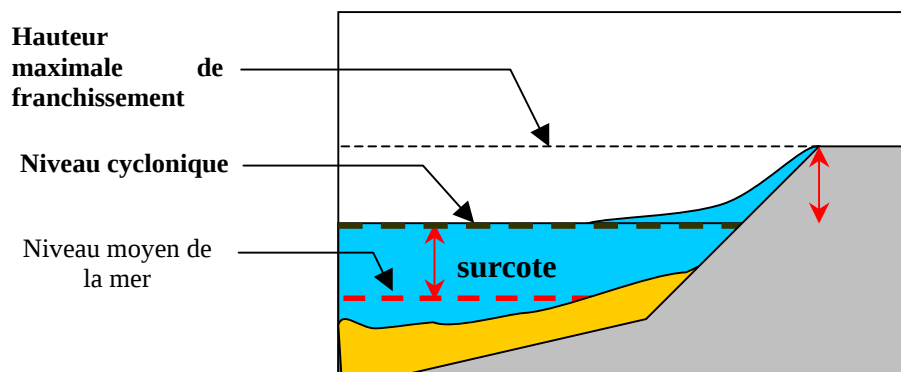
11.2.5 Hauteur de franchissement (effet de « Run-up »)

En considérant le phénomène de « **Run-Up** » (Annexe 1 : Méthodes et définitions, § 17.5 et schéma ci-dessous), on ne doit plus parler de surcote mais d'une hauteur pouvant être atteinte lorsque la vague se brise et remonte la pente du littoral. Le « Run-Up » rend compte de la dynamique du phénomène. Il permet par conséquent d'estimer les franchissements possibles des différents ouvrages ou talus. Le Run-Up est estimé à partir des recommandations préconisées dans l'ouvrage « Shore manual protection³¹ ».

Pour une hauteur de houle de l'ordre de 5 m, et de période 10 s, et en prenant une pente de talus raide, il résulte un **Run-Up de 1,65 m**.

³¹ Shore manual protection. CERC – US Army Corps of Engineers.

Compte tenu de la surcote cyclonique, la hauteur d'eau maximale de franchissement est de l'ordre de **3 m**. Dans de telles conditions le littoral serait touché sur une vingtaine de mètres au maximum.



11.3 Evaluation et cartographie de l'aléa cyclonique

Les aléas cycloniques sur la commune de Basse-Terre sont représentés à l'échelle du 1/10 000 (Carte 13).

11.3.1 Aléa vent cyclonique

L'aléa vent cyclonique concerne l'ensemble du territoire communal. La réglementation nationale³² indique que la Guadeloupe est située en zone 5.

11.3.2 Aléa houle (attaque des vagues et submersion)

La cartographie concerne l'effet de la houle sur le littoral, à savoir l'attaque des vagues et la submersion. Les zones soumises directement ou non aux effets de la houle sont déduites de la comparaison entre :

- L'altimétrie du terrain concerné ;
- La surcote et les hauteurs de franchissements calculées (Tableau 30).

Les valeurs de surcote cyclonique sont estimées entre +1,2 et 2,0 m NGG. Ces valeurs correspondent à l'ordre de grandeur des surcotes observées sur les côtes accores du littoral Caraïbes des Antilles, hors effet de site. Compte tenu de ces surcotes, la **hauteur de franchissement est comprise entre +3 et +4 m NGG.**

La **zone d'aléa fort** correspond à la zone d'impact de la marée de tempête et de l'effet direct de la houle. Il s'agit des terrains dont l'altitude est inférieure à +3 m NGG. Sur cette zone, l'impact de la houle et de la submersion coïncident car elle correspond à un rivage très pentu.

La **zone d'aléa moyen** correspond aux terrains inondés après déferlement. Il s'agit des terrains dont l'altitude est comprise entre +3 m et +4 m NGG. Dans cette zone plus on s'éloigne de la côte moins les effets destructeurs sont importants.

³² DTU P06-002 (Avril 2000) Règles NV 65 - Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions et annexes (édition 2001).

Phénomènes	Ouragan de catégorie 1	Ouragan de catégorie 3	Ouragan de catégorie 5
Marée astronomique	+0,4 m NGG	+0,4 m NGG	+0,4 m NGG
Marée de tempête	+0,2 m	+0,4 m	+0,7 m
Set-up (Hauteur de vague)	+0,6 m (5 m)	+0,9 m (6 m)	+0,9 m (6 m)
Surcote cyclonique³³	+1,2 m NGG	+1,7 m NGG	+2,0 m NGG
Hauteur de franchissement³⁴	+3 m NGG	+3,5 m NGG	+4,0 m NGG

Tableau 30 : Détermination de la surcote totale pour le littoral communal.

11.3.3 Aléa érosion

Le rivage étant largement aménagé, l'aléa érosion est limité au débouché de la rivière Sens. bien le pied de falaise des houles du large.

Nota Bene : la possibilité de destruction des protections littorales existantes (cas récent de Lenny) est considérée dans l'aléa houle.

³³ En considérant une houle de 10 m et de période 10 s, Antéa (1996) a estimé une surcôte totale de 2,2 m NGG.

³⁴ En considérant une houle de 10 m et de période 10 s, Antéa (1996) a estimé un « Run-Up » de 2,4 m.

12 EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA INONDATION

12.1 Présentation de la démarche

D'après le rapport METEO France rendant compte de l'activité cyclonique pendant l'année 1995, La période de retour de la pluie de MARILYN dans le Sud Basse-Terre est comprise entre 50 et 100 ans. Par ailleurs, les pluies de MARILYN surviennent sur des sols gorgés d'eau, 8 jours après le passage de LUIS, et moins de 3 semaines après IRIS. Par conséquent, les débits de crue avaient certainement une période de retour au moins égale à celle des pluies. Compte tenu de ces éléments, on considère que **l'ouragan MARILYN constitue l'aléa inondation de référence**.

L'Atlas communal des risques naturels de la commune de Gourbeyre est le document de base de la cartographie de l'aléa inondation. Cette cartographie est complétée et affinée par :

- La carte informative des phénomènes naturels, notamment l'ouragan MARILYN ;
- Une analyse hydrogéomorphologique ;
- Une modélisation mathématique des écoulements en crue sur deux secteurs de développement futur.

12.1.1 Analyse hydrogéomorphologique

Installée sur une petite plaine littorale, la commune de Gourbeyre reçoit trois cours d'eaux principaux :

- La rivière du Galion, est un torrent qui prend ses sources au pied de la Soufrière. Grossi sur sa droite par la ravine Dugommier, il rejoint la mer par un canyon très encaissé.
- La rivière Sens, qui traverse notamment les lotissements de St Charles et du Blanchet, avant de se jeter en mer.
- La rivière Grande Anse, également un torrent qui prend ses sources au pied de la Soufrière, reçoit en rive droite les apports d'une succession de ravines.

Le tracé, relativement encaissé dans le relief, ne résulte pas du creusement par les rivières uniquement, mais surtout de l'altération chimique. La rivière reste principalement un agent de lavage et d'évacuation des débris.

On notera le principe d'une double topographie:

- L'une de surface, visible, soutenue par l'altérite et relativement indépendante de la structure géologique,
- L'autre, ou crypto-topographie, plus ou moins calquée sur la structure.

On peut affirmer que le réseau hydrographique est surimposé. La rivière conserve son tracé, tout en révélant les différentes étapes morphologiques de la région. Il s'agit là d'une forme d'inadaptation structurale.

Le fonctionnement hydrogéomorphologique des bassins et sous-bassins versants des rivières de Gourbeyre peut se traduire de la manière suivante.

En amont :

Une pente forte et donc un écoulement très rapide des eaux de pluie. Les vitesses les plus fortes accroissent la capacité d'érosion et la compétence (capacité de transport) du cours d'eau. Les apports de matériaux, qui proviennent de l'érosion des sols s'effectuent à la fois

longitudinalement, par transport alluvial, et transversalement, par transport en nappe de colluvions, ce qui crée, de ce fait, des gorges (rivière du Galion et de Grande Anse).

Ainsi, dans les matériaux rocheux volcaniques à forte cohésion, le creusement s'est effectué en gorges abruptes et étroites, et a souvent **réduit la plaine alluviale contemporaine à son seul lit mineur**.

Lorsque l'entaille est plus large, un lit moyen peut se développer, mais plus rarement un lit majeur (partie basse de la rivière du Galion, de la rivière Sens et de Grande Anse). Le lit est d'étendue limitée, et séparé au fur et à mesure de son élargissement par des talus marqués.

Toutefois, malgré des conditions hydrodynamiques difficiles, le tracé du cours d'eau peut présenter une meilleure stabilité dans les gorges que dans son parcours de plaine: l'ancrage de ses coudes, dans les versants rocheux, sur les hauteurs de la rivière du Galion et de la rivière Grande Anse en est une bonne illustration.

A l'aval :

La relation avec le niveau de base (la mer) est principalement influencée par la diminution de la pente longitudinale, liée à la remontée de ce niveau, au cours des derniers millénaires. La décroissance de la vitesse du courant se traduit par une sédimentation, qui recouvre le lit majeur, puis le lit moyen, parfois le lit mineur. Dans de telles conditions, la plaine alluviale contemporaine finit par ne plus comporter de lit moyen.

12.1.2 Analyse par modélisation mathématique

Deux secteurs représentant des zones de développement futur pour la commune ont fait l'objet d'une modélisation mathématique des écoulements en crue :

- Ravine Blanche à Bisdary ;
- Ravine Rouge au droit du stade municipal.

12.1.2.1. Hydrologie

La limite du bassin versant au droit du secteur d'étude est représentée pour chaque ravine :

- Ravine Blanche à Bisdary (Figure 13) ;
- Ravine Rouge au droit du stade municipal (Figure 14).

La superficie des bassins versants est de 1.3 km² pour la Ravine Blanche et de 1.6 km² pour la Ravine Rouge.

L'estimation du débit de crue centennale a été effectuée à partir de l'analyse statistique des débits de crue à la station hydrométrique de la rivière Du Plessis située au nord de Baillif (CEMAGREF, 1999³⁵). Cette station contrôle un bassin versant de 2.1 km².

