

R 4

RP-50501



PREFECTURE
DE LA REGION GUADELOUPE

DOCUMENT PUBLIC

*XI^{ème} Contrat de plan Etat/Région Guadeloupe
relatif à la prévention du risque sismique.
Réseau accélérométrique de Pointe-à-Pitre :
rapport final, synthèse des résultats acquis
depuis 1994.*

Etude réalisée dans le cadre du projet de recherche 2000-RIS-R01

décembre 2001
BRGM/RP-50501-FR



Mots clés : Aléa sismique, accélérométrie, Pointe-à-Pitre, effets de site, localisation de séismes.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

B. LeBrun, M. Bour et H. Fabriol avec la collaboration de P. Dominique, P. Sabourault, F. Vermeersch, C. Martin, et J. Demand (2001) – XIème Contrat de Plan Etat Région Guadeloupe. Réseau accélérométrique de Pointe-à-Pitre : rapport final, synthèse des résultats acquis depuis 1994. Rapport BRGM-RP-50501-FR, 67 p., 19 fig., 14 tabl.

Synthèse

Depuis 1994, le BRGM maintient des stations accélérométriques dans les Antilles françaises. Depuis cette date, le réseau de Pointe-à-Pitre a évolué de nombreuses fois et s'est agrandi à deux reprises. Le but principal de l'installation de stations accélérométriques est d'obtenir des mouvements sismiques de référence en cas de séisme fort. Un deuxième objectif est de comprendre les observations des dégâts sur les bâtiments de Guadeloupe suite au séisme de Montserrat de 1985 (le 16 mars 1985 à 14h54 GMT). En effet, lors de ce séisme, l'agglomération pointoise avait subi plus de dégâts que les autres agglomérations guadeloupéennes. Cette augmentation des dégâts observés peut être attribuée non seulement à une plus forte densification des éléments exposés mais également à des effets de site liés à des différences géotechniques des sols sur cette agglomération. Les stations accélérométriques ont donc été installées sur différents types de sols. Un microzonage de l'agglomération, réalisé en 1998 par le BRGM nous permet de comparer les résultats entre les enregistrements de séismes et les fonctions de transfert des sols déduites des études géotechniques.

Dans sa configuration maximale, le réseau accélérométrique de Pointe-à-Pitre, qui comporte 21 stations d'enregistrement, est en fonctionnement depuis le mois d'octobre 1998. Depuis cette date, plus de soixante séismes ont été enregistrés par au moins 5 stations et une quinzaine d'entre eux ont pu être localisés par le réseau. Il nous est donc possible, d'une part, de mieux connaître et définir la sismicité aux abords de l'agglomération pointoise et, d'autre part, de mieux quantifier les effets de site qui peuvent se produire sur les différentes zones définies lors du microzonage effectué en 1998 (Monge et al., 1998).

Ce rapport présente, après un bref rappel de l'organisation du réseau, les données acquises entre janvier 1994 et mars 2001. L'analyse de la localisation des séismes enregistrés montre que la faille du Gosier, orientée Est-Ouest et passant au sud de la ville de Pointe-à-Pitre, est relativement active, et pourrait donc constituer un danger important pour l'agglomération. Les autres séismes enregistrés se sont produits, pour la plupart, sur la zone de subduction, soit à une centaine de kilomètres au Nord-Est du réseau.

La méthode des rapports spectraux site sur référence a été utilisée pour déterminer la modification du signal sismique par les sols de l'agglomération. Une comparaison de ces résultats expérimentaux avec les résultats du microzonage de 1998 montre que la concordance n'est pas toujours très bonne. Cependant, de manière générale, les sols de caractéristiques géotechniques mauvaises montrent des amplifications du mouvement du sol plus importantes et à des fréquences plus basses que les sols de caractéristiques géotechniques moyennes. Il y a, malgré tout, des sols classés dans la même zone lors du microzonage qui n'ont pas la même réponse sismique.

Cette étude montre l'apport de la sismologie dans le microzonage sismique, à travers les enregistrements réalisés sur différentes catégories de sols. Une caractérisation géotechnique fine des sols est encore nécessaire pour comprendre les différences de réponse, pour des mêmes sites du microzonage. Nous observons en effet que des zones qui sont sur le même site au sens du microzonage, montrent des réponses différentes et auraient donc pu être classées sur des sites différents avec les résultats de cette étude. Cependant, une étude de ce type ne peut pas servir seule à la modification d'un microzonage, le nombre de stations accélérométriques étant trop faible par rapport à la taille de la région étudiée.

Remerciements

Sans les personnes suivantes, qui nous ont donné la permission et souvent aidé pour l'installation des stations, ces résultats n'auraient pas pu voir le jour :

Monsieur D. Faeh, responsable du Service Sismologique Suisse de l'ETH-Zürich, pour nous avoir prêté 5 stations pendant 4 ans.

Monsieur Cigiscar, directeur de l'institut Pasteur ;

Mesdames et Messieurs les directrices et directeurs des écoles A. Fengarol et Lauricisque à Pointe-à-Pitre, S. Rollon au Gosier, P.E. Coco à Perrin ;

Monsieur le principal et Madame l'intendante du collège du Raizet ;

La Sous-Préfecture de Pointe-à-Pitre ;

Messieurs Prégel et Gamin au Centre Pénitentiaire de Baie-Mahault ;

Madame Hannoah, à la Chambre de Commerce et d'Industrie de Pointe-à-Pitre ;

Messieurs Pédurant et Papillon au World Trade Center de Jarry ;

Monsieur Trussardi à la DRIRE de Jarry ;

La directrice et le personnel du Centre Equestre « La Martingale » à Baie Mahault ;

Messieurs Closset, Mompelat et Milville des agences du BRGM et d'ANTEA en Guadeloupe ;

Monsieur Chauvel, de l'ADUAG ;

Tout le personnel des services techniques de l'aéroport du Raizet et Monsieur LeGalen à la DGAC à Toulouse ;

Monsieur Gal à la DDE de Jarry ;

Sommaire

Synthèse.....	3
Remerciements.....	5
Liste des figures	9
Liste des tableaux	10
1 Introduction.....	11
2 Cadre de l'expérience	13
2.1 Sismicité régionale et locale.....	13
2.2 Les effets de site dans l'agglomération pointoise.....	13
2.3 Description du réseau.....	15
3 Présentation des enregistrements.....	19
3.1 DESCRIPTION des séismes.	21
3.1.1 Localisation des séismes lointains.....	24
3.1.2 Localisation des séismes proches.....	24
3.2 Description des enregistrements temporels.....	29
3.2.1 Les séismes proches.....	29
3.2.1.1 Séisme du 7 janvier 1999	29
3.2.1.2 Séisme du 10 mai 1999.	30
3.2.2 Les séismes lointains	33
3.2.2.1 Séisme du 8 juin 1999 au large de la Martinique.....	34
3.2.2.2 Séisme du 28 août 1999 au large d'Antigua.	35
3.2.3 Le Séisme du 5 janvier 2001.....	35
3.2.4 Comparaison entre les séismes proches et les séismes lointains	36
3.3 Analyse de l'atténuation du mouvement sismique.....	42
3.3.1 Objectifs.....	42
3.3.2 Résultats.....	43
4 Analyse des effets de site.	45
4.1 Description des méthodes.....	45
4.1.1 Les méthodes des rapports spectraux site sur référence.....	45
4.1.1.1 Rapport spectral sur les enregistrements de séismes.....	45
4.1.1.2 Rapports spectraux sur le bruit de fond.....	47
4.1.2 Méthode H/V.....	47
4.2 Résultats DES RAPPORTS SPECTRAUX AVEC SEISMES et comparaison avec le microzonage	47
4.2.1 Stations au rocher.....	48
4.2.2 Stations sur des zones à effets de site.....	49
4.3 Comparaison séismes proches et lointains.....	50
4.4 Comparaison entre la méthode des rapports spectraux site sur référence et la méthode H/V.	54

4.5	Conclusions sur l'application des méthodes.....	57
5	Deux stations particulières : Glide Surface et Glide Fond de puits.....	59
5.1	Description des enregistrements.....	59
5.2	Calcul des rapports spectraux.....	60
5.3	Comparaison avec des données géotechniques.....	60
6	Conclusions.....	65
	Bibliographie.....	67

Liste des figures

Figure 1 - Carte de localisation des stations du réseau accélérométrique de Pointe-à-Pitre . Le fond de la carte correspond au microzonage de l'agglomération pointoise (Monge et al., 1998).....	17
Figure 2 - Répartition temporelle des magnitudes locales (fichier IPGP) pendant la durée de l'expérience. Le schéma est biaisé par l'extension du réseau en septembre 1998.....	26
Figure 3 - Carte des événements enregistrés par le réseau de Pointe-à-Pitre. La localisation est celle fournie par les Observatoires Volcanologiques de l'Institut de Physique du Globe de Paris. Les séismes dont la date est indiquée sont ceux décrits dans la suite.	27
Figure 4 – Carte des événements localisés par le réseau BRGM de Pointe-à-Pitre. Les ellipses d'erreur pour chaque séisme sont indiqués. Les numéros font référence au Tableau 7.....	28
Figure 5 - Accélérogrammes du séisme du 7 janvier 1999, composantes EW. Les traces sont à la même échelle verticale ($\pm 0,01 \text{ m/s}^2$) sauf Saint-Felix ($\pm 0,1 \text{ m/s}^2$)	31
Figure 6 - Accélérogrammes du séisme du 10 mai 1999, composantes EW, stations K2. Les traces sont à la même échelle verticale ($\pm 0,05 \text{ m/s}^2$)	32
Figure 7 - Accélérogrammes du séisme du 10 mai 1999, composantes EW, stations SMACH. Les traces sont à la même échelle verticale ($\pm 0,05 \text{ m/s}^2$).....	33
Figure 8 - Accélérogrammes du séisme du 8 juin 1999, composantes EW, stations K2. Les traces sont à la même échelle verticale ($\pm 0,05 \text{ m/s}^2$) sauf la station ADUAG.....	37
Figure 9 - Accélérogrammes du séisme du 8 juin 1999, composantes EW, stations SMACH. Les traces sont à la même échelle verticale ($\pm 0,05 \text{ m/s}^2$).....	38
Figure 10 - Accélérogrammes du séisme du 28 août 1999, composantes EW, stations K2. Les traces sont à la même échelle verticale ($\pm 0,07 \text{ m/s}^2$)	39
Figure 11 - Accélérogrammes du séisme du 28 août 1999, composantes EW, stations SMACH. Les traces sont à la même échelle verticale ($\pm 0,1 \text{ m/s}^2$).....	40
Figure 12 - Accélérogrammes du séisme du 5 janvier 2001. Toutes les traces sont à la même échelle verticale ($\pm 0,4 \text{ m/s}^2$).....	41
Figure 13 - Comparaison des pga enregistrés à la station Pasteur avec les pga calculés par diverses lois d'atténuation tirées de la littérature.....	44
Figure 14 - Rapports spectraux avec des séismes calculés à 12 stations du réseau avec la station Pasteur utilisée comme station de référence.....	52
Figure 15 - Comparaison pour 8 stations des rapports spectraux calculés avec les séismes proches (courbes vertes), les séismes lointains (courbes bleues) et l'ensemble des séismes (courbes noires)	54
Figure 16 - Comparaison des fonctions de transfert calculées par la méthode des rapports spectraux classiques d'une part (courbe noire) et par la méthode H/V bruit de fond d'autre part (courbe bleue et rouge si une deuxième mesure a été effectuée).....	55
Figure 17 - Enregistrements aux deux stations du Glide de 5 séismes différents. Les amplitudes des signaux sont les mêmes pour chaque couple d'enregistrements fond de puits et surface.....	61
Figure 18 - Spectres des signaux enregistrés aux deux stations du glide. Pour chaque graphe correspondant à un séisme sont montrés en rouge les spectres de la station Glide Surface et en noir les spectres de la station en profondeur.....	62
Figure 19 - Comparaison des rapports spectraux pour 5 séismes différents entre la station en surface et la station en fond de puits d'une part (traits noirs) et la station Pasteur d'autre part (trait rouge).....	63

Liste des tableaux

Tableau 1 - Liste des stations installées à Pointe-à-Pitre avec les noms des stations, le code utilisé, le type d'enregistreur, la catégorie de sol au sens du microzonage (entre parenthèses sont indiquées les éventuelles zones proches de la station), la date d'installation, la date de désinstallation, et les coordonnées géographiques.	16
Tableau 2 - Liste des événements enregistrés par au moins deux stations du réseau entre 1994 et septembre 1998. "l" signifie que le séisme est localisé à plus de 50 km environ du réseau, "p" signifie qu'il est localisé à moins de 50 km environ. En grisé sont indiquées les périodes de non installation des stations. La dernière ligne indique le nombre d'événements enregistrés par chaque station.....	19
Tableau 3 - Liste des séismes lointains enregistrés par au moins deux stations du réseau entre 1998 et 2001. En grisé sont indiquées les périodes de non installation des stations. Le temps est donné en heure TU. La dernière ligne indique le nombre d'événements enregistrés par chaque station.....	20
Tableau 4 - Liste des séismes proches enregistrés par au moins deux stations du réseau entre 1998 et 2001. En grisé sont indiquées les périodes de non installation des stations. Le temps est donné en heure TU. La dernière ligne indique le nombre d'événements enregistrés par chaque station.....	21
Tableau 5 - Liste des séismes enregistrés par le réseau. La localisation provient des observatoires volcanologiques de l'Institut de Physique du Globe de Paris.....	22
Tableau 6 - Modèle de vitesse utilisé pour les localisations des séismes.	25
Tableau 7 - Séismes enregistrés dont la localisation a pu être déterminée par le réseau BRGM de Pointe-à-Pitre. Les deux dernières colonnes correspondent à la localisation donnée par l'OVS.....	25
Tableau 8 - Distances épacentrales (km) et accélération maximale (mg) des composantes EO pour le séisme du 7 janvier 1999.	30
Tableau 9 - Distances épacentrales (km) et accélération maximale (mg) des composantes EO pour le séisme du 10 mai 1999.	30
Tableau 10 - Distances épacentrales (km) et accélération maximale (mg) des composantes EO pour le séisme du 8 juin 1999.	34
Tableau 11 - Distances épacentrales (km) et accélération maximale (mg), des composantes EO pour le séisme du 28 août 1999.	35
Tableau 12 - Distances épacentrales (km) et accélération maximale (mg) des composantes EO pour le séisme du 5 janvier 2001.....	36
Tableau 13 - Liste des séismes utilisés pour l'étude de l'atténuation du mouvement sismique. .43	
Tableau 14 - Modification proposée des zones du microzonage pour les stations étudiées.	58

1 Introduction

Ce rapport présente les données acquises entre 1994 et 2001 par le réseau accélérométrique de Pointe-à-Pitre. Pendant cette période, le réseau a subi de nombreux changements et agrandissements. Initialement constitué de 5 stations, il est passé à 11 en 1997 et 21 en 1998, pour revenir à 14 sites en septembre 2000. La modification la plus importante a été l'ajout, en septembre 1998, de 8 accéléromètres sensibles Kinematics K2, et de 2 stations vélocimétriques Agécodagis Titan Dat, qui ont été rajoutées aux 11 accélérographes SMACH SM2 déjà en place à cette époque. Cet ajout de matériel plus sensible a permis d'augmenter notablement le nombre de données et par conséquent, de mieux caractériser la sismicité locale autour de la ville de Pointe-à-Pitre, d'une part, et de faire des comparaisons avec les résultats du microzonage sismique effectué en 1998 par le BRGM (Monge et al., 1998), d'autre part.

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un Contrat de Plan Etat-Région Guadeloupe, cofinancé par les fonds FEDER européens et par le BRGM dans le cadre de ses activités de recherche (projet D221 «risques naturels» et RISR01 «risques sismiques»). Par ailleurs, il a bénéficié du financement de service public du BRGM (fiche SP 99H009 "réseau accélérométrique des Antilles" et 00RIS103 «Réseau Accélérométrique Permanent»), ce qui a permis de maintenir 6 stations SMACH. Cinq des stations SMACH nous ont été gracieusement prêtées pendant 3 ans par le Service Sismologique Suisse de l'ETH-Zürich, ce qui nous a permis d'avoir un réseau plus étendu.

Ce rapport fait la synthèse de toutes les données enregistrées depuis 1994 et présente les enregistrements et les résultats obtenus. Après avoir rappelé la configuration du réseau et les différentes caractéristiques des stations, nous nous intéresserons à la localisation des séismes enregistrés. Parmi les 85 séismes, 13 ont pu être localisés par notre réseau. Il s'agit de séismes proches, essentiellement localisés à proximité de la faille dite "Du Gosier", située au Sud-Est de l'agglomération pointoise. Cette faille apparaît donc comme étant active. Cependant, la configuration du réseau ne permet pas une localisation précise des séismes, c'est pourquoi nous avons retenu les localisations effectuées par l'Observatoire Volcanologique de la Soufrière.

Dans un deuxième temps, nous avons comparé les niveaux sismiques enregistrés avec les mouvements sismiques déduits de lois d'atténuation existantes. Ceci dans le but d'étudier la nécessité d'élaborer ou non des lois d'atténuations spécifiques au contexte sismotectonique antillais. Ces lois d'atténuation sont en effet fondamentales pour la détermination du mouvement sismique dans le cadre réglementaire.

Dans un troisième temps, nous avons étudié les effets de site dans l'agglomération en calculant les rapports spectraux entre les différentes stations du réseau et une station de référence. Les résultats de cette méthode sont comparés aux résultats obtenus lors du microzonage de l'agglomération réalisé en 1998 (Monge et al., 1998). La concordance

entre le microzonage géotechnique et les résultats de la méthode des rapports spectraux n'est pas toujours vérifiée.

Enfin, nous présentons les enregistrements de 5 séismes à deux stations situées au même endroit, l'une en fond de puits et l'autre en surface. Cette configuration est destinée à observer l'effet des couches sédimentaires sur le signal sismique.

2 Cadre de l'expérience

2.1 SISMICITE REGIONALE ET LOCALE

La Guadeloupe fait partie de l'arc des petites Antilles, qui correspond à une marge active liée à la subduction de la plaque Amérique sous la plaque Caraïbes. Ces mouvements de plaques sont responsables d'une activité tectonique et sismique importante qui rend la Guadeloupe vulnérable aux séismes. Ceux-ci sont liés soit à l'arc de subduction situé à une centaine de kilomètres à l'Est, avec une concentration de l'activité au Nord-Est, soit à des réajustements au niveau des structures tectoniques de l'île. Les séismes de 1843 et de 1897, qui ont durement frappé l'agglomération de Pointe-à-Pitre, sont des exemples des deux types de séismes pouvant affecter l'île. Le premier, de magnitude 8,0 s'est produit dans la zone de subduction à environ 80 kilomètres de la ville, le second, de magnitude 5,5, s'est produit au sud de la baie de Pointe-à-Pitre, à une dizaine de kilomètres.

La détermination précise des coordonnées hypocentrales des séismes proches a pour but de mieux caractériser la sismicité locale autour de l'agglomération pointoise, c'est à dire la sismicité due aux réajustements tectoniques intra plaques en arrière de la zone de subduction. Cette détermination des coordonnées est effectuée grâce à l'installation d'horloges GPS, permettant de synchroniser très précisément les stations entre elles.

2.2 LES EFFETS DE SITE DANS L'AGGLOMERATION POINTOISE

Un effet de site est la modification du champ d'ondes par les conditions locales de sol. Ces conditions peuvent être d'ordre topographique ou lithologique :

- Les formations sédimentaires planes superficielles présentant des caractéristiques mécaniques moins bonnes que celles du rocher sous-jacent peuvent provoquer des amplifications du mouvement dues au contraste d'impédance ;
- Les bassins sédimentaires allient à l'effet de la couche plane celui de la géométrie de sub-surface : une géométrie non plane peut créer une focalisation particulière des ondes à l'intérieur du bassin, susceptible d'amplifier le mouvement sismique en surface ;
- L'effet de topographie : de même que la géométrie de sub-surface, un relief topographique peut entraîner des phénomènes de focalisation provoquant une amplification du mouvement.

Nous nous intéressons ici uniquement aux effets dus aux conditions géotechniques.

Les effets de site dans l'agglomération pointoise ont été étudiés précisément dans le cadre du projet Gemitis Pointe-à-Pitre dont l'objet est l'évaluation et la réduction du risque sismique. Cette étude a donné lieu à un rapport (Monge et al., 1998) et à une carte de microzonage permettant de connaître les zones de l'agglomération qui peuvent

être soumises à des effets de site (Figure 1, page 17). Cinq zones, qui correspondent à des réponses homogènes des sols aux sollicitations sismiques, ont été identifiées. Nous rappelons leurs caractéristiques en utilisant les notations suivantes :

R : Remblai ;
FC1 : Formation compressible de caractéristiques mécaniques très médiocres ;
Sa : Niveau sableux rencontré uniquement au Gosier ;
FC2 : Formation compressible de caractéristiques mécaniques médiocres ;
Ar : Argile ;
T : Tuf ;
Sf : Substratum fracturé.

Les types de sol a, b et c se réfèrent aux normes PS92 (AFNOR, 1995). Les propriétés mécaniques, et en particulier la résistance des sols, diminuent de la zone 1 à la zone 5.

Zone 1 (Z1) : Ce sont des formations raides ou rocheuses (T et Sf), considérées dans cette étude comme la référence rocheuse. Le sol de cette zone se rapproche d'un site de type S₀ (PS 92).

Zone 2 (Z2) : Des formations argileuses de type b en épaisseur inférieure à quinze mètres surmontent les formations raides précédentes (T et Sf). Une couche de remblai (de type b ou c) d'environ un mètre peut être rencontrée en surface. Le sol de cette zone se rapproche d'un site de type S₁ (PS 92).

Zone 3 (Z3) : Les formations de type c en épaisseur inférieure à dix mètres sont présentes dans cette zone (FC1, FC2). Une couche de remblai (de type b ou c) d'environ deux mètres peut-être rencontrée en surface. Ces formations surmontent les couches présentes sur la zone 2. Le sol de cette zone se rapproche d'un site de type S₂ (PS 92).

Zone 4 (Z4) : Dans cette zone, des formations de type c en épaisseur supérieure à dix mètres sont présentes (FC1, FC2). Une couche de remblai (de type b ou c) d'environ trois mètres peut être rencontrée en surface. Le sol de cette zone se rapproche d'un site de type S₃ (PS 92).

Zone 5 (Z5) : Cette zone n'est présente que sur la commune du Gosier. Elle se caractérise par la présence de la formation sableuse Sa, intercalée entre une couche de FC1 et une couche de FC2. Comme sur la zone 4, les formations de type c sont en épaisseur supérieure à dix mètres. Le sol de cette zone se rapproche d'un site de type S₃ (PS 92).

