

# CDSA

Centre de Données

Sismologiques des  
Antilles

## ***Localisation des principales répliques du séisme des Saintes du 21 Novembre 2004***

**15 Avril 2005**

Toute information provenant de ce rapport doit être référencée comme suit : *D. Bertil, S. Bazin, D. Mallarino, F. Beauducel, Localisation des principales répliques du séisme des Saintes du 21 Novembre 2004, Centre de Données Sismologiques des Antilles, 15 Avril 2005.*



## TABLE DES MATIERES

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCTION.....</b>                                   | <b>3</b>  |
| <b>SÉLECTION DES SÉISMES À LOCALISER.....</b>              | <b>4</b>  |
| <b>DONNÉES DISPONIBLES .....</b>                           | <b>6</b>  |
| <b>RÉSULTATS DE LOCALISATION .....</b>                     | <b>6</b>  |
| <b>COMPARAISONS AVEC LES LOCALISATIONS EXISTANTES.....</b> | <b>10</b> |
| <b>CONCLUSION .....</b>                                    | <b>11</b> |
| <b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>                    | <b>11</b> |

## Introduction

Le séisme des Saintes a été suivi de très nombreuses répliques depuis le 21 Novembre 2004. Les plus fortes ont fait l'objet d'une localisation préliminaire donnée soit par le United State Geological Survey (USGS) ou par l'Observatoire Volcanologique et Sismologique de Guadeloupe (OVSG) de l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP).

Le Centre de Données Sismologique des Antilles (CDSA) rassemble les données provenant de plusieurs réseaux sismologiques de Guadeloupe et de Martinique et les intègre pour donner une localisation a posteriori, plus fine que celle des réseaux de surveillance pris individuellement. La précision de la localisation obtenue reste dépendante des données utilisées. Des différences de plusieurs kilomètres ont pu être constatées en comparant les foyers obtenus respectivement par l'USGS, l'OVSG et le CDSA (cf. le précédent Rapport de Synthèse du CDSA, *Bertil et al., 2004*)

L'objet de cette note est de fournir, en avance par rapport au retraitement complet des années 2004 et 2005, les localisations des principaux séismes qui ont suivi la secousse principale du 21 Novembre. Seront traités tous les événements de magnitude supérieure ou égale à 4.0 mentionnés par l'USGS ou l'OVSG entre le 21 Novembre 2004 et le 1<sup>er</sup> Mars 2005. Les résultats obtenus seront comparés aux localisations préliminaires.

## Sélection des séismes à localiser

### Séismes détectés par l'USGS.

Dans son bulletin, l'USGS dresse une liste de 89 séismes dans le secteur des Saintes. Parmi cette liste :

- 51 ont une magnitude de volume mb supérieure ou égale à 4.0,
- 48 ont une magnitude mb ou une magnitude MD entre 3 et 4.0,
- 39 événements ont lieu dans les premières 48 heures, dont 28 de magnitude supérieure ou égale à 4.0.

### Séismes détectés par l'OVSG

Entre le 21 Novembre 2004 et le 1<sup>er</sup> Mars 2005, l'OVSG a localisé 1078 séismes de magnitude MD  $\geq 1.0$ . Cependant le dépouillement et le traitement des données n'ont à ce jour pas encore été effectués dans leur totalité. Ainsi sur les premières 48 heures, nous ne disposons que de 55 localisations dont 10 de magnitude MD supérieure ou égale à 4.0

### Magnitudes

L'OVSG utilise une échelle de magnitude de durée MD. La durée à mesurer correspond au temps écoulé entre la première arrivée d'onde P et la disparition de la coda dans le bruit de fond. En période de crise, les séismes se succèdent sur des intervalles très courts. Les codas se mélangent et il devient très difficile d'obtenir une valeur fiable de durée. La magnitude MD ainsi calculée est alors très approximative.

Pour les séismes de magnitude inférieure à 4.5 – 5.0, l'USGS ne dispose que de quelques rares mesures d'amplitude pour calculer sa magnitude mb. En conséquence, mb est elle aussi entachée d'une erreur importante pour les magnitudes modérées.

La figure 1 montre les différences observées entre les magnitudes MD\_ovsg et mb\_usgs. En dessous de 4.5, MD est généralement plus faible que mb. Mais dans cette gamme de magnitude et compte tenu des remarques précédentes, on ne peut pas estimer qu'une magnitude est plus significative que l'autre.

### Sélection

Nous avons choisi de re-localiser tous les séismes de magnitude supérieure ou égale à 4.0. Pour cela, on sélectionnera tous les séismes ayant une valeur MD ou mb  $\geq 4.0$ .

51 séismes répondent à ce critère.

