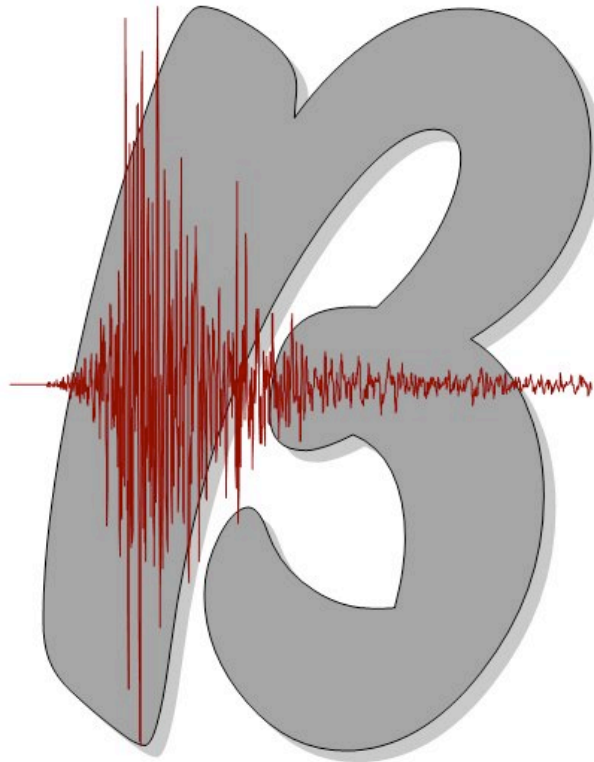


Loi d'atténuation B-Cube pour l'évaluation rapide des intensités sismiques probables dans l'Archipel de Guadeloupe



François BEAUDUCEL, Sara BAZIN et Mendy BENGOUBOU-VALERIUS

Rapport Interne OVSG-IPGP-UAG

décembre 2004 (mis à jour 2009)



Introduction

Depuis que les observatoires de l'IPGP ont un réseau de surveillance opérationnel, ils assurent le suivi de la sismicité régionale et informent rapidement les autorités et médias des caractéristiques de chaque séisme ressenti : localisation (épicerne et profondeur), origine (tectonique ou volcanique), magnitude et intensité maximale en Guadeloupe. Si la détection, la localisation et le calcul de magnitude ont toujours été réalisés de façon systématique et rationnelle, il n'en est pas de même pour l'indication des intensités sismiques qui étaient souvent évaluées sur base de quelques témoignages éparses.

Cependant, il faut rappeler que l'évaluation des intensités n'est pas de la compétence de l'observatoire ; dans le cas de séismes importants (officiellement de magnitude supérieure à 3.5), celle-ci doit être effectuée à partir d'enquêtes macrosismiques sur le terrain collectées par le Bureau Central Sismologique Français (BCSF). Pourtant, l'évaluation rapide d'une intensité probable après une secousse présente l'intérêt certain de pouvoir informer les autorités des effets possibles du séisme, et notamment si des dégâts sont probables ou non dans une zone donnée. Ce type de renseignement peut alors contribuer à l'organisation des secours par exemple.

Le séisme des Saintes et ses nombreuses répliques ont mis en évidence une sous-estimation occasionnelle des valeurs d'intensités communiquées par l'observatoire, notamment pour ces deux exemples récents :

- Le 21 novembre 2004, séisme principal des Saintes de magnitude 6.3 : l'observatoire a envoyé un communiqué en annonçant une intensité probable de **VI** aux Saintes, qui s'est révélée être très en dessous de la réalité puisque les enquêtes ont révélé des intensités de **VIII** [BCSF, 2004]. Vu la magnitude du séisme et sa proximité de l'archipel des Saintes, l'observatoire avait cependant encouragé les services de la Protection Civile à se rendre immédiatement sur place.
- Le 27 décembre 2004, réplique de magnitude 4.7 à moins de 10 km à l'aplomb des Saintes. C'est l'une des plus importantes répliques dans cette zone. Dans le communiqué émis 20 minutes après le séisme, l'observatoire a annoncé une intensité **IV à V**. Or les accélérations maximales mesurées à Terre-de-Haut et Terre-de-Bas (non disponibles au moment du communiqué) sont supérieures à **0.15 g**. Beaucoup de personnes n'ont pas compris pourquoi l'observatoire annonçait une intensité si "faible"...

Cette réaction naturelle de la population n'est pas anodine. Depuis le début de la crise des Saintes, les communiqués de l'observatoire contribuent d'une certaine façon à la condition psychologique générale des habitants qui semblent attendre, en sus d'une identification claire de la cause des phénomènes, une sorte de confirmation de ce qu'ils ont ressenti, bien plus qu'un chiffre de magnitude un peu abstrait et souvent mal interprété (confusion classique magnitude / intensité).

Il paraît donc nécessaire de rationaliser les estimations d'intensités sismiques pour éviter de telles erreurs et pour cela, il faut utiliser une loi d'atténuation. L'objectif est uniquement d'estimer les intensités maximales probables dans les communes de

Guadeloupe, avec si possible une incertitude de l'ordre d'une unité sur l'échelle des intensités.

En fin de document, un appendice a été ajouté avec une mise à jour de la loi et des communiqués (2009).

Le modèle d'atténuation

Le séisme des Saintes a entraîné des milliers de répliques qui ont été en grande partie enregistrées par les stations accélérométriques du réseau RAP-IPGP installé en 2003-2004. En routine, l'observatoire calcule les pics d'accélération horizontale (PGA, *Peak Ground horizontal Acceleration*) sur chaque événement, et grâce aux bulletins d'hypocentres, il dispose donc des trois paramètres pour déterminer une loi d'atténuation sismique simple : magnitude, distance hypocentrale et PGA.

Après une rapide étude bibliographique des principales lois d'atténuation applicables aux Petites Antilles [*Youngs et al., 1997 ; Sadigh et al., 1997*], et compte tenu des incertitudes attendues, il est finalement choisi une formulation simple [*Cotton, 2003*] :

$$\text{Log(PGA)} = a.M + b.R - \text{Log(R)} + c \quad (1)$$

où **PGA** = Pic d'accélération horizontale (exprimée en g), **M** = magnitude, **R** = distance hypocentrale (en km), et *a*, *b* et *c* sont les trois paramètres à déterminer.

Le but est de déterminer ces trois paramètres pour ajuster au mieux les données observées. Le modèle développé sur base de cette loi ne tiendra compte ni des effets de sites, ni des effets de source (directivité et type).

Les données utilisées

Les données ont été sélectionnées du **21 novembre 2004 au 28 décembre 2004** inclus, et proviennent de différentes sources :

- Localisations hypocentrales OVSG du réseau de surveillance pour la majorité des séismes (source OVSG-IPGP) ;
- Localisations hypocentrales CDSA (intégrant tous les pointés disponibles des stations IPGP et BRGM) pour les plus fortes magnitudes [*Bertil et al., 2004*] ;
- Magnitudes OVSG (MD) pour les séismes non détectés par les réseaux mondiaux, globalement les magnitudes inférieures à 4.5 (source OVSG-IPGP) ;
- Magnitudes USGS (mb ou Mw) pour les autres séismes plus forts (source [*USGS, 2004*]) ;
- Valeurs de PGA calculées par l'OVSG à partir des signaux de 12 stations du réseau RAP-IPGP (source [*GIS-RAP, 2004*]) et 1 station CDSA (source IPGP-BRGM).