2.3 DESCRIPTION DU RESEAU

Le réseau, dans son extension maximale était constitué de 21 stations de trois types différents, dont certaines sont équipées d'horloges permettant leur synchronisation en temps pour la localisation des séismes :

- onze stations SMACH-SIG SM-2 (cinq appartenant au Service Sismologique Suisse et six au BRGM) qui sont les instruments les moins sensibles. Elles ont de fait été installées sur les sites les plus bruités, avec un seuil de déclenchement assez élevé. ;
- huit stations de type K2 Kinematics, qui sont les instruments les plus sensibles. Elles ont été installées sur les sites les moins bruités avec un seuil de déclenchement bas et peuvent donc enregistrer des mouvements faibles. Suite aux modifications du réseau elles ont permis l'instrumentation de 9 sites ;
- deux stations composées d'un enregistreur de type Titan Dat Agécodagis et d'un capteur de vitesse de type Lennartz, qui servent principalement pour la localisation des séismes. De ce fait, elles ont été excentrées par rapport au réseau.

Le tableau 1 récapitule les caractéristiques suivantes des stations du réseau :

- le code de la station ;
- la catégorie de sol sur lequel est installée la station. (cf §2.2)
- la date d'installation et de désinstallation ;
- les coordonnées géographiques.

On peut voir sur ce tableau que :

- six stations ont été installées sur des sols de catégorie Z1. Parmi ces six instruments, deux servent plus particulièrement pour la localisation des séismes : JMM et FM. Les quatre autres (Eucher, Pasteur, Antéa, GlideD) servent de référence pour la méthode des rapports spectraux. Le capteur de l'enregistreur (GlideD) a la particularité d'être situé au fond d'un puits de 20 mètres de profondeur dans l'enceinte de l'aéroport du Raizet.
- une station est installée sur un sol de catégorie Z2 (Closset et), quatre stations sur des sols de catégorie Z3 (Raizet, Fengarol, WTC et CCI), une sur un sol de catégorie Z4 (T2) et une sur un sol de catégorie Z5 (S. Rollon). Cela nous permet, d'une part, de comparer la réponse de sols de même catégorie, sur des stations éloignées ou dans des contextes géologiques légèrement différents et, d'autre part, de comparer les réponses à des stations situées sur des sols de catégories différentes proches les unes des autres.
- sept stations sont situées à la limite entre les zones 2 et 3 (Saint Felix, Sous Préfecture, DRIRE, Prison, Siméon, Centre Equestre et Perrin), et trois à la limite entre les zones 3 et 4 (Lauricisque, stade, T2 et GlideS). La station de la DDE est

située en limite de trois zones (Z2, Z3 ou Z4). Les rapports spectraux devraient nous aider à discriminer entre ces catégories de sol.

- la station ADUAG est située au 14^{ème} étage d'une tour qui en comporte 15. Comme la tour est construite sur du rocher, à proximité de la station Pasteur, qui sert de référence, cette station permet de déterminer la réponse de cette tour aux sollicitations sismiques.

nom	Code	Instrument	zone	Date début	Date fin	Latitude (deg. N)	Longitude (deg. O)
Siméon	bm	SMACH	Z2 (Z3)	juin-94	sept-98	16,2607	61,5778
Stade	st	SMACH	Z4 (Z3)	jan-97	sept-97	16,2468	61,5361
Eucher	eu	SMACH	Z1	dec-97	sept-98	16,2416	61,4099
Ss Préfecture	sp	SMACH	Z2 (Z3)	1997	sept-00	16,239	61,53
Lauricisque	ec	SMACH	Z4 (Z3)	1997	sept-00	16,252	61,542
Glide S	gs	SMACH	Z4 (Z3)	1997	/	16,269	61,538
Glide D	gd	SMACH	Z1	1997	/	16,269	61,538
T2	t2	SMACH	Z4 (Z3)	1997	sept-00	16,272	61,538
DRIRE	dr	SMACH	Z2	sep-97	sept-00	16,237	61,552
ANTEA	an	SMACH	Z1	juin-94	/	16,258	61,512
ADUAG	ad	SMACH	Structure	1997	juil-99	16,238	61,527
Collège. Raizet	ra	SMACH	Z3	oct-98	mars-01	16,259	61,527
WTC	wt	SMACH	Z3	oct-98	mars-01	16,23	61,54
C. Equestre	eq	SMACH	Z2 (Z3)	oct-98	sept-00	16,253	61,572
Pasteur	pa	SMACH	Z1	1997	oct-98	16,235	61,524
Pasteur	pa	K2	Z1	oct-98	/	16,235	61,524
Prison	pr	K2	Z2 (Z3)	oct-98	/	16,265	61,569
A. Fengarol	fe	K2	Z3	oct-98	/	16,242	61,533
Luc Closset	cl	K2	Z2	oct-98	mai-00	16,257	61,575
S. Rollon	sr	K2	Z5	oct-98	/	16,221	61,499
Saint Félix	sf	K2	Z2 (Z3)	oct-98	janv-00	16,21	61,508
Perrin	pe	K2	Z2 ou Z3	janv-99	mars-01	16,309	61,448
DDE	dd	K2	Z3 (Z2-Z4)	janv-99	/	16,250	61,551
CCI	cc	K2	Z3	janv-99	/	16,246	61,528
JMM	jm	TITAN	Z1	oct-98	sept-00	16,250	61,654
FM	fm	TITAN	Z1	oct-98	sept-00	16,201	61,615

Tableau 1 - Liste des stations installées à Pointe-à-Pitre avec les noms des stations, le code utilisé, le type d'enregistreur, la catégorie de sol au sens du microzonage (entre parenthèses sont indiquées les éventuelles zones proches de la station), la date d'installation, la date de désinstallation, et les coordonnées géographiques.

La carte de la Figure 1 présente la répartition des stations du réseau accélérométrique avec, en fond de carte, le microzonage réalisé dans la région de Pointe-à-Pitre en 1998 (Monge et al., 1998).

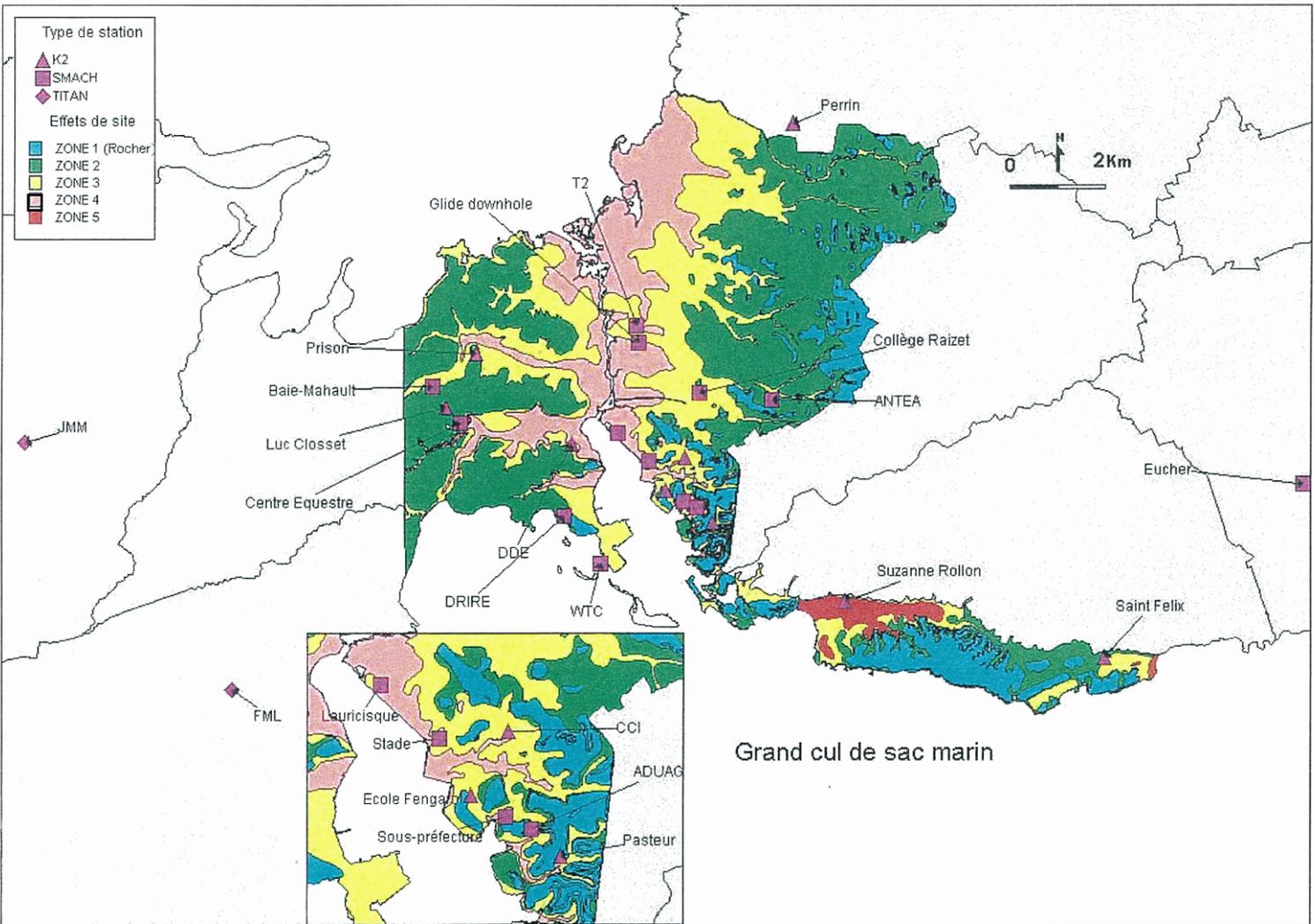


Figure 1 - Carte de localisation des stations du réseau accélérométrique de Pointe-à-Pitre. Le fond de la carte correspond au microzonage de l'agglomération pointoise (Monge et al., 1998).

3 Présentation des enregistrements

Depuis son extension en octobre 1998, le réseau a permis l'enregistrement de plus de 60 séismes. La plupart de ces séismes ne sont enregistrés que par les stations Kinematics et Titan Dat, qui sont les plus sensibles. Cependant, une quinzaine d'événements ont également pu être enregistrés par les stations SMACH situées sur des sites calmes et une dizaine ont été enregistrés par toutes les stations du réseau en fonctionnement au moment du séisme (plus de 15). Les tableaux suivants présentent les séismes enregistrés :

- Tableau 2 : séismes enregistrés entre 1994 et 1998, la distance entre le séisme et le réseau est indiquée par la troisième colonne (l, distance supérieure à 50 km environ, p, distance inférieure à 50 km environ).
- Tableau 3 : événements lointains (distance supérieure à 50 km environ) enregistrés entre octobre 1998, date de l'extension du réseau, et mars 2001.
- Tableau 4 : événements proches (distance inférieure à 50 km environ) enregistrés entre octobre 1998 et mars 2001.

Année	Date	Heure TU	loc	ad	A	bm	dr	ec	eu	G	gs	pa	sp	st	t2
1994	23.07	07h22	l		X	x									
	14.08	08h47	l		X	x									
1996	01.06	00h24	l		X	x									
	08.07	06h22	p		X	x									
	16.08	06h00	l		X	x									
	25.08	15h4	p		X	x									
	24.09	11h42	l		X	x									
1997	15.03	18h56	l		X	x	x	x			X	x	x	x	
	04.05	06h18	p	x	X		x								
1998	16.02	20h20	l	x					x			x			
	22.03	11h28	l	x					x			x	x		
	03.05	14h59	l	x	X	x			x		X	x	x		x
	22.08	06h45	p	x	X	x	x	x	x	x					
	13.09	19h00	l	x	X		x	x	x						
Total				6	12	10	4	3	5	1	2	4	3	1	1

Tableau 2 - Liste des événements enregistrés par au moins deux stations du réseau entre 1994 et septembre 1998. "l" signifie que le séisme est localisé à plus de 50 km environ du réseau, "p" signifie qu'il est localisé à moins de 50 km environ. En grisé sont indiquées les périodes de non installation des stations. La dernière ligne indique le nombre d'événements enregistrés par chaque station.

date	Heure	ad	an	C	cl	dd	dr	ec	E	fe	gd	gs	na	ne	Pr	ra	sf	sn	sr	t2	wt
07/10/1998	18:58												x		X						
19/10/1998	07:15	x	x		x		x		X	x			x		X	x	x	x	x	x	x
29/10/1998	16:58				x					x			x		X		x		x		
20/11/1998	01:14	x			x					x			x		X	x	x		x		
21/11/1998	23:19	x	x		x					x			x		X	x	x	x	x	x	x
26/11/1998	19:39				x					x			x		X	x	x		x		
24/01/1999	09:37	x		X	x					x			x	x	X	x	x	x		x	
25/01/1999	10:36	x		X	x		x		X	x			x		X	x	x	x	x	x	x
08/02/1999	07:43			X	x					x			x		X		x		x		
06/04/1999	21:04	x		X	x				X	x		x	x		X	x		x		x	x
18/05/1999	00:15	x		X	x				X	x			x	x	X	x			x	x	x
23/05/1999	08:11	x		X	x				X	x			x	x	X	x			x	x	x
23/05/1999	17:07			X	x					x			x	x	X						
24/05/1999	15:00			X						x			x	x	X						
30/05/1999	12:48			X									x	x	X						
00/68/1999	12:04	x	x	X	x		x	x	X	x	x	x	x		X	x		x	x	x	x
03/07/1999	09:07			X	x								x			x					
11/07/1999	11:51	x	x	X	x		x		X	x			x	x		x			x		x
24/08/1999	18:26												x	x			x				
28/08/1999	04:27		x	X	x		x	x	X	x	x	x	x	x	X		x	x	x	x	x
28/08/1999	12:38			X	x					x			x	x			x		x		
25/09/1999	00:24			X	x								x	x	X		x		x		
03/10/1999	21:36			X									x	x							
16/10/1999	10:31			X	x					x			x	x	X		x		x		
08/12/1999				X	x				X	x			x		X	x	x				
20/12/1999	10:43		x	X	x		x	x	X	x	x	x	x		X	x	x	x		x	x
28/12/1999	22:56			X	x					x			x		X						
31/12/1999	05:42		x	X	x			x	X	x			x	x	X	x	x	x		x	x
01/02/2000				X	x				X	x			x	x	X	x		x			x
12/02/2000					x								x		X						
16/02/2000	07:03			X	x				X	x			x		X	x					x
23/02/2000	19:20			X	x				X	x			x		X						x
27/02/2000	23:38				x					x			x		X						
12/04/2000	20:20				x					x			x	x	X	x					x
05/05/2000	04:43				x				X				x		X						
20/06/2000	22:57			X		x							x		X						
05/09/2000	19:36		x				x		X				x	x	X	x		x		x	x
08/09/2000													x		X						
10/10/2000	07:26			X		x							x	x	X						
27/10/2000	18:57			X		x							x	x	X	x					x
27/10/2000	19:03		x	X		x							x	x	X	x					x
27/10/2000	19:16			X		x							x	x	X	x					x
27/10/2000	19:33			X		x							x	x	X	x					x
30/10/2000	03:07			X		x							x	x	X	x			x		x
09/11/2000	03:31			X									x		X						
20/12/2000				X		x							x			x					
05/01/2001	08:06		x	X		x					x	x	x	x	X						x
06/01/2001	19:56			X		x							x	x	X						
Total lointains		11	10	35	30	10	7	4	16	27	4	10	48	22	42	25	16	11	16	12	22

Tableau 3 - Liste des séismes lointains enregistrés par au moins deux stations du réseau entre 1998 et 2001. En grisé sont indiquées les périodes de non installation des stations. Le temps est donné en heure TU. La dernière ligne indique le nombre d'événements enregistrés par chaque station.

date	Heure	ad	an	C	cl	dd	dr	E	F	fe	gd	gs	pa	pe	Pr	ra	sf	sp	sr	t2	wt
981026	09:45									x			x			x					
981107	05:20				x					x			x		X		x		x		
981127	17:58	x	x		x				X	x			x		X	x	x	x	x		
981208	02:21				x					x			x		X	x	x		x		
981216	11:57				x					x			x		X		x		x		
990107	10:16	x			x				X	x			x		X	x	x	x	x		
990108	01:14									x			x			x	x				
990111	04:37				x					x			x		X	x	x		x		
990112	23:52				x					x			x	x	X	x	x				
990125	18:16			X						x			x				x				
990131	04:10			X	x					x			x		X		x		x		
990510	21:53	x	x	X	x		x		X	x	x	x	x	x	X	x		x	x	x	x
990625	16:47			X	x					x			x								
990627	03:51	x		X	x								x			x		x	x		x
990629	06:34			X						x			x			x					
990629	07:45			X	x								x								
990705	07:06			X						x			x								
990807	18:16			X	x					x			x	x	X		x		x		
991018	09:23												x	x							
000319					x					x			x		X						
000530	23:38			X									x	x	X						
001202				X									x		X						
010109				X									x	x	X						
Total proches		4	3	12	13	0	1	0	3	17	1	1	23	6	14	9	12	4	10	1	2

Tableau 4 - Liste des séismes proches enregistrés par au moins deux stations du réseau entre 1998 et 2001. En grisé sont indiquées les périodes de non installation des stations. Le temps est donné en heure TU. La dernière ligne indique le nombre d'événements enregistrés par chaque station.

3.1 DESCRIPTION DES SEISMES.

La Figure 2 montre la répartition de la magnitude des séismes enregistrés, telle qu'elle est fournie par le réseau de l'IPGP. On voit bien sur l'augmentation du nombre de séismes et la diminution de la magnitude minimale enregistrée, consécutivement à l'installation de stations plus sensibles en septembre 1998. On voit cependant que très peu de séismes de magnitude supérieure à 5 se sont produits pendant la durée de l'expérience, la grande majorité des séismes ayant une magnitude comprise entre 2 et 4. Le réseau accélérométrique installé en milieu urbain ne permet pas d'enregistrer correctement des séismes de magnitude inférieure à 2.

L'ensemble des 85 séismes enregistrés par le réseau sont donnés Tableau 5. Parmi ces séismes, 58 sont des séismes lointains et 27 sont des séismes proches. La dernière colonne du tableau donne la localisation dans l'arc antillais et, quand elle a pu être déterminée, l'intensité ressentie en Martinique ou en Guadeloupe. Les événements sont cartographiés sur la Figure 3.

date	heure	Latitude Nord	longitude Ouest	Prof	Md	Localisation et/ou effets ressentis
23/07/1994	07:22	16.647	61.214	30.3	4.9	
14/08/1994	08:47	15.978	61.154	32.8	3.7	
01/06/1996	00:24	16.790	61.051	24	3.98	NE Guadeloupe.
08/07/1996	10:22	16.220	61.375	11	3.65	Ressenti III-IV Guadeloupe
16/08/1996	06:00	16.821	61.348	20.64	4.11	D II Nord Guadeloupe .
25/08/1996	15:44	16.314	61.403	7	3.16	Ressenti D°III local Guadeloupe
24/09/1996	11:42	15.239	61.173	138.91	5.1	D°III Martinique
15/03/1997	18:56	15.925	60.906	16.08	4.1	Ressenti Guadeloupe III Martinique
04/05/1997	06:18	16.203	61.447	15.56	2.72	Grande Terre.
16/02/1998	20:24	16.044	60.768	30	3.61	E. M. Galante.
22/03/1998	07:29	16.732	61.251	30	3.86	DII Guadeloupe.
03/05/1998	14:59	15.037	60.485	48.2	4.62	III à IV Martinique.
22/08/1998	06:40	16.271	61.164	21.37	3.57	D° II € III Guadeloupe
13/09/1998	19:00	17.148	61.183	30	4.63	Ressenti II-III Guadeloupe.
07/10/1998	18:58	16.599	61.930	15	3.06	N Guadeloupe.
19/10/1998	07:14	16.366	61.490	72.25	3.58	prof Guadeloupe.
26/10/1998	09:45	16.387	61.395	14	0	Grande Terre.
29/10/1998	16:58	16.500	60.887	27	3.44	NE Désirade.
07/11/1998	05:20	16.215	61.684	3	2.29	Basse Terre.
20/11/1998	01:14	15.363	61.088	99.35	3.88	SE Dominique.
21/11/1998	23:19	15.764	60.407	10.8	4.21	E Dominique.
26/11/1998	19:39	15.767	61.048	61.45	3.05	E Dominique.
08/12/1998	02:21	16.218	61.434	15	2.67	Ressenti Gosier
07/01/1999	10:16	16.201	61.423	3.68	3.13	Ressenti Gosier.
08/01/1999	01:14	16.194	61.427	3.03	2.48	Gosier.
11/01/1999	04:37	16.205	61.422	3	2.54	Gosier.
12/01/1999	23:52	16.505	61.500	4.55	2.88	Grande Terre.
24/01/1999	09:37	15.235	61.091	128.7	3.65	SE Dominique.
25/01/1999	18:16	16.177	61.425	17	2.34	Gosier ?
25/01/1999	10:36	16.849	62.056	135.17	3.95	NE Monserrat.
31/01/1999	04:09	16.183	61.434	16	2.52	Gosier
08/02/1999	07:42	15.417	60.963	84.23	3.4	E Dominique.
06/04/1999	21:03	15.161	60.419	31.68	4.17	D°III Martinique

Tableau 5 - Liste des séismes enregistrés par le réseau. La localisation provient des observatoires volcanologiques de l'Institut de Physique du Globe de Paris.

date	heure	latitude Nord	longitude Ouest	Prof	Md	Localisation et/ou effets ressentis
10/05/1999	21:53	16.082	61.241	21.05	3.25	N Marie-Galante.
18/05/1999	00:15	16.782	61.950	111.62	3.73	II à III Guadeloupe
23/05/1999	08:11	16.497	61.712	101.45	3.62	d II N Guadeloupe.
23/05/1999	17:07	16.013	60.789	34.76	3.58	d N. Marie Galante.
24/05/1999	15:00	16.005	60.848	28.2	3.02	E M. Marie-Galante.
30/05/1999	12:48	16.693	61.193	21.07	2.98	NE Guadeloupe.
08/06/1999	12:04	15.024	60.423	30.81	5.11	D°VI Trinité.
25/06/1999	16:47	16.394	61.494	15	2.5	Local Guadeloupe.
27/06/1999	03:51	16.421	61.308	15	2.63	NE Guadeloupe.
29/06/1999	07:45	16.841	61.679	30	2.9	S Antigua.
29/06/1999	06:34	16.221	61.432	16	2.48	Local Guadeloupe
03/07/1999	09:06	15.076	60.346	27	4.26	D°II Martinique.
05/07/1999	07:06	16.166	61.541	14.41	1.71	Guadeloupe.
11/07/1999	11:57	16.604	59.836	31	4.45	D II à III Guadeloupe.
28/08/1999	04:27	17.062	61.370	30	4.7	D IV-V Guadeloupe
28/08/1999	12:38	17.042	61.378	18	3.31	N Guadeloupe.
25/09/1999	00:24	16.944	61.768	63.11	3.43	Antigua.
03/10/1999	21:36	16.316	61.014	34.89	2.8	Désirade
16/10/1999	10:31	16.774	61.825	86.78	3.39	N Guadeloupe.
08/12/1999	01:58	17.022	61.310	13	3.32	SE Antigua.
20/12/1999	10:43	17.249	61.599	29	4.88	d°III-IV Guadeloupe II Martinique
28/12/1999	22:55	15.936	60.774	16.07	3.43	E Marie-Galante.
31/12/1999	05:42	16.976	61.273	22.96	4	d II Guadeloupe.
01/02/2000	14:13	16.882	62.085	1.42	3.43	NE Monserrat.
12/02/2000	23:22	15.789	61.594	11.17	1.64	N Dominique.
12/02/2000	06:33	16.664	61.317	31.26	2.69	NE Guadeloupe.
16/02/2000	07:03	17.056	60.859	0	4.17	NE Guadeloupe.
23/02/2000	19:20	17.383	60.760	34	4.09	E Barbuda.
27/02/2000	23:38	17.874	60.895	5	3.62	E Barbuda.
19/03/2000	12:58	16.068	61.521	17.75	2.14	Guadeloupe.
12/04/2000	20:20	15.591	60.416	30	3.81	E Dominique.
05/05/2000	04:43	15.383	61.181	123.41	3.41	P Dominique.
30/05/2000	23:38	16.476	60.954	36.07	2.96	NE Désirade.
20/06/2000	22:57	16.356	61.486	58.43	2.99	Guadeloupe.

