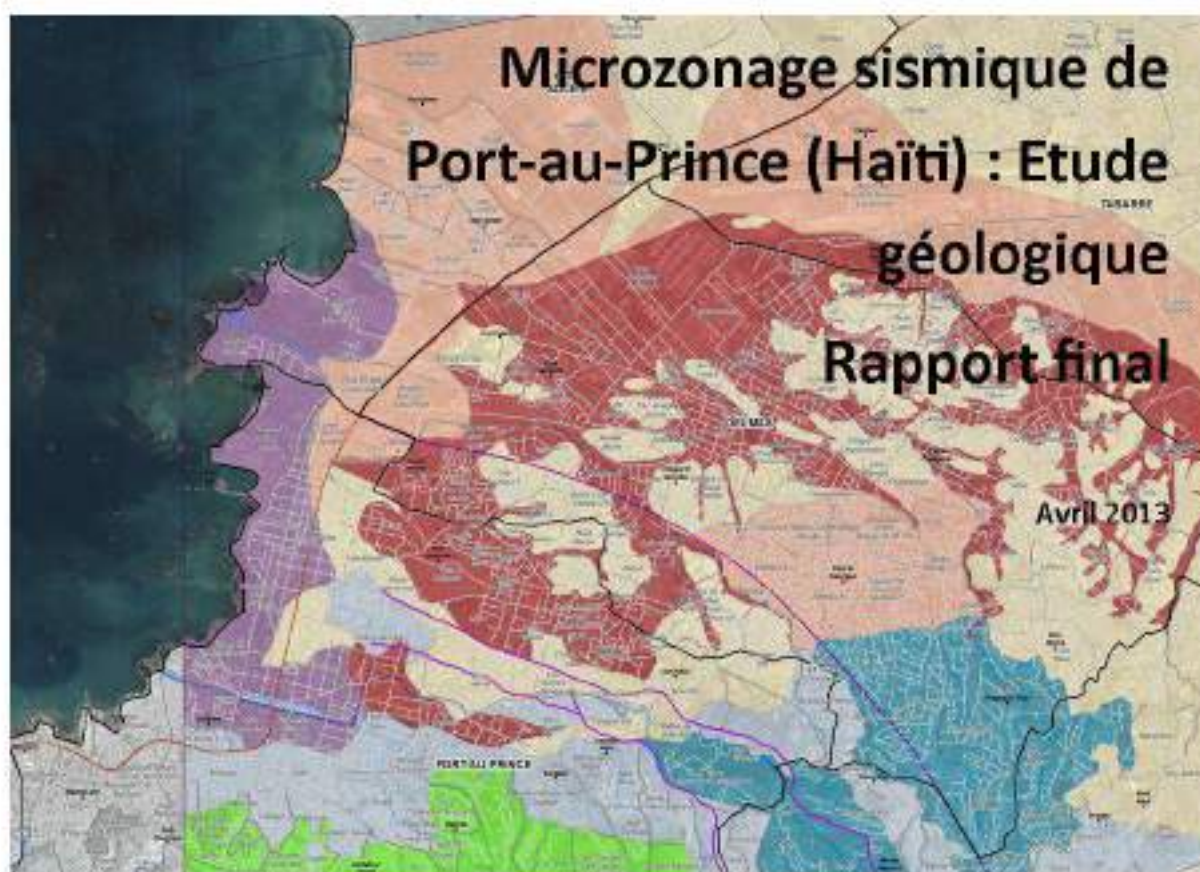


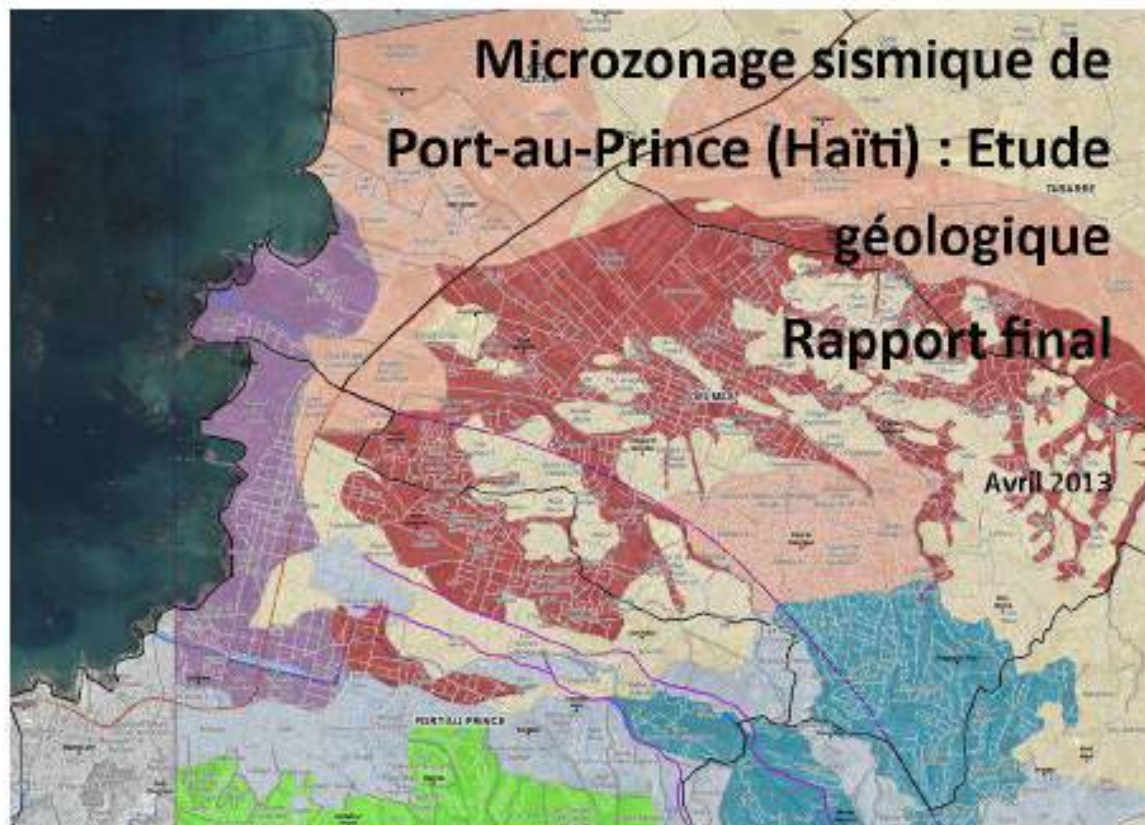


**Ministère des Travaux Publics,
Transports et Communications (MTPTC)**





**Ministère des Travaux Publics,
Transports et Communications (MTPTC)**



Synthèse

Ce rapport présente les résultats géologiques obtenus dans le cadre du projet microzonage sismique de Port-au-Prince, lequel est réalisé en partenariat avec le Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP) et du Bureau des Mines et de l'Énergie (BME), pour le compte du Ministère des Travaux Public, Transports et communications de l'État haïtien.

L'étude géologique du microzonage sismique de Port-au-Prince avait pour objectif de :

- Confirmer la « carte des formations géologiques » de Bachhuber et al. (2010),
- Préciser les faciès rencontrés et les contours des unités si nécessaire,
- Confirmer les failles indiquées par Bachhuber et al. et si possible, vérifier leur activité.

Une carte géologique préliminaire de Port-au-Prince a pu être constituée sur la base : d'une analyse sur le terrain de près d'une centaine de points d'observations, d'une synthèse bibliographique, d'une étude des photos aériennes, des images satellites, du MNT et ses dérivés, et d'une analyse des données de sondages. Cette carte présente les limites des principales unités lithologiques identifiées ainsi que des failles observées ou supposées. En complément aux données cartographiques, une description des faciès relatifs à chaque unité géologique est donnée, l'étape suivante du microzonage sismique étant de caractériser géotechniquement ces unités géologiques.

Concernant la carte des failles, dans le cadre du projet de futur règlement joint au microzonage sismique, des recommandations sont proposées. Néanmoins il serait préférable de réduire les incertitudes sur leur tracé et leur taux d'activité. A cette fin, l'analyse pourrait être poursuivie par des reconnaissances géophysiques locales (profils sismiques sur 50 à 100 m de profondeur et réalisés perpendiculairement à leur tracé) puis la réalisation de tranchée(s) paléosismique(s) et la datation des formations géologiques.

Sommaire

1. Contexte de l'étude	11
2. Cadre géologique	17
2.1 LES GRANDES PHASES GEOLOGIQUES D'HISPANIOLA	17
2.2 PLACE D'HISPANIOLA DANS LE CADRE GEODYNAMIQUE ACTUEL	21
2.3 CADRE TECTONIQUE REGIONAL ACTUEL.....	22
2.4 SISMICITE HISTORIQUE ET SEISME DU 12 JANVIER 2010	24
Les grands séismes historiques.....	24
Le séisme du 12 janvier 2010	24
3. Etude de la géologie de Port-au-Prince réalisée dans le cadre du microzonage	29
3.1 LES CARTES GEOLOGIQUES UTILISEES	29
La carte géologique de Port-au-Prince à 1/250 000	29
Carte géologique de Port-au-Prince de Bachhuber et al. (2010)	29
3.2 LES OBSERVATIONS DE TERRAIN.....	31
3.1 FACIES OBSERVES	31
4. Observations et interprétations structurales	49
4.1 CONTEXTE MORPHOLOGIQUE	49
4.1 RELEVES TECTONIQUES.....	49
Failles EW à NW-SE, à mouvement décrochant senestre-inverse	55
Failles normales, NE-SW, quaternaires.....	56
Failles inverses NE-SW, à jeu quaternaire	58
Autres failles à jeu quaternaire.....	58
4.2 ANALYSE MORPHOSTRUCTURALE	61
Données altimétriques :	61
Réseau hydrographique.....	61
Coupes topographiques	64
4.3 SYNTHÈSE STRUCTURALE	67
5. Conclusion	71
5.1 CARTE GEOLOGIQUE PRELIMINAIRE DE PORT-AU-PRINCE.....	71

5.2 RECOMMANDATIONS POUR LA PRISE EN COMPTE DES FAILLES ACTIVES DANS LE CADRE DU MICROZONAGE DE PORT-AU-PRINCE	72
5.3 POURSUITE DES ETUDES	72
6. Bibliographie	75

