

Extension active perpendiculaire à la subduction dans l'arc des Petites Antilles (Guadeloupe, Antilles françaises)

Nathalie Feuillet*, Isabelle Manighetti, Paul Tapponnier

Institut de physique du Globe de Paris, 4, place Jussieu, 75252 Paris cedex 05, France

Reçu le 30 novembre 2000 ; accepté le 13 février 2001

Abstract – Active arc-transverse normal faulting in Guadeloupe (French Lesser Antilles).

Active normal faults cut the uplifted reef platforms of Grande-Terre and Marie-Galante and the volcanic rocks of Basse-Terre in the Lesser Antilles arc. New marine geophysical data shows that such faults extend offshore, forming two distinct sets. One set bounds graben perpendicular to the arc, attesting to \sim north–south extension. The ‘en echelon’ faults of the other set, roughly along the volcanic arc, accommodate a component of sinistral motion. The active Soufrière volcano lies inside the western termination of the Marie-Galante graben. Historical and instrumental earthquakes with magnitude ≥ 5.5 may have ruptured the Marie-Galante graben bounding faults. © 2001 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

seismic hazard / French West Indies / active faulting / seismicity / volcanism

Résumé – Les platiers coralliens de Grande-Terre et Marie-Galante et l'île volcanique de Basse-Terre en Guadeloupe, dans l'arc des Petites Antilles, sont coupés par des failles normales actives. De nouvelles données géophysiques marines montrent que ces failles se prolongent en mer, formant deux familles. L'une limite des grabens perpendiculaires à l'arc, reflétant une extension \sim nord–sud. L'autre, en échelon le long de l'arc volcanique, traduit une composante sénestre de déplacement. Le volcan actif de la Soufrière de Guadeloupe se situe dans la terminaison ouest du graben de Marie-Galante, dont les failles bordières ont sans doute été la source de plusieurs séismes historiques et instrumentaux de magnitude supérieure à 5,5. © 2001 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

aléa sismique / Antilles françaises / failles actives / sismicité / volcanisme

Abridged version

1. Introduction

The Lesser Antilles arc results from subduction of the American plates under the Caribbean plate at rates of $\sim 2 \text{ cm}\cdot\text{yr}^{-1}$ in a southwest direction [12–14] (*figure 1*). Large shallow events ($\leq 30 \text{ km}$) occur both at the plate interface and in the overriding plate [6, 15, 19, 21]. The exact origin of such earthquakes, in terms of faulting, re-

mains poorly known. To better assess the seismic hazard in Guadeloupe, we document here the active faults that cut the islands of Grande-Terre, Marie-Galante and Basse-Terre based on geomorphic and microtectonic measurements, combined with interpretation of aerial photographs, SPOT satellite images, topographic maps and DEMs. New marine geophysical data (AGUADOMAR) are used to map the continuation of the faults offshore and to propose a tectonic model consistent with earthquake focal mechanisms.

* Correspondance et tirés à part.

Adresses e-mail : feuillet@ipgp.jussieu.fr (N. Feuillet), manig@ipgp.jussieu.fr (I. Manighetti), tappon@ipgp.jussieu.fr (P. Tapponnier).

2. Active faults on the Guadeloupe islands

North of Martinique, the Lesser Antilles arc is composed of an outer arc, made of Plio-Quaternary coral reef platforms, and of a recent (Upper Miocene [10]) inner volcanic arc (*figure 1*). On the outer reef platforms of the Guadeloupe archipelago (Grande-Terre, Marie-Galante, la Désirade) the morphotectonic identification of active faults (cumulative scarps with steeper slopes [3], wine-glass valleys [4]) is straightforward. The uplifted reef of Grande-Terre is cut by two active normal fault sets whose kilometer-long scarps form clear steps in the topography (*figures 2 and 3a*). The first set is composed of $\sim N 20^\circ E$ -striking faults that dip southeastwards, tilting northwestwards the northern plateaus of Grande-Terre. The Grande-Vigie fault offsets the reef surface by about 40 m (*figure 3a*). The fault plane bears purely dip-slip slickensides (*figure 3b*). The second set cuts the southern shore of Grande-Terre. The faults strike \sim east–west, with 40–60-m-high scarps facing southwards (e.g., Gosier fault). Slickensides indicate north–south extension (*figure 2*).

The east–west-striking normal faults that cut the reef platform of Marie-Galante dip northwards, opposite to those along the southern shore of Grande-Terre. The Morne-Piton fault divides the island into two parts, down-dropping the northern plateau relative to the uplifted southern plateau (*figures 2 and 3c*). The 130-m-high cumulative scarp of the fault exhibits hanging wineglass valleys (*figure 3d*), a morphology typical of active normal faults that slip faster than rivers can incise [4].

On the volcanic island of Basse-Terre, normal faults, striking mostly \sim east–west, with slickensides compatible with north–south extension, are visible in section along the island’s wave-cut western shore (*figure 4*). North of the recent volcanic complex of Grande-Découverte [8], most of the faults dip southwards (e.g., ‘Pointe-à-Sel’ fault; *figures 3e and 4*: stereoplot 10). South of this complex, normal faults cutting the older ‘Monts Caraïbes’ hyaloclastites dip mostly northwards (*figures 3f and 4*: stereoplot 20). The southern tip of Basse-Terre is thus crossed by two antithetic fault sets, with a geometry similar to that observed farther east between Grande-Terre and Marie-Galante.