37 ont lieu dans les premières 48 heures (figure 2) et seulement 6 dans les deux premiers mois de 2005. La secousse du 14 février 2005 n'a été suivie que de deux répliques fortes de magnitude supérieure à 4.0

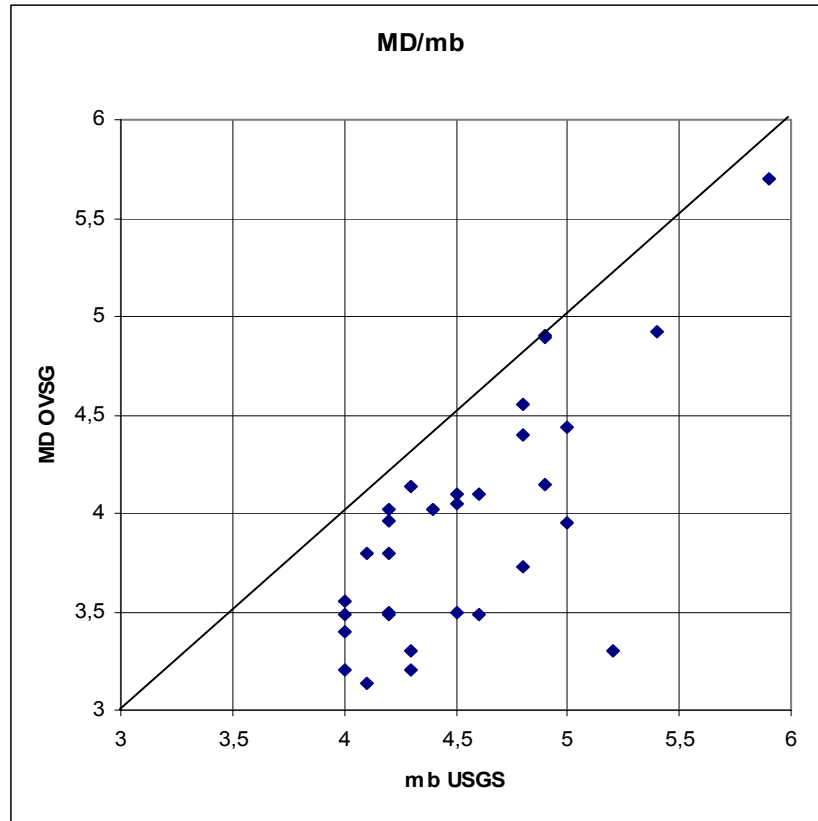


Figure 1 : comparaison entre les magnitudes calculées par l'OVSG et l'USGS

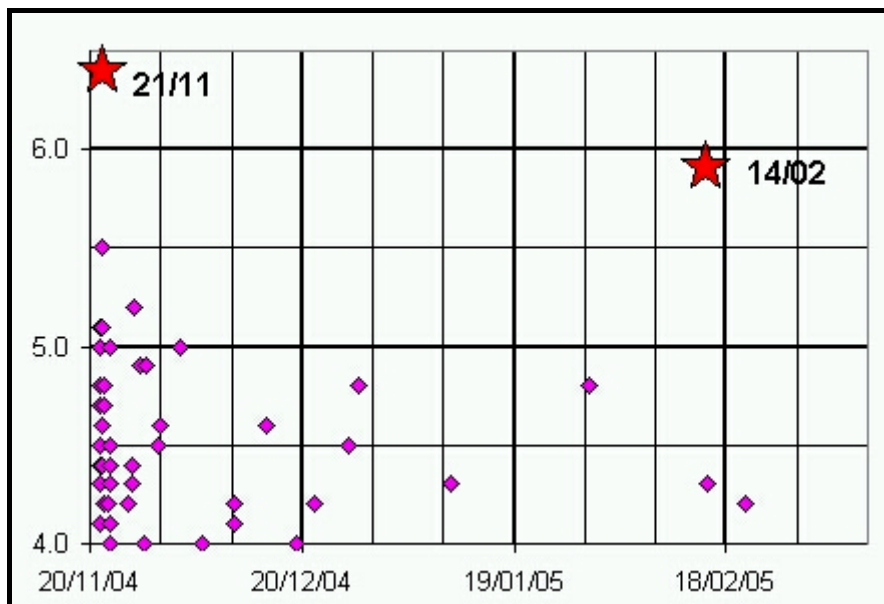


Figure 2 : répartition temporelle des séismes sélectionnés

## Données disponibles

Les données utilisées par le CDSA pour les re-localisations sont celles des réseaux suivants :

- 38 stations des réseaux de surveillance de l'IPGP (OVSG et OVMP),
- 20 stations des réseaux accélérométriques permanents RAP (IPGP) de Martinique et de Guadeloupe,
- 14 stations du réseau accélérométrique du BRGM de Martinique et Guadeloupe
- 2 stations du Conseil Général de la Martinique traitées avec les données RAP de Martinique,
- 2 stations du réseau de surveillance du CEA, traitées avec les données de l'OVMP,
- 1 station accélérométrique du CDSA (installée aux Saintes).