Liste des Figures

Figure 1 – Localisation de la zone d'étude.....	11
Figure 2 – Place de l'étude géologique dans les étapes d'édification d'un microzonage sismique (d'après Roullé et Sedan, inédit)	12
Figure 3 – « New geological map » of Port-au-Prince de Bachhuber et al.(2010).....	14
Figure 4 – Légende de la Figure 3 – « New geological map » of Port-au-Prince	15
Figure 5 - Localisation de l'île d'Hispaniola dans le contexte de convergence des plaques Caraïbes et Amérique (OSFZ, zone de failles Oriental-Septentrional d'Hispaniola ; EPGZ, zone de failles d'Enriquillo-Plaintain-Garden).....	17
Figure 6 – Localisation schématique des principales structures tectoniques d'Haïti (d'après Butterlin, 1960, modifié)	18
Figure 7 – Evolution tectonique tertiaire de la limite de plaque nord Caraïbe à proximité d'Haïti (d'après Pubellier et al., 2000).....	19
Figure 8 – Coupe interprétative de la plaine du Cul-de-Sac et ses bordures (d'après Berthier et Janjou, 1984)	20
Figure 9 - Situation tectonique de la côte nord-est des Antilles et de l'île d'Hispaniola. (d'après Calais et al., 2010).....	21
Figure 10 – Localisation des Zones de rupture historique et indications (flèches rouges) des vitesses de glissement des failles actives déduites des mesures géodésiques (d'après Calais et al., 2010 et le site http://web.ics.purdue.edu/~ecalais/haiti/context/).....	22
Figure 11 – Profil sismique CT2-23, de direction NE-SW, situé à l'ouest de l'île de Gonave, dans la baie de Port-au-Prince (d'après Mann et al., 1995).....	23
Figure 12 - Localisation des déformations compressives (plis et chevauchements), entre les deux systèmes de failles septentrionales et EPG, ou le long de ces systèmes (D'après Mann et al., 1995)	23
Figure 13 – Localisation et caractéristiques des séismes majeurs localisées au centre et sud de l'île d'Hispaniola (d'après Bakun et al., 2012).....	25
Figure 14 - Observations de déformation et modèle de rupture (d'après calais et al., 2010).....	26
Figure 15 - Répartition spatiale des répliques du séisme du 12 janvier 2010 de Haïti (d'après Douilly et al., 2012)	27
Figure 16 (b) Détail de la zone d'étude. Solutions focales des répliques du catalogue PDE (deux premières semaines après le tremblement de terre) ; S1 et S2, localisation des coupes de la Figure 17; étoile jaune, choc principal ; zone jaune, zone illustrée dans la Figure 1C. (c) carte bathymétrique du bassin de Gonâve. (d'après Mercier de Lépinay et al., 2011)	28
Figure 17 - Coupes interprétatives de la faille de Léogâne puis de la faille des Trois Baies successivement actives lors du séisme de 2010 d'Haïti (d'après Mercier de Lépinay et al., 2011)	28
Figure 18 - Extrait de la carte géologique d'Haïti à 1/250 000 (d'après Momplaisir et Boisson, 1987)	30
Figure 19 - Localisation des points d'observations (fond OpenStreetMap)	33
Figure 20 - Synthèse litho-stratigraphique du secteur d'étude de Port-au-Prince (séquence stratigraphique calée sur les travaux de Butterlin, 1960)	35

Figure 21 - Faciès "F1": Calcaires massifs blancs, Eocène supérieur	36
Figure 22 - Faciès "F2", Calcaires pélagiques, Oligocène à Miocène inférieur	37
Figure 23 - Faciès "F3", Brèches et conglomérats calcaires cimentés, Oligocène à Miocène inférieur	38
Figure 24 - Faciès "F4", Alternances marno-calcaires de la Formation de la Rivière Grise, Miocène inférieur	39
Figure 25 - Faciès "F5-st", silts calcaires homogènes remaniés de la Formation de la Rivière Grise, Miocène inférieur.....	40
Figure 26 - Faciès "F5-Cg", silts et conglomérats calcaires remaniés de la Formation de la Rivière Grise, Miocène inférieur	41
Figure 27 - Faciès « F6 » alternances marno-calcaires récifales et bancs sableux, Formation du Morne Delmas, Miocène moyen à supérieur	42
Figure 28 - Faciès « F7 », dépôts gravitaires de silts et sables silto-argileux, Formation du Morne Delmas, Miocène moyen à supérieur	43
Figure 29 - Faciès « F8 », dépôts gravitaires de conglomérats calcaires, Formation du Morne Delmas, Miocène moyen à supérieur	44
Figure 30 - Faciès "F9", conglomérats calcaires, Plio-Quaternaire.....	45
Figure 31 - Faciès "F10-ac", alluvions actuelles, Quaternaire récent	46
Figure 32 - Faciès "F10-an", alluvions anciennes, Quaternaire récent.....	47
Figure 33 - Colonne de sol-type pour le faciès "X", remblais et dépôts anthropiques sur limons plastiques	47
Figure 34 - Colonne de sol-type pour le faciès "F10-ma", alluvions marines/estuariennes, Quaternaire à Actuel	48
Figure 35 – MNT calculé à partir des images Pléiades (Sertit/CNES, KalHaiti) et réseau hydrographique principal calculé à partir du MNT	51
Figure 36 – Localisation sur la carte lithostratigraphique : des stations de mesure tectonique, des directions de plan de failles et surfaces stratigraphiques mesurés	53
Figure 37 – Contact par faille dans les terrains mio-pliocènes, entre les dépôts de silts sableux ocres et les conglomérats (photo du haut, station 37), et alternance de silts calcaires, silts sableux et dépôts plus grossiers verticalisés, pendage stratigraphique N115°E-80°N (photo du bas, station 38) entre les quartiers Morne Hercule et Péguy-Ville.	55
Figure 38 - Failles normales quaternaires, de direction NE-SW, visibles au quartier Demas 28 (station 3) : Vue de l'ensemble de l'affleurement.....	56
Figure 39 - Failles normales quaternaires, de direction NE-SW, visibles au quartier Demas 28 (station 3) : Vue de l'affleurement extrémité SE, Faille normale sub parallèle au plan de coupe	57
Figure 40- Failles normales quaternaires, de direction NE-SW, visibles au quartier Delmas 28 (station 3) : Vue de l'affleurement extrémité NO, faille normale perpendiculaire au plan de coupe.....	57
Figure 41 - Failles inverses quaternaires, de direction NE-SW, visibles le long de la Rivière Grise, au contact avec les marnes grises pliocènes (station 56)	59
Figure 42 – Série de failles à pendage vertical, jeu quaternaire, de direction WNW-ESE, au contact avec les marno-calcaires mio-pliocènes et les conglomérats quaternaires, visibles entre Pétiou Ville et la Rivière Grise (stations 74 à 76)	60

Figure 43 – Pente des terrains, pendages stratigraphiques et direction des plans de failles mesurés.	62
Figure 44 – Réseau hydrographique calculé à partir du MNT Pléiades, zoom sur le bassin versant des rivières Bristout et Meyotte. Numéros 1 à 3 : 3 parties successives du cône alluvial (du plus ancien au plus récent).....	63
Figure 45 – Localisation des coupes topographiques.....	64
Figure 46 – Coupes topographiques 1 à 6.....	65
Figure 47 – Profils zoomés, p1z, p2z, p3z2, p4z montrant des rupture de pente d'ordre décamétrique à pluridécamétrique dans la surface topographique.....	66
Figure 48 – Carte géologique préliminaire de l'agglomération de Port-au-Prince	69
annexe 1 – Synthèse des informations des points d'observations (cf Figure 19)	76

1. Contexte de l'étude

Cette étude s'inscrit dans le cadre du microzonage sismique de Port-au-Prince, Figure 1. Il s'agit d'un projet mené en partenariat avec le Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP) et du Bureau des Mines et de l'Energie (BME), organismes publics haïtiens sous tutelle du Ministère des Travaux Public (MTPTC).

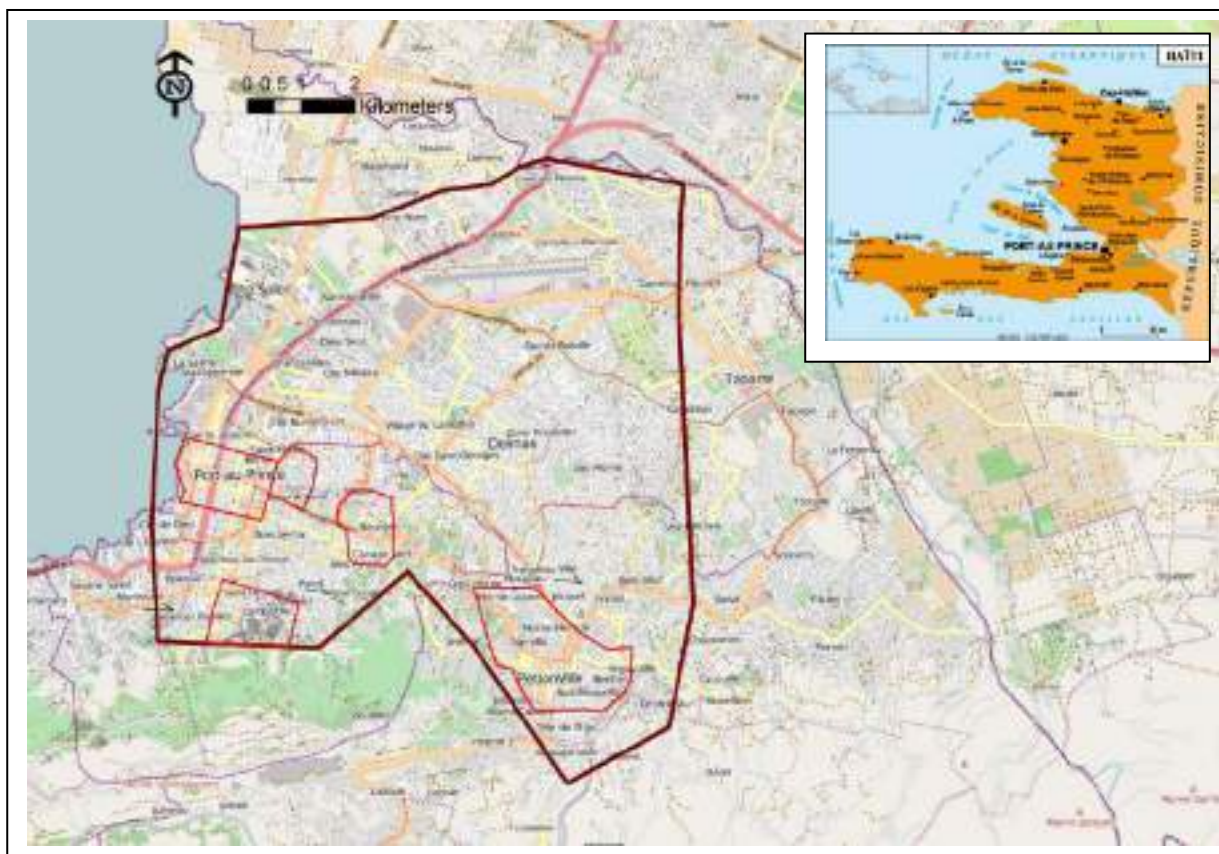


Figure 1 – Localisation de la zone d'étude

■ Le microzonage sismique est un zonage établi à l'échelle du 1/25 000 sur l'ensemble du territoire communal de Port-au-Prince, et pour certains secteurs, à 1/10 000. Il tient compte du mouvement sismique au rocher (aléa régional) et des modifications de ce mouvement en fonction des conditions locales topographiques et sédimentaires (localisation et caractérisation des effets de site et des effets induits). Les techniques mises en œuvre pour cette cartographie sont basées sur les connaissances disponibles, enrichies d'investigations sur site complémentaires (géologie, géophysique, géotechniques) et/ou de modélisation.