Les résultats de cette analyse indiquent un débit spécifique centennal égal à 28.7 m³/s/km² pour cette station. On peut donc estimer le débit de crue centennale des bassins versants de Ravine Blanche et Ravine Rouge à partir d'un débit spécifique de l'ordre de 30 m³/s/km². Soit un débit centennal de :

- 40 m³/s pour la Ravine Blanche ;
- 50 m³/s pour la Ravine Rouge.

³⁵ Chapitre consacré aux rivières de Basse-Terre en Guadeloupe du document : « Les torrents du Nord-Ouest de la Martinique » (CEMAGREF, 1999).

12.1.2.2. Modélisation des écoulements en crue

Les profils en travers (lit mineur + champ d'inondation) qui ont été utilisés pour la modélisation hydraulique des écoulements sont localisés pour chacun des secteurs bassin versant :

- Ravine Blanche à Bisdary (Figure 15) ;
- Ravine Rouge au droit du stade municipal (Figure 16).

Les résultats de la modélisation pour une crue centennale sont donnés ci-après.

- Ravine Blanche à Bisdary (Tableau 31) ;
- Ravine Rouge au droit du stade municipal (Tableau 32).

N° profil	Hauteur d'eau max (m)		Vitesse max (m/s)	
	Rive gauche	Rive droite	Rive gauche	Rive droite
1	0.25	0.25	0.29	0.31
2	1.20	0.45	0.34	0.22
3	0	0.35	0	1.06
4	0	0.25	0	1.13
5	0	0.49	0	1.09

Tableau 31 : Secteur Ravine Blanche à Bisdary.

N° profil	Hauteur d'eau max (m)		Vitesse max (m/s)	
	Rive gauche	Rive droite	Rive gauche	Rive droite
1	Route submergée sous 20 cm d'eau			
2	0.20	1.80	0.10	0.20
3	1.70	1.00	0.20	0.10
4	1.00	0.00	0.70	0.00
5	0.00	1.70	0.00	0.20

Tableau 32 : Secteur Ravine Rouge au droit du stade municipal.

12.2 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 « moyen » ou « fort ».

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 (Tableau 33) :

- Les hauteurs d'eau ;
- Les vitesses d'écoulement ;
- Les durées de submersion.

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

Tableau 33 : Qualification de l'aléa inondation.

12.2.1 Aléa inondation fort

Ce sont des zones où les hauteurs d'eau peuvent être supérieures au mètre et où les vitesses d'écoulement peuvent représenter un danger vis-à-vis des personnes et de la stabilité des terrains. Les durées de submersion peuvent être importantes dans le cas des inondations lentes (supérieures à la journée).

Ces zones correspondent généralement :

- Au lit mineur des cours d'eau ou à ses abords immédiats (lit moyen) ;
- À 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).

12.2.2 Aléa inondation moyen, éventuellement à faible

Il s'agit des zones avec les caractéristiques suivantes :

- Les hauteurs d'eau restent inférieures au mètre ;
- 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).

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 0,50 m mais inférieure au mètre.

12.3 Cartographie de l'aléa inondation

L'aléa inondation sur la commune de Gourbeyre est cartographié à l'échelle du 1/10 000 (Carte 14).

12.3.1 Aléa inondation fort

12.3.1.1. La rivière Le Galion à l'embouchure

Jusqu'au pont de la RN1, Le Galion est une rivière très encaissée dont les écoulements en crue restent contenus dans le lit mineur. A l'embouchure, les berges sont nettement plus basses. Des débordements, liés en particulier à la présence d'un gué et à l'influence du niveau marin, sont observés de part et d'autre du lit avec des vitesses importantes.

12.3.1.2. La rivière Sens à l'embouchure

Le risque d'aléa fort est limité à la zone proche des berges où des débordements intempestifs peuvent intervenir avec des vitesses importantes.

12.3.1.3. La rivière Sens à l'aval de la RN1

Dans ce secteur, les débordements de la rivière sont liés aux embâcles qui obstruent un ponceau. Tous les débordements s'effectuent en rive gauche et s'écoulent à travers une voirie à forte pente, ce qui entraîne de fortes vitesses d'écoulement.

12.3.1.4. Affluent rive droite de la rivière Sens vers quartier Blanchet

Dans ce secteur, les débordements de la ravine sont encore liés aux risques d'embâcles.

12.3.1.5. Ravine Rouge à l'aval de la RN1

En amont de la confluence avec la rivière Sens, la faible hauteur des berges sur certain secteur combiné avec la sinuosité du lit (surélévation du niveau d'eau et pièges à embâcles) font craindre des débordements avec de fortes vitesses.

12.3.1.6. Ravine blanche vers Bisdary

La zone située en rive gauche à l'aval immédiat du coude de la ravine peut subir des débordements intempestifs en raison de la vitesse d'écoulement dans le lit et de la sinuosité du lit. La berge qui a déjà été érodée a été restaurée par une protection en enrochements. La zone de risque fort est située en rive gauche à proximité immédiate du lit.

12.3.1.7. Ravine Salée à l'embouchure

La zone d'aléa fort se situe à l'endroit où la ravine a un coude très marqué et où il faut craindre des risques de débordements intempestifs.

12.3.2 *Aléa inondation moyen*

12.3.2.1. La rivière Sens à l'embouchure

En dehors d'une bande de terrain située à proximité de la rivière, les inondations sont caractérisées par des hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement peu importantes.

12.3.2.2. Ravine Rouge à l'amont de la RN1

Les zones inondées sont caractérisées par de faibles vitesses d'écoulement (zones de stockage) et des hauteurs d'eau de l'ordre du mètre.

12.3.2.3. Affluent rive gauche de la ravine Rouge vers Grande Savane

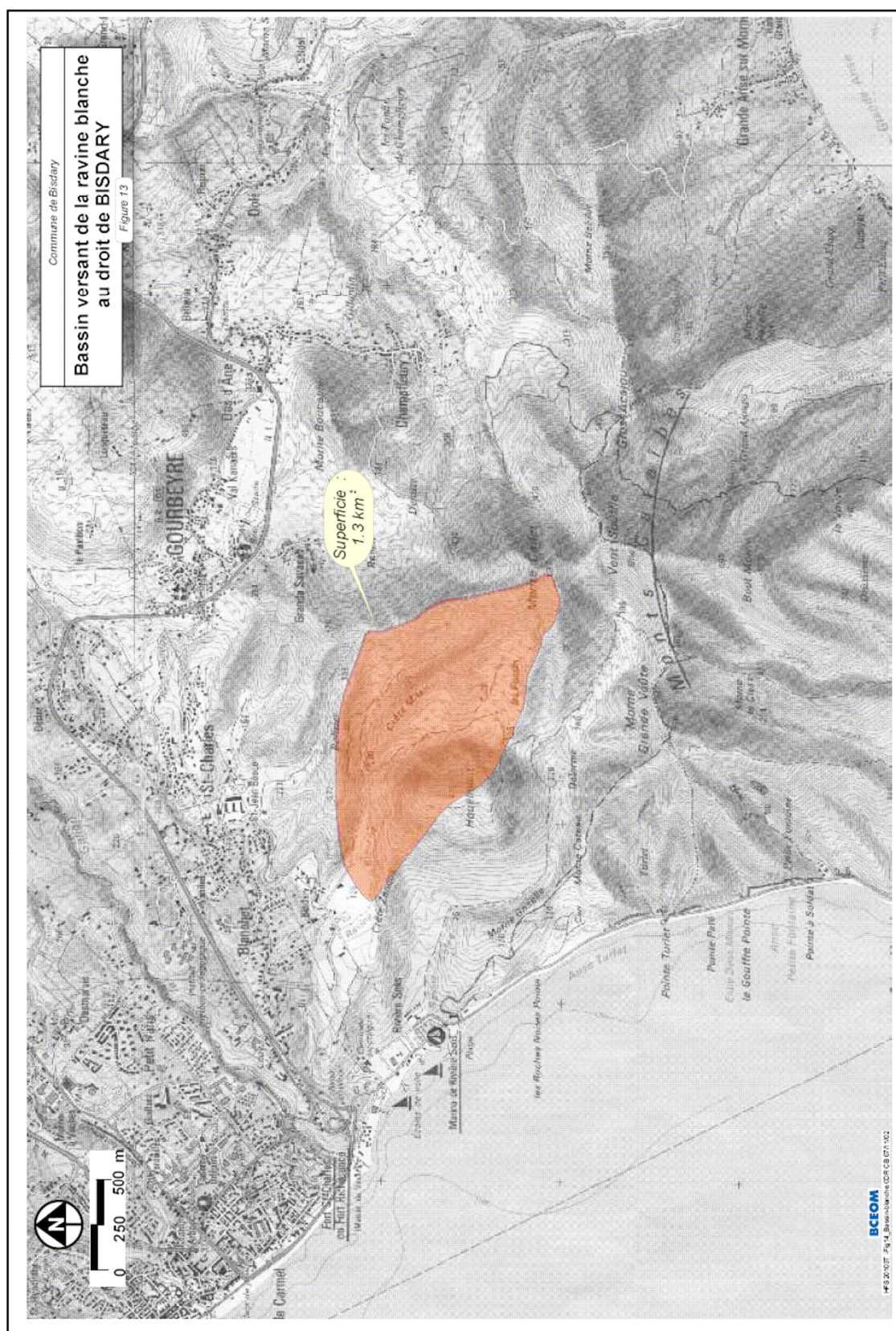
Le bassin versant de cet affluent n'est pas très important et les zones inondées sont caractérisées par de faibles hauteurs d'eau.