Pour les séismes des 21 et 22 novembre pour lesquels les localisations OVSG étaient incomplètes, nous avons repris les signaux fournis par l'OVSG et pointé les temps d'arrivées manquants.

Pour chaque événement, nous avons entre 10 et 45 stations pointées correspondant à des distances épacentrales entre 3 et 165 km.

Pour quelques séismes des premières heures de la crise, nous ne disposons que de quelques données (10 stations). N'étant pas localisés par l'OVSG, les données des stations RAP n'ont pas toutes été récupérées avant la saturation de leur mémoire. Pour ces séismes, la localisation a pu tout de même se faire avec un pointé des signaux de l'OVSG et de la station accélérométrique BRGM de Saint-Claude (GJYA).

## Résultats de localisation

Pour la localisation des séismes, le CDSA utilise le programme HYPOINVERSE-2000 (Klein, 2002). Le modèle de vitesse est le modèle à couches horizontales homogènes de Dorel (1978) reproduit dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 1: modèle de vitesse**

| Epaisseur (km) | Vitesse d'ondes P (km/s) |
|----------------|--------------------------|
| 3              | 3,5                      |
| 12             | 6,0                      |
| 15             | 7,0                      |
| Manteau        | 8,0                      |
| Rapport Vp/Vs  | 1,76                     |

Même en utilisant des données identiques, il y aura de légères différences entre les localisations OVSG et CDSA. L'OVSG utilise un autre programme (HYPO71) avec des paramètres de configurations différents. Le modèle de vitesse est le même mais avec un rapport Vp/Vs différent.

Les re-localisations sont reportées dans le tableau 2. La magnitude MD n'a pas été recalculée pour certains de ces séismes, faute de mesures de durées fiables. Nous avons repris donc les valeurs de magnitude mb de l'USGS ou MD de l'OVSG sans les modifier.

Le 21 Novembre 2004 à 21h19, l'USGS reporte deux séismes de magnitude 4.2 et 4.4 à 15 secondes d'intervalle. Nous n'avons localisé que le premier des deux. Le pointé des phases du second est peu précis car celles-ci sont masquées par la coda du premier.

Les localisations obtenues sont bien contraintes :

- l'écart quadratique moyen (rms) varie de 0.09s à 0.30s avec une moyenne de 0.24s,

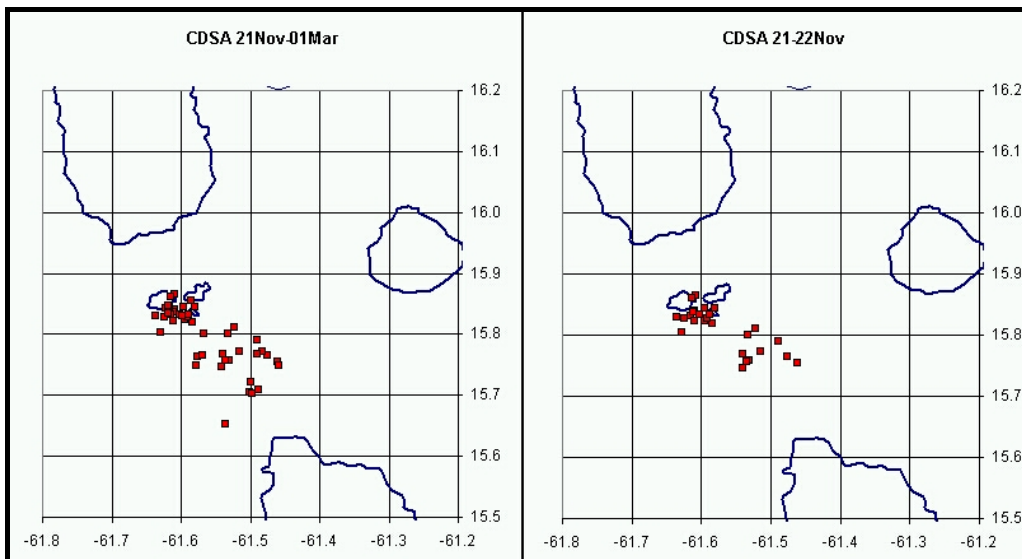
- l'erreur horizontale (erh) est entre 0.5 et 3.2 km avec une moyenne de 1.2 km,
- l'erreur verticale (erz) est entre 0.3 et 2.9 km avec une moyenne de 1.0 km.