L'étude géologique des terrains constitue une des premières étapes nécessaires à l'élaboration du microzonage (Figure 2). Il s'agit de décrire la nature et l'épaisseur des formations superficielles ainsi que la nature du substratum. L'étude géologique doit aussi préciser la géométrie des terrains y compris la présence de failles potentiellement actives.

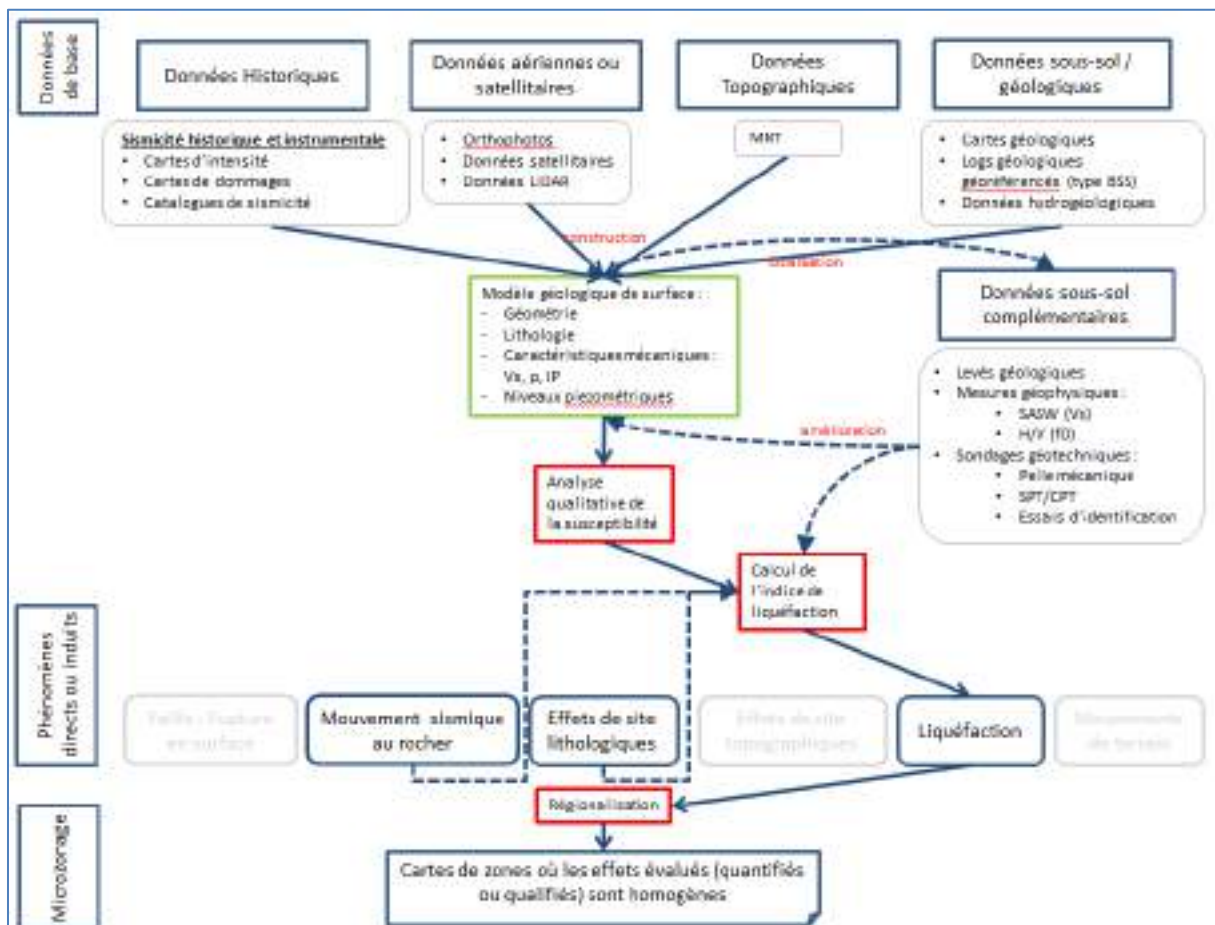


Figure 2 – Place de l'étude géologique dans les étapes d'édification d'un microzonage sismique (d'après Roullé et Sedan, inédit)

Destiné aux décideurs, aux aménageurs, aux ingénieurs structure, aux architectes mais aussi au public, le microzonage sismique a un caractère opérationnel très appliqué, utile aussi bien pour la reconstruction des zones détruites du territoire haïtien que de manière préventive dans une politique d'aménagement du territoire prenant en compte les risques naturels.

■ Pour répondre, dans l'urgence, à certains de ces besoins, une première étude réalisée dans le cadre du Système National de Gestion des Risques et Désastres, avec l'appui du PNUD, a été réalisée dans l'année suivant le séisme du 13 janvier 2010 pour l'état haïtien (via le LNBTP). Il s'agit d'une carte géotechnique de la zone métropolitaine de Port-au-Prince (<http://www.lnbtp.gouv.ht/cartgeo/>). Les informations délivrées sont notamment : 1) la carte des classes de sols (compatibles avec les normes IBC et Eurocode 8) réalisée à partir de mesures Vs30 et de l'interprétation d'observations géologiques et géotechniques (Figure 3), 2) les cartes d'aléa sismique (USGS Open File Report 2010-1067), qui donnent la probabilité d'excédance de l'accélération du sol au rocher (PGA, 1 Hz, 5 Hz). Pour réaliser ce travail, les équipes de l'USGS se sont appuyées sur le levé géologique de Bachhuber et al. (2010), Figure 3 et Figure 4.

La présente étude géologique réalisée dans le cadre du microzonage sismique de Port-au-Prince avait pour objectif de :

- Confirmer la « carte des formations géologiques » de Bachhuber et al. (2010),
- Préciser les faciès rencontrés et les contours des unités si nécessaire,
- Confirmer l'existence et le caractère actif des failles indiquées par Bachhuber et al. et si possible, vérifier leur activité.

En outre dans le cadre du projet de microzonage de plusieurs grandes villes haïtiennes, l'accord de partenariat tripartite entre le BME, le LNBTP et le BRGM prévoit un transfert de la technologie du microzonage sismique et des scénarios de risque aux institutions haïtiennes concernées. Les objectifs consistent à élargir substantiellement les connaissances et les compétences techniques du LNBTP et du BME, ainsi que de ses partenaires locaux (en particulier, la Faculté des Sciences (FDS) de l'Université d'Etat d'Haïti (UEH) et le Centre National d'Informations Géospatiales (GNIGS)) pour que ceux-ci puissent appliquer l'apprentissage et les résultats de l'étude de microzonage sismique proposée dans ce document et réaliser de manière autonome des études de microzonage sismique dans d'autres parties du pays.

Au cours de cette présente étude géologique de Port-au-Prince, des actions de formation ont été conduites parallèlement aux observations et interprétations géologiques réalisées in situ.

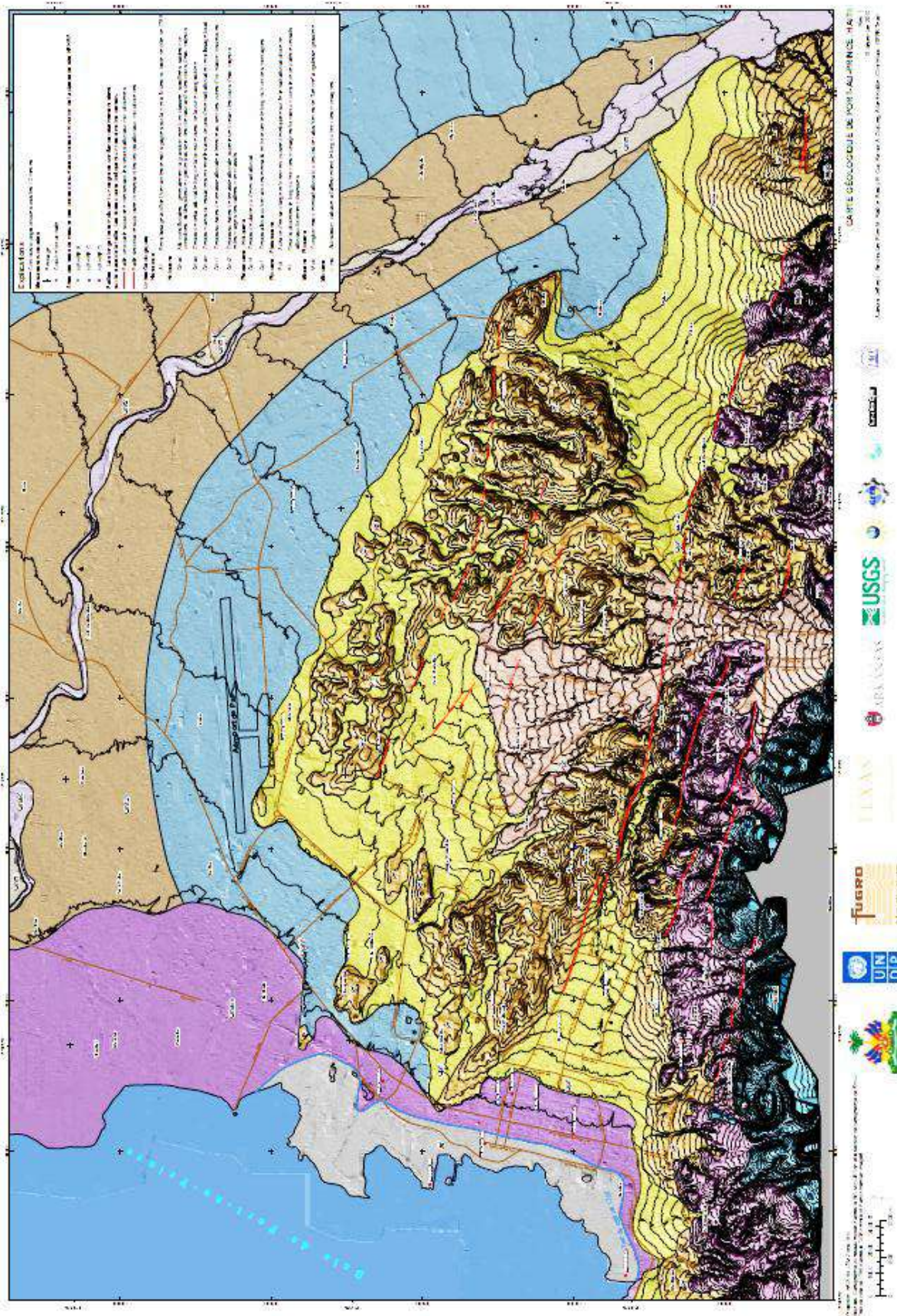


Figure 3 – « New geological map » of Port-au-Prince de Bachhuber et al.(2010)