Cette base de données comporte **398** séismes ayant fait déclencher entre 1 et 12 stations accélérométriques, ce qui correspond à **1430** valeurs de PGA au total associées à des séismes localisés (et donc à des distances hypocentrales). Ces séismes sont pour la grande majorité des répliques de la crise des Saintes, mais comportent également quelques événements régionaux intraplaques ou de subduction.

La variabilité des paramètres est la suivante (voir Figure 1 et Figure 2) :

- Pic d'accélération **PGA** : de **$1.6 \cdot 10^{-5}$ mg** à **0.364 g**
- Distance hypocentrale **R** : de **1.7** à **450 km**
- Magnitude **M** : de **1.1** à **6.3**

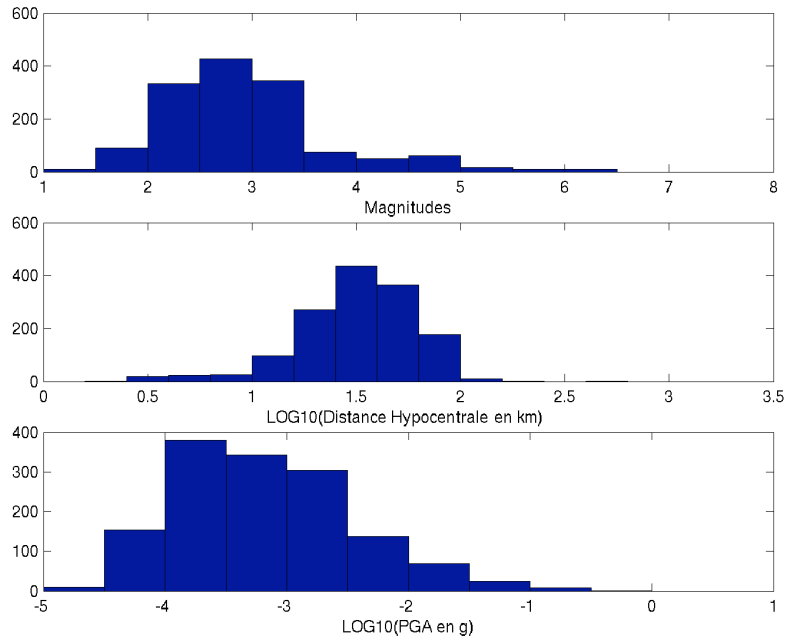


Figure 1. Histogrammes des 1430 données utilisées : répartitions des magnitudes, des distances hypocentrales (en $\log_{10}(\text{km})$) et des PGA (en $\log_{10}(\text{g})$).

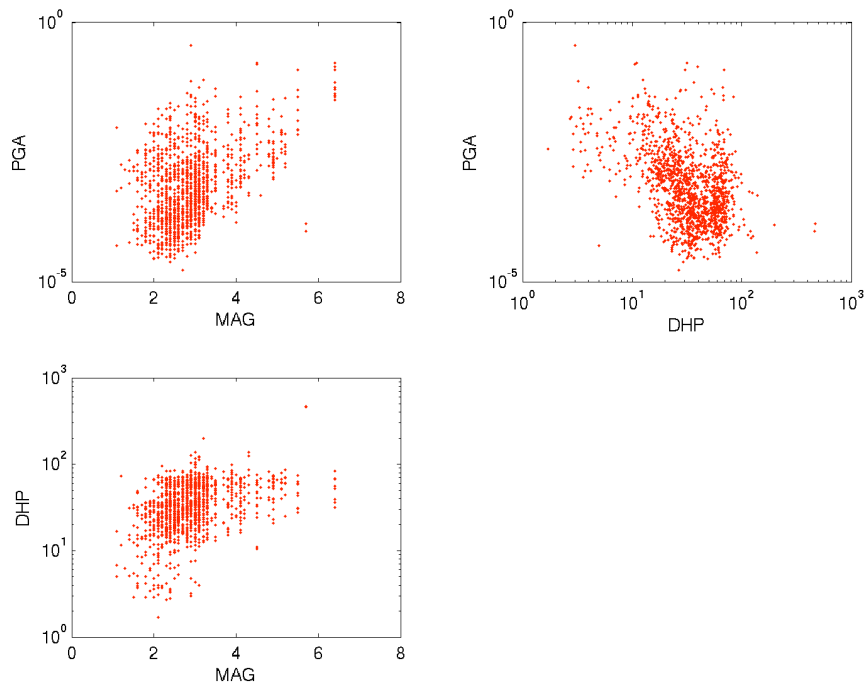


Figure 2. Représentation des données PGA, magnitudes (MAG) et distances hypocentrales (DHP) sous forme XY.

Remarque sur le réseau accélérométrique

Concernant le réseau accélérométrique à la source des valeurs de PGA (13 stations au total), il faut noter que deux stations ont été installées aux Saintes en urgence en début de période : TDBA (Terre-de-Bas) à partir du 24 novembre 2004 et TDHA (Terre-de-Haut) à partir du 27 novembre 2004. Ces deux nouvelles stations n'ont donc pas enregistré les premiers séismes de la crise (c'est-à-dire le choc principal et les répliques de magnitudes supérieures à 5). Mais pour les répliques suivantes, étant très proches des épencentres, elles ont permis l'enregistrement d'accélération élevées pour un large spectre de magnitudes.

Remarque la nature des sites de mesures

Les stations accélérométriques sont classées en deux catégories : « au rocher » et « au sol » sur base des mesures de bruit effectuées par le BRGM et/ou de la connaissance géologique des terrains. On peut cependant remarquer, lors de mesures réelles sur des séismes, que des sites supposés au rocher ont tendance à avoir une réponse au sol ou inversement.

Dans ce travail, nous n'avons pas voulu tenir compte de cette classification dans le calcul de la loi d'atténuation. Nous utiliserons cependant en partie ces informations dans l'analyse des résultats.

Remarque sur le calcul des PGA

Les données RAP brutes correspondent à un déclenchement de 2 minutes validé par visualisation du signal par un sismologue (les déclenchements sur du bruit sont donc exclus). Les données numériques sont calibrées par application du facteur d'étalonnage (dépendant du numériseur) et du gain (réglage sur le capteur), ces paramètres provenant du fichier de calibration de la base de données OVSG-IPGP.

La composante continue (offset) est calculée et retranchée, mais aucun filtre n'est appliqué sur les signaux. Le PGA (*Peak Ground Acceleration*) est calculé par le module vectoriel maximum des 2 composantes horizontales de l'accélérogramme $x(t)$ et $y(t)$:

$$PGA = \max(\sqrt{x(t)^2 + y(t)^2}) \quad (2)$$

Cette méthode offre une meilleure estimation du PGA qu'un simple calcul du maximum sur l'une ou l'autre des composantes horizontales prises individuellement, puisque dans ce cas on pourrait sous-estimer les valeurs jusqu'à un facteur $\cos(\frac{\pi}{4})$, soit 30%.