3. Active faults offshore the Guadeloupe archipelago

The new AGUADOMAR geophysical data (bathymetry and seismic reflection profiles) show that the faults identified onland extend offshore (*figure 2*). The Morne-Piton fault system, for instance, reaches a total length of ~ 80 km. Together with the normal faults that cut the southern shore of Grande-Terre, it bounds the east–west-striking Marie-Galante graben. This graben extends eastwards, crossing the Karukera spur and cutting the associated normal fault system parallel to the arc. To the west, the

recent volcanic complex of Basse-Terre thus appears to lie within the continuation of the Marie-Galante graben.

The Grande-Vigie and Montagne Vercinot normal faults of northern Grande-Terre also extend offshore as part of the ‘Éperon Bertrand–Falmouth’ system, whose faults limit $N 40 \pm 20^\circ E$ striking graben or half-graben.

Westwards, most of the graben that cut at high angle the outer part of the arc merge with a different fault zone, the Bouillante–Montserrat fault system [10, 16, 20], which follows the inner volcanic arc. This system is composed of several ‘en echelon’ oblique faults that accommodate a component of sinistral motion. The overall geometry of faulting at the scale of the northern Caribbean arc thus resembles that of a sinistral, extensional horsetail.

4. Active faulting, seismicity and volcanism

The normal faults we studied in Guadeloupe cut 250–30-ka-old coral reef platforms [5, 16] and recent (< 200 ka, [8]) volcanic rocks. Their scarps have youthful morphology attesting to ongoing motion. We thus infer them to be a potential source of damaging shallow earthquakes. Three historical earthquakes with intensity VII to VIII [6, 15], for instance, occurred in the last 150 years near the Marie-Galante graben border faults (*figure 2*: 1851, Capesterre; 1897, Pointe-à-Pitre and 1914 eastward of Marie-Galante). The fault plane solution of the August, 3, 1992, $M_s = 5.6$ earthquake is compatible both with the direction, dip and slip of the faults near which it is located, and with north–south extension. North of Montserrat, the fault plane solutions of the 1985 ($m_b = 6.3$) and 1986 earthquakes are consistent with sinistral motion along the Bouillante–Montserrat fault system.

The recent volcanic complexes of Basse-Terre and Montserrat are located where the Marie-Galante and Éperon Bertrand–Falmouth graben meet with the Bouillante–Montserrat fault system. While the Soufrière of Guadeloupe lies within the termination of the Marie-Galante graben, the recent (< 200 ka, [18]) andesitic domes of Montserrat appear to be aligned within a pull-apart step between two oblique sinistral faults. It thus seems that extensional faults and fissures related to the present tectonic deformation of the arc control the effusion of recent volcanic products.

5. Conclusions

The Guadeloupe archipelago is cut by active normal fault sets that belong to a sinistral horsetail resulting from partition of, and from extension roughly perpendicular to, convergence between the North American and Caribbean plates. Such faults may have ruptured during historical earthquakes and might be capable of producing events with magnitude ≥ 5.5 . The local seismic hazard due to such faulting must be taken into account as seriously as that related to events rupturing the subduction interface.

1. Introduction

L'arc des Petites Antilles se situe sur la bordure nord-est de la plaque Caraïbe (*figure 1*). Il marque la subduction de la lithosphère Atlantique sous cette plaque dans une direction sud-ouest, à la vitesse de $\sim 2 \text{ cm}\cdot\text{an}^{-1}$ [12–14]. Connue pour ses volcans actifs (Soufrière Hills de Montserrat, Soufrière de Guadeloupe, montagne Pelée de Martinique), la partie nord de l'arc est aussi le site de tremblements de terre destructeurs ($m \geq 6$: 1690, Névis ; 1843, Nord Guadeloupe ; 1897, îles Vierges, 1974, Antigua [6, 15, 19, 21]). Certains de ces séismes sont probablement liés au processus de subduction, mais d'autres, superficiels ($< 30 \text{ km}$), se produisent dans la plaque chevauchante Caraïbe. Les failles responsables de ces séismes sont mal connues. Pour mieux appréhender l'aléa sismique dans les territoires français de l'arc des Petites Antilles, nous caractérisons ici les failles actives qui coupent l'archipel de Guadeloupe, sur la base d'une étude morphotectonique combinant observations et mesures de terrain, analyse de la topographie (cartes IGN au 1/25 000), d'images satellitaires SPOT et de photographies aériennes (1:20 000). De nouvelles données marines (bathymétrie et sismique, campagne Aguadomar, décembre 1998–janvier 1999) montrent que ces failles se poursuivent en mer, autour des îles de l'archipel. Cette cartographie d'ensemble, couplée aux données de la sismicité, permet de proposer un modèle cohérent de la tectonique active de l'archipel de Guadeloupe.

2. Failles actives dans les îles de l'archipel de la Guadeloupe

Au nord de la Martinique, l'arc des Petites Antilles est double. Il est constitué d'un arc externe ancien et d'un arc interne volcanique récent [10] (*figure 1*). Le socle volcanique de l'arc ancien, d'âge Paléocène supérieur à Miocène inférieur [1], a été abrasé par l'érosion marine et forme aujourd'hui une série d'îles basses, recouvertes de platiers coralliens plio-quadernaires. L'arc interne est actif depuis le Miocène supérieur [10]. Les volcans de Montserrat, de la Guadeloupe et de la Martinique, alignés le long de cet arc, sont connus pour leurs éruptions violentes [7].

À la Guadeloupe, les trois îles de l'arc externe (Grande-Terre, Marie-Galante, La Désirade) sont donc couvertes de calcaires récifaux quaternaires [2, 9, 17], et seule l'île de l'arc interne (Basse-Terre) est volcanique (*figures 1 et 2*). C'est sur les îles de l'arc externe que l'identification morphotectonique des failles actives — escarpements cumulés à inflexion plus raide (*figure 3a*) [4], vallées perchées (*figure 3d*) [3] — est la plus simple.

