

Institut de Physique
du Globe de Paris



Ministère de l'aménagement du
territoire et de l'environnement

Compilation et validation du catalogue de sismicité des observatoires IPGP des Antilles Françaises

C. Clément, P. Bernard,
Département de Sismologie,
Institut de Physique du Globe de Paris,
4, Place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05.
Tél: (+33) 01 42 57 37 44

Compilation et validation du catalogue de sismicité des observatoires IPGP des Antilles Françaises.

Clément C. Bernard P.*
et Viodé J-P. Antenor C. Lépine J-C. Beauducel F.

1 Introduction

Cette étude réalisée pour le compte du MATE porte sur la compilation et la validation des données des observatoires volcanologiques et sismologiques IPGP de la Martinique et de la Guadeloupe qui seront destinées à compléter celles des réseaux régionaux et mondiaux dans le cadre d'une étude de l'aléa sismique aux Antilles Françaises. Le présent rapport rassemble les résultats qui figuraient dans le rapport provisoire remis en Avril 2001. Il s'accompagne par ailleurs d'une synthèse avancée sur les distances de détection aux stations du réseau, de renseignements complémentaires sur les différences de temps d'arrivée entre les ondes P et S ainsi que sur les profondeurs des hypocentres des séismes les mieux contraints.

La description des données exploitées, format et couverture temporelle, est ici présentée et leur intégration sous forme de catalogue constitue la base de données indispensable pour l'étude probabiliste qui en découlera. La géométrie du réseau ainsi que les périodes de fonctionnement de chaque station sont abordées dans l'optique d'évaluer la complétude du catalogue mis à disposition.

Un des objectifs premiers de ce travail devait concerner l'homogénéisation des échelles de magnitude afin de pouvoir confronter ces données à celles d'autres catalogues. Les magnitudes considérées sont calculées sur la durée du signal et en plus faible proportion sur la distance épacentrale. Les barres d'erreurs sur la valeur des magnitudes de durée sont également estimées.

Le croisement du fichier de localisation avec d'autres catalogues régionaux ou mondiaux aboutit à la détermination de relations empiriques entre les magnitudes de durée M_d et les magnitudes d'ondes de volume P m_b et de moment M_w .

L'évaluation de la loi de Gutenberg-Richter à partir des magnitudes de durée du catalogue de localisation et pour l'ensemble de la région fournit une première valeur du coefficient b assez cohérente avec celles couramment admises, où b est toujours de l'ordre de 1.

*Contact: C. Clément P. Bernard Département de Sismologie, Institut de Physique du Globe de Paris, 4, Place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05. Tél: (+33) 01 42 57 37 44

<i>Intitulé</i>	<i>Colonnes</i>	<i>Format</i>
<i>Du 01/01/1981 au 31/12/1995</i>		
Date	1–8	jj/mm/aa
Temps origine	10–20	hh:mm:ss.ss
Coordonnées UTM X	22–29	X=000.00
Coordonnées UTM Y	31–39	Y=000.00
Profondeur (km)	41–48	Z=000.00
Magnitude Locale	50–55	ML=0.0
<i>Du 01/01/1996 au 31/12/1999</i>		
Date	1–6	aammjj
Heure–minute	8–11	hhmn
Secondes	13–17	ss.ss
Latitude N (degrés–min. décimales)	19–26	dd–mn.mn
Longitude W (degrés–min. décimales)	29–36	dd–mn.mn
Profondeur (km)	38–43	000.00
Magnitude de durée	47–50	0.00
Nombre de Phases	52–53	00
D _{épicentrale} minimale (km)	54–56	000
Écart angulaire maxi entre 2 stations (degrés)	58–60	000
Indice du modèle de vitesse	62	0
RMS des temps de phase	64–67	0.00
ERH: erreur horizontale formelle HYPO71 (km)	69–72	00.0
ERZ: erreur verticale formelle HYPO71 (km)	74–77	00.0
Q: facteur de qualité HYPO71	79	[A–D]
Coordonnées UTM Y	81–87	0000.00
Coordonnées UTM X	89–94	000.00
Commentaires	96–120	texte

Table 1–1: Format d’origine du catalogue de localisations.

<i>Intitulé</i>	<i>Colonnes</i>	<i>Format</i>
Espaces pour étiquettes	1–5	
Code de la station	6–8	XXX
Date	10–17	aaaammjj
Qualité de pointé de la P	19–22	[E,]P[D,C][0–4]
Heure d’arrivée de l’onde P	24–32	hhmnss.ss
Heure d’arrivées de l’onde S	34–39	mnss.ss
Qualité de pointé de la S	41	[0–4]
Amplitude	43–46	0.00
Période	48–50	.00 ou 0.0
Magnitude ou commentaires	52–58	Mtype=0.00
Zone de commentaires	60–71	texte
Durée (s)	73–76	0000 ou 00.0
Distance épiscopentrale (km)	78–81	0000

Table 1–2 :Format du bulletin de phases remis à jour.

2 Les Données

Les données des observatoires IPGP de la Guadeloupe et de la Martinique, compilées et envoyées par J.P. Viodé de Fort de France, rassemblent à la fois les bulletins de phases et les fichiers de localisation.

Les premiers bulletins de phases étaient annuels au départ, le plus ancien datant de 1926, puis à partir de 1975 ils ont été édités mensuellement. Les fichiers de localisations remontent quant à eux à 1981 et pour cette raison l'étude couvrira la période 1er Janvier 1981 -31 Décembre 1999.

Pour permettre une étude systématique sur la durée considérée, tous les bulletins ont été concaténés par ordre chronologique dans deux catalogues distincts.

2.1 Bulletin de phases

C'est sur le reformatage des bulletins de phases destinés à intégrer ce deuxième catalogue qu'une attention particulière a dû être consacrée afin de filtrer et homogénéiser les données. Au fil du temps et des intervenants successifs, de nombreuses incohérences s'étaient accumulées et un nettoyage complet a donc été entrepris. Il n'est pas exclu qu'un certain nombre d'erreurs ait résisté à ce traitement, ceci indépendamment des lignes déjà éditées ou écartées. Sur près de 279000 lignes constituant le fichier initial, plus de 200000 ont été sélectionnées pour la période depuis 1981 parmi lesquelles 260 ont dû être isolées en attendant une édition spécifique. Les corrections apportées englobent aussi bien celles des erreurs typographiques que la détection des noms de stations, dates ou heures erronées voire inexistantes, des décalages, scissions et dépassement de largeur dans les colonnes, du format des nombres et d'autres encore. Le format corrigé de cette base renseignant sur les phases pointées aux stations est reporté dans la table 1-2. Au total 31733 séismes possèdent au minimum une phase dans ce catalogue, ce qui ne suffit évidemment pas pour les localiser mais permet néanmoins de les détecter.

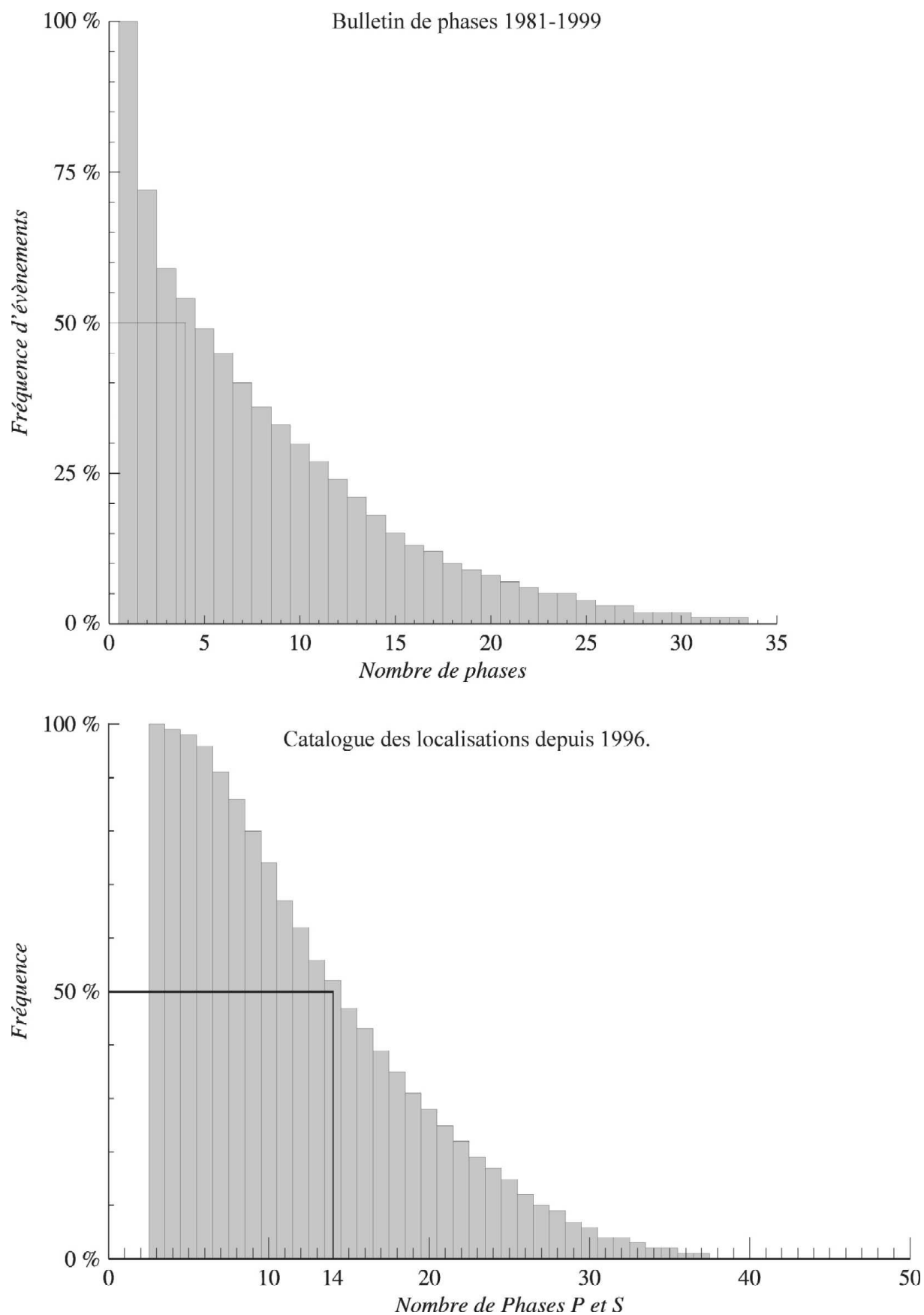


Figure 1: Proportion d'évènements en fonction du nombre minimum de phases: en haut sont reportés ceux du bulletin de phases de 1981 à 1999 (200068 phases pour 31733 séismes) et en bas ceux du catalogue d'épicentres seulement de 1996 à 1999 (1539 séismes).

L'intérêt majeur qui découle du nettoyage réalisé réside dans la filiation et la complémentarité entre le bulletin de phases (fichier d'entrée) et le catalogue de localisations (fichier de sortie). La confrontation entre les deux servira donc à valider le catalogue remis ainsi qu'à en évaluer la complétude.

Une première comparaison, souligne la proportion entre les événements localisés et ceux seulement détectés. Sur la figure 1 du haut qui reporte la distribution des événements relevés dans le bulletin de phases en fonction du nombre de phases P et S pointées, on constate qu'au moins 50% ne possèdent pas plus de 4 phases. La figure du bas indique quant à elle que plus de la moitié des séismes entre 1996 et 1999 ont été localisés avec au moins 13 phases. Ce dernier décompte ne peut remonter aux années antérieures puisque les informations complètes sur les localisations ne sont édités que depuis 1996.

2.2 Catalogue des localisations

L'ensemble du catalogue contient le résultat de la localisation de 9031 événements. Pour la période 1981-1995, les informations reportées pour chacun d'entre eux se résument à la date et temps d'origine, aux coordonnées UTM épicentrales, à la profondeur et à la magnitude des 7489 séismes localisés.

Puis à dater du 1er Janvier 1996, les résultats issus de HYPO71 affichent davantage de renseignements qui sont décrits dans la table 1-1.

Si on ne considère que les séismes contenus dans le cadre compris entre les longitudes $296,75^\circ$ à $301,25^\circ$ et les latitudes $12,5^\circ$ à 19° , déjà assez large par rapport à la couverture du réseau, et une fois les séismes sans valeur de magnitude supprimés, le nombre d'observations se réduit à 8632 pour les 19 années considérées. Par ailleurs, l'identification de dates ou d'heures incohérentes pourront encore réduire la dimension de cette base de données. La carte de la figure 2 reporte la localisation des séismes contenus dans ce catalogue.

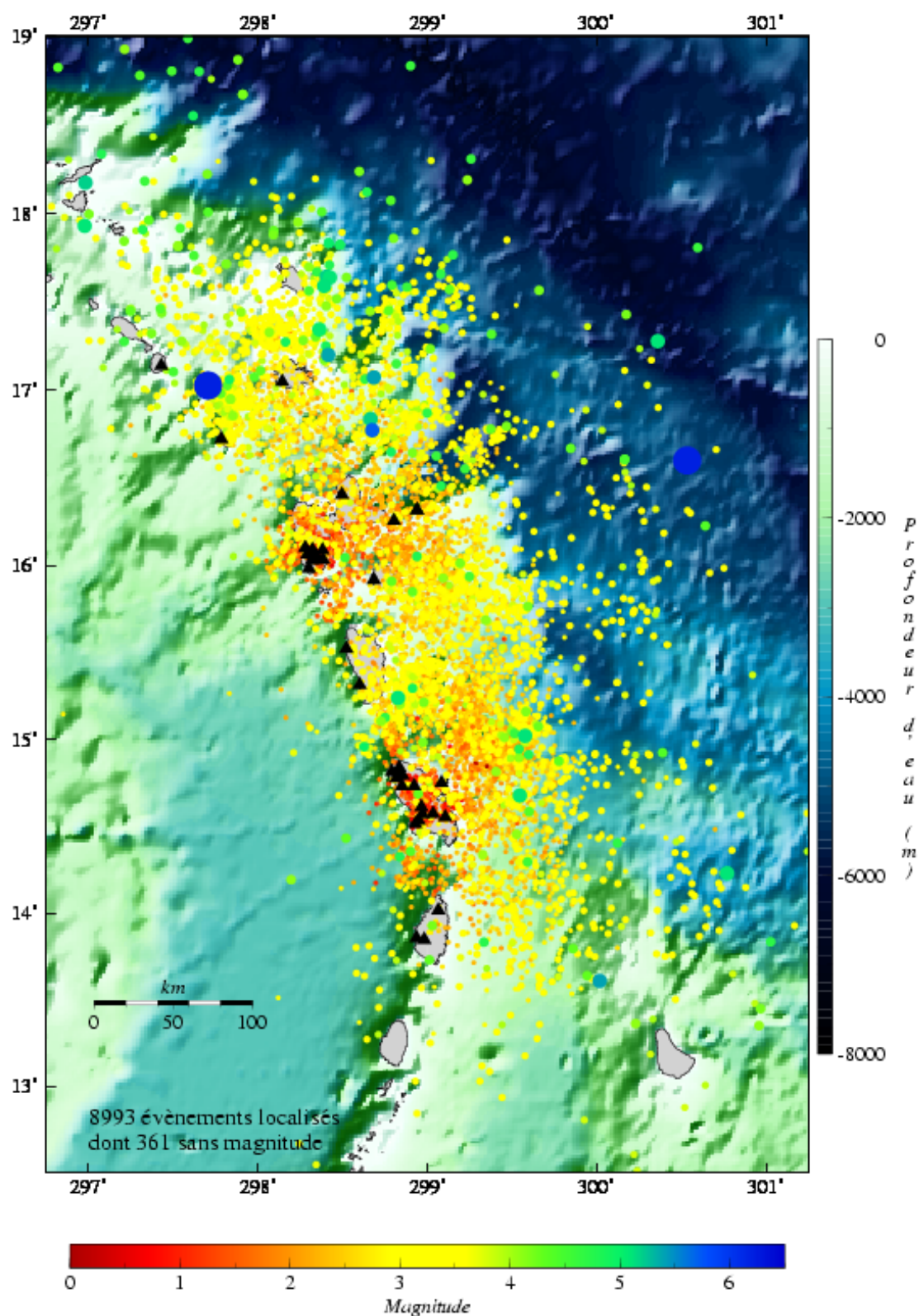


Figure 2: Ensemble de la sismicité des petites Antilles ayant pu être localisée par les stations des réseaux IPGP de Guadeloupe et de Martinique et celles du SRU (Trinidad).

3 Les réseaux

3.1 Couverture géographique

L'ensemble du réseau couvrant les Antilles Françaises englobe aujourd'hui une quarantaine de stations réparties entre l'île de Sainte Lucie (14°N) et l'île de Nevis (17°N). La carte de la figure 3 reporte leur implantation. Il ne s'agit en fait pas d'un réseau unique mais de plusieurs sous-ensembles comprenant:

- Le réseau de surveillance volcanologique de la Soufrière de Guadeloupe compte à lui seul sur l'édifice 14 stations qui sont mises en oeuvre par l'Observatoire Volcanologique de la Soufrière de Guadeloupe (OVSG),
- en Martinique, l'Observatoire Volcanologique de la Montagne Pelée (OVMP) dispose de 6 stations pour la surveillance.
- l'échelle régionale les stations des réseaux sismologiques de Guadeloupe et de Martinique sont complétée par
- les stations du SRU (Seismological Research Unit, réseau de Trinidad) localisées sur les îles de Nevis (NEV), Montserrat (MGH), La Dominique (BBL et MDN) et de Sainte Lucie (SLW, CHA, MCA).

La couverture géographique de l'ensemble du réseau qui est quasiment imposée par la répartition même des îles et couplée à l'absence de station en mer, présente donc un étirement général selon l'axe Nord-Sud décrit par l'arc antillais dans cette région. Cette caractéristique géométrique induit certainement une limitation évidente à la détection et sans doute une incertitude à la localisation des séismes situés hors de cet axe. Face à cette indétermination et pour mieux évaluer la complétude du catalogue, il convient de se pencher sur les époques de fonctionnement de chaque station.

3.2 Fonctionnement du réseau au cours du temps

Ne disposant pas encore de bilan à ce sujet, l'approche proposée consiste à comptabiliser pour chacun des sites le nombre de phases (P et S confondues) pointée par mois et reportées dans le bulletin. Cette synthèse est illustrée par les histogrammes des figures de l'annexe1 et donne une relative indication de la stabilité du réseau sur une période de temps donnée pourvu que le seuil de sensibilité puisse être précisé par la suite. En effet, pour une station, l'absence de phases dans le bulletin peut aussi bien témoigner d'un arrêt de la station, d'une mauvaise qualité du signal enregistré ou bien de la non-détection de l'événement par l'appareil.

Pour l'étude présente seuls les séismes d'origine tectonique ayant une magnitude significative pour être susceptibles d'engendrer des dégâts vont nous intéresser. C'est pourquoi les stations vouées à la surveillance des volcans et programmée pour enregistrer la microsismicité liée à leur activité ne sont pas particulièrement appropriées. Les figures de l'annexe1 ne présentent d'ailleurs pas le recensement pour celles d'entre elles qui n'étaient pas significatives (moins de 400 évènements). L'apport au bulletin des stations de Nevis au Nord et celles de Sainte Lucie au Sud du réseau apparait d'autant plus critique qu'elles sont localisées aux deux extrémités du réseau.

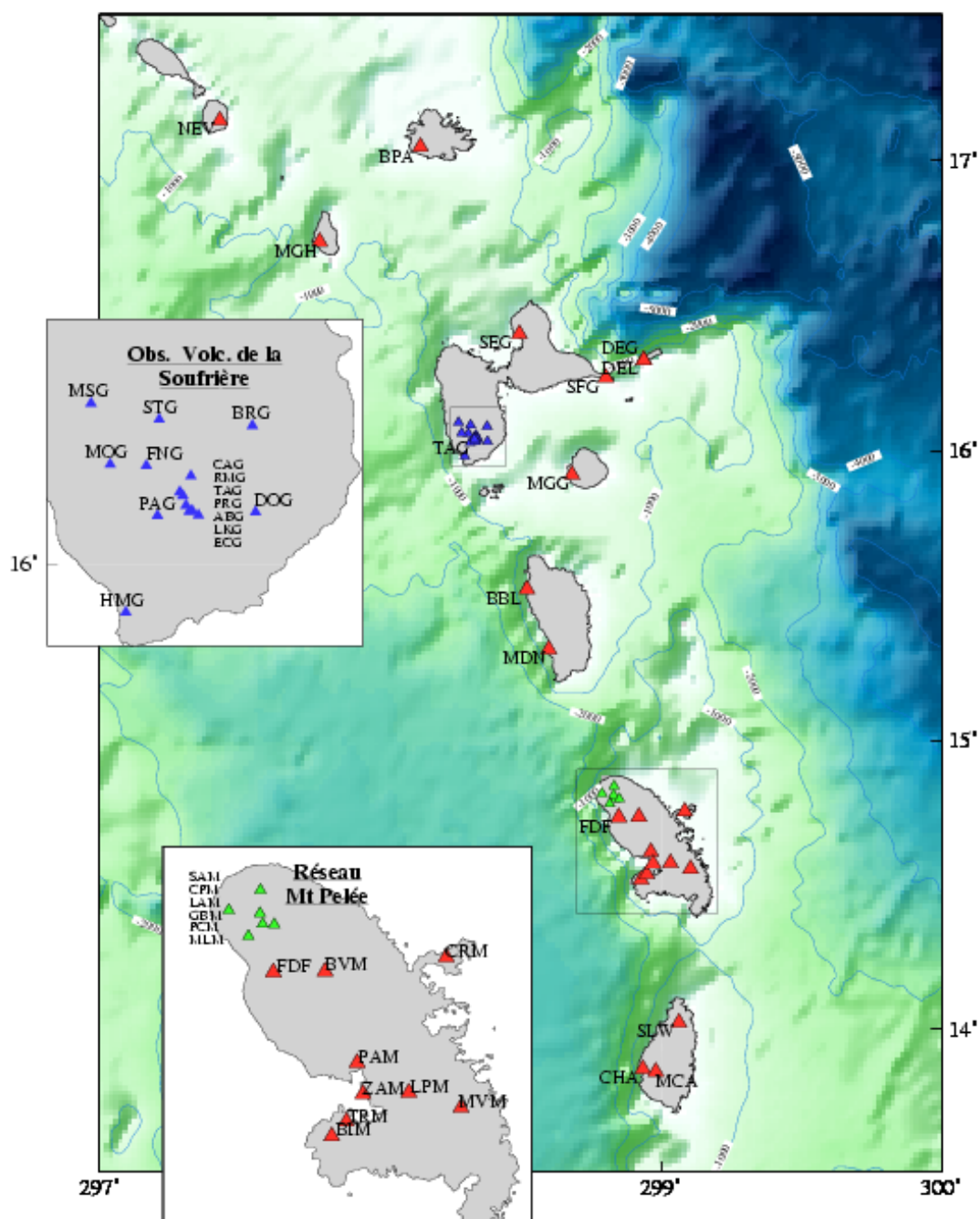


Figure 3: Localisation des stations appartenant aux réseaux IPG et SRU couvrant la zone des Petites Antilles. La Soufrière de Guadeloupe et de la Montagne Pelée en Martinique font l'objet d'une surveillance conduite par les deux observatoires volcanologiques de l'IPG (OVSG et OVMP) dont les stations figurent en encart.

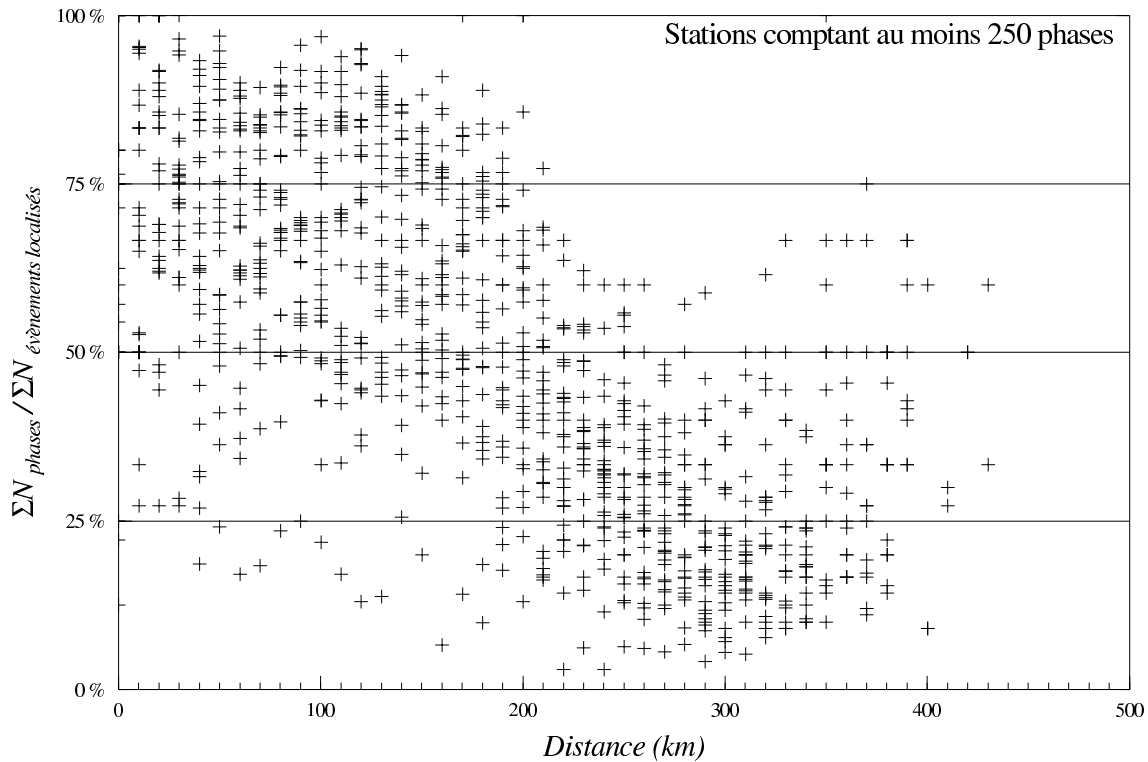


Figure 4: Synthèse sur les distances de détection des stations du réseau ayant enregistré un total d'au moins 250 phases sur la période couverte par le catalogue de localisations. Ce graphique reporte en fonction des distances épacentrales la proportion d'évènements pointés par rapport à ceux qui ont été localisés. Notons qu'en moyenne au delà de 200 à 220 kilomètres de distance les stations du réseau ne rendent plus compte de la moitié des séismes localisés.

3.3 Bilan de détection des séismes aux stations du réseaux

Toujours dans le but d'évaluer la complétude du catalogue remis, ce récapitulatif est abordé par la série de figures reportées en annexe 2. Celles-ci présentent, sous forme de cartes et d'histogrammes en fonction de la distance d'observation, la proportion relative de séismes pointés à chaque station par rapport aux séismes localisés qu'elles auraient dû enregistrer. Encore une fois et comme pour le décompte du nombre mensuel de phases pointées par station sur la période couverte par le catalogue (fig. 1), on ne peut distinguer si l'absence de phases est due à une mauvaise qualité d'enregistrement ou correspond à une réelle non-détection de l'évènement. Cependant, et à moins que les paramètres de gains aient été modifiés au cours du temps, les distances de détections devraient être indépendantes des périodes de fonctionnement des stations. Dans ce cas, le report en fonction de la distance du nombre de séismes pointés seraient vraiment représentatif des distances de détection de chaque station tandis que le rapport au nombre d'évènements qui auraient pu être enregistrés intègre à la fois les problèmes de sensibilité, de qualité du signal et d'éventuels pannes ou arrêts de fonctionnement. La figure 4 synthétise la tendance générale observée pour l'ensemble des stations du réseau et met en évidence une distance de détection maximale de l'ordre de 200 kilomètres au delà de laquelle moins de 50% des séismes localisés seront pointés à une station donnée.

4 Les Magnitudes

Il existe un nombre important de façons d'évaluer la taille d'un séisme par sa magnitude. La magnitude de référence définie à l'origine par Richter (1935) s'appuyait sur l'observation que l'amplitude des ondes s'atténue au cours de leur propagation. De cette magnitude locale mesurée pour une configuration particulière (réseau sud-californien d'enregistrement de la micro-sismicité équipé de sismomètres de type Wood-Anderson) d'autres formules ont découlé avec des dépendances relatives variables en amplitude et en période ou en durée et en distance. L'extension de la formule de Richter pour des observations à des échelles de distances plus large a conduit à définir de nouvelles échelles de magnitude dont les plus courantes sont les suivantes:

Magnitude d'ondes de volume:

$$mb = \log_{10}(A/T) + Q(D, h),$$

avec A l'amplitude du déplacement en microns, T la période en secondes et Q un facteur d'atténuation dépendant de D la distance en degrés et de h la profondeur en kilomètres.

Magnitude d'ondes de surface:

$$Ms = \log_{10}(A/T) + 1.66 * \log_{10}(D) + 3.30$$

Magnitude de moment:

$$Mw = 2/3 \log_{10}(M0) - 10.7$$

avec le moment sismique $M0 = \mu S < d >$.

4.1 Les magnitudes de durée

La formule utilisée dans le catalogue IPGP est celle définie par Lee en 1972 et calculée en routine par le programme HYPO71 (Lee et Lahr, 1975):

$$Md = -0.87 + 2 \log_{10}(D) + 0.0035 \delta$$

avec D la durée du signal en secondes et δ la distance épacentrale en kilomètres.

Ce type de magnitude locale basé au premier ordre sur une détermination de la durée du signal, est en général estimé pour une ou deux stations de références (jusqu'à 7 dans le bulletin de phases) puis moyenné. Les plus fréquemment relevées sont pour moitié celles de PAG, sur la Soufrière de Guadeloupe, et de FDF la station de Fort de France en Martinique puis viennent MOG, DEG et TAG. La figure 5 reporte la moyenne des magnitudes de durée relevées pour un même séisme dans le bulletin de phases en fonction de celle notée dans le catalogue d'épicentres. La corrélation entre les deux est proche de 1 démontrant une relative stabilité du mode de calcul des magnitudes de durée entre le bulletin de phases et le catalogue d'épicentres.

Une première quantification des erreurs (fig. 6) sur l'estimation de la magnitude de durée aboutit à une valeur de l'ordre de plus ou moins 0,25 unités de magnitude.

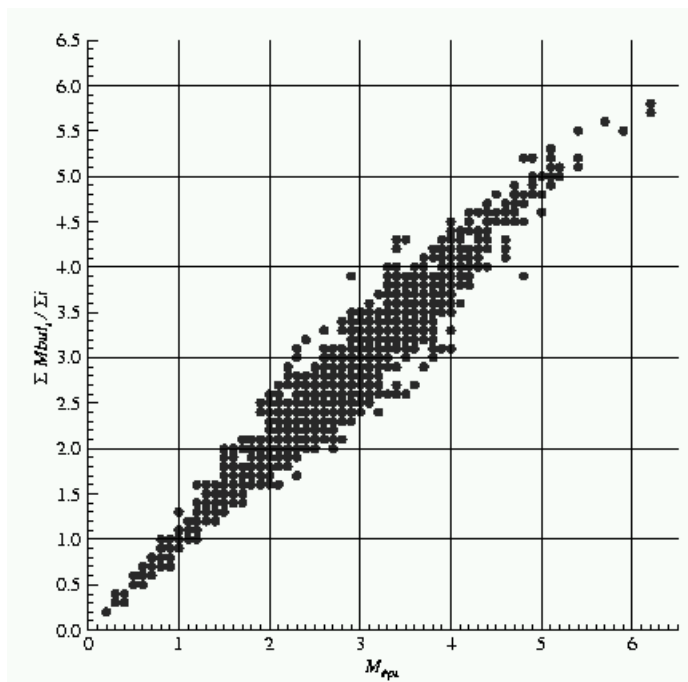


Figure 5: Moyenne des magnitudes de durée reportées dans le bulletin de phases pour un séisme donné en fonction de la magnitude calculée et éditée dans le catalogue de localisations.

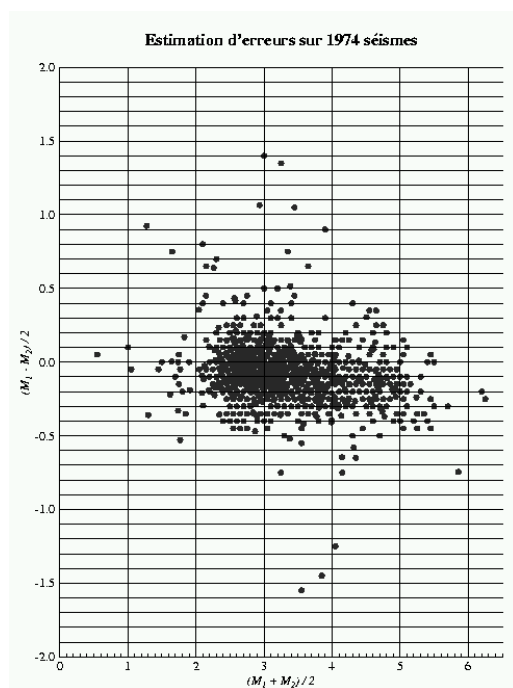


Figure 6: Estimation des barres d'erreur à partir des séismes figurant avec deux valeurs de magnitude de durée dans le bulletin de phases.

4.2 Relations avec les autres types de magnitude

De telles relations empiriques entre les échelles de magnitudes seront nécessaires pour comparer et compléter les données avec celles des catalogues régionaux ou mondiaux et cruciales pour déterminer les lois de Gutenberg et Richter. Elles sont ici obtenues en croisant les événements localisés figurant dans le catalogue d'épicentres avec ceux reportés dans d'autres bases de données.

4.2.1 Magnitudes Md de durée et magnitudes mb d'ondes de volume P

Ces premières lois sont issues du croisement avec le catalogue de l'USGS et illustrées par les diagrammes de la figure 7:

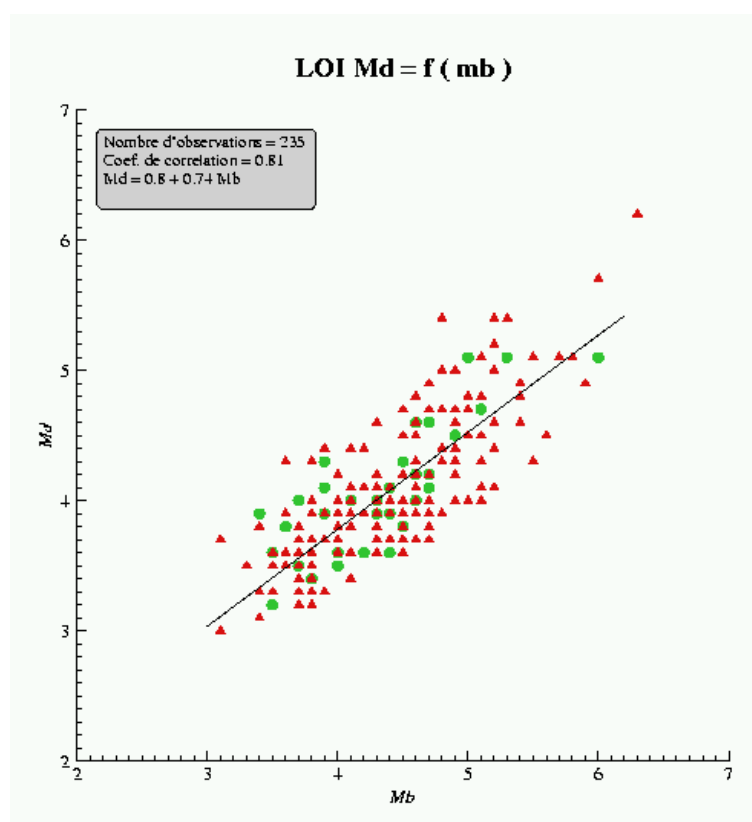


Figure 7: Relation entre magnitude de durée Md et magnitude d'onde de volume mb issue du croisement entre le catalogue des localisations et le catalogue de l'USGS. Les couleurs sont fonction des agences: en rouge: PDE, en vert GS.