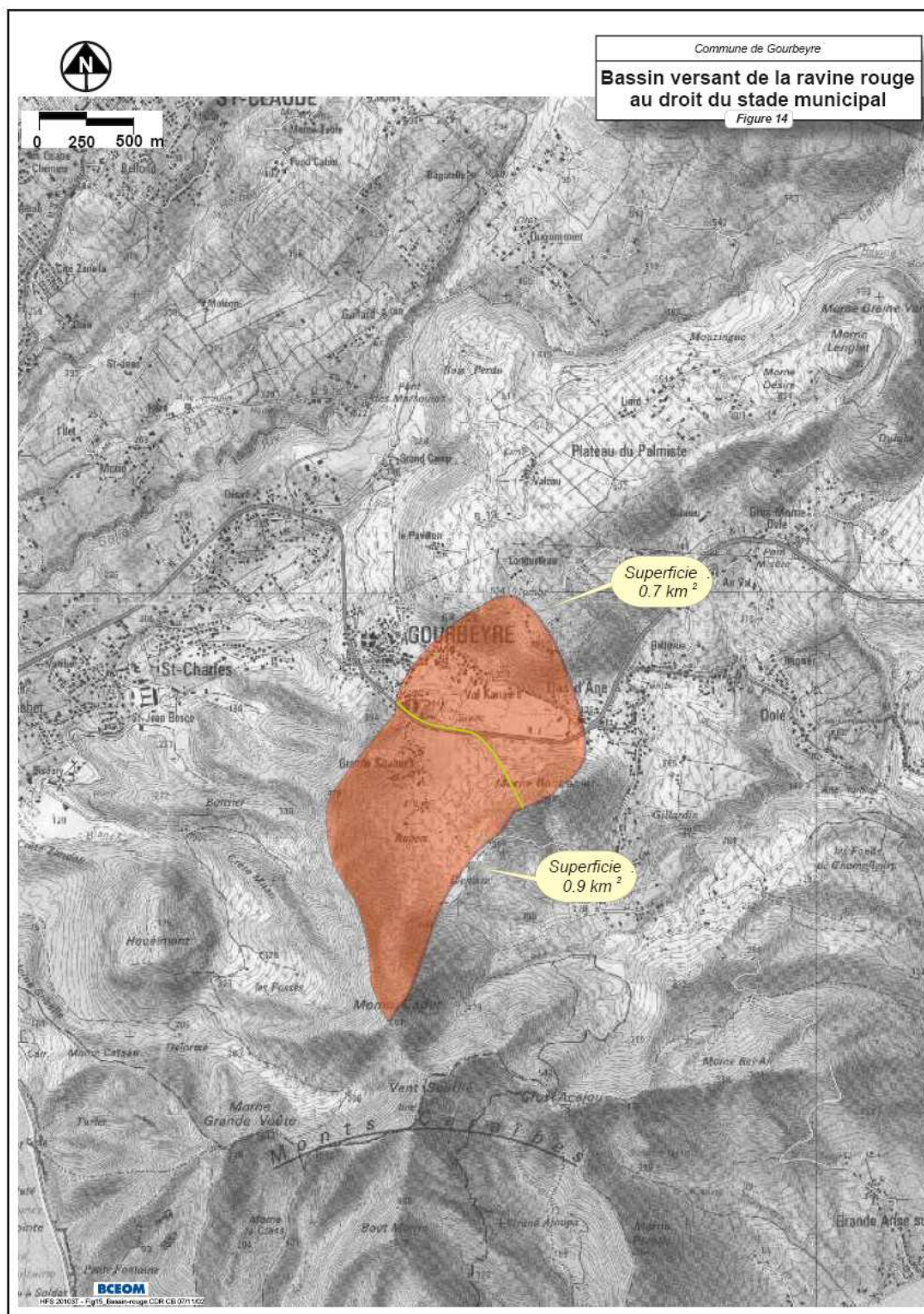
12.3.2.4. Ravine blanche vers Bisdary

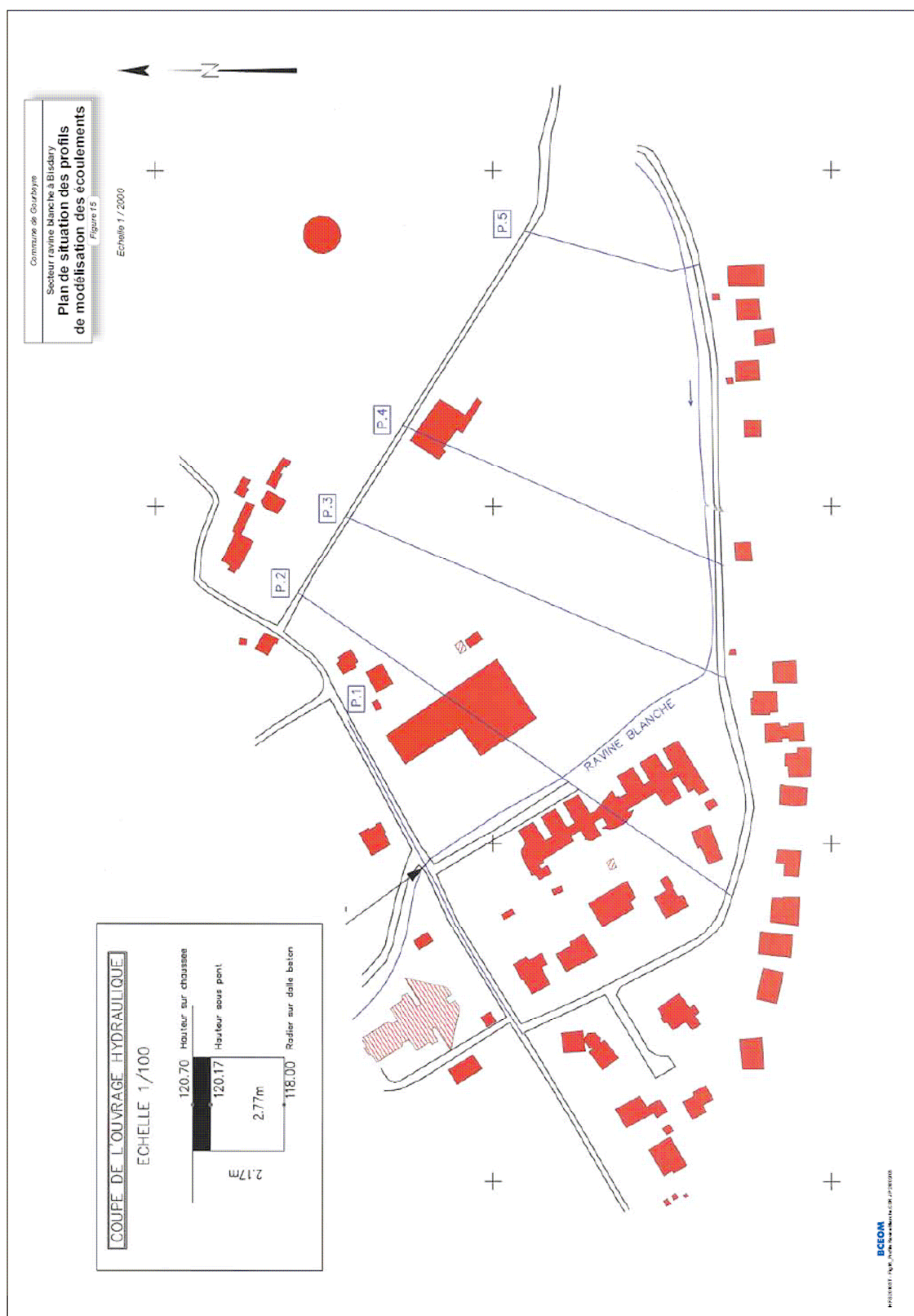
Dans ce secteur, à l'exception de quelques débordements intempestifs liés à la vitesse d'écoulement et à la sinuosité du lit, les zones inondées sont des zones d'expansion des crues et des zones de stockage sans hauteur d'eau excessive.

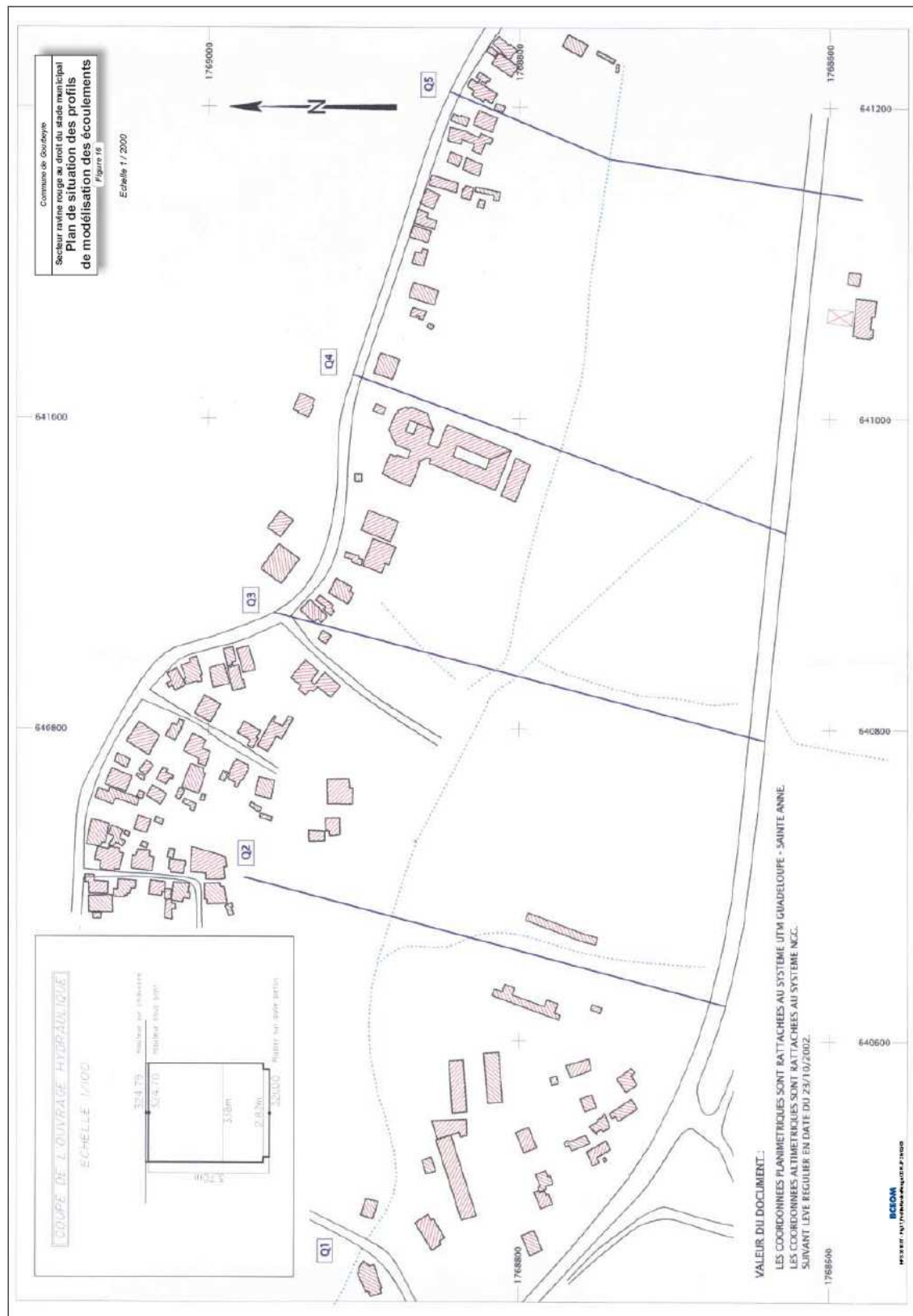
12.3.2.5. Ravine Salée à l'embouchure

Les débordements interviennent par ruptures localisées de la digue rive droite mais la rivière a déjà été fortement délestée plus en amont vers le coude très marqué.