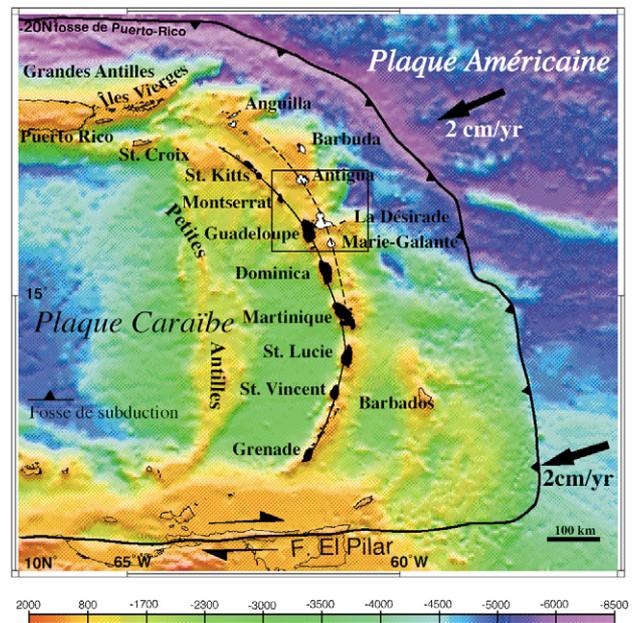


Figure 1. Contexte géodynamique de l'arc des Petites Antilles. En noir : îles volcaniques de l'arc interne. En blanc : platiers coralliens de l'arc externe. Trait plein : arc interne récent, actif depuis le Miocène supérieur. Traits pointillés : arc volcanique ancien, actif entre le Paléocène supérieur et le Miocène inférieur. Cadre : contours de la *figure 2*. Vecteurs de mouvement NAM/CAR et SAM/CAR, d'après [12–14]. Demi-flèches noires : mouvement dextre sur la faille d'El Pilar. F : faille. Bathymétrie d'après [22].

Figure 1. Geodynamic setting of Lesser Antilles arc. Black: volcanic islands. White: coral reef platforms. Continuous line: recent arc, active since Upper Miocene. Dashed line: ancient arc, active between Upper Palaeocene and Lower Miocene. Box indicates location of *figure 2*. Black arrows: motion vectors NAM/CAR and SAM/CAR from [12–14]. Dextral slip on El Pilar fault is also shown. Bathymetry from [22].

La surface du platier corallien de Grande-Terre, d'altitude maximum 150 m, est ainsi coupée par deux familles de failles actives dont les escarpements, longs de plusieurs kilomètres, forment des marches nettes dans la topographie (*figure 3a*). Une première famille de failles, d'orientation moyenne $\sim N 20^\circ E$, à pendage sud-est, bascule vers le nord-ouest les plateaux au nord de l'île. La plus spectaculaire de ces failles, celle de la Grande-Vigie, décale la surface morphologique d'environ 40 m. Le plan de faille est visible en coupe dans la falaise d'érosion marine (*figure 3a*). Le miroir porte des stries à pitch voisin de 90° (*figure 3b*), qui attestent un mouvement purement normal.

La frange côtière sud de l'île est coupée, de Pointe-à-Pitre jusqu'à Saint-François, par une seconde famille de failles normales, de direction moyenne est-ouest, à pendage vers le sud (i.e., failles de Gosier, de Roche-de-May, de Fond-Saint-Bernard, *figure 2*). Ces failles ont des escarpements hauts de 40 à 60 m. Un site de mesures microtectoniques, dans une car-