Tableau 5 (Suite)

date	heure	latitude Nord	longitude Ouest	Prof	Md	Localisation et/ou effets ressentis
05/09/2000	19:36	16.902	61.029	25.68	4.34	d°IV NE Guadeloupe
08/09/2000	01:04	16.639	61.320	49.78	3.3	NE Guadeloupe.
27/10/2000	19:31	17.327	61.190	0.16	4.06	Réplique
27/10/2000	19:15	17.873	61.025	30	4.64	D Réplique.
27/10/2000	19:02	17.549	61.137	30	4.86	NE Antigua. dIV Guadeloupe
27/10/2000	18:57	17.644	61.070	30	4.39	NE Antigua d III Guadeloupe
30/10/2000	03:07	17.388	61.117	33	4.49	Réplique d III Guadeloupe
09/11/2000	03:31	15.991	60.658	19.67	3.37	E Marie-Galante.
02/12/2000	14:29	16.423	61.551	9.85	2.85	Grande Terre.
20/12/2000	03:55	14.431	60.315	30.27	3.85	d°II SE Martinique.
20/12/2000	00:27	14.229	60.491	55.23	3.31	SE Martinique.
05/01/2001	08:06	16.1	61.05	34	5.5	
06/01/2001	19:56	17,61	-61,95	48	4,7	

Tableau 5 (fin)

3.1.1 Localisation des séismes lointains

Comme le montre le tableau 3, 58 séismes sont des séismes qui se sont produits à plus de 50 km du réseau. Celui-ci étant très resserré sur l'agglomération pointoise, avec une extension maximale de 23 km, les localisations de ces séismes lointains par le réseau ne sont pas précises. Nous avons donc préféré adopter la localisation fournie par les organismes internationaux pour les localiser. Nous avons finalement retenu le catalogue des Observatoires Volcanologiques de la Soufrière et de la Montagne Pelée, qui est le plus approprié pour la zone d'étude (Tableau 5).

3.1.2 Localisation des séismes proches

Quand cela était possible, c'est à dire quand le séisme était proche du réseau et que suffisamment de stations l'avaient enregistré, nous avons calculé la localisation de l'épicentre. Pour cela, nous avons utilisé le logiciel *hypoellipse*. Dans un premier temps, les heures d'arrivée des ondes P et S sont pointées précisément sur les différents accélérogrammes, puis le logiciel *hypoellipse* calcule la localisation des séismes par inversion des temps d'arrivée des ondes, en utilisant :

- un modèle de vitesse régional. Nous avons utilisé le modèle de vitesse donné par l'Observatoire de la Soufrière, rappelé dans le Tableau 6 ;
- la localisation des stations, donnée dans le tableau 1.

Nous avons ainsi pu localiser 13 séismes qui sont reportés sur la carte de la Figure 4, avec également les ellipses d'erreur de localisation, correspondant à un intervalle de confiance de 68%. Certaines de ces ellipses sont très étendues, car peu de stations ont enregistré ces séismes, la localisation n'est donc pas très précise.

Profondeur du toit de la couche (km)	0	1	3	5
vitesse des ondes P dans la couche (km/s)	2.0	3.5	4.0	6.0

Tableau 6 - Modèle de vitesse utilisé pour les localisations des séismes.

Le Tableau 7 donne la liste des séismes localisés par notre réseau, entre le 1^{er} septembre 1998 et le 30 novembre 1999. La Figure 3 montre la localisation de tous ces séismes. On peut voir sur le Tableau 7 que la différence entre les localisations que nous avons effectuées et celles de l'OVS est relativement importante (de l'ordre de un dixième de degrés, ce qui correspond à plus de 10 km). Même si les localisations de l'OVS sont provisoires d'après leurs auteurs, il est probable que les localisations que nous avons effectuées soient moins précises. Deux explications peuvent être avancées :

- la répartition géographique de notre réseau n'est pas optimale pour effectuer la localisation de séismes. En effet, pour obtenir une localisation précise, il faut que les séismes soient entourés par les stations d'enregistrement. Dans notre cas, le réseau est trop resserré pour offrir cette configuration ;
- le bruit de fond sismique en milieu urbain est important et perturbe le pointé précis de l'arrivée des ondes sismiques. La localisation qui en découle est donc peu précise.

Ces différences de localisation montrent l'intérêt d'introduire les temps d'arrivée des stations accélérométriques pour les localisations des séismes. Ceci permettrait particulièrement d'augmenter la précision de localisation des séismes proches de Pointe-à-Pitre (tels ceux se produisant le long de la faille du Gosier).

date	heure (TU)	n°	Long. Réseau	lat. réseau	long. IPGP	lat IPGP
26/10/1998	9h45	1	-61,34	16,34	-61.395	16.387
07/11/1998	5h20	2	-61,67	16,20	-61.684	16.215
27/11/1998	17h58	3	-61,36	15,97		
08/12/1998	2h21	4	-61,47	16,17	-61.434	16.218
16/12/1998	11h57	5	-61,27	15,75		
07/01/1999	10h16	6	-61,47	16,17	-61.423	16.201
08/01/1999	1h14	7	-61,44	16,26	-61.427	16.194
11/01/1999	4h37	8	-61,47	16,17	-61.422	16.205
12/01/1999	23h52	9	-61,48	16,52	-61.500	16.505
31/01/1999	4h09	10	-61,51	16,16	-61.434	16.183
10/05/1999	21h53	11	-61,45	16,14	-61.241	16.082
27/06/1999	3h51	12	-61,38	16,23	-61.308	16.421
29/06/1999	6h34	13	-61,47	16,31	-61.432	16.221

Tableau 7 - Séismes enregistrés dont la localisation a pu être déterminée par le réseau BRGM de Pointe-à-Pitre. Les deux dernières colonnes correspondent à la localisation donnée par l'OVS.

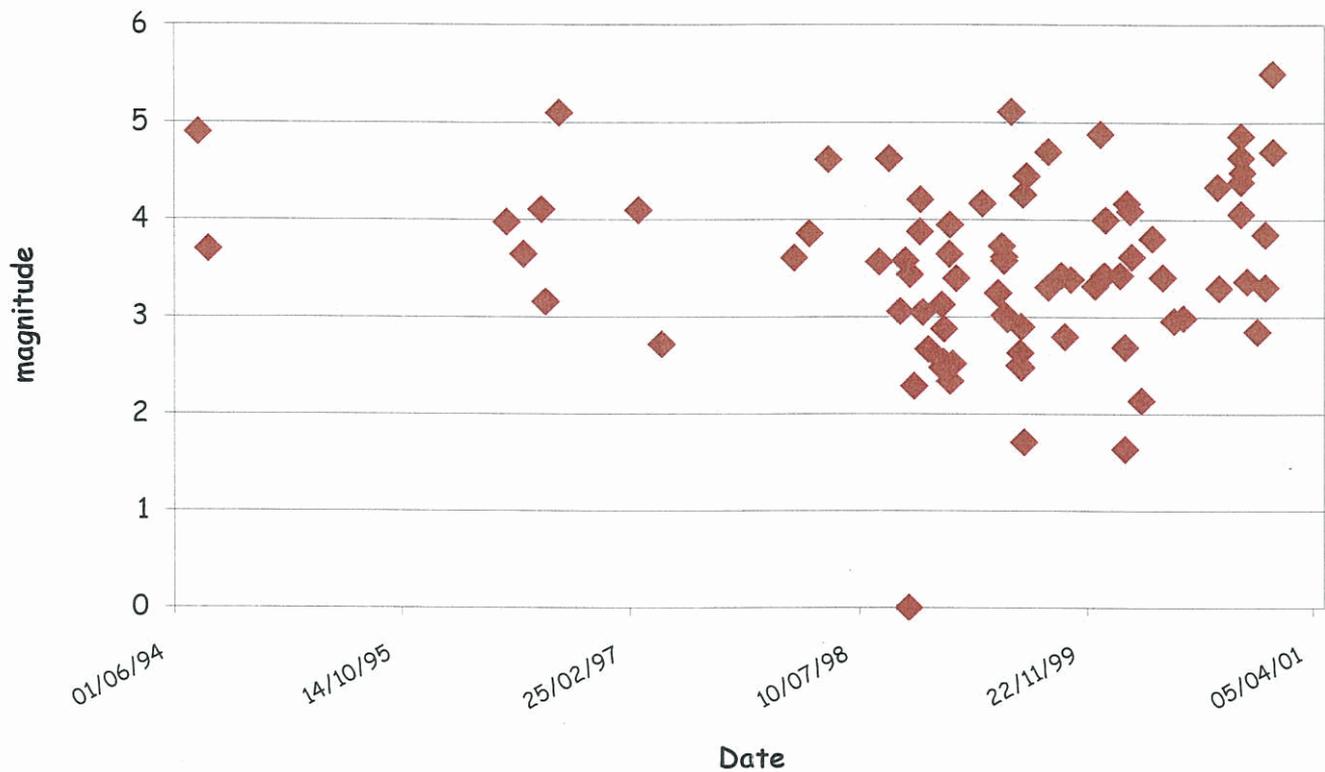


Figure 2 - Répartition temporelle des magnitudes locales (fichier IPGP) pendant la durée de l'expérience. Le schéma est biaisé par l'extension du réseau en septembre 1998.

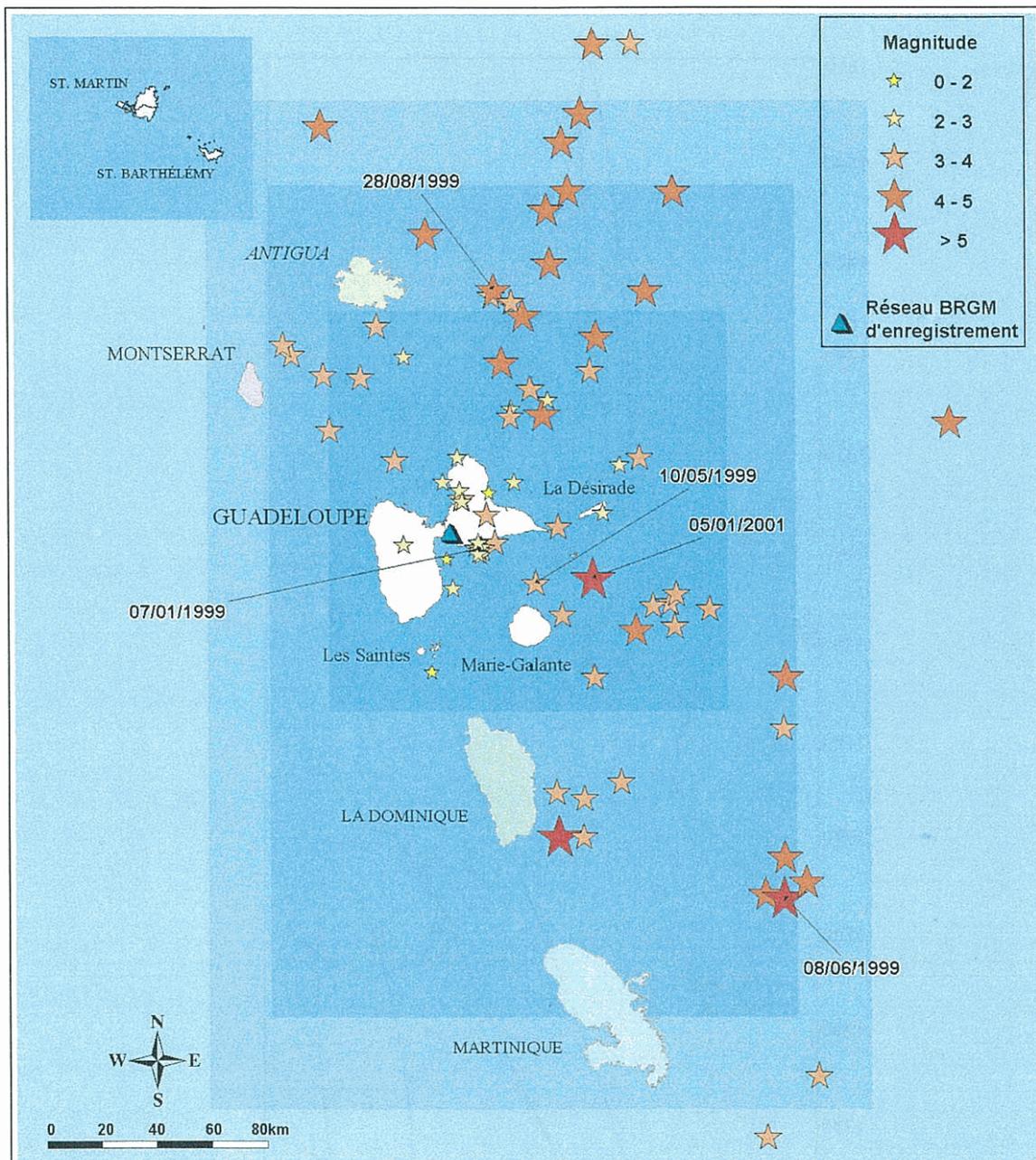


Figure 3 - Carte des événements enregistrés par le réseau de Pointe-à-Pitre. La localisation est celle fournie par les Observatoires Volcanologiques de l'Institut de Physique du Globe de Paris. Les séismes dont la date est indiquée sont ceux décrits dans la suite.

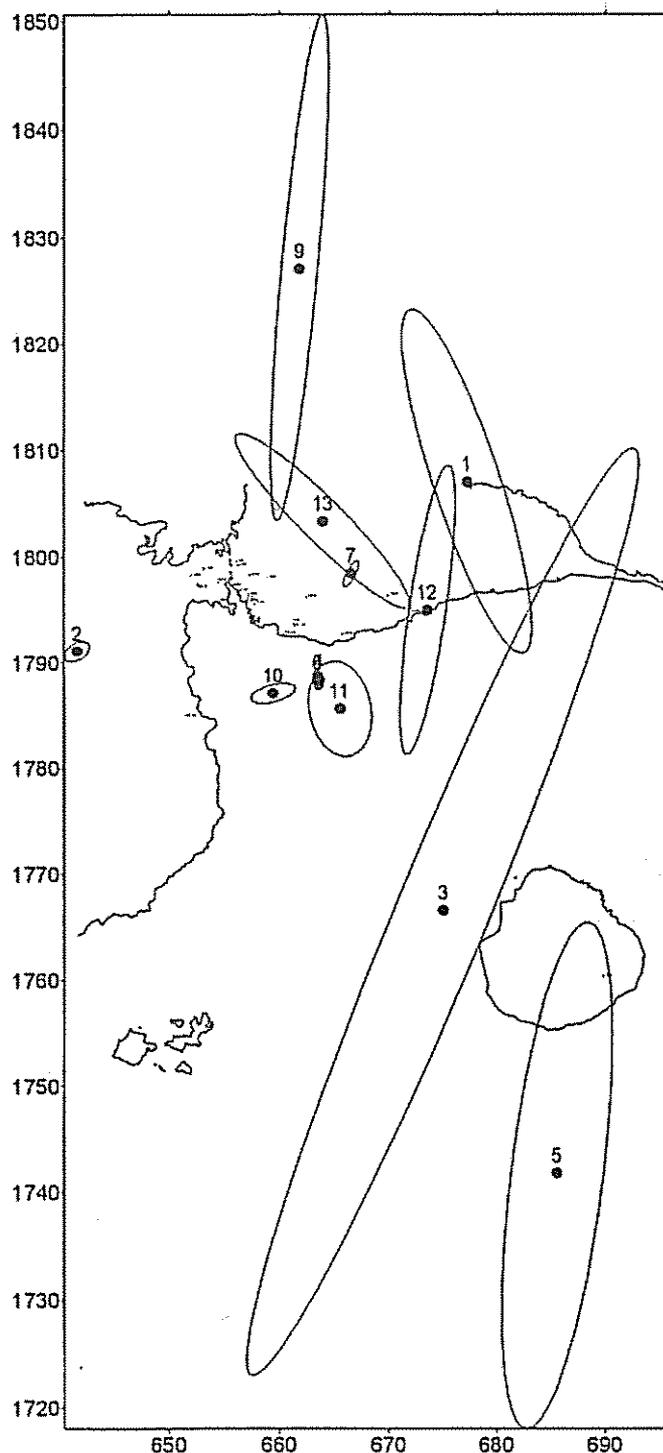


Figure 4 – Carte des évènements localisés par le réseau BRGM de Pointe-à-Pitre. Les ellipses d'erreur pour chaque séisme sont indiqués. Les numéros font référence au Tableau 7.

3.2 DESCRIPTION DES ENREGISTREMENTS TEMPORELS

Dans cette partie, nous allons décrire, à partir des traces temporelles, les enregistrements de 5 séismes les plus représentatifs parmi ceux enregistrés par le réseau depuis octobre 1998. Leur localisation est indiquée sur la carte de la figure 3 :

- deux séismes proches qui se sont produits tous les deux entre Pointe-à-Pitre et l'île de Marie Galante (séismes du 7 janvier 1999, Md = 3,1 et du 10 mai 1999, Md=3,25) ;
- deux séismes lointains, qui se sont produits respectivement au sud (séisme du 8 juin 1999 au large de la Martinique, Md 5,1) et au Nord de l'île (séisme du 28 août 1999 au large d'Antigua, Md 4,7). ;
- le séisme qui s'est produit le 5 janvier 2001 (Md = 5,5). Ce séisme a généré, à notre connaissance, les accélérations les plus fortes enregistrées en Guadeloupe par un réseau accélérométrique depuis le séisme de Monserrat en 1985. Il a été enregistré par 9 stations sur 12 installées à cette date.

Les deux stations du Glide, une en fond de puits et une en surface, feront l'objet d'un chapitre à part, nous en montrons cependant les accélérogrammes pour pouvoir les comparer aux autres stations.

Il faut noter que toutes les stations n'étant pas synchronisées en temps, les temps d'arrivée indiqués sur les figures sont donc indicatifs.

3.2.1 Les séismes proches

Les deux séismes proches qui ont été le mieux enregistrés par le réseau, c'est à dire par le maximum de stations et avec un bon rapport signal sur bruit, sont ceux du 7 janvier 1999 et du 10 mai 1999.

3.2.1.1 Séisme du 7 janvier 1999

La Figure 5 montre les composantes EO des accélérogrammes de ce séisme aux 9 stations du réseau qui l'ont enregistré. Toutes les traces sont à la même échelle verticale pour aider à la comparaison, sauf la station Saint Félix pour laquelle l'échelle est dix fois plus grande pour permettre la visualisation correcte de tous les signaux. Le séisme s'étant produit à quelques kilomètres de cette station, qui est elle-même excentrée par rapport au réseau, le mouvement du sol enregistré est donc beaucoup plus important qu'aux autres stations. Le Tableau 8 donne les distances épicentrales entre le séisme et les stations du réseau, ainsi que l'accélération maximale sur la composante EO.

Voici les constats qu'il est possible de tirer de la Figure 5 :

- les stations Closset (Z2), Prison (Z2/Z3) et Equestre (Z2/Z3) ont des signaux d'amplitude et de durée comparable (sauf un seul pic d'amplitude plus importante à

la station Equestre). Ces 3 stations sont proches les unes des autres, situées sur des sols de catégorie Z2 mais à l'interface avec des sols de catégorie différente ;

- la station du Raizet (Z3) à une amplitude importante, alors qu'elle est située plus loin du séisme que la station de la Sous Préfecture par exemple. Cette amplification peut être attribuée à un effet de site. Il en est de même de la station Fengarol (Z3).
- l'amplitude importante de la station Rollon est due à la faible distance entre la station et le séisme.
- la durée et l'amplitude importante de l'enregistrement à la station ADUAG, installée au 14^e étage d'une tour, sont dues au mouvement de la structure soumise à ce séisme.

station	sf	sr	pa	Ad	sp	fe	ra	cl	eq	pr
distance	3	8	11	12	12	13	13	17	17	17
pga (mg)	15	1,3	0,7	0,9	0,8	1,2	1,7	0,4	0,7	0,5

Tableau 8 - Distances épacentrales (km) et accélération maximale (mg) des composantes EO pour le séisme du 7 janvier 1999.

3.2.1.2 Séisme du 10 mai 1999.

Ce séisme a été enregistré par 17 des 21 stations du réseau. Il s'est produit à une plus grande distance de l'agglomération que le précédent. L'accélération maximale enregistrée supérieure à 5 mg aux stations ADUAG, S. Rollon et C. Raizet. Les distances épacentrales sont reportées dans le Tableau 9 :

stat	sr	pa	ad	sp	An	wt	Cc	ra	dr	gs/ gd	t2	pe	eq	cl	pr	fc
dist	32	34	35	35	35	36	36	36	37	38	38	38	40	40	40	40
pga (mg)	3,8	4,1	5,1	3,6	3,6	0,5	1,9	6,5	2,6	1,6 0,8	0,9	3,2	2,1	0,9	0,8	4,1

Tableau 9 - Distances épacentrales (km) et accélération maximale (mg) des composantes EO pour le séisme du 10 mai 1999.