4.2.2 Magnitudes Md de durée et magnitudes Mw de moment

Plusieurs croisements ont été opérés pour ces lois illustrées par les diagrammes de la figure 8. Le plus fournit se reporte au catalogue repris par GEO-TER (IPGH+Midas*):

MIDAS (Middle America Seismograph Consortium) Institutions:

CASC: Central American Seismic Center
CENAI: Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas
DPSN: Dominica Public Seismic Network
EPN: Escuela Politecnica Nacional
JSN: Jamaica Seismic Network
INDRHI: Instituto Nacional de Recursos Hidraulicos
ISU: Instituto Sismologico Universitario
FUNVISIS Fundacion Venezolana de Investigaciones Sismologicas
MVO: Monserrat Volcano Observatory
OVSICORI: Observatorio Volcanologico y Sismologico de Costa Rica
PRSN: Puerto Rico Seismic Network
RSNC: Red Sismologica Nacional de Colombia - INGEOMINAS
SRU: Seismic Research Unit of Trinidad
SSNM: Servicio Sismologico Nacional Mexicano
UPAN: Instituto de Geociencias, Universidad de Panama
USGS/NEIC: United Stated Geological Survey (National Earthquake Information Center)

Le croisement avec ce catalogue de Midas reste à manipuler avec précautions sachant que les magnitudes M_w sont généralement calculées lorsque les séismes sont suffisamment forts pour être enregistrés par les réseaux mondiaux. Les faibles magnitudes M_w qui figurent donc dans ce catalogue sont déjà tirées d'une loi d'échelle fonction de magnitudes locales.

En revanche, les comparaisons avec les catalogues d'Harvard et de l'ISC beaucoup plus succinctes ne devraient en principe pas dépendre de telles formules empiriques.

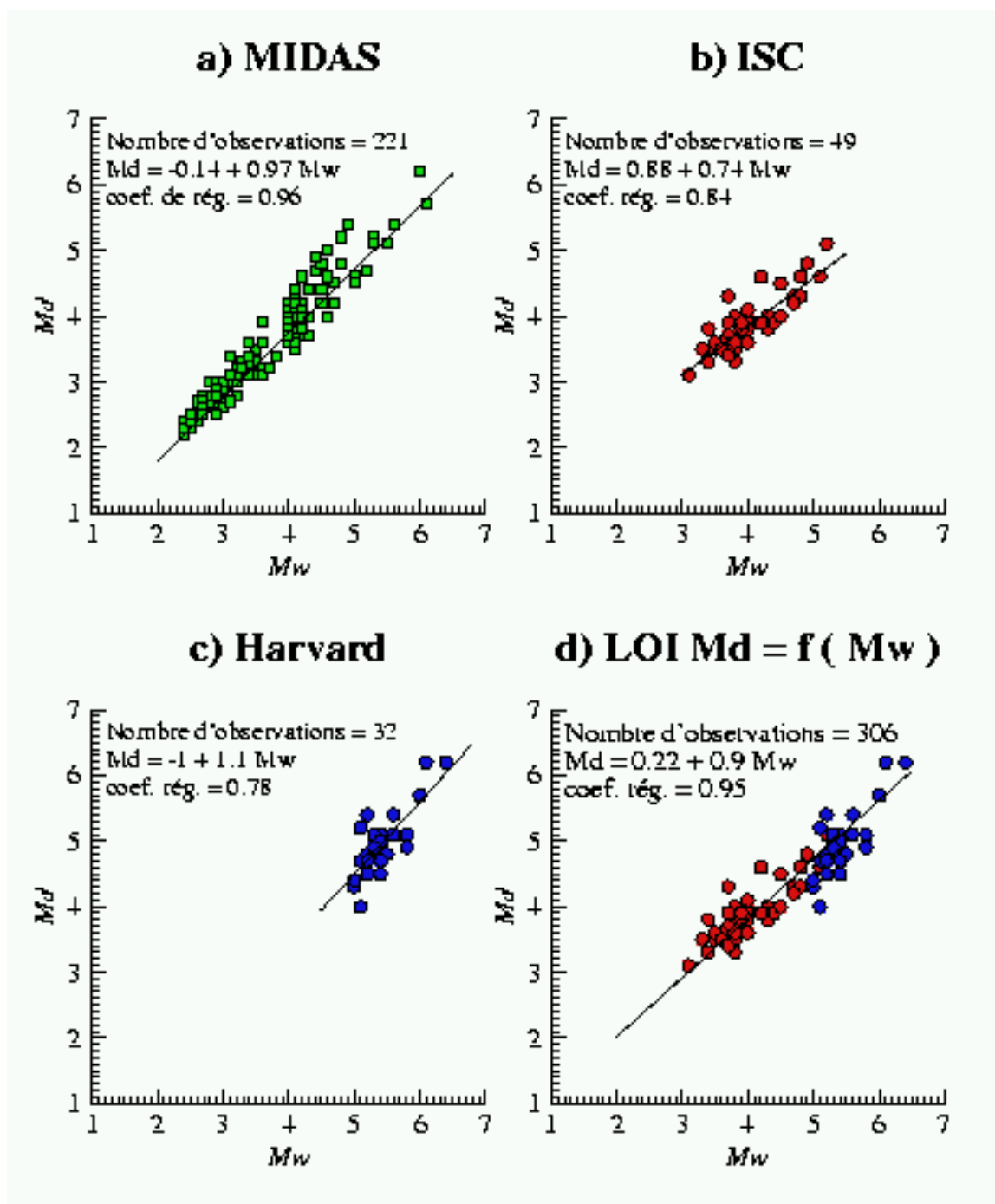


Figure 8: Relations entre magnitudes de durée et magnitudes de moment issues du croisement entre le catalogue des localisations et les catalogues de a) Midas b) l'ISC, c) d'Harvard et d) compilation de ces trois sources.

4.3 Lois de Gutenberg-Richter

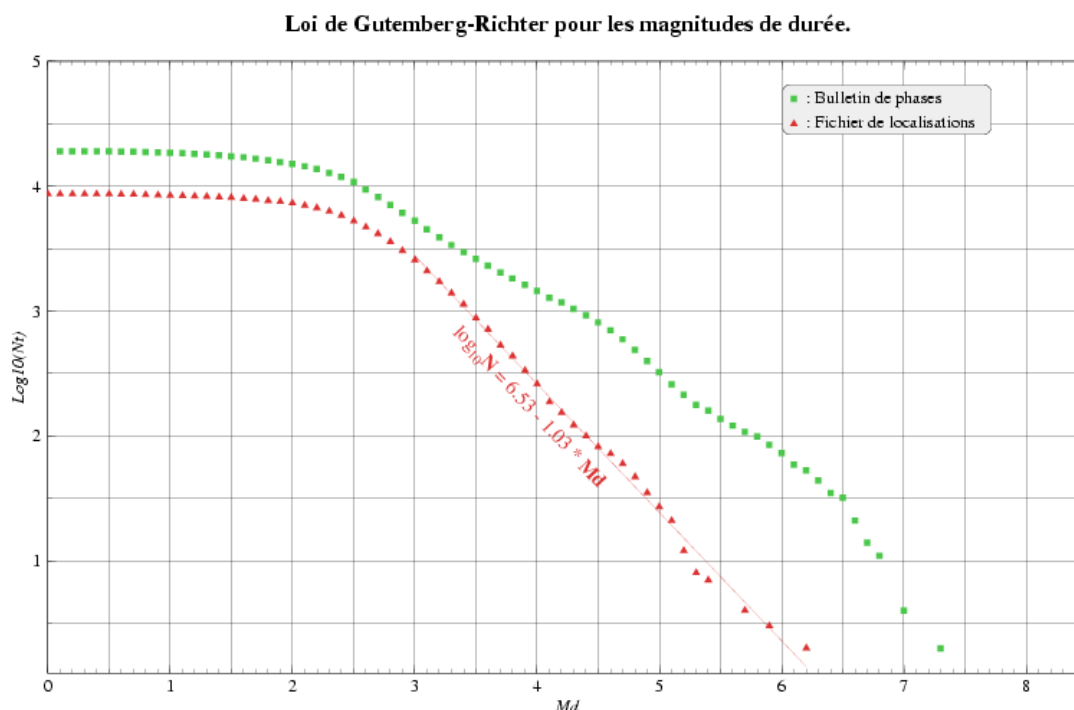


Figure 9: Loi de Gutenberg-Richter sur les magnitudes de durée. En rouge: loi pour le catalogue de localisations, en vert décompte pour le bulletin de phases.

La détermination des lois de Gutenberg-Richter sur les magnitudes de durée est illustrée par la figure 9. Une distribution est reportée pour le catalogue des localisations (triangles rouges) et une autre pour le bulletin de phases (carrés verts). Il est à noter que cette dernière représente une borne supérieure qui prend en compte des évènements détectés mais non localisés. Pour les faibles magnitudes il n'est pas rare d'avoir qu'une seule phase ce qui justifie qu'ils ne soient pas localisés mais que leur magnitude puisse quand même être décomptés.

Une complétude du catalogue d'épicentres apparaît clairement indiquée pour les magnitudes de durée supérieures à 3 ce qui semble également valide pour le bulletin de phases. La droite de régression calculée au delà de cette magnitude de coupure pour les séismes localisés donne une pente (coefficient b des lois de Gutenberg-Richter) proche de -1 en accord avec les valeurs généralement admises.

L'allure de la distribution pour les évènements du bulletin de phases montre un offset relativement constant par rapport à ceux localisés qui témoigne comme signalé avant de la proportion conséquente de séismes détectés mais non localisés. En revanche pour les magnitudes supérieures à 3, les deux courbes divergent d'autant plus franchement que les magnitudes augmentent.

Une première analyse sur ce déficit, croissant avec la magnitude, d'évènements localisés

comparé au nombre de détectés dans le bulletin de phase tend à souligner l'origine plus régionale de ces derniers, au delà de 300 kilomètres de distance du réseau. Si on se réfère aux distances moyennes limites de détection des séismes aux stations du réseau qui sont illustrées dans l'annexe2, l'étude présente devrait se restreindre à une zone géographique limitée à 250 kilomètres autour du réseau. Dans ce cas, les deux distributions présentés retrouveraient une plus grande similitude.

Enfin, notons ici que ces lois de Gutenberg et Richter sont déterminées à l'échelle régionale. Au regard de la quantité de séismes localisés par le réseau IPGP, un passage à des échelles plus locales devrait permettre de conserver une proportion d'évènements suffisante pour aborder une approche probabiliste significative du zonage sismique.

5 Développements complémentaires

Cette dernière partie se devait de joindre quelques informations supplémentaires sur les paramètres de localisation afin de fixer les limites de validité du catalogue remis . En premier lieu, il faut préciser que le modèle de vitesses employé pour localiser ces évènements est celui déterminé par Dorel et al. en 1974, dont les interfaces et les vitesses d'ondes P figurent dans le tableau ci-dessous, tandis qu'un rapport V_p/V_s de 1.85 a été utilisé.

<i>profondeur (km)</i>	<i>vitesse des ondes P (km/s)</i>
de 0 à 3	3.5
de 3 à 15 km	6.0
de 15 à 30 km	7.0
au delà de 30 km	8.0

La méthode en principe utilisée s'appuie sur la détermination des coordonnées d'un épicerentre d'essais par un premier programme de localisation avant d'obtenir la solution finale avec HYPO71.

5.1 Différences de temps d'arrivées entre les ondes P et S

En plus de la proximité d'une station à un évènement donné, un paramètre important susceptible de contrôler la fiabilité des localisations obtenues réside dans l'emploi des temps d'arrivée des ondes S. Il est probable que leur qualité, déjà conditionnée par une lecture sur les sismogrammes des composantes horizontales ou seulement verticales selon les sismomètres en place, aient également souffert d'une saturation en amplitude empêchant tout simplement leur identification.

Afin de mieux tester l'apport des ondes S aux localisation qui figurent dans le catalogue, l'approche a été la suivante. Pour tous les séismes localisés dans le catalogue d'épicentre, chacune des différences de temps d'arrivée entre les ondes P et S qui étaient disponibles dans le bulletin de phases ont été extraites pour être reportées en fonction de la distance. Ces diagrammes illustrés en figure 10 indiquent que rares sont les valeurs qui s'éloignent d'une droite moyenne défini par l'équation suivante, $Distance = 8.55 * (T_s - T_p)$, correspondant à une vitesse moyenne d'onde P de $V_p=7.3$ pour un rapport $V_p/V_s=1.85$. Cette vitesse est bien cohérente avec le modèle de vitesse utilisé. Après vérification, les points erronés témoignent pour la plupart de mauvais reports des secondes sur les temps d'arrivées des ondes P ou S et qui se traduisent par des déphasages d'unités entières de dizaines de secondes, ce type d'erreurs devenant quasiment inexistant depuis 1996.

Un tel contrôle sur ces différences (T_s-T_p) en fonction des distances d'observation garantit la continuité du modèle de vitesse employé dont les distances dépendent. L'utilisation des ondes S quant à elle améliore en principe la qualité des localisations, en particulier en ce qui concerne la détermination des profondeurs des foyers, pourvu que l'on dispose de temps d'arrivée d'ondes S juste au-dessus.

La valeur de 1.85 du rapport V_p/V_s qui fut estimée dans les années 70 mériterait sans doute de bénéficier du plus grand nombre de données dont nous disposons aujourd'hui

pour être réévaluée. Il faudrait ainsi tester si en prenant un rapport V_p/V_s plus proche de 1.73 on n'améliorerait pas sensiblement les RMS des localisations

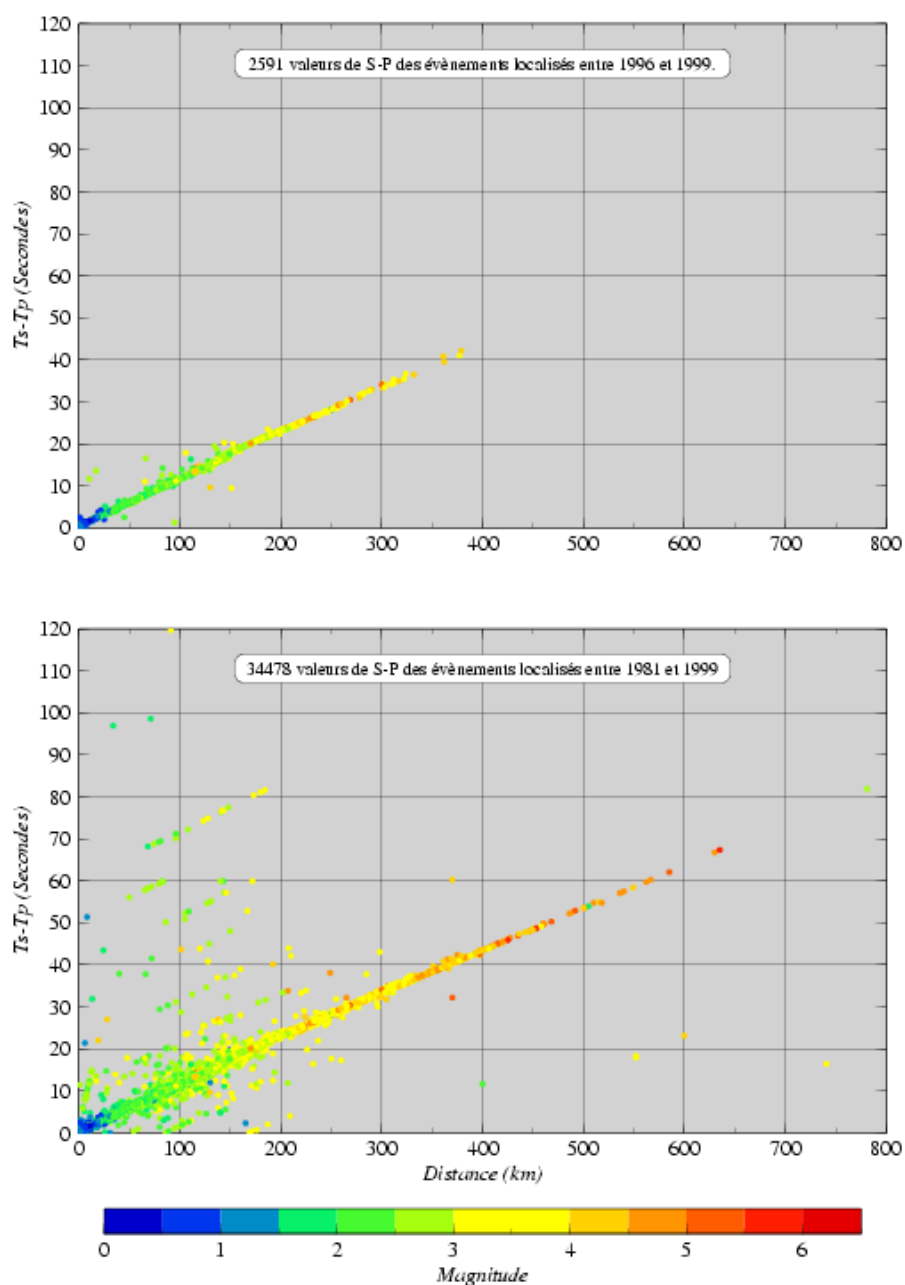


Figure 10: La distribution des différences de temps d'arrivée entre les ondes P et S en fonction de la distance issues du bulletin de phases affiche une très bonne régularité depuis 1996 tandis que pour la période antérieure plusieurs points erronés s'écartent de la tendance. Notons qu'il s'agit pour ces derniers dans la plupart des cas de déphasages de dizaines de secondes provenant de mauvais reports de chiffres dans le bulletin.

5.2 Profondeurs focales et épaisseurs sismogéniques.

Maintenant que nous venons de vérifier la cohérence des différences de temps d'arrivée entre les ondes P et S avec les distances d'observation, nous pouvons nous pencher sur les profondeurs des foyers. Il s'agit notamment de savoir si la profondeur de 30 km prise comme interface croûte-manteau dans le modèle de vitesse représente bien une réalité.

Pour ce faire, et afin de s'assurer du maximum de contraintes sur les localisations, considérons en premier lieu les séismes dont les coordonnées sont situées à moins de 25 kilomètres d'une station et observons le nombre d'évènements par tranche de 1 km en profondeur. La figure 11 de gauche présente ce décompte pour les 285 séismes sélectionnés, avec une décroissance claire du nombre d'évènements depuis la surface jusque vers 35 km de profondeur. La quantités de séismes autour de cette profondeur n'est certes pas très importante, mais vu les précautions dont on s'est entourées on peut envisager que la présence d'une base de croûte vers 35 km plutôt que 30 km puisse être fondée. Plus profond entre 90 et 160 km une seconde population de séismes reflètent l'existence de la subduction. Celle-ci est encore amplifiée par le graphe central de la figure 11 qui présente davantage une image sous les stations puisqu'il reporte pour chaque station située à moins de 25 km des 285 séismes triés précédemment la profondeur de ces derniers. Le même séisme est alors compté autant de fois qu'il y a de stations à moins de 25 km. Enfin, le graphe de droite sur la même figure rend compte de la totalité des évènements du catalogue avec une majorité de séismes localisés entre la surface et 40 km de profondeur. On peut noter aussi la présence de 3 pics à 3, 15 et 30 km de profondeurs qui soulignent les interfaces du modèle de vitesse vers lesquelles de grandes proportions de foyers sont venus se loger. Cette tendance encore plus prononcée à 30 km indique qu'un grand nombre ont été fixés aux profondeurs des interfaces du modèle et ne sont donc pas vraiment bien contraints. Une quantité significative de séismes entre 30 et 40 km de profondeur renforcerait encore une fois l'idée que l'épaisseur de la croûte sismogénique puissent atteindre en certains endroits les 35 à 40 km.

Pour vérifier si cette hypothèse aurait une étendue régionale observons maintenant en carte la répartition des 285 séismes enregistrés avec au minimum une station à moins de 25 km de l'épicentre. La figure 12 reporte la position de cet ensemble avec un code couleur pour les profondeurs. On note que la majorité sont localisés à l'intérieur ou au proche voisinage du réseau selon le critère de proximité défini et que la tendance générale est celle d'un approfondissement de la sismicité vers l'ouest en accord avec la vergence de la subduction sous les îles. Le plongement plus fort du slab semble se distinguer clairement notamment sous la partie Ouest de la Guadeloupe sous la Dominique et et sous la Martinique. Dans ces régions du réseau la densité de stations déployées en surface est maximale ce qui doit en principe renforcer la confiance sur les localisations.

Enfin pour en revenir aux séismes au dessus du plan de subduction, la figure 13 détaille la distribution des séismes localisés entre 0 et 40 km de profondeur. On constate que ceux situés dans la tranche 30 à 40 km sont relativement localisés à l'avant de la fosse sous Antigua à l'Est de la Guadeloupe mais aussi à l'Ouest de la Martinique. Avec ces seuls évènements dans cette gamme de profondeur, suffisamment contraints en terme de

proximité à une station, il semble difficile d'en tirer des conclusions définitives. De plus, pour s'assurer de la validité de ces profondeurs il serait nécessaire de vérifier si l'on dispose bien de temps d'arrivée d'ondes S pour les stations proches. En effet c'est la différence de temps d'arrivée entre les ondes P et S au dessus du foyer qui sont particulièrement déterminantes pour fixer leur profondeur, mais c'est aussi à cet endroit que l'amplitude des S risque de saturer les sismogrammes et empêcher l'identification précise de leur émergence.

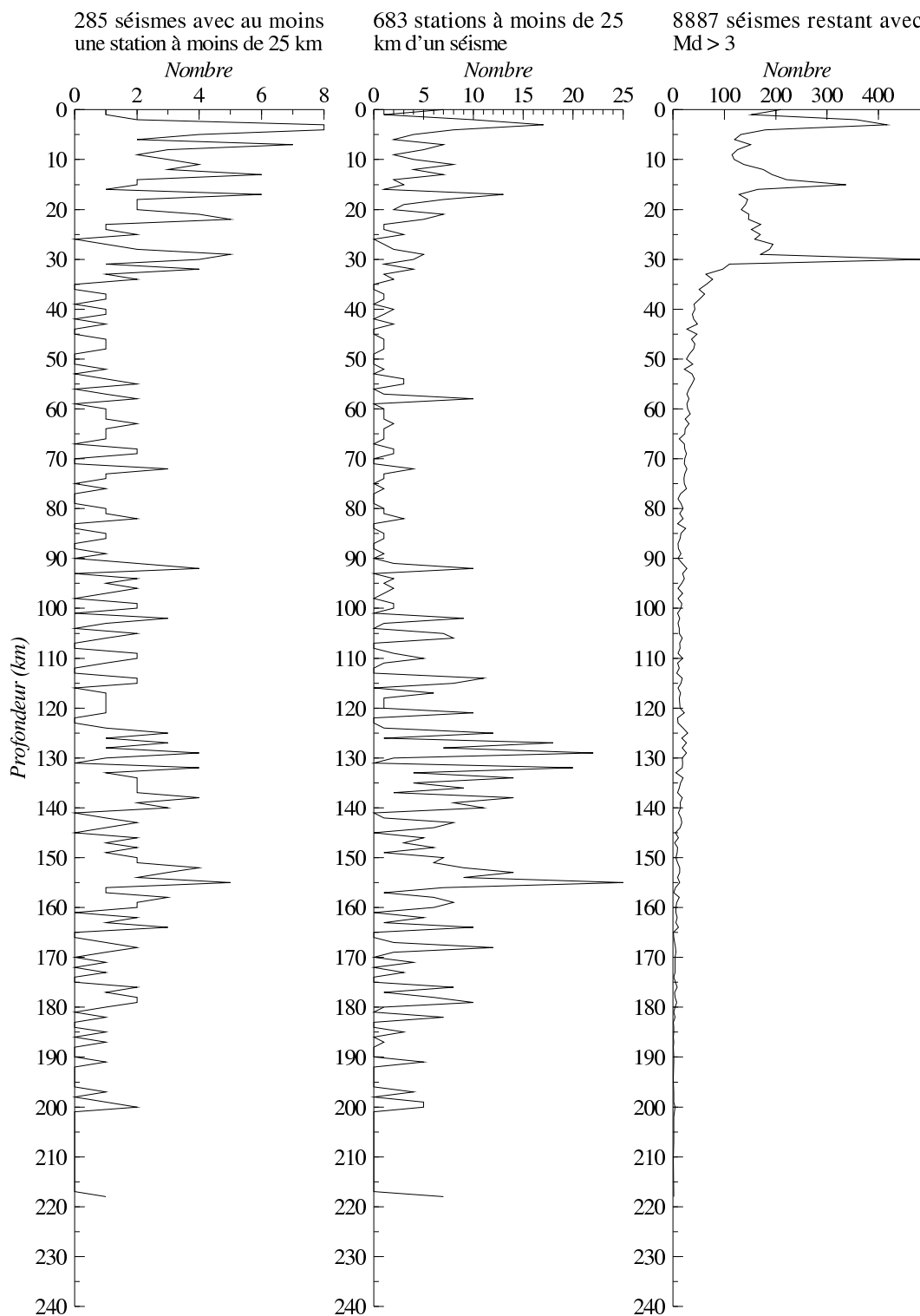


Figure 11: Synthèse sur la profondeur d'occurrence des séismes avec: à gauche ceux contraints par la proximité d'une station à moins de 15 km, au centre les mêmes séismes mais comptés pour un à chaque station proche et à droite pour tous le catalogue. Se reporter au texte pour les explications.

Seisme avec au moins une station a moins de 25 km

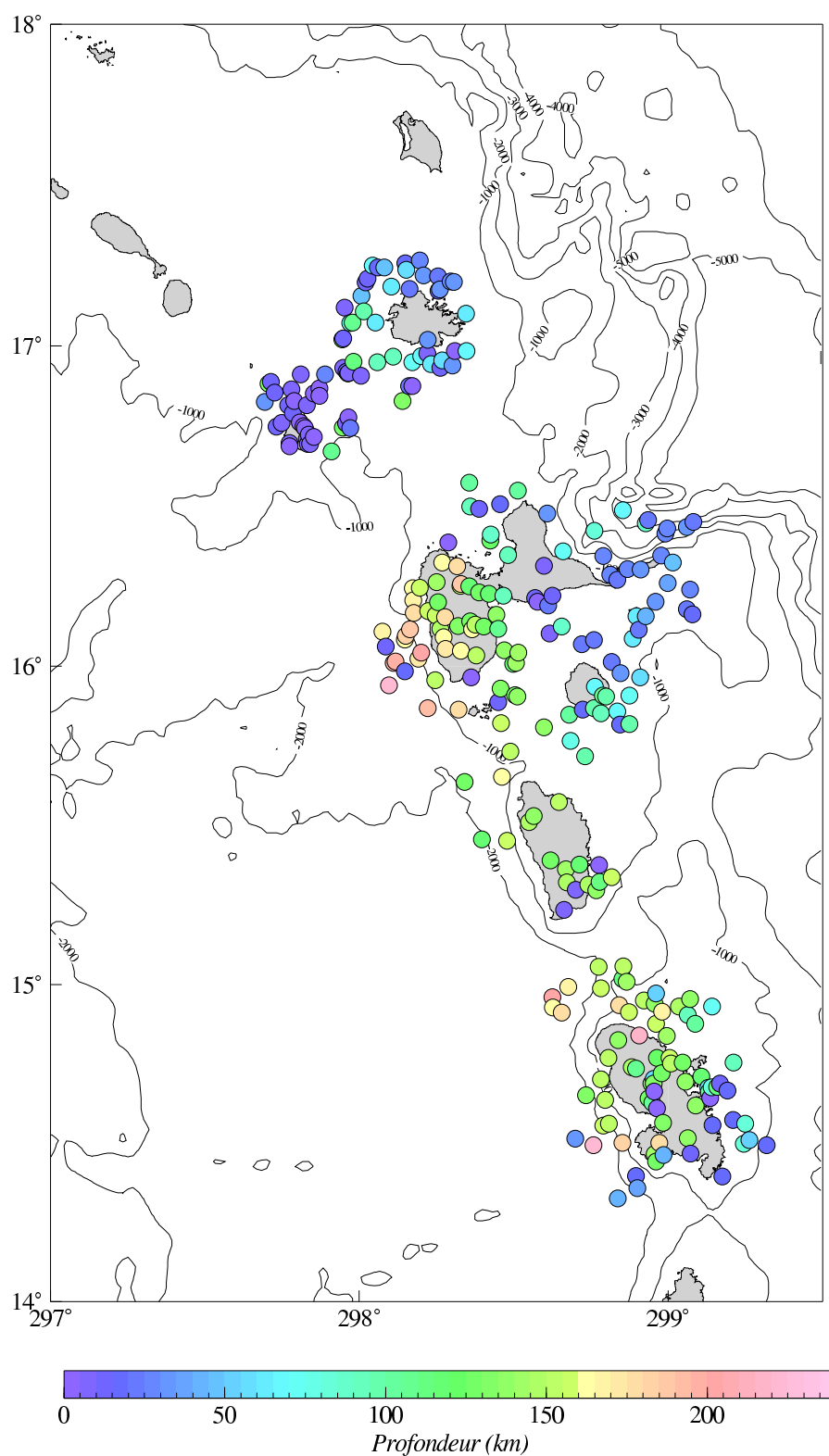


Figure 12: Carte de localisation des séismes contraints par la proximité d'une station à moins de 25 km indiquant leur profondeur d'occurrence selon le code couleur. L'approfondissement vers l'Ouest de la sismicité ainsi que le plongement du slab sous les îles semblent clairement apparents.

Seisme avec au moins une station a moins de 25 km

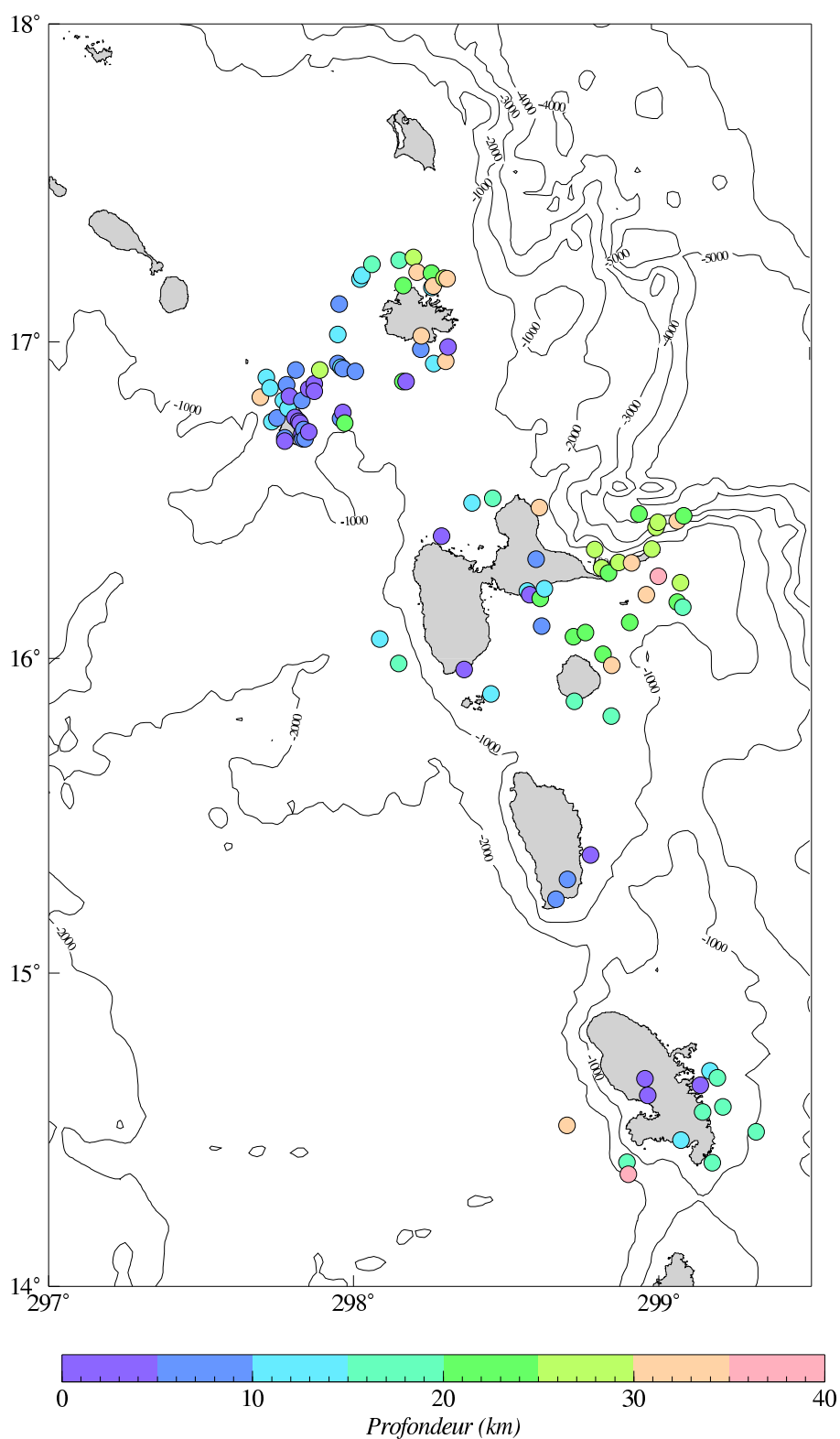


Figure 13: Carte de distribution des séismes localisés dans la gamme 0 à 40 km de profondeur. Notons les évènements à l'Est d'Antigua et de la Guadeloupe ainsi qu'à l'Est de la Martinique qui semblent indiquer des épaisseurs de croûte sismogénique supérieures au 30 km définis dans le modèle de vitesse utilisé.

6 Conclusion

Le présent rapport portait sur la validation et la compilation du catalogue de sismicité des observatoires IPGP des Antilles Françaises. Le catalogue dans son état actuel reste le même que celui remis en Avril 2001 lors du bilan d'étape. Une grande partie de cette étude a consisté à nettoyer le bulletin de phases pour pouvoir le croiser avec le catalogue d'épicentre. Une attention particulière a été portée pour s'assurer de la complétude du catalogue dans le temps et dans l'espace. Les bilans de fonctionnement et de détection opérés sur les stations mettent en avant des disparités qui seraient à prendre en compte si le réseau devait changer de configuration. Le domaine de validité du catalogue a pu être précisé avec les paramètres de localisation et les statistiques sur les phases. Un contrôle de l'homogénéité dans la détermination des magnitudes de durée a conduit à définir des relations empiriques avec les autres échelles de magnitude et d'évaluer les lois de Gutenberg-Richter sur la région.

Un effort supplémentaire sur le travail de localisation pourrait être bénéfique pour améliorer et sans doute enrichir ce catalogue. Ainsi, en repartant du bulletin de phases un plus grand nombre de séismes devrait être localisés comme en atteste la figure 14 qui présente un test à ce sujet. Sur cette carte, où près de 14500 séismes ont été relocalisés avec des paramètres sensiblement différents, on voit apparaître des essaims de séismes qui n'existent pas aussi clairement dans le catalogue actuel et qui mériteraient de plus amples investigations. Après vérification, la loi de Gutenberg-Richter déterminé sur ce dernier jeu de sismicité ne semble pas modifier les résultats en cours. Du point de vue probabiliste, dans le cadre d'une étude de l'aléa sismique, l'apport de données supplémentaires serait sans doute d'autant plus précieux que certaines zones semblent moins bien documentées. Une nouvelle évaluation du rapport V_p/V_s , comme proposé plus avant dans ce document, mérite d'être proposée puisqu'il influe directement sur la localisation des foyers pour l'enregistrement desquels figurent des pointés de phases d'ondes S. L'importance des différences de temps d'arrivée entre les ondes P et S pour résoudre correctement les profondeurs focales est primordiale et leur examen plus approfondi devraient permettre de trancher le doute concernant les épaisseurs de croûte sismogénique avancé dans la partie 5.2. L'occurrence de plusieurs séismes, notamment à l'Est d'Antigua et de la Guadeloupe, à des profondeurs approchant 40 km compatible, avec celle du séisme majeur de 1974 au Nord d'Antigua, pourrait ainsi modifier l'évaluation de l'état de contrainte au moins dans cette région.