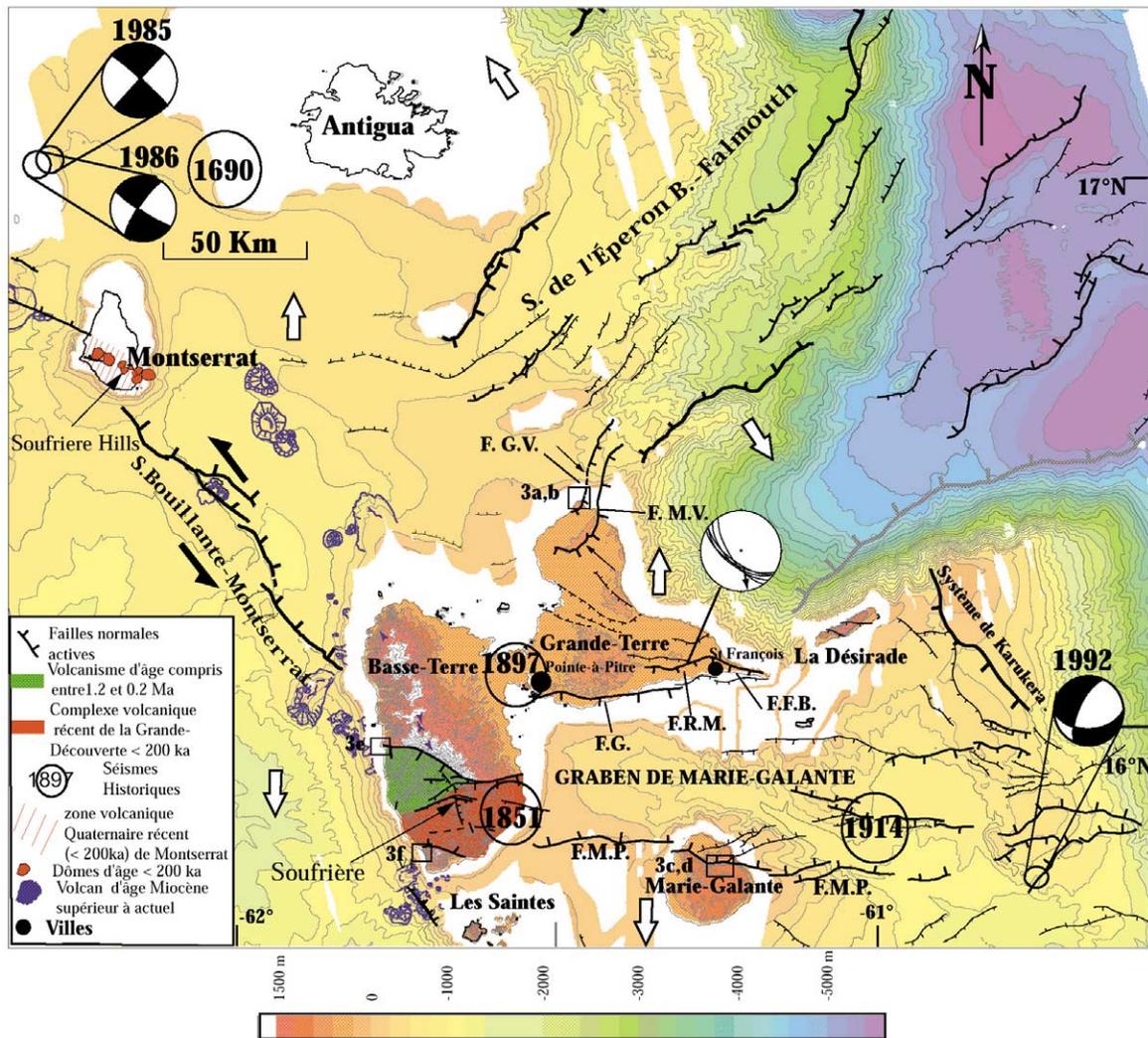


Figure 2. Failles normales actives de l’archipel de Guadeloupe. **F** : failles. **G.V.** : Grande-Vigie. **M.V.** : montagne Vercinot. **G.** : Gosier. **R.M.** : roche de May. **F.B.** : fond Saint Bernard. **M.P.** : Morne-Piton. En rouge : Volcanisme récent (< 200 ka) de Basse-Terre (Grande-Découverte–Soufrière). En vert : volcanisme de Bouillante (1,2–0,2 Ma). Cercles noirs : séismes historiques, avec leur date. Les mécanismes au foyer (catalogue Harvard) des séismes de 1992, 1985 et 1986 sont indiqués. Cadres noirs : localisations des photographies de la figure 3. Flèches blanches : directions d’extension compatibles avec la géométrie des failles et les mesures microtectoniques. Demi-flèches noires : décrochement sénestre du système de Bouillante–Montserrat. Failles normales principales en trait plus épais. Stéréoplot : mesures microtectoniques (projection hémisphère inférieur, mouvement du compartiment supérieur de la faille). Fond bathymétrique et topographique, d’après les modèles numériques de terrain Aguadomar et IGN (50 et 100 m). Intervalles des isobathes : 200 m, 1 000 m (en mer) et 50 m (à terre).

Figure 2. Active faulting in Guadeloupe. **F**: faults. **G.V.**: Grande-Vigie. **M.V.**: Montagne Vercinot. **G.**: Gosier. **R.M.**: Roche de May. **F.B.**: Fond Saint Bernard. **M.P.**: Morne-Piton. In red: recent volcanism (< 0.2 ka) of Basse-Terre (Grande-Découverte–Soufrière). In green: Bouillante chain volcanism (1.2–0.2 My). Black circles: historical earthquakes with dates. Harvard fault plane solutions of the 1992, 1985 and 1986 shocks are shown. Black boxes: position of photographs in figure 3. White arrows: extension direction consistent with fault geometry and microtectonic measurements. Black arrows indicate sinistral motion on Bouillante–Montserrat fault. Thicker lines are for major faults. Stereoplot is lower hemisphere equal area projection of measured slickensides, arrows indicating sense of hangingwall motion. Bathymetry and topography are from AGUADOMAR and IGN DEM (resolution 50, 100 m). Isobaths intervals: 200, 1 000 (offshore) and 50 m (onland).

rière près de l’intersection entre les deux dernières failles, implique une direction d’extension moyenne nord–sud (figure 2).

Les failles normales, d’orientation ~ est–ouest, qui coupent l’île de Marie-Galante au sud, ont un pendage opposé (vers le nord) à celles qui coupent

le littoral sud de Grande-Terre. La plus importante de ces failles, la faille de Morne-Piton, coupe de part en part l’île de Marie-Galante, affaisant le plateau nord par rapport au plateau sud qu’elle surélève (figure 3c). L’escarpement cumulé de la faille, haut de plus de 100 m (figure 3c), est marqué par une série de vallées