La Figure 6 et la Figure 7 montrent les accélérogrammes enregistrés aux 17 stations. Nous y observons les caractéristiques suivantes:

- les accélérogrammes aux stations Closset et Prison sont très ressemblants.
- l'accélération importante à la station S. Rollon peut une nouvelle fois être attribuée à une distance épacentrale plus faible.
- l'accélération à la station Perrin atteint 3 mg, et ce malgré une distance épacentrale plus importante que les autres stations. Cette amplification peut être due à un effet de site. Il en est de même pour les stations Fengarol, Raizet et, dans une moindre mesure, DRIRE, Sous Préfecture et CCI.

Les stations T2, WTC et GlideS, bien que situées sur des sols de caractéristiques médiocres (Z3) ne montrent pas d'amplification particulière, contrairement à la station ANTEA, située sur du rocher.

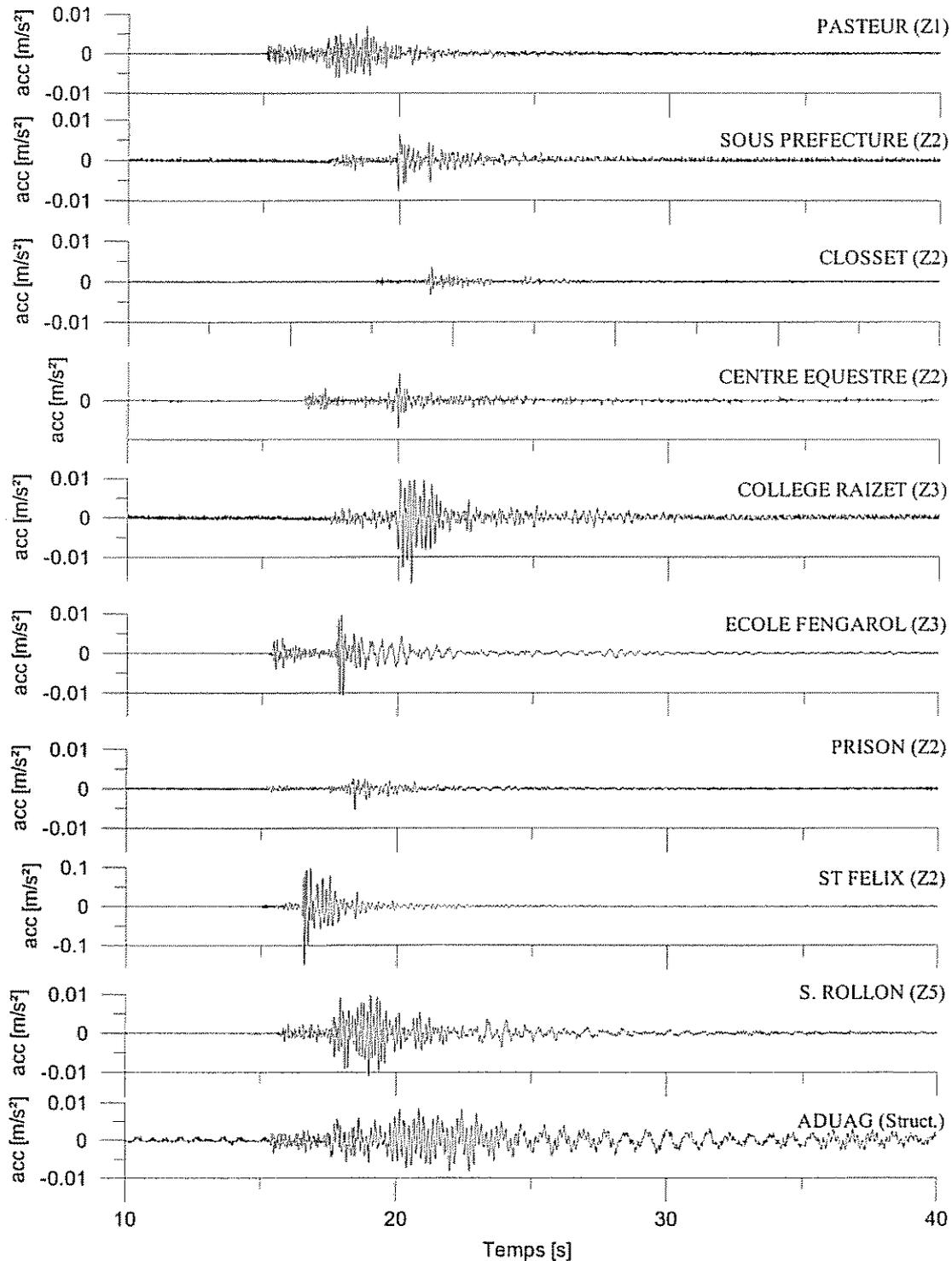


Figure 5 - Accélérogrammes du séisme du 7 janvier 1999, composantes EW. Les traces sont à la même échelle verticale ($\pm 0,01 \text{ m/s}^2$) sauf Saint-Felix ($\pm 0,1 \text{ m/s}^2$)

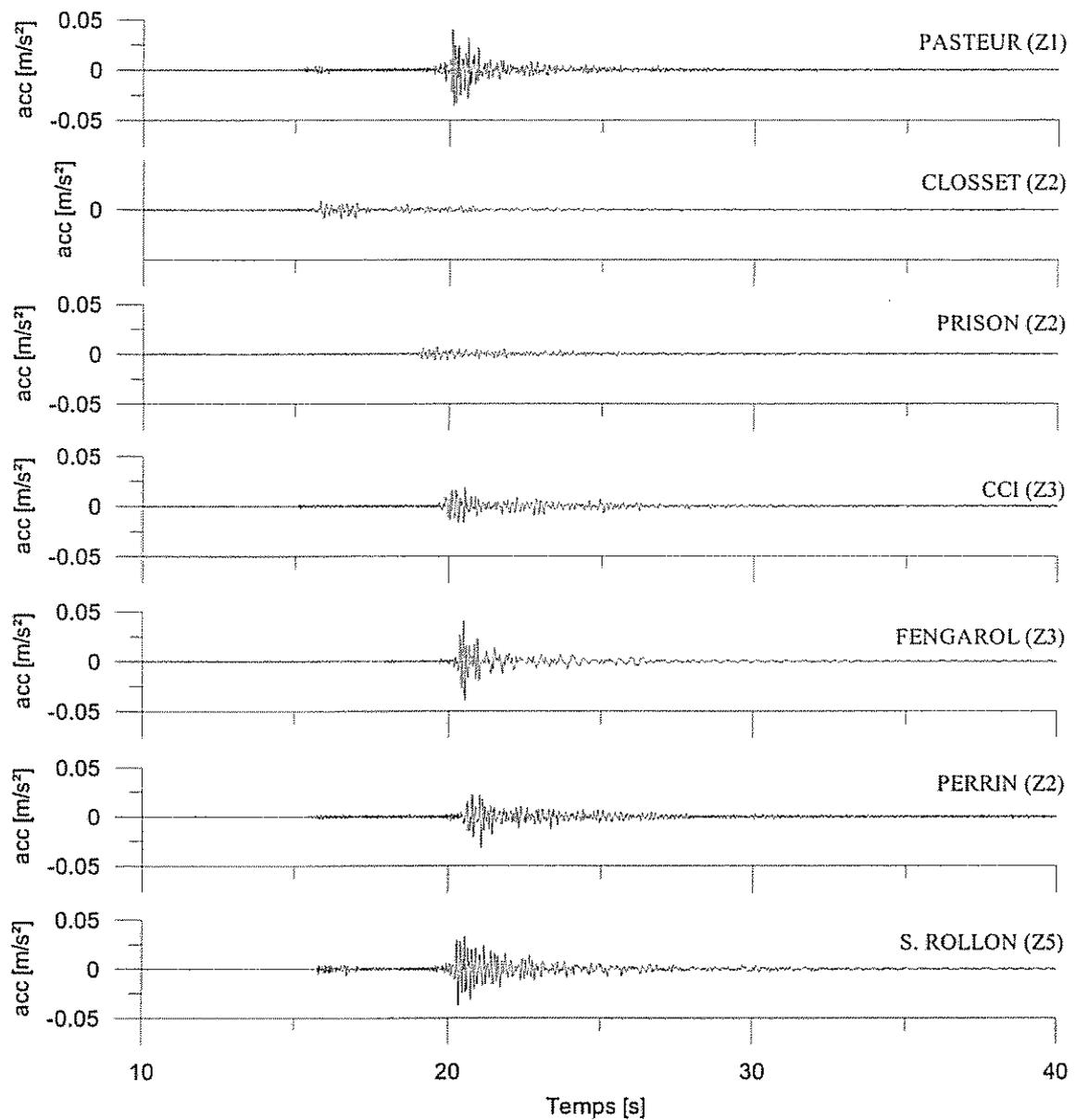


Figure 6 - Accélérogrammes du séisme du 10 mai 1999, composantes EW, stations K2. Les traces sont à la même échelle verticale ($\pm 0.05 \text{ m/s}^2$)

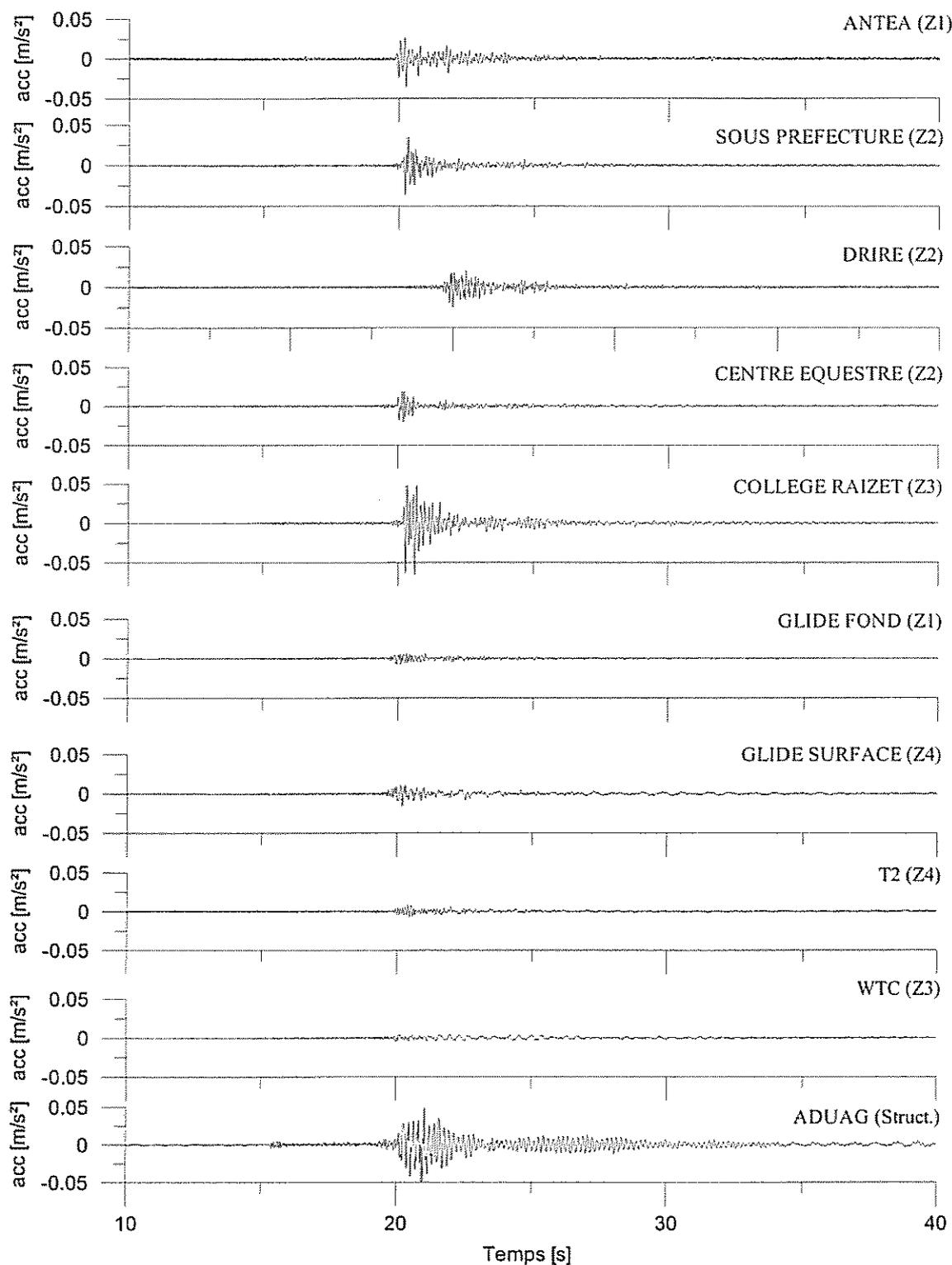


Figure 7 - Accélérogrammes du séisme du 10 mai 1999, composantes EW, stations SMACH. Les traces sont à la même échelle verticale ($\pm 0.05 \text{ m/s}^2$)

3.2.2 Les séismes lointains

Pour ces séismes localisés à plus de 100 km du réseau, les distances épacentrales sont équivalentes pour toutes les stations. Il sera donc plus facile d'interpréter les différences de mouvement sismique en terme d'effets de site, les fonctions sources et de trajet pouvant être considérées comme identiques.

3.2.2.1 Séisme du 8 juin 1999 au large de la Martinique

Ce séisme, d'une magnitude 5,8 s'est produit à 8h du matin (heure locale) à moins de 70 kilomètres de la côte Est de la Martinique. Il a créé des dégâts mineurs à plusieurs bâtiments administratifs de la Martinique (collèges, mairies, bâtiments collectifs), et surtout une panique importante parmi la population. Son intensité en Martinique est évaluée à VI-VII (MSK). L'accélération enregistrée la plus forte s'est produite dans la commune de Sainte Marie, où la station installée au collège, sur un sol de caractéristiques géotechniques médiocres, a enregistré une accélération proche de 0,1g. A Fort-de-France, l'accélération maximale enregistrée au rocher a été de 0,05 g.

En Guadeloupe, ce séisme a été également ressenti, bien que plus faiblement. Sur certains sites, des personnes ont cru que le séisme était très proche de la Guadeloupe. L'accélération maximale enregistrée est de 0,016 g à la station ADUAG, la plus forte enregistrée au sol est de 0,008 g à l'aéroport.

Le séisme a été enregistré par 17 stations du réseau. Le Tableau 10 donne les distances épacentrales entre les stations et le séisme, ainsi que les accélérations maximales enregistrées sur les composantes horizontales.

st	ad	An	cc	cl	Dr	ec	Eq	fe	gs/ gd	pa	pr	ra	sp	sr	t2	wt
dist (km)	178	178	179	183	179	180	182	179	181	177	183	180	178	174	181	178
pga (mg)	15,8	3,0	3,3	3,7	5,9	1,1	4,2	6,4	8,1 1,9	2,0	3,5	7,2	3,3	3,7	6,3	4,9

Tableau 10 - Distances épacentrales (km) et accélération maximale (mg) des composantes EO pour le séisme du 8 juin 1999.

La Figure 8 et la Figure 9 présentent les accélérogrammes enregistrés par le réseau de Pointe-à-Pitre. Nous observons que :

- les enregistrements aux stations Pasteur, Sous-Préfecture et Antéa sont équivalents en amplitude et en durée ;
- la station Fengarol montre une accélération importante, avec une durée d'amplification du mouvement équivalente aux autres stations.
- sur les autres stations, le signal est amplifié d'un facteur 2 par rapport aux stations au rocher. On remarque des différences de contenu fréquentiel entre stations : certains des signaux étant assez haute fréquence (DRIRE, Raizet, CCI), d'autres plus basse fréquence (Rollon, Fengarol, T2, WTC, Glide Surface) ;

- la station ADUAG montre une amplification importante pendant près de 50s, traduisant une résonance de l'immeuble. Ceci était déjà visible sur les enregistrements des séismes proches mais avec une durée beaucoup moins longue
- la station Lauricisque montre une amplification très faible par rapport à ce qu'on pouvait attendre pour un site en zone Z4.

3.2.2.2 Séisme du 28 août 1999 au large d'Antigua.

Ce séisme, d'une magnitude estimée à 5,2 s'est produit au large de l'île d'Antigua, au Nord-Est de la Guadeloupe. Il a donc la particularité, par rapport à la majorité des séismes enregistrés, d'être localisé au Nord du réseau. L'intensité estimée par l'Observatoire de la Soufrière (IPGP) est de II (échelle MSK) en Guadeloupe. Le séisme a été enregistré par 17 stations du réseau. Le tableau 8 donne les distances épacentrales, ainsi que les accélérations maximales enregistrées sur les composantes horizontales.

St	an	Cc	cl	dr	ec	eq	fe	gd/g s	pa	pe	pr	sf	sp	sr	t2	wt
dist (km)	97	98	98	100	96	98	99	96	99	91	97	101	99	100	96	100
pga (mg)	4.4	5.3	8.9	7.6	4.2	9.8	5.7	1.9 10.7	5.0	7.8	9.7	9.7	3.1	7.1	6.3	5.7

Tableau 11 - Distances épacentrales (km) et accélération maximale (mg), des composantes EO pour le séisme du 28 août 1999.

La Figure 10 et la Figure 11 montrent les accélérogrammes enregistrés à ces stations. Nous observons que les caractéristiques des enregistrements entre les différentes stations sont les mêmes que pour le séisme précédent, mis à part la station Fengarol qui amplifie beaucoup moins, par rapport à la station Pasteur.

3.2.3 Le Séisme du 5 janvier 2001.

Ce séisme, de magnitude estimée à 5,5, s'est produit au large de l'île de Marie-Galante, vers la zone de subduction. Il a généré les accélérations les plus fortes enregistrées en Guadeloupe depuis le séisme de Montserrat en 1985. Le réseau était en restructuration à cette époque et seules 12 stations étaient installées dont 9 en état de fonctionner.

On retrouve sur la Figure 12 les mêmes caractéristiques des enregistrements que pour les autres séismes, à savoir une amplification plus faible sur les 3 stations installées au rocher (Pasteur, Antéa et Glide fond de puits), une amplification très forte à l'aéroport et au WTC de Jarry.

St	an	cc	Dd	gs/g d	pa	pe	pr	wt
dist (km)	54	55	60	57	54	55	60	56
pga (mg)	20	25	34	45 16	14	18	22	24

Tableau 12 - Distances épacentrales (km) et accélération maximale (mg) des composantes EO pour le séisme du 5 janvier 2001.

3.2.4 Comparaison entre les séismes proches et les séismes lointains

En comparant les signaux d'un même séisme enregistrés par des stations différentes, nous observons que des différences importantes existent. Elles peuvent être liées soit à la différence de distance épacentrale dans le cas des séismes proches, soit à la réponse des sols. Par ailleurs, le signal peut être amplifié à certaines stations, par rapport à la station de référence, dans le cas d'un séisme lointain mais pas dans le cas d'un séisme proche (T2, WTC, DRIRE, équestre, dans une moindre mesure, Fengarol). Ceci peut avoir deux causes :

- le contenu fréquentiel des séismes proches et lointains, lié au mécanisme à la source et à la magnitude, peut être très différent, ce qui influence la réponse des sols ;
- la différence de distance épacentrale joue également un rôle important. Dans le cas des séismes proches, les distances épacentrales peuvent varier d'un rapport 2 entre deux stations, alors que pour les séismes lointains, la différence atteint au maximum 10%.

Cette différence de réponse des sols entre les séismes proches et les séismes lointains sera étudiée plus en détail dans le chapitre suivant lors de l'application de la méthode des rapports spectraux.