### Epicentres

Les séismes se répartissent sur un secteur de 22 km de long sur 8 km de large entre les Saintes et la Dominique (figures 3 et 5)

Un seul séisme se situe à l'extérieur de cette zone : celui du 2 décembre 2004 à 14h47 (MD=4.9), à proximité de la Dominique.

La moitié environ des répliques se situe à moins de 5 km de distance épacentrale des îles de Terre de Haut et de Terre de Bas, ceci dès les premières heures de la crise.

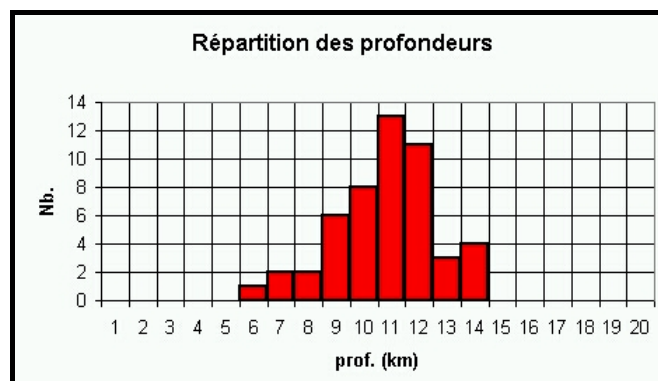


**Figure 3 : carte des localisations CDSA**

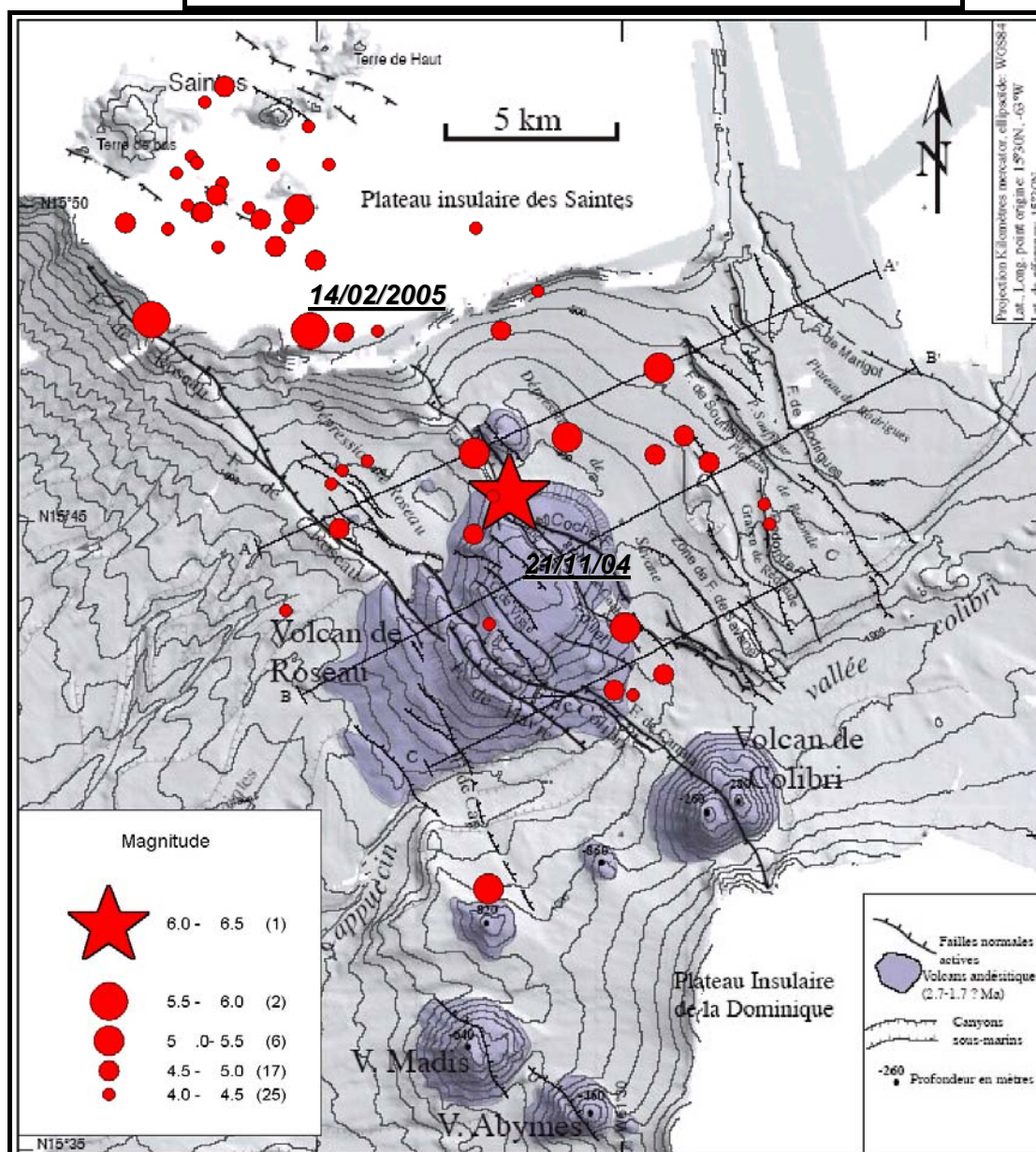
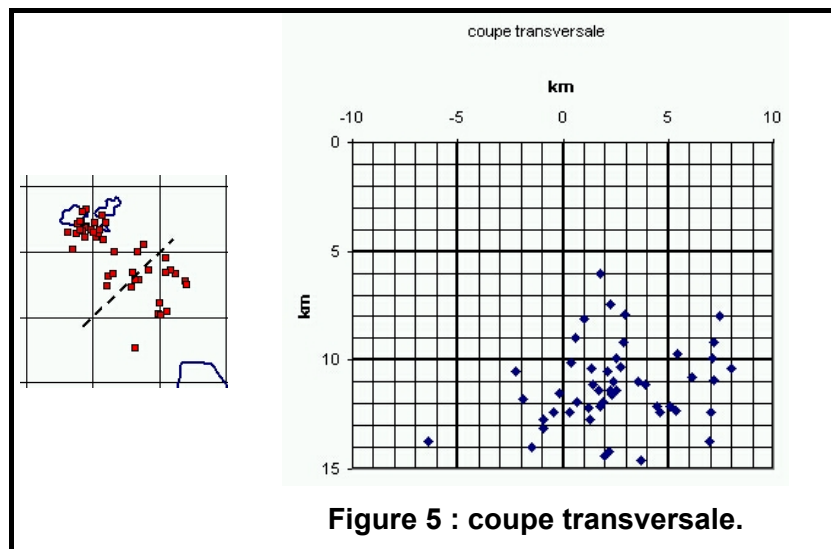
(a : du 21 novembre 2004 au 1<sup>er</sup> mars 2005, b : les 21 et 22 novembre 2004 seulement)