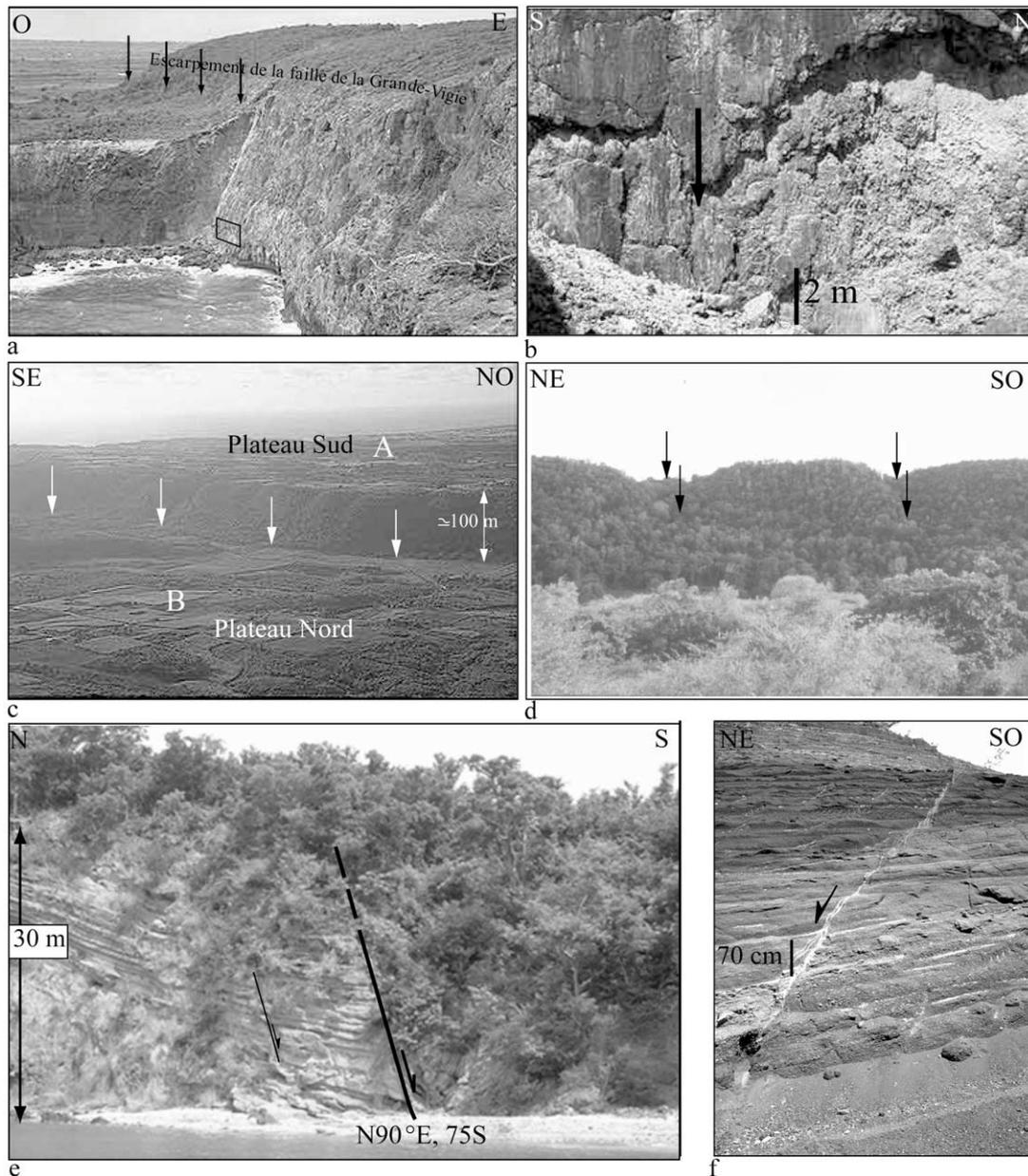


Figure 3. Vues de terrain des failles normales principales de l'archipel de Guadeloupe (localisation sur les figures 2 et 4). **a.** Vue vers le sud de la faille normale de la Grande-Vigie (nord Grande-Terre). L'escarpement cumulé de cette faille, haut de ~ 40 m, est net dans la morphologie. Le plan de faille est visible en coupe dans la falaise. Flèches noires : trace de la faille. Cadre noir : localisation de la figure 3b. **b.** Stries verticales du plan de faille de la Grande-Vigie attestant un mouvement purement normal. Flèche noire : pitch des stries. **c.** Vue vers le sud-est de l'escarpement de faille de Morne-Piton (Marie-Galante). L'escarpement cumulé forme une marche franche, haute de ~ 100 m dans la morphologie (flèche blanche double). Flèches blanches : base de l'escarpement. **A** : plateau sud. **B** : plateau nord. **d.** Vue vers le sud montrant deux vallées perchées (flèches noires) par la faille. **e.** Vue vers l'est de la faille normale de Pointe-à-Sel (Basse-Terre). Double flèche noire : hauteur de la falaise. Chiffres noirs : direction et pendage du plan de faille. **f.** Vue vers l'est de l'une des failles normales qui coupent les hyaloclastites des monts Caraïbes dans une carrière (Basse-Terre, localisation sur la figure 4). Trait noir : décalage des hyaloclastites (70 cm). Noter la disposition en échelons des fissures associées au plan de faille.

Figure 3. Field photographs of main Quaternary normal faults in Guadeloupe archipelago (location in figures 2 and 4). **a.** Southwestward view of Grande Vigie fault (northern Grande-Terre). Note sigmoidal shape of cumulative scarp offsetting morphology and cross-section of fault plane in cliff; arrows indicate scarp emergence at the surface. Box: location of photograph in figure 3b. **b.** Vertical slickensides on Grande Vigie fault plane (location in a); black arrow marks slickenside pitch, which attests to pure dip-slip motion on fault. **c.** Southeastward view of Morne-Piton cumulative fault escarpment (Marie-Galante). White arrows indicate scarp base. The scarp forms a clear, ~ 100 -m-high step in the landscape (double headed white arrows). **(A)** southern plateau, **(B)** northern plateau. **d.** Close-up view of Morne-Piton escarpment showing hanging gully channels (black arrows). **e.** View towards east of Pointe-à-Sel normal fault (Basse-Terre). Fault plane parameters and cliff height are shown. **f.** Northwestward view of one normal fault, with 70 cm of throw, cutting Monts Caraïbes hyaloclastites, up to surface (location in figure 4). Note 'en echelon' arrangement of open fissures associated with fault plane.