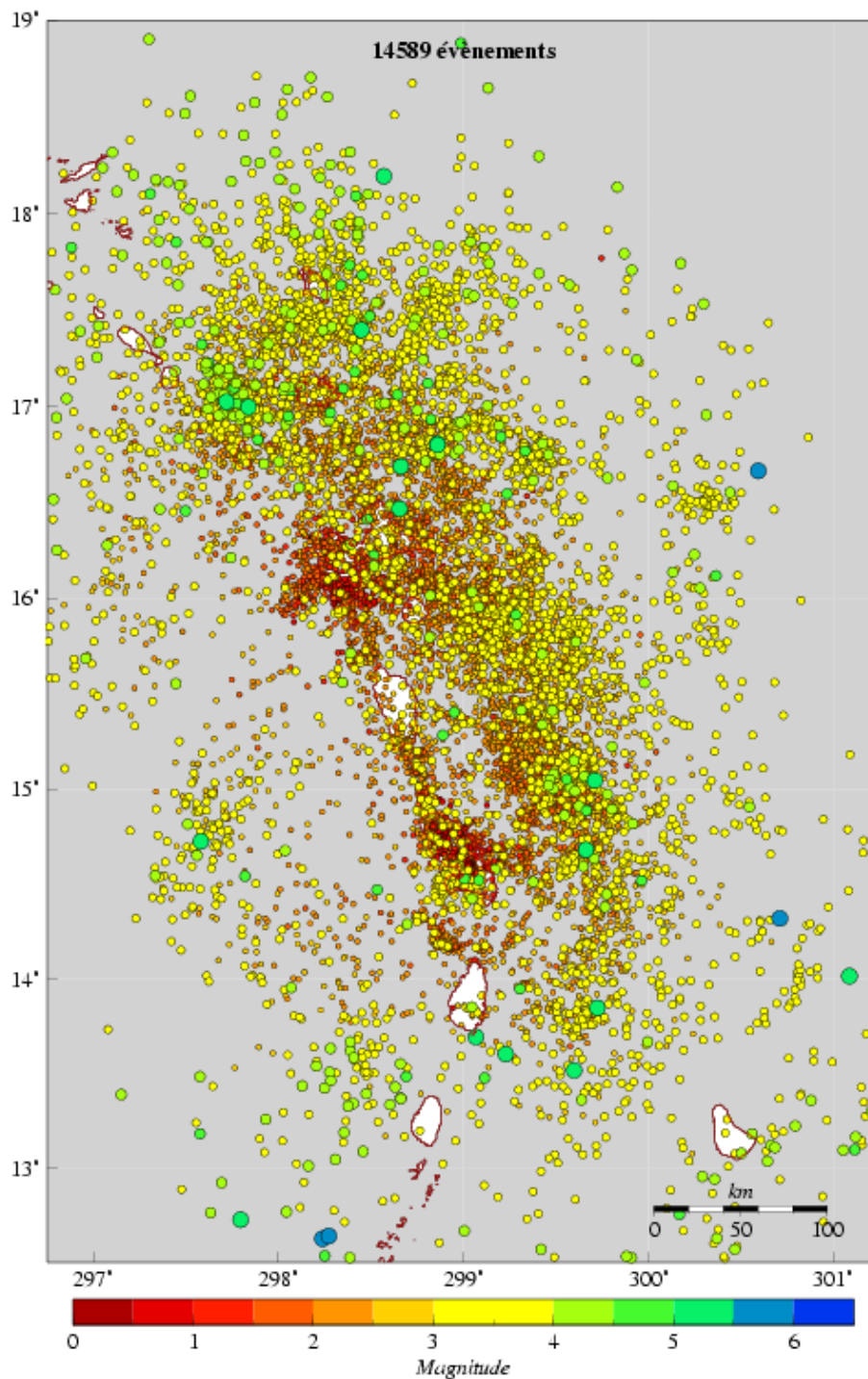
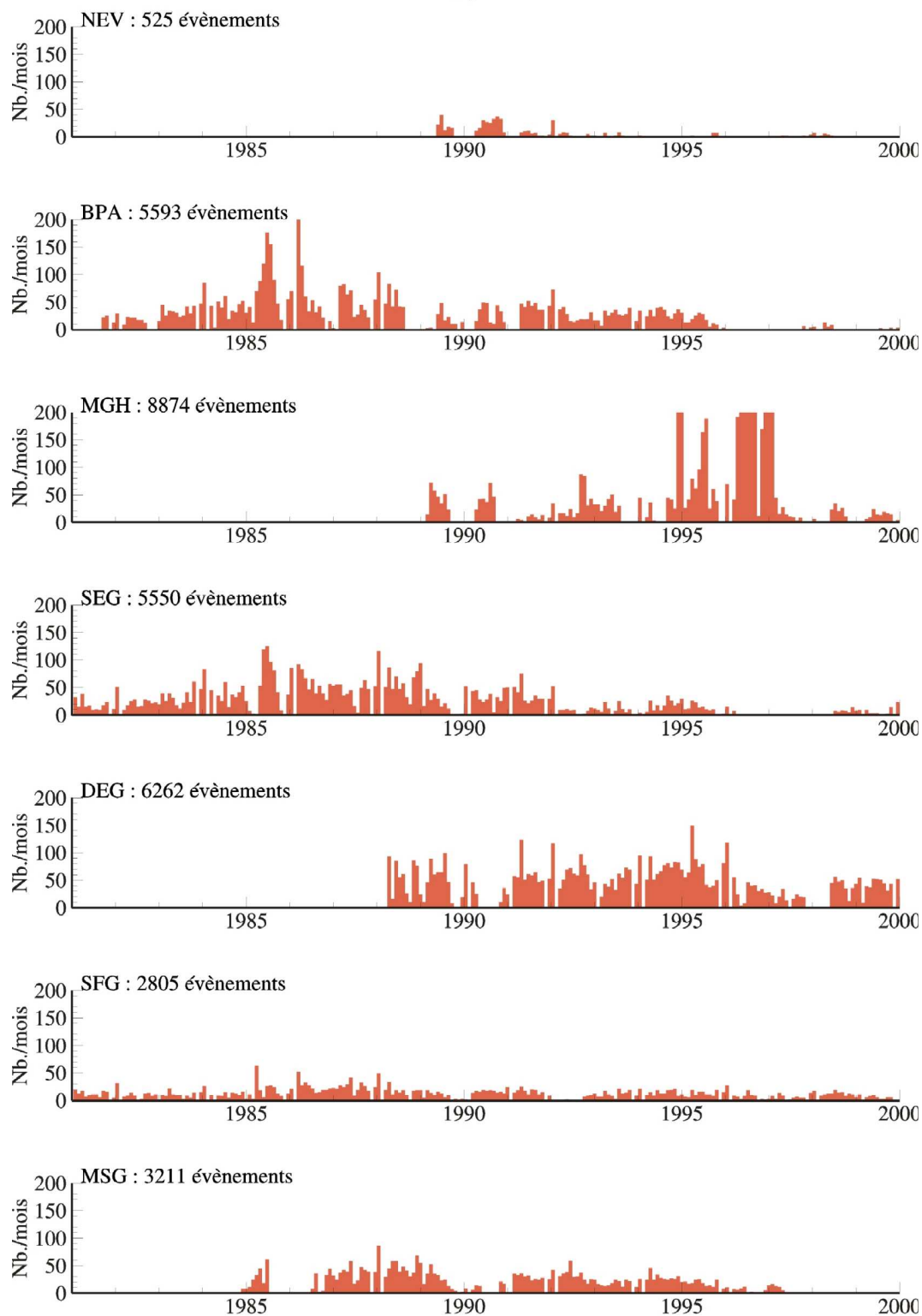


Figure 14: Test brut de relocalisation lancé sur le bulletin de phase complet après modification de paramètres de localisation tel que le rapport V_p/V_s fixé ici à 1.73. Notons l'augmentation significative du nombre de données.

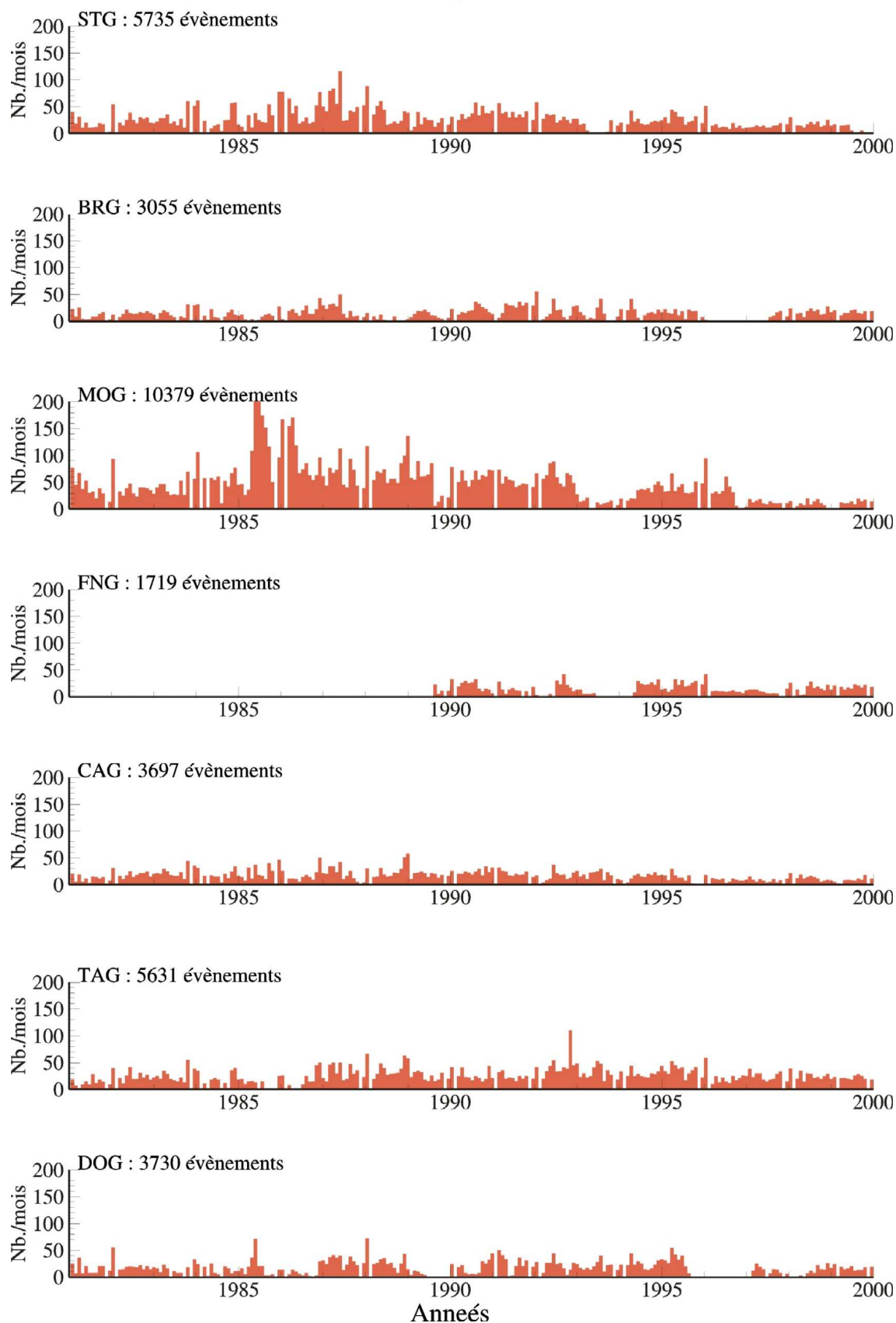
7 ANNEXE 1

Les figures de cette première annexe présentent le récapitulatif sur le fonctionnement des stations au cours du temps. Le nombre de phases (P ou S) pointées par mois est reporté en fonction des années depuis 1981.

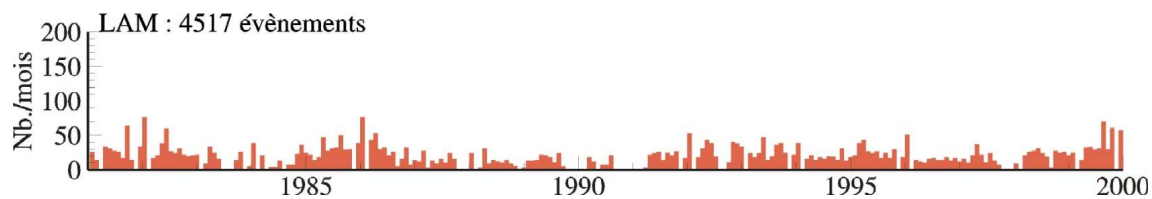
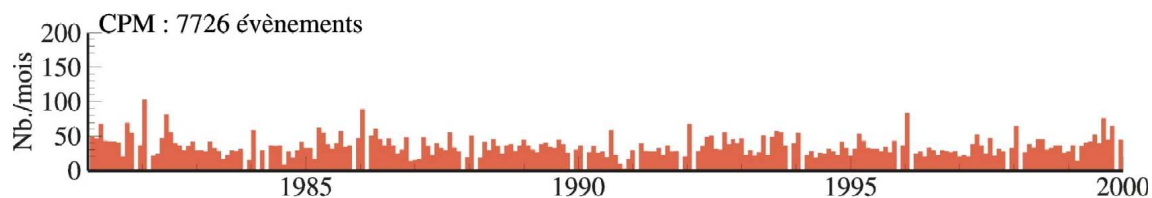
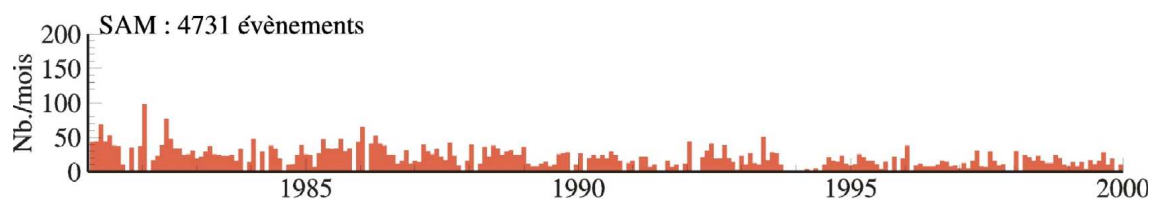
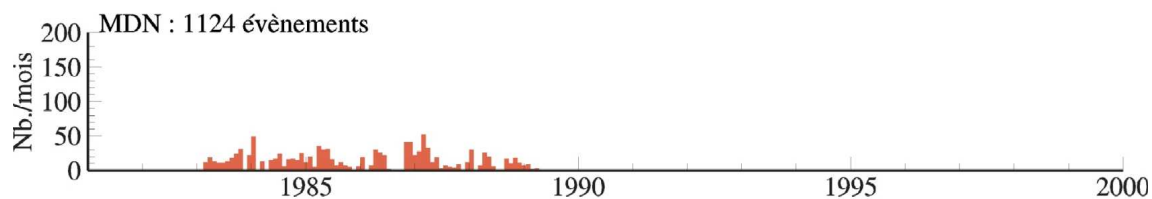
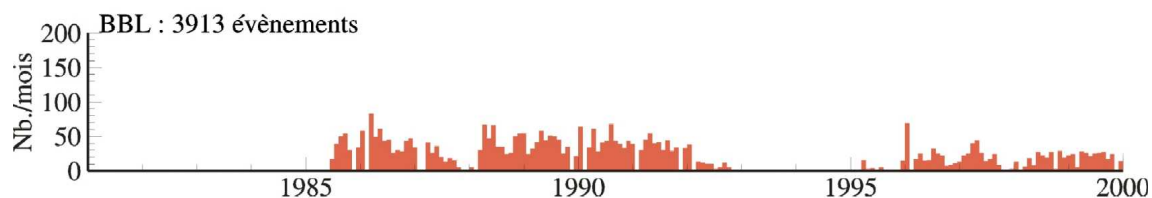
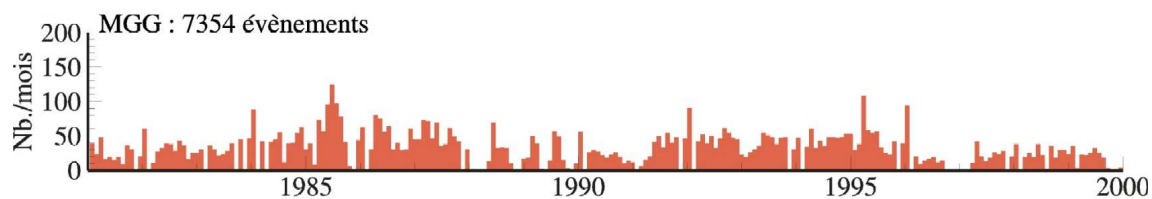
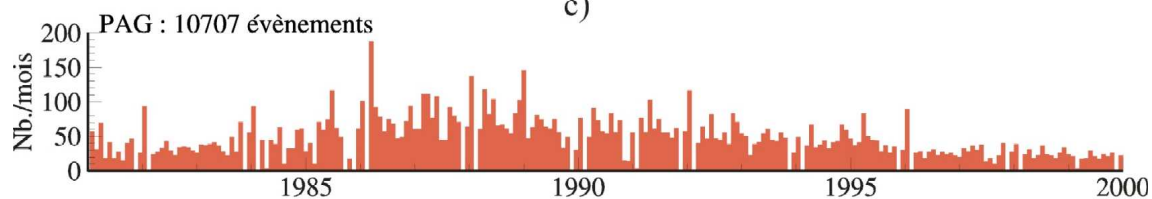
a)



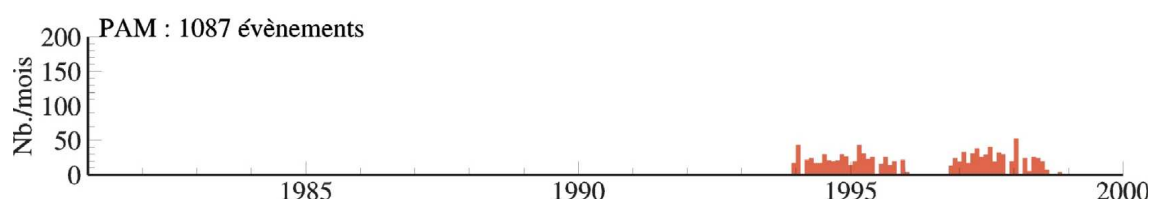
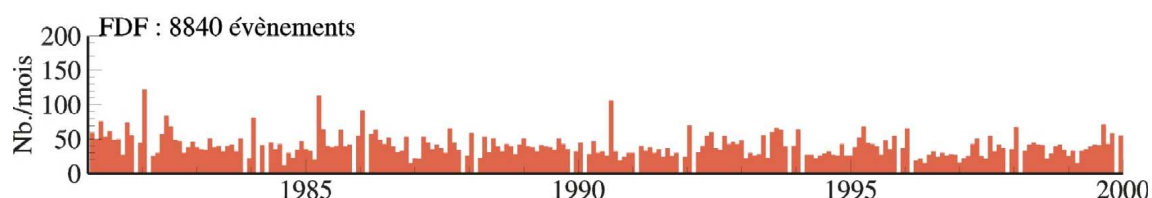
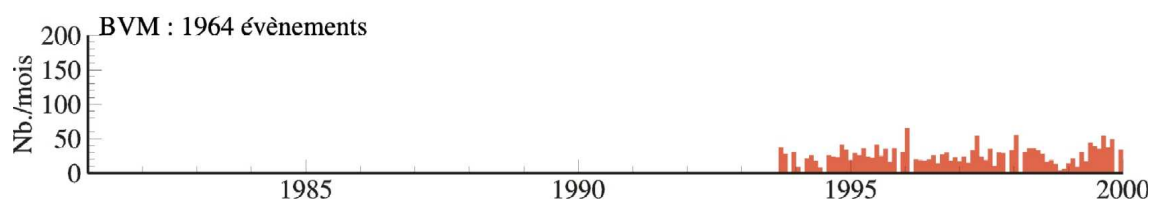
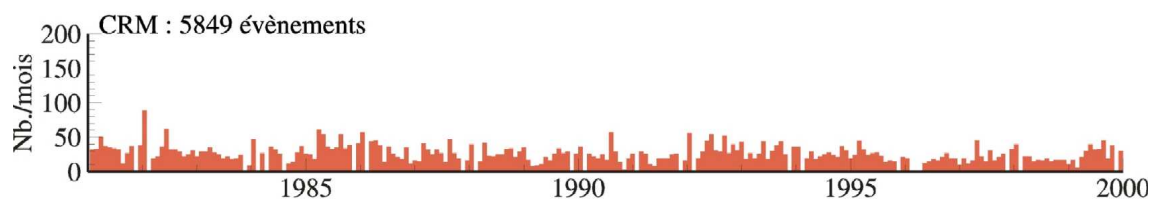
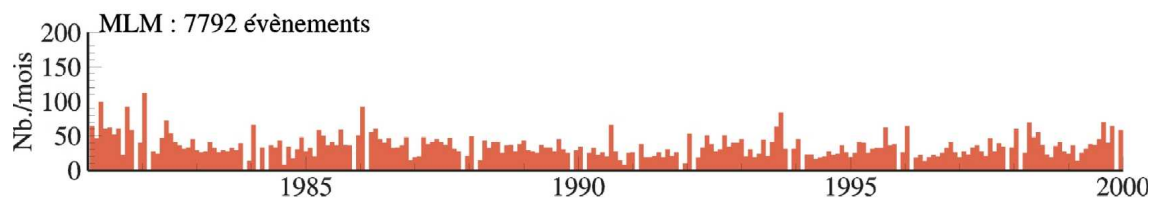
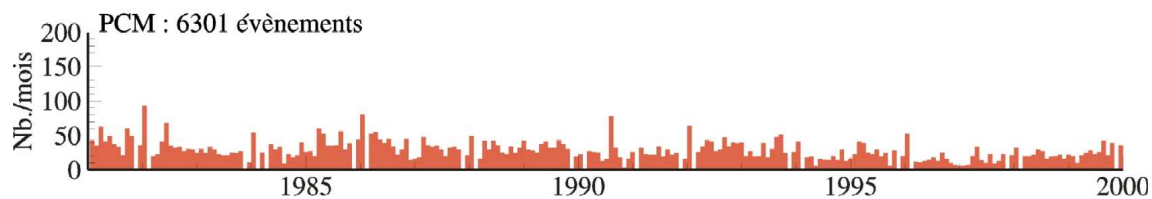
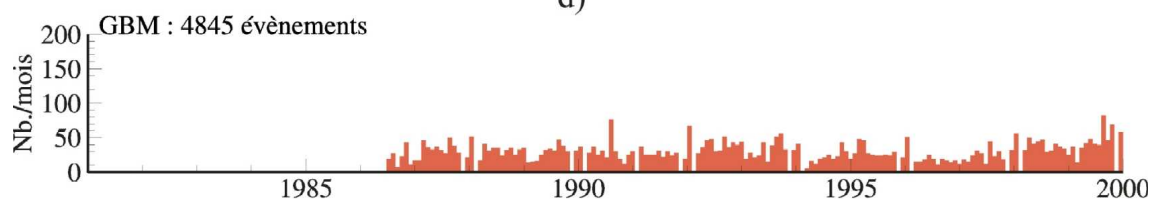
b)



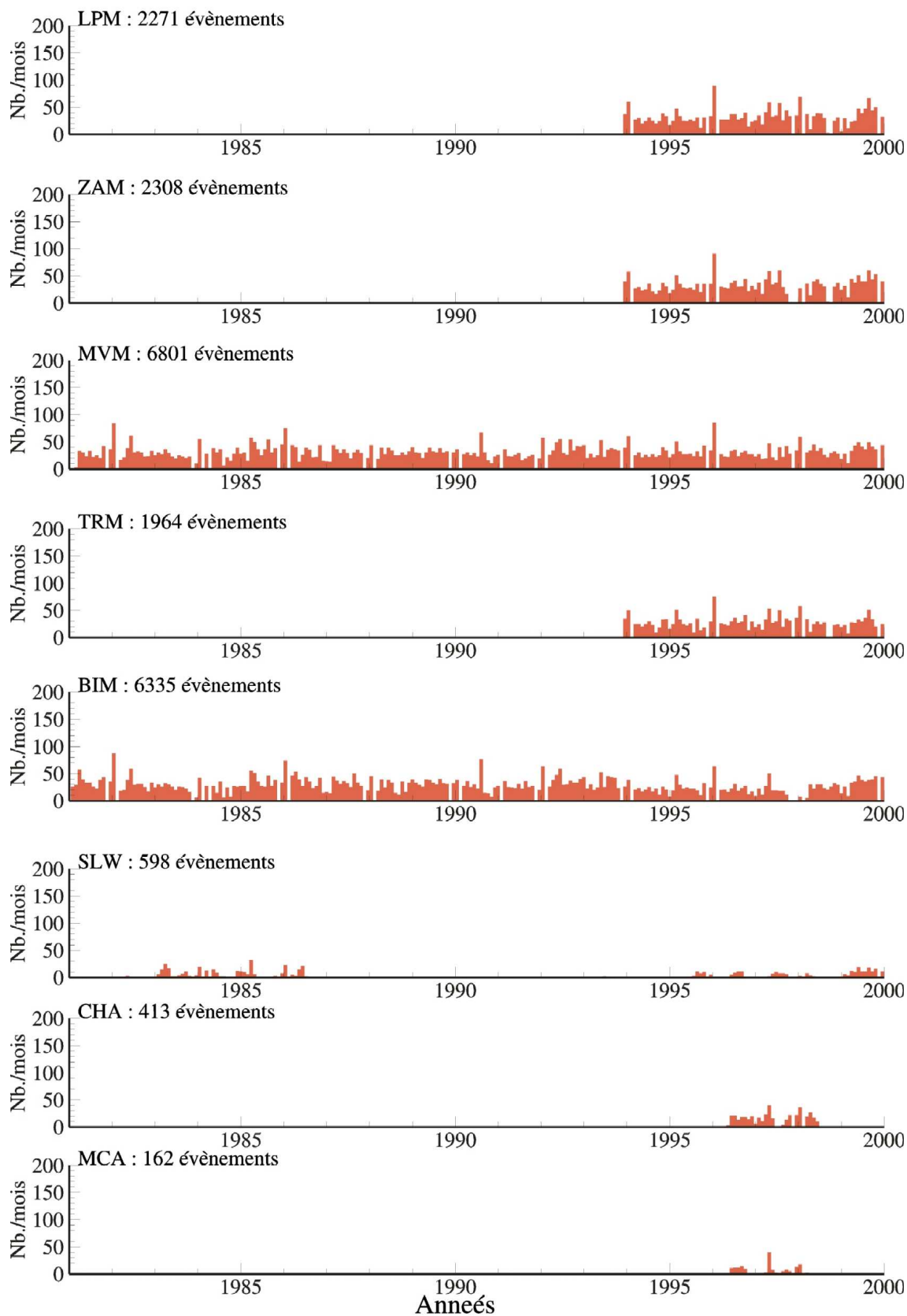
c)



d)



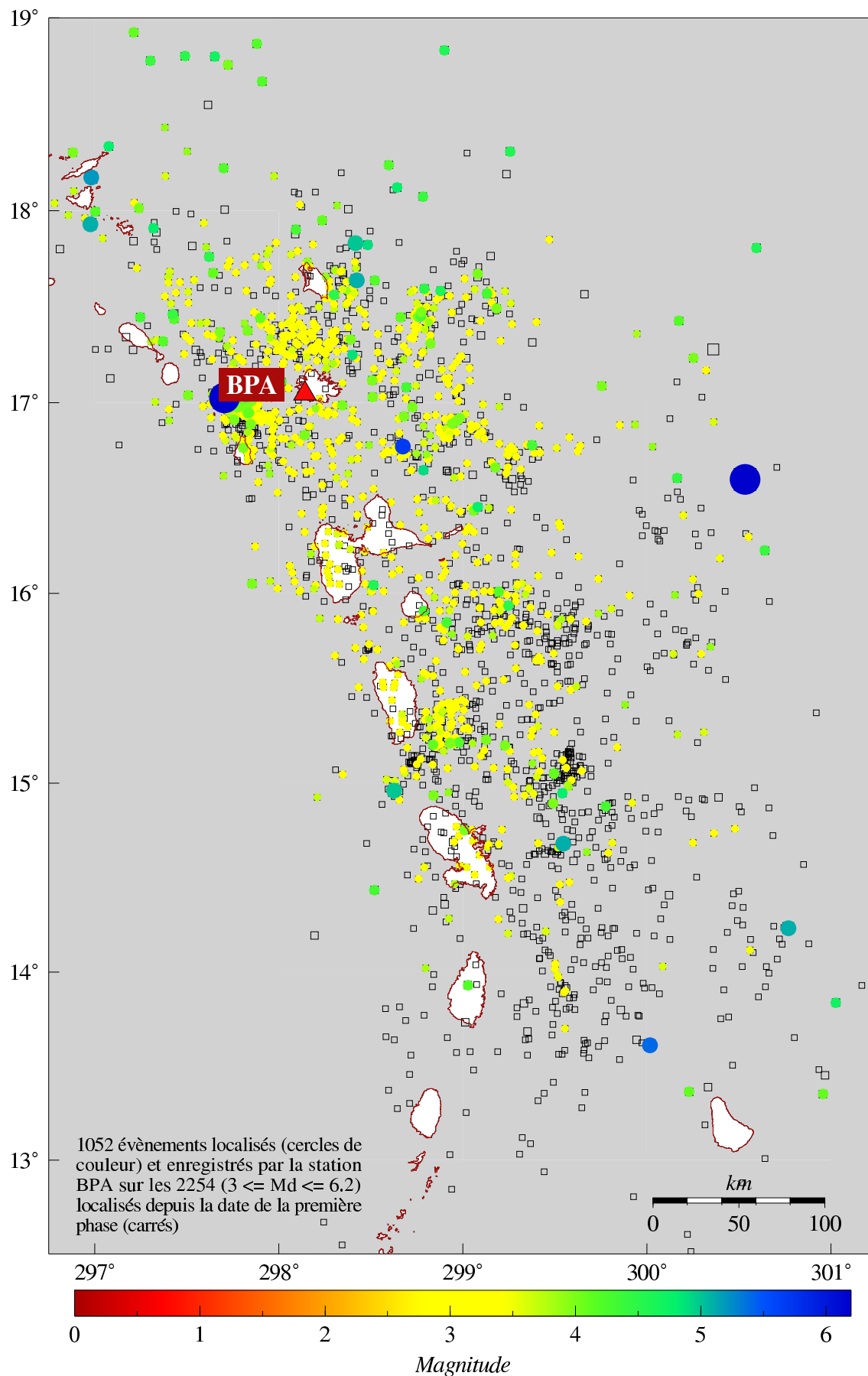
e)



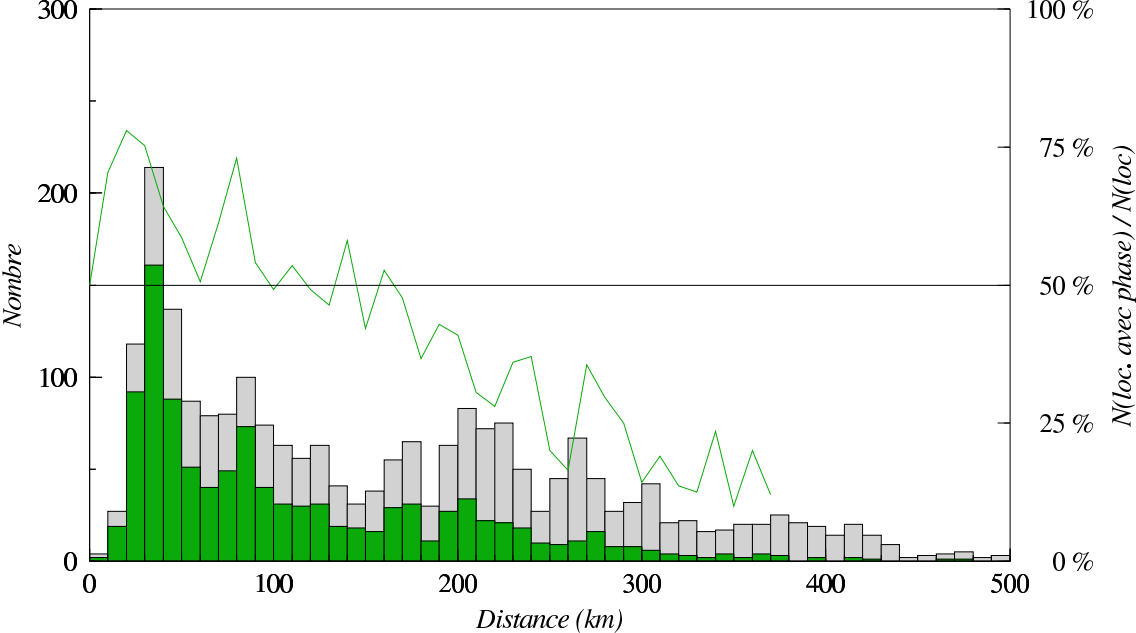
8 ANNEXE 2

Les figures qui suivent récapitulent le niveau de détection moyen des séismes aux stations du réseau ou plus exactement la proportion de phases (P ou S) pointées par rapport au nombre de séismes localisés sur la période commençant à la date de leur première phase enregistrée et couvrant jusqu'à la fin de l'année 1999. Ces résultats sont présentés sous forme de cartes et d'histogrammes fonctions de la distance et permettent de définir pour chacune de ces stations une distance de détection caractéristique pour un rapport (nombre d'évènements détectés / nombre de localisés) fixé.