### Profondeurs

Les profondeurs se répartissent entre 6 et 15 km, dont la plupart entre 9 et 12 km (figure 4). La moyenne est de 11 km. Sur la figure 5, nous avons représenté une coupe transversale selon une direction N45°E.



**Figure 4 : profondeurs des relocalisations.**



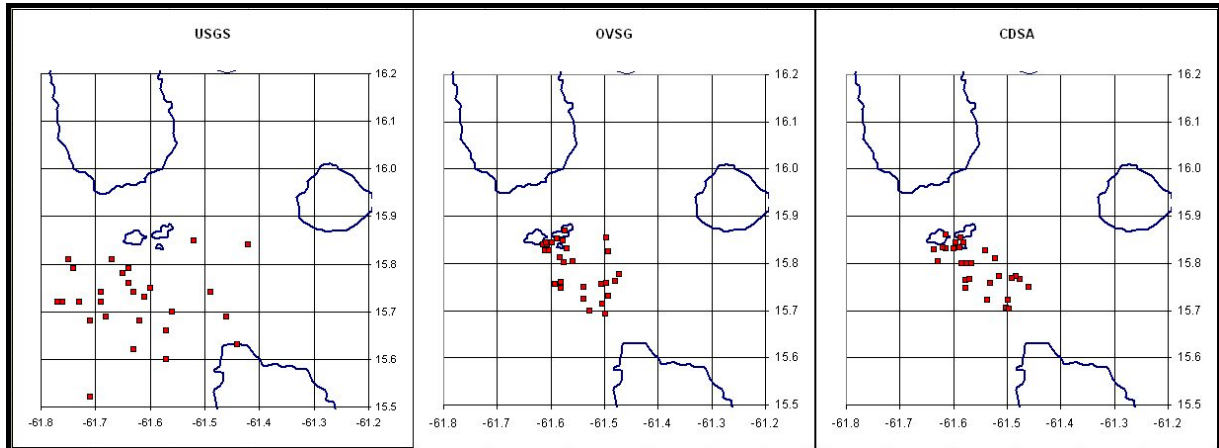


**Tableau 2 : Localisations du CDSA**

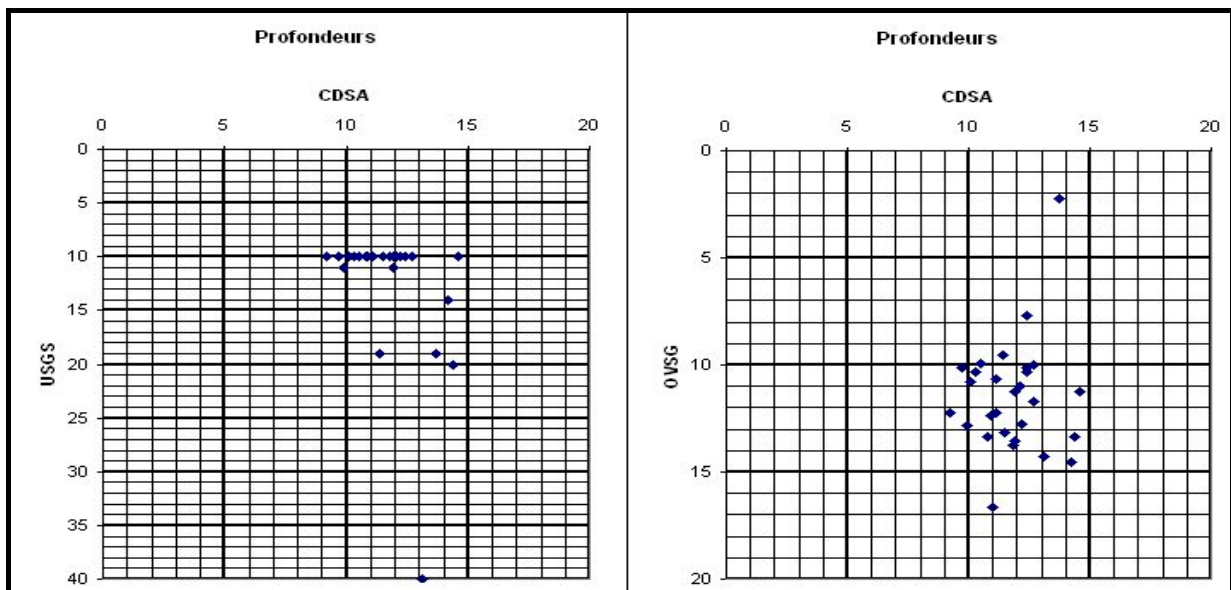
| <i>Date</i> | <i>heure</i> |    | <i>Lat.</i> | <i>Lon.</i> | <i>Prof.</i> | <i>M</i> | <i>typM</i> | <i>rms</i> | <i>erh</i> | <i>erz</i> |     |
|-------------|--------------|----|-------------|-------------|--------------|----------|-------------|------------|------------|------------|-----|
| 21/11/2004  | 11           | 41 | 8.03        | 15.7573     | -61.5305     | 14.2     | 6.4         | Mw         | 0.25       | 0.6        | 0.5 |
| 21/11/2004  | 11           | 47 | 43.36       | 15.7905     | -61.4897     | 10.4     | 5.1         | mb         | 0.19       | 2.1        | 1.9 |
| 21/11/2004  | 11           | 50 | 48.84       | 15.7563     | -61.5350     | 6.0      | 4.3         | mb         | 0.09       | 1.4        | 1.7 |
| 21/11/2004  | 11           | 51 | 48.85       | 15.8005     | -61.5330     | 12.3     | 4.8         | mb         | 0.25       | 3.0        | 2.3 |
| 21/11/2004  | 11           | 54 | 20.45       | 15.7543     | -61.4608     | 8.0      | 4.1         | mb         | 0.26       | 1.7        | 1.8 |
| 21/11/2004  | 11           | 56 | 29.81       | 15.7678     | -61.5402     | 11.4     | 5.0         | mb         | 0.21       | 1.7        | 1.1 |
| 21/11/2004  | 11           | 58 | 48.64       | 15.8655     | -61.6087     | 12.1     | 4.7         | mb         | 0.23       | 1.9        | 1.2 |
| 21/11/2004  | 12           | 2  | 13.14       | 15.7462     | -61.5405     | 9.0      | 4.8         | mb         | 0.27       | 1.4        | 1.3 |
| 21/11/2004  | 12           | 8  | 33.33       | 15.8280     | -61.5913     | 7.9      | 4.4         | mb         | 0.18       | 1.9        | 2.1 |
| 21/11/2004  | 12           | 22 | 6.95        | 15.8320     | -61.6152     | 10.4     | 4.5         | mb         | 0.26       | 1.4        | 1.2 |
| 21/11/2004  | 12           | 45 | 27.23       | 15.8230     | -61.5947     | 7.4      | 4.7         | mb         | 0.25       | 1.1        | 1.7 |
| 21/11/2004  | 12           | 58 | 46.36       | 15.8228     | -61.6105     | 8.1      | 4.4         | mb         | 0.24       | 1.2        | 1.4 |
| 21/11/2004  | 13           | 36 | 59.46       | 15.7720     | -61.5148     | 12.4     | 5.1         | MD         | 0.27       | 1.0        | 0.7 |
| 21/11/2004  | 13           | 49 | 59.12       | 15.8192     | -61.5837     | 9.2      | 4.6         | mb         | 0.17       | 3.2        | 2.9 |