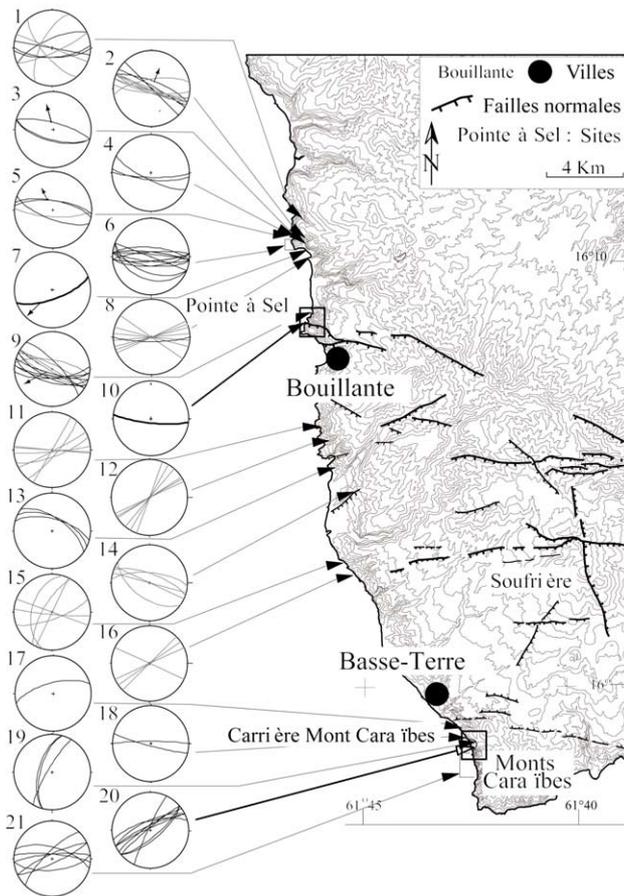


Figure 4. Carte tectonique et mesures microtectoniques de la région sud-ouest de Basse-Terre. Topographie redessinée d'après les cartes IGN (1:25 000). Flèches noires : différents sites de mesures microtectoniques. Stéréoplots 1–21, projections hémisphère inférieur des plans de failles, stries associées et fissures, la flèche indiquant le mouvement du compartiment supérieur. Cadres noirs : localisation des failles des figures 3e et 3f (Pointe-à-Sel et monts Caraïbes). Failles normales dans Basse-Terre d'après [16]. Failles principales en trait plus épais.

Figure 4. Tectonic and microtectonic measurements in southwestern Basse-Terre. Topography redrawn from IGN topographic maps (1:25 000). Arrows point to different measurement sites. Stereoplots 1–21 are lower hemisphere equal area projections of measured slickensides, faults and crack with associated hanging wall motion. Black open boxes: sites of figures 3e and 3f (Pointe-à-Sel and Monts Caraïbes). Normal faults in Basse-Terre are from [16]. Thicker lines: major faults.

perchées (figure 3d). Cette morphologie est typique de failles normales actives dont les vitesses de glissement sont supérieures à la vitesse d'incision des rivières qui les traversent [3, 24].

L'île de Basse-Terre, la plus occidentale et la plus haute de l'archipel (1 467 m), est entièrement volcanique [8, 11, 25]. Il y est plus difficile d'identifier les failles actives dans la morphologie, car leurs escarpements sont souvent masqués sous les coulées et la végétation. Cependant, de nombreuses failles sont

visibles en coupe le long du littoral ouest de l'île. L'ensemble des mesures microtectoniques réalisées le long de ce littoral confirme l'existence de rejets normaux et de fissures ouvertes, d'orientation prédominante ~ est-ouest, compatibles avec une direction d'extension moyenne nord-sud (figure 4). La plupart des failles normales majeures identifiées au nord de la zone de volcanisme récent de Basse-Terre (complexe Grande-Découverte-Soufrière, [8]) ont un pendage vers le sud, telle celle de la « Pointe-à-Sel », qui décale de plus de 30 m des dépôts volcaniques datés entre 1,2 et 0,2 Ma [8] (figures 3e et 4, stéréoplot 10). À l'opposé, la plupart des failles normales récentes identifiées au sud du complexe volcanique récent ont un pendage vers le nord, comme celle des « monts Caraïbes » (figures 3f et 4, stéréoplot 20). L'île de Basse-Terre est donc coupée par deux ensembles de failles normales antithétiques, dont la symétrie est identique à celle observée plus à l'est, entre Grande-Terre et Marie-Galante.

3. Les failles actives, en mer, autour des îles de l'archipel de la Guadeloupe

L'analyse des nouvelles données de la campagne Aguadomar du N/O *L'Atalante* (19 décembre 1998–22 janvier 1999) (bathymétrie et sismique réflexion six traces) montre que les failles normales actives cartographiées à terre se prolongent en mer (figure 2).

Le système de failles de Morne-Piton se poursuit à l'ouest comme à l'est de l'île de Marie-Galante, sur une longueur totale de plus de 80 km. C'est la faille normale la plus importante de l'archipel. Avec les failles qui longent le littoral sud de Grande-Terre, comme celle de Gosier, elle délimite un graben large de 50 km au maximum, d'orientation moyenne est-ouest : le graben de Marie-Galante. Ce graben se poursuit vers l'est, où ses failles traversent l'éperon de Karukéra orienté ~ N 160°E et recoupent le système de failles normales associé, orienté parallèlement à l'arc. Vers l'ouest, les failles bordières de ce graben limitent la zone volcanique récente et actuelle.