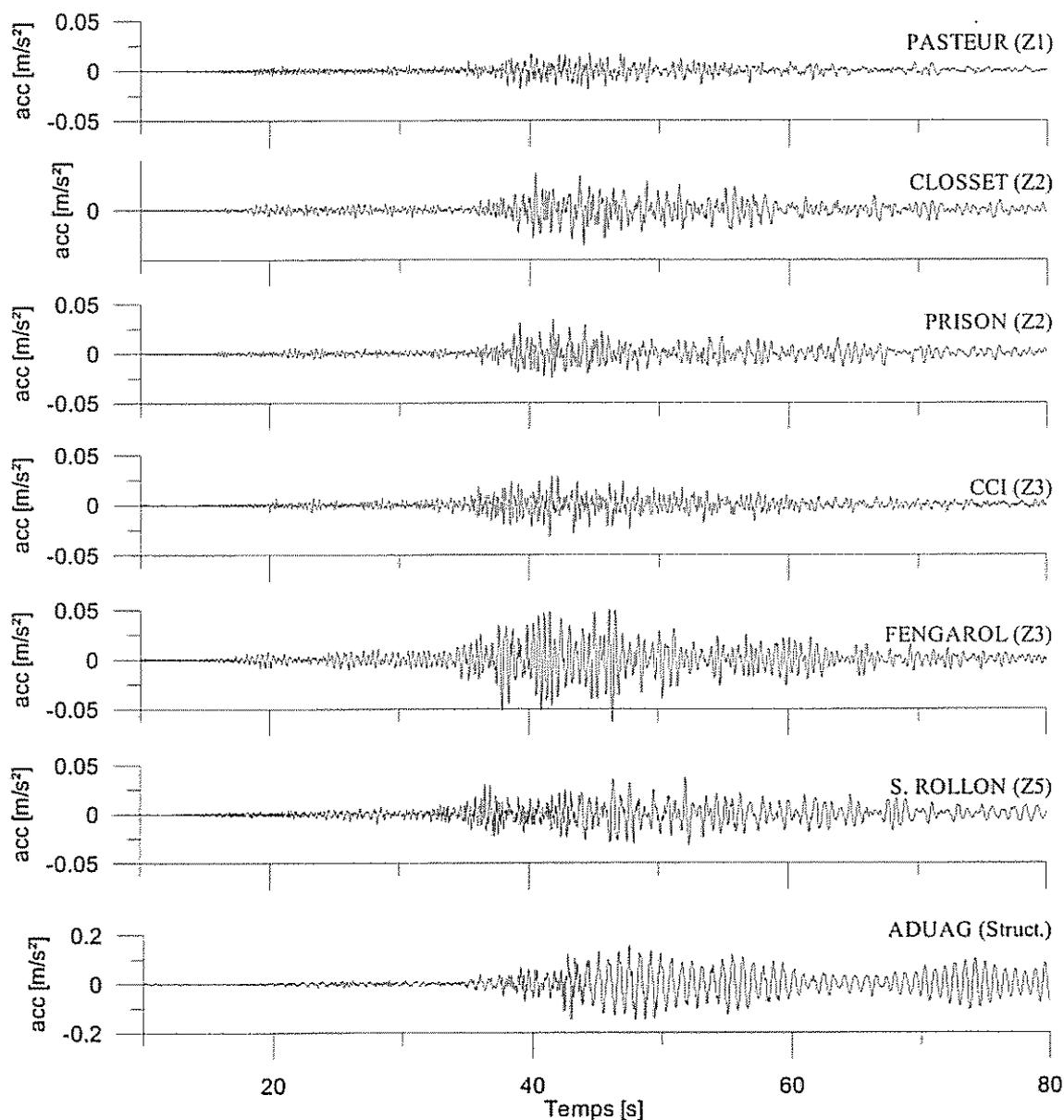


Figure 8 - Accélérogrammes du séisme du 8 juin 1999, composantes EW, stations K2. Les traces sont à la même échelle verticale ($\pm 0.05 \text{ m/s}^2$) sauf la station ADUAG

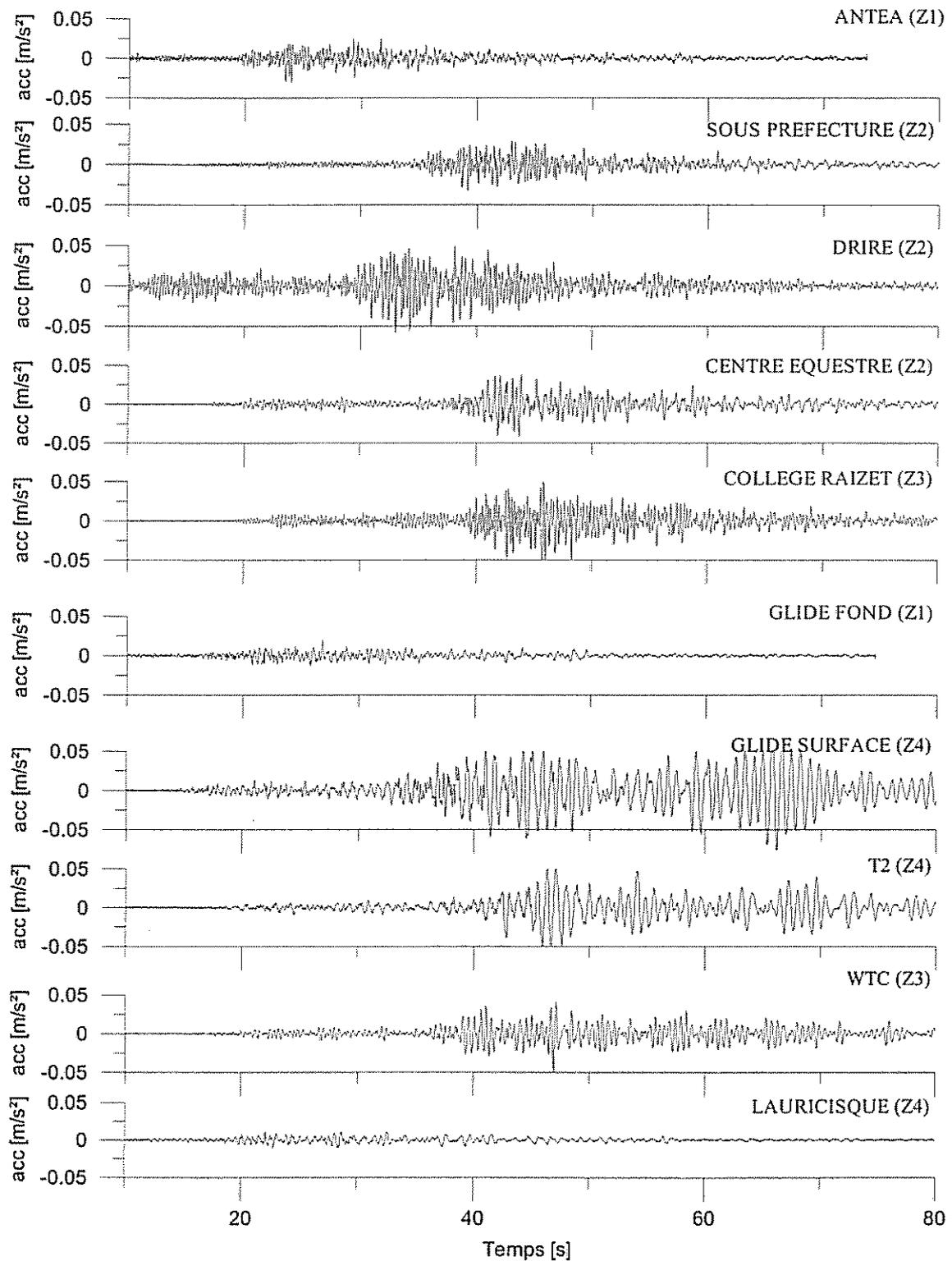


Figure 9 - Accélérogrammes du séisme du 8 juin 1999, composantes EW, stations SMACH. Les traces sont à la même échelle verticale ($\pm 0.05 \text{ m/s}^2$)

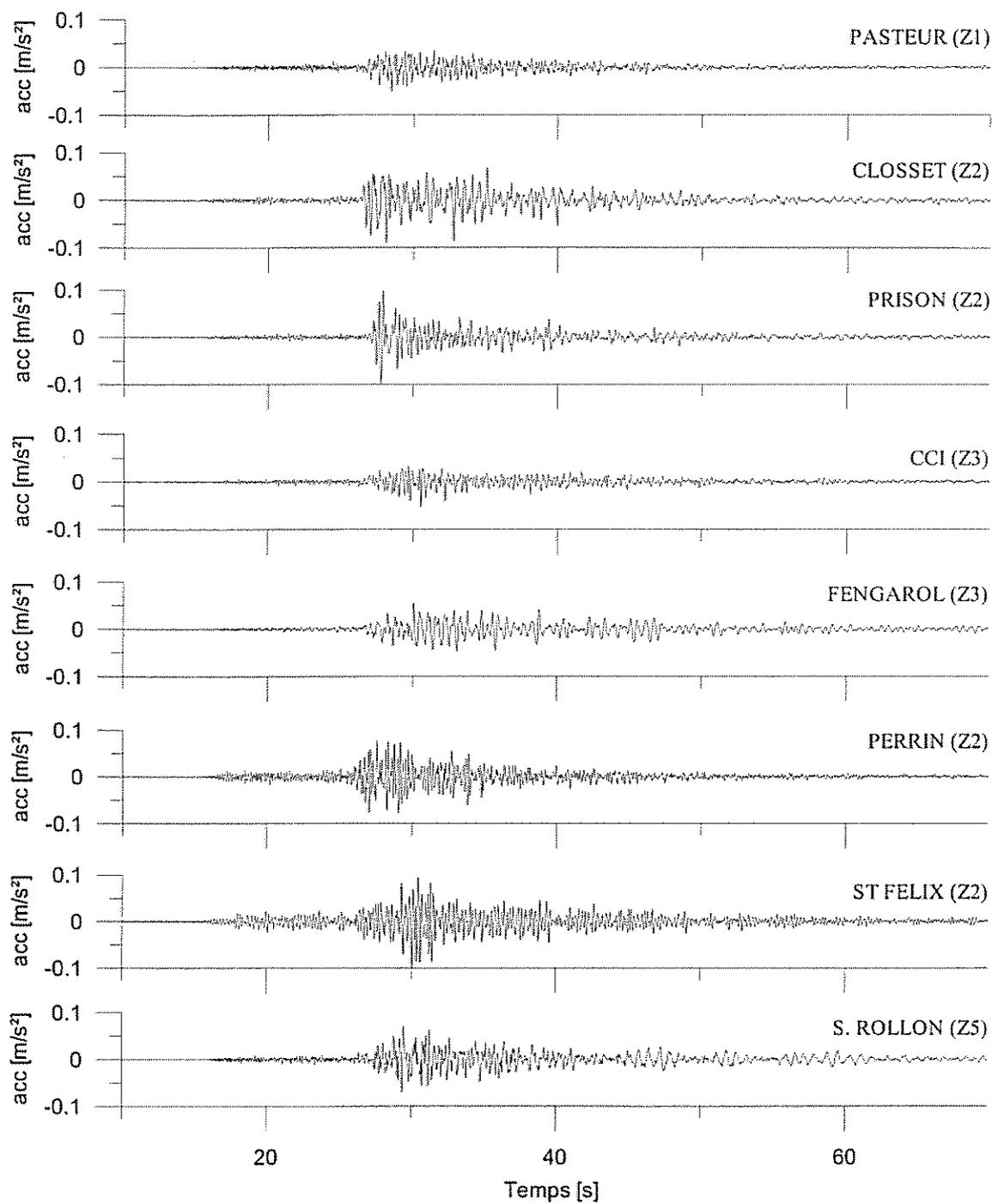


Figure 10 - Accélérogrammes du séisme du 28 août 1999, composantes EW, stations K2. Les traces sont à la même échelle verticale ($\pm 0.07 \text{ m/s}^2$)

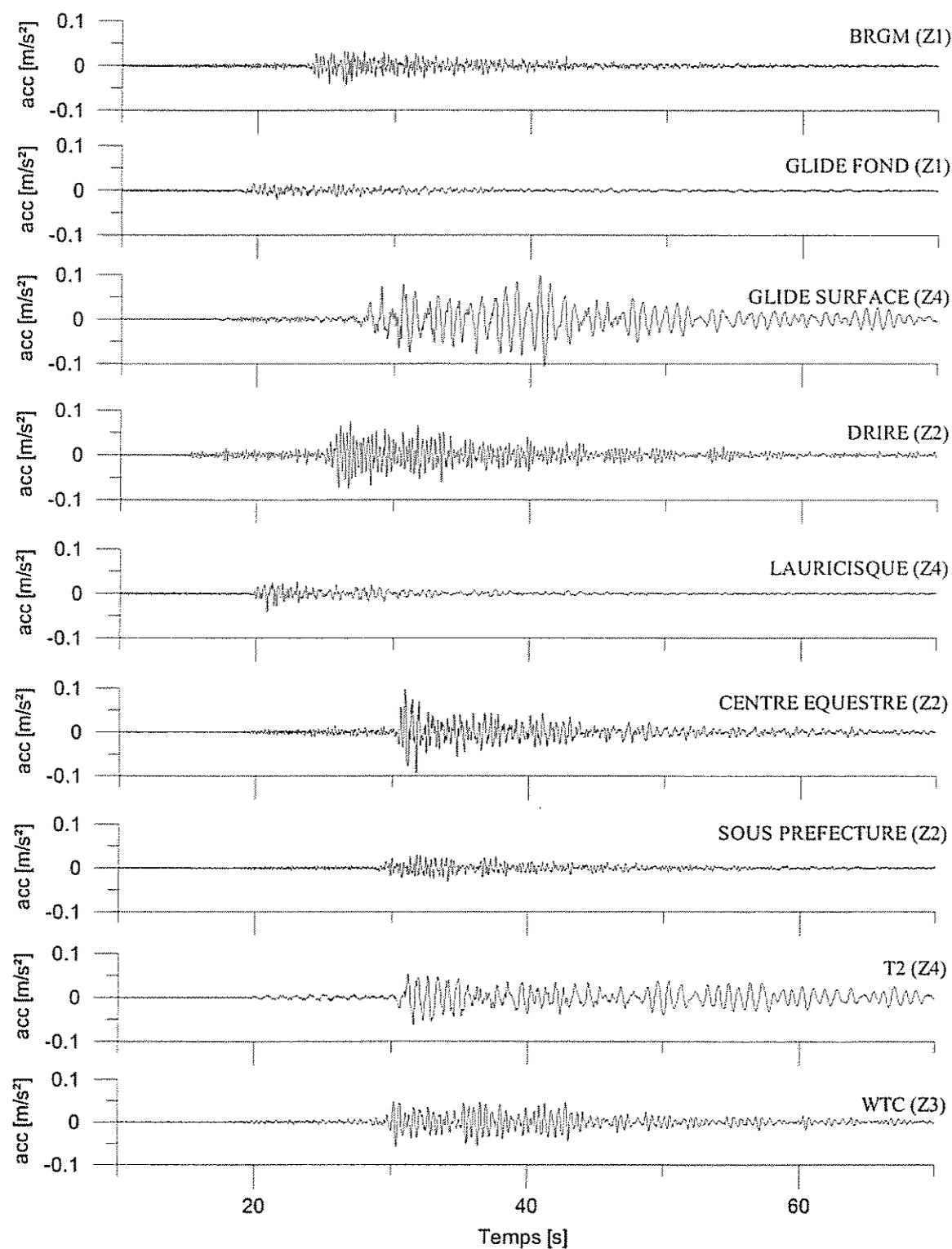


Figure 11 - Accélérogrammes du séisme du 28 août 1999, composantes EW, stations SMACH. Les traces sont à la même échelle verticale ($\pm 0.1 \text{ m/s}^2$)

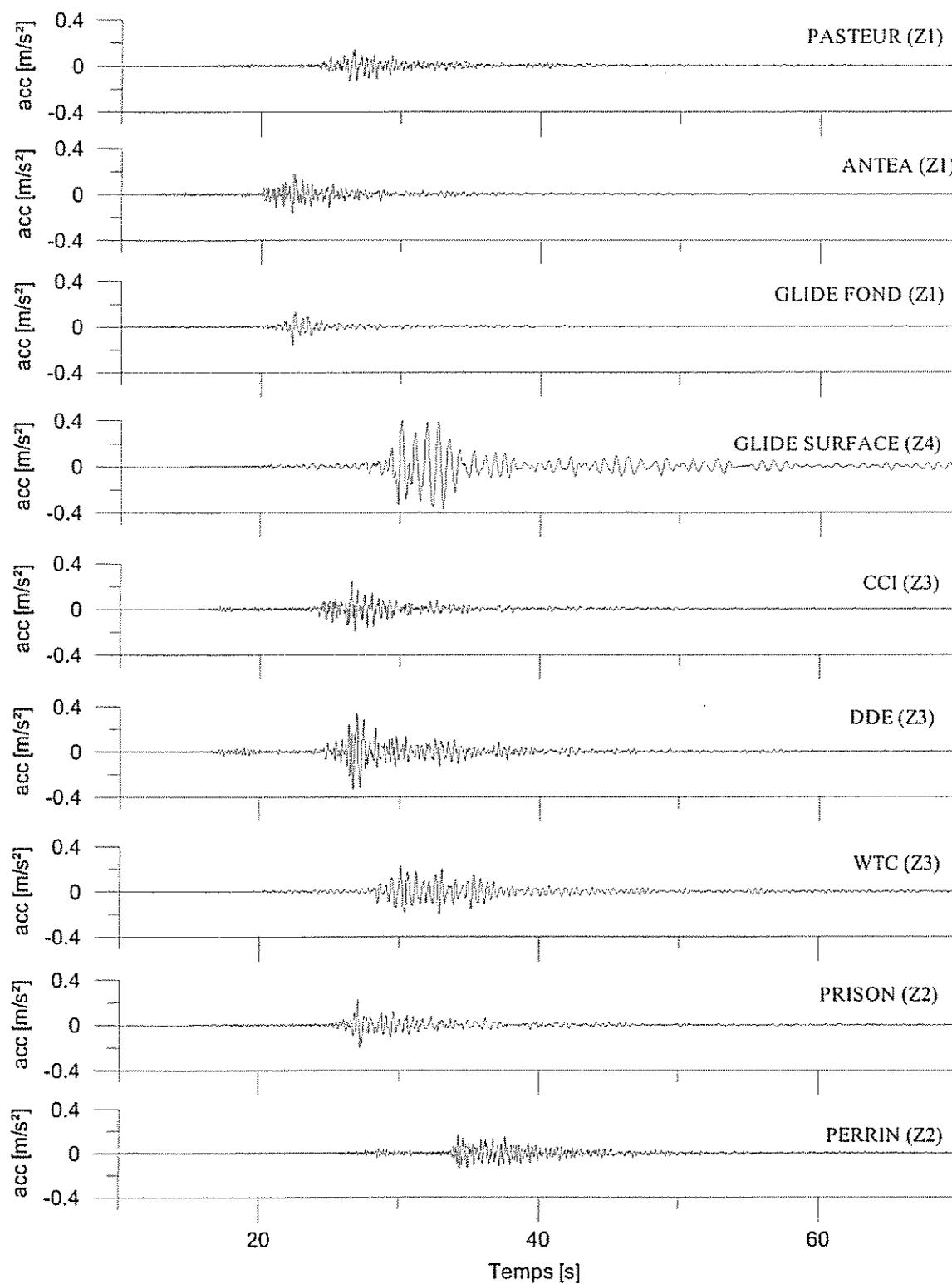


Figure 12 - Accélérogrammes du séisme du 5 janvier 2001. Toutes les traces sont à la même échelle verticale ($\pm 0,4 \text{ m/s}^2$)

3.3 ANALYSE DE L'ATTENUATION DU MOUVEMENT SISMIQUE

3.3.1 Objectifs

L'atténuation des ondes sismiques avec la distance est un paramètre fondamental pour la détermination du mouvement sismique de référence à prendre en compte pour le dimensionnement des constructions. En effet, cette détermination est basée sur la connaissance de l'aléa régional, qui permet de définir le séisme de référence utilisé pour calculer le mouvement sismique au rocher. Ce calcul est effectué en général grâce à des lois d'atténuation du mouvement du sol avec la magnitude et la distance. Ces lois sont habituellement déterminées à partir d'enregistrements de séismes effectués par différents réseaux sismologiques.

Aux Antilles, ce travail de détermination de l'atténuation du mouvement sismique avec la distance n'a pas été réalisé faute de données en nombre suffisants. Nous utilisons donc habituellement des lois déterminées dans d'autres contextes sismotectoniques qui ne sont pas véritablement comparables au contexte Antillais. En effet, même si plusieurs lois sont calculées dans des contextes de subduction, la subduction de l'arc Antillais est plus lente que la plupart des autres subductions dans le monde, ce qui peut conduire à des différences importantes pour l'atténuation.

Le but de ce chapitre n'est pas d'élaborer une loi d'atténuation du mouvement sismique avec les données du réseau car :

- nous avons enregistré trop peu de séismes avec une gamme de distance et de magnitude trop faible
- le réseau est resserré et nous n'avons pas de données sur l'ensemble de l'île. Les résultats ne seraient donc pas représentatifs
- nous n'avons qu'une seule station au rocher qui a enregistré suffisamment de séismes pour être éventuellement utilisée pour ce calcul. Là encore, la représentativité des résultats ne serait pas assurée.

Nous nous limitons à comparer les accélérations enregistrées par nos capteurs avec les accélérations calculées par plusieurs lois d'atténuation dont le domaine d'application est proche de celui des Antilles.

La plupart des lois d'atténuation, surtout celles qui s'appliquent aux domaines de subduction, ont un domaine de validité en magnitude qui débute à 4,5 ou 5,0. Nous avons donc sélectionné pour cette comparaison uniquement les séismes dont la magnitude est supérieure à 4,5. La liste et la localisation des sept séismes sont données Tableau 13. Parmi ces séismes, seul celui du 5 janvier 2001 est un séisme proche (distance de l'ordre de 50 km). Celui du 8 juin 1999 s'est produit au sud de la Guadeloupe et tous les autres se sont produits au nord.

Date	Heure	Lat N.	Long. W	Prof	Md	Distance au réseau (km)
08/06/1999	12:04	15,024	60.423	30.81	5.11	180
28/08/1999	04:27	17,062	61,370	30	4.7	90
20/12/1999	10:43	17,249	61,599	29	4.88	110
27/10/2000	19:15	17,873	61,025	30	4.64	190
27/10/2000	19:02	17,549	61,137	30	4.86	150
05/01/2001	08:06	16,1	61,05	34	5.5	54
06/01/2001	19:56	17,61	61,95	48	4,7	160

Tableau 13 - Liste des séismes utilisés pour l'étude de l'atténuation du mouvement sismique.

3.3.2 Résultats

La Figure 13 montre la comparaison entre les pga enregistrés et les pga calculés par les lois d'atténuation. Les lois utilisées pour cette comparaison sont :

- Crouse, 1991, déterminée à partir de données de subduction mondiales ;
- Youngs, 1997, déterminée à partir de données de subduction mondiales ;
- Mc Very, déterminée à partir de données de subduction en Nouvelle-Zélande ;
- Théodulidis, 1992, déterminée à partir de données de subduction en Grèce ;
- Dahle, 1995, déterminée à partir de données enregistrées en Amérique Centrale ;
- RFS98 (Cotton, 1999), déterminée à partir de données de séismes superficiels en Europe et en Californie.

Mis à part deux séismes (qui se sont avérés être les plus au Nord), le pga décroît régulièrement avec la distance. Nous n'avons pas d'explication pour le comportement des deux séismes. Les données du Réseau Accélérométrique Permanent pourront peut être, lorsqu'elles seront suffisantes, permettre de proposer une explication. Il est possible que la précision de la localisation soit moindre, le réseau de l'OVS étant surtout centré sur la Guadeloupe continentale, les dépendances proches et les îles d'Antigua et de Montserrat.

Comme on pouvait s'y attendre, les composantes NS et EO donnent des résultats très proches.

De manière générale, les pga enregistrés, se situent dans la fourchette haute (loi moyenne plus un écart type) des lois d'atténuation. Ceci est particulièrement vrai pour la RFS98 (qui est déterminée à partir de séismes superficiels) et pour la loi de Théodulidis (qui est déterminée à partir de séismes de subduction en Grèce). Pour les autres lois, l'adéquation entre les données enregistrées et les lois d'atténuation est meilleure. Cependant, aucune loi n'arrive à prédire correctement l'atténuation du mouvement du sol avec la distance, l'implantation du réseau de Pointe-à-Pitre comme du Réseau Accélérométrique Permanent aux Antilles prennent tout leur sens.

Il faut cependant préciser que les localisations de l'OVS sont provisoires et que les échelles de magnitude (et particulièrement les lois permettant le passage d'une magnitude à une autre) ne sont pas très bien contraintes.