13 RÉFÉRENCES

- AFNOR (1995). Règles de construction parasismique : règles PS applicables aux bâtiments, dites PS 92. *AFNOR*, Paris, norme française NF P 06-013.
- AFPS (1993). Guide méthodologique pour la réalisation d'études de microzonage sismique. Saint-Rémy-lès-Chevreuse, *AFPS*.
- AMBROSEYS N.N. (1988). Engineering seismology. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 17, issue n°1, p. 1-106.
- Antéa (1996). Définition du risque lié aux surcotes marines en cas de cyclone. *Rapport Antéa A 07342*.
- 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*.
- BOUDON G., DAGAIN J., SEMET M.-P., WESTERCAMP D. (1987). Carte géologique de la Guadeloupe à 1/20 000. Massif volcanique de la Soufrière. *BRGM, Orléans*.
- BOUYASSE Ph., ROBERT S., GUENNOC P., MONTI S. (1983). Bathymétrie détaillée (seabed) anomalies magnétiques dans les Antilles françaises : interprétation morphostructurale de la vallée et de l'escarpement de la Désirade et des côtes occidentales de Basse-Terre de Guadeloupe et de Martinique.
- BRGM (2002). Microzonage sismique de l'agglomération de Basse-Terre.
- CARBON D. (2001). Cartographie et caractérisation des failles actives à l'échelle du PPR. Agglomération de Basse-Terre, Guadeloupe. Communes de Basse-Terre, Gourbeyre, Baillif et Saint-Claude. *Rapport GEO-TER n° GTR/DDEG/0901-153*.
- CFG (2000). Caractérisation et cartographie de l'aléa dû aux mouvements de terrain. Collection environnement. Les risques naturels. *LCPC*, Paris, 91 p..
- DAGAIN J., RANÇON J.-Ph. (1990). Zonage de l'aléa volcanique sur le massif de la Soufrière – Guadeloupe. *Rapport BRGM R31669 ANT 4S 90*.
- EERI (2000). 1999 Kocaeli, Turkey, Earthquake Reconnaissance Report. *Earthquake Spectra*, supplement to Vol. 16, 461 p.
- FEUILLET N. (2000). Sismotectonique des Petites Antilles. Liaison entre activité sismique et volcanique. *Thèse de doctorat, Université Paris 7*.
- FOUCAULT A., RAOULT J.F. (1995). Dictionnaire de géologie. 4^{ème} édition revue et augmentée. *Masson, Paris*.
- GODEFROY P., MOUROUX P., PAULIN C., RABIER P., RANÇON J.-Ph., SAURET B. (1990). Etude et prévention du risque sismique aux Petites Antilles. Evaluation de l'aléa sismique sur l'archipel de la Guadeloupe. Rapport de synthèse. *Rapport BRGM R30857*.
- KOMOROWSKI J.-C., BOUDON G., SEMET M., VILLEMANT B., HAMMOUYA G. (2002). Recurrent flank-collapses at Soufrière of Guadeloupe volcano: implication of acid hydrothermal fluids on edifice stability. *Abstract. Colloque Montagne Pelée, 1902 – 2002, Martinique*.
- LE BRUN B., MONGE O. (2001). XI^{ème} CPER Guadeloupe relatif à la prévention du risque sismique. Inventaire et cartographie des éléments exposés. *Rapport BRGM RP-50497-FR, 53 p., 7 Tabl., 11 Ann.*

- LE BRUN B., MONGE O. BOUR M. (2001) - XI^{ème} CPER Guadeloupe relatif à l'évaluation et la réduction du risque sismique. Evaluation de la vulnérabilité des bâtiments : méthodes et résultats. *Rapport BRGM RP-50500-FR*, 48 p, 19 Tabl., 5 Ann..
- 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*.
- MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTÈRE DE L'EQUIPEMENT DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT (1997) – Guide général – Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR). Guide général. *La Documentation française, Paris*, 76 p..
- MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTÈRE DE L'EQUIPEMENT DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT (1999) – Plans de prévention des risques naturels (PPR) : risques de mouvements de terrains. *La Documentation française, Paris*, 71 p..
- MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, MINISTÈRE DE L'EQUIPEMENT DES TRANSPORTS, DU LOGEMENT, DU TOURISME ET DE LA MER (2002) – Plans de prévention des risques naturels (PPR) : risques sismiques. *La Documentation française, Paris*, 112 p..
- MONGE O., MARTIN R. (2000). XI^{ème} Contrat de Plan Etat - Région Guadeloupe relatif à la prévention du risque sismique : Estimation à l'échelle régionale, des déplacements induits par des phénomènes de liquéfaction et de mouvements de terrain. *BRGM/RP-50430-FR*, 60 p, 6 fig., 12 tabl., 4 ann., 5 pl.h.t..
- NATIONS UNIES (1992) – Glossaire international multilingue agréé de termes relatifs à la gestion des catastrophes. *UN DHA, Genève*, 83 p..
- NCEER (1997). Proceedings of the NCEER workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Technical report NCEER-97-0022. Youd T.L., Idriss I.M. editors*. 276 p., 4 app..
- RAUCH A.F., TIMMINS V., MARTIN J.R. (1999). EPOLLS prediction of Permanent Ground Deformation resulting from lateral spreading. Optimizing Post-Earthquake Lifeline System Reliability. *Proceedings of the 5th US Conference. ASCE TCLEE Monograph n°16*. pp.51-60.
- SAINTE-CLAIRE DEVILLE Ch. (1843). Observations sur le tremblement de terre éprouvé à la Guadeloupe le 8 février 1843. Basse-Terre, juillet 1843.
- Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (1993; revised 1999). Manual for zonation on seismic geotechnical hazards. *Japanese Geotechnical Society*.
- YOUNG T.L., PERKINS D.M. (1978). Mapping of liquefaction induced ground failure potential. *J. Geotech. Engng Div., ASCE*, 104 (GT4), p. 433-443.
- YOUNG T.L., PERKINS D.M. (1987). Mapping of liquefaction severity index *J. Geotech. Engng Div., ASCE*, 113 (11), p.1374-1392.
- YOUNG T.L., HANSEN C.M., BARLETT S.F. (1999). Revised MLR equations for predicting lateral spread displacement. *Proceedings of the 7th U.S – Japan Workshop on earthquake resistant design of lifelines facilities and countermeasures against liquefaction. Seattle, Washington. Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research. Technical report MCEER-99-0019*, pp 99-114.

14 LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Présentation de la commune de Gourbeyre.

Figure 2 : Vue aérienne des installations du Port Autonome de Guadeloupe à Basse-Terre (ortho-photo OPTIA à 1/5 000, convention DDAF).

Figure 3 : Vue aérienne du port de plaisance de la Marina de Rivière Sens à Gourbeyre (ortho-photo OPTIA à 1/5 000, convention DDAF).

Figure 4 : Vue aérienne des installations de l'aérodrome du Baillif (ortho-photo OPTIA à 1/5 000, convention DDAF).

Figure 5 : Principaux Systèmes de failles et sismicité superficielle (0-30 km) de la Guadeloupe.

Figure 6 : Cartographie de l'accélération maximale du sol pour un site rocheux de période de retour de 475 ans en Guadeloupe (MARTIN *et al.*, 2002).

Figure 7 : Répartition moyenne des pluies torrentielles – Cartographie des hauteurs annuelles moyennes de précipitation.

Figure 8 : Spectres réglementaire (PS 92, zone III, classe d'ouvrage B) et spécifique (probabiliste de période de retour de 475 ans, d'après MARTIN *et al.*, 2002) pour un site rocheux.

Figure 9 : Comparaison, pour un bâtiment courant de classe B, entre les spectres spécifiques proposés, et les spectres de la réglementation nationale en vigueur (octobre 2002, en cours de révision).

Figure 10 : Spectres de réponse élastique normalisés associés aux zones du territoire communal. Pour les applications réglementaires, ces spectres doivent être multipliés par l'accélération de calage (m/s^2) en vigueur au moment du dépôt du permis de construire.

Figure 11 : Exploitation des mesures SASW réalisées pour le microzonage sismique de l'agglomération de Basse-Terre (d'après BRGM, 2002).

Figure 12 : Exploitation des mesures CPT réalisées pour le microzonage sismique de l'agglomération de Basse-Terre (d'après BRGM, 2002).

Figure 13 : Bassin versant de la ravine Blanche à Bisdary.

Figure 14 : Bassin versant de la ravine Rouge au droit du stade municipal.

Figure 15 : Localisation des profils de modélisation de la ravine Blanche à Bisdary.

Figure 16 : Localisation des profils de modélisation de la ravine Rouge au droit du stade municipal.

15 LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Ensembles volcano-structuraux de la Basse-Terre (d'après BOUDON *et al.*, 1987).

Tableau 2 : Principales unités au sein du Massif de la Soufrière (d'après BOUDON *et al.*, 1987).