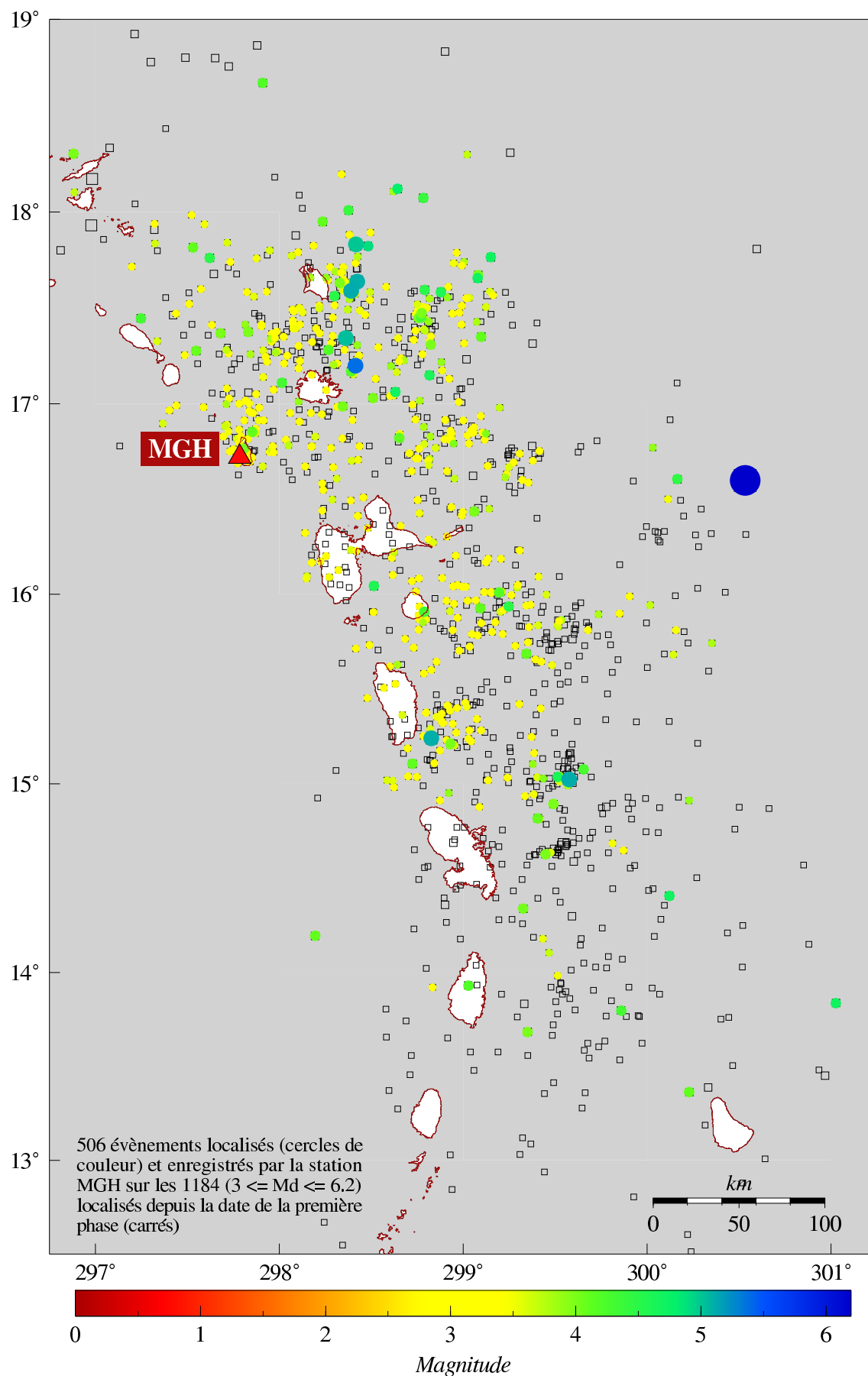
Station BPA

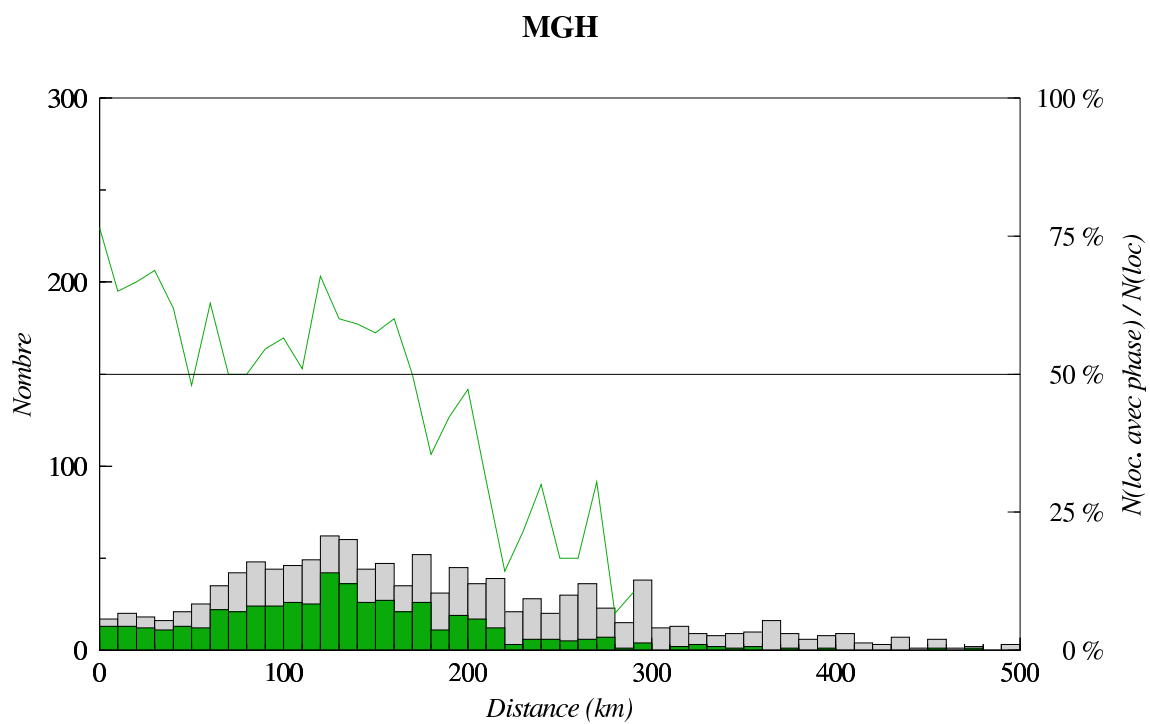


BPA

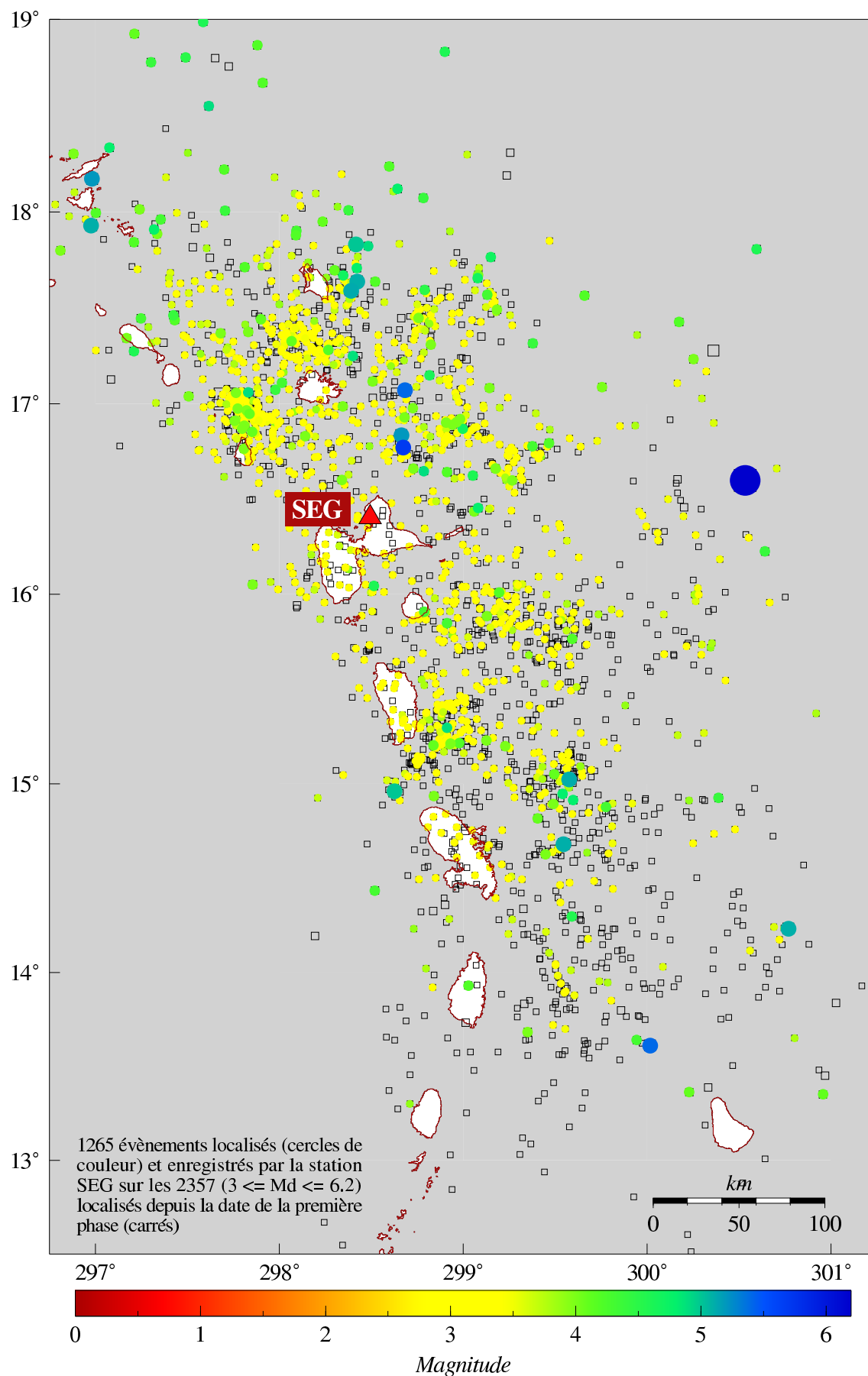


Station MGH

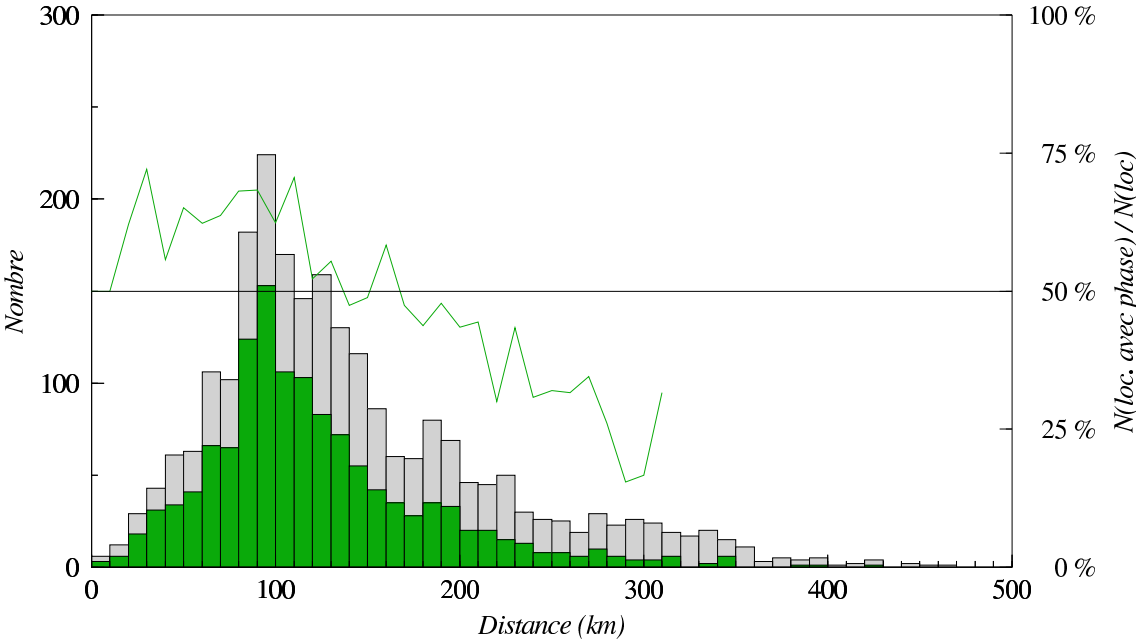




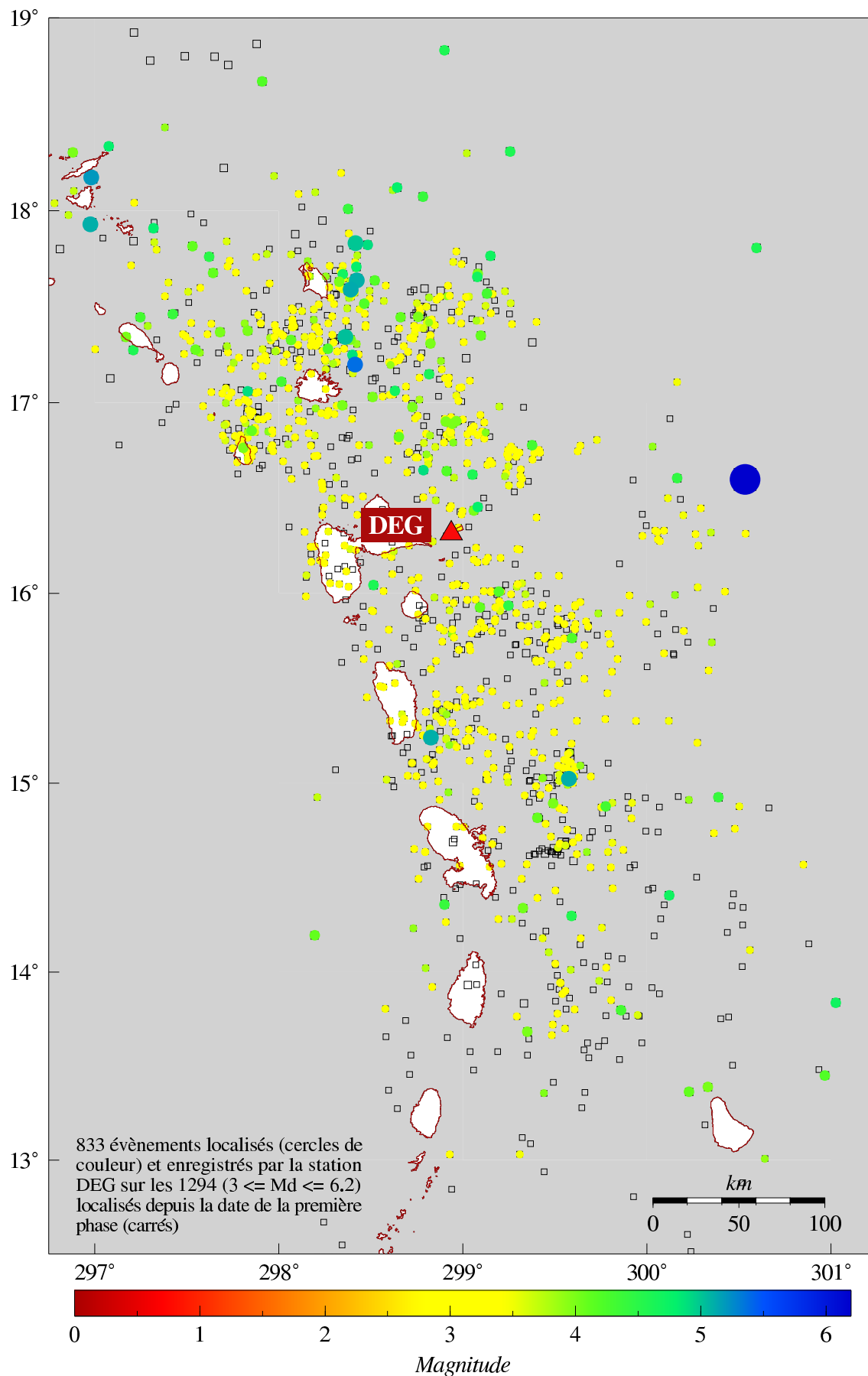
Station SEG

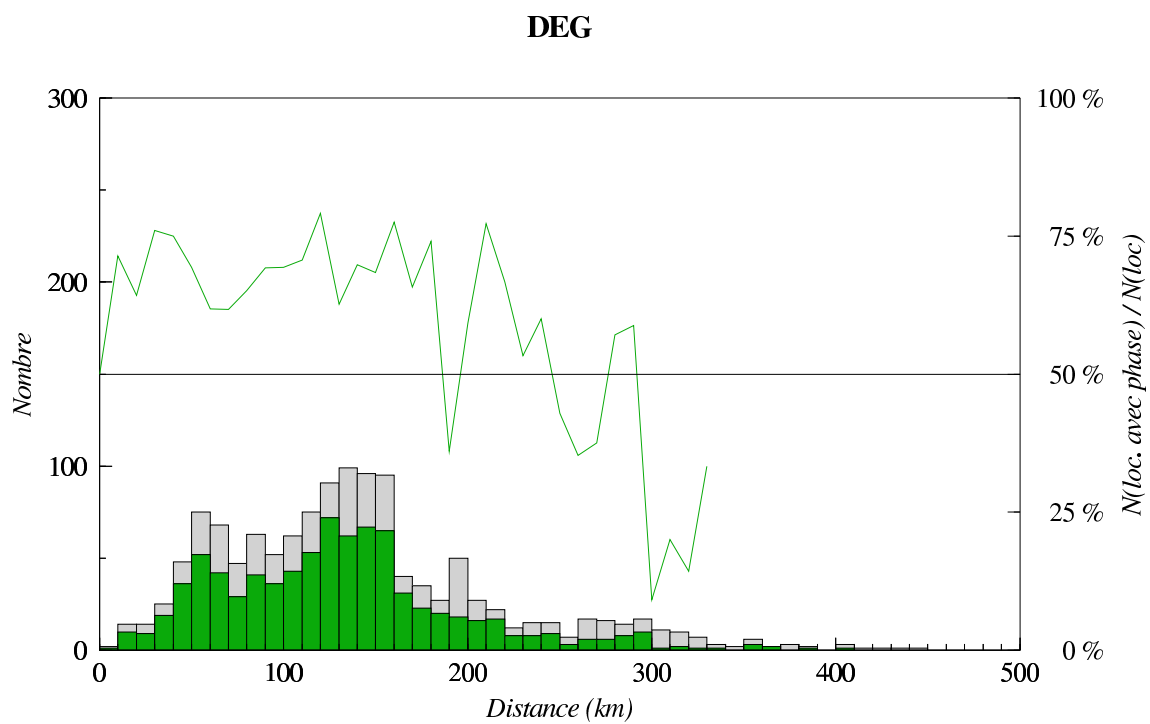


SEG

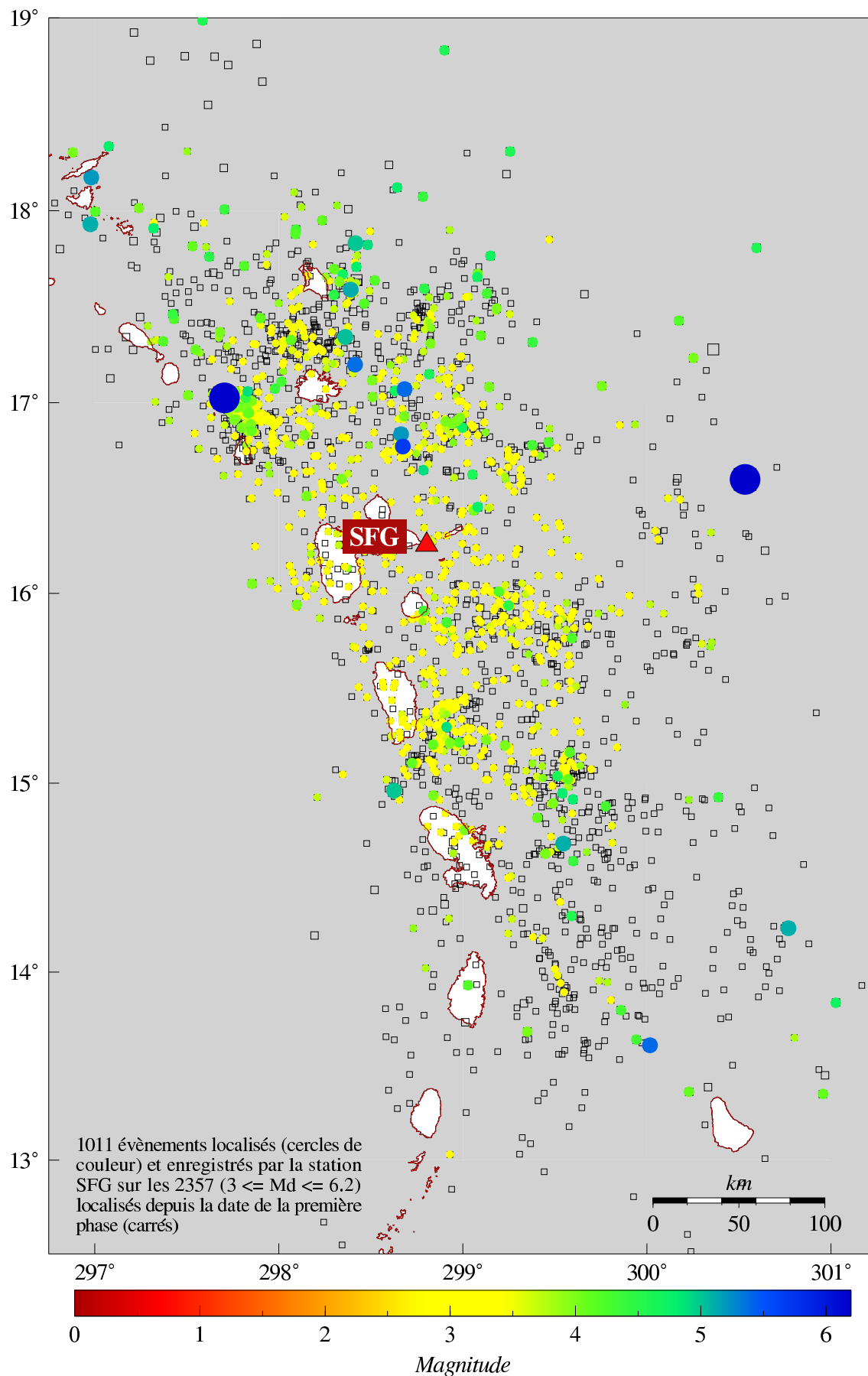


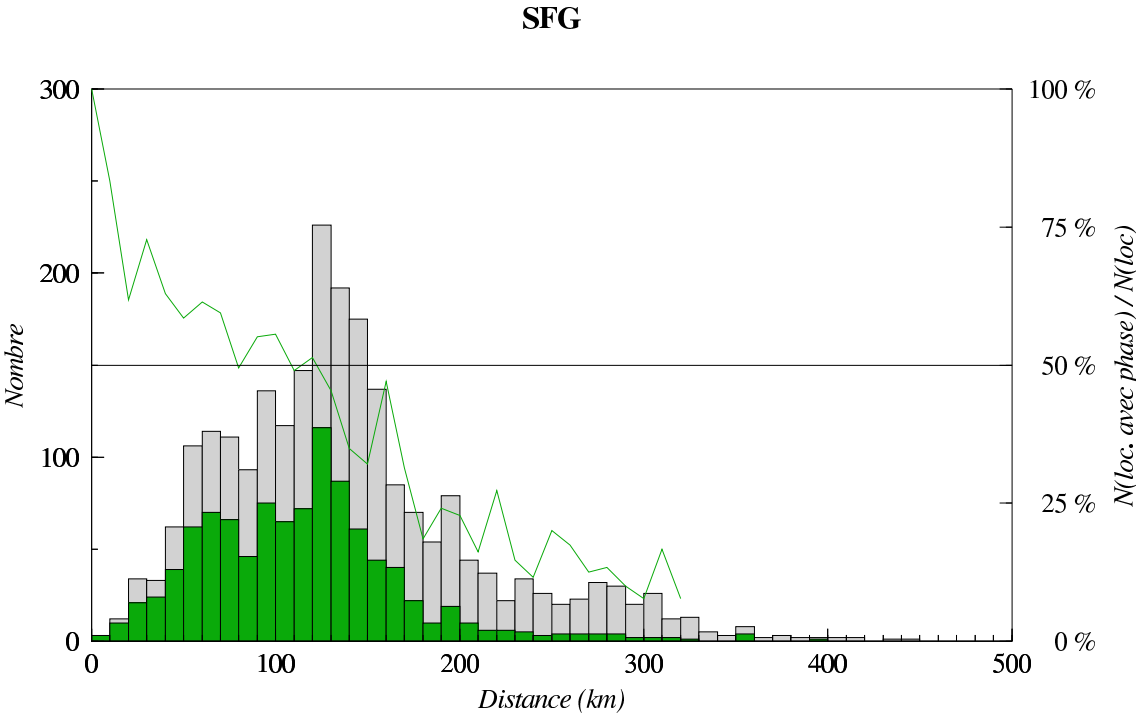
Station DEG



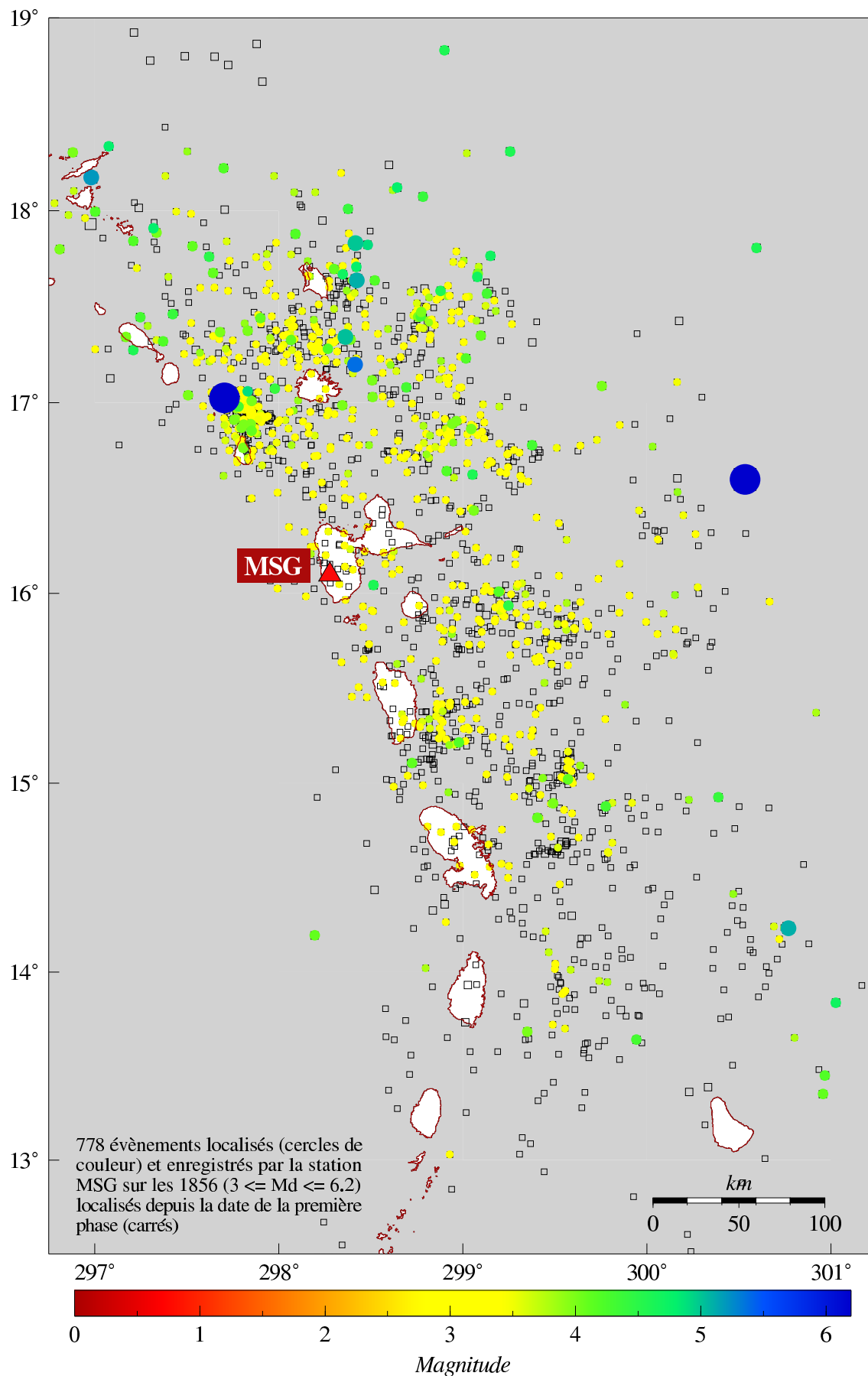


Station SFG

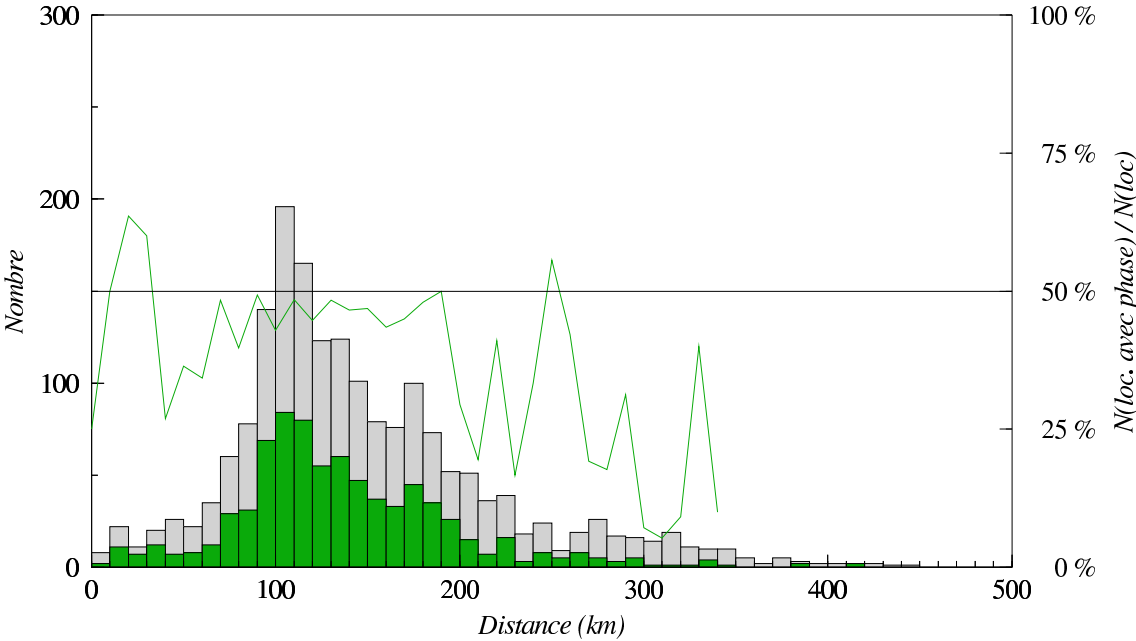




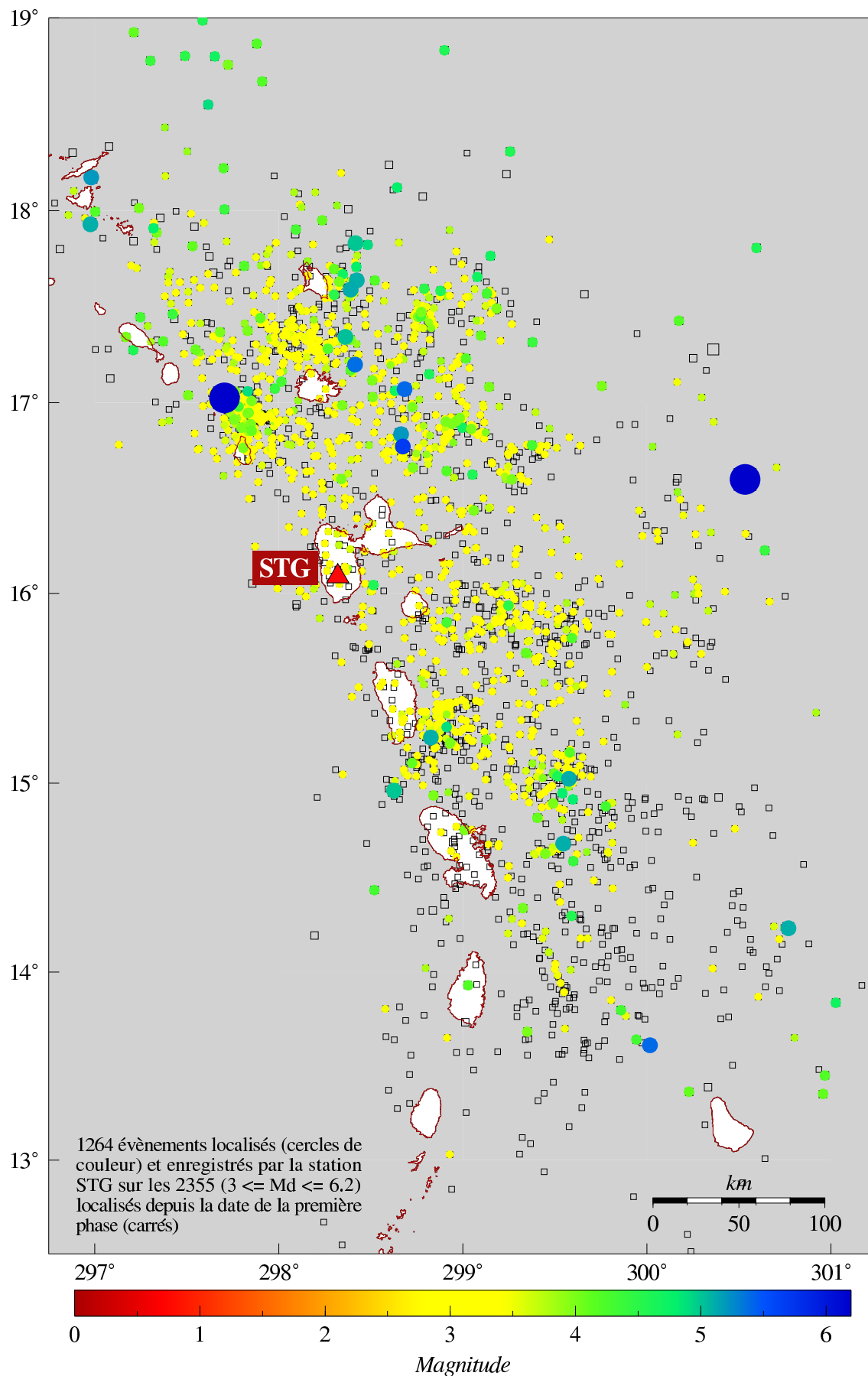
Station MSG



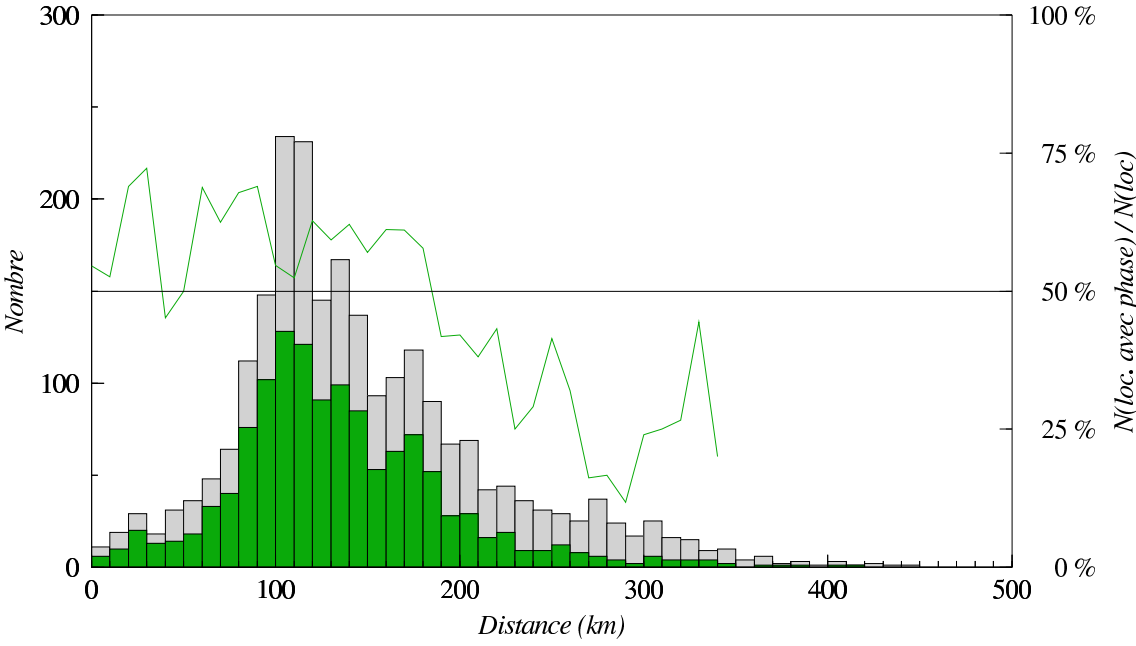
MSG