Calcul des paramètres et résultats

Les paramètres a , b et c de l'équation (1) ont été obtenus par la méthode des moindres carrés en recherchant le minimum de la fonction *misfit* (données observées moins calculées) exprimée sous sa norme L_2 , avec une légère pondération des données en fonction de la magnitude.

L'inversion converge très rapidement et donne les résultats suivants : $a = 0.611377$, $b = -0.00584334$ et $c = -3.216674$.

Les résidus du modèle sont présentés Figure 3 en fonction des magnitudes. L'écart type est d'environ **0.5** (en LOG_{10} , soit un facteur 3 environ), ce qui est tout à fait comparable aux résidus des autres lois d'atténuation publiées. On note également des écarts maximum, mais peu nombreux, jusqu'à **1.5** (soit un facteur 30).

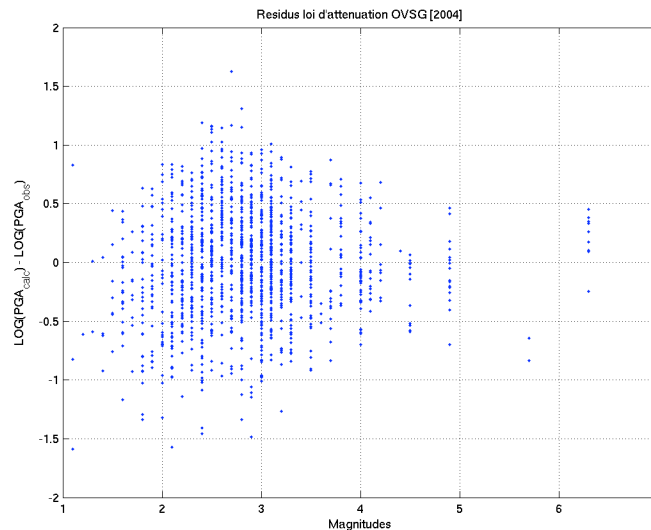


Figure 3. Résidus entre données PGA observées et calculées.

Le modèle a ensuite été appliqué systématiquement sur l'ensemble de la base de données accélérométriques disponibles (du 15 avril 2003 au 27 décembre 2004). On constate un bon accord avec les PGA observés sur les événements des Saintes, mais aussi sur les séismes régionaux antérieurs, comme celui du 30 juillet 2004 au nord de Montserrat (magnitude 3.9, profondeur 55 km, voir Figure 4a). Pour le séisme principal des Saintes du 21 novembre 2004 (Figure 4b) et pour une réplique du 14 décembre 2004 (magnitude 4.1, Figure 4c), la loi ajuste très bien les accélérations mesurées en donnant des valeurs médianes entre mesures au sol et au rocher.

Les effets de sites ne sont pas pris en compte dans cette loi simple et nous avons décidé de les inclure dans l'incertitude globale de la loi. On constate en effet que les PGA entre stations au sol et stations au rocher, pour un même séisme et une même distance du foyer, peuvent varier d'un facteur 3 à 5, ce qui correspond à peu près à l'incertitude de notre loi d'atténuation. On supposera donc que les paramètres calculés pour la loi B-Cube donneront des valeurs médianes de PGA (ce qui est d'ailleurs en accord avec la méthode d'inversion par moindres carrés utilisée), et que les valeurs maximales (sites avec amplification du sol) seront multipliées arbitrairement par un facteur 3.

Ce principe empirique permet de donner un intervalle de validité et surtout une valeur plafond des accélérations, prenant en compte des éventuels effets de sites locaux. Pour le séisme du 27 décembre 2004 (Figure 4d), on indique la loi B-Cube moyenne (en bleu), et la loi maximale (en rouge). On constate une excellente correspondance entre modèle et observations.

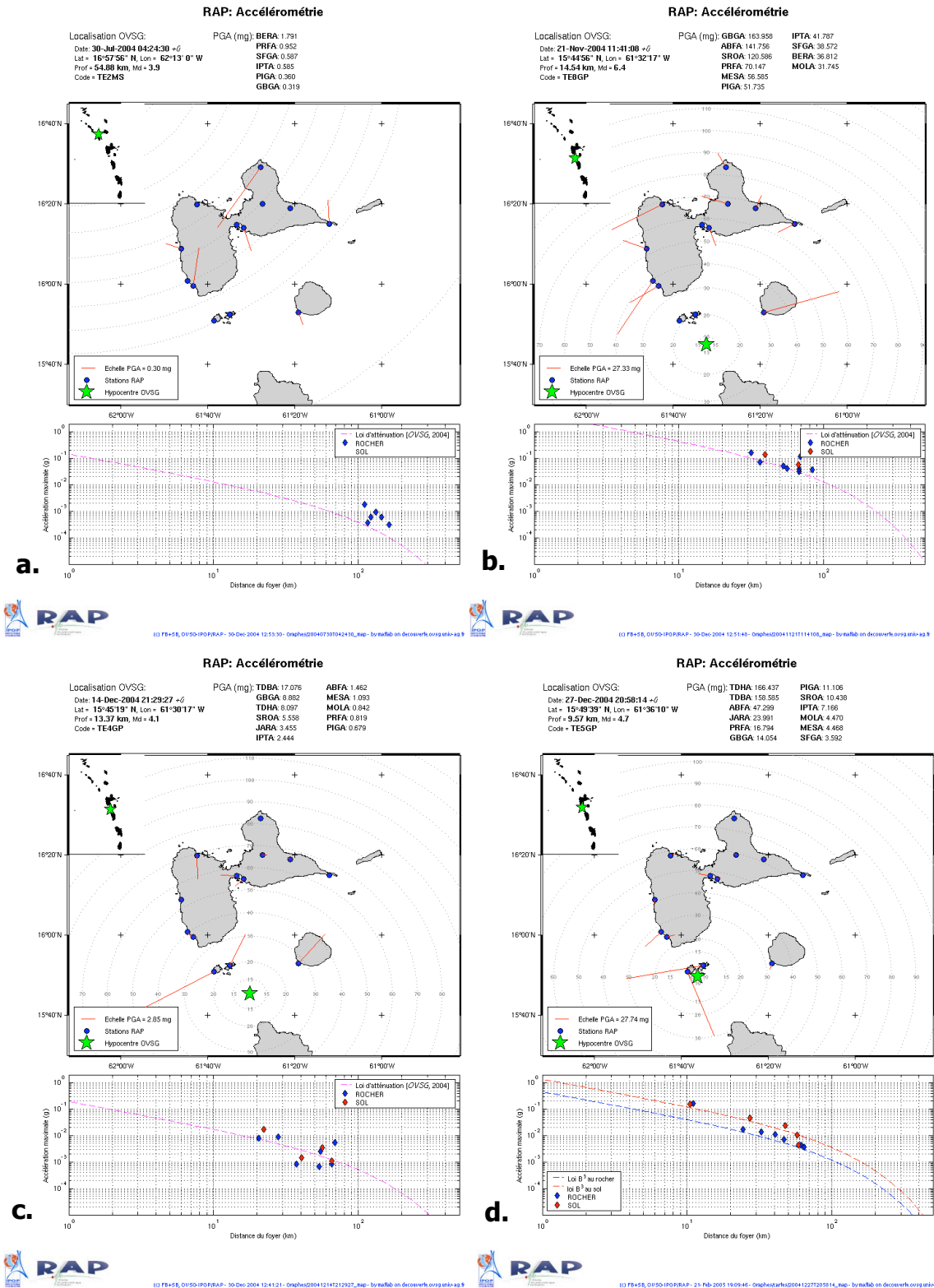


Figure 4. Exemples de données (valeurs numériques, segments rouges et losanges rouges et bleus : PGA mesurés par les stations du réseau ayant déclenché) et lois d'atténuation associées (courbes : PGA calculés en fonction de la distance hypocentrale) : **a)** MD=3.9 subduction Nord Montserrat, **b)** Mw=6.3 séisme principal des Saintes, **c)** MD=4.1 réplique des Saintes, **d)** MD=4.7 réplique du 27 décembre 2004, à l'aplomb des Saintes (documents tirés du site Web interne OVSG-IPGP).