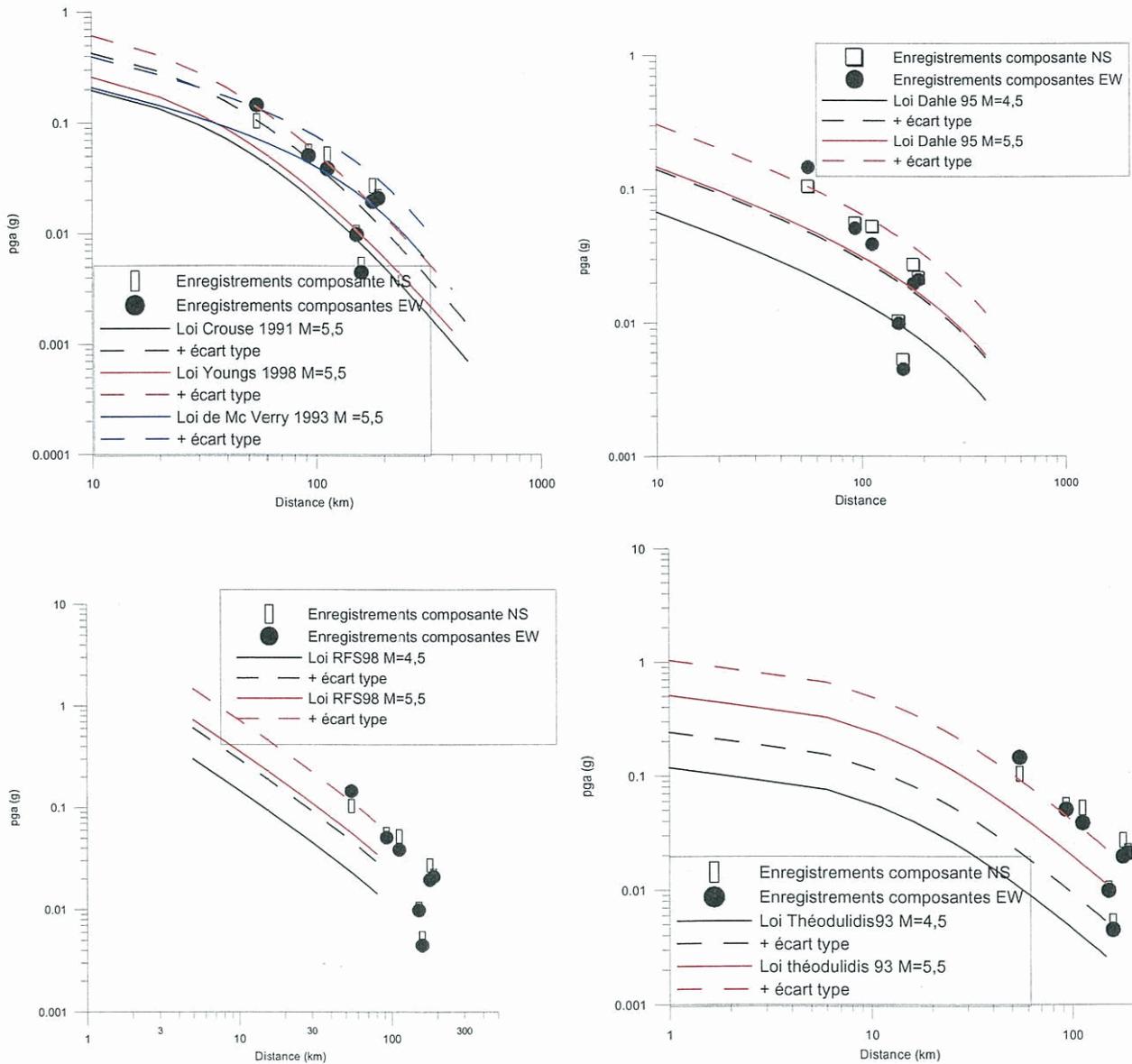


Figure 13 - Comparaison des pga enregistrés à la station Pasteur avec les pga calculés par diverses lois d'atténuation tirées de la littérature.

4 Analyse des effets de site.

Les effets de site correspondent à une modification du signal sismique incident par les conditions locales de sol. Ces conditions peuvent être lithologiques ou topographiques. Les effets de site sont quantifiés en général par une fonction de transfert qui permet de calculer le mouvement au site par rapport au mouvement qu'il y aurait sans effets de site. Cette fonction de transfert quantifie donc simplement l'amplification du mouvement sismique due à la condition particulière de sol. Nous nous intéressons ici uniquement aux effets de site générés par des sols de qualité géotechnique médiocre.

Nous avons utilisé trois méthodes de rapports spectraux site utilisant le signal sismique pour analyser les effets de site :

- La méthode des rapports spectraux site sur référence utilisant les enregistrements de séismes ;
- La méthode des rapports spectraux site sur référence utilisant le bruit de fond ;
- La méthode H/V utilisant le bruit de fond enregistré sur une station unique.

4.1 DESCRIPTION DES METHODES

4.1.1 Les méthodes des rapports spectraux site sur référence

Nous utilisons deux méthodes différentes qui permettent la détermination des effets de site par rapport spectral entre la station étudiée et une station de référence. Les calculs sont les mêmes pour les deux méthodes, mais les hypothèses physiques permettant leur application sont un peu différentes.

4.1.1.1 Rapport spectral sur les enregistrements de séismes

La méthode des Rapports Spectraux Classiques est une méthode expérimentale utilisée pour caractériser les effets de site. Elle a été mise en pratique pour la première fois par Borchardt en 1970.

Le principe de base de la méthode est le suivant : un enregistrement à la station j d'un séisme i dans le domaine temporel (accélérogramme ou sismogramme) est constitué de la convolution de plusieurs fonctions:

$$O_{ij}(t) = I_j(t) * P_{ij}(t) * S_{r_{ij}}(t) * S_{t_j}(t)$$

avec $O_{ij}(t)$, le sismogramme observé, $I_j(t)$ la fonction de transfert de l'instrument, $P_{ij}(t)$ la fonction de propagation entre la source i et le site j , $S_{r_{ij}}(t)$ la fonction source et $S_{t_j}(t)$ la fonction de site.

En passant dans le domaine fréquentiel, la convolution devient un simple produit, on aura alors :

$$O_{i,j}(f) = I_j(f) \cdot P_{i,j}(f) \cdot S_{r_{i,j}}(f) \cdot S_{t_j}(f)$$

La méthode des rapports spectraux classiques consiste à calculer le rapport spectral, c'est à dire le rapport des transformées de Fourier, entre l'enregistrement effectué sur le site que l'on veut caractériser et celui effectué sur un site que l'on choisit comme référence. On a donc la fonction de transfert du site CSR qui est donnée par :

$$CSR_{i,j} = \frac{O_{i,j}(f)}{O_{i,ref}(f)} = \frac{I_j(f) \cdot P_{i,j}(f) \cdot S_{r_{i,j}}(f) \cdot S_{t_j}(f)}{I_{ref}(f) \cdot P_{i,ref}(f) \cdot S_{r_{i,ref}}(f) \cdot S_{t_{ref}}(f)}$$

La méthode s'appuie sur les hypothèses suivantes :

1. La distance source-station est très supérieure à la distance entre la station de référence et la station étudiée, la fonction de propagation est alors la même pour les deux stations : $P_{i,j}(f) = P_{i,ref}(f)$,
2. Dans le domaine du champ lointain, la fonction source est donc la même pour les deux stations : $S_{r_{i,j}}(f) = S_{r_{i,ref}}(f)$,
3. Les fonctions $I_j(f)$ et $I_{ref}(f)$ sont éliminées par déconvolution,
4. le site de référence est choisi sur le rocher sain et non altéré et donc $S_{t_{ref}}(f)=1$. Le lieu doit également être tabulaire pour ne pas être affecté par des effets topographie.

En conclusion :

$$CSR_{i,j} = \frac{O_{i,j}(f)}{O_{i,ref}(f)} = S_{t_j}(f)$$

La méthode des rapports spectraux classiques est utilisée avec les enregistrements des composantes horizontales. On considère en effet que la composante verticale est très peu affectée par les effets de site. Une autre précaution à prendre est d'appliquer la méthode sur les parties du signal pour lesquelles le rapport signal sur bruit est supérieur à trois. De cette façon, on évite d'utiliser des parties du signal pour lesquelles l'énergie ne provient pas de l'événement sismique.

Pour avoir des résultats significatifs et fiables il faut effectuer la moyenne des rapports spectraux calculés à partir d'un grand nombre d'enregistrements. Cela est un des inconvénients majeurs de la méthode, car la quantité d'enregistrements disponibles dépend de la sismicité de la zone étudiée et de la durée de fonctionnement du réseau.

4.1.1.2 Rapports spectraux sur le bruit de fond

Le principe de cette méthode est le même que pour la précédente, à la différence que les calculs sont effectués sur des enregistrements de bruit de fond et non pas sur des enregistrements de séismes. Aucun test de rapport signal sur bruit n'est effectué.

L'hypothèse à la base de la méthode est qu'en l'absence de sources très locales telles que le moteur d'une pompe ou le passage d'un camion, le bruit de fond sismique est isotrope et, si les deux stations ne sont pas trop éloignées, le bruit de fond est le même sur les deux stations. Cette méthode est discutée dans Sabourault, 1999. Nous n'en montrons pas les résultats ici, un rapport spécifique à la comparaison des différentes méthodes étant disponible (Sabourault et al, 2001). Les résultats des méthodes sont identiques sous réserve de traiter de manière spécifique les données pour la méthode site / référence utilisant le bruit de fond.

4.1.2 Méthode H/V

Cette méthode consiste à calculer les rapports spectraux entre les composantes horizontales et verticales d'enregistrements de bruit de fond réalisés à l'aide d'une seule station. Elle a été mise en œuvre pour la première fois au Japon en 1971. Son introduction dans la communauté internationale scientifique date de 1989 par Nakamura. Après plusieurs années de controverses, il est maintenant admis que cette méthode permet de calculer de façon fiable la fréquence de résonance du sol.

La méthode H/V consiste à enregistrer le bruit de fond sismique avec un capteur 3 composantes (deux horizontales et une verticale) pendant une durée de 10 mn environ. On divise ensuite cet enregistrement en une vingtaine de fenêtres de 30s. Pour chacune de ces fenêtres, on calcule le spectre de Fourier des composantes horizontales du mouvement et celui de la composante verticale. On calcule ensuite la moyenne des spectres sur ces 20 fenêtres. Cette moyenne permet d'éviter des artefacts dus à des bruits proches tels que le passage de camions. Enfin, on calcule le rapport spectral de la résultante horizontale divisée par la voie verticale c'est-à-dire :

$$H/V = [(\text{composante NordSud})^2 + (\text{composante EstOuest})^2]^{1/2} / (\text{composante verticale})$$

4.2 RESULTATS DES RAPPORTS SPECTRAUX AVEC SEISMES ET COMPARAISON AVEC LE MICROZONAGE

Dans cette partie, nous décrivons les résultats de la méthode des rapports spectraux utilisant des séismes, puis essayons de corrélérer les résultats avec ceux du microzonage sismique de l'agglomération pointoise (Monge et al., 1998). Comme il a été indiqué dans le chapitre 2, les stations ont été installées de manière à ce que :

- des stations éloignées les unes des autres soient sur des sols de même catégorie, pour vérifier que leur réponse est équivalente ;

- des stations proches les unes des autres soient sur des sols de catégories différentes, pour vérifier que leur réponse est différente.

Le choix de la station de référence a été dicté par :

- les conditions géologiques (Zone 1 du microzonage),
- les expériences précédentes (CETE Méditerranée 1998, Monge et al., 1998),
- le caractère peu bruité, du site choisi.

Ces différentes considérations nous ont amené à choisir la station Pasteur comme station de référence de la méthode des rapports spectraux.

Les résultats sont donnés sur la Figure 14 et décrits dans la suite. Pour chaque station étudiée sont indiquées :

- la moyenne, sur tous les séismes enregistrés par cette station, des rapports spectraux entre la station étudiée et la station de référence. La courbe est en trait gras. Tous les séismes ont été utilisés, sans distinction de localisation des sources sismiques (proches ou lointaines) ;
- la courbe " moyenne +/- un écart type " pour connaître la dispersion des données. Quand cette courbe (représentée en traits fins sur les figures) s'écarte de manière importante de la courbe moyenne, les résultats ne peuvent pas être considérés comme représentatifs.

Le nombre de séismes utilisés à chaque station pour le calcul des rapports spectraux est indiqué dans les tableaux 2 à 4. Pour les stations Siméon, stade et Eucher, nous n'avons pas assez d'enregistrements pour présenter des résultats.

4.2.1 Stations au rocher

Station Glide fond de puits : cette station n'a enregistré que 5 séismes, les résultats sont donc entachés d'une incertitude importante. Cependant, le rapport spectral est proche de 1 dans toute la gamme de fréquence étudiée et l'écart type est faible. On peut ainsi vérifier que le sol sur lequel est installée cette station ne présente pas d'effet de site.

Station Antéa : Là encore, le nombre de séismes enregistrés (13) ne permet pas de tirer des conclusions définitives. Le rapport spectral est compris entre 1 et 2, sauf à une fréquence de 7 Hz, où il augmente jusqu'à une valeur de 2,6 avec un pic bien marqué. Cette amplification peut être due soit à une couche rocheuse altérée en surface, ce qui modifie le signal sismique, soit à un effet topographique, la station étant située sur un morne (relativement peu marqué). La première explication est la plus probable, ce qui indique que la station serait située sur un sol de catégorie Z2 ou Z3. Elle ne pourrait donc pas servir de référence pour les méthodes des rapports spectraux.

4.2.2 Stations sur des zones à effets de site.

Station ADUAG (Structure) : cette station est particulière dans la mesure où elle est située au 14^e étage d'une tour qui en compte 15. Cette tour est située sur le rocher, à moins d'un kilomètre de la station Pasteur. Le rapport spectral sera donc représentatif de la réponse de la structure. On voit sur le rapport spectral calculé avec les composantes EW que la courbe présente un pic très bien marqué à une fréquence de 1,2 Hz. Cette fréquence correspondrait à la fréquence de résonance de la tour. Il faut noter qu'une étude de vulnérabilité du bâti pointois, effectuée par le BRGM (programme Gemitis Pointe-à-Pitre), montre que la tour Massabielle a une fréquence de résonance de 0,9 Hz, ce qui ne diffère que très légèrement de la fréquence déterminée par la sismologie.

Stations Closset (Z2), Prison (Z2/Z3) et Centre Equestre (Z2/Z3) : Ces trois stations sont proches les unes des autres, situées sur des sols de catégories Z2 mais, pour deux d'entre elles à la limite avec la zone Z3. On voit que les rapports spectraux à ces 3 stations sont presque identiques, avec une amplification d'un facteur 2 à 4 vers 1 Hz et ensuite une décroissance à plus hautes fréquences. Ceci tend à montrer que la réponse des sols sous ces trois stations est semblable et qu'il serait possible de les regrouper en une seule zone.

Aucun "effets de bords" dû à la réfraction d'ondes à l'interface entre deux sols de catégories différentes, mais aucun effet de ce genre n'est observé aux stations Prison et Centre Equestre

Station Sous Préfecture (Z2/Z3) : cette station est située à la limite entre des sols de catégorie Z1, Z2, Z3 et Z4. Le rapport spectral plat, sans amplification particulière, semble indiquer que la catégorie de sol est Z1.

Station DRIRE (Z2) : le rapport spectral à cette station ne présente pas de pic bien marqué mais une amplification générale entre 2,5 et 8 Hz, de niveau inférieur à 4.

Stations Saint Félix et Perrin (Z2/Z3) : ces deux stations sont excentrées par rapport au reste du réseau et situées à la limite entre les zones 2 et 3. Les deux rapports spectraux sont amplifiés à la même fréquence (autour de 6 - 7 Hz), mais avec un niveau différent (3 pour Perrin, et 8 pour Saint Félix). La forte amplification pour Saint Félix peut être due à la prise en compte des séismes locaux ce qui, du fait de la faible distance entre la station et les sources sismiques proches, a tendance à augmenter les rapports spectraux dans le domaine des hautes fréquences.

Stations Amédée Fengarol, WTC, collège Raizet et CCI (Z3) : Les rapports spectraux aux stations Fengarol et WTC sont très proches, avec une amplification bien marquée à la fréquence de 2-3 Hz, et un niveau d'amplification autour de 5. De même, les rapports spectraux aux stations Raizet et CCI sont proches l'un de l'autre, mais différents des

deux autres stations pourtant situées sur des sols de même catégorie. Nous ne pouvons pas apporter actuellement d'explication à cette différence de réponse, cependant, cela semble montrer que le regroupement en zones de réponses sismiques homogènes dans les microzonages est trop simplificateur.

Station Ecole Lauricisque (Z4) : cette station n'a enregistré que 4 séismes, et il ne sera pas possible de donner des conclusions définitives. On voit que le rapport spectral ne semble pas montrer d'amplification particulière, sauf à basse fréquence mais avec un écart type important, qui ne permet pas de conclure.

Stations T2 (Z4) et Glide Surface (Z3/Z4) : Ces 2 stations sont distantes de moins de 500 mètres, sur des sols appartenant à des catégories différentes. L'allure générale de la courbe des rapports spectraux est semblable, avec un pic relativement bien marqué à 1,2 Hz pour les 2 stations. L'amplitude des pics est légèrement différente, de presque 12 pour T2 à 30 pour Glide. L'effet de site entre les deux stations peut être considéré comme équivalent.

Station S. Rollon (Z5) : le rapport spectral à cette station présente une amplification marquée (facteur 6) à une fréquence légèrement supérieure à 1Hz, et ressemble au rapport spectral obtenu à la station T2 située en zone 4. La différence entre les zones 4 et 5 est la présence d'une couche sableuse, qui peut modifier légèrement la fréquence de résonance, et dont l'effet se traduira par l'apparition d'effets non linéaires en cas de séisme fort. Comme nous n'avons travaillé que sur des séismes faibles, la réponse des deux catégories de sol doit être équivalente, ce qui est bien le cas au dessus de 1Hz.

4.3 COMPARAISON SEISMES PROCHES ET LOINTAINS

Nous avons vu que certaines stations étaient situées près des sources sismiques proches. Le contenu fréquentiel des séismes proches et lointains étant différent, ne serait-ce qu'à cause de la magnitude (les séismes lointains, pour être enregistrés par le réseau, sont plus forts que les séismes proches) et de l'atténuation anélastique des ondes qui affecte les hautes fréquences, il est intéressant de voir si la moyenne des rapports spectraux peut rendre compte de ces différences de localisation des stations ou de magnitude des séismes.

Nous avons calculé, pour 6 stations instrumentées avec des K2, la moyenne des rapports spectraux sur les séismes proches puis celle sur les séismes lointains et nous avons comparé les résultats. Nous n'avons pas effectué ce travail sur les enregistrements des stations équipées de SMACH, car elles ont enregistré beaucoup moins de séismes.

Cette comparaison est montrée sur la Figure 15. Pour les stations Saint Félix et S. Rollon, on voit que le rapport spectral calculé en utilisant les séismes proches est supérieur à celui calculé avec les séismes lointains. Comme les distances épacentrales entre ces 2 stations et les séismes proches sont plus faibles que pour les autres stations du réseau, l'atténuation est plus faible pour les séismes proches et donc que le rapport

spectral sera augmenté. Ce phénomène est plus marqué pour la station Saint Félix, la plus proche des sources sismiques proches.

Pour les stations CCI, Perrin, Raizet et Fengarol, il n'y a pas de différence notable entre les calculs avec les séismes proches et les séismes lointains.

Pour les stations Prison et Closset, on voit que les courbes des rapports spectraux utilisant les séismes lointains sont plus fortes, aux fréquences intermédiaires, que celles utilisant les séismes proches. Ceci est dû au contenu fréquentiel plus riche en basses fréquences des ondes générées par les séismes lointains (qui sont de plus forte magnitude en général) que celui généré par les séismes proches, ajouté à une atténuation plus forte des hautes fréquences pour les séismes lointains. Ceci se retrouve sur les rapports spectraux.

Cette comparaison entre les rapports spectraux calculés avec les séismes proches et les séismes lointains montre que :

- il est important de travailler avec des séismes qui se sont produits à des distances et des azimuts différents, pour éviter que la configuration des sources n'influence les résultats.
- la taille des séismes a une influence sur le contenu fréquentiel des ondes générées, et cette influence se retrouve sur les rapports spectraux. Il est donc également important de travailler sur des séismes de magnitudes différentes.