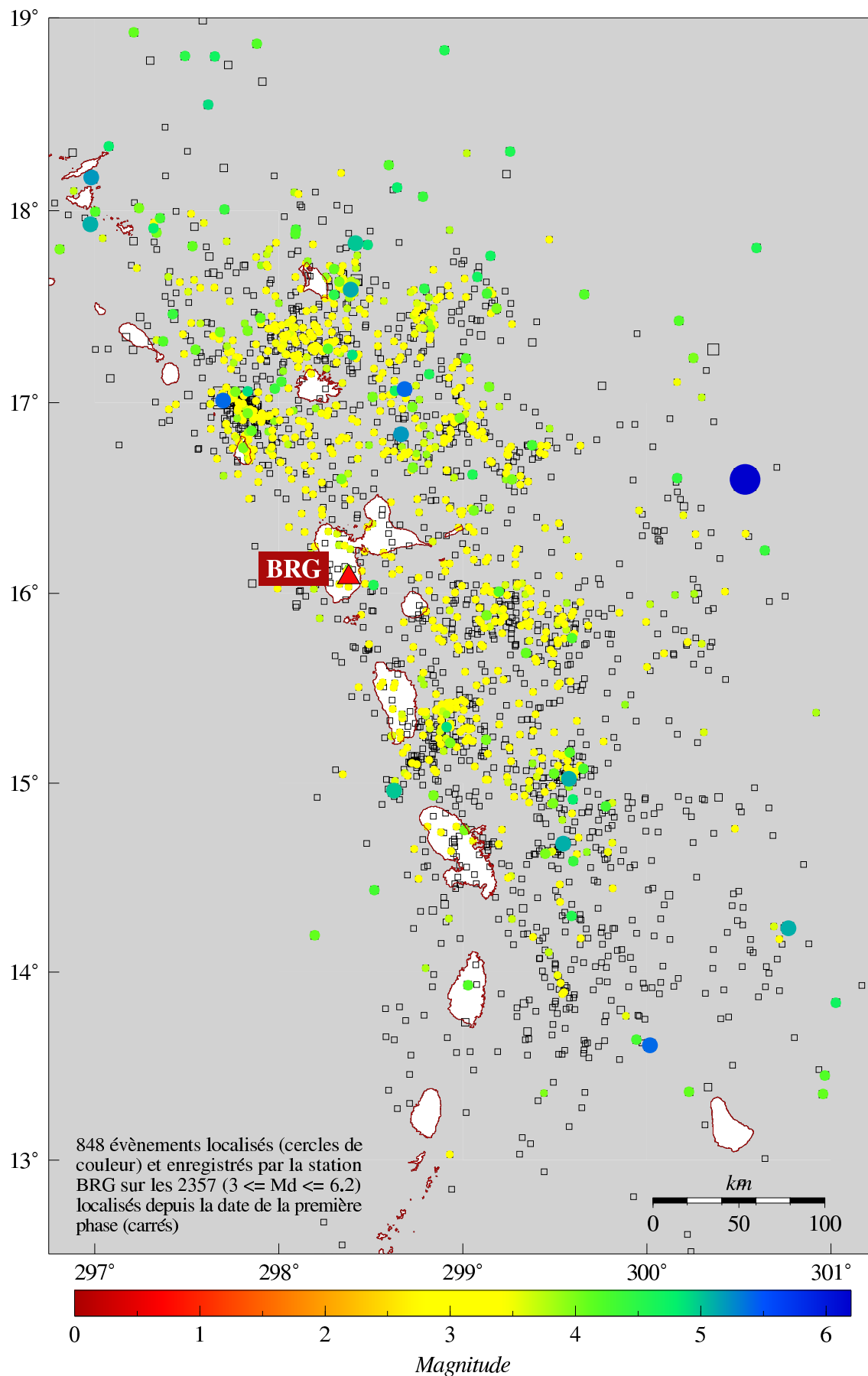
Station STG

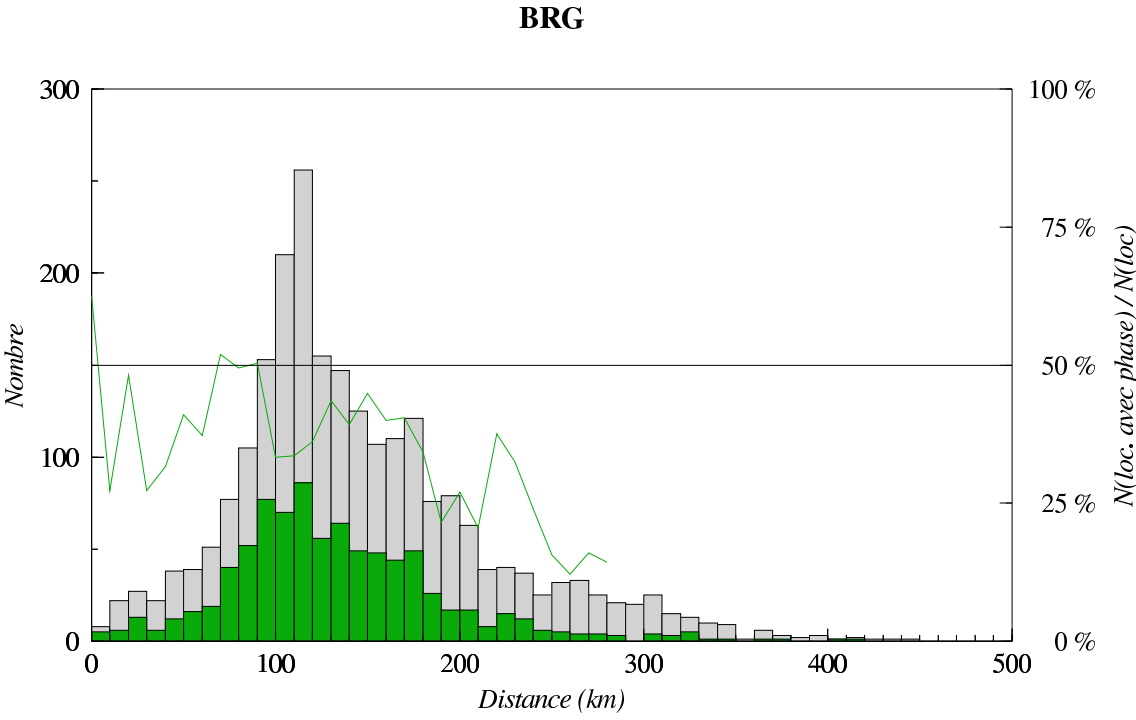


STG

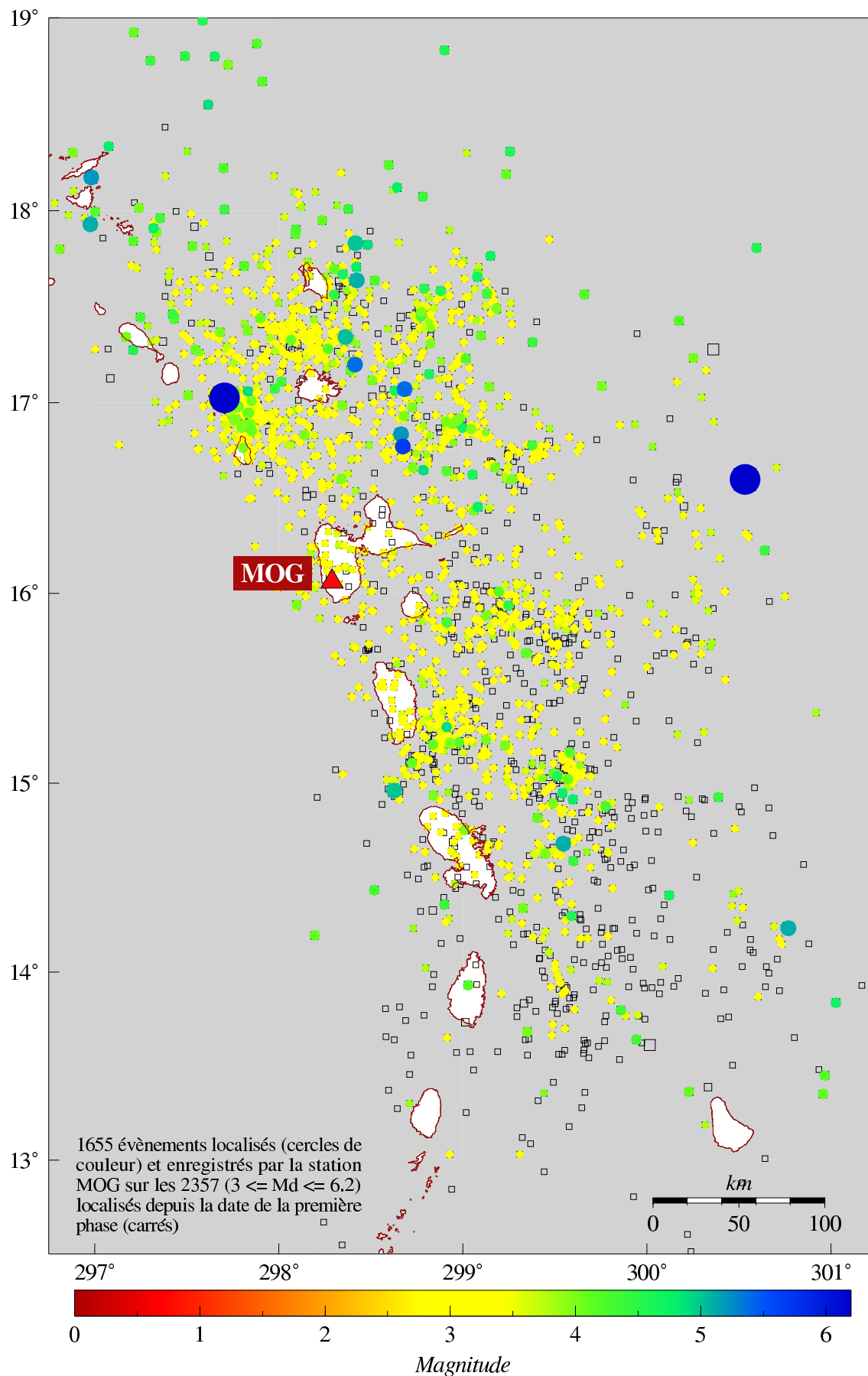


Station BRG

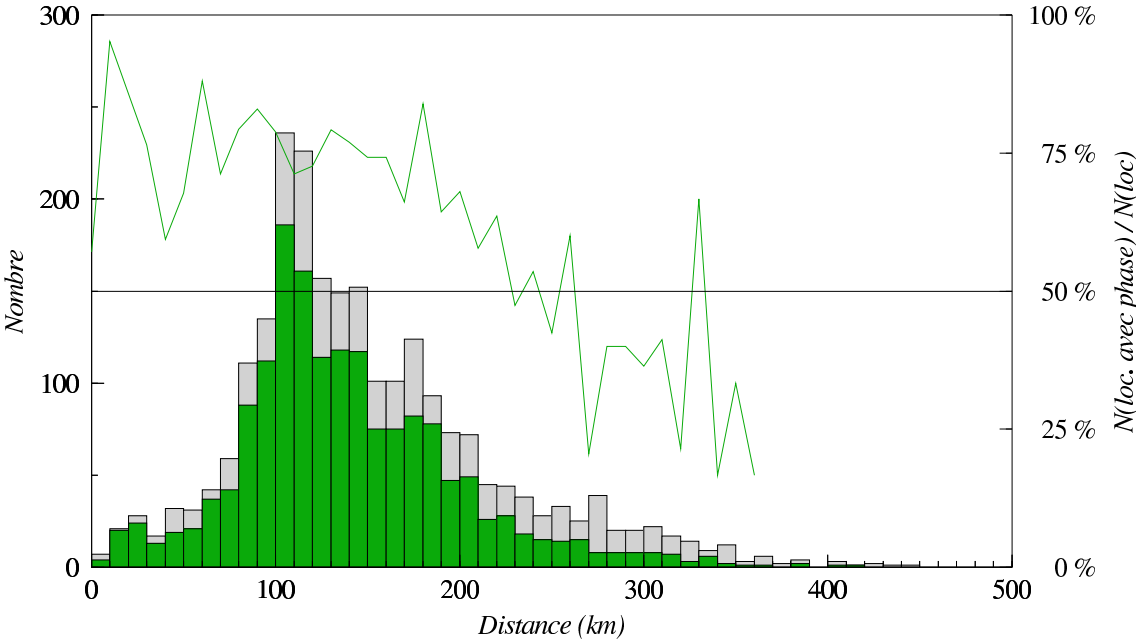




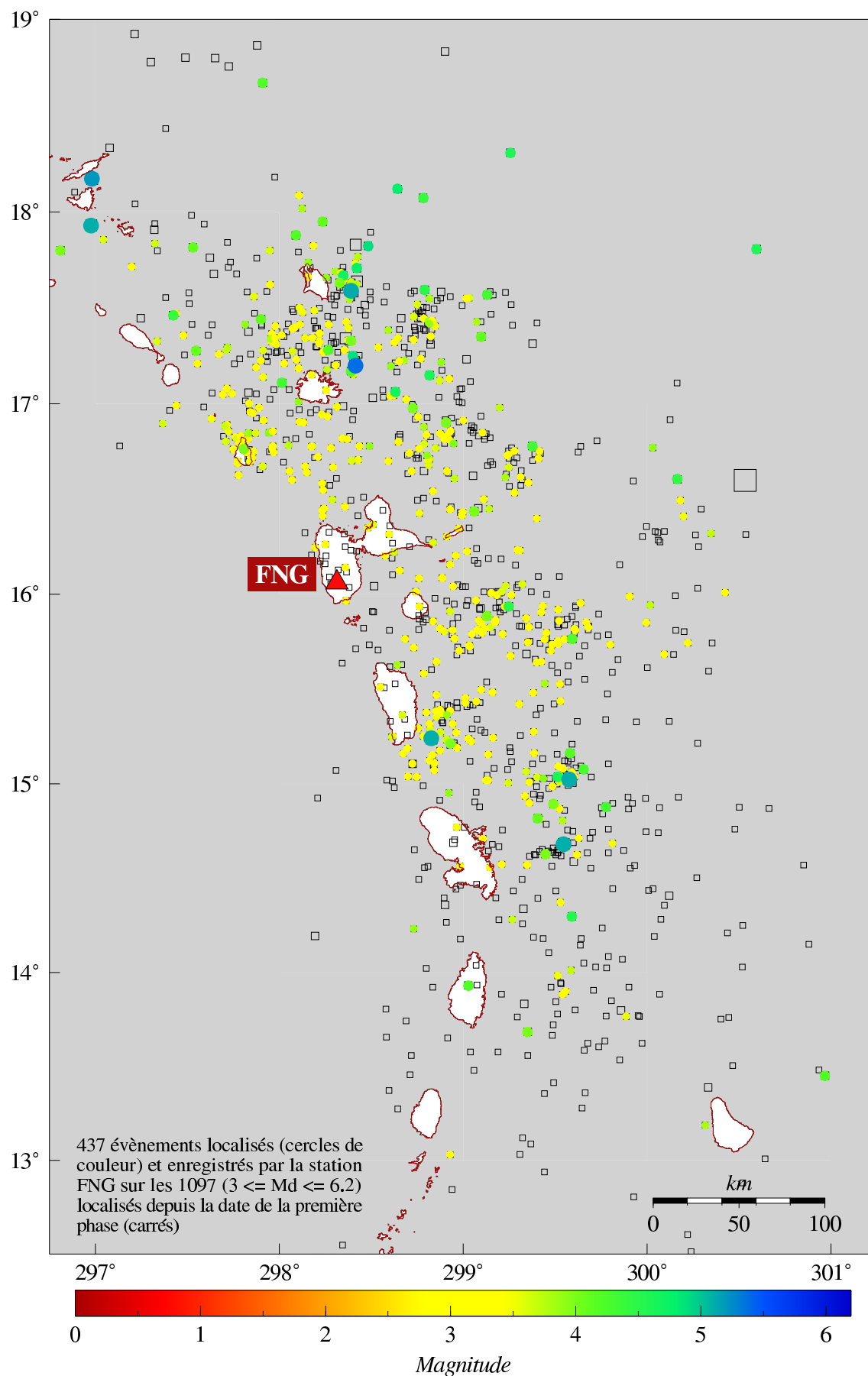
Station MOG



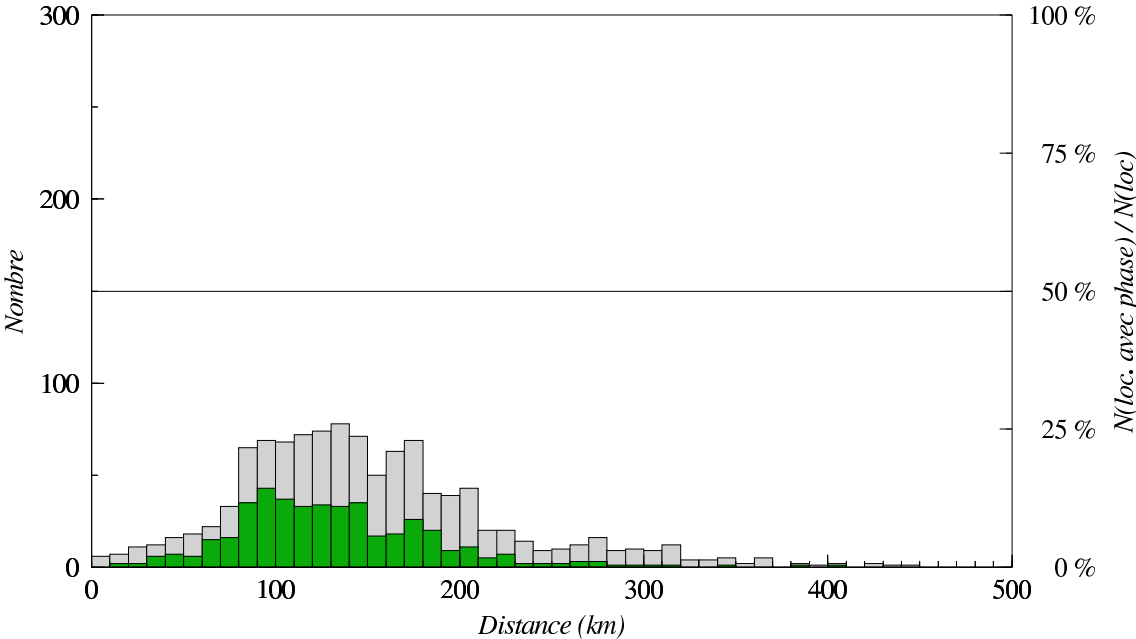
MOG



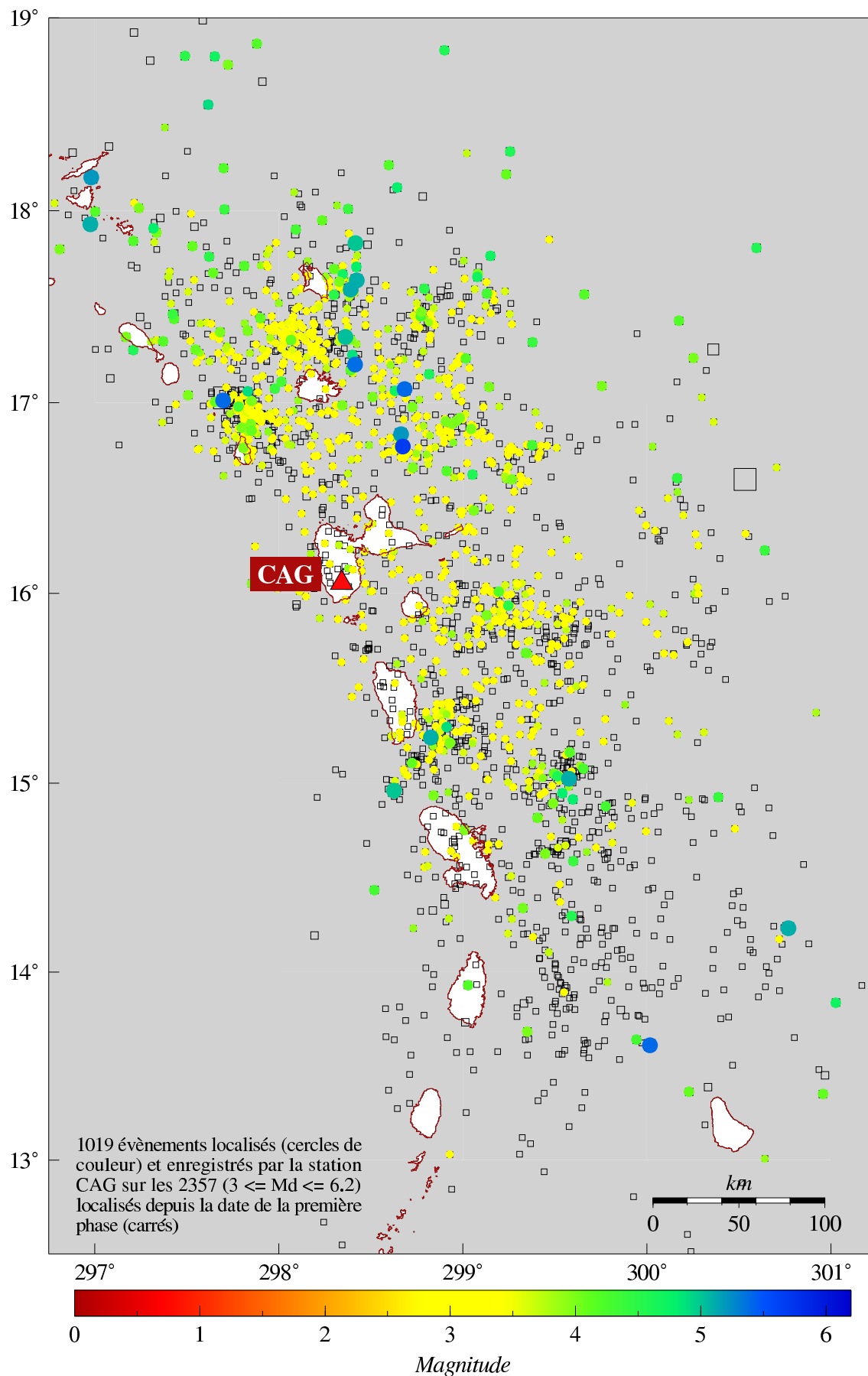
Station FNG



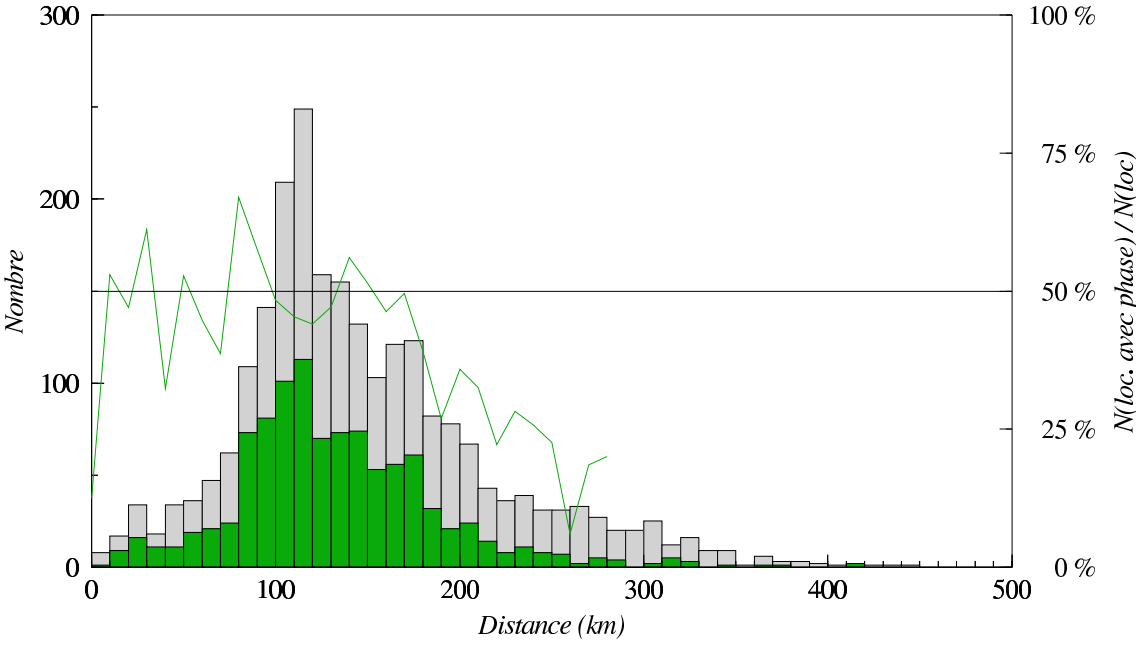
FNG



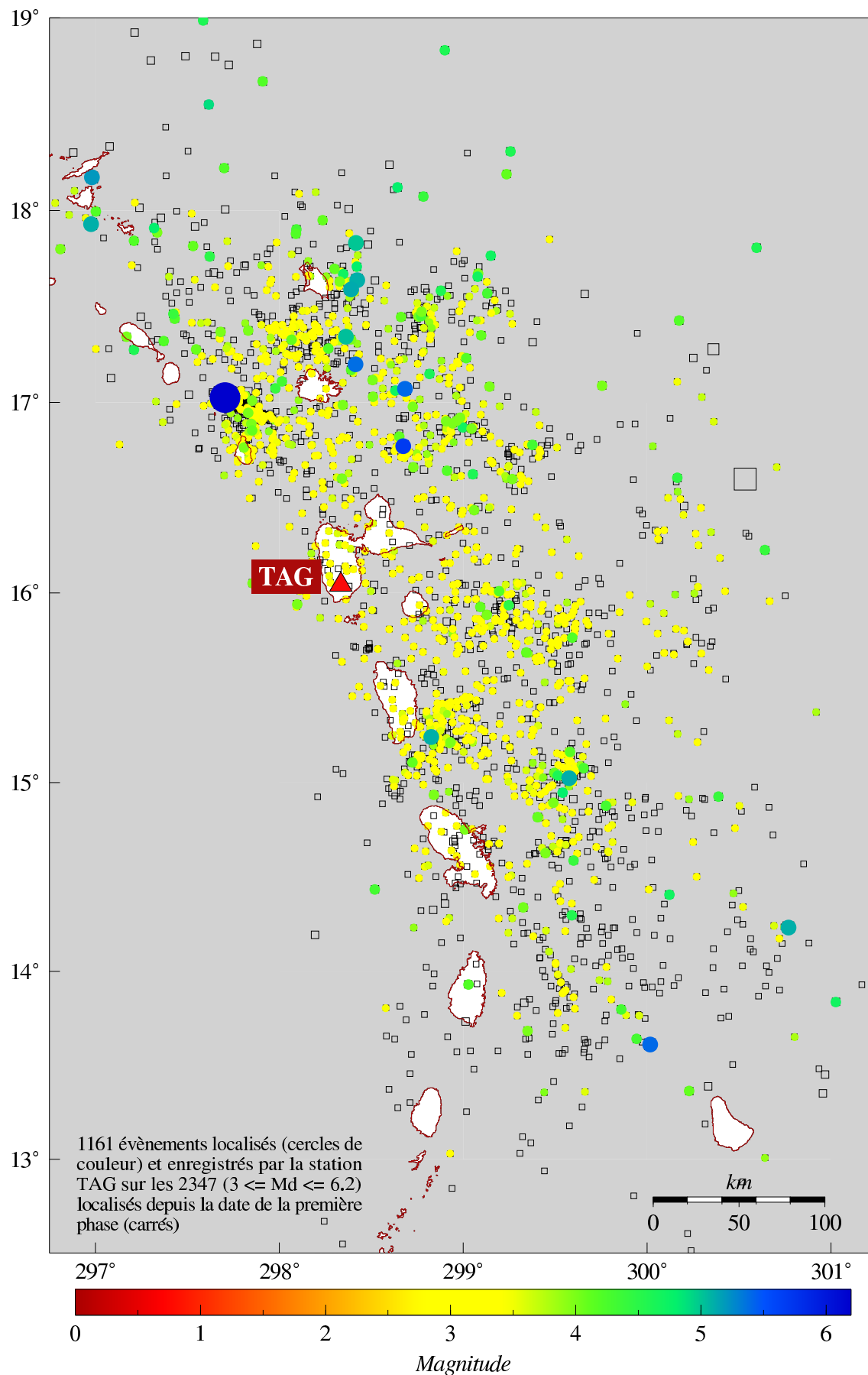
Station CAG



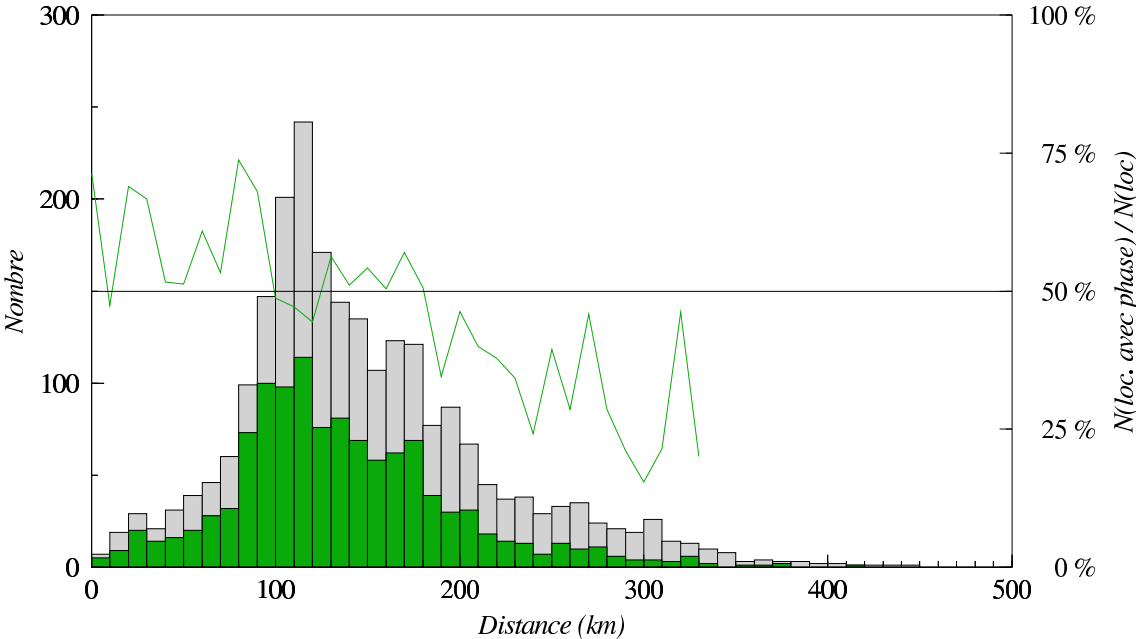
CAG



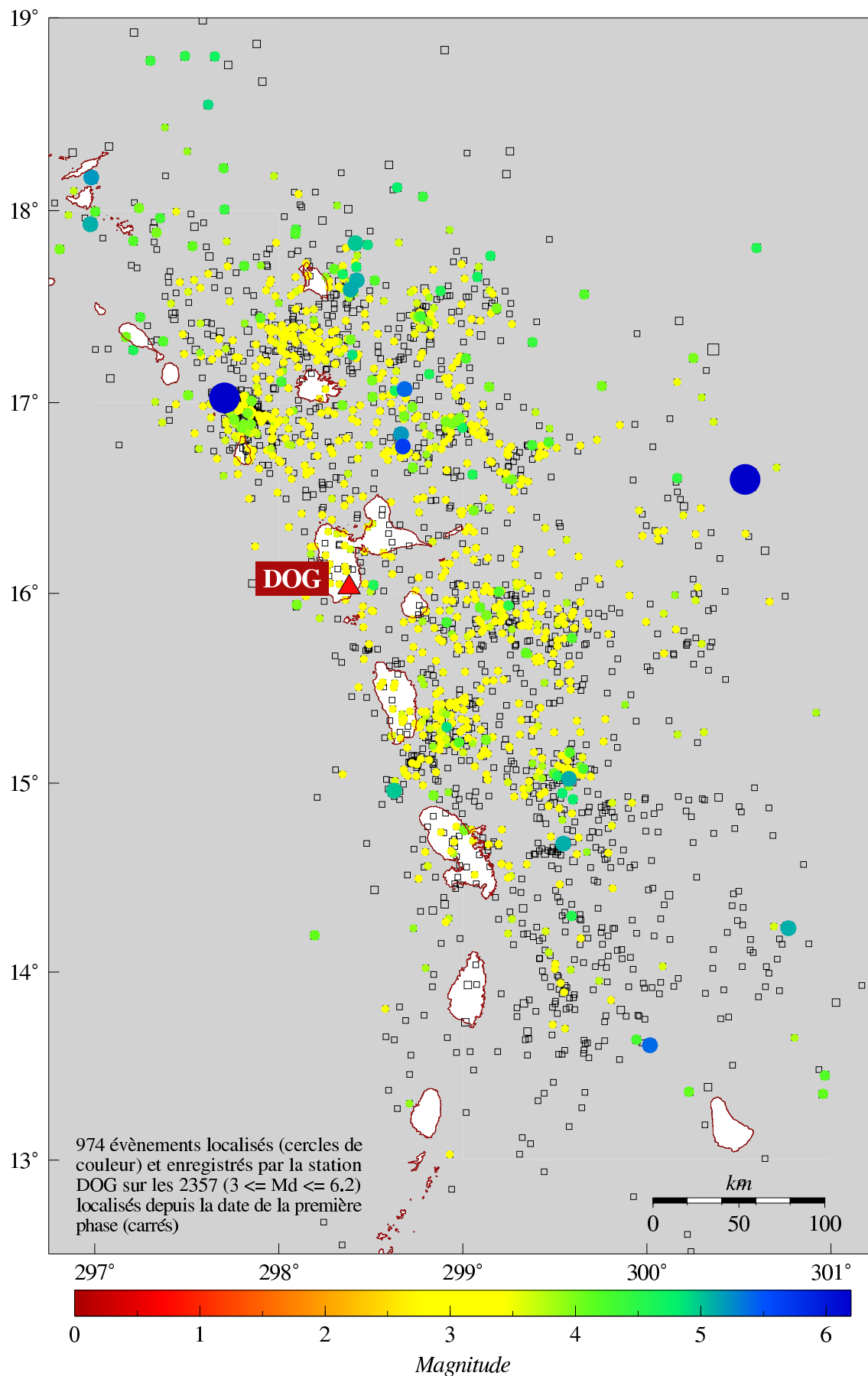
Station TAG



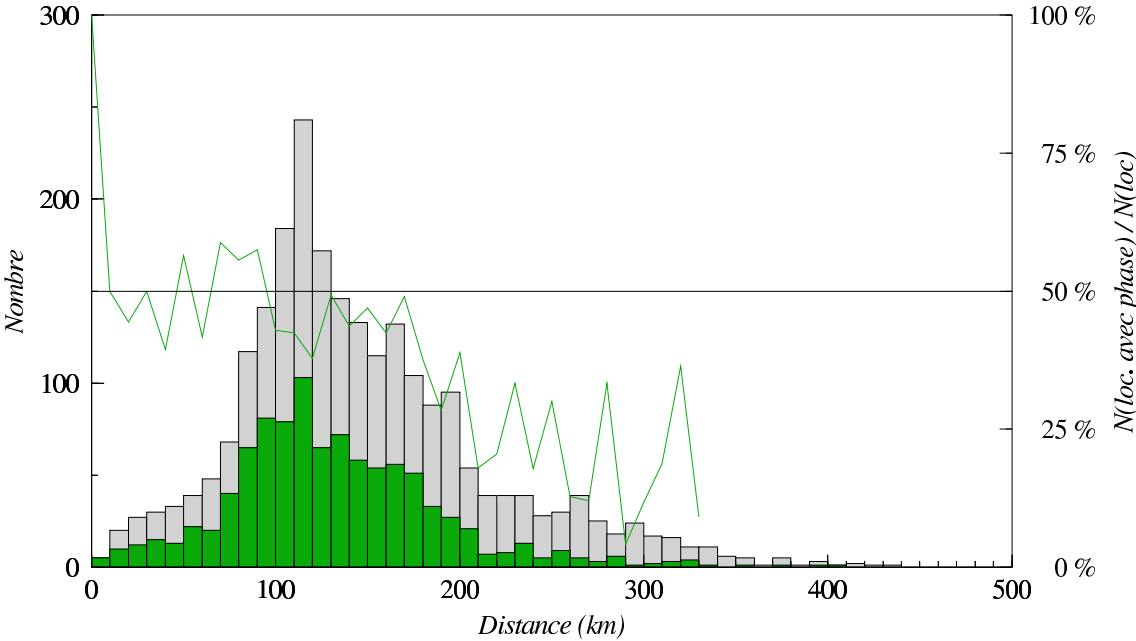