Relation PGA – Intensités

Malgré les nombreuses mises en garde trouvées dans la littérature sur les dangers de relier directement PGA et intensités (notamment en raison de la non prise en compte du spectre fréquentiel, de la diversité des réactions humaines et de la vulnérabilité des bâtiments dans une région donnée), nous avons décidé dans un premier temps d'utiliser un tableau établi par *Feuillard* [1985] et qui semblait adapté aux Antilles Françaises.

La loi B-Cube complète est présentée Figure 5, en indiquant également les intensités sismiques. Cette correspondance PGA - intensités est rappelée dans le tableau des communiqués et est en très bon accord avec les intensités réelles pour le séisme du 21 novembre 2004 (voir Figure 6).

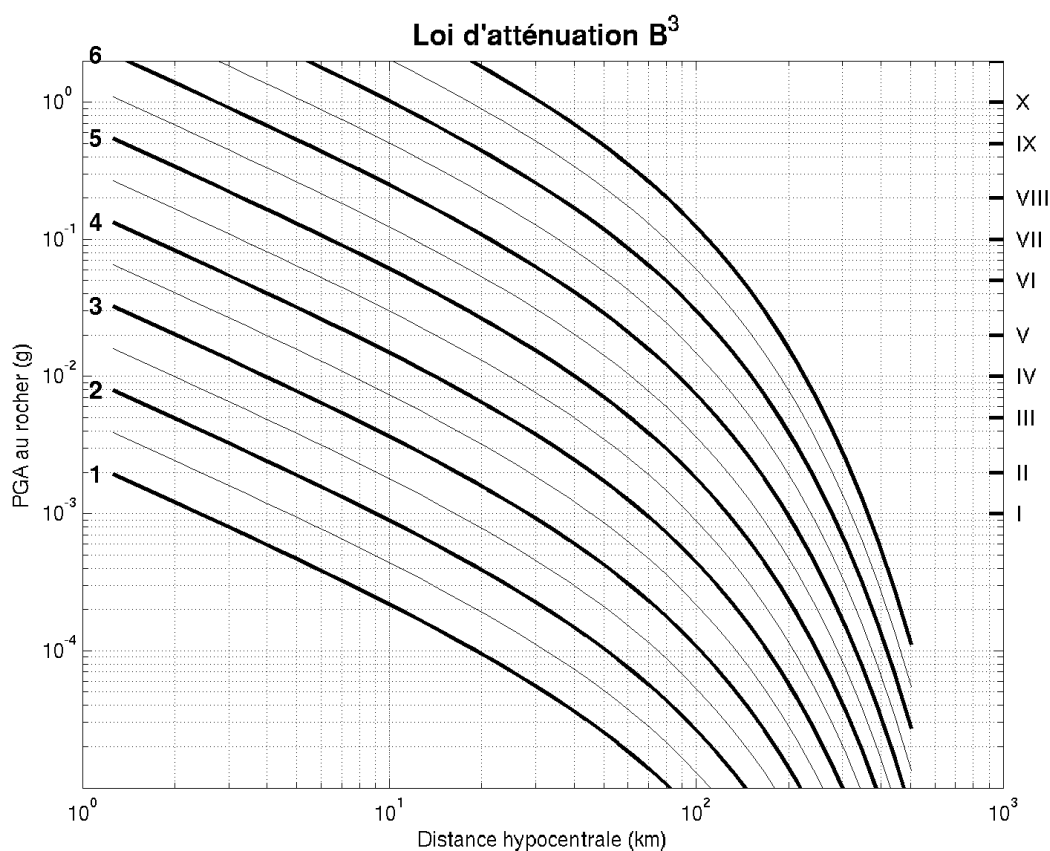


Figure 5. Représentation de la loi B-Cube complète : PGA calculé au rocher (ordonnées) en fonction de la distance hypocentrale (abscisses) et de la magnitude (courbes). Sur l'axe des ordonnées à droite sont indiquées les intensités correspondantes aux PGA [d'après *Feuillard*, 1985].

En calculant les deux intensités correspondant aux accélérations théoriques moyennes et maximales, on obtient un intervalle d'intensités. Par exemple, pour un PGA calculé par la loi de **15 mg** dans une commune donnée (valeur moyenne supposée), on annonce **45 mg** possible (valeur maximale supposée) et une intensité maximale probable pour la commune entre **IV et V**.

Nouveaux communiqués OVSG

Le but final de cette loi d'atténuation est de produire des communiqués (intitulés « rapport préliminaire de séisme concernant la Guadeloupe ») semi-automatiques dont l'objectif est de préciser les effets maximaux probables d'un séisme sur les personnes et les bâtiments.

La loi B-Cube a été intégrée dans une routine de calcul automatique qui se déclenche dès qu'un nouvel événement est localisé par l'observatoire. Un document est ainsi produit et imprimé automatiquement (voir les deux exemples de simulation Figure 6 et Figure 7) si au moins une commune de Guadeloupe a une accélération théorique maximale égale à 2 mg. Le communiqué est validé par le sismologue d'astreinte et sera alors éventuellement envoyé aux autorités, collectivités et médias par courriel et fax.

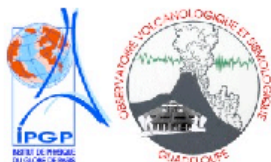
Les caractéristiques principales de ces rapports préliminaires sont les suivantes :

- La date et l'heure, la magnitude, la localisation et le type de séisme (tectonique ou volcanique) sont présentés : ils correspondent à l'identification physique du phénomène ;
- la commune la plus proche de l'épicentre est indiquée (avec sa distance hypocentrale), ainsi que la valeur de l'accélération du sol théorique et l'intensité maximale correspondante ;
- Les valeurs d'accélération et d'intensité sont estimées pour toutes les communes de Guadeloupe où la secousse a pu être ressentie, et présentées par ordre décroissant ;
- Une carte des Petites Antilles localise l'épicentre du séisme ainsi que les valeurs d'accélération estimées par un code de couleur ;
- Un tableau indique l'échelle des perceptions humaines, des dégâts probables, des accélérations et des intensités avec un code de couleur associé (largement inspiré des *ShakeMaps* de l'USGS [2001]).