| 21/11/2004  | 14           | 47 | 13.07       | 15.8277     | -61.6242     | 12.4     | 4.4         | mb         | 0.18       | 1.4        | 0.9 |
| 21/11/2004  | 18           | 53 | 2.56        | 15.8035     | -61.6288     | 11.8     | 5.5         | MD         | 0.20       | 0.5        | 0.5 |
| 21/11/2004  | 20           | 19 | 43.24       | 15.8397     | -61.6095     | 11.0     | 4.2         | mb         | 0.23       | 2.1        | 2.3 |
| 21/11/2004  | 22           | 32 | 8.01        | 15.8613     | -61.6142     | 14.6     | 4.2         | mb         | 0.21       | 0.7        | 0.5 |
| 21/11/2004  | 22           | 56 | 32.62       | 15.7653     | -61.4758     | 9.9      | 4.8         | mb         | 0.25       | 1.0        | 1.1 |
| 22/11/2004  | 2            | 1  | 19.54       | 15.8293     | -61.6358     | 12.4     | 4.7         | MD         | 0.29       | 0.8        | 0.6 |
| 22/11/2004  | 10           | 36 | 8.2         | 15.8447     | -61.5802     | 12.1     | 4.2         | MD         | 0.20       | 1.3        | 0.9 |
| 22/11/2004  | 18           | 13 | 55.28       | 15.8112     | -61.5228     | 12.4     | 4.3         | MD         | 0.23       | 1.2        | 1.3 |
| 22/11/2004  | 21           | 23 | 52.85       | 15.8328     | -61.5883     | 11.0     | 5.0         | mb         | 0.24       | 1.5        | 1.3 |
| 22/11/2004  | 21           | 53 | 32.34       | 15.8548     | -61.5857     | 9.7      | 4.0         | MD         | 0.21       | 1.4        | 1.6 |
| 22/11/2004  | 22           | 40 | 11.62       | 15.8445     | -61.5955     | 11.1     | 4.1         | MD         | 0.16       | 1.0        | 1.1 |
| 22/11/2004  | 22           | 56 | 5.24        | 15.8367     | -61.6108     | 10.5     | 4.5         | mb         | 0.25       | 1.8        | 1.1 |
| 22/11/2004  | 22           | 59 | 50.32       | 15.8332     | -61.6020     | 9.9      | 4.4         | mb         | 0.22       | 1.6        | 1.1 |
| 25/11/2004  | 5            | 56 | 30.02       | 15.8468     | -61.6178     | 11.6     | 4.2         | mb         | 0.25       | 0.8        | 0.9 |
| 25/11/2004  | 20           | 51 | 54.53       | 15.8425     | -61.6218     | 11.4     | 4.3         | mb         | 0.18       | 0.7        | 0.7 |
| 25/11/2004  | 20           | 59 | 37.68       | 15.8453     | -61.6163     | 11.5     | 4.4         | mb         | 0.18       | 0.8        | 0.9 |
| 26/11/2004  | 5            | 5  | 17.74       | 15.7213     | -61.4988     | 11.9     | 5.2         | mb         | 0.25       | 0.9        | 0.7 |
| 26/11/2004  | 22           | 49 | 35.47       | 15.8320     | -61.6147     | 11.1     | 4.9         | MD         | 0.25       | 1.1        | 0.8 |