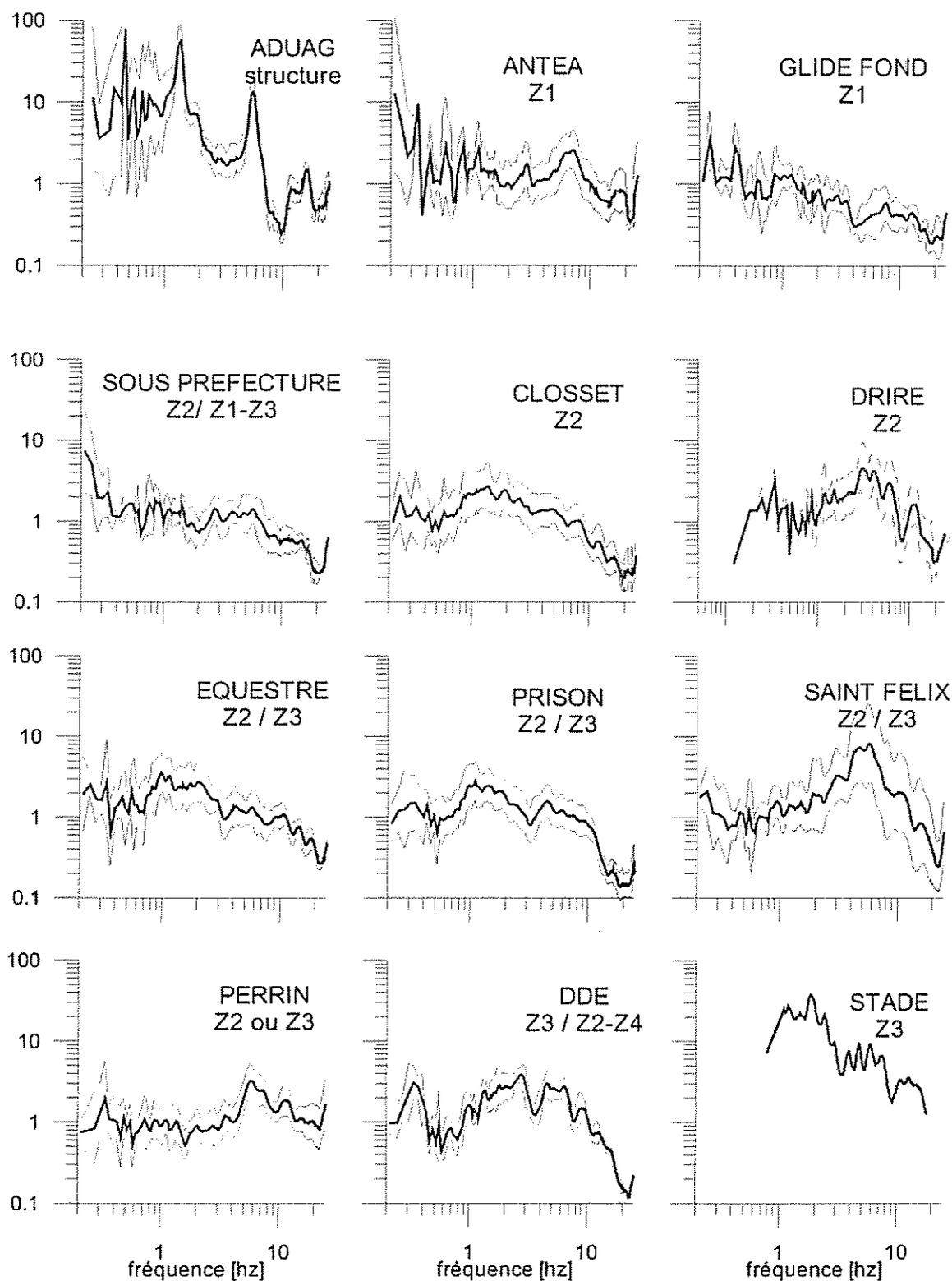


Figure 14 - Rapports spectraux avec des séismes calculés à 12 stations du réseau avec la station Pasteur utilisée comme station de référence

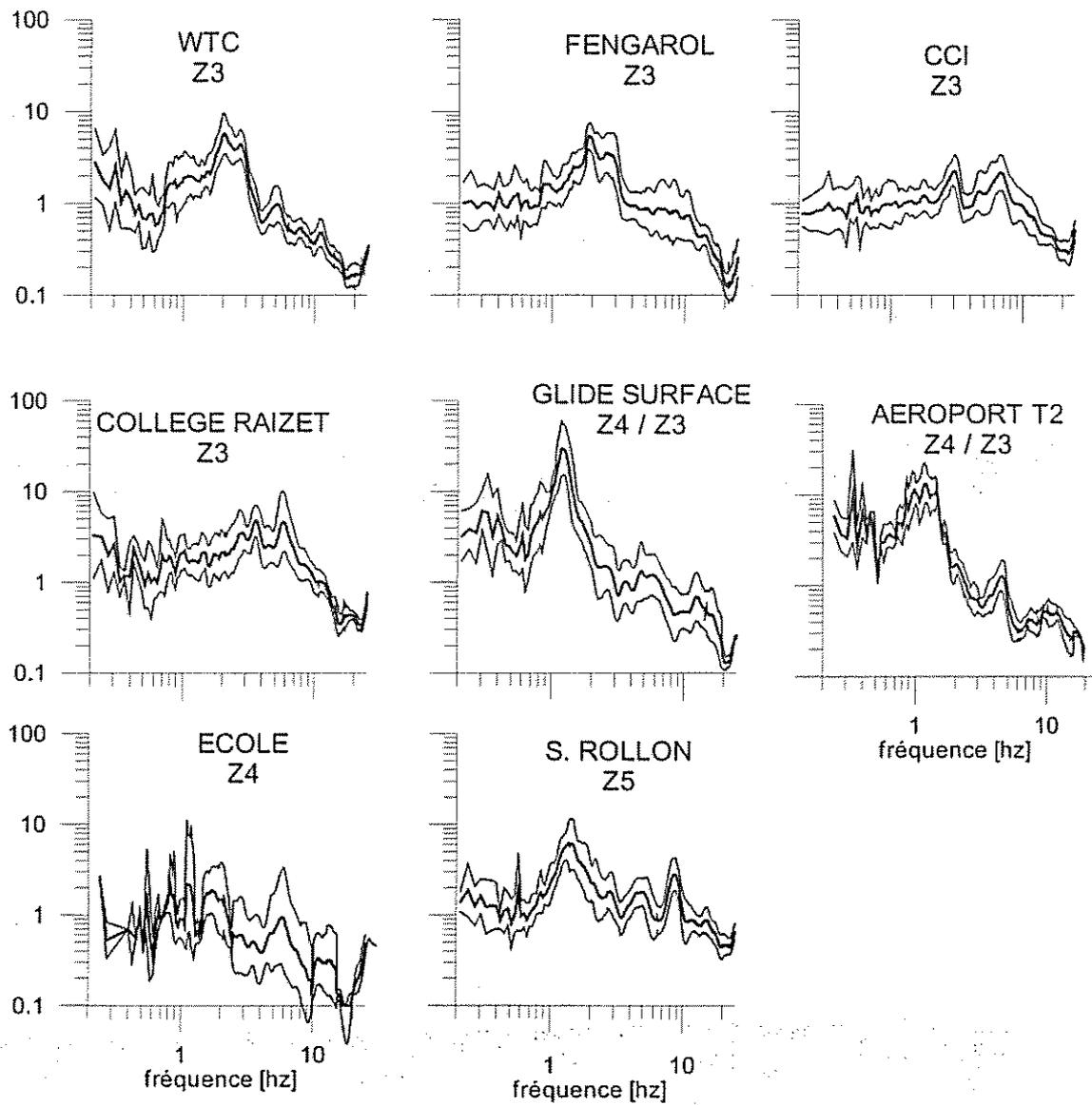


Figure 14 (suite) - Rappports spectraux avec des séismes calculés à 8 stations du réseau avec la station Pasteur utilisée comme station de référence

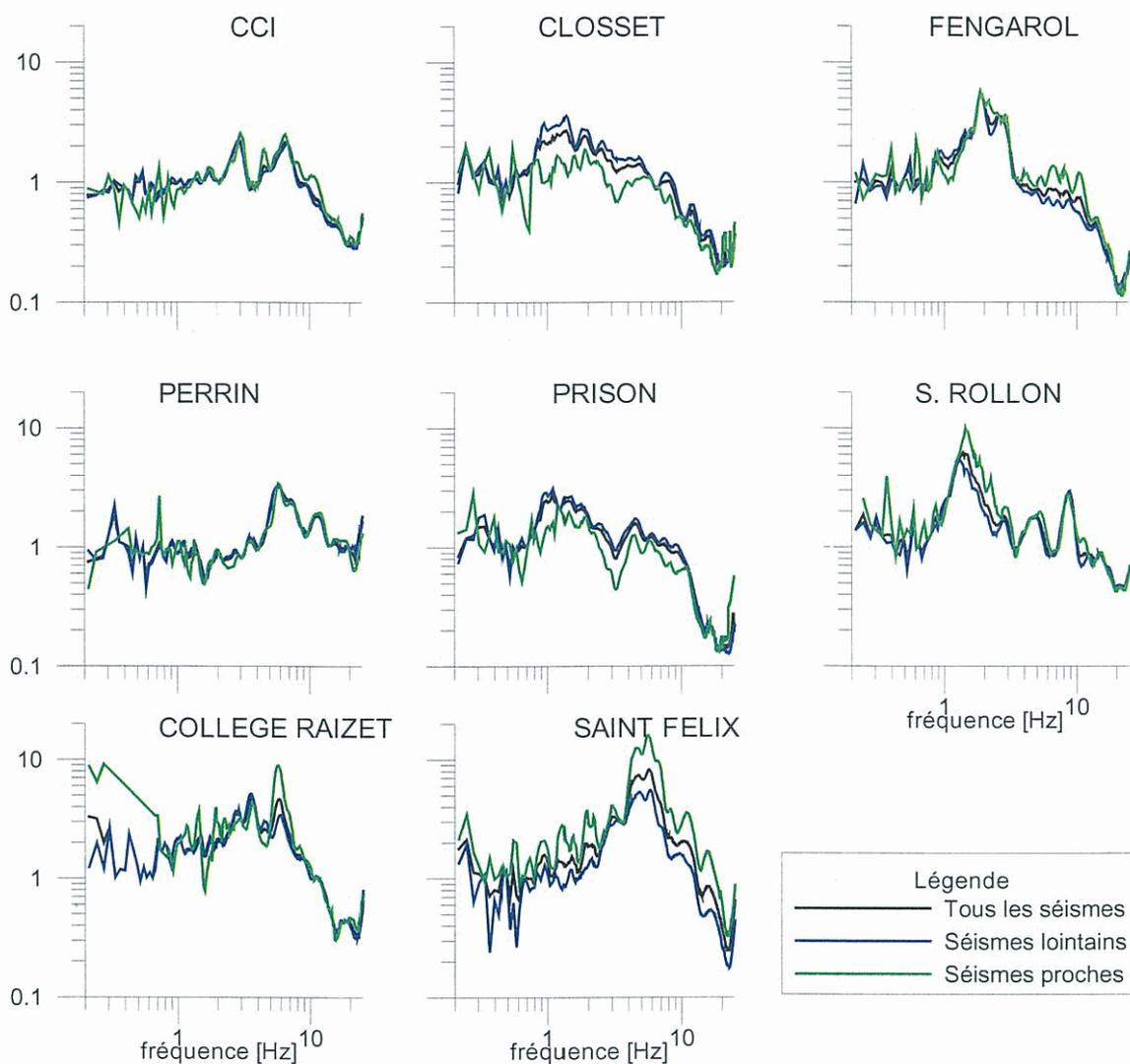


Figure 15 - Comparaison pour 8 stations des rapports spectraux calculés avec les séismes proches (courbes vertes), les séismes lointains (courbes bleues) et l'ensemble des séismes (courbes noires)

4.4 COMPARAISON ENTRE LA METHODE DES RAPPORTS SPECTRAUX SITE SUR REFERENCE ET LA METHODE H/V.

La Figure 16 montre la comparaison des fonctions de transfert calculées par la méthode des rapports spectraux classiques d'une part et par la méthode H/V bruit de fond d'autre part. Pour la station Pasteur, seule la courbe H/V est montrée car cette station sert de référence à la méthode classique. On voit que la courbe du rapport H/V est inférieure à 2 sur toute la gamme 0,3 – 25 Hz. Ceci confirme que la station Pasteur est une référence correcte pour la méthode des rapports spectraux.

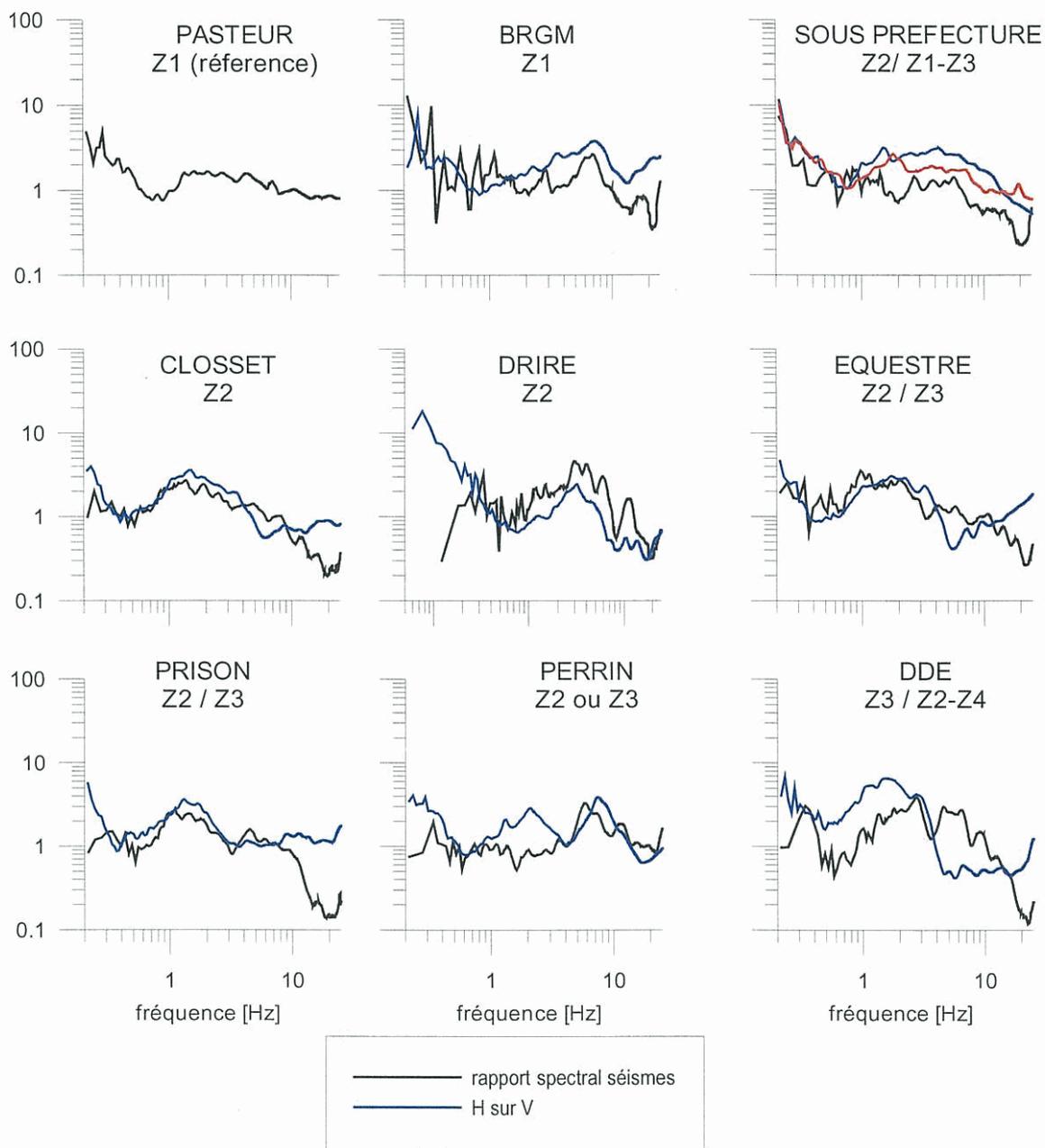


Figure 16 - Comparaison des fonctions de transfert calculées par la méthode des rapports spectraux classiques d'une part (courbe noire) et par la méthode H/V bruit de fond d'autre part (courbe bleue et rouge si une deuxième mesure a été effectuée).

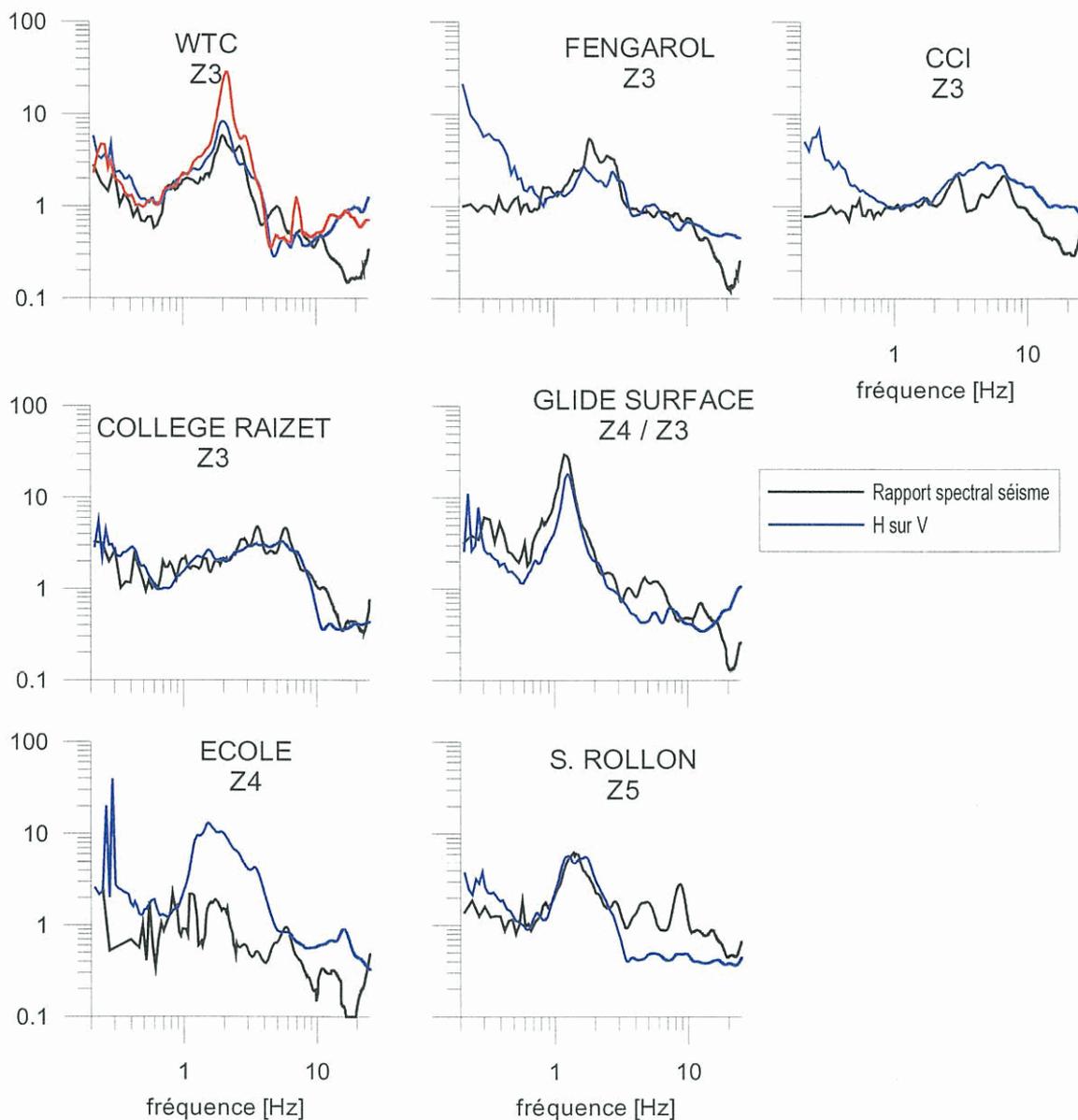


Figure 16 (suite)

Pour la plupart des courbes, les deux fonctions de transfert sont très ressemblantes, ce qui indique que les deux méthodes donnent les mêmes informations. Les stations pour lesquelles des différences importantes sont observées sont :

- école Lauricisque et DDE, pour lesquelles les rapports spectraux ont été calculés avec moins de 10 enregistrements, ce qui n'est pas suffisant pour obtenir des résultats fiables. Cependant, les niveaux d'accélération enregistrés à l'école sont plus faibles que ce que nous attendions pour ce site, ce qui semble aller dans le sens d'une faible amplification. Il sera nécessaire de cartographier précisément la zone à l'aide de la méthode H/V ;

- la station Perrin, pour laquelle on voit une bosse de la courbe H/V entre 2 et 3 Hz, qui n'apparaît pas sur les rapports spectraux. Les données actuelles ne nous permettent pas d'expliquer cette différence
- la station CCI pour laquelle une seule bosse apparaît sur la courbe H/V alors que deux bosses de même amplitude sont visibles sur la courbe des rapports classiques. Là encore, nous ne sommes pas en mesure d'expliquer cette différence, faute de données géotechniques précises au droit de la station.

4.5 CONCLUSIONS SUR L'APPLICATION DES METHODES

En conclusion de l'application de la méthode des rapports spectraux séismes et de la méthode H/V bruit de fond pour la détermination des effets de site dans l'agglomération pointoise, il ressort que :

- les deux méthodes donnent des résultats comparables. Pour certaines stations, même l'amplitude de la fonction de transfert donnée par les deux méthodes est équivalente ;
- la station de référence choisie semble répondre à nos besoins, à savoir, d'enregistrer un grand nombre des séismes déclenchant également les autres stations, être située dans un endroit calme et ne pas être sujette à des effets de site. Ce dernier point semble être confirmé par la géologie d'une part et par les rapports spectraux avec d'autres stations situées au rocher (GlideD, Antéa et, sans doute, Sous-Préfecture). Ce site a d'ailleurs été choisi comme référence à Pointe-à-Pitre par le Réseau Accélérométrique Permanent ;
- les sols de catégories Z4 et Z5, de caractéristiques géotechniques les plus mauvaises en grande épaisseur, montrent des pics bien marqués à des fréquences autour de 1 Hz. Ceci est en accord avec les connaissances que nous avons des effets de site lithologiques ;
- les 4 stations installées sur des sols de catégorie Z3 ont des réponses égales deux à deux (les fonctions de transfert des stations Raizet et CCI sont identiques, de même les fonctions de transfert des stations Fengarol et WTC sont identiques, mais différentes des précédentes). Dans les deux cas, le pic est relativement bien marqué mais la fréquence est différente. Malgré une analyse des données de la Banque de Données du Sous Sol et des sondages proches de ces stations, nous ne pouvons pas apporter, actuellement, d'explication à ces différences. Ce résultats laisse penser que le regroupement de spectres lors de la réalisation du microzonage est trop simplificateur par rapport à la variabilité spatiale du mouvement sismique ;
- les trois stations installées dans le quartier de la Jaille (Prison, Closset et Centre Equestre) ont une réponse équivalente. Il n'y a donc pas d'effets de l'interface entre deux sols de catégorie différente, et on peut dire que ces stations sont toutes sur un sol de catégorie Z2. Le rapport spectral ne montre pas de pic bien marqué mais une légère amplification à partir de 1Hz et une décroissance à plus hautes fréquences ;
- les stations Perrin et Saint Félix, situées à l'interface entre des sols de catégories Z2 et Z3, montrent un même rapport spectral, avec un pic bien marqué vers 6 Hz.

Ces résultats indiquent que la méthode des rapports spectraux est globalement en accord avec le microzonage sismique, même si des différences subsistent. Les deux méthodes paraissent donc complémentaires pour la détermination des effets de site et il paraît nécessaire de les utiliser toutes les deux lors de détermination de mouvements sismiques de sol.

Ces résultats peuvent être synthétisés par une proposition de modification de la zone du microzonage sur laquelle est située chaque station. Ceci est résumé Tableau 14, sur lequel nous avons proposé une zone pour chaque station. Pour ne pas laisser un doute sur la capacité de cette étude à faire une modification d'un microzonage, nous avons indiqué les nouvelles zones par des lettres de A à E pour des caractéristiques mécaniques décroissantes de bonnes à médiocre. Les zones A et B correspondent aux zones 1 et 2 du microzonage. La zone 3 du microzonage serait découpée en deux sous zones avec des réponses différentes, qui correspondent aux zones C et D. La station S. Rollon, d'après l'étude instrumentale, serait sur la même zone que les stations Glide Surface et T2, alors que la présence d'une couche de sable sous-jacente, susceptible de se liquéfier en cas de séisme fort, mais non visible sur des mouvements faibles, la place dans une zone spécifique à part du microzonage (Z5).

nom	code	Instrument	Latitude	Longitude	zone microzonage	zone proposée d'après l'étude
Ss Préfecture	sp	SMACH	16,239	61,53	Z2 (Z1/Z3)	A
Glide D	gd	SMACH	16,269	61,538	Z1	A
ANTEA	an	SMACH	16,258	61,512	Z1	A
Pasteur	pa	K2	16,235	61,524	Z1	A
DRIRE	dr	SMACH	16,237	61,552	Z2	B
C. Equestre	eq	SMACH	16,253	61,572	Z2 (Z3)	B
Prison	pr	K2	16,265	61,569	Z2 (Z3)	B
Luc Closset	cl	K2	16,257	61,575	Z2	B
Collège. Raizet	ra	SMACH	16,259	61,527	Z3	C
Saint Félix	sf	K2	16,21	61,508	Z2 (Z3)	C
Perrin	pe	K2	16,309	61,448	Z2 ou Z3	C
DDE	dd	K2	16,250	61,551	Z3 (Z2-Z4)	C
CCI	cc	K2	16,246	61,528	Z3	C
WTC	wt	SMACH	16,232	61,527	Z3	D
A. Fengarol	fe	K2	16,242	61,533	Z3	D
Glide S	gs	SMACH	16,269	61,538	Z4 (Z3)	E
T2	t2	SMACH	16,272	61,538	Z4 (Z3)	E
Lauricisque	ec	SMACH	16,252	61,542	Z4	? / E
S. Rollon	sr	K2	16,221	61,499	Z5	E

Tableau 14 - Modification proposée des zones du microzonage pour les stations étudiées.