Les valeurs d'accélération du sol sont données à titre indicatif : elles sont théoriques, maximales (pour les « mauvais » sols uniquement) et annoncées de façon à sensibiliser la population à cette grandeur physique, moins connue, par exemple et par analogie, que la vitesse des vents pour les cyclones.

Les valeurs d'intensité (Échelle MSK modifiée) sont également données à titre purement indicatif : elles expriment les effets probables de la secousse sur les personnes et les bâtiments en un lieu donné. Les valeurs réelles d'intensité ne seront connues qu'après un recueil de témoignages et éventuellement une enquête détaillée sur le terrain, et dépendent d'un grand nombre de paramètres inconnus ou indisponibles au moment de la rédaction du communiqué.

Le code de couleur associé à l'intensité permet visuellement de traduire au mieux les effets du séisme : dégradé sur l'ensemble de l'échelle, bleu pour la perception humaine faible à modérée, apparition du jaune-orange lors des premiers dégâts matériels, et rouge pour les dégâts plus importants.



Rapport Préliminaire de Séisme Concernant la Guadeloupe

Observatoire Volcanologique et Sismologique de Guadeloupe – IPGP

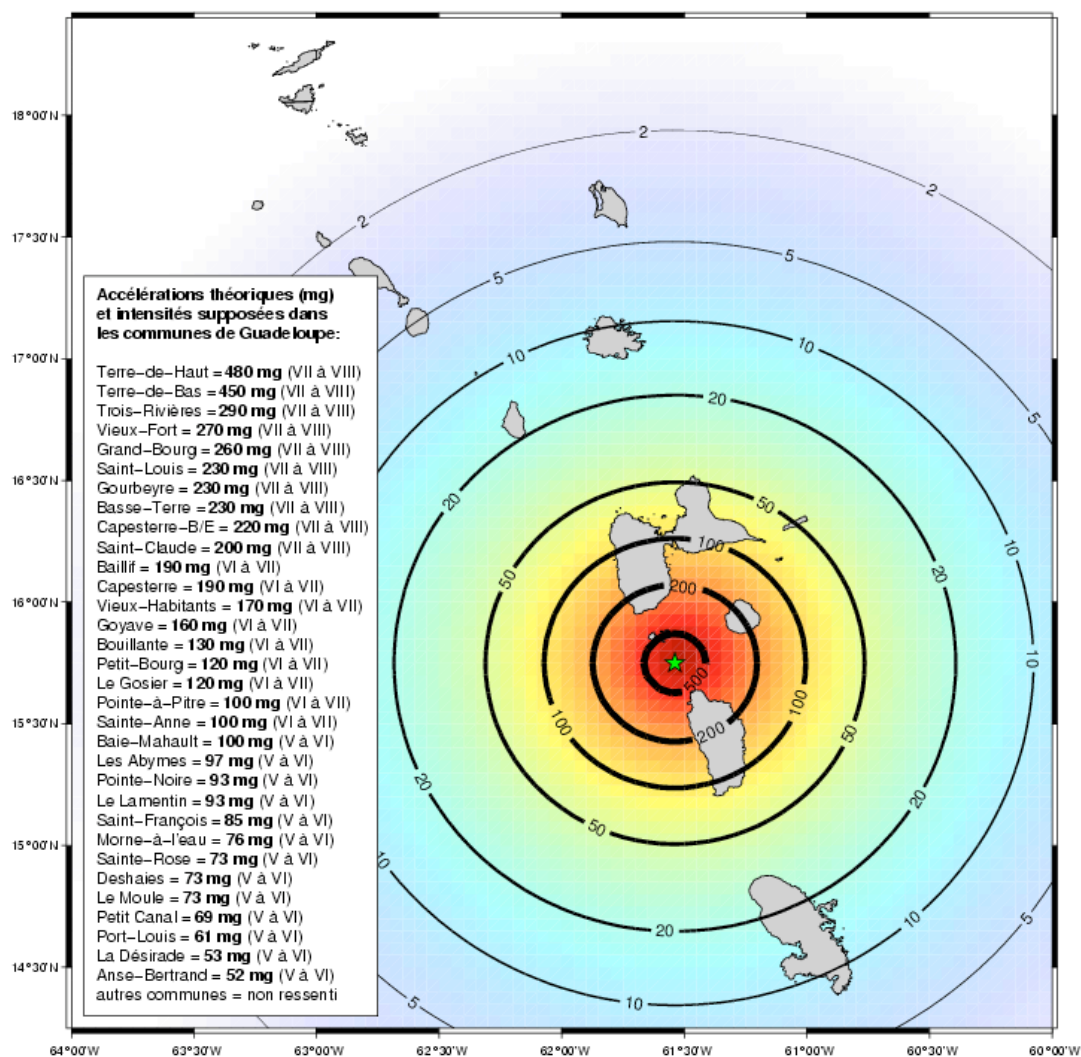
Le Houelmont – 971 13 Gourbeyre – Guadeloupe (FWI)

Tél: +590 (0)590 99 11 33 – Fax: +590 (0)590 99 11 34 – info@ovsg.univ-ag.fr – www.ipgp.jussieu.fr

Gourbeyre, le 21 novembre 2004 10:00 locales

Magnitude 6.3, 15.75°N, 61.54°W, profondeur 14 km dimanche 21 novembre 2004 11:41:08 TU

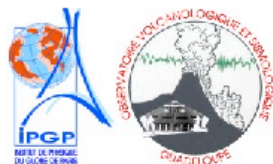
Un séisme a été enregistré le **dimanche 21 novembre 2004 à 07:41** (heure locale) par notre réseau sismologique. De magnitude **6.3** sur l'Echelle de Richter, l'hypocentre a été localisé à environ **21 km** de **Terre-de-Haut**, et identifié d'origine **Tectonique**. Ce séisme a pu générer une accélération du sol de **483 mg** (*) maximum (amplitude théorique), correspondant à une intensité sur l'Echelle MSK de **VII à VIII** (dégâts importants probables) dans les zones les plus proches de l'épicentre.



Perception Humaine	non ressenti	très faible	faible	légère	modérée	forte	très forte	sévère	violente	extrême
Dégâts Probables	aucun	aucun	aucun	aucun	très légers	légers	modérés	moyens	importants	généralisés
Accélération (mg)	< 2	2 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 50	50 – 100	100 – 200	200 – 500	500 – 1000	> 1000
Intensités MSK	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

(*) **mg** = "milli g" est une unité d'accélération correspondant au millième de la pesanteur terrestre

Figure 6. Simulation d'un communiqué pour le séisme du 21 novembre 2004, calculée a posteriori. Les accélérations et intensités théoriques correspondent bien aux mesures réelles de PGA et aux intensités données par le BCSF.