Tableau 3 : Destination générale des sols de Gourbeyre (d'après le Schéma d'Aménagement Régional de Guadeloupe).

Tableau 4 : Classification des principaux enjeux de la commune de Gourbeyre.

Tableau 5 : Vulnérabilité des bâtiments à usage de logements au sein de la commune de Gourbeyre.

Tableau 6 : Synthèse des connaissances relatives au tracé des failles actives sur la commune de Gourbeyre (d'après CARBON, 2001).

Tableau 7 : Synthèse des connaissances relatives à l'activité des failles actives sur la commune de Gourbeyre (d'après CARBON, 2001).

Tableau 8 : Appréciation (Indice de Qualité) des connaissances relatives aux failles actives sur la commune de Gourbeyre.

Tableau 9 : Effets macrosismiques relatés pour le Sud Basse-Terre (d'après BERNARD et LAMBERT, 1985).

Tableau 10 : Phénomènes historiques de liquéfaction dans le Sud Basse-Terre (d'après BERNARD et LAMBERT, 1985).

Tableau 11 : Mouvements de terrain recensés sur la commune de Gourbeyre au sein de la base de données nationale (BDMvt).

Tableau 12 : Désignation des types de phénomènes de mouvements de terrain.

Tableau 13 : Classification des cyclones et catégories d'ouragans selon l'échelle de SAFFIR-SIMPSON.

Tableau 14 : Tempêtes et ouragans ayant affecté la Guadeloupe.

Tableau 15 : Hauteurs de pluies mesurées lors de cyclones récents.

Tableau 16 : Estimation des périodes de retour associées à des séismes capables d'engendrer une rupture co-sismique en surface.

Tableau 17 : Caractérisation de la sollicitation sismique forfaitaire réglementaire en Guadeloupe pour un site de référence rocheux (règles PS 92).

Tableau 18 : Evolution vraisemblable des paramètres a_N et a_g du prochain zonage sismique de la France.

Tableau 19 : Caractérisation des zones de réponse sismique homogène au sein des secteurs à enjeux.

Tableau 20 : Valeurs caractéristiques des branches du spectre.

Tableau 21 : Valeurs proposées pour le calage des spectres normalisés en fonction des classes de bâtiment.

Tableau 22 : Correspondance entre types de site et niveaux d'aléa « effet de site » dans les zones à faibles enjeux.

Tableau 23 : Caractérisation géologique des types de site.

Tableau 24 : Evaluation de la susceptibilité à la liquéfaction (critères PS 92).

Tableau 25 : Evaluation de la susceptibilité à la liquéfaction.

Tableau 26 : Caractéristiques de la sollicitation sismique vis-à-vis l'aléa liquéfaction.

Tableau 27 : Evaluation et cartographie de l'aléa liquéfaction.

Tableau 28 : Evaluation des scénarios éruptifs du massif de la Soufrière de Guadeloupe (d'après <http://www.guadeloupe.pref.gouv.fr>).

Tableau 29 : Hauteurs de houle associées à différentes périodes de retour.

Tableau 30 : Détermination de la surcote totale pour le littoral communal.

Tableau 31 : Secteur Ravine Blanche à Bisdary.

Tableau 32 : Secteur Ravine Rouge au droit du stade municipal.

Tableau 33 : Qualification de l'aléa inondation.

16 LISTE DES CARTES

Carte 1 : Carte des principaux enjeux.

Carte 2 : Carte informative des failles et indices de rupture de surface.

Carte 3 : Carte informative sur les effets du séisme du 8 février 1843.

Carte 4 : Carte informative sur la distribution de l'activité sismique instrumentale et historique.

Carte 5 : Carte informative des mouvements de terrain.

Carte 6 : Carte informative des phénomènes volcaniques.

Carte 7 : Carte informative des trajectoires cycloniques.

Carte 8 : Carte informative des phénomènes météorologiques (inondation, houle cyclonique).

Carte 9 : Carte de l'aléa faille active avec rupture de surface.

Carte 10 : Carte de l'aléa sismique local.

Carte 11 : Carte de l'aléa liquéfaction.

Carte 12 : Carte des aléas mouvement de terrain.

Carte 13 : Carte des aléas cycloniques.

Carte 14 : Carte de l'aléa inondation.

17 ANNEXE 1 : MÉTHODES ET DÉFINITIONS

Les termes utilisés et les phénomènes décrits sont précisés pour pouvoir exploiter au mieux les différentes sources d'informations.

17.1 Faille active, capable d'engendrer une rupture co-sismique en surface

La démarche d'évaluation de l'aléa faille active, est menée conformément à l'état de l'art, et notamment en considérant les références suivantes :

- Réglementation parasismique en vigueur (règles PS 92) et à venir (Eurocode 8) ;
- Guide méthodologique de réalisation des microzonages sismiques (AFPS, 1993) amendé des discussions du groupe de travail relayifs aux failles actives ;
- Guide méthodologique de réalisation des PPR sismiques (MATE et METL, 2002) ;
- Etat des connaissances au sein du groupe de travail « failles actives » de l'AFPS.

Sur ces bases, GEOTER International a défini sa propre méthode de travail. Elle permet la considération de ce type de failles dans la réalisation des PPR. Elle s'appuie sur la réalisation de trois cartes : la carte informative, la carte d'aléa, et le plan de zonage réglementaire.

- La **carte informative** correspond à la synthèse des **données disponibles**, et ce, quel que soit le niveau de connaissance atteint sur la commune. Cette carte fournit les informations sur le degré de précision atteint, qu'il s'agisse du tracé ou de l'activité des failles, et donne une estimation des incertitudes restantes.
- La **carte d'aléa** traduit les données issues de la carte informative en terme de possibilité de rupture en surface, et formalise les résultats sous forme cartographique. Il s'agit donc d'un « **modèle** » visant à projeter dans le futur l'activité possible / probable de la faille active.
- Le **plan de zonage** correspond à une traduction réglementaire visant à associer des recommandations et des prescriptions sur des secteurs issus de la carte d'aléa. Il correspond à des **arbitrages** entre la protection des biens et le développement local.

17.2 Liquéfaction des sols sous séisme

17.2.1 Présentation

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

17.2.2 Quelques éléments d'explication (d'après KRAMER, 1996)

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

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

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

17.2.3 Conditions d'apparition

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

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

- les facteurs permanents ou de prédisposition ;
- les facteurs déclencheurs ou aggravants.

Les **facteurs permanents** définissent dans l'espace (X, Y, Z) la **susceptibilité du sol à la liquéfaction**. Il s'agit notamment des conditions de dépôts, de l'hydrogéologie, de la nature lithologique et des caractéristiques mécaniques des formations lithologiques. Les sols plutôt pulvérulents, dans un état peu compact, peu contraint et situé sous la nappe (exemple des sables ou des limons lâches saturés) sont *a priori* suspects. Tous ces paramètres ne varient pas ou peu dans le temps, ce sont les conditions inhérentes au milieu physique.

Les **facteurs déclencheurs** introduisent, en plus de l'aspect spatial, une condition temporelle sur l'occurrence du phénomène. Pour la liquéfaction, on considère essentiellement le déclencheur sismique comme le facteur aggravant. Il s'agit de l'**opportunité** que des ondes sismiques soient suffisamment énergiques pour provoquer le phénomène de liquéfaction.

³⁶ La littérature anglophone distingue deux types de phénomènes de liquéfaction : « flow liquefaction » et « cyclic mobility ».

17.3 Mouvements de terrain

17.3.1 Présentation

Les mouvements de terrain sont les manifestations du déplacement gravitaire de masses de terrain déstabilisées sous l'effet de sollicitations naturelles (pluviométrie anormalement forte, séisme, etc.) ou anthropiques (terrassment, vibration, déboisement, exploitation de matériaux, etc.). Ils recouvrent des formes très diverses qui résultent de la multiplicité des mécanismes initiateurs (érosion, dissolution, déformation et rupture sous charge statique ou dynamique), eux-mêmes liés à la complexité des comportements géotechniques des matériaux sollicités et des conditions de gisement (structure géologique, géométrie des réseaux de fractures, caractéristiques des nappes aquifères, etc.).

17.3.2 Typologie

Selon la vitesse de déplacement, deux ensembles peuvent être distingués :

- Les **mouvements lents**, pour lesquels la déformation est progressive et peut être accompagnée de rupture mais en principe d'aucune accélération brutale :
 - Les **affaissements** consécutifs à l'évolution de cavités souterraines naturelles ou artificielles (carrières ou mines), évolution amortie par le comportement souple des terrains de couverture ;
 - Les **tassements** par retrait de sols argileux et par consolidation de certains terrains compressibles (vases, tourbes) ;
 - Le **fluage** de matériaux plastiques sur faible pente ;
 - Certains **glissements**, qui correspondent au déplacement en masse, le long d'une surface de rupture plane, courbe ou complexe, de sols cohérents (marnes et argiles) ;
 - Le **retrait** ou le **gonflement** de certains matériaux argileux en fonction de leur teneur en eau.
- Les **mouvements rapides** qui peuvent être scindés en deux groupes, selon le mode de propagation des matériaux, **en masse**, ou à **l'état remanié**.

Le premier groupe comprend :

- Les **effondrements**, qui résultent de la rupture brutale de voûtes de cavités souterraines naturelles ou artificielles, sans atténuation par les terrains de surface ;
- Les **chutes de pierres** ou de blocs provenant de l'évolution mécanique de falaises ou d'escarpements rocheux très fracturés ;
- Les **éboulements** ou écroulements de pans de falaises ou d'escarpements rocheux selon les plans de discontinuité préexistants ;
- Certains **glissements**, notamment rocheux.

Le second groupe comprend:

- Les **laves torrentielles**, qui résultent du transport de matériaux en coulées visqueuses ou fluides dans le lit de torrents de montagne ;
- Les **coulées boueuses**³⁷, qui proviennent généralement de l'évolution du front des glissements. Leur mode de propagation est intermédiaire entre le déplacement en masse et le transport fluide ou visqueux.

³⁷ Coulée de boue (Nations Unies, 1992) : écoulement le long d'une pente d'un mélange de terre à fine granulométrie et d'eau.