| 27/11/2004  | 15           | 45 | 33.08       | 15.7490     | -61.4593     | 9.2      | 4.0         | mb         | 0.25       | 0.6        | 1.0 |
| 27/11/2004  | 23           | 44 | 24.03       | 15.7048     | -61.5018     | 10.1     | 4.9         | mb         | 0.26       | 0.8        | 0.7 |
| 29/11/2004  | 16           | 36 | 34.29       | 15.7090     | -61.4882     | 12.1     | 4.5         | mb         | 0.29       | 1.1        | 0.7 |
| 29/11/2004  | 20           | 53 | 51.2        | 15.7725     | -61.4827     | 10.9     | 4.6         | MD         | 0.31       | 0.8        | 0.8 |
| 02/12/2004  | 14           | 47 | 52.95       | 15.6522     | -61.5363     | 13.7     | 4.9         | MD         | 0.29       | 1.6        | 1.1 |
| 05/12/2004  | 19           | 24 | 33.12       | 15.7037     | -61.4967     | 11.9     | 4.0         | mb         | 0.26       | 0.6        | 0.5 |
| 10/12/2004  | 7            | 53 | 9.77        | 15.7633     | -61.5765     | 12.7     | 4.2         | mb         | 0.28       | 1.0        | 0.8 |
| 10/12/2004  | 7            | 56 | 29.66       | 15.7658     | -61.5695     | 11.5     | 4.1         | mb         | 0.29       | 1.0        | 1.0 |
| 14/12/2004  | 21           | 29 | 26.77       | 15.7673     | -61.4908     | 10.8     | 4.6         | mb         | 0.26       | 0.6        | 0.7 |
| 19/12/2004  | 5            | 12 | 22.24       | 15.8003     | -61.5667     | 10.3     | 4.0         | mb         | 0.27       | 0.5        | 0.5 |
| 21/12/2004  | 19           | 47 | 27.2        | 15.8340     | -61.6188     | 12.2     | 4.2         | mb         | 0.27       | 0.6        | 0.4 |
| 26/12/2004  | 15           | 19 | 15.66       | 15.7477     | -61.5773     | 10.5     | 4.5         | mb         | 0.29       | 0.6        | 0.6 |
| 27/12/2004  | 20           | 58 | 14.3        | 15.8302     | -61.5988     | 11.4     | 4.8         | mb         | 0.27       | 0.5        | 0.3 |
| 10/01/2005  | 3            | 3  | 26.41       | 15.8278     | -61.5398     | 13.7     | 4.3         | mb         | 0.27       | 1.0        | 0.7 |
| 29/01/2005  | 14           | 45 | 34.01       | 15.8000     | -61.5760     | 14.4     | 4.8         | mb         | 0.20       | 0.7        | 0.3 |
| 14/02/2005  | 18           | 5  | 58.55       | 15.8005     | -61.5852     | 12.7     | 5.9         | Mw         | 0.23       | 1.7        | 1.0 |
| 15/02/2005  | 4            | 31 | 46.21       | 15.7597     | -61.5795     | 14.0     | 4.3         | mb         | 0.24       | 1.1        | 0.5 |
| 20/02/2005  | 17           | 3  | 53.99       | 15.7225     | -61.5362     | 13.1     | 4.2         | mb         | 0.24       | 0.9        | 0.4 |