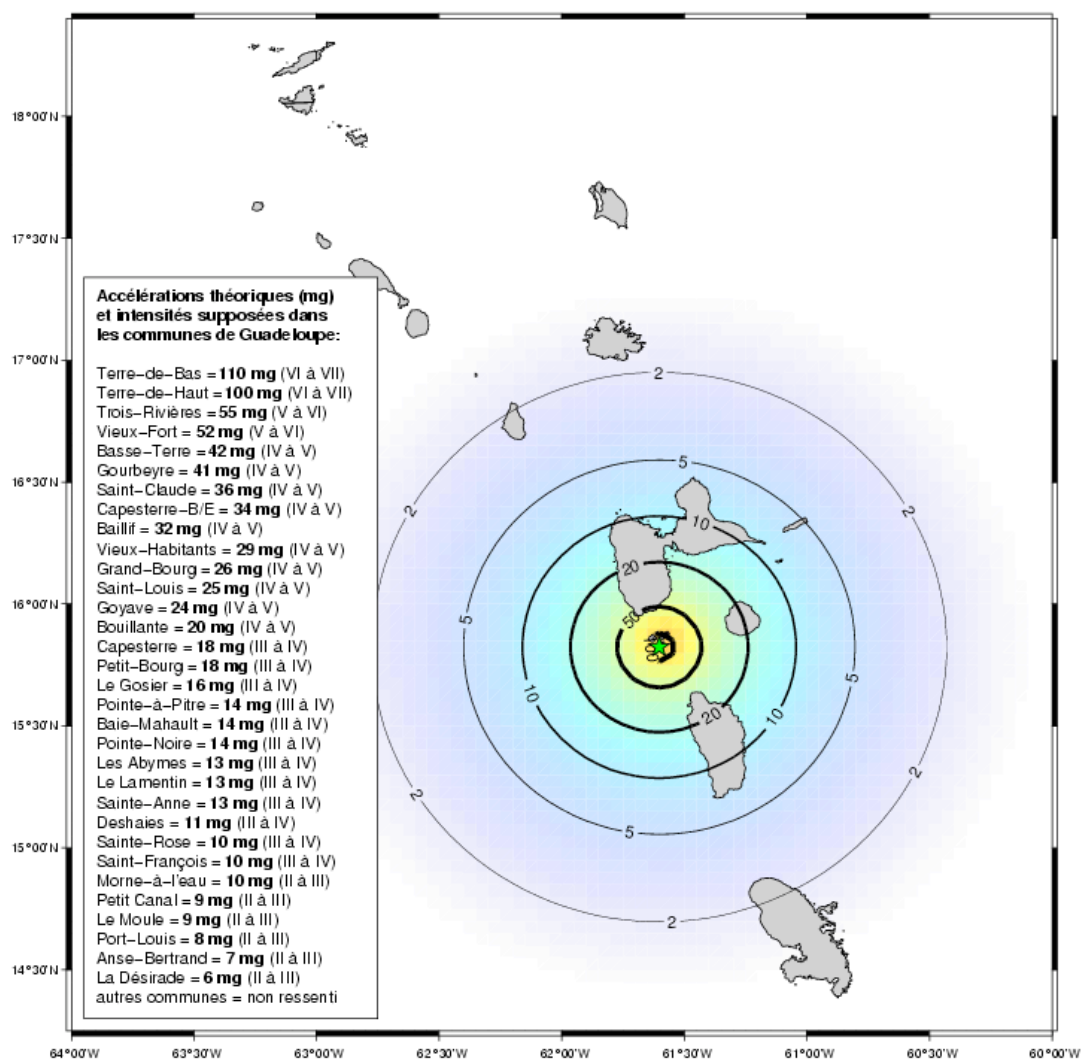


Rapport Préliminaire de Séisme Concernant la Guadeloupe

Observatoire Volcanologique et Sismologique de Guadeloupe – IPGP
 Le Houelmont – 971 13 Gourbeyre – Guadeloupe (FWI)
 Tél: +590 (0)590 99 11 33 – Fax: +590 (0)590 99 11 34 – info@ovsg.univ-ag.fr – www.ipgp.jussieu.fr
 Gourbeyre, le 27 décembre 2004 17:30 locales

Magnitude 4.7, 15.82°N, 61.60°W, profondeur 10 km lundi 27 décembre 2004 20:58:14 TU

Un séisme a été enregistré le **lundi 27 décembre 2004 à 16:58** (heure locale) par notre réseau sismologique. De magnitude **4.7** sur l'Echelle de Richter, l'hypocentre a été localisé à environ **11 km** de **Terre-de-Bas**, et identifié d'origine **Tectonique**. Ce séisme a pu générer une accélération du sol de **106 mg (*)** maximum (amplitude théorique), correspondant à une intensité sur l'Echelle MSK de **VI à VII** (dégâts probables) dans les zones les plus proches de l'épicentre.



Perception Humaine	non senti	très faible	faible	légère	modérée	forte	très forte	sévère	violente	extrême
Dégâts Probables	aucun	aucun	aucun	aucun	très légers	légers	modérés	moyens	importants	généralisés
Accélérations (mg)	< 2	2 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 50	50 – 100	100 – 200	200 – 500	500 – 1000	> 1000
Intensités MSK	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

(*) **mg** = "milli g" est une unité d'accélération correspondant au millième de la pesanteur terrestre

Figure 7. Simulation d'un communiqué pour le séisme du 27 décembre 2004, calculée a posteriori. Les accélérations estimées sont en bon accord avec les mesures des stations accélérométriques, et l'intensité estimée est de VI à VII aux Saintes, contre IV à V annoncé le jour du séisme.

Conclusions

Ces calculs ont permis d'établir une première loi d'atténuation pour les PGA, empirique et simpliste, mais permettant d'estimer rapidement les intensités maximales probables dans les communes de Guadeloupe. Intégrée dans les traitements de routine de l'observatoire, elle devra être contrôlée régulièrement à chaque séisme.

Les nouveaux communiqués de l'observatoire représentent une évolution importante dans la communication des informations lors des séismes ressentis, et répondront très probablement à une attente des autorités locales et du public.

En perspective, on peut espérer pouvoir d'une part, obtenir une loi d'atténuation plus précise (par intégration de toutes les données accélérométriques disponibles et par un traitement plus approfondi des fréquences et des effets de site), et, d'autre part, affiner la relation PGA – intensités sur base d'enquêtes macrosismiques lors de prochains séismes.

Bibliographie

- BCSF, 2004. Carte macrosismique du séisme sud-est des Saintes du 21/11/2004, *Bureau Central Sismologique Français*, http://www.seisme.prd.fr/formulaire/info_guadeloupe.htm
- Bertil D., S. Bazin, D. Mallarino, F. Beauducel, 2004. Séisme des Saintes 21 novembre 2004, *Rapport de synthèse, Centre de Données Sismologiques des Antilles*, 8 décembre 2004.
- Cotton F., 2003. Risques Naturels – risque sismique. *Cours de DEA – Master 2 Recherche, Université Joseph-Fourier*.
- Feuillard M., 1985. Macrosimilité de la Guadeloupe et de la Martinique. *Observatoire Volcanologique de la Soufrière (Guadeloupe), Éditions du Conseil Général de la Guadeloupe, Institut de Physique du Globe de Paris*, 349 p.
- GIS-RAP, 2004. Réseau Accélérométrique Permanent, <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/>
- Sadigh, K. C.Y. Chang, J.A. Egan, F. Makdisi, and R.R. Youngs, 1997. Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data. *Seism. Res. Lett.*, 68:1, 180-189.
- USGS, 2001. Background information on the ShakeMaps. *ShakeMaps Working Group*, <http://earthquake.usgs.gov/shakemap/pn/shake/about.html>
- USGS, 2004. National Earthquake Information Center, United States Geological Survey, <http://wwwneic.cr.usgs.gov/>
- Youngs R.R., S.J. Chiou, W.J. Silva, and J.R. Humphrey, 1997. Strong motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes. *Seism. Res. Lett.*, 68:1, 58-73.