Les systèmes de la Grande-Vigie et de la montagne Vercinot, au nord de Grande-Terre, se prolongent aussi en mer, formant la zone de l'éperon Bertrand-Falmouth, composée de failles normales limitant des grabens ou des demi-grabens d'orientation N 40° ± 20°E. Au nord-ouest de la pointe de la Grande-Vigie, la direction de ces failles tourne dans le sens horaire pour devenir plus est-ouest.

Dans toute la partie externe de l'arc des Petites Antilles, au nord comme au sud de la Grande-Terre, le style de la tectonique récente est donc caractérisé par des failles normales orientées à peu près perpendicu-

lairement à l'arc, résultant d'une extension en gros parallèle à l'arc.

En revanche, au nord-ouest de Basse-Terre, le style tectonique est différent. La partie interne de l'arc est coupée par le système de « Bouillante–Montserrat » [10, 16, 20]. Ce système est composé de segments de failles normales, disposés en échelon sénestre dans une direction moyenne N 140°E, parallèle à l'arc. La géométrie de ce système de failles est compatible avec une composante de mouvement latéral sénestre. Le système de l'éperon Bertrand–Falmouth et le graben de Marie-Galante se connectent, à l'ouest, au système de Bouillante–Montserrat, ce qui implique que toutes les failles sont actives simultanément. La géométrie d'ensemble est celle d'une queue de cheval sénestre, à l'échelle de toute la partie nord de l'arc.

4. Failles actives, sismicité et volcanisme

Les failles que nous avons caractérisées (*figure 2*) coupent des platiers coralliens dont les âges sont compris entre 250 et 30 ka [5, 16] ou des séries volcaniques d'âge inférieur à 200 ka [8]. L'existence de fissures ouvertes en bord de mer et d'escarpements cumulés typiques implique que ces failles sont actives. Certains segments de ces failles sont donc, sans doute, la source de séismes superficiels. En particulier, trois séismes historiques locaux d'intensité VII à VIII [6, 15] se sont produits depuis 150 ans à proximité des failles bordières du graben de Marie-Galante : en 1851 à Capesterre, en 1897 à Pointe-à-Pitre, et en 1914 à l'est de Marie-Galante, dans le graben. D'autre part, le séisme du 3 août 1992, de magnitude 5,6, présente un mécanisme au foyer en accord non seulement avec la direction, le pendage et la cinématique de la faille bordière du graben le long de laquelle il se situe, mais aussi avec une direction d'extension nord-sud comparable à celle déduite des mesures microtectoniques. Au nord de Montserrat, les mécanismes au foyer du séisme de Nevis du 16 mars 1985 ($m_b = 6,3$) et de sa réplique majeure (1986) sont quant à eux compatibles avec une cinématique sénestre le long de la zone de faille de Bouillante–Montserrat.

Tout le volcanisme récent (< 200 ka, [8]) de Basse-Terre, dont le volcan actif de la Soufrière de Guadeloupe, est localisé dans la terminaison ouest du graben, là où il rejoint le système de failles normal-décrochant sénestre de Bouillante–Montserrat

(*figure 2*). Les épaulements du graben sont, en revanche, constitués de roches volcaniques plus anciennes. À Montserrat, on observe une géométrie semblable. Le volcanisme récent se situe à la terminaison ouest du système de l'éperon Bertrand–Falmouth, là où il rejoint le système de Bouillante–Montserrat. Les dômes andésitiques auxquels appartient le volcan actif de Soufrière Hills ont un âge inférieur à 200 ka [18]. Ils sont alignés parallèlement aux failles normales du système de Bouillante–Montserrat et se situent dans un relais extensif entre deux segments de failles obliques sénestres, suggérant qu'ils se sont mis en place à l'aplomb d'une fissure accommodant l'ouverture au centre de ce relais. Il semble donc que failles normales et fissures liées à l'extension active aient pu guider l'effusion des produits volcaniques vers la surface à Basse-Terre comme à Montserrat.

5. Conclusions

L'ensemble de l'archipel de la Guadeloupe est coupé par des failles actives appartenant à deux familles. L'une limite des grabens dans la partie externe de l'arc. Elle est composée de failles normales, en moyenne perpendiculaires à l'arc. L'autre coupe la partie interne de l'arc. Elle est composée de failles obliques normales-décrochantes sénestres en moyenne parallèles à l'arc. La géométrie et la cinématique de ces deux familles de failles sont compatibles avec une partition de la convergence entre les plaques Caraïbe et Nord-Américaine, induisant une extension oblique en gros parallèle à l'arc. Certaines de ces failles semblent capables de produire, et ont probablement produit par le passé, des séismes de magnitude supérieure à 5,5. Ainsi, outre le risque sismique lié aux séismes de subduction, il existe un risque supplémentaire, lié à l'activité des failles normales et obliques locales qui coupent la plaque Caraïbe. Cette situation n'est pas sans rappeler celle dans laquelle se produit le tremblement de terre de Kobe au Japon, en 1995 [23]. Il est donc aujourd'hui essentiel de considérer avec sérieux le risque sismique lié aux failles actives proches qui traversent ou bordent les îles de l'archipel. Par ailleurs, il existe sans doute un couplage entre la tectonique extensive et l'emplacement des structures volcaniques.

Références

[1] Andreieff P., Bonneton J.-R., Vila J.-M., Westercamp D., Découverte de Paléocène supérieur à Anguilla, extrémité nord de l'arc des Petites Antilles, 10° RAST, Bordeaux, 1984.