TAG



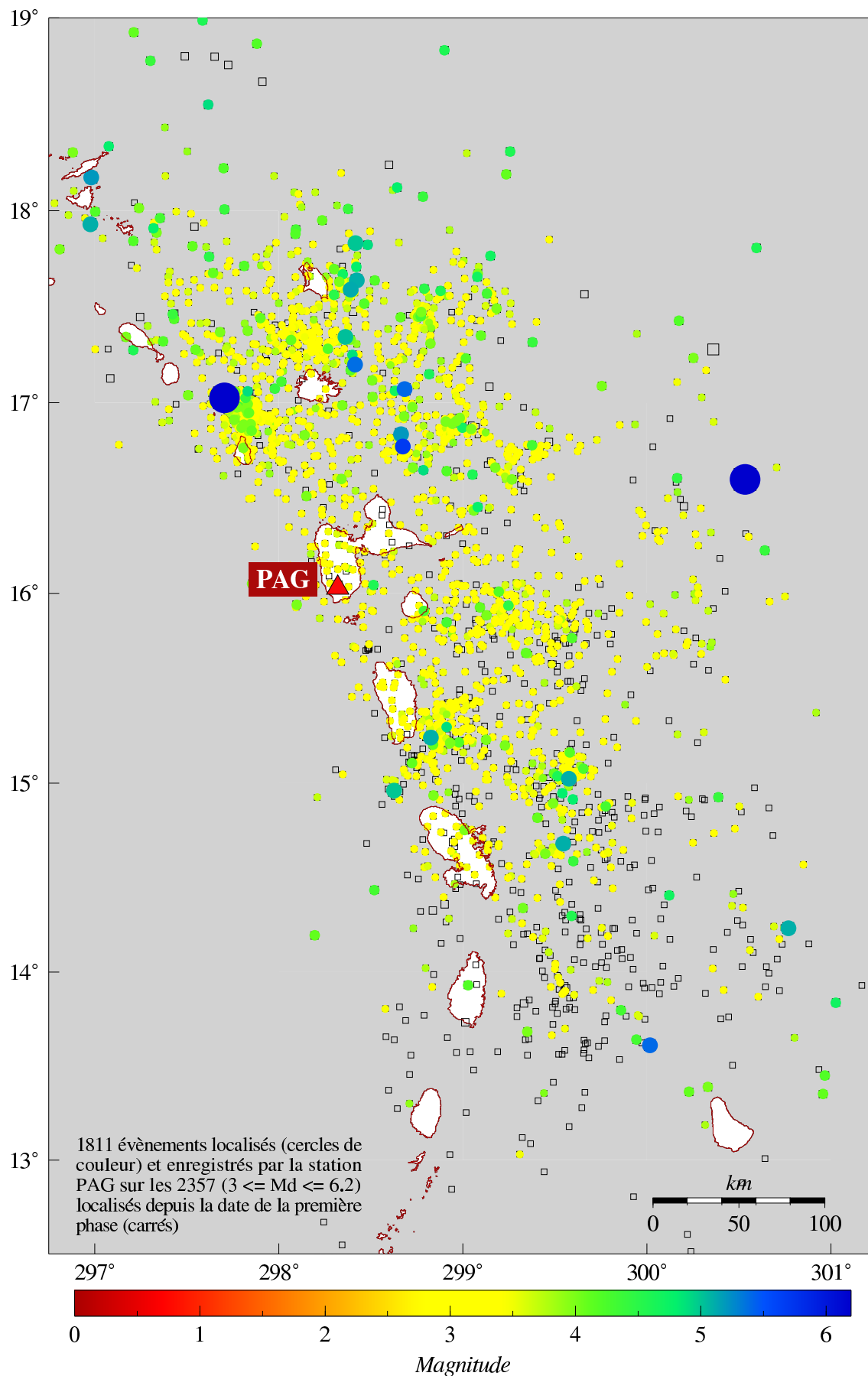
Station DOG



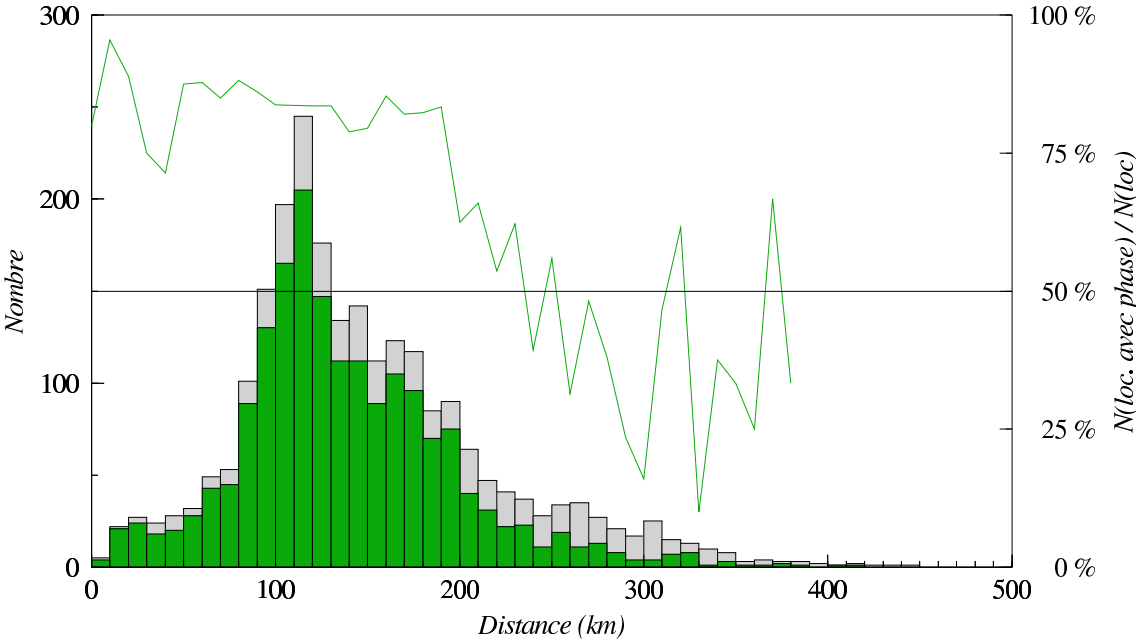
DOG



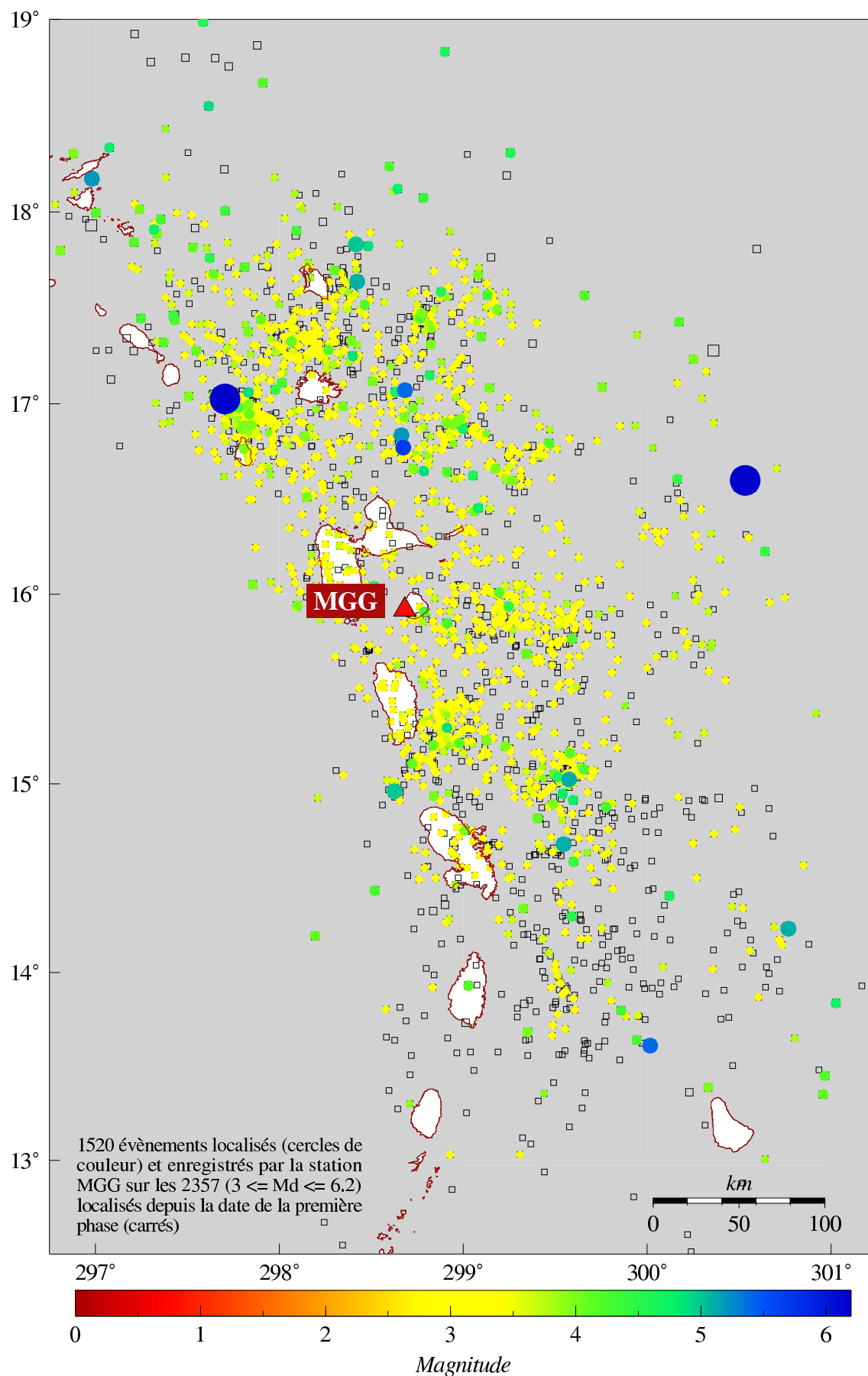
Station PAG



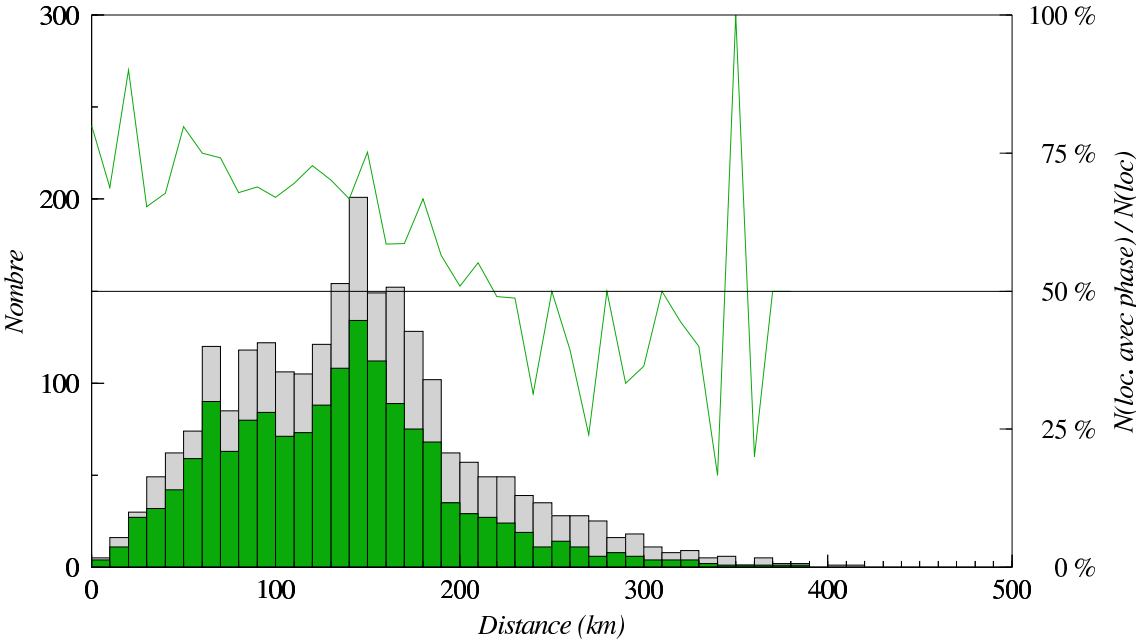
PAG



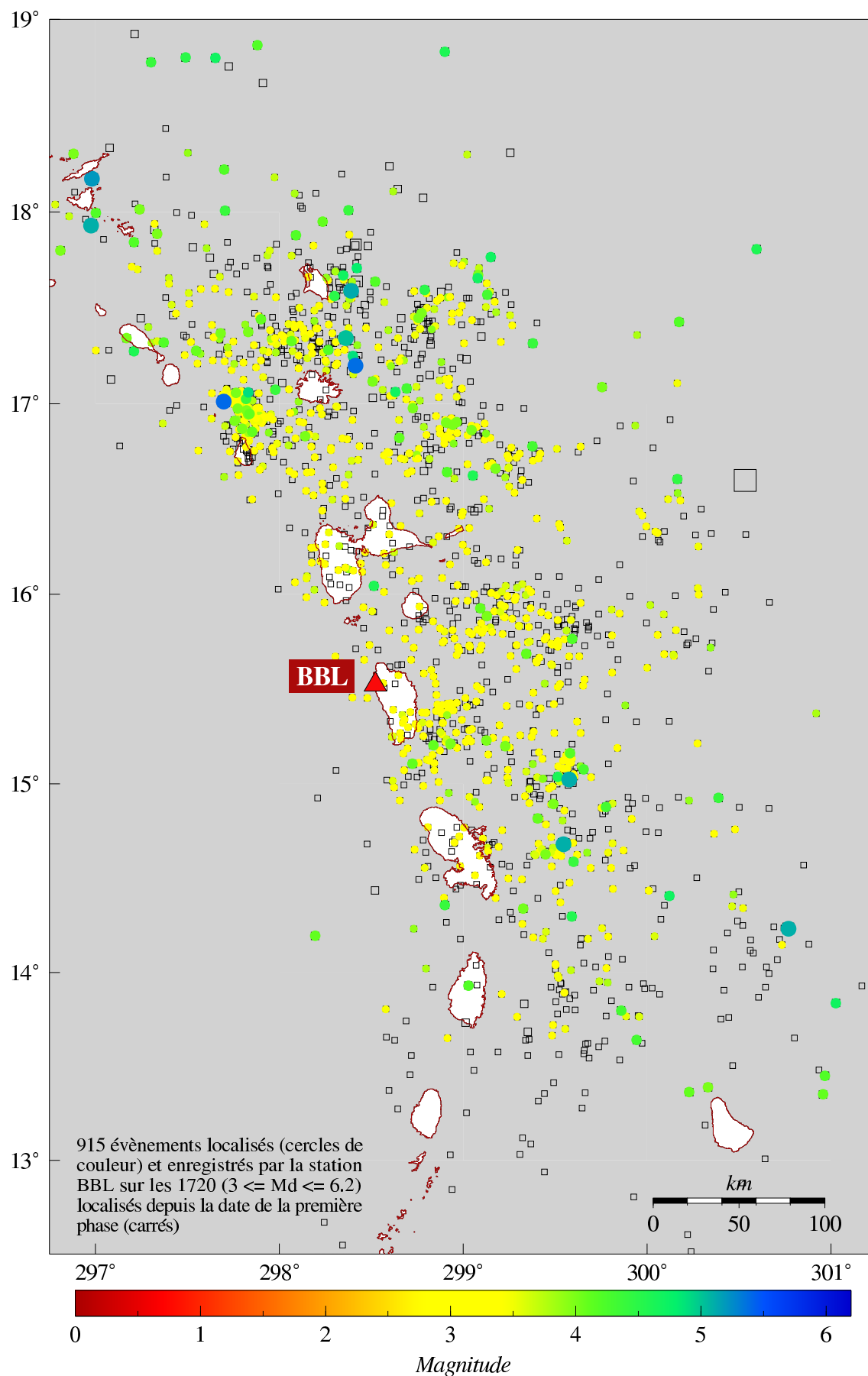
Station MGG



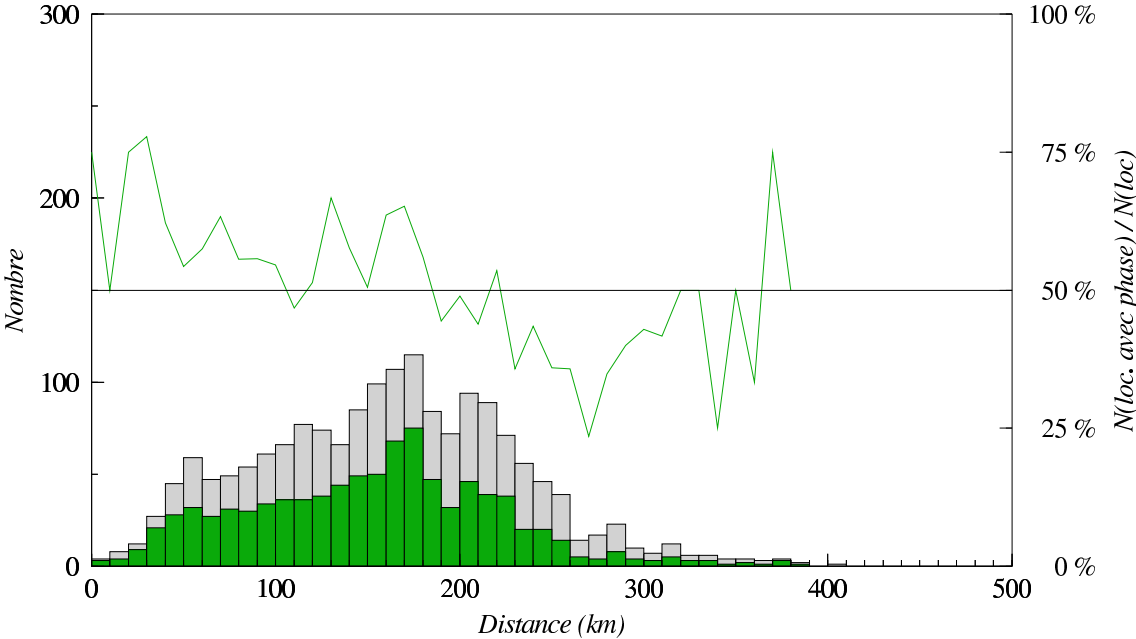
MGG



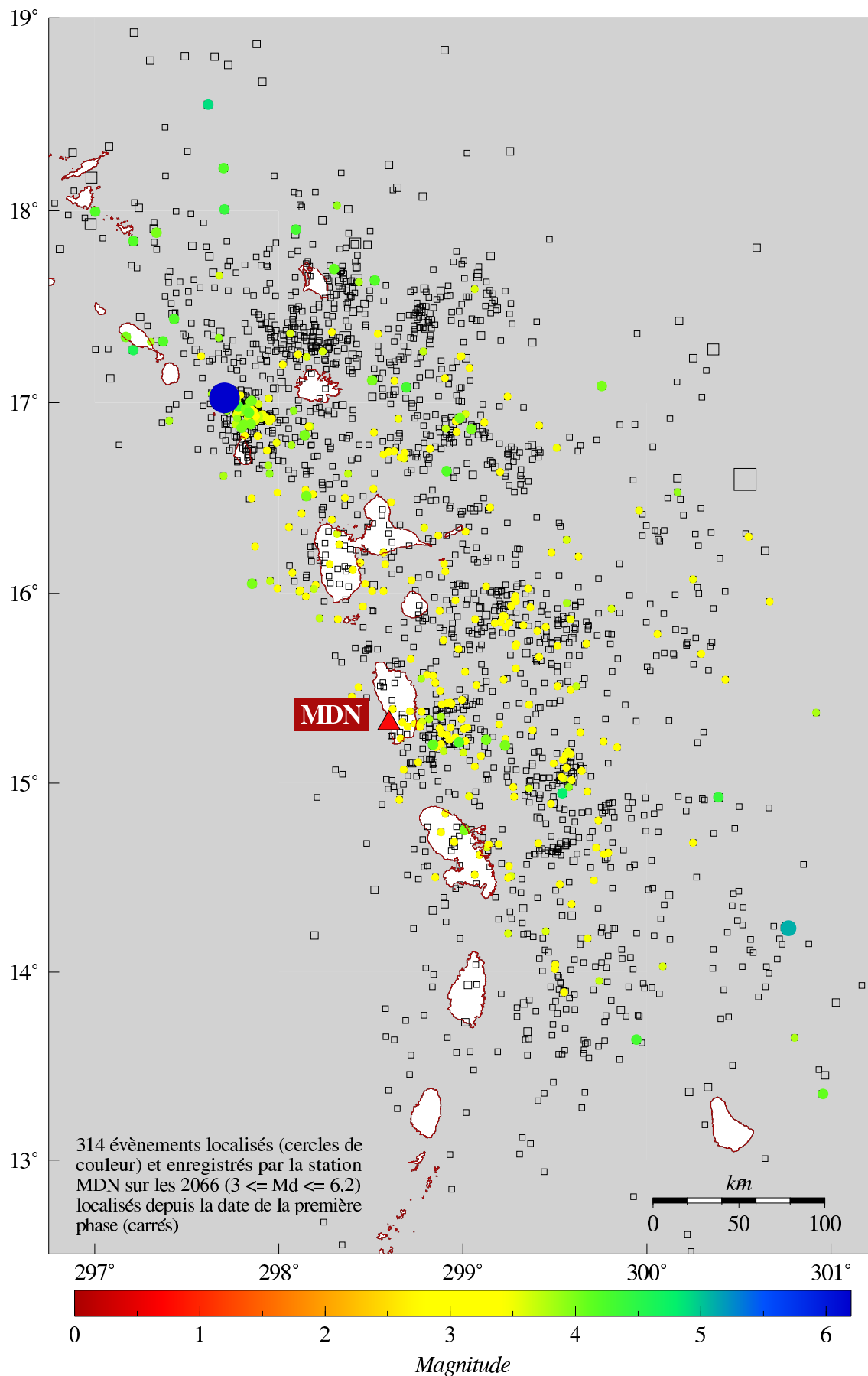
Station BBL

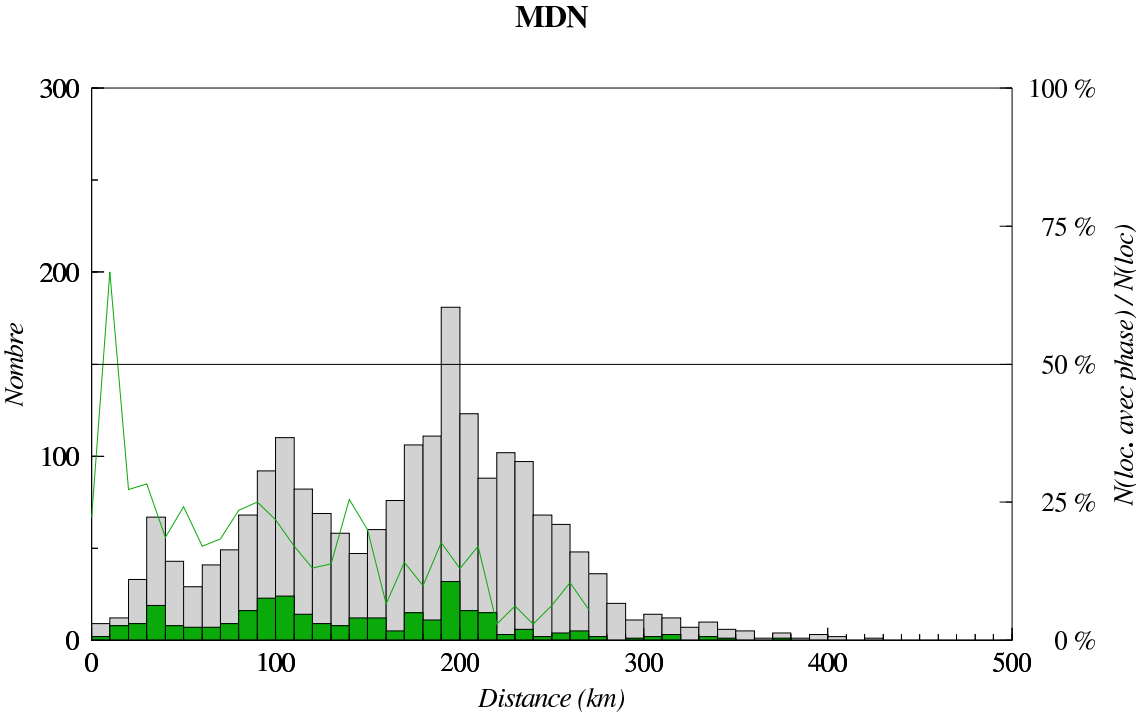


BBL

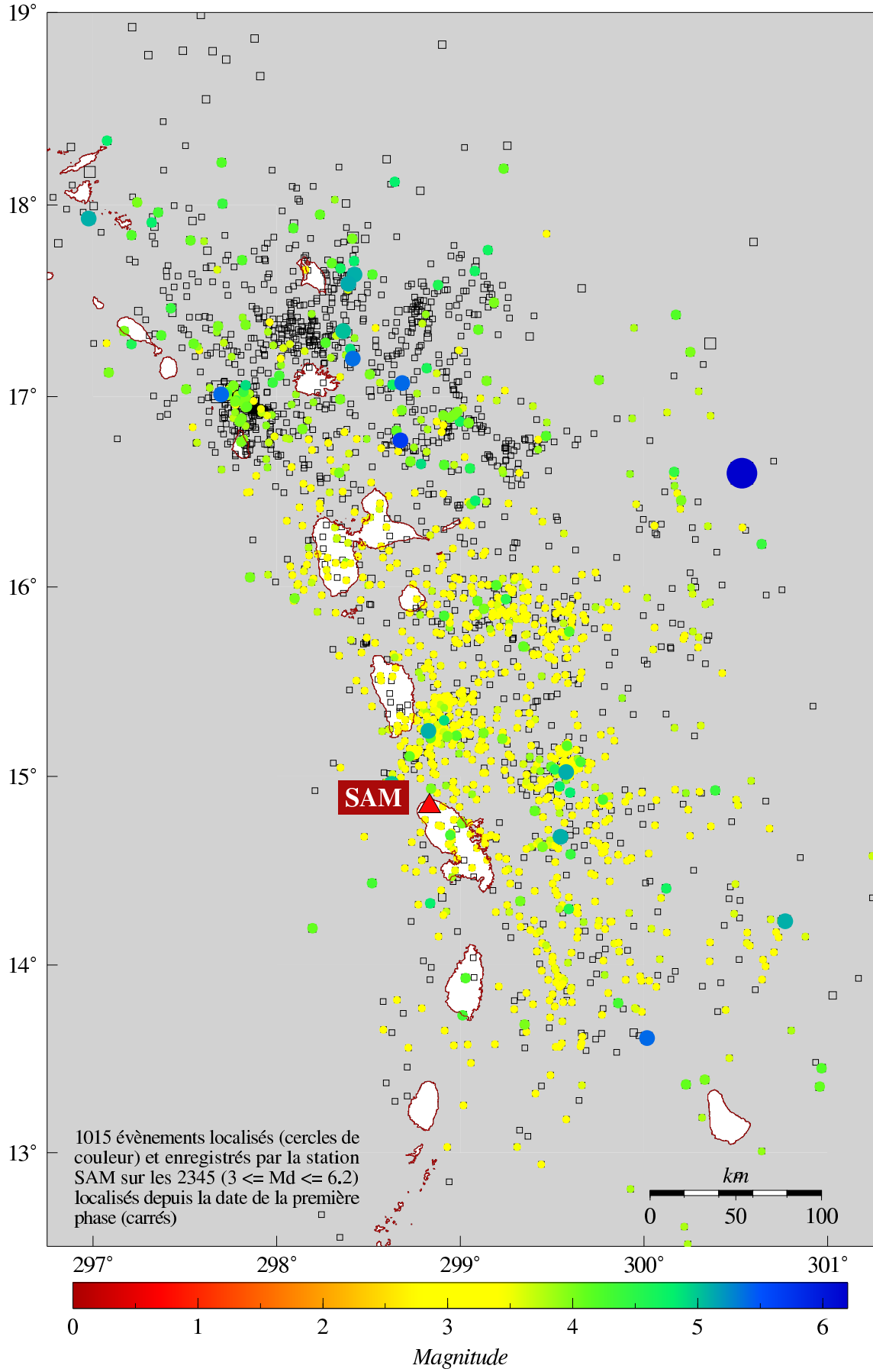


Station MDN

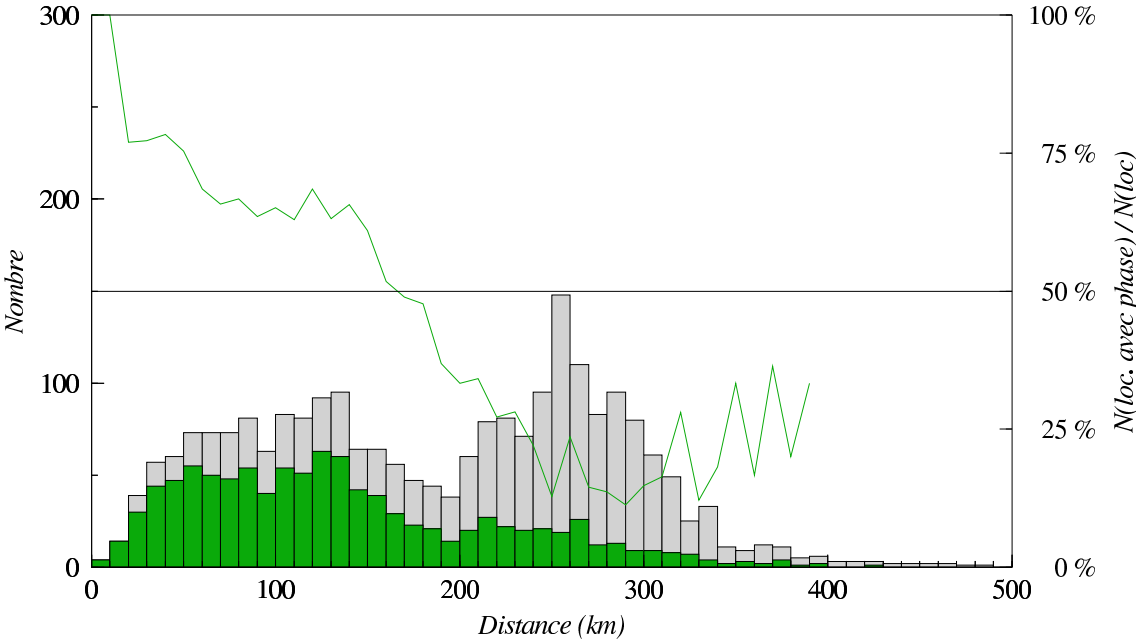




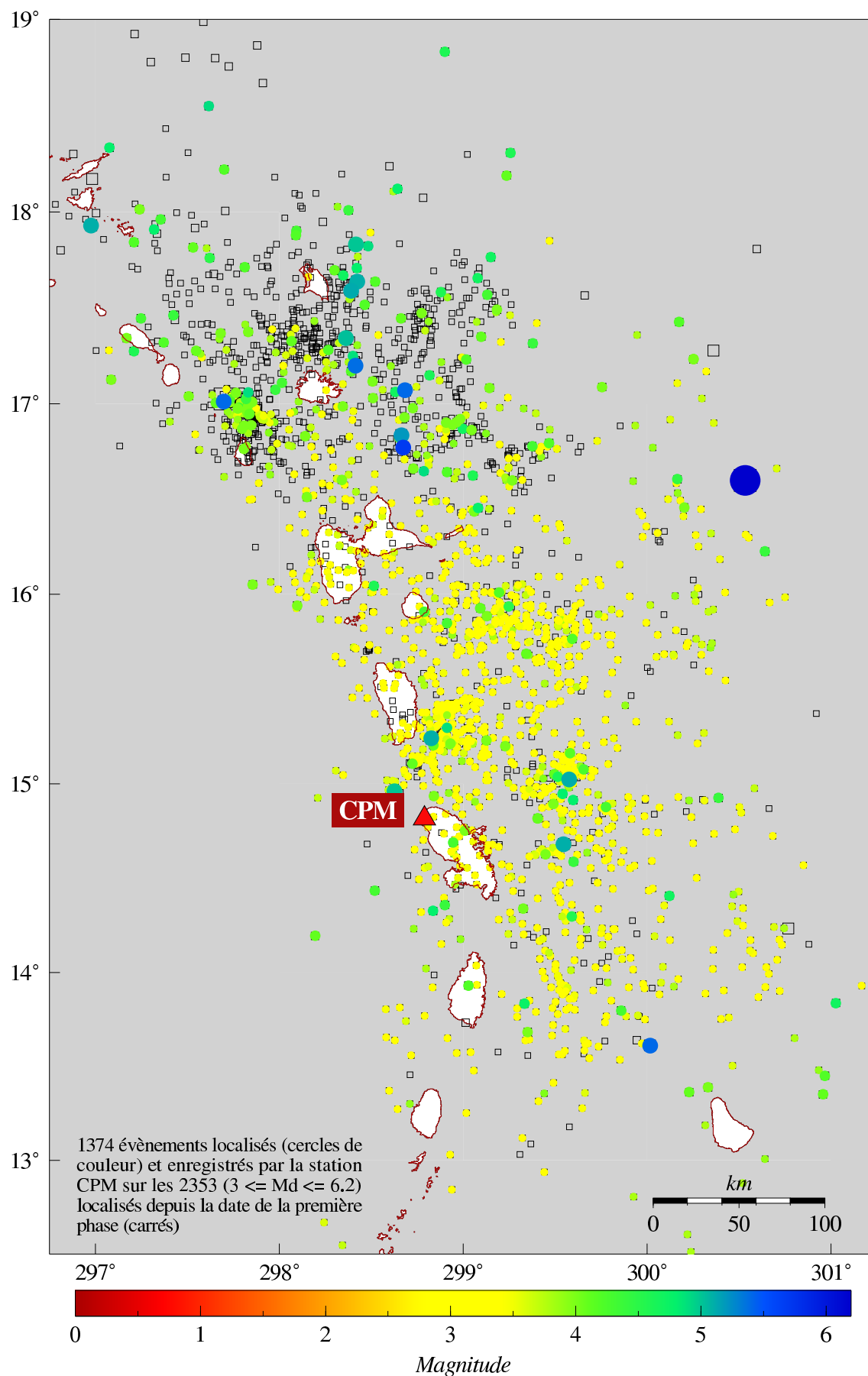
Station SAM