Note : ce rapport a été édité sous la présente forme en juin 2006 et constitue une retranscription de notes et calculs des auteurs datant des 28, 29 et 30 décembre 2004 (archives papiers et numériques OVSG).

Appendice: mise à jour de la loi - 2009

Les communiqués B³ sont utilisés en production à l'OVSG depuis février 2005. Après 4 années (plus de 1000 communiqués produits automatiquement, environ 160 envoyés), les résultats sont très satisfaisants et nous avons pu vérifier a posteriori, sur base des témoignages, que les intensités maximales prédites étaient correctes (à plus ou moins 1 degré) dans la très grande majorité des cas, notamment pour les séismes crustaux comme les répliques du séisme des Saintes. En revanche, pour les séismes profonds ou lointains (distance hypocentrale supérieure à 100 km), on a noté une sous-estimation assez systématique des intensités. C'est le cas par exemple de la quasi totalité des séismes de Martinique, ou encore des séismes des îles Vierges.

En janvier 2009, une nouvelle inversion des données a été réalisée : avec la même équation et les mêmes données, c'est la fonction "misfit" qui a été légèrement modifiée en introduisant une pondération avec la magnitude et la distance. En effet, la grosse majorité des données concerne de petits séismes à faible distance, qui ont donc un poids prépondérant dans l'inversion par moindres carrés. En donnant un poids plus important aux fortes magnitudes et aux grandes distances, on améliore nettement les résidus (observés moins calculés) dans les domaines de la loi où il y avait peu de données, tout en laissant pratiquement inchangées les prédictions pour les courtes distances et faibles magnitudes. La nouvelle loi est donc plus satisfaisante. Les nouveaux paramètres calculés sont :

$$a = \mathbf{0.617550}, b = \mathbf{-0.00307456} \text{ et } c = \mathbf{-3.396810}.$$

L'autre retour d'expérience des communiqués concerne la difficulté de perception de l'incertitude sur la loi, mêlée à la notion de prédiction moyenne et effets de sites. Dans la nouvelle présentation des communiqués, nous utilisons la relation accélérations/intensités de *Gutenberg & Richter* [1942] :

$$I = 3 \log(PGA) + 3/2 \quad (3)$$

qui diffère du tableau de correspondances de *Feuillard* [1985] d'environ 1/2 degré d'intensité sur l'échelle MSK, mais a l'avantage d'être continue et monotone. Pour plus de clarté, nous affichons maintenant pour chaque commune, les intensités moyennes (prédites par la loi) et maximales (avec le facteur 3 d'effets de sites sur les accélérations, soit +1.4 degré sur l'échelle des intensités).

D'autres évolutions plus mineures ont concerné l'introduction des autres îles des Petites Antilles, pour lesquelles les intensités sont maintenant mentionnées si elles dépassent II, le tracé de courbes isoséistes en échelle MSK (à la place des courbes d'accélération en mg) et enfin l'introduction de la notion de demi-degré d'intensités (par exemple II-III pour indiquer une valeur numérique $2.5 \leq i < 3.0$).

La Figure 8 présente la nouvelle loi, où sont également représentées les intensités réelles observées pour les deux séismes des Saintes (Mw 6.3 du 21 novembre 2004) et de Martinique (Mw 7.4 du 29 novembre 2007). Pour les séisme des Saintes (type crustal, 15 km de profondeur), les observations sont parfaitement compatibles avec la loi et ses barres d'erreur. Pour le séisme de Martinique (type intraplaque, 150 km de profondeur), les observations de Martinique et Guadeloupe sont bien reproduites

mais on note 3 données totalement incompatibles avec la loi, il s'agit de St-Kitts (V à 350 km), Trinidad (V à 500 km), et Anguilla (IV à 450 km). Ceci n'est pas surprenant compte tenu de la simplicité de la loi B3 (atténuation isotrope et indépendante du type de séisme) ; ce séisme très particulier a en effet généré des ondes de surface qui se sont propagées jusqu'à plus de 500 km (ressenti jusqu'à Trinidad et aux îles Vierges avec des intensités de III à V).