[2] Andreieff P., Bouysse P., Westercamp D., Géologie de l'arc insulaire des Petites Antilles et évolution géodynamique de l'Est-Caraïbe, Doc. BRGM 171 (1989) 385.

[3] Armijo R., Tapponnier P., Mercier J.-L., Tonglin H., Quaternary extension in Southern Tibet: field observations and tectonic implication, J. Geophys. Res. 91 (1986) 3803–3872.

- [4] Avouac J.-P., Peltzer G., Active tectonics in Southern Xinjiang, China: analysis of terrace riser and normal fault scarp degradation along the Hotan-Qira fault system, *J. Geophys. Res.* 98 (1993) 21773–21807.
- [5] Battistini R., Hinschberger F., Hoang C.T., Petit M., La basse terrasse corallienne (Éémien) de la Guadeloupe : morphologie, datation $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, néotectonique, *Rev. Géomorph. Dyn.* XXXV (1986) 1–10.
- [6] Bernard P., Lambert J., Subduction and seismic hazard in the northern Lesser Antilles arc: revision of the historical seismicity, *Bull. Seism. Soc. Am.* 78 (1988) 1965–1983.
- [7] Boudon G., Mécanismes éruptifs et mode de mise en place des dépôts d'éruption explosives dirigées, exemples de la Soufrière (Guadeloupe) et de la montagne Pelée (Martinique), thèse d'État, université Paris-7, 1987.
- [8] Boudon G., Dagain J., Semet M., Westercamp D., Carte et notice explicative de la carte géologique du massif volcanique de la Soufrière (département de la Guadeloupe, Petites Antilles), échelle 1:20000, BRGM, Orléans, 1990.
- [9] Bouysse P., Garrabé F., Évolution tectonique néogène des îles calcaires de l'archipel de la Guadeloupe, *C. R. Acad. Sci. Paris, série II* 298 (17) (1984) 763–766.
- [10] Bouysse P., Westercamp D., Subduction of Atlantic aseismic ridges and Late Cenozoic evolution of the Lesser Antilles island arc, *Tectonophysics* 175 (1990) 349–380.
- [11] De Reynal de Saint Michel A., Carte géologique détaillée de la France. Département de la Guadeloupe. Feuille de Basse-Terre et des Saintes au 1:50000, ministère de l'Industrie, Paris, 1966.
- [12] DeMets C., Jansma P.E., Mattioli G.S., Dixon T.H., Farina F., Bilham R., Calais E., Mann P., GPS geodetic constraints on Caribbean-North America plate motion, *Geophys. Res. Lett.* 27 (2000) 437–440.
- [13] Dixon T.H., Mao A., A GPS estimates of relative motion between North and South America, *Geophys. Res. Lett.* 24 (1997) 535–538.
- [14] Dixon T.H., Farina F., DeMets C., Jansma P., Mann P., Calais E., Relative motion between the Caribbean and North American plates and related boundary zone deformation from a decade of GPS observations, *J. Geophys. Res.* 103 (1998) 15157–15182.
- [15] Feuillard M., Macrosismicité de la Guadeloupe et de la Martinique, rapport de l'Institut de physique du Globe de Paris, Observatoire volcanologique de la Soufrière de Guadeloupe, 1985.
- [16] Feuillet N., Sismotectonique des Petites Antilles. Liaison entre activité sismique et volcanique, thèse, université Paris-7, 2000, 283 p.
- [17] Grellet B., Sauret B., Chabellard J.-G., Bonneton J.-R., Cadre général de la tectonique récente de la Guadeloupe, rapport BRGM, 1988.
- [18] Harford C.L., Pringle M.S., Sparks R.S.J., Young S.R., The volcanic evolution of Montserrat using $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology, submitted to Montserrat Special Issue, 1999.
- [19] McCann W.R., Dewey J.W., Murphy A.J., Harding S.T., A large normal-fault earthquake in the overriding wedge of the Lesser Antilles subduction zone: the earthquake of 8 October 1974, *Bull. Seism. Soc. Am.* 72 (1982) 251–262.
- [20] Polyak B.G., Bouysse P., Konovov V.I., Butuzova G.Y., Criaud A., Dvorov V.I., Khutorskoy M.D., Matveev V.G., Paduchikh V.I., Radionova E.P., Rot A., Tolstikhin I.N., Voznesenskiy A.I., Zverev V.P., Evidence of submarine hydrothermal discharge to the northwest of Guadeloupe Island (Lesser Antilles island arc), *J. Volc. Geotherm. Res.* 54 (1992) 81–105.
- [21] Robson G., An earthquake catalog for the eastern Caribbean 1530–1960, *Bull. Seism. Soc. Am.* 54 (1964) 785–832.
- [22] Smith W.H.F., Sandwell D.T., Global Sea Floor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Sounding, *Science* 277 (1997) 1956–1962.
- [23] Toda S., Stein R.S., Reasenberg P.A., Dieterich J.H., Yoshida A., Stress transferred by the 1995 $M_w = 6.9$ Kobe, Japan, shock: effect on aftershocks and future earthquake probabilities, *J. Geophys. Res.* 103 (1998) 24543–24565.
- [24] Wallace R.E., Active faults, palaeoseismology, and earthquake hazards in the western United States, in: Simpson D.W., Richards P.G. (Eds.), *Earthquake prediction: an international review*, Maurice Ewing Series, Am. Geophys. Union, Vol. 4, 1981, pp. 209–216.
- [25] Westercamp D., Tazieff H., Guides géologiques régionaux, Martinique, Guadeloupe, Saint-Martin, La Désirade, Paris, 1980, 135 p.