## Comparaisons avec les localisations existantes

Sur les 50 séismes localisés par le CDSA, 28 ont fait l'objet de localisations préliminaires données à la fois par l'USGS et l'OVSG. Nous avons donc comparé les différences de localisation pour ces 28 événements (figures 7 et 8).



**Figure 7 : comparaison entre les localisations de l'USGS, de l'OVSG et du CDSA**



**Figure 8 : comparaison entre les profondeurs de l'USGS, de l'OVSG et du CDSA**

La profondeur du séisme principal du 21 novembre 2004 est mise à 14 km par l'USGS, 14,5 km par l'OVSG et 14,2 km par le CDSA.

Les localisations de l'USGS sont peu précises. Les épicentres sont en général décalés vers l'Ouest. Les profondeurs sont pour la plupart fixées à 10 km. En moyenne, il y a un décalage de 15 km entre les épicentres USGS et CDSA.

Les écarts entre les localisations OVSG et CDSA sont beaucoup moins importants (2 km en moyenne). Les localisations OVSG sont un peu plus dispersées pour les premiers jours de la

crise (absence de stations aux Saintes et panne de la station courte-période de Marie Galante)

## Conclusion

Le CDSA a pu localiser les 50 principaux séismes de la crise des Saintes entre le 21 novembre 2004 et le 1<sup>er</sup> mars 2005. La précision de la localisation des foyers est de l'ordre du kilomètre. Les magnitudes n'ont pas été recalculées, nous avons conservé les magnitudes MD de l'OVSG ou mb de l'USGS.

Les répliques restent groupées dans un secteur ne dépassant pas 25 km de long, s'alignant selon une direction qui reste conforme à la direction des failles connues.

Il ne nous est pas possible de visualiser distinctement le sens du pendage du système de failles qui a joué. Une relocalisation des répliques plus faibles sera nécessaire pour cela.

On observe une répartition de la sismicité en deux groupes distincts : l'un autour de l'épicentre du séisme du 21 Novembre, l'autre au niveau l'archipel des Saintes. Les deux groupes sont actifs dès les premières heures de la crise.

## Références bibliographiques

D. Bertil, S. Bazin, D. Mallarino, F. Beauducel. Séisme des Saintes - Rapport de Synthèse, Centre de Données Sismologiques des Antilles, 8 décembre 2004.

J. Dorel, Sismicité et structure de l'arc des Petites Antilles et du Bassin Atlantique. Thèse de doctorat d'état. Université Paris VI, 1978.

N. Feuillet, Sismotectonique des Petites Antilles. Liaison entre activité sismique et volcanique, *thèse*, 283pp., Univ Paris 7, Paris, 2000.

F.W. Klein, User's Guide to Hypoinverse-2000, a Fortran Program to Solve for Earthquake Locations and Magnitudes, U.S. Geological Survey, Open File Report 02-171, 2002.