Parmi l'inventaire des phénomènes, les types de mouvements retenus par la suite sont :

- Les chutes de pierres, chutes de blocs, éboulement en masse ou en grande masse ;
- Les glissements, glissements-coulées, coulées de boue associées, fluages ;
- Les laves torrentielles.

Les phénomènes d'affaissements³⁸, d'effondrements³⁹, de tassements par retrait⁴⁰ ou de retrait / gonflement⁴¹ n'ont pas été rencontrés. Ils ne sont pas pris en compte dans cette étude.

17.3.2.1. Chute de pierres, chute de blocs, éboulement en masse ou en grande masse

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 .

³⁸ Les affaissements sont des dépressions topographiques en forme de cuvette à grand rayon de courbure dues au fléchissement lent et progressif des terrains de couverture avec ou sans fractures ouvertes. La composante verticale du mouvement est prépondérante. Des efforts de flexion, de traction et de cisaillement et les tassements différentiels préjudiciables aux structures peuvent se manifester dans les zones de bordure. Dans certains cas, les affaissements peuvent être le signe annonciateur d'effondrements.

³⁹ Les effondrements sont des mouvements gravitaires à composante essentiellement verticale, qui se produisent de façon plus ou moins brutale. Ils résultent de la rupture des appuis ou du toit d'une cavité souterraine préexistante.

⁴⁰ Le tassement par retrait de sols argileux et par consolidation de certains sols compressibles ne nous paraît pas relever d'un l'aléa naturel mais d'un accident géotechnique.

⁴¹ Le retrait ou le gonflement de certains matériaux argileux en fonction de la teneur en eau relève de l'aléa sécheresse.

17.3.2.2. Glissements, glissement/coulée, coulées de boue associées, fluages

Le **glissement** est un déplacement généralement lent (quelques millimètres par an à quelques mètres par jour) sur une pente, le long d'une surface de rupture (surface de cisaillement) identifiable, d'une masse de terrain cohérente, de volume et d'épaisseur variables. Cette surface est généralement courbe (glissement circulaire), mais elle peut aussi se développer à la faveur d'une discontinuité préexistante telle qu'un joint de stratification (glissement plan). Les profondeurs des surfaces de glissement sont très variables : de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres, voire la centaine de mètres pour certains glissements de versant. Des indices caractéristiques peuvent être observés dans les glissements de terrain actifs : niche d'arrachement, fissures, bourrelets, arbres basculés, zone de rétention d'eau, etc.

Le **glissement/coulée** est un mouvement très rapide de la frange superficielle de sol se produisant sur de fortes pentes. Il s'agit généralement d'un glissement plan évoluant en coulée de boue et de débris, développé à l'interface entre un substratum rocheux et la couverture pédologique comprenant le sol altéré et la végétation. La profondeur de la surface de glissement est généralement faible, inférieure à quelques mètres. La largeur est variable, de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres, mais le plus souvent très inférieure à la distance de propagation. Etant donné la dynamique du phénomène, il y a rarement d'indices caractéristiques précurseurs.

Le **fluage** est un mouvement lent de matériaux plastiques sur faible pente qui résulte d'une déformation gravitaire continue d'une masse de terrain non limitée par une surface de rupture clairement identifiée.

La **coulée de boue** est un mouvement rapide d'une masse de matériaux remaniés, à forte teneur en eau et de consistance plus ou moins visqueuse. Elle prend fréquemment naissance dans la partie aval d'un glissement de terrain.

17.3.2.3. Laves torrentielles

Les **laves torrentielles** sont des phénomènes partagés avec les thématiques inondations, volcanisme (lahar) et mouvements de terrain. Il s'agit de la propagation rapide dans un axe d'écoulement, d'un volume de matériaux de comportement fluide ou visqueux. La distance de propagation dépasse celle d'une coulée et peut être pluri-kilométrique. Contrairement à une coulée, il ne s'agit pas forcément de la désorganisation d'un matériau initialement cohérent, ce peut être aussi un transport solide tel une onde de crue se chargeant en matière solide au fur et à mesure de sa propagation et de l'accroissement de sa capacité érosive.

17.3.3 *Conditions d'apparition*

17.3.3.1. Chute de pierres, chute de blocs, éboulement en masse ou en grande masse

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. Les principaux facteurs naturels déclencheurs sont les pressions hydrostatiques dues à la pluviométrie, la croissance de la végétation, les secousses sismiques, l'affouillement ou la sape de l'escarpement. Des reliefs escarpés présentant un dénivelé important sont nécessaires pour des mouvements de grande ampleur.

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

17.3.3.2. Glissements, glissement/coulée, coulées de boue associées, fluages

Les facteurs de prédisposition aux glissements sont la lithologie et la géométrie des formations. Les couches de cendres et lapilli, y compris les scories, et les formations volcaniques largement altérés sont ainsi plutôt propices aux glissements. Pour un même matériau, les zones de plus fortes pentes ou de plus forte épaisseur seront plus favorables à ce type d'instabilité. Enfin l'existence préalable d'une surface de discontinuité peut faciliter ou au moins guider l'occurrence d'un glissement.

Comme pour les chutes de masses rocheuses, les déclencheurs naturels sont prépondérants dans ce type d'instabilité. L'eau, associée à un épisode pluvieux important est le principal facteur aggravant, essentiellement par les pressions interstitielles développées dans le sol. Toutefois, l'origine anthropique est également importante, suite à des travaux de terrassements tels que surcharge en tête d'un talus ou d'un versant, décharge en pied supprimant une butée stabilisatrice, rejets d'eau non maîtrisés, pratique culturale, déboisement, etc.

Les coulées de boues, hors laves torrentielles, sont la conséquence et le prolongement de certains glissements, dans des conditions de large remaniement et de forte saturation en eau. Outre les facteurs propres au glissement, il faut aussi une configuration capable de concentrer les écoulements et d'imbiber les matériaux. C'est pourquoi les ravines sont plus propices à ce phénomène.

17.3.3.3. Laves torrentielles

Concernant les facteurs permanents, les laves torrentielles sont circonscrites aux axes d'écoulements important. Il faut en outre disposer de matériaux facilement mobilisables. Il peut s'agir du démantèlement d'un versant par érosion ou mouvements de terrain, mais aussi de retombées volcaniques. Il s'agit alors en l'occurrence d'un lahar *stricto sensu*.

Le facteur déclencheur hydraulique est nécessaire, dû à un épisode pluvieux et/ou la rupture d'un barrage naturel ou l'auto-alimentation d'une onde de crues notamment.

17.3.4 Intensité

L'intensité peut être évaluée en fonction de l'importance et de l'ordre de grandeur du coût des mesures qu'il pourrait être nécessaire de mettre en œuvre pour s'en prémunir. Des classes d'intensité croissantes peuvent être identifiées selon que ces mesures sont du ressort d'un propriétaire individuel, d'un groupement de propriétaires, d'un promoteur ou d'un aménageur, ou qu'elles débordent largement le cadre parcellaire et qu'elles nécessitent une intervention et un investissement collectif.

Le tableau suivant montre que l'importance de ces mesures et notamment les mesures de stabilisation des phénomènes peuvent être directement estimées à partir des caractéristiques des phénomènes physiques et ceci, indépendamment du type d'ouvrage ou de construction à protéger. Cette démarche apparaît comme étant la plus appropriée puisque le zonage réglementaire est avant tout fondé sur la notion de constructibilité et sur la nature des mesures envisageables de protection et de prévention.

Intensité	Importance des parades	Exemples de mesures de prévention	Aléa
Majeure	Pas de parade technique	Phénomène de grande ampleur tel que Séchilienne ou la Clapière.	Majeur
Forte	Intéressant une aire géographique débordant largement le cadre parcellaire et/ou d'un coût très important et ou techniquement difficile.	Stabilisation d'un glissement de terrain important, confortement d'un pan de falaise instable.	Fort
Moyenne	Supportables financièrement par un groupe restreint de propriétaires.	Comblement d'une cavité souterraine, drainage d'une zone instable.	Moyen
Faible	Supportables financièrement par un propriétaire individuel.	Purge de blocs instables en falaise, confortement d'une petite galerie par pilier maçonné.	Faible

17.3.5 Effets et conséquences, techniques de prévention

17.3.5.1. Chute de pierres, chute de blocs, éboulement en masse ou en grande masse

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 de la vitesse) est grande.

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 versants de grande ampleur tel que ceux affectant les remparts. 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, à l'occasion de la mise en place d'un plan d'évacuation et de secours.

17.3.5.2. Glissements, coulées de boue associées, fluages

Du fait des fissures, des déformations et des déplacements en masse, les glissements peuvent entraîner des dégâts importants aux constructions. Dans certains cas, ils peuvent provoquer leur ruine complète (formation d'une niche d'arrachement d'ampleur plurimétrique, poussée des terres incompatible avec la résistance mécanique de leur structure). L'expérience montre que les accidents de personnes dus aux glissements et coulées sont peu fréquents, mais possibles dans le cas d'un phénomène relativement rapide et/ou survenant de nuit. Les fluages peuvent provoquer des dégâts mineurs aux constructions.

Le drainage, le remodelage de la pente, le confortement des sols et le renforcement des structures sont les principales méthodes à mettre en œuvre pour traiter les glissements déclarés, d'ampleur maîtrisable. La prévention consiste à maîtriser tous les rejets d'eau (eaux usées, eaux pluviales, eaux de drainage), à adapter les pratiques agricoles et à éviter tout terrassement susceptible de déstabiliser le terrain.

17.3.5.3. Affaissements ou effondrements

Les effondrements brutaux peuvent entraîner la ruine des constructions et causer des victimes. En revanche, les affaissements à grand rayon de courbure, qui affectent les constructions et les ouvrages (fissurations) présentent rarement un danger pour l'homme.

Parmi les principales techniques de prévention, on distingue les techniques actives, qui interviennent sur les vides souterrains pour éviter l'effondrement, et les techniques passives, qui ont pour objet de protéger les constructions sans agir sur les vides.

Dans le cas de vides peu profonds, il est impératif de bien maîtriser toutes les infiltrations d'eau (eaux usées, eaux pluviales, eaux de drainage) qui peuvent accélérer la dissolution ou affaiblir la résistance mécanique des matériaux.