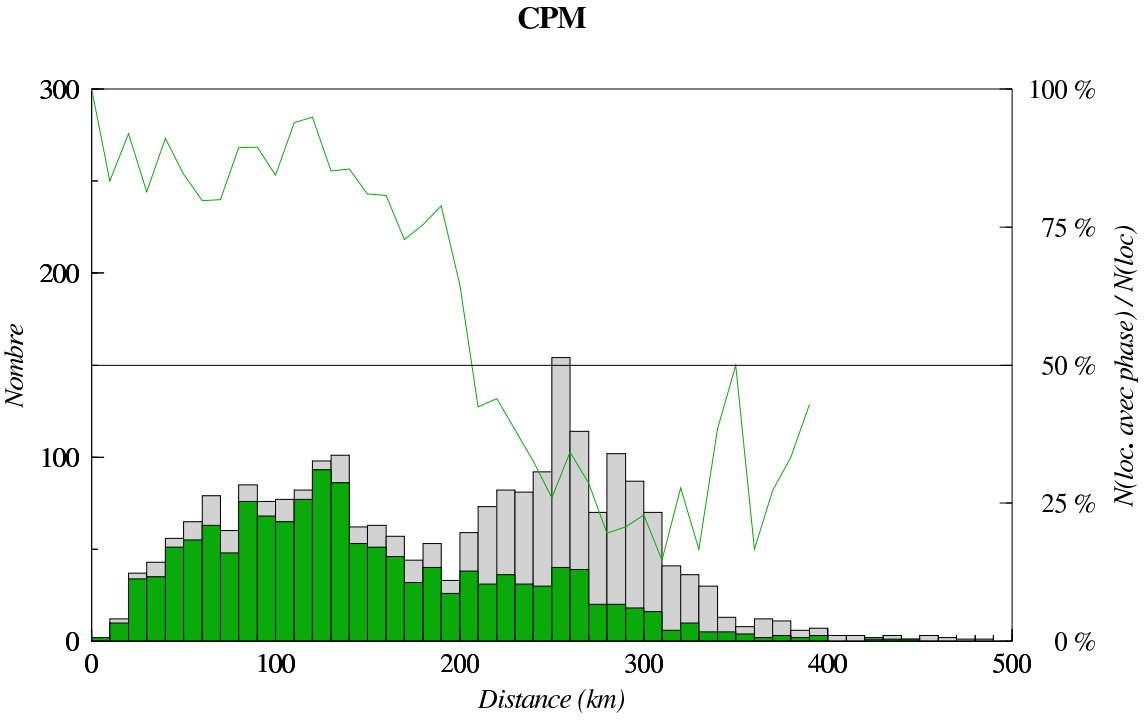


SAM

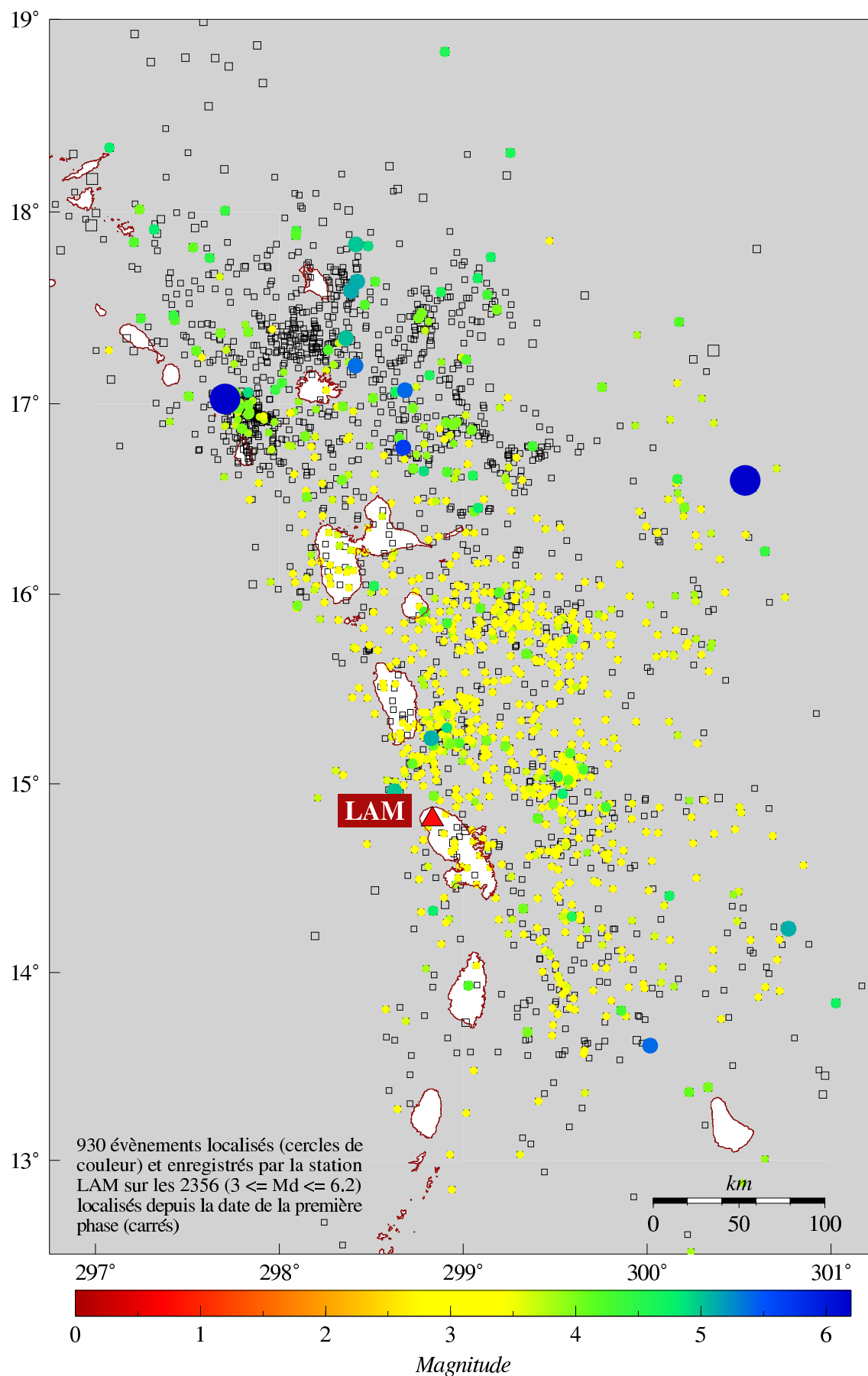


Station CPM

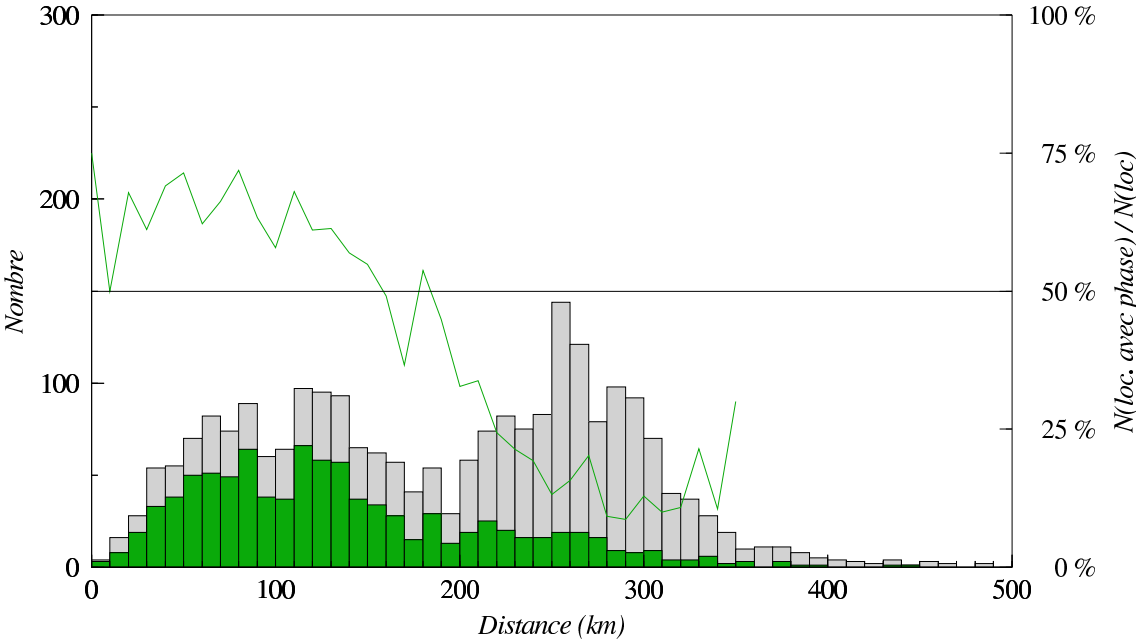




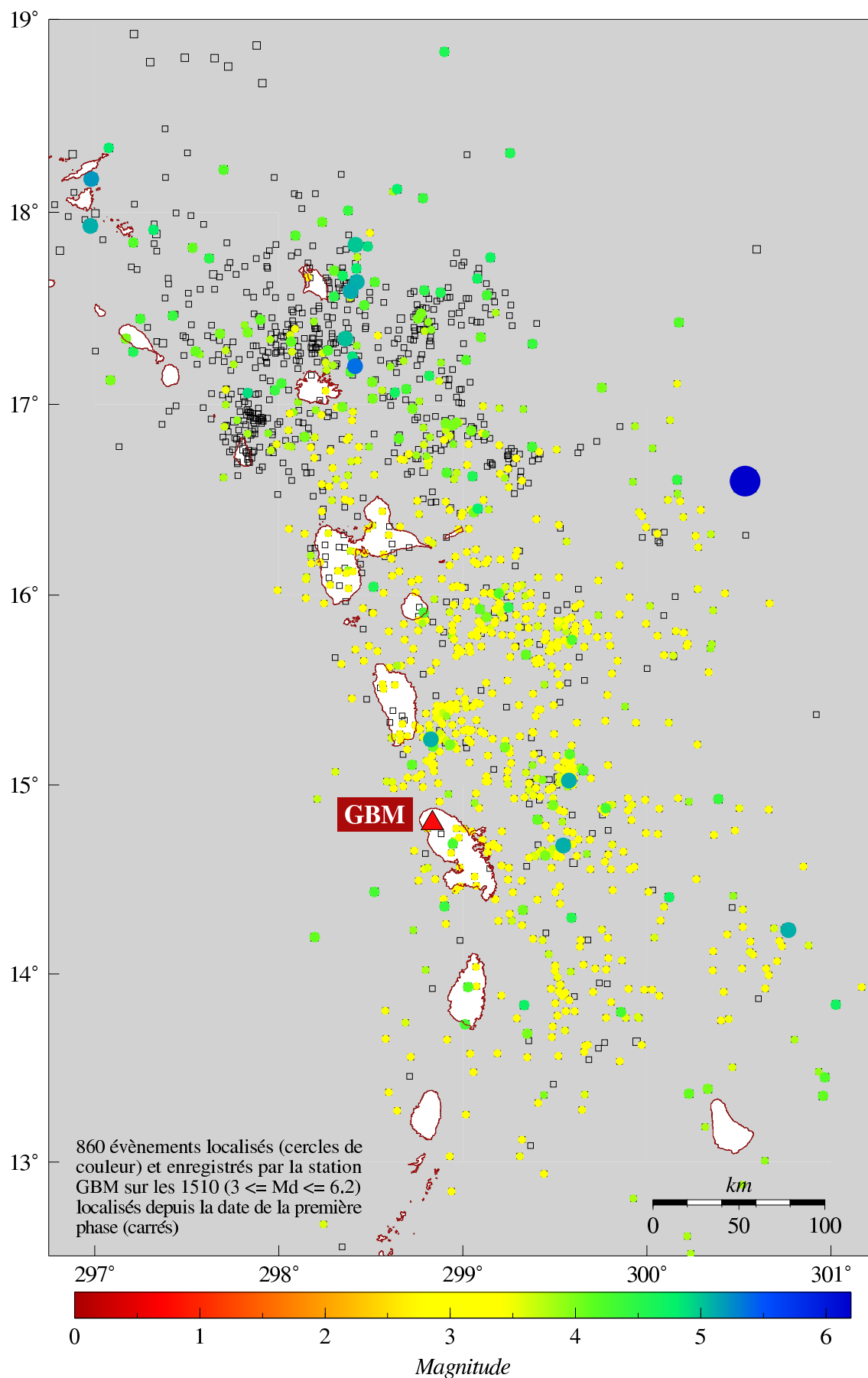
Station LAM

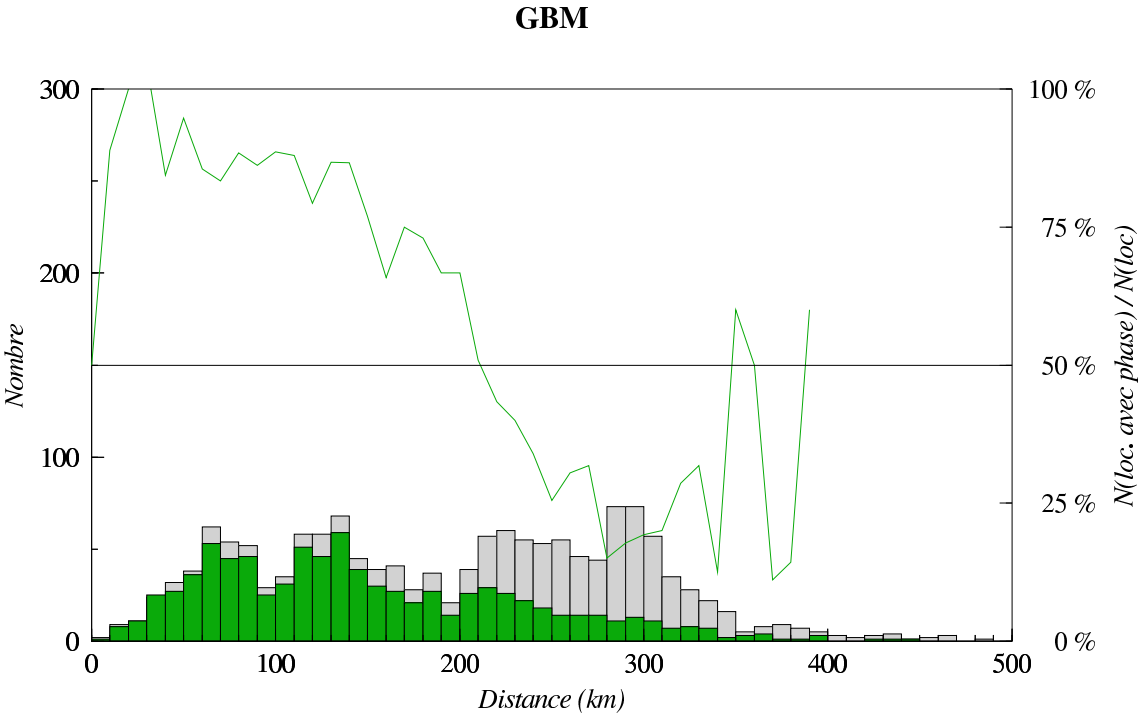


LAM

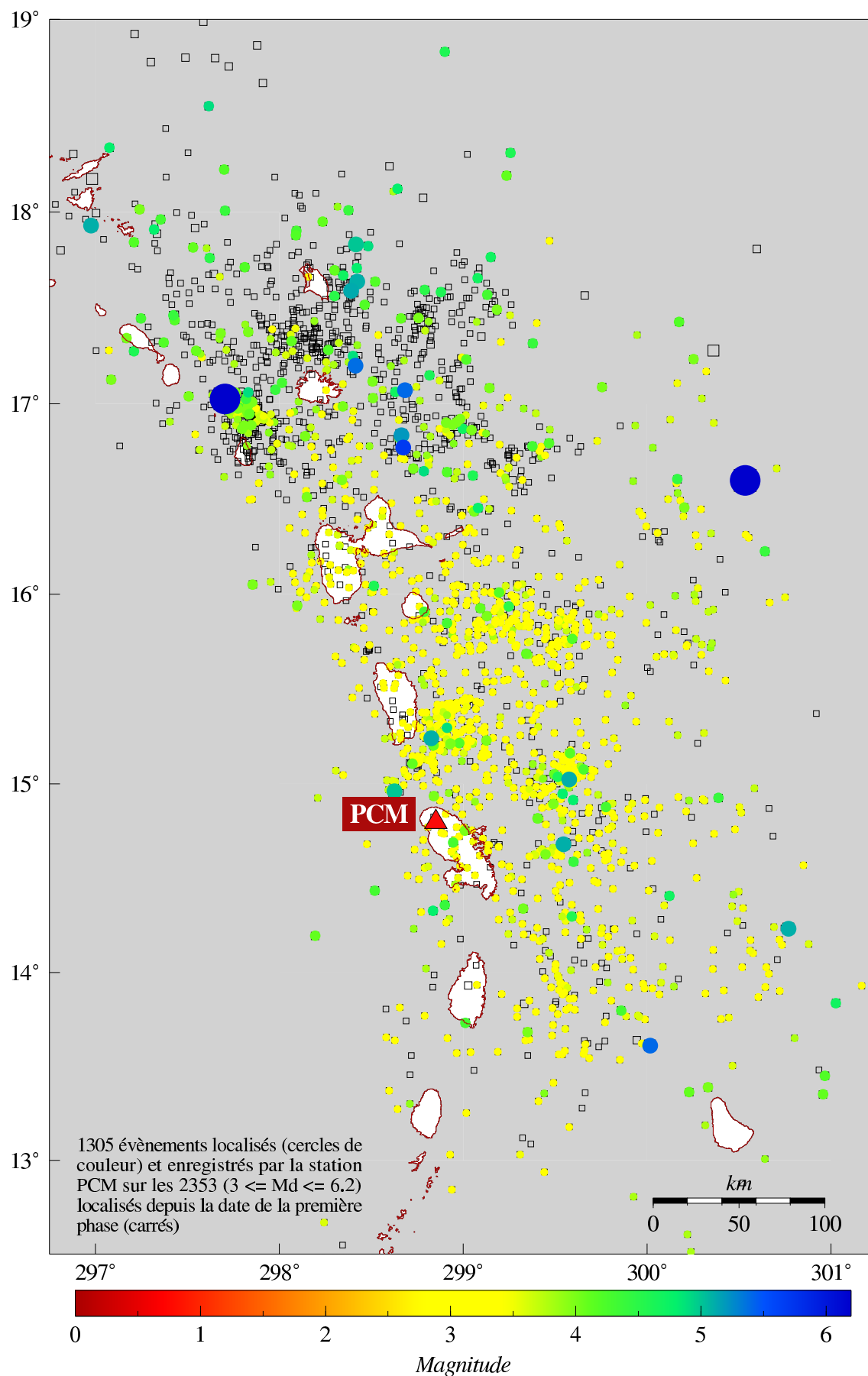


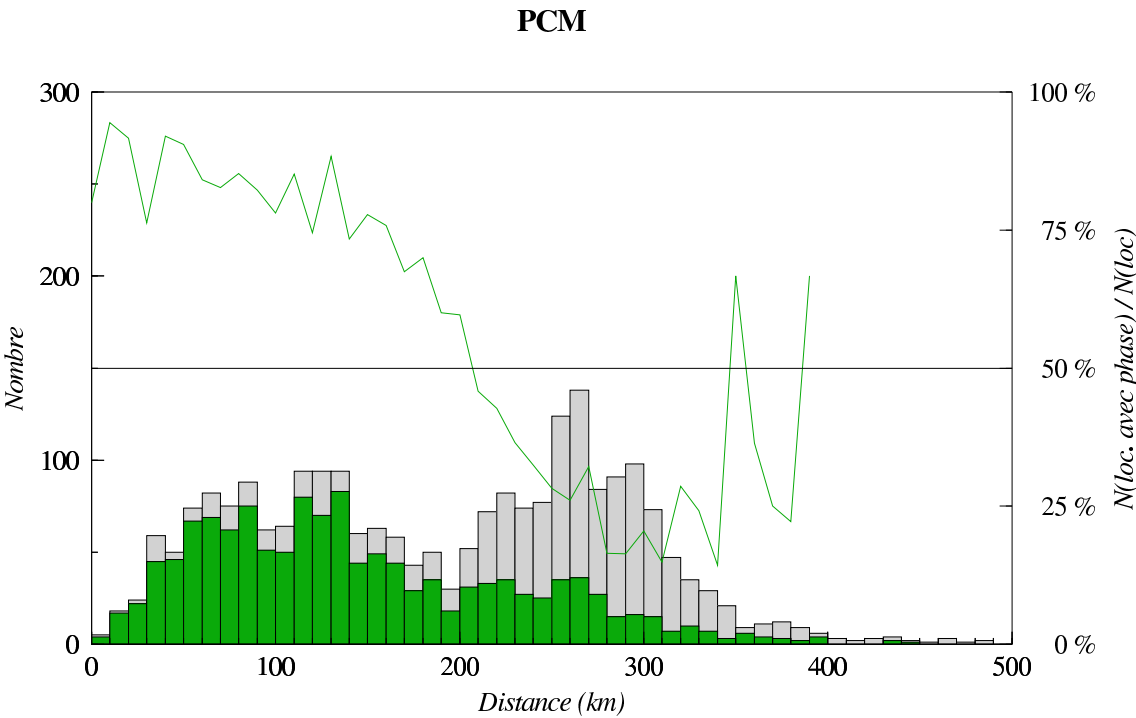
Station GBM



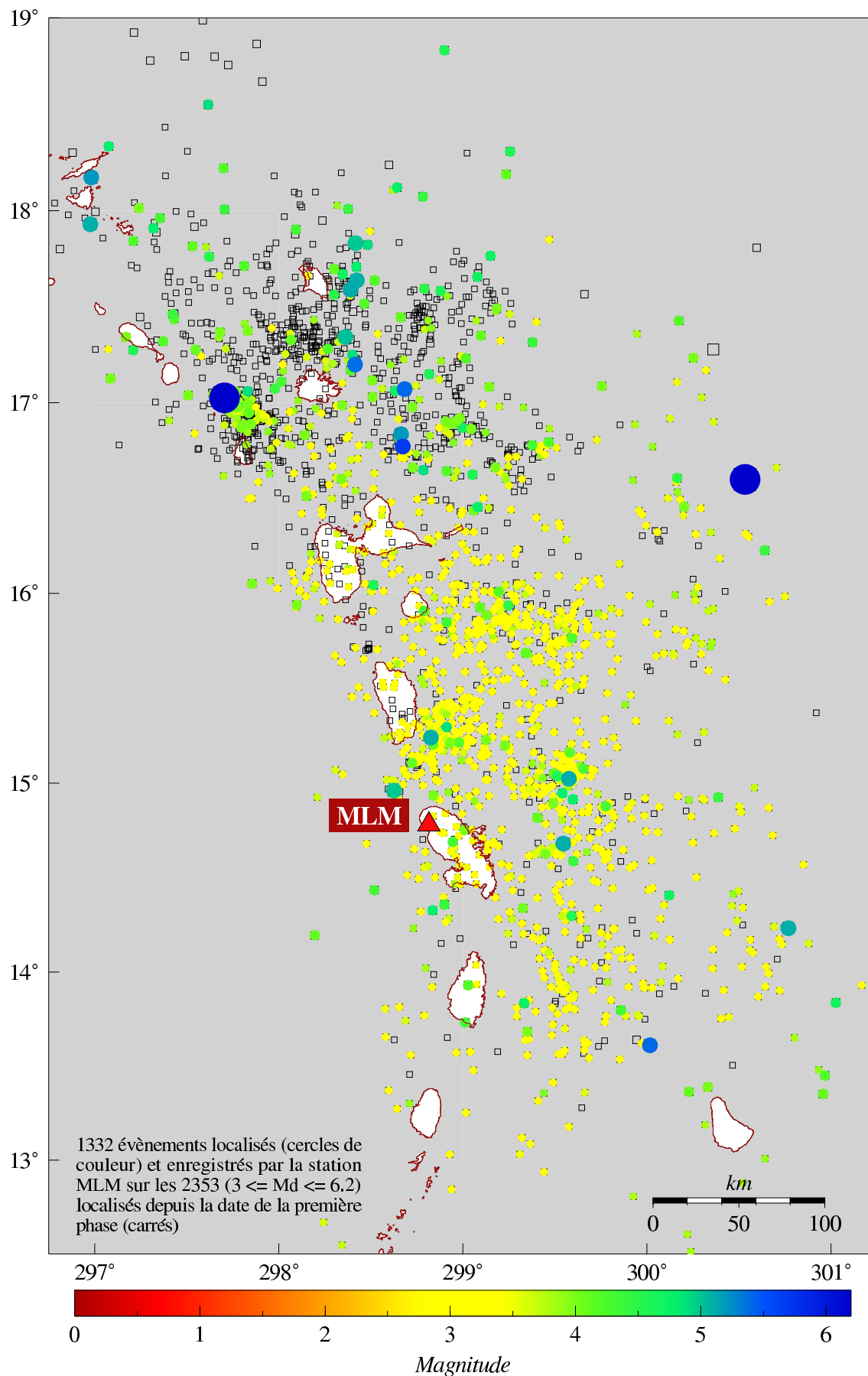


Station PCM

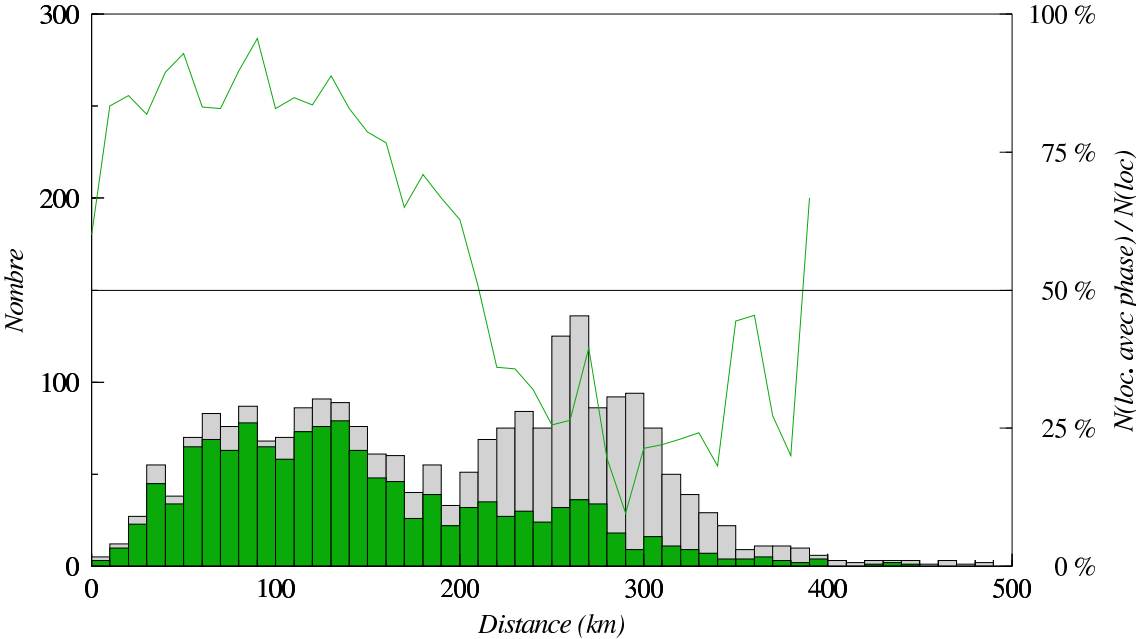




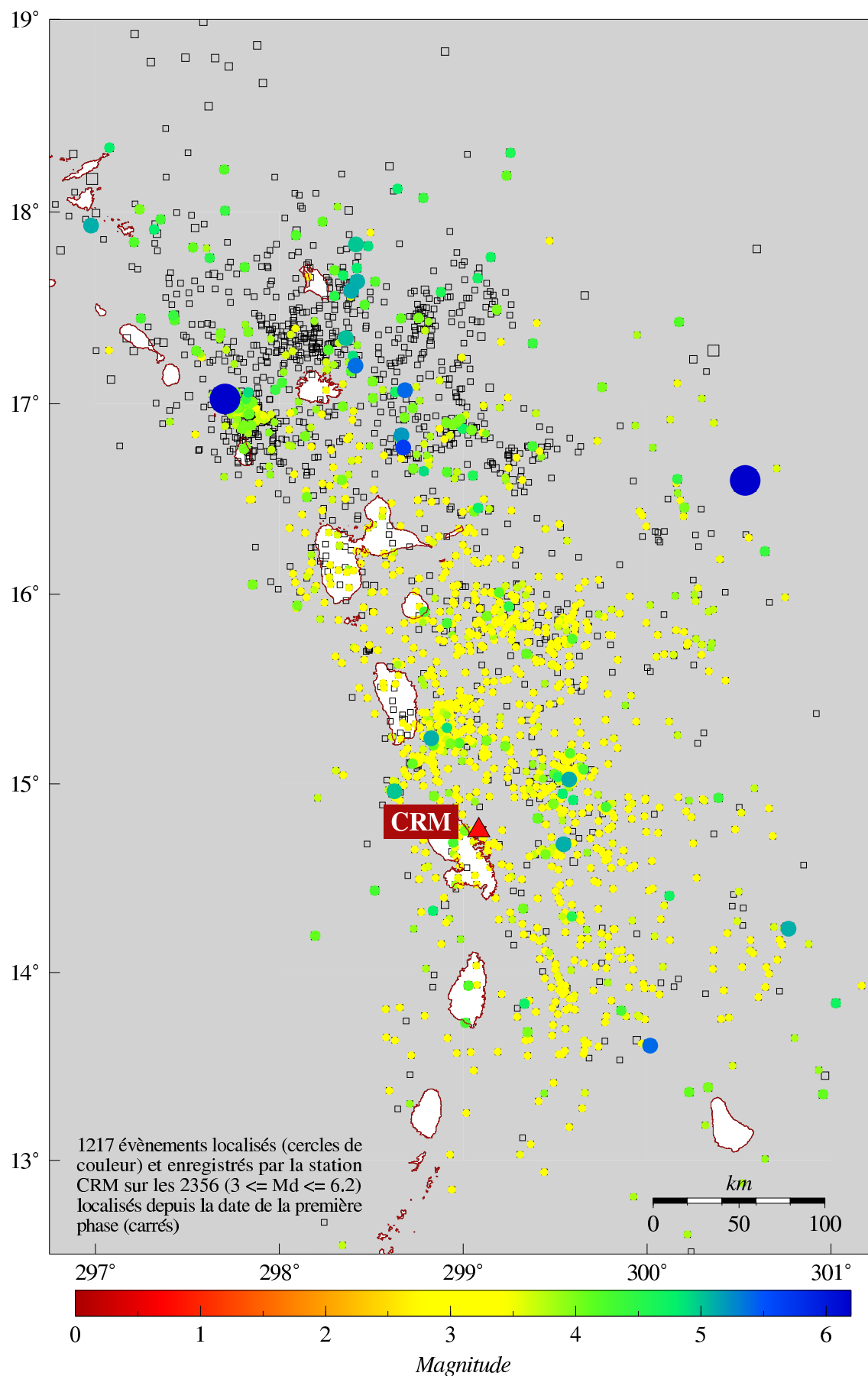
Station MLM

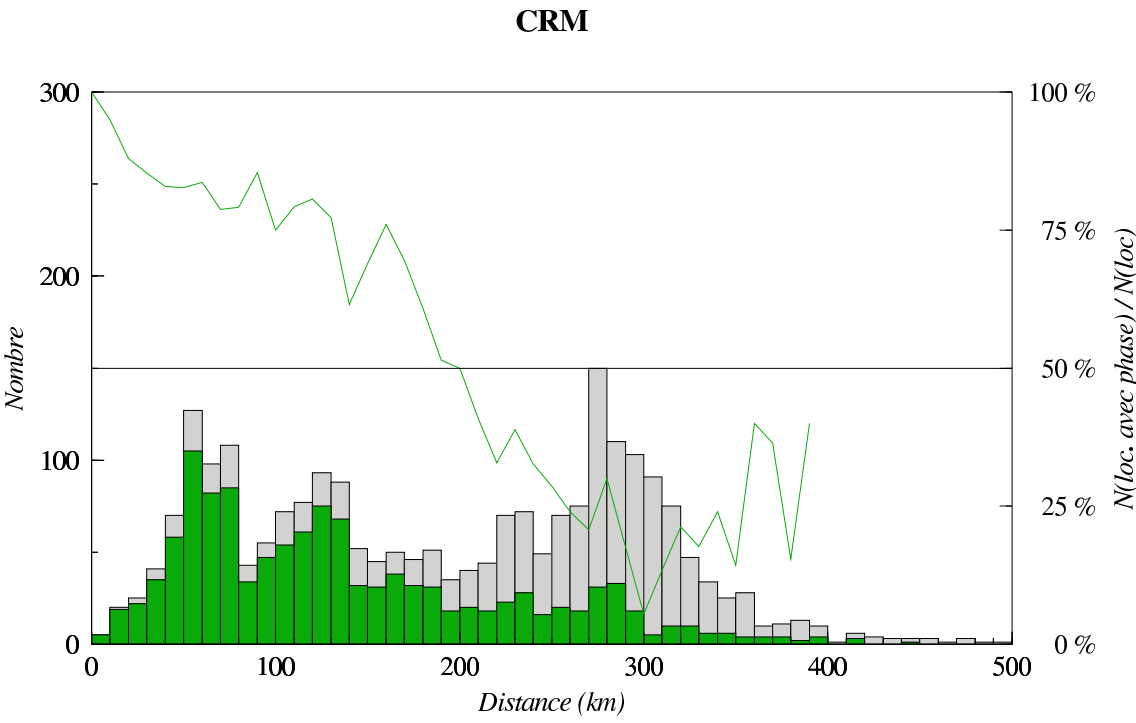


MLM

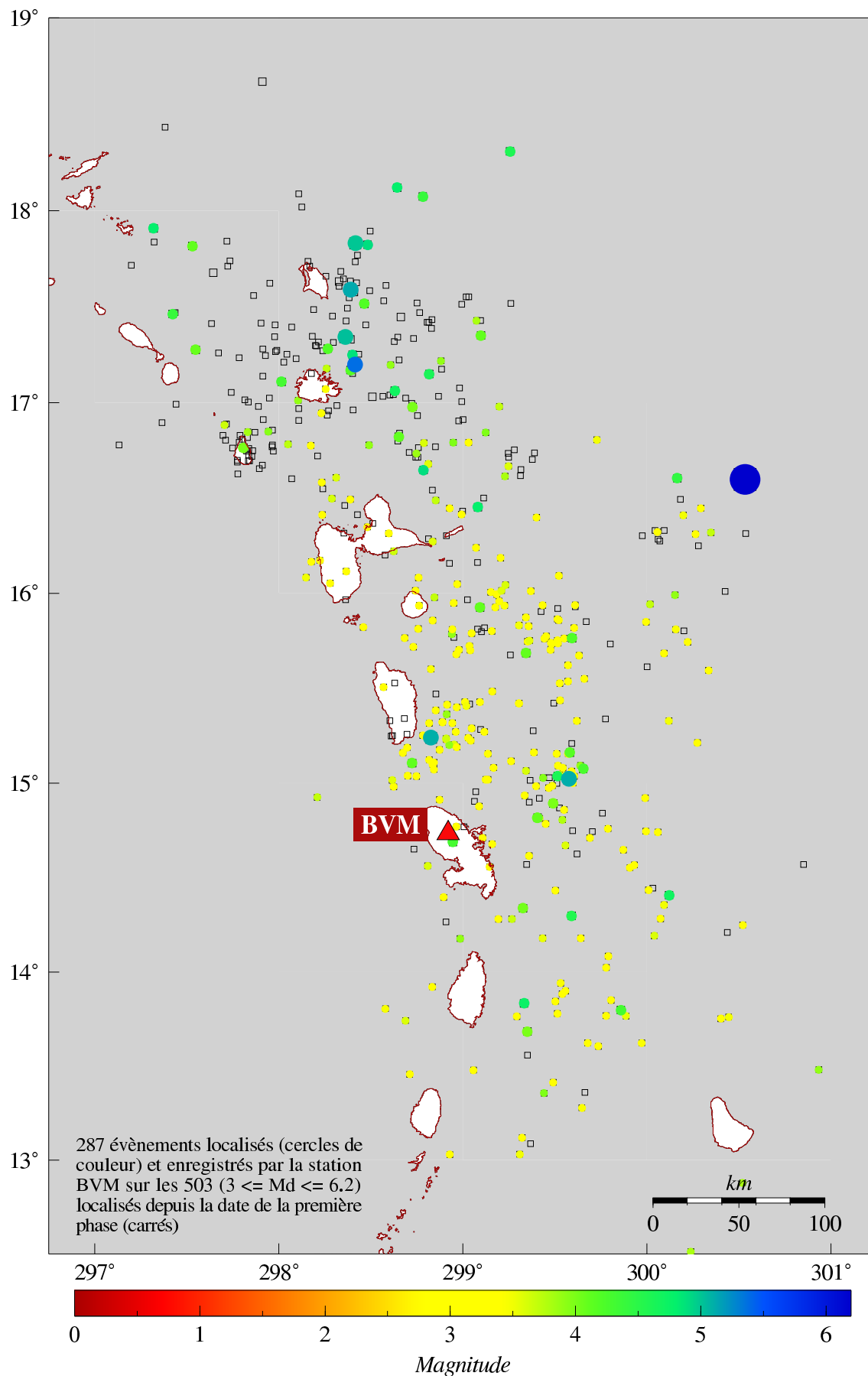


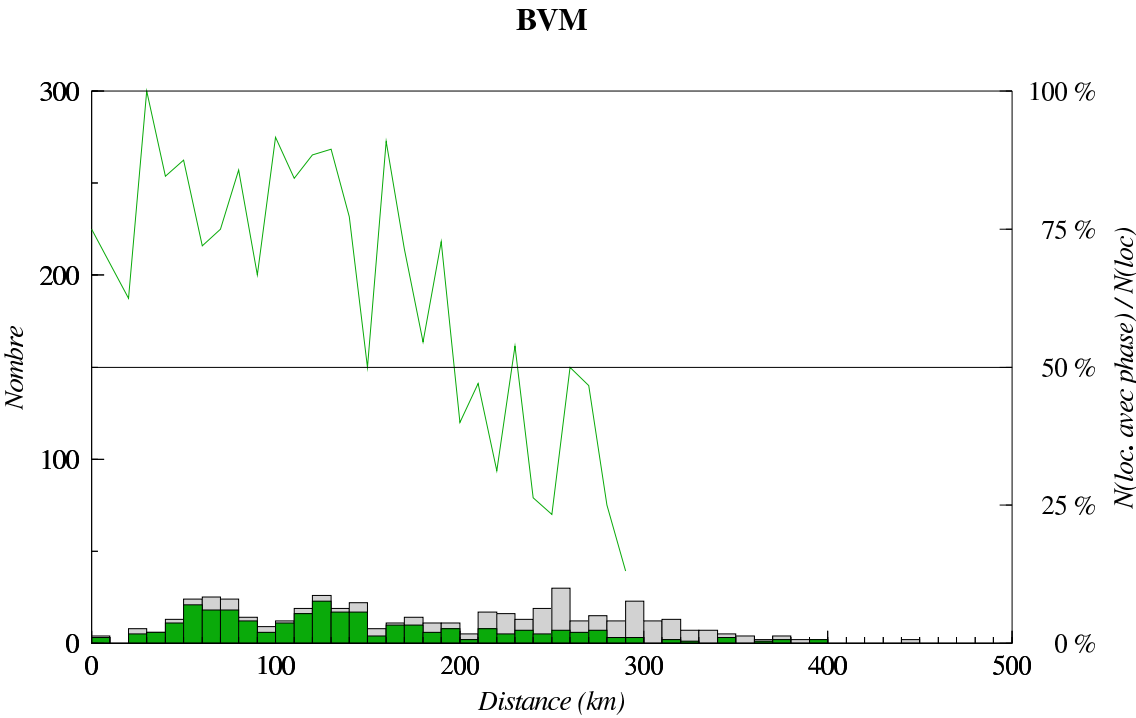