5 Deux stations particulières : Glide Surface et Glide Fond de puits.

Ces deux stations sont placées dans une situation idéale pour l'application de la méthode des rapports spectraux. En effet, l'une des deux stations est installée au fond d'un forage de 20 mètres, situé dans l'enceinte de l'aéroport du Raizet, et l'autre station en surface à proximité de la tête de puits du forage. La station en fond de puits (GlideD) est sur du rocher, la station en surface (GlideS) sur un sol de catégorie Z3-Z4. Avec cette configuration, les hypothèses de la méthode des rapports spectraux sont toutes vérifiées, sauf une. En effet, les deux stations étant situées à 20 mètres l'une de l'autre, les fonctions source et propagation sont les mêmes, quelle que soit la distance de la source. La seule hypothèse qu'il faudrait vérifier, est que la fonction de site est égale à 1 pour toutes les fréquences, pour la station en fond de puits. Or les signaux en fond de puits et en surface sont différents. En surface, seul le signal incident est enregistré, mais avec la condition de surface libre (signal enregistré égal à deux fois le signal incident). En fond de puits, d'une part, la condition à la surface libre n'est pas vérifiée et, d'autre part, les ondes réfléchies par la surface s'ajoutent au signal incident. La différence entre les deux signaux enregistrés est difficilement quantifiable, et l'hypothèse d'une fonction de site égale à un n'est sans doute pas vérifiée en fond de puits.

Cependant, on voit sur la Figure 14 que le rapport spectral entre la station GlideD et la station Pasteur est proche de 1 pour toutes les fréquences. En supposant que les fonctions source et propagation sont égales aux deux stations, ceci tend à montrer que la fonction de site pour GlideD est voisine de 1.

5.1 DESCRIPTION DES ENREGISTREMENTS.

La Figure 17 montre les accélérogrammes sur la composante EO de 5 séismes enregistrés par les deux stations. Sur ces 5 séismes, 2 sont des séismes proches (10 mai 1999 et 5 janvier 2001) et les trois autres des séismes lointains (distance supérieure ou égale à 100 km). On peut voir que, de manière générale, les enregistrements à la station en surface ont une accélération plus importante que ceux à la station en fond de puits. La seule exception est le séisme du 10 mai 1999 pour lequel les deux enregistrements ont une amplitude proche. Une explication serait que la faible magnitude du séisme(3,4) fait que les fréquences générées sont très différentes de la fréquence de résonance de la couche de sol et que l'amplification du mouvement sismique est très faible à ces fréquences plutôt hautes.

La Figure 18 montre les spectre de fourier des enregistrements effectués aux deux stations du Glide. On voit bien, quelque soit le séisme, que le spectre enregistré en surface présente un pic très bien marqué autour de la fréquence de 1,2 Hz. par rapport au spectre enregistré en profondeur. Ceci indique bien que le mouvement en surface est amplifié.

Pour les trois séismes lointains, la différence entre les signaux enregistrés aux deux stations est très importante. Le signal est amplifié d'un facteur presque 10 sur la station en surface par rapport à celle en fond de puits et il est beaucoup plus long, avec des ondes presque monochromatiques en surface. Ceci reflète, si on peut exclure un effet dû à la structure dans laquelle est installé le capteur en surface, une résonance à une fréquence particulière de la couche de remplissage sédimentaire (cf. paragraphe suivant).

5.2 CALCUL DES RAPPORTS SPECTRAUX

Comme il a été dit plus haut, la configuration des deux stations en fait un cas d'étude idéal pour la méthode des rapports spectraux. Nous avons donc calculé, pour les 5 séismes précédents, le rapport spectral entre la station en surface et la station en fond de puits, et nous l'avons comparé au rapport spectral calculé entre la station en surface et la station Pasteur, qui nous a servi de référence dans l'étude précédente. Le résultat de cette comparaison est donné Figure 19.

Les résultats sont concordants, avec une nette augmentation du rapport spectral à une fréquence proche de 1,2 Hz, qui se retrouve quel que soit le séisme utilisé (proche ou lointain) ou la station de référence utilisée (Pasteur ou station en fond de puits). Ceci nous conforte dans le choix de la station Pasteur comme station de référence.

5.3 COMPARAISON AVEC DES DONNEES GEOTECHNIQUES

En utilisant les données du forage effectué lors de la mise en place de l'appareil, il nous est possible de calculer une fonction de transfert théorique de la couche sédimentaire au droit de la station en surface. Les données géotechniques ne sont pas très précises. Cependant, les données de vitesse des ondes de cisaillement, paramètre fondamental pour la détermination des fréquences de résonance des sols, sont disponibles d'une part par l'application de la méthode SASW et, d'autre part, par des données de cross-hole. La couche de sol meuble a une épaisseur de 20 mètres. Les données indiquent des vitesses des ondes de cisaillement de l'ordre de 100 m/s dans les 5 premiers mètres puis des vitesses de l'ordre de 500 m/s sur les 15 mètres suivants. Ceci fait une vitesse moyenne dans la couche de 400 m/s. Les calculs des rapports spectraux donnent une fréquence de résonance du sol de 1,2 Hz. En appliquant la relation $f = V_s / 4H$, cela donne une fréquence de résonance de 5 Hz, ce qui est incompatible avec la fréquence de résonance de 1,2 Hz déduite des méthodes expérimentales. Cette fréquence ne peut donc pas s'expliquer avec les données géotechniques à notre disposition.

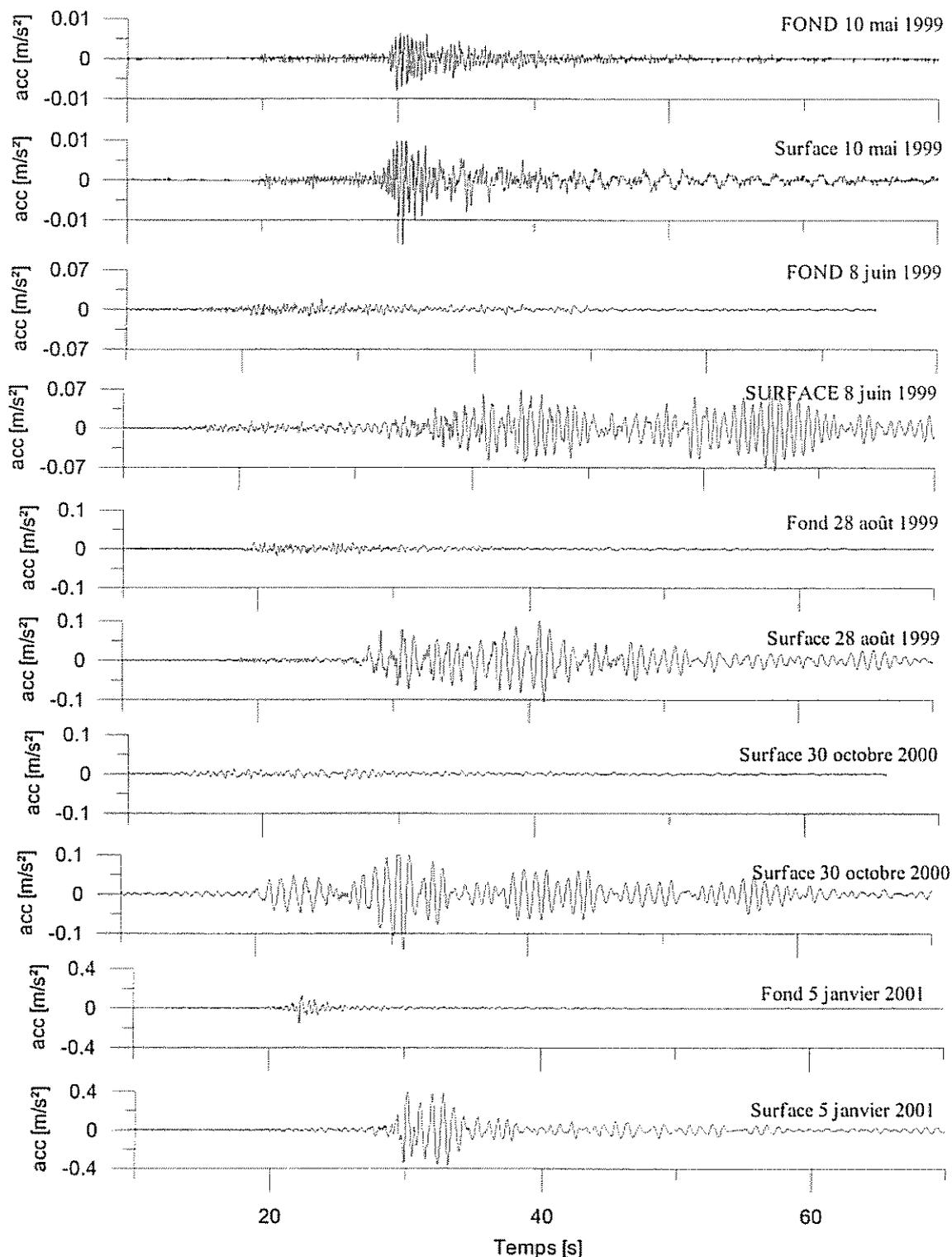


Figure 17 - Enregistrements aux deux stations du Glide de 5 séismes différents. Les amplitudes des signaux sont les mêmes pour chaque couple d'enregistrements fond de puits et surface

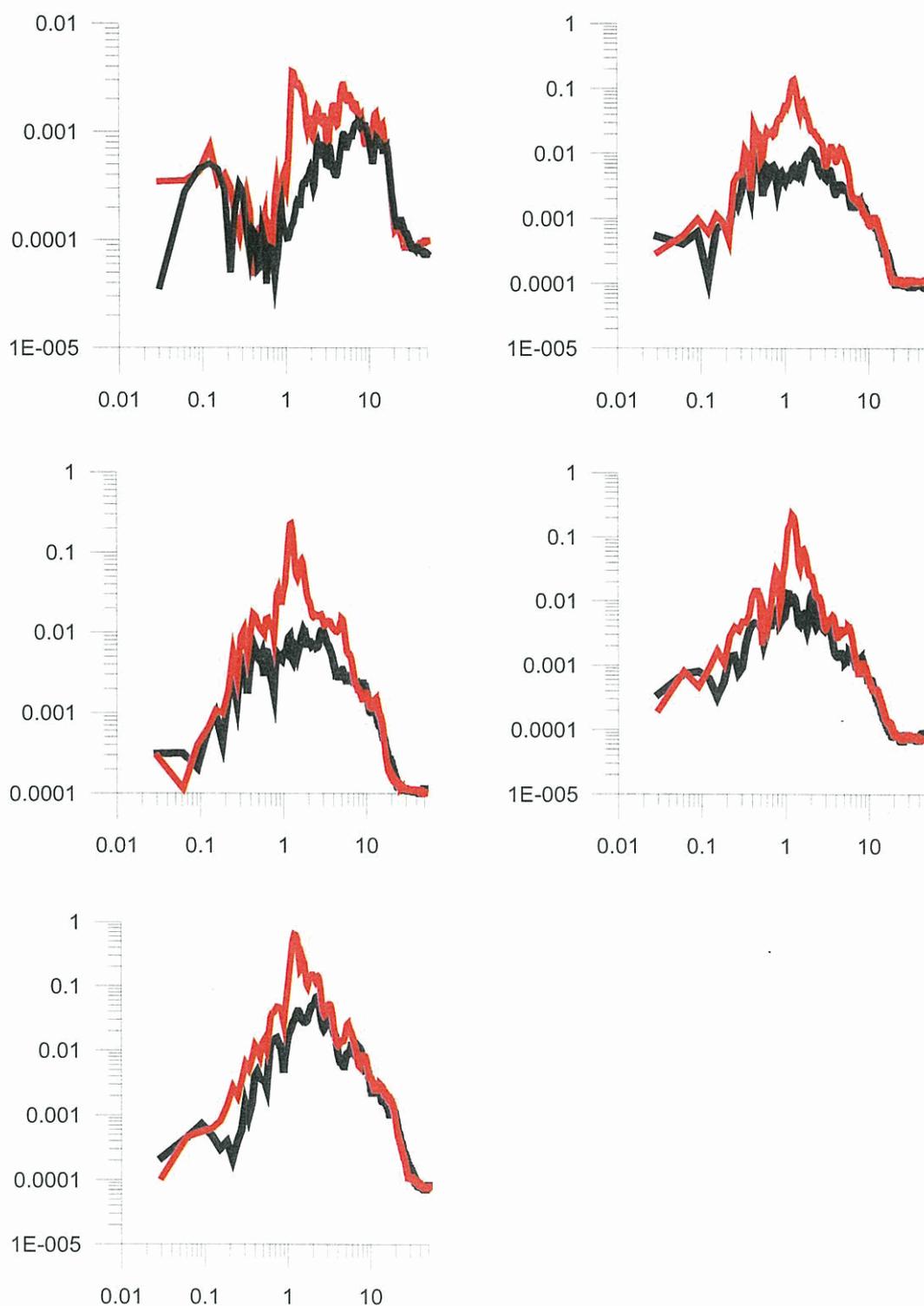


Figure 18 - Spectres des signaux enregistrés aux deux stations du glide. Pour chaque graphe correspondant à un séisme sont montrés en rouge les spectres de la station Glide Surface et en noir les spectres de la station en profondeur.

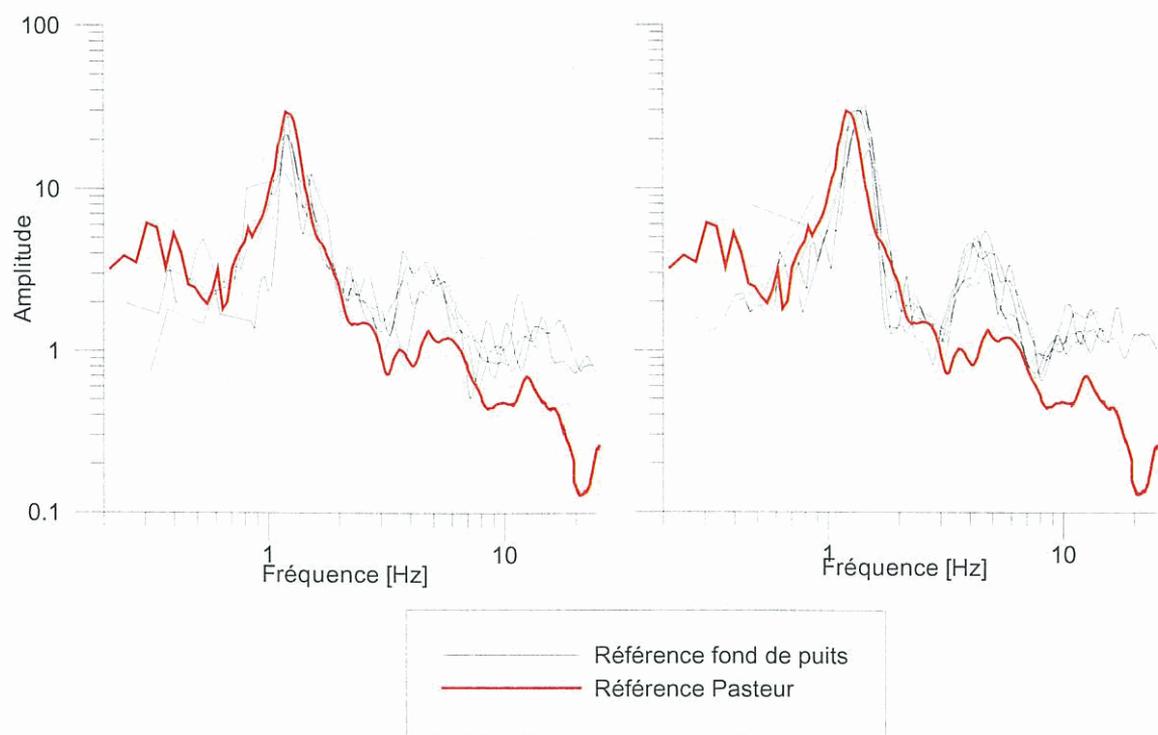


Figure 19 - Comparaison des rapports spectraux pour 5 séismes différents entre la station en surface et la station en fond de puits d'une part (traits noirs) et la station Pasteur d'autre part (trait rouge).

6 Conclusions

En conclusion de cette expérience, 85 séismes, proches et lointains ont été enregistrés par le réseau accélérométrique de Pointe-à-Pitre et utilisés pour le calcul des rapports spectraux.

L'installation d'horloges sur une partie des stations a permis de localiser 13 séismes, dont 2 séismes n'avaient pas été localisés par l'Observatoire Volcanologique de la Soufrière en raison d'une magnitude trop faible. La qualité de la localisation dépend beaucoup du nombre de stations utilisées et de l'ouverture du réseau par rapport à l'épicentre. Parmi les 13 localisations calculées, 7 peuvent être considérées comme fiables. Ces localisations de séismes proches montrent que plusieurs d'entre eux se sont produits au Sud Est de l'agglomération pointoise.

En ce qui concerne la comparaison entre les résultats du microzonage de l'agglomération et la méthode des rapports spectraux, nous avons observé que, de manière générale, les sols de même catégorie ont une réponse équivalente. Ceci n'est pas vrai pour 4 stations situées sur des sols de catégorie Z3, qui ont des réponses équivalentes deux à deux. Nous ne pouvons pas expliquer ce résultat dans l'état actuel de nos connaissances, et des reconnaissances géotechniques et géophysiques poussées seraient nécessaires. Cette étude semble montrer que la zone Z3 du microzonage pourrait être séparée en deux zones de réponse sensiblement différentes.

Pour les 3 stations situées dans le quartier de la Jaille (une station en milieu de zone 2 et deux à l'interface entre zone 2 et zone 3), les rapports spectraux sont très proches ce qui laisse penser que la catégorie de sol est la même et que le sol de type Z2 au sens du microzonage amplifie peu le mouvement sismique.

Enfin, les résultats sur les stations du Glide (une en fond de puits et l'autre en surface) sont intéressants même si nous ne parvenons pas à les expliquer entièrement. Bien que peu de séismes aient été enregistrés simultanément sur les deux stations, les rapports spectraux calculés avec la station en fond de puits ou avec la station Pasteur comme référence donnent des résultats équivalents. Cependant, les données géotechniques à notre disposition n'expliquent pas la fonction de transfert de la couche de sol calculée par les méthodes expérimentales.

De manière générale, les données acquises sont en accord avec les résultats du microzonage. Les différences qui subsistent ne pourraient être expliquées que par l'acquisition et l'interprétation de données géotechniques et géophysiques plus précises. Suite à cette acquisition, il s'agirait de refaire des modélisations de mouvement sismiques en espérant qu'ils soient plus en accord avec les rapports spectraux. Ceci pourrait permettre de calculer des spectres de réponse plus proches de la réalité et, éventuellement, de modifier les contours des zones du microzonage.

Bibliographie

- AFNOR (1995) - Règles de construction parasismiques : règles PS applicables aux bâtiments, dites règles PS92. *AFNOR*, Paris, norme française NF P 06-013
- Borcherdt, R.D., and J.F. Gibbs (1970). Effects of local geological conditions in the San Francisco Bay region on ground motions and the intensities of the 1906 earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 66, 467-500.
- CETE Méditerranée (1998) – Pointe-à-Pitre (Guadeloupe) Etude méthodologique de l'aléa sismique local. Rapport Interne.
- Cotton F., Berge-Thierry C., Maistre F., Fukushima Y. (1999) - Méthode de détermination des specs adaptés au site dans le cadre de la modification de la RFS I.2.c. Rapport IPSN/DPRE / 99-32, sept. 99.
- Crouse C.B., 1991. Ground motion attenuation equations for earthquakes on the Cascadia subduction zone. *Earthquake spectra*, Vol 7, p 201-236.
- Dahle A., Climent A., Taylor W., Bungum H., Santos P., Ciudad real M., Linholm C., Strauch W., and Segura F. (1995). New spectral strong motion attenuation model for central america. Pages 1005-1012 of : Proceedings of the Fifth International Conference on Seismic Zonation, vol. II.
- LeBrun B. et H. Fabriol avec la coll. de M. Bour, P. Dominique et J. Demand (2000) – Réseau accélérométrique de Pointe-à-Pitre : traitement et interprétation des données de l'année 1999. Rapport BRGM R40905, 52 p., 17 fig., 8 tabl.
- Mc Very G. H., Dowrick D. J., Srithran S., Cousins W. J., and Porritt T.E. (1993) Attenuation of peak ground accelerations in new-zealand. Presented at International Workshop on Strong Motion Data, Vallombrosa Center, Menlo Park, California.
- Monge O., Vermeersch F., Martin C., avec la collaboration de Bourrousse A. et Terrier M. (1998) - Microzonage sismique de l'agglomération pontoise : extension aux communes des Aymes et du Gosier et homogénéisation. *Rap. BRGM R 39213*, 78p.
- Sabourault Ph, Bour M. et Le Brun B. (2000) – Quantification des effets de site par rapport spectral site/référence issu de l'enregistrement de bruit de fond sismique : application sur Pointe-à-Pitre. BRGM/RP-50485-FR, 39 p., 13 fig., 4 Tbl.
- Theodulidis N.P., Papazachos B.C. (1992) - Dependence of strong ground motion on magnitude-distance, site geology and macroseismic intensity for shallow earthquakes in Greece : I, Peak horizontal acceleration, velocity and displacement. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 11, p. 387-402.

Vermeersch F. (1998) - Réseau accélérométrique des Antilles (Guadeloupe et Martinique).
Rap. BRGM R n° R 40362, 23 p.

Youngs R.R, Chiou S.-J., Silva W.J. and J.R. Humphrey, 1997. Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes. *Seism. Res. Lett.*, Vol 68, p 58-73

BRGM
SERVICE AMENAGEMENT ET RISQUES NATURELS
Unité Evaluation des Risques et gestion de Crise
BP 167 – 13276 MARSEILLE Cedex 9 – France – Tél. (33) 04 91 17 74 74