17.3.5.4. Laves torrentielles

Etant donné le caractère soudain et énergétique du phénomène, les effets de laves torrentielles sont potentiellement très destructeurs et meurtriers.

Sous certaines conditions l'aménagement d'ouvrages cherchant à dissiper l'énergie et piéger des blocs transportés sont envisageables le long d'une rivière exposée.

Des dispositifs d'auscultation et d'alarmes peuvent permettre, selon la durée de propagation, d'avertir et d'évacuer à temps des zones exposées.

17.4 Phénomènes volcaniques

17.4.1 Les éruptions phréatiques

Dans ce type d'éruption, la lave en fusion n'arrive pas en surface. Seuls les matériaux anciens du volcan sont éjectés : blocs, "cendres" accompagnées de vapeur d'eau et de gaz volcanique du fait de la mise en surpression des eaux d'infiltrées dans le volcan.

En fonction de leur puissance et de leurs effets, on distingue des éruptions phréatiques mineures et majeures. En cas de remobilisation, les coulées de boue sont donc susceptibles de combler les vallées, d'en déborder, voire d'augmenter de volume, suite à leur interaction, avec des retenues naturelles d'eau (Grand Etang).

17.4.2 Les éruptions magmatiques

Après une phase d'activité de type phréatique plus ou moins longue, elles sont de plusieurs types et impliquent la sortie en surface de magma.

- Eruption avec mise en place explosive et/ou non-explosive d'un dôme de lave ;
- Eruptions explosives dites pliniennes ;
- Eruption avec mise en place d'une coulée de lave sur des distances variables allant jusqu'à plusieurs kilomètres ;
- Eruptions explosives avec projection de blocs, scories et de cendres pour former de petits édifices dénommés cônes, de scories tels que l'Echelle ou la Citerne.
- Les zones affectées par les retombées ou les écoulements diffèrent de manière importante. Dans le cas de la Soufrière de Guadeloupe, on trouve des produits d'écoulements pyroclastiques à une dizaine de kilomètres du point d'émission.

17.4.3 Les éruptions avec écroulement sectoriel du volcan :

Ce type d'éruption a été observé et décrit pour la première fois en 1980 sur le « Mount Saint-Helens » aux Etats-Unis. Depuis, de nombreuses études ont montré que ce phénomène est très courant dans l'évolution de volcans de tout type et qu'il peut être répétitif. Dans le cas du « Mount Saint-Helens », l'écroulement d'un secteur du volcan résulte de la déstabilisation engendrée à la mise en place d'une importante intrusion de magma en son sein.

De nombreux écroulements sectoriels ont lieu sans présence de magma mais suite à l'extrême fragilisation de l'édifice par altération des roches au contact pendant de longues périodes avec des gaz et fluides acides. De fortes explosions phréatiques dans un volcan très altéré peuvent engendrer de tels écroulements.

17.4.4 Lahars

Effet induit de certaines éruptions volcaniques, le lahar désigne les coulées de boue à débris de roches volcaniques de toutes tailles. Il se forme à partir de dépôts volcaniques par le mélange avec de l'eau. Les lahars peuvent entraîner dans les vallées issues d'un volcan des écoulements volumineux de débris, dévastant tout sur leur passage. Leurs effets destructeurs sont souvent supérieurs à ceux des éruptions elles-mêmes.

17.5 Phénomènes météorologiques

Les phénomènes cycloniques, correspondent à des événements plus aléatoires et discontinus dans le temps. Les cyclones tropicaux menacent d'avantage les îlets et les régions côtières en raison des risques maritimes qu'ils engendrent. Ils se traduisent par deux effets différents tels que :

- **La houle cyclonique ;**
- **La surcote marine.**

Les phénomènes océano-météorologiques correspondent au temps habituel et à un état non extrême. Ils existent continuellement dans le temps et résultent des variations de température, du réchauffement climatique, de l'attraction lunaire,...

Deux effets sont distingués :

- **L'élévation lente du niveau moyen de la mer ;**
- **La marée astronomique.**

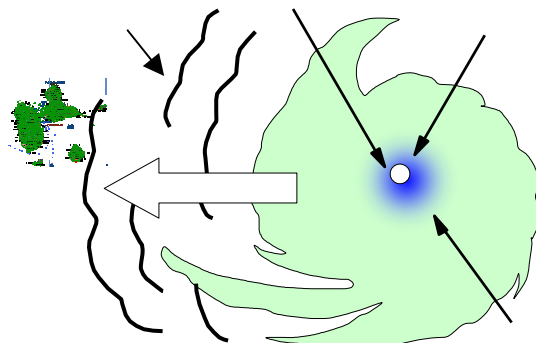
17.5.1 Phénomènes dus aux cyclones

17.5.1.1. Houles cycloniques

Ce sont les vents très forts générés lors des cyclones qui sont à l'origine de la houle cyclonique.

Ces vents soufflent très forts (jusqu'à 350 km/h en rafale) en s'enroulant autour de l'œil, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre pour l'hémisphère Nord (inversement pour l'Hémisphère Sud) et atteignent une force maximale lorsqu'ils sont proches du point de pression minimale.

Au cœur du cyclone, ces vents très forts génèrent, par frottement avec la surface de la mer des vagues énormes (de l'ordre de la dizaine de mètres) dites "houles cycloniques".



Formation des houles cycloniques

A l'approche des rivages, la remontée des fonds va influencer très sensiblement sur leurs caractéristiques. D'une part, par effet de réfraction les crêtes de vague vont avoir tendance à s'orienter parallèlement aux isobathes. D'autre part, elles vont subir par effet de Shoaling un gonflement, puis des déferlements successifs, jusque par petits fonds.

La hauteur des vagues par petits fonds, dépendra de la pente des fonds, de la période des vagues (effet de shoaling), ainsi que de la hauteur d'eau qui inclue la surcote cyclonique et la marée astronomique.

Ces vagues se déplacent plus rapidement que le cyclone qui les a engendrées, elles peuvent être un signe annonciateur de son arrivée.

- **Surcote cyclonique**

Le terme de surcote est employé pour désigner l'élévation du niveau de la mer due à l'onde de tempête. La surcote dite « cyclonique » calculée dans le cadre du présent PPR, correspond à une différence entre 2 niveaux d'eau :

- Le niveau de la mer en temps normal, qui est le niveau de référence,
- Le niveau d'eau susceptible d'être relevé lors du passage d'un cyclone de référence.

La surcote cyclonique au large est principalement due à la baisse de pression. En s'approchant du rivage, se rajoutent les effets conjugués du vent (basculement du plan d'eau), du courant, et du déferlement des vagues (set-up).

L'onde de tempête (storm-surge en anglais) peut être considérée comme une onde solitaire qui diffuse en permanence. Quand elle aborde des rivages, son énergie lui permet d'être amplifiée en fond de baie, où l'accumulation d'eau est possible, ou bien, comme les vagues, par effet de remontée des fonds.

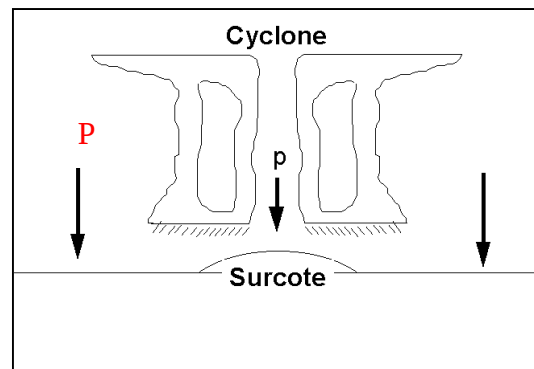
→ Influence de la pression

La pression atmosphérique agit sur le niveau de la mer par l'effet de baromètre inverse. C'est à dire que le niveau d'eau varie de façon proportionnelle et inverse par rapport à la variation de la pression atmosphérique.

Une diminution de la pression atmosphérique provoque par conséquent une surélévation du niveau de la mer.

Ce phénomène atteint son paroxysme au cœur du cyclone, c'est à dire là où la pression est la plus faible.

Une baisse de 1 hPa de pression atmosphérique suffit à provoquer une augmentation de 1cm du niveau de la mer.



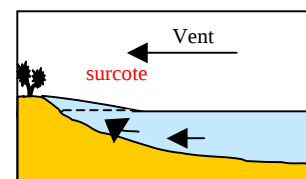
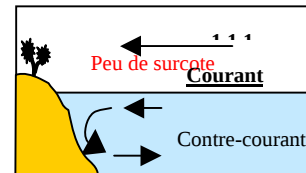
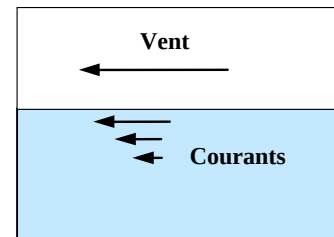
Ainsi, lors du passage de HUGO sur la Guadeloupe, on a pu relever des pressions de 940 hPa au centre du cyclone. Ce niveau de basse pression peut correspondre à une élévation du niveau de la mer, dans l'œil du cyclone, d'environ 70 cm.

→ Influence du vent et de la profondeur d'eau

Lorsqu'un vent souffle sur la mer, il fait naître des courants dans la masse d'eau.

L'influence des vents de surface se fait sentir jusqu'à environ 90 mètres de profondeur dans ce qu'on appelle la zone d'Ekman. En pleine mer, ces courants ne provoquent pas de surcote car ils peuvent s'écouler librement à toutes profondeurs.

Il en est de même près d'une côte bordée par des eaux très profondes.

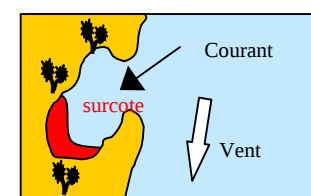
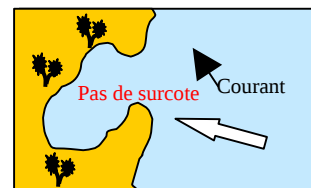


Par contre, dans les zones de faible profondeur, l'accumulation d'eau ne pourra être compensée efficacement ni par des contre-courants de profondeur, ni par des contre-courants de surface.