Station CRM



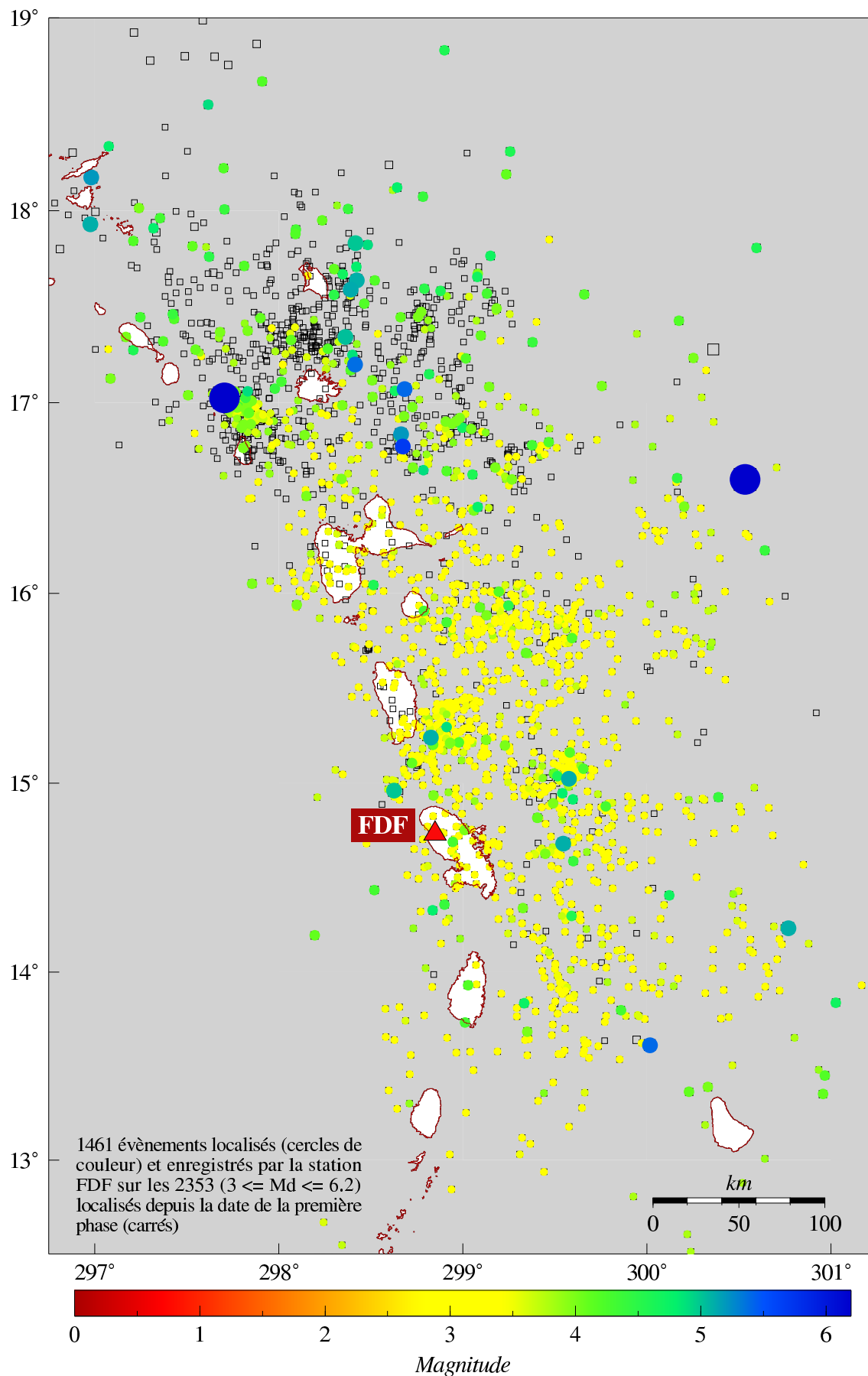


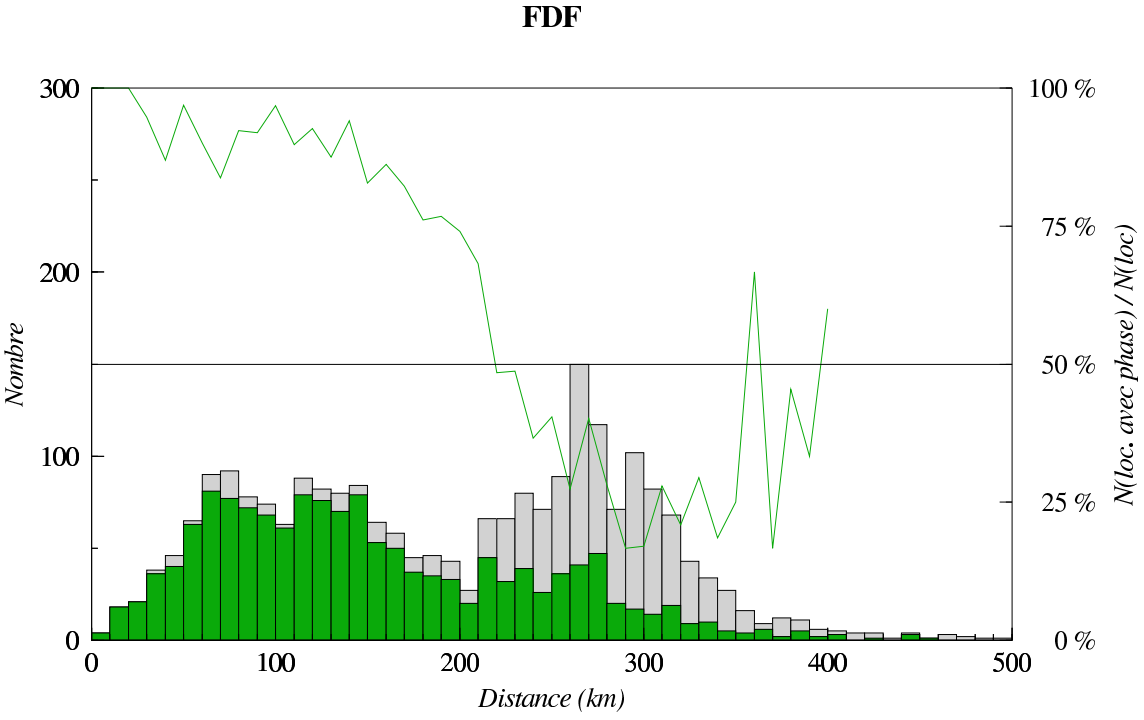
Station BVM



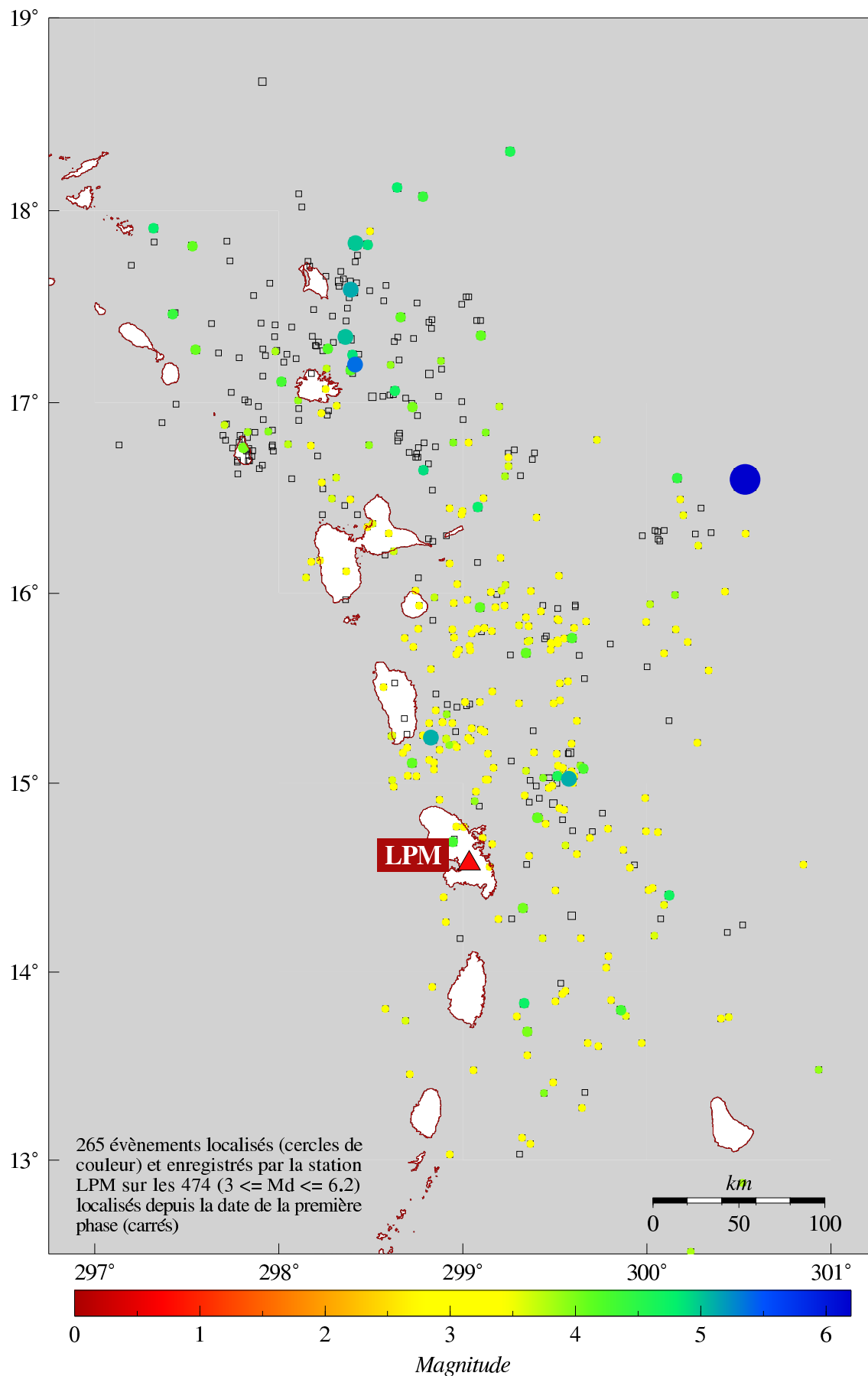


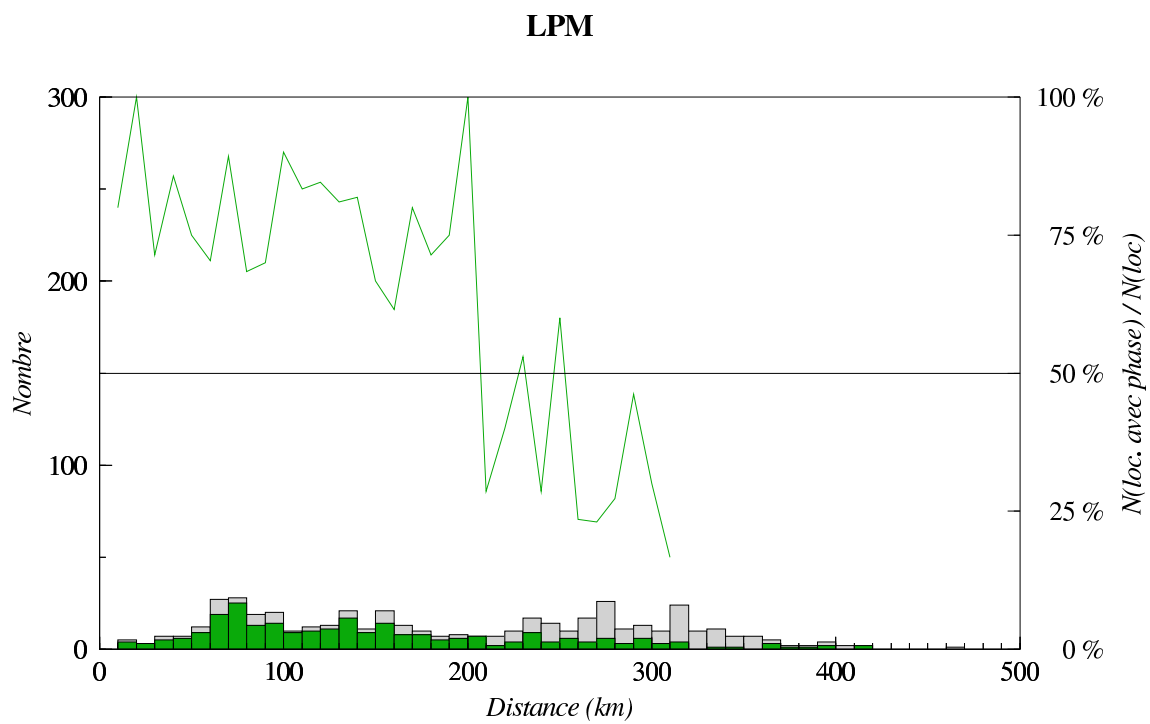
Station FDF



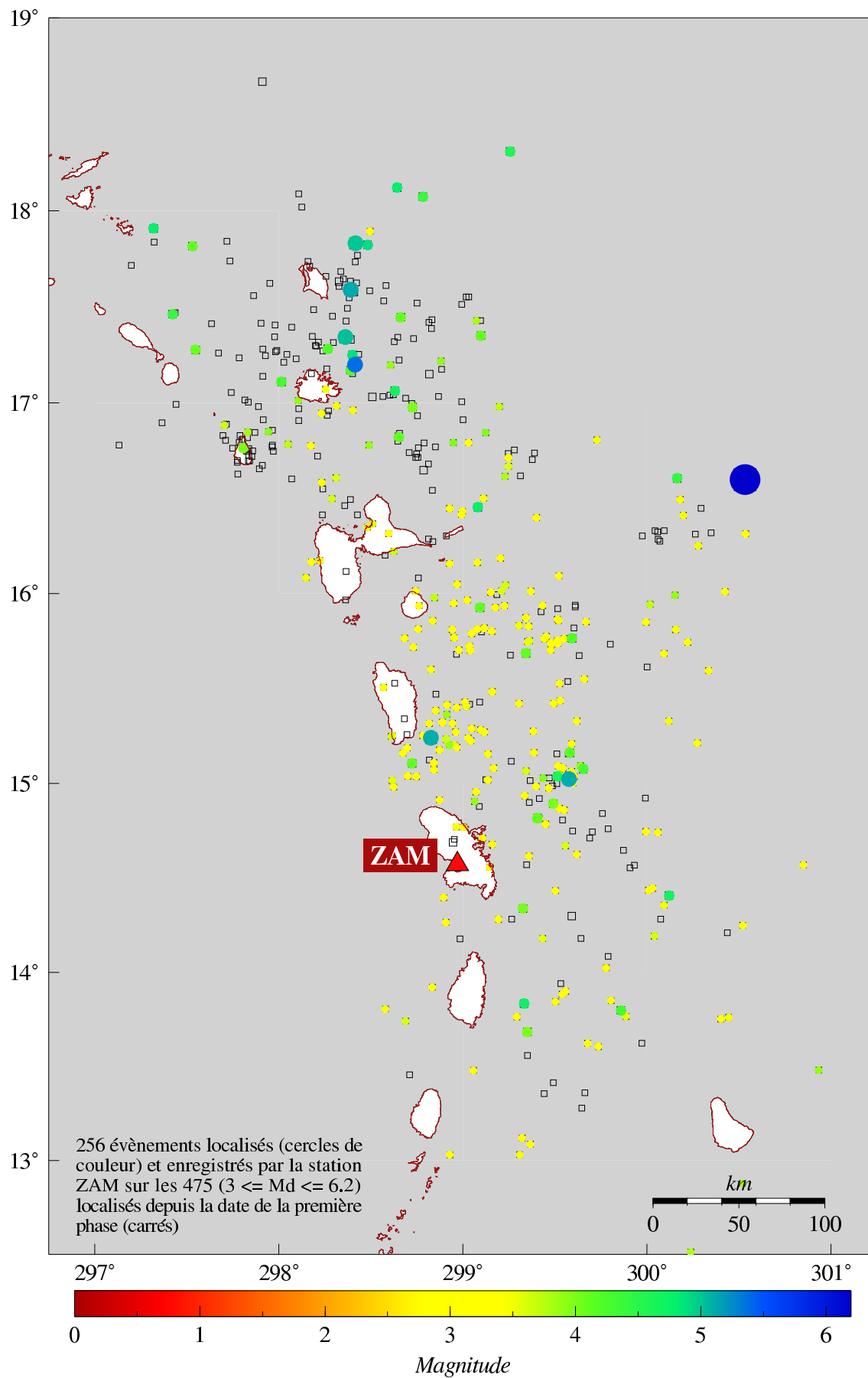


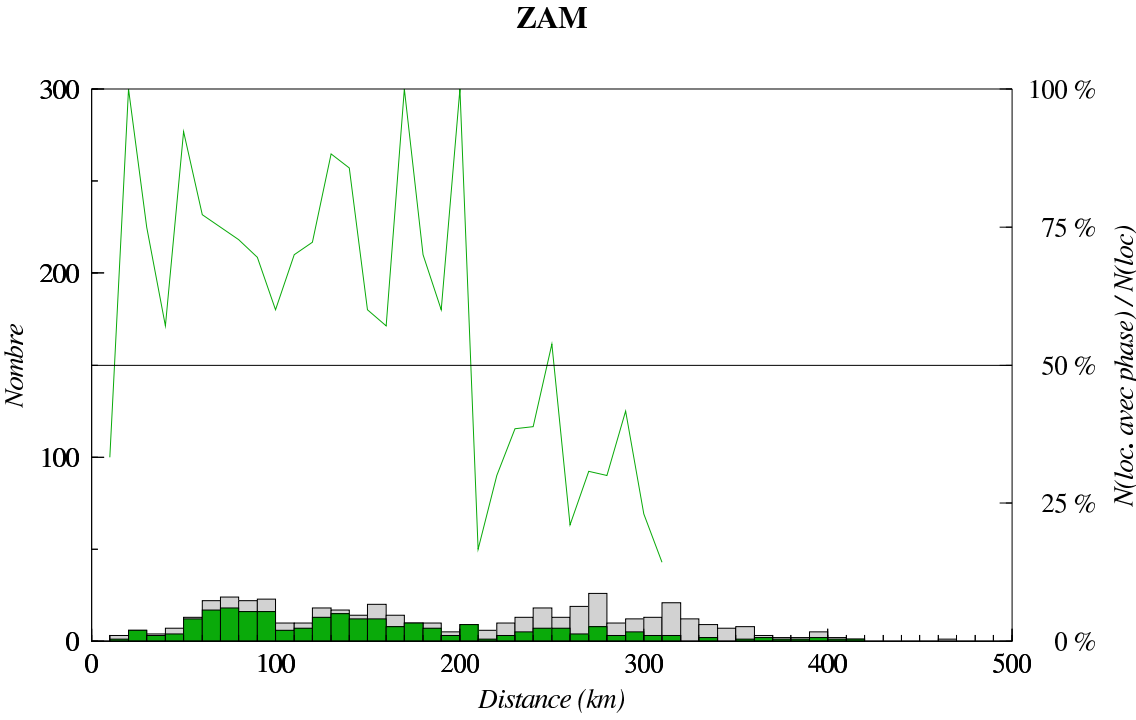
Station LPM



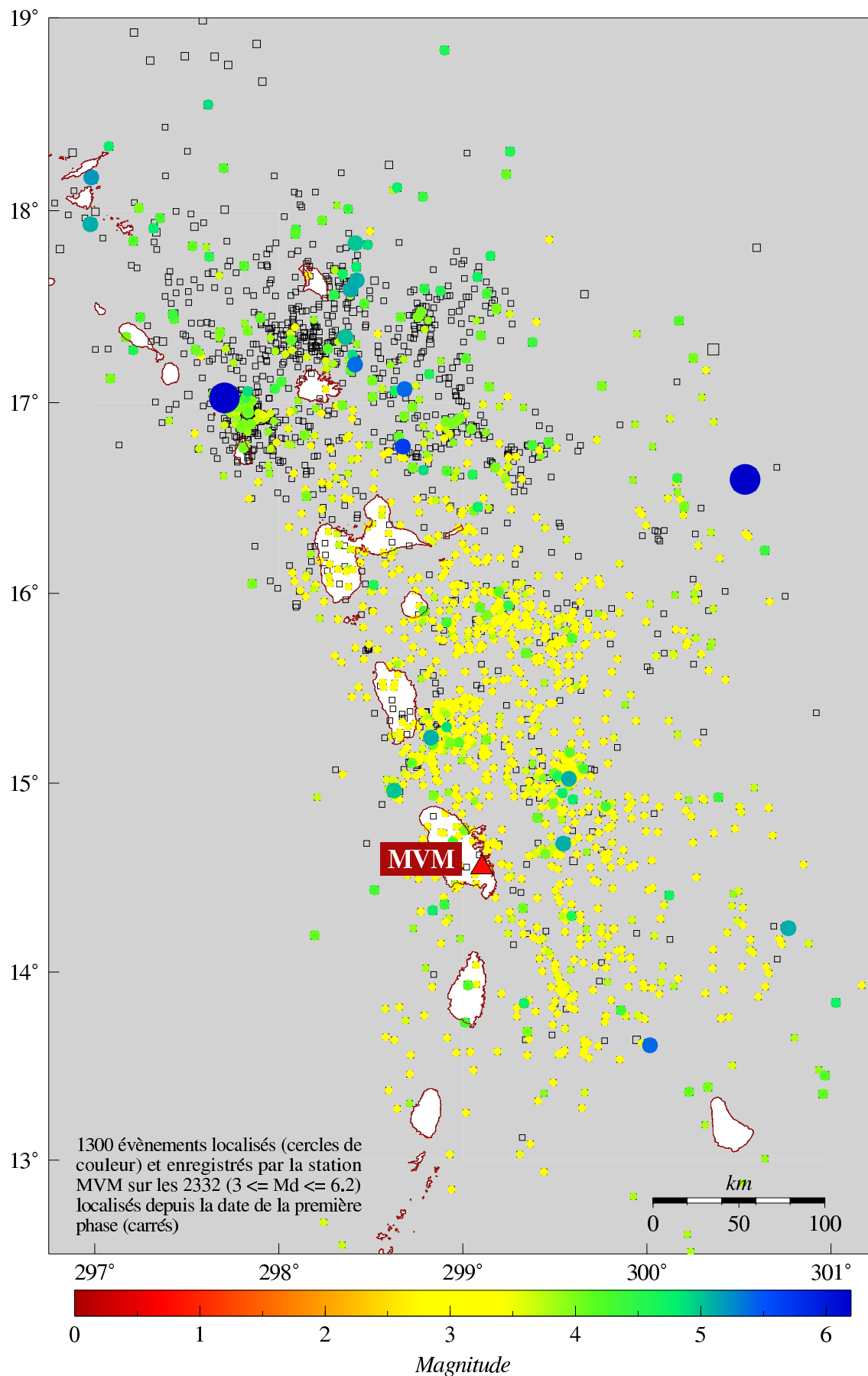


Station ZAM

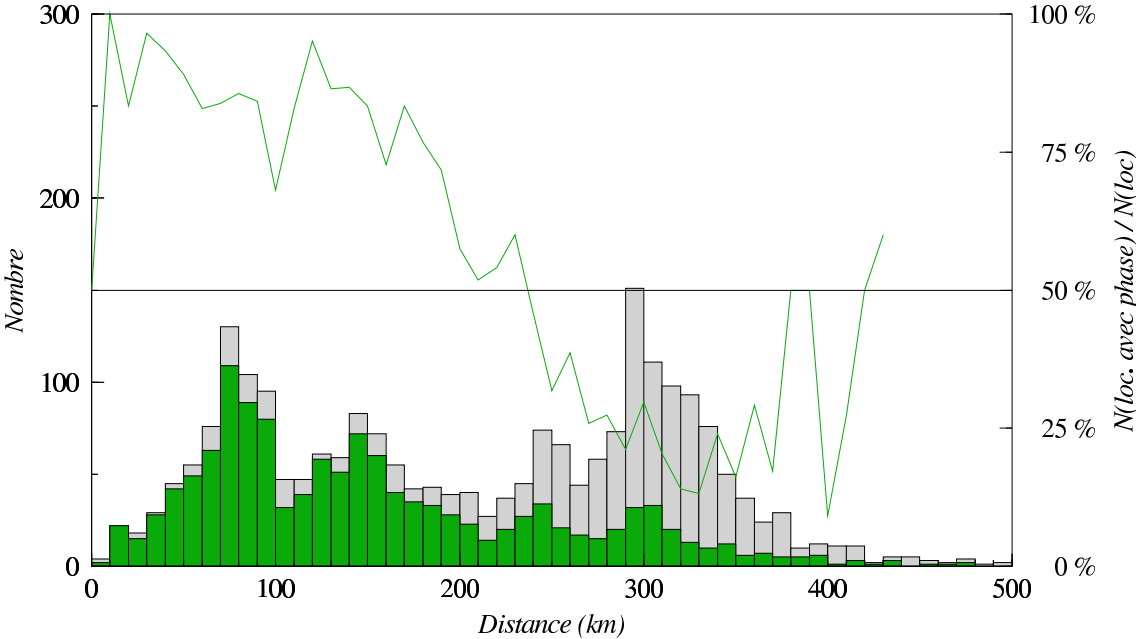




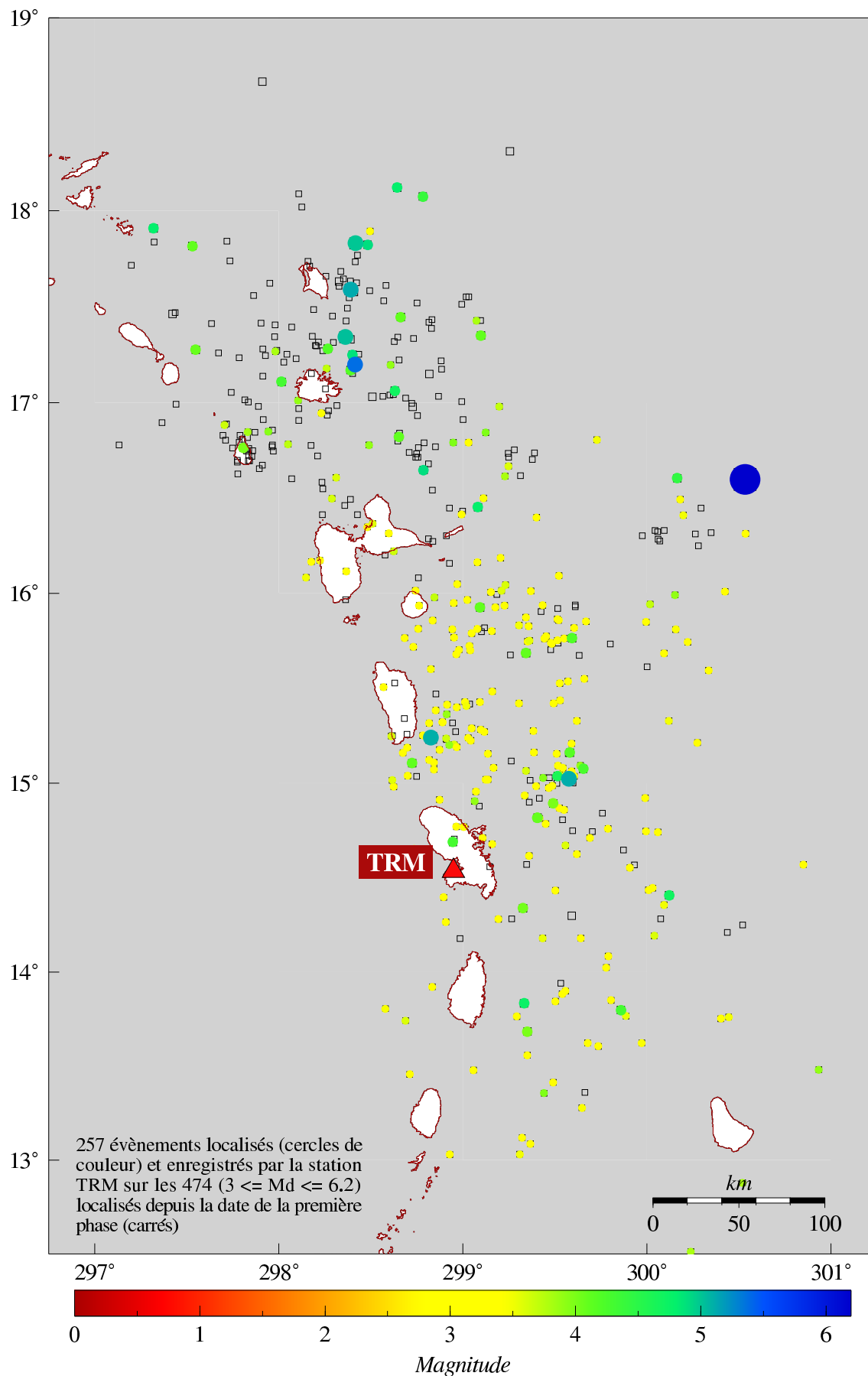
Station MVM

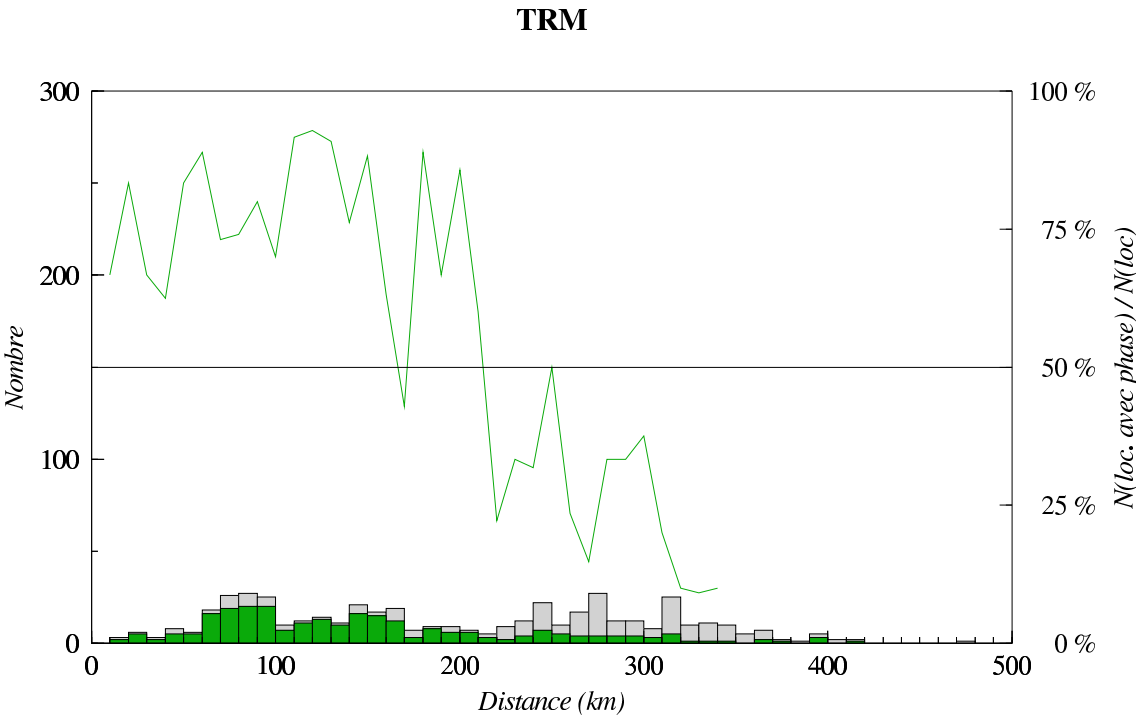


MVM

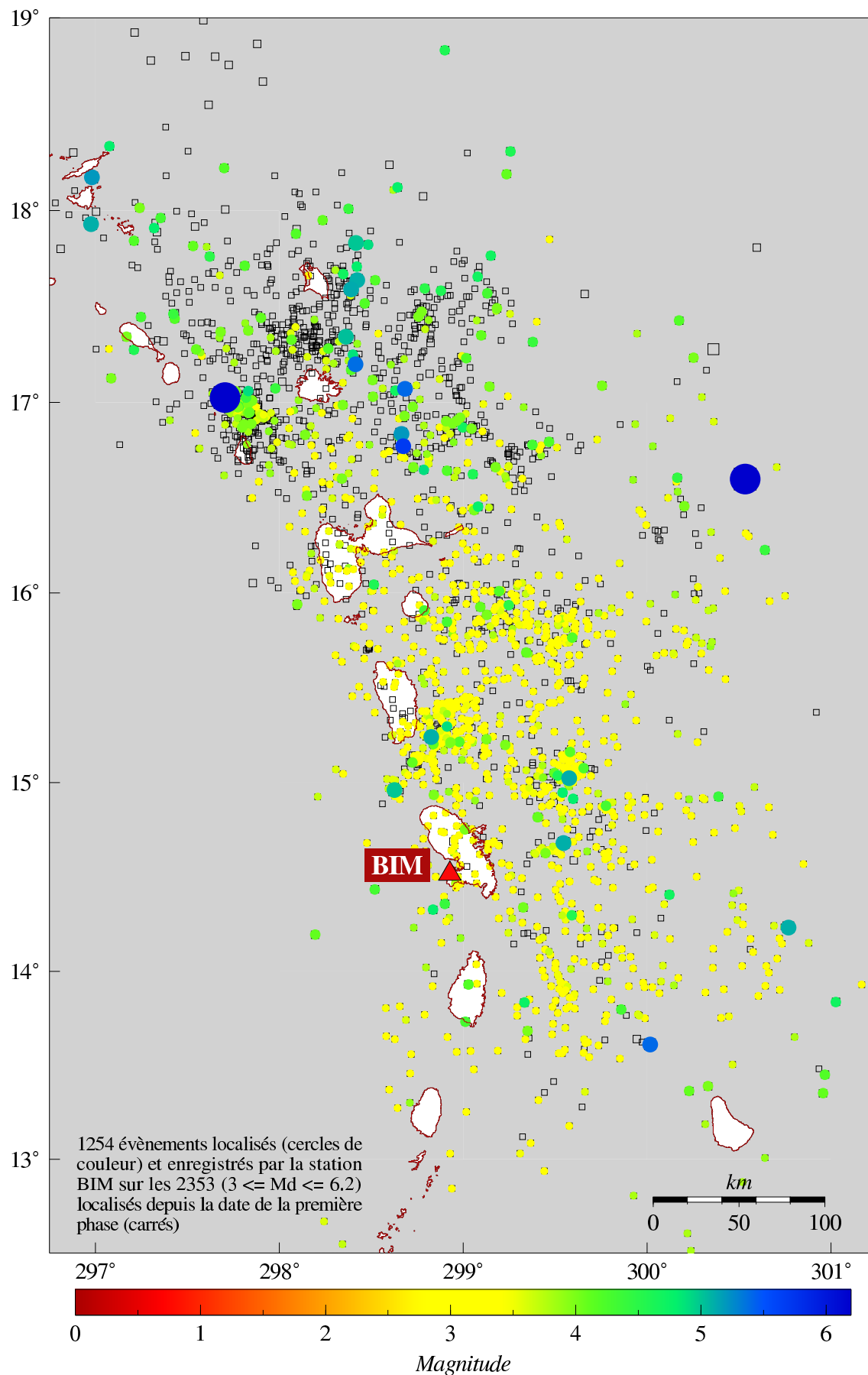


Station TRM





Station BIM



BIM