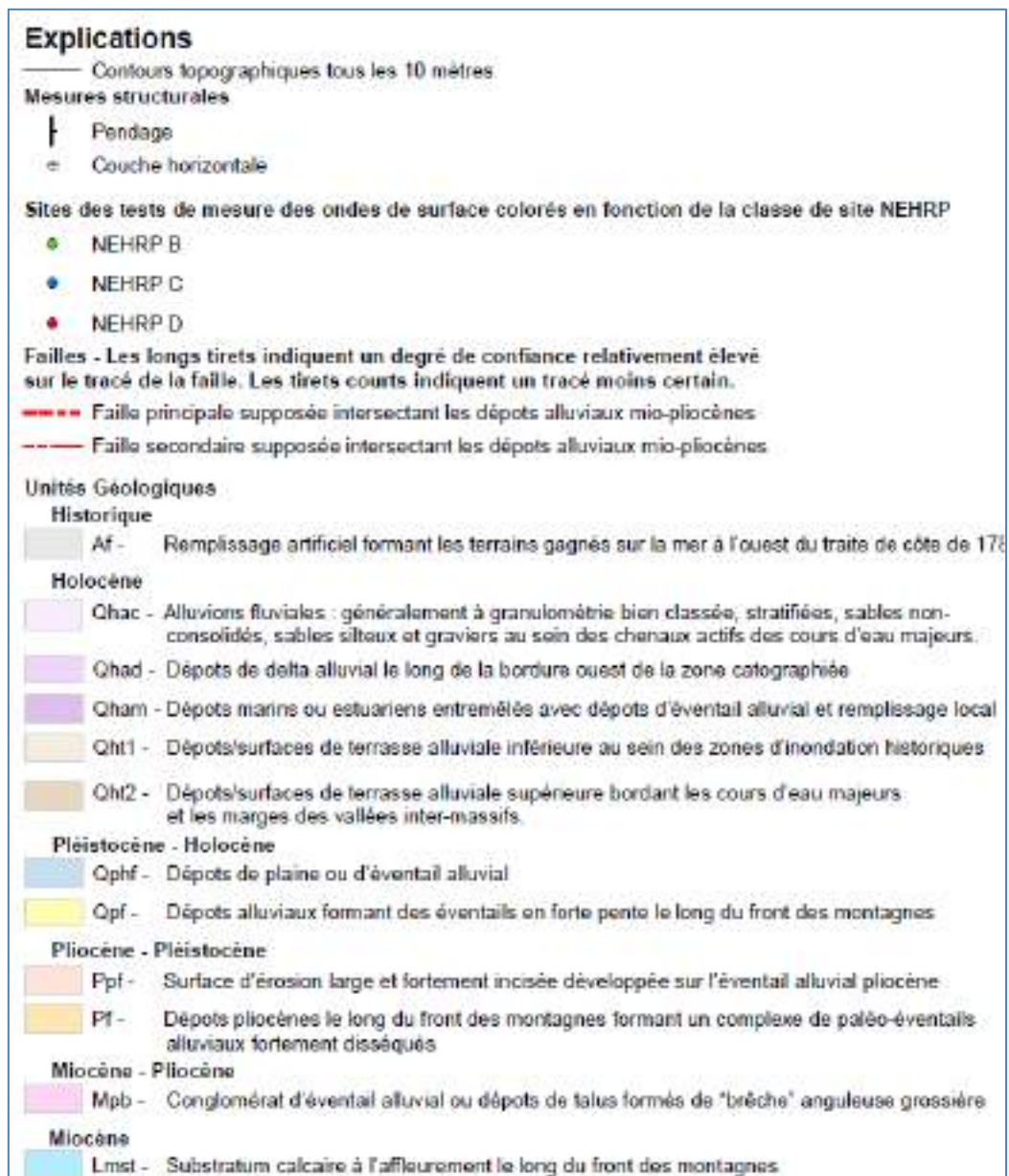


Figure 4 – Légende de la Figure 3 – « New geological map » of Port-au-Prince

2. Cadre géologique

2.1 LES GRANDES PHASES GEOLOGIQUES D'HISPANIOLA

Les territoires d'Haïti et de la République dominicaine constituent l'île d'Hispaniola. Il s'agit d'une des trois plus grandes îles des Grandes Antilles, les deux autres étant Porto Rico, à l'est, et la Jamaïque à l'ouest, Figure 5. Les îles des Grandes Antilles bordent la frontière entre la plaque Nord Amérique et le nord de la Plaque Caraïbe.

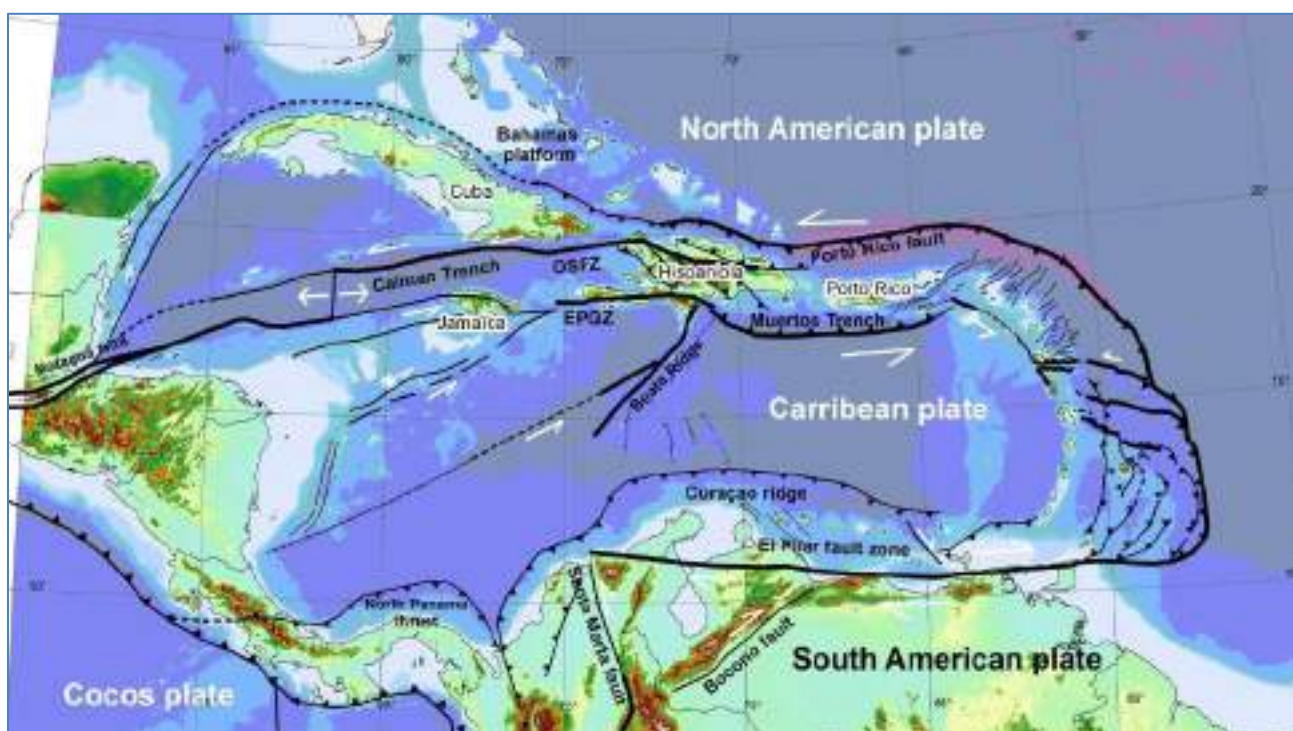


Figure 5 - Localisation de l'île d'Hispaniola dans le contexte de convergence des plaques Caraïbes et Amériqne (OSFZ, zone de failles Oriental-Septentrional d'Hispaniola ; EPGZ, zone de failles d'Enriquillo-Plantain-Garden)

Coincée entre les plaques Caraïbe et Nord Amérique, cette situation d'Hispaniola a donné lieu à une structuration complexe de l'île. Schématiquement on y distingue deux grands domaines structuraux, Figure 6 :

- Un domaine nord, caractérisé par une **croûte de type arc**. Il inclut : l'île de la Tortue, le massif du Nord, les Montagnes de Terre-Neuve et, très probablement, l'ensemble Montagnes-Noires - Plateau central. Ce domaine a subi une **première phase de plissement au fini-Crétacé à début Paléocène** (phase orogénique laramienne).
- Un domaine sud, caractérisé par une **croûte océanique** normalement épaisse (9 à 15 km), de type bassin caraïbe. Il inclut les chaînes des Matheux et du Trou d'Eau, la Plaine du Cul-de-Sac, l'île de Gonâve et la presqu'île du Sud.

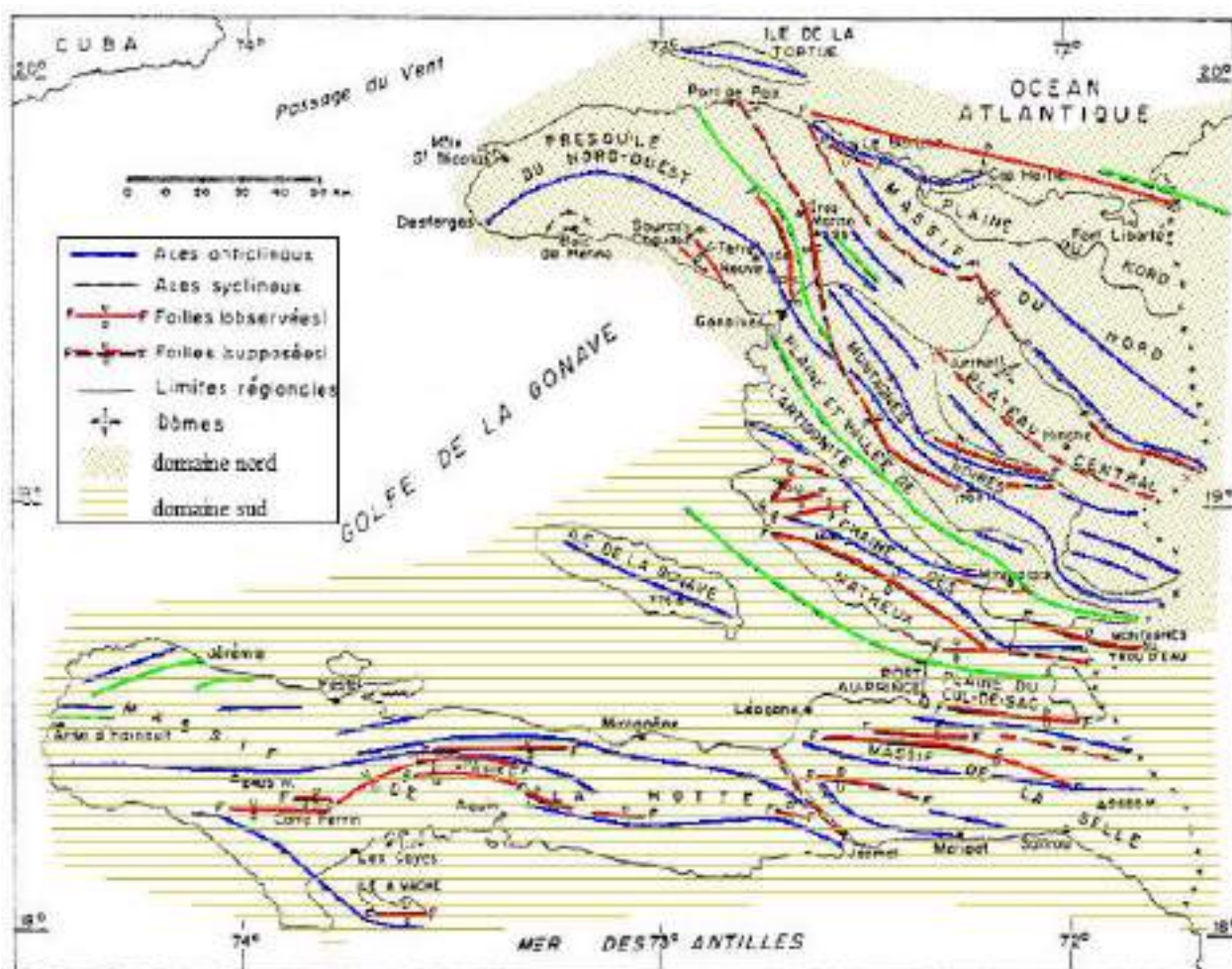


Figure 6 – Localisation schématique des principales structures tectoniques d’Haïti (d’après Butterlin, 1960, modifié)

De la fin du Mésozoïque jusqu’au Miocène, les deux domaines structuraux subissent des évolutions différentes :

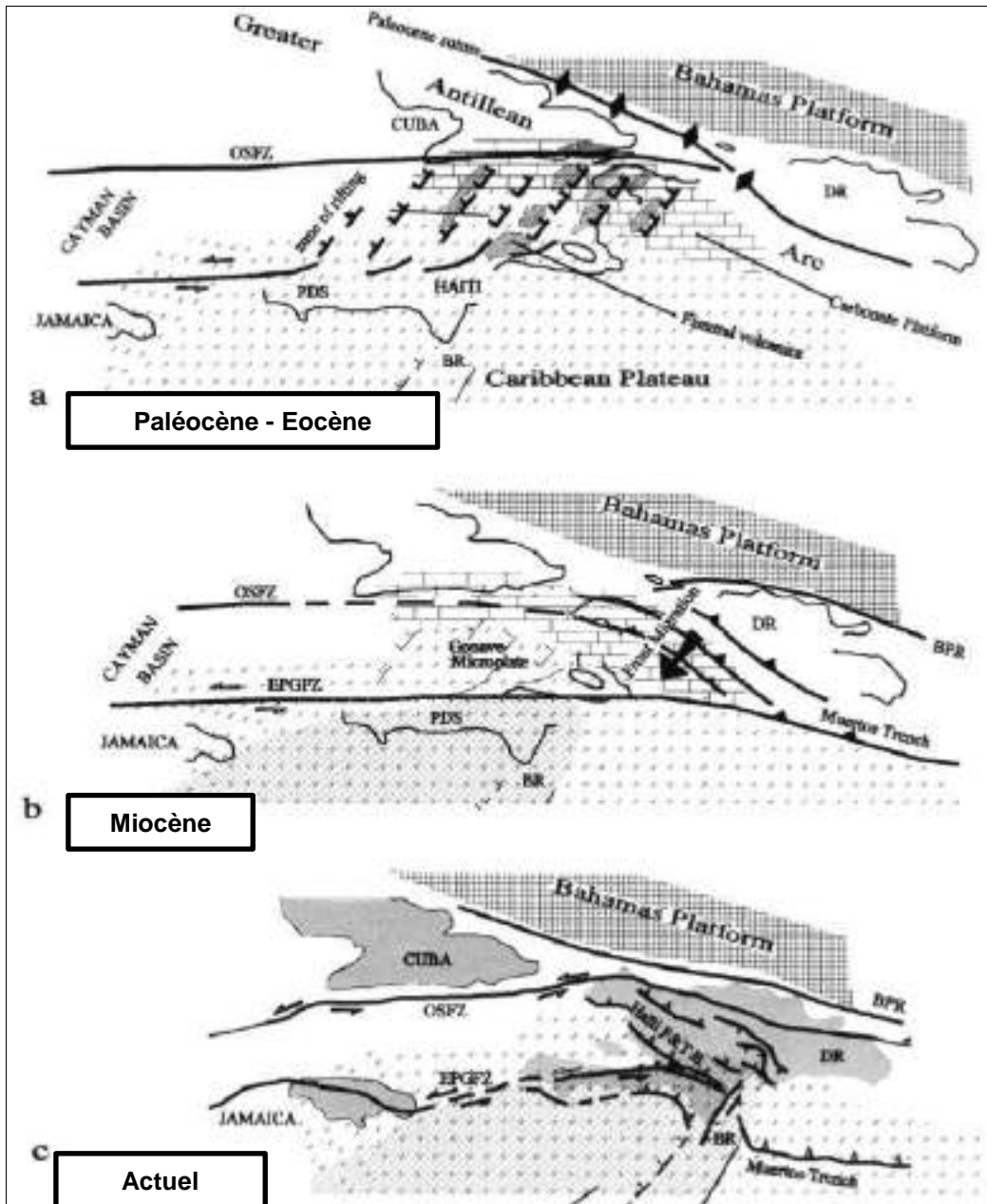
Fini-crétacé à début paléocène : La phase laramienne est responsable de la structuration majeure et du métamorphisme du substratum orogénique du domaine nord. Dans le domaine sud, elle se manifeste par un changement de régime sédimentaire (dépôts de sédiments turbiditiques du Paléocène inférieur sur les calcaires pélagiques maastrichtiens), probablement dû à une flexuration du plancher océanique en arrière de l’arc insulaire relatif au domaine nord.

Durant le Paléocène à Eocène inférieur, il s’agit d’une période de calme tectonique, avec remplissage des bassins par les produits de démantèlement des reliefs émergés, précédemment créés et l’installation d’une plateforme carbonatée généralisée, Figure 7.

Dès l’Eocène moyen, sous l’effet d’une translation des plaques caraïbes et nord Amérique, les premiers indices d’une tectonique compressive-décrochante marquent à la fois les domaines nord et sud.

De l’Eocène supérieur au Miocène, cette tectonique s’amplifie dans le domaine nord, avec le jeu d’importants décrochements senestres et de déformations compressives, en particulier dans la zone du Plateau Central. Dans le domaine Sud, les déformations sont concentrées à proximité de failles sub-verticales. Le système de failles d’Enriquillo-Plantain-Garden

(EPGFZ) a pu jouer dès cette époque en décrochement senestre et induire localement le plissement des séries éocènes le long de son tracé.



(a) Période Paléocène-Eocène, (b) Période Miocène, (c) Actuel.

BPR, fosse des Bahamas-Puerto Rico; BR, ride Beata ; Haiti F& T. B.: ceinture de Plis et chevauchements d'Haïti ; DR, République Dominicaine; EPGFZ, zone de faille d'Enriquillo-Plantain Garden ; OSFZ : zone de faille Orientale-Septentrionale ; PDS, Presqu'île du Sud.

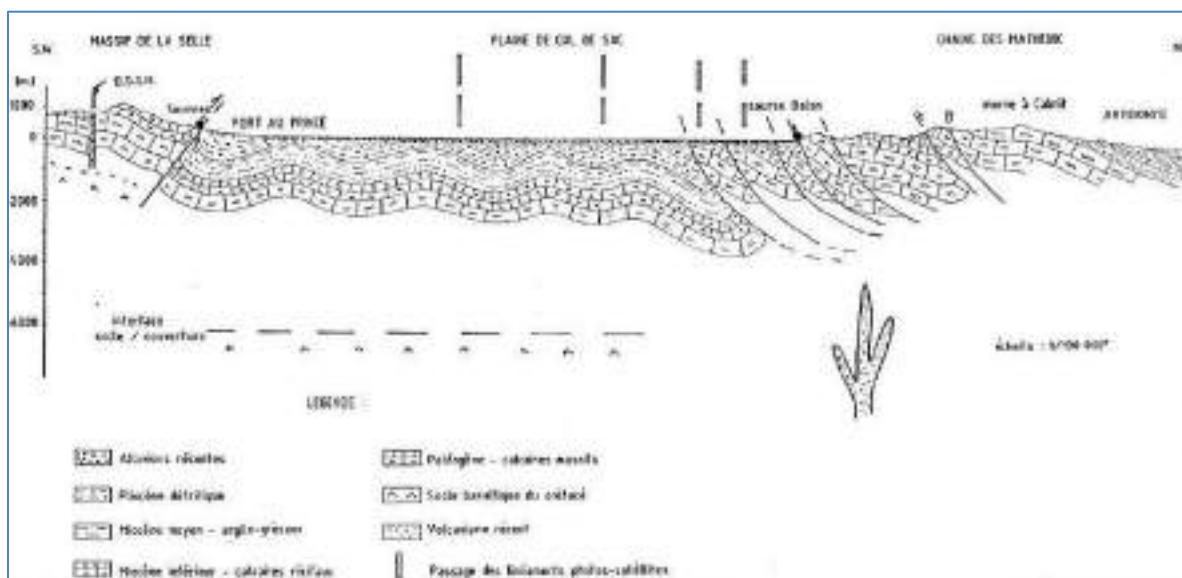
Zone de hachures verticales et horizontales = Plateforme des Bahamas ; zone de briques = plateforme carbonatée du Centre d'Haïti ; Zone de hachures en diagonales = croûte océanique caribéenne, zones de hachures en diagonales croisées = ride de Beata

Figure 7 – Evolution tectonique tertiaire de la limite de plaque nord Caraïbe à proximité d'Haïti (d'après Pubellier et al., 2000)

Ce n'est que **depuis le Miocène**, que les 2 domaines sont solidaires et enregistrent des évolutions sédimentaires et tectoniques comparables, caractérisées notamment par une tectonique compressive et une orogénèse qui dure depuis le Miocène terminal.

Ainsi, la phase mio-pliocène à actuelle accompagne l'émersion progressive du domaine nord. Elle est responsable du plissement de fond de l'ensemble du domaine nord et de sa morphologie actuelle.

La chaîne des Matheux et les montagnes du Trou d'Eau forment le prolongement vers l'Est d'un anticlinorium déjeté à déversé, respectivement, vers le SW et le Sud, Figure 6 et Figure 8. Ces accidents marquent la bordure nord de la plaine du Cul-de-Sac, ils correspondent à des chevauchements de direction NW-SE, avec probablement une composante senestre (Pubellier et al., 1986). Alors que la presqu'île du sud est structurée à partir de la fin du Miocène par d'importants plis anticlinaux d'axe N90 à N130°E, à cœur de matériel basaltique, déversés ou chevauchant vers le nord ou le nord-nord-est. Cette déformation compressive implique aussi les terrains du Pliocène comme il est possible de l'observer en bordure sud-est de la plaine du Cul-de-Sac, au niveau des affleurements de la Rivière Blanche où les calcaires micritiques cataclasés datés Eocène à Miocène chevauchent les flyschs pliocènes, Figure 8.



Cette déformation compressive se traduit de la fin du Miocène à aujourd'hui par la création d'une marge active avec subduction du bassin océanique caraïbe sous la partie dominicaine de l'île (prolongement SE de la cordillère centrale) située à l'aplomb du fossé de Muertos, Figure 5 et Figure 7. Cette zone de subduction se trouve dans le prolongement Sud-Est des chevauchements de vergence Sud-Ouest visibles dans le centre d'Hispaniola à la limite des domaines sud et nord (tels que les structures inverses NW-SE de la Montagne Noire et de la Chaîne des Matheux). Cette zone limite aussi l'extension vers l'est du système de failles à jeu décrochant senestre d'EPGFZ.

A la fin du Pliocène, une zone de fosse (fossé de Puerto Rico) se forme également entre la plate-forme des Bahamas et l'île de la Tortue, avec création d'un prisme d'accrétion à vergence nord, Figure 5.

2.2 PLACE D'HISPANIOLA DANS LE CADRE GEODYNAMIQUE ACTUEL

Les Grandes Antilles correspondent aux îles de Porto Rico, d'Hispaniola et de la Jamaïque. Elles marquent la frontière entre la plaque Nord Américaine et le nord de la Plaque Caraïbe. A cet endroit, le mouvement principal entre les deux plaques atteint une vitesse relative de 2 cm/an en moyenne, avec une direction convergente des plaques nord Américaine et Caraïbe N70°E, soit oblique par rapport à la limite de plaques E-W (Mann et al., 2002). Ce mouvement est accommodé par des déplacements le long de plusieurs systèmes de failles actives.

Vers l'Est, depuis Hispaniola jusqu'au système de failles d'Anegada, la frontière entre les deux plaques est constituée de deux branches sub parallèles, la faille de Porto Rico, et le fossé de Muertos, Figure 9. A l'Ouest d'Hispaniola, ce sont le système de failles nord-septentrionale d'Hispaniola et le système de failles d'Enriquillo-Plantain-Garden qui limitent les 2 plaques, ces deux systèmes structurent aussi le fossé de Cayman, Figure 9.

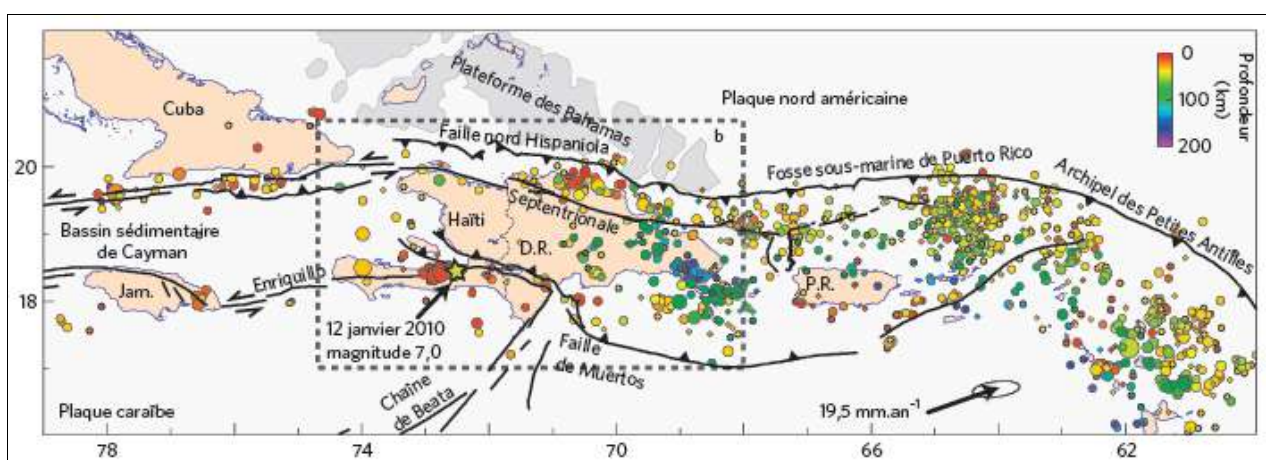


Figure 9 - Situation tectonique de la côte nord-est des Antilles et de l'île d'Hispaniola. (d'après Calais et al., 2010)

Au niveau d'Hispaniola, cette convergence oblique par rapport aux limites des deux plaques est accommodée par une double composante de mouvement : décrochante et inverse. Les déformations sont concentrées sur deux zones de failles majeures, siège d'importants séismes historiques, Figure 10 :

- Le système de failles nord-septentrionale d'Hispaniola (SOHFZ), qui traverse le Nord de la République dominicaine, puis passe juste sous la ville du Cap-Haïtien, entre l'île de la Tortue et Haïti, traverse le Passage du Vent pour ensuite longer le Sud de l'ancienne province de l'Orient de Cuba. Le glissement moyen mesuré est supérieur à 12 mm/an (Calais et al., 2010).
- Le système de failles d'Enriquillo-Plantain-Garden (EPGFZ), celui-ci prend en écharpe l'ensemble de la presqu'île du Sud d'Haïti. Vers l'Ouest, ce système atteint l'île de la Jamaïque (plaine de Plantain Garden). Vers l'Est de la frontière entre Haïti et la République dominicaine, dans la plaine d'Enriquillo, l'EPGFZ vient se terminer sur le front de Muertos. Le glissement moyen mesuré au niveau de l'EPGFZ est de 5,1 à 5,8 mm/an (Calais et al., 2010). Outre le séisme du 12 janvier 2010, d'autres séismes historiques majeurs relativement anciens (1751, 1770, 1860) sont connus le long de cette structure.

Au centre de l'île, les failles inverses, actives, de direction NW-SE bien visibles dans la morphologie d'Hispaniola (Calais et al., 2002) se raccordent vers le nord au système de failles nord-septentrionale d'Hispaniola, et au sud, à la faille de Muertos. Elles marquent la transition entre les domaines structuraux nord et sud d'Hispaniola, aux évolutions tectoniques différentes du Crétacé au Miocène, puis communes depuis cette période. Les mesures GPS indiquent au niveau du chevauchement des Matheux (Figure 6 et Figure 8) un glissement moyen de 1mm/an.

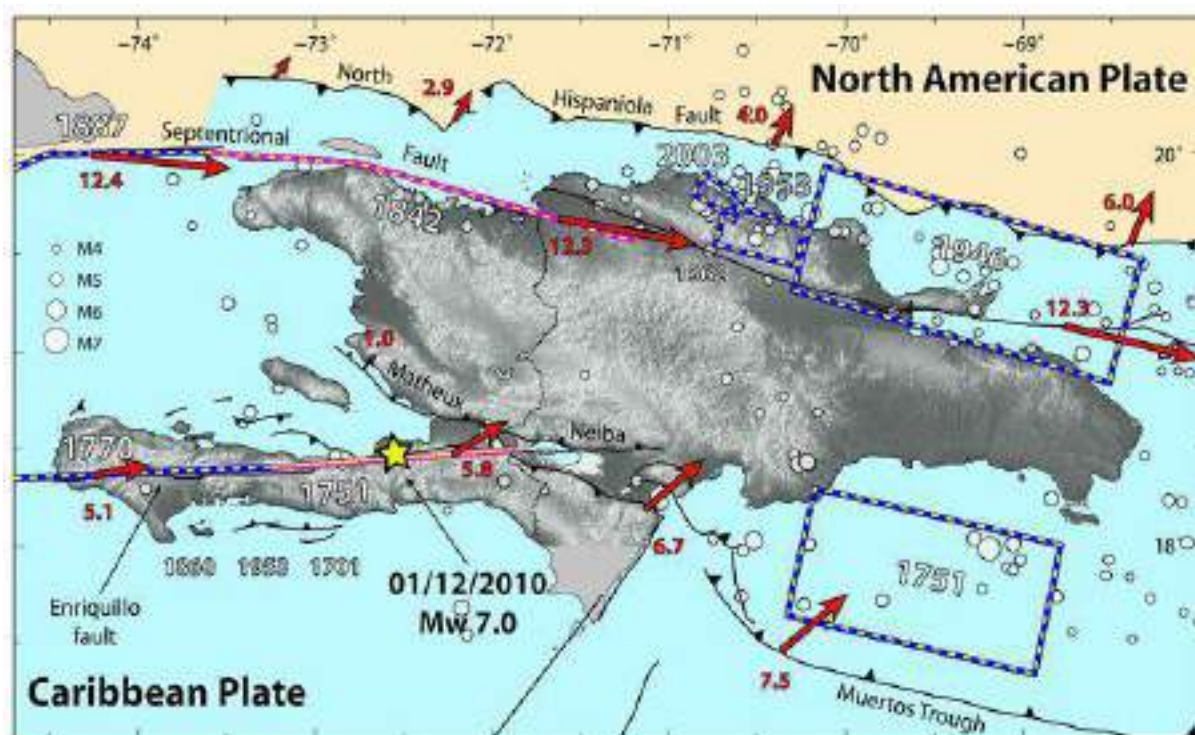


Figure 10 – Localisation des Zones de rupture historique et indications (flèches rouges) des vitesses de glissement des failles actives déduites des mesures géodésiques (d'après Calais et al., 2010 et le site <http://web.ics.purdue.edu/~ecalais/haiti/context/>)

2.3 CADRE TECTONIQUE REGIONAL ACTUEL

Des profils sismiques ont été réalisés (Mann et al., 1995) dans golfe de Gonave (ou baie de Port-au-Prince). Ils montrent des plis et des failles inverses qui déforment les terrains d'âge miocène à quaternaire, Figure 11. Au sommet des anticlinaux, des petites failles normales sont visibles. Elles peuvent être interprétées comme des petites déformations extensives extradors induites par la flexure des dépôts. Le prolongement de ces structures au niveau de la plaine du Cul-de-Sac est probable, Figure 11.

Ces structures sont comparables aux plis et chevauchements, de direction NW-SE, visibles au nord de la plaine du Cul-de-Sac, Figure 12. Elles appartiendraient à la bordure frontale active de la chaîne de montagnes transhaïtienne, tout comme le chevauchement des Matheux, au niveau duquel un glissement moyen de 1mm/an est mesuré (Figure 10).

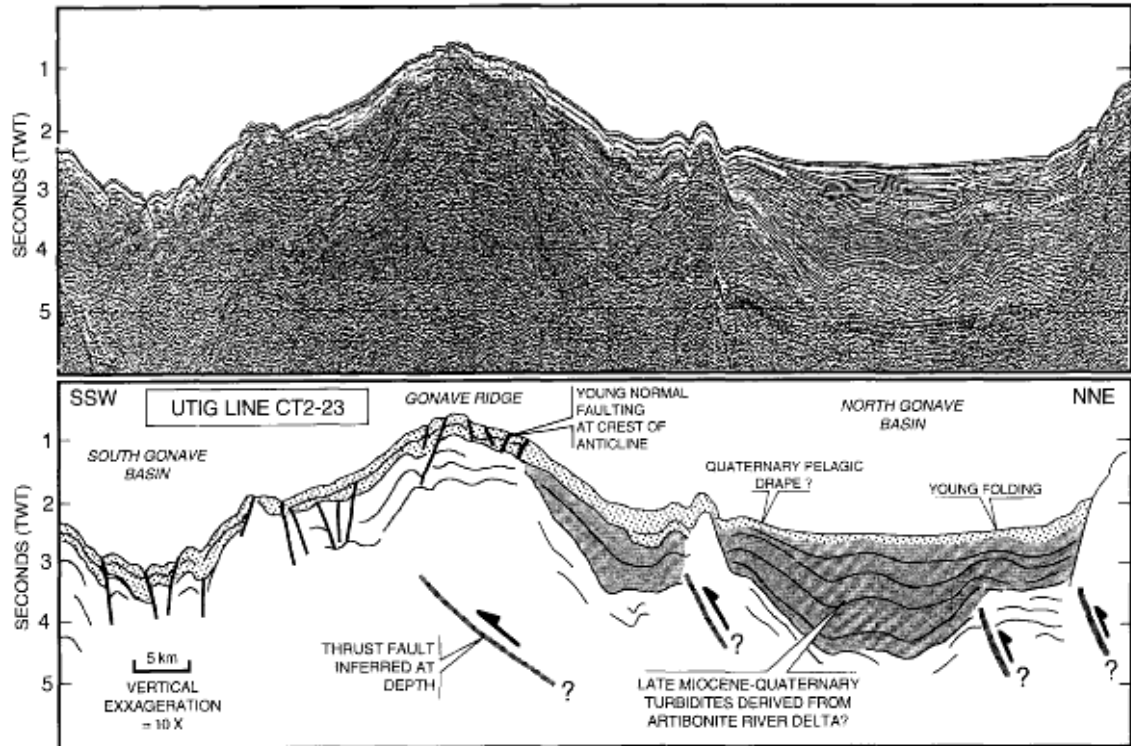
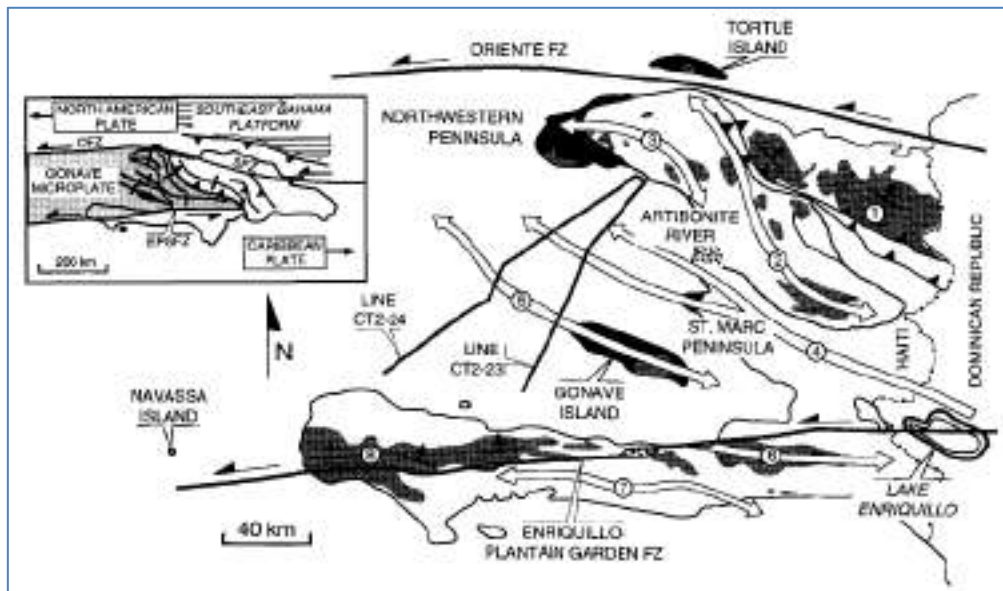


Figure 11 – Profil sismique CT2-23, de direction NE-SW, situé à l’ouest de l’île de Gonave, dans la baie de Port-au-Prince (d’après Mann et al., 1995)



mountain ranges: 1 = Massif du Nord; 2 = Montagnes Noires; 3 = Massif du Neve; 4 = Chaine des Matheux; 5 = Gonave Island; 6 = Massif de la Selle; 7 = eastern Massif de la Hotte; and 8 = western Massif de la Hotte. Note locations of seismic reflection lines CT2-23 and 24 shown in Figs. 14 and 15. Inset shows proposed tectonic interpretation of the Gonave microplate defined by a fold-thrust belt in western and central Hispaniola and by active strike-slip faults on its northern and southern edges.

Figure 12 - Localisation des déformations compressives (plis et chevauchements), entre les deux systèmes de failles septentrionales et EPG, ou le long de ces systèmes (D’après Mann et al., 1995)

2.4 SISMICITE HISTORIQUE ET SEISME DU 12 JANVIER 2010

Les grands séismes historiques haïtiens

Plusieurs séismes majeurs ont frappé l'île d'Hispaniola au cours des derniers siècles. Ces séismes sont essentiellement concentrés (Figure 10) :

- au nord, le long de la zone de failles de Puerto Rico, ou du système de failles septentrionales. Il s'agit notamment du séisme du 7 mai 1842, de magnitude estimée à 8, qui a sévèrement affecté le nord du pays. D'après Calais (2012), la moitié de la population du Cap Haïtien périt et des dégâts majeurs furent causés à Port-de-Paix, Cap Haïtien, Fort Liberté, ainsi qu'en République Dominicaine (Monte Cristi, Santiago, la Vega). Le palais de Sans-Souci et la Citadelle La Ferrière furent endommagés. Un tsunami affecta la côte nord d'Haïti, avec une inondation atteignant trois mètres de hauteur.
- au sud, le long du système de failles d'EPG puis du fossé de Muertos. Il s'agit notamment des séismes du 9 novembre 1701, du 18 octobre 1751, du 3 juin 1770, du 8 avril 1860 et du 12 janvier 2010,
- Figure 13. Quatre secousses majeures se sont produites sur une période de 70 ans, entre 1701 et 1770. Les épicentres de ces tremblements de terre sont localisés à proximité du système de failles d'EPG. Concernant le séisme du 18 octobre 1751, Bakun et al. (2012) envisagent soit un épicentre le long du fossé chevauchant de Los Muertos, avec un événement de magnitude M_l proche de 7,9 à 8,0, soit un épicentre situé à proximité de la terminaison est du système de failles d'Enriquillo, avec une magnitude M_l proche de 7,4 à 7,5. La seconde hypothèse est la plus probable selon ces auteurs. Le séisme de 1860 aurait atteint une magnitude proche de 6,6, son épicentre serait situé au nord du système de failles EPG, en mer.

Selon Bakun et al. (2012), le sud-ouest de l'île d'Hispaniola n'aurait pas subi de séismes catastrophiques durant les XVI et XVIIème siècles, contrairement à la partie nord de l'île d'Hispaniola où des très forts séismes sont connus (notamment celui de 1562, de magnitude supposée 7,5). Pour cette partie SO d'Hispaniola, il s'agirait d'une période relativement calme au niveau sismicité, tout comme les XIX et XX èmes siècles.

Le séisme du 12 janvier 2010

Les caractéristiques du séisme du 12 janvier 2010 sont les suivantes (http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010rja6/neic_rja6_gcmt.php) :

- Coordonnées de l'épicentre : 18.44°N, 72.57°W,
- profondeur 13 km,
- temps origine 21 :53 :10 UTC, (16h53 heure locale)
- Magnitude M_w 7.1
- Mécanisme au foyer, plans nodaux calculés :
 - NP1: STRIKE=151;DIP=64;SLIP= 158
 - NP2: STRIKE=251;DIP=70;SLIP= 28

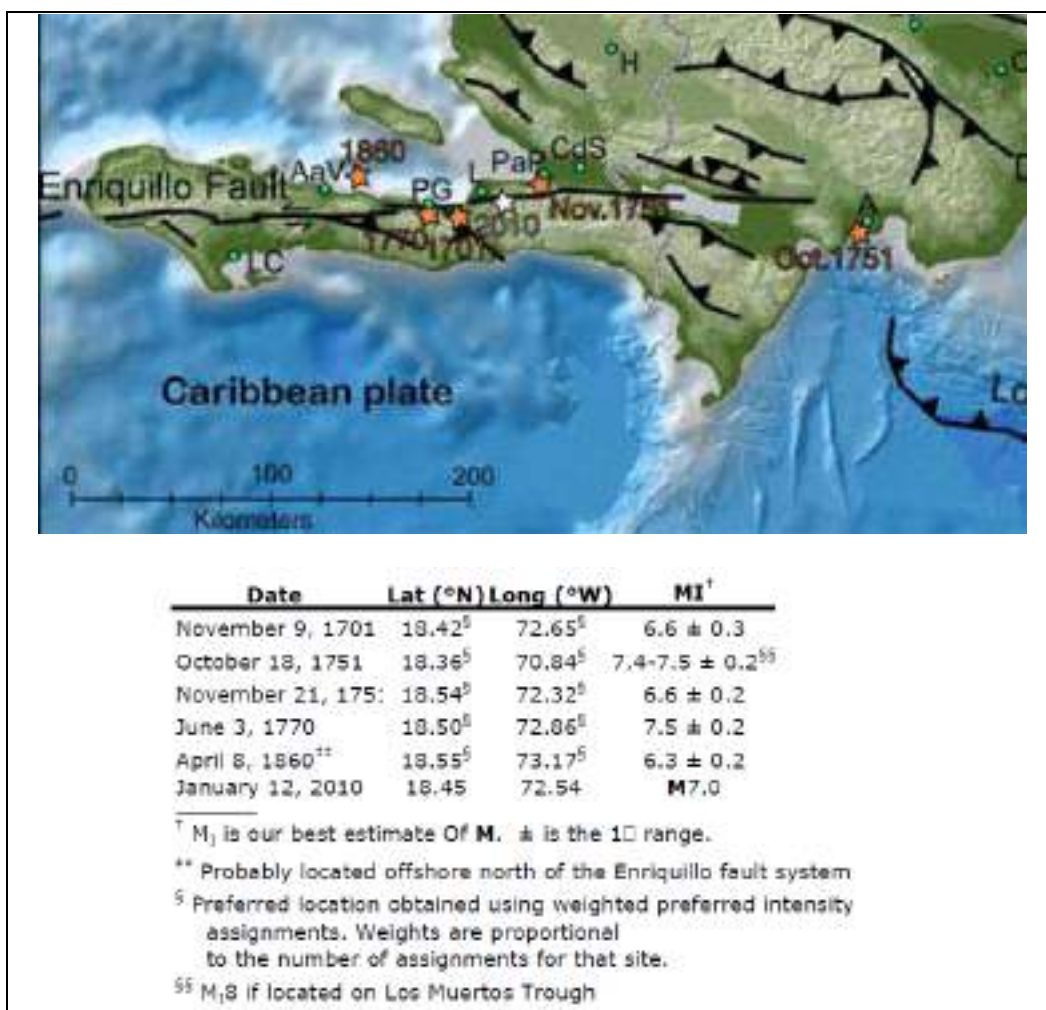


Figure 13 – Localisation et caractéristiques des séismes majeurs localisées au centre et sud de l'île d'Hispaniola (d'après Bakun et al., 2012)

L'épicentre du séisme est situé au nord du système de failles d'EPG, entre l'île de Gonave et la péninsule sud orientale d'Haïti. Le calcul du mécanisme au foyer de la secousse majeure et de ses répliques, les mesures d'interférométrie radar, ainsi que celles mesurées par GPS, indiquent le **mouvement d'une faille de direction ENE-WSW (N71°E), de pendage nord**, et selon un mouvement inverse-senestre. Cette faille est donc légèrement oblique par rapport à la direction du système de failles EPG (N80°E). Elle est située au nord de la faille EPG. Cette faille à l'origine du séisme de 2010 a été baptisée **faille de Léogâne** (Calais et al., 2010), Figure 14. Jusqu'alors méconnue, elle correspondrait à un **chevauchement « aveugle » sous-jacent le delta Léogâne**.

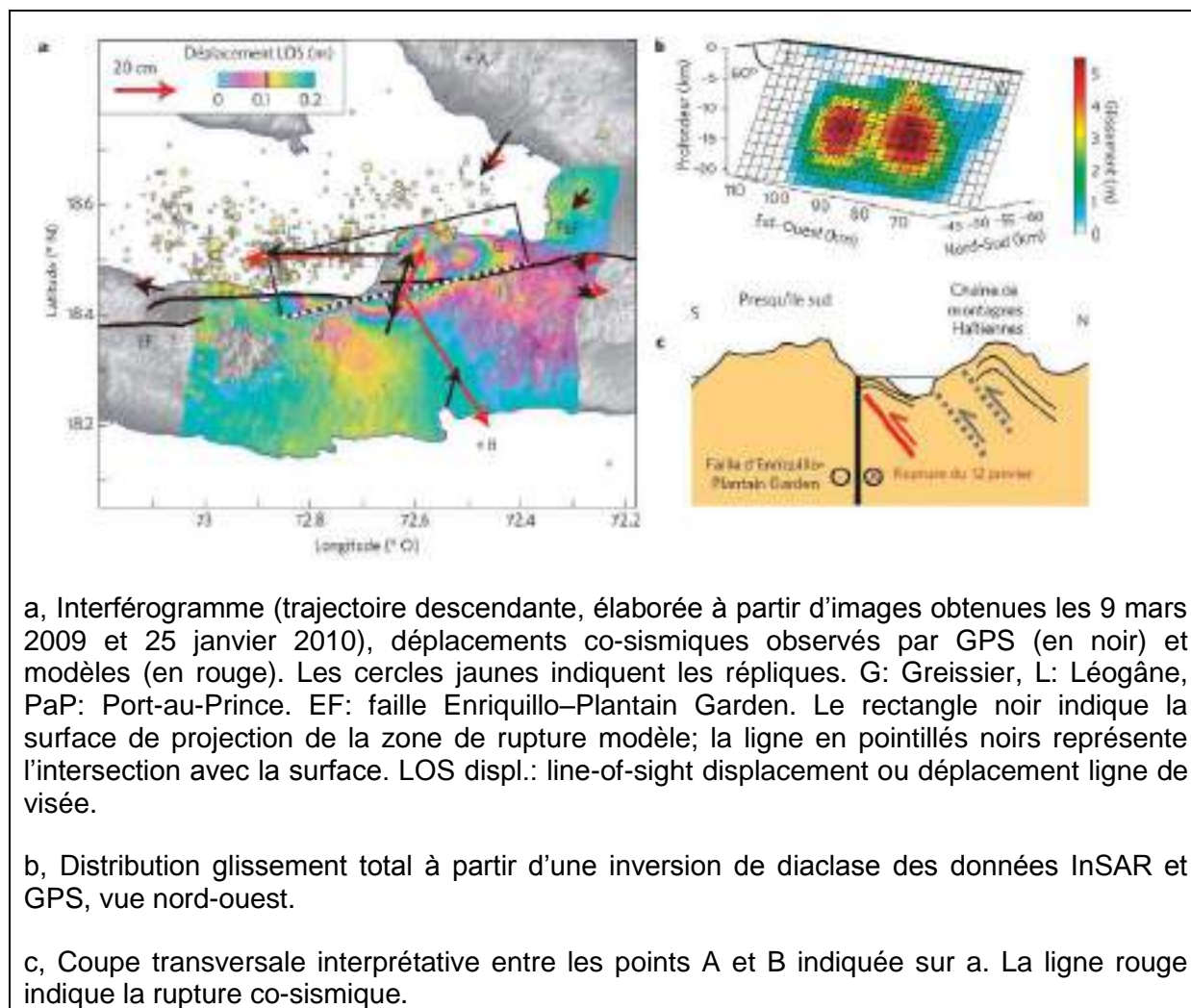


Figure 14 - Observations de déformation et modèle de rupture (d'après calais et al., 2010)

A partir de l'analyse des répliques de séisme du 12 janvier 2010 et d'une analyse morphostructurale des fonds marins entre l'île de Gonave et le rivage nord de la péninsule haïtienne, Mercier de Lépinay et al. (2011) apportent des descriptions complémentaires sur les failles à l'origine du séisme de 2010. Quatre failles principales qui structurent le bassin de Gonave sont décrites, Figure 16 et Figure 17 :

1. une faille normale N50°E, à pendage SW, appelée **faille du Rocher**,
2. une faille chevauchante N70°E, à vergence sud, la **faille de Léogâne**, à l'origine du séisme de 2010, et précédemment décrite par Calais et al. (2010),
3. une grande faille N120°E, à pendage nord, inverse, qui borde au sud l'île de Gonave et se prolonge vers le SE dans la baie de Port-au-Prince, celle-ci appartient au système de failles chevauchantes frontales de la **chaîne transhaïtienne**,
4. une faille N120°E, pendage 70°S, inverse, la **faille des Trois-Baies**. Décrite par Momplaisir (1986), la faille des Trois Baies est associée au système de failles d'EPG, qui à cet endroit formerait une structure en fleur transpressive.

L'épicentre du séisme du 12 janvier 2010 se trouve à l'aplomb de la faille de Léogâne. Les répliques du séisme du 12 janvier sont situées au nord du plan de faille EPG (Douilly et al., 2012). En coupe, Figure 15, ils indiquent, à l'ouest, le jeu de faille inverse à pendage sud, et à l'est, le jeu inverse d'une faille à pendage nord. Il s'agit respectivement des failles des Trois Baies et de Léogâne. Les mécanismes au foyer des répliques sont cohérents avec ces interprétations, Figure 17.

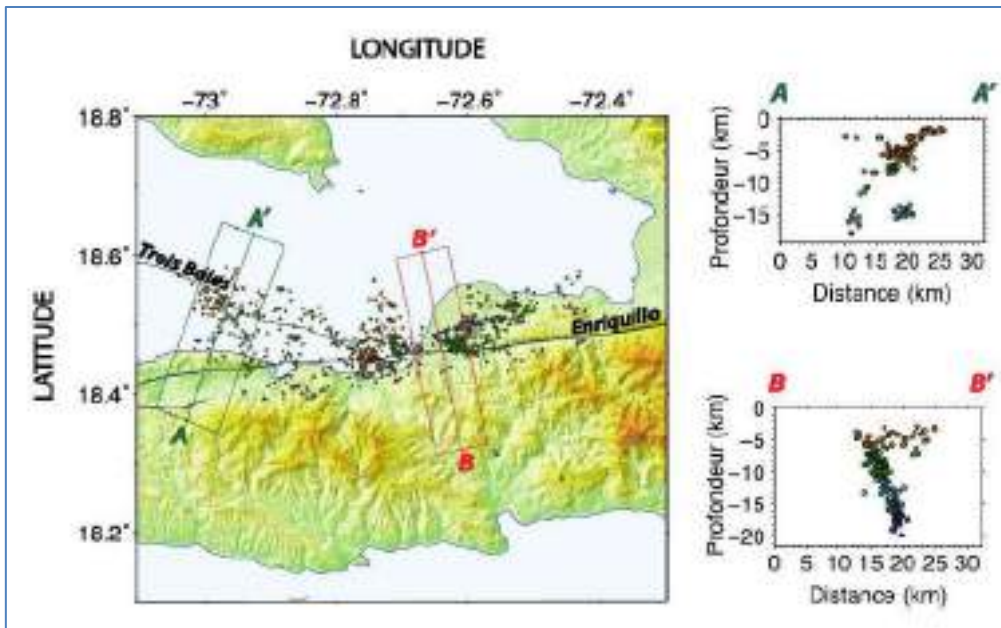


Figure 15 - Répartition spatiale des répliques du séisme du 12 janvier 2010 de Haïti (d'après Douilly et al., 2012)

Selon Mercier de Lépinay et al. (2011), la faille de Léogane, Figure 16 et Figure 17, constituerait la limite géologique entre :

- un domaine à croûte océanique, épais et rigide, relatif à la plaque Caraïbe, au sud,
- un domaine avec une épaisse série sédimentaire, structuré par des chevauchements de vergence SW, la chaîne transhaïtienne, prolongement occidental de la faille inverse du fossé de Muertos.

Selon Mercier de Lépinay et al. (2011), c'est cette limite rhéologique, constituée par la faille de Léogâne, qui aurait rompu le 12 janvier 2010, donnant lieu à un séisme de magnitude 7,1. Les répliques enregistrées par la suite correspondraient à un relâchement des contraintes dans le compartiment chevauchant, avec le rejeu des failles inverses N120°E du système frontal de la chaîne transhaïtienne, ainsi que d'une partie du système de failles EPG (dont la faille des Trois baies).

Selon le modèle de Hayes et al. (2010), le jeu de la faille de Léogane a aussi induit le rejeu en profondeur, décrochant senestre de la faille d'Enriquillo (EPG).

Suite aux premiers enseignements tirés du séisme de 2010, Calais et al. (2010) soulignent le fait que, contrairement au schéma jusqu'alors retenu, le système de failles EPG n'est pas le seul système actif proche de la capitale de Port-au-Prince. Ces auteurs soulignent la nécessité d'identifier les autres sources sismiques potentielles, en particulier les failles inverses ou à glissement oblique comme la faille de Léogâne.