→ Influence de la forme du rivage sur l'ampleur de la surcote cyclonique

Les phénomènes d'Ekman et de Coriolis modifient l'orientation du courant généré par le vent.

Conformément aux schémas ci-contre, l'orientation des vents et des courants par rapport au rivage influe sur l'ampleur de la surcote.

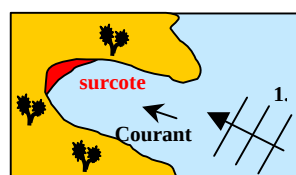


De manière générale, les côtes concaves favorisent les « marées de tempêtes », c'est le cas d'une baie, alors que les côtes convexes tentent à le réduire.

→ Influence de l'agitation de la mer sur l'ampleur de la surcote cyclonique

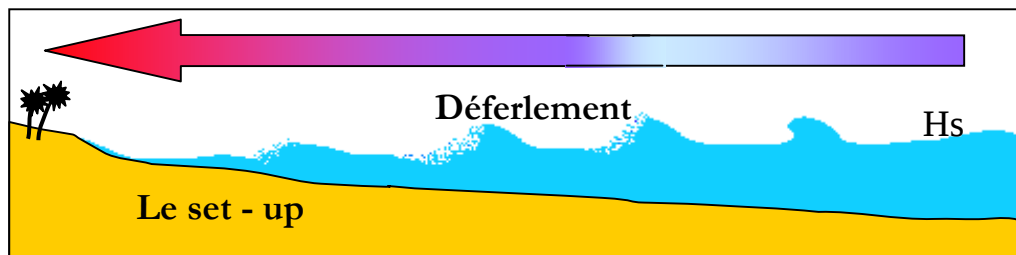
La **propagation de la houle** s'accompagne d'un courant en zone de déferlement. A l'approche du rivage, ce courant provoque une accumulation d'eau qui est plus conséquente au fond des baies.

Cette accumulation d'eau provoque une surélévation du niveau de la mer.

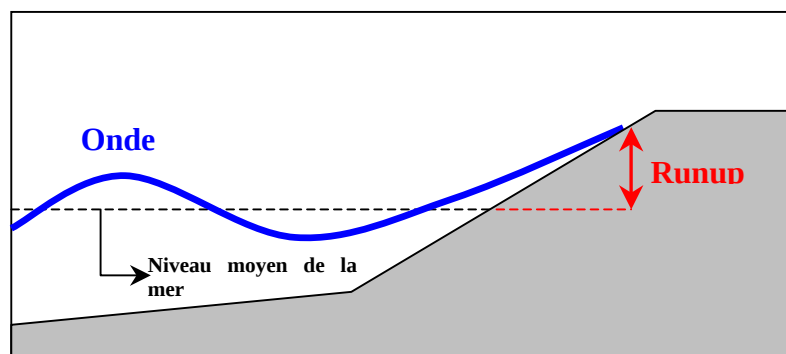


Le **déferlement de la houle** à l'approche du rivage provoque deux phénomènes qui amplifient la surcote cyclonique. Ces phénomènes sont le Set - Up et le Run - Up.

1. Le **set - up** correspond à une surélévation du niveau moyen de la mer due au déferlement des vagues au rivage. Son amplitude peut être estimée à partir de la hauteur significative (H_s) des vagues au large.



2. Le **Run-Up** correspond à la hauteur maximale du niveau moyen de la mer produit lors du déferlement des vagues sur le talus ou sur une plage.

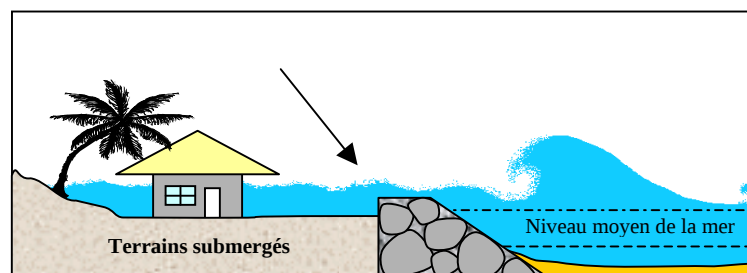


Il dépend des caractéristiques des vagues, de la pente et de la nature du talus.

- **Conséquences des phénomènes de surcote et de houle cyclonique**

A l'occasion des marées de tempêtes, le niveau de la mer monte. Les terrains côtiers peuvent alors être temporairement inondés par la mer. C'est la submersion marine.

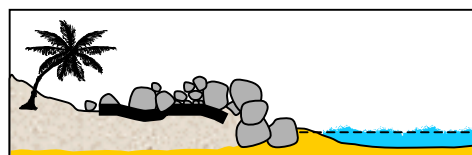
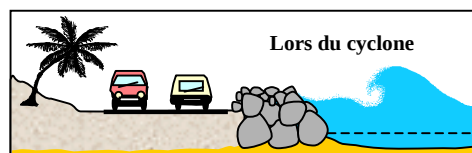
Les terrains submergés peuvent l'être par la montée du niveau de la mer et/ou par le déferlement des vagues :



Générées par une houle cyclonique de forte amplitude, les vagues peuvent provoquer d'énormes dégâts jusqu'à l'intérieur des terres.

Les actions sont parfois directes (action de la houle sur les infrastructures et superstructures) ou indirectes (actions des vagues projetant des galets et masse d'enrochements - cas de Lenny).

Dégâts suite au cyclone LENNY (GUADELOUPE – 1999)



17.5.2 Phénomènes océano-météorologiques

- **Marée astronomique**

La mer est soumise à la marée astronomique en Guadeloupe. Son marnage y est relativement faible. Le niveau d'eau varie couramment entre + 0,20 m et + 0,80 m CM⁴². A l'occasion des marées de « vives eaux », qui se produisent notamment en période d'équinoxe, le niveau peut atteindre + 0,90 m à + 1,00 m CM. On notera qu'il y a de 1 à 4 marées par 24 heures.

- **Élévation du niveau moyen de la mer due au réchauffement**

Le niveau de la mer est sujet à de fortes élévations exceptionnelles. Elles sont liées aux phénomènes météo – océanographiques (le vent, la houle, le courant, la densité de l'eau etc...) et se produisent lors de tempêtes ou de cyclones.

Le niveau moyen de la mer (niveau de référence) subit une lente élévation dans le temps. Elle est due au réchauffement climatique. Parmi les conséquences les plus inquiétantes du réchauffement du climat, l'élévation du niveau de la mer occupe une place importante. Les dernières estimations (IPCC - <http://www.ipcc.ch>) du changement climatique prévoient un réchauffement de 1,4 à 5,8°C. Ce qui entraînerait une élévation du niveau moyen des mers de 10 à 90 cm en 2100. L'élévation du niveau moyen des mers est d'environ 2 mm/an. Elle pourrait atteindre, selon les scénarios, des valeurs de 2 à 10 fois supérieures d'ici la fin du siècle.

L'élévation du niveau moyen de la mer n'est pas prise en compte dans le cadre de la présente étude.

⁴² CM= cote marine; il correspond au zéro hydrographique

17.5.3 Phénomènes d'inondations

- **les inondations par submersions lentes**

Ces inondations sont caractérisées par des montées lentes du niveau d'eau, des hauteurs et des durées de submersion importantes. Elles se produisent dans les zones de relief peu marqué, dans les zones basses ainsi que dans les secteurs dits " endoréiques " (zones de dépressions).

- **Les inondations par ruissellement urbain**

Les averses intenses s'abattant sur une zone urbaine peuvent être absorbées par le réseau d'assainissement pluvial mais des débordements sont possibles lorsque la capacité du réseau est dépassée ou lorsque les avaloirs des canalisations sont obturés. Le réseau refoule alors sur la voirie avec souvent des projections de plaques d'égouts et des torrents se forment en surface. Ces écoulements peuvent être brutaux et puissants et sont donc source de danger pour les personnes. Ils sont principalement contenus dans les axes drainants que forment les voiries.

L'appréciation et la caractérisation de ces écoulements sont difficiles compte tenu qu'ils interviennent en milieu dense urbain. **Ce type d'inondation ne sera donc pas cartographié en gardant néanmoins à l'esprit que toutes les voiries orientées dans le sens de la pente du versant constituent des axes d'écoulement privilégiés. Ces derniers sont caractérisés par des vitesses d'écoulement importantes et représentent une source de danger pour les personnes.**

- **les inondations par les ravines**

Ce sont les inondations les plus dévastatrices. Les ravines présentent de fortes pentes avec des crues très brutales. Ces crues sont caractérisées par de fortes vitesses et des écoulements très chargés (transport solide et de flottants).

A l'arrivée dans l'étroite plaine littorale, la rupture de pente des ravines facilite le ralentissement des écoulements et l'immobilisation des matériaux lourds. Cette accumulation de dépôts surélève d'autant le niveau des eaux au passage des crues et entraîne des débordements. Parallèlement à cela, les obstacles naturels (coudes du lit) ou artificiels (ponts, passage à gué, couverture de ravine) sont autant de points d'appui à l'accumulation d'embâcles ou à la formation de barrages. C'est à partir de ces obstacles que se produisent la plus grande partie des débordements et c'est ainsi qu'ils sont principalement observés en milieu urbain ou péri urbain, dans des zones où la densité de ponts est la plus forte.

- **les inondations associées aux cyclones**

18 ANNEXE 2 : EQUATION DES BRANCHES DES SPECTRES DE RÉPONSE

Les branches des spectres de réponse élastiques $S_e(T)$, sont définies par les équations suivantes:

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

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

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

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

où

$S_e(T)$ ordonnée du spectre de réponse élastique,

T période de vibration d'un système à un degré de liberté,

a_g accélération du sol pour la période de retour retenue (ex 475 ans), fixée par le règlement

k facteur de forme pour des situations régionales spéciales (=1 par défaut),

T_B, T_C Périodes caractéristiques des branches du spectre,

T_D période définissant le début de réponse constante en déplacement du spectre,

S paramètre de site

η facteur de correction d'amortissement $\eta=1$ pour l'amortissement 5%.

19 ANNEXE 3 : ARTICLES DE PRESSE