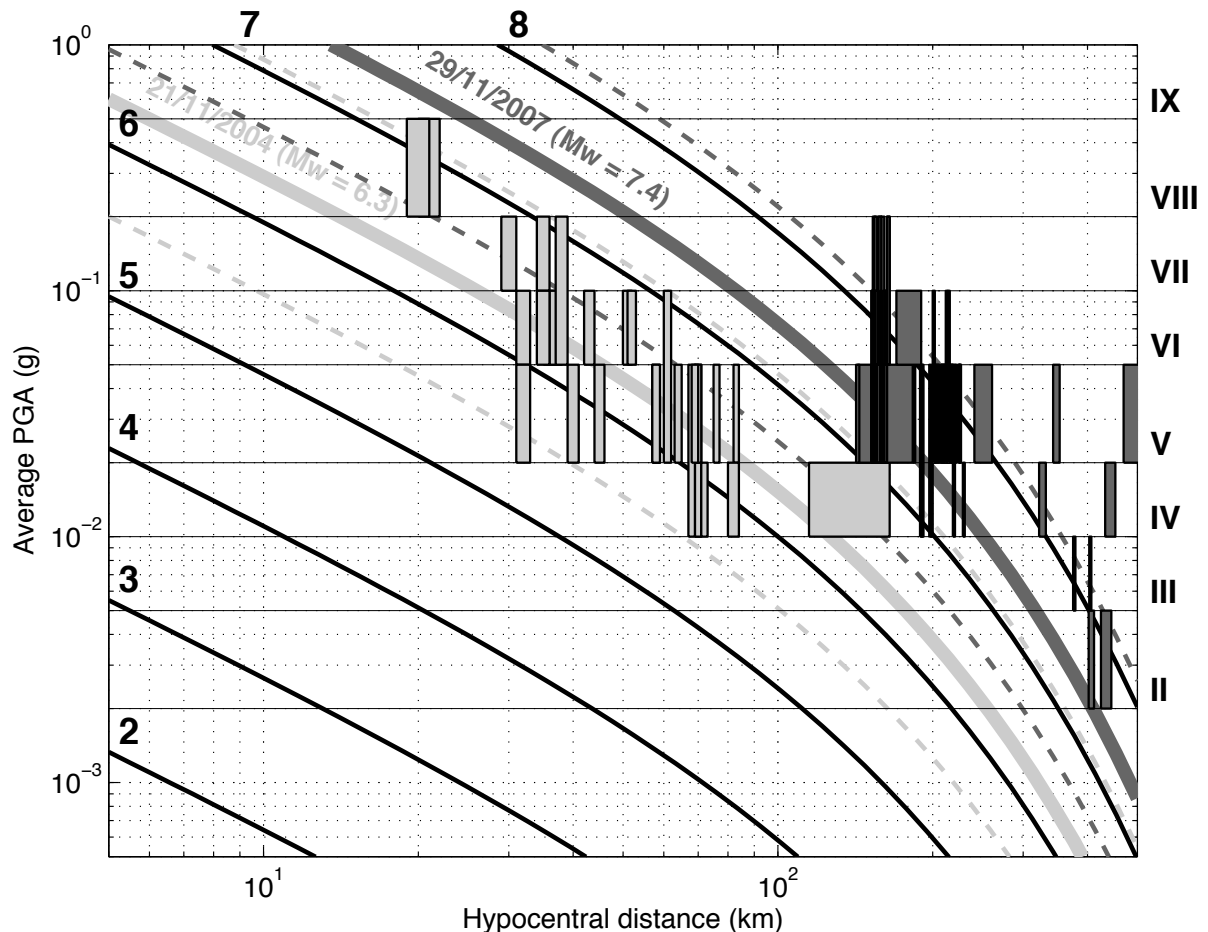


Figure 8. Nouvelle version 2009 de la loi B3 : accélération PGA (en g) en fonction de la distance hypocentrale (en km), magnitudes (courbes pleines noires) et intensités macrosismiques (chiffres romains). Sont également représentés les prédictions et données pour les 2 séismes du 21 novembre 2004 (Les Saintes, Mw = 6.3, en gris clair) et du 29 novembre 2007 (Martinique, Mw = 7.4, en gris foncé). Le trait plein correspond aux accélérations moyennes prédites pour le séisme, les traits tiretés à l'incertitude (facteur 3). Les rectangles pleins sont les intensités réelles observées dans les communes (d'après le BCSF).

Est reproduit Figure 9 un exemple du nouveau communiqué.



Rapport préliminaire de séisme concernant la Martinique



Observatoire Volcanologique et Sismologique de Martinique – IPGP
 Morne des Cadets – 97250 Fonds St Denis – Martinique (FWI)
 Tél: +596 (0)596 78 41 41 – Fax: +596 (0)596 55 80 80 – clouard@ipgp.fr – www.ipgp.fr

Fonds–St–Denis, le 30 juillet 2009 19:53 locales

Magnitude 7.4, 14.99°N, 61.03°W, profondeur 152 km jeudi 29 novembre 2007 19:00:19 TU

Un très fort séisme (magnitude 7.4 sur l'Échelle de Richter) a été enregistré le **jeudi 29 novembre 2007 à 15:00** (heure locale) et identifié d'origine **Tectonique**. L'épicentre a été localisé à **16 km** au nord-est de **Basse-Pointe**, à 152 km de profondeur (soit une distance hypocentrale d'environ 153 km). Ce séisme a pu générer, dans les zones les plus proches de l'épicentre, une accélération moyenne du sol de **33 mg** (*), correspondant à une intensité macrosismique de **VI** (dégâts légers potentiels). Suivant le type de sols, les intensités peuvent cependant avoir atteint localement l'intensité **VII** (dégâts potentiels).

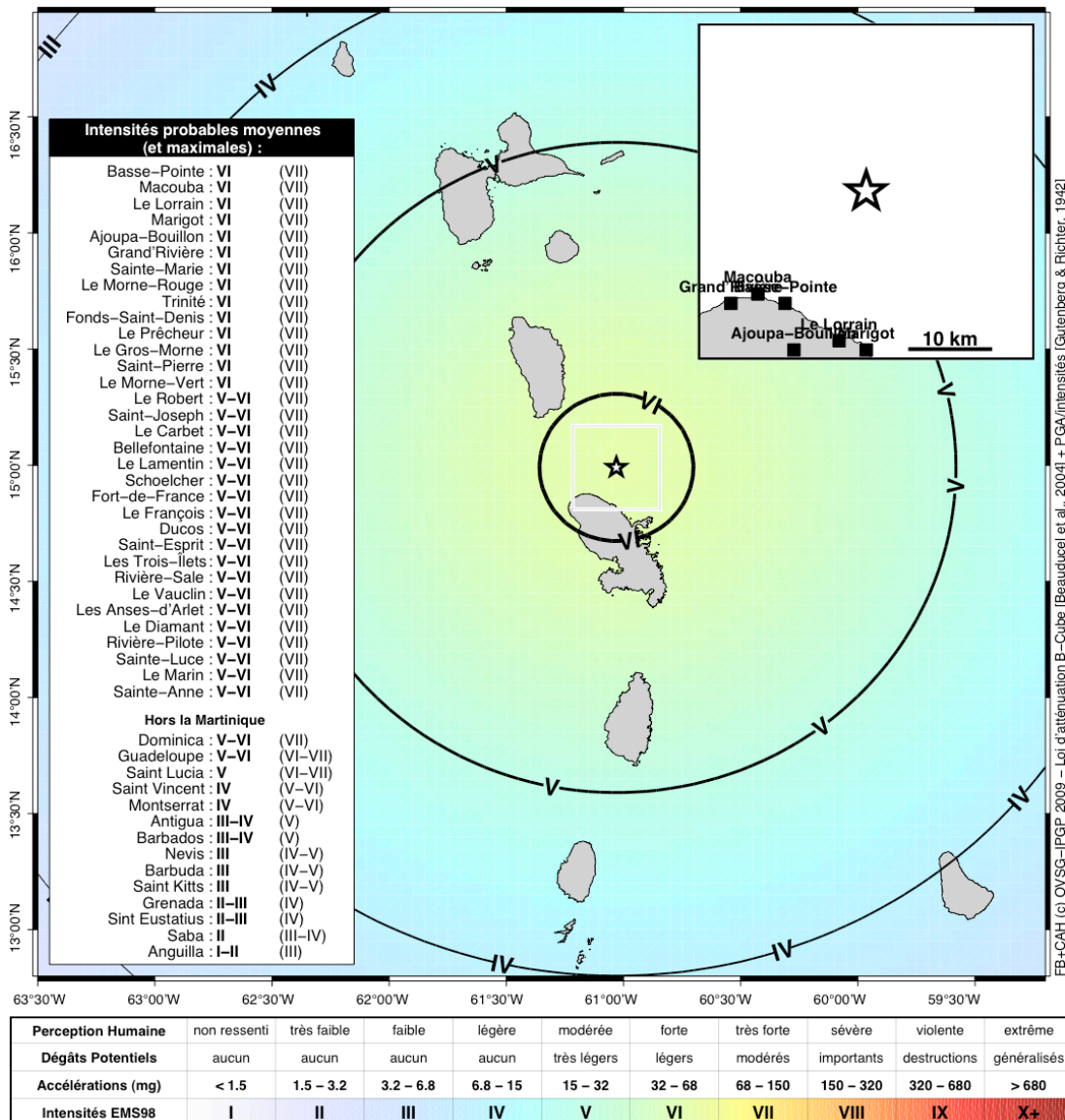


Figure 9. Exemple de nouveau communiqué pour le séisme de Martinique (Mw 7.4 du 29 novembre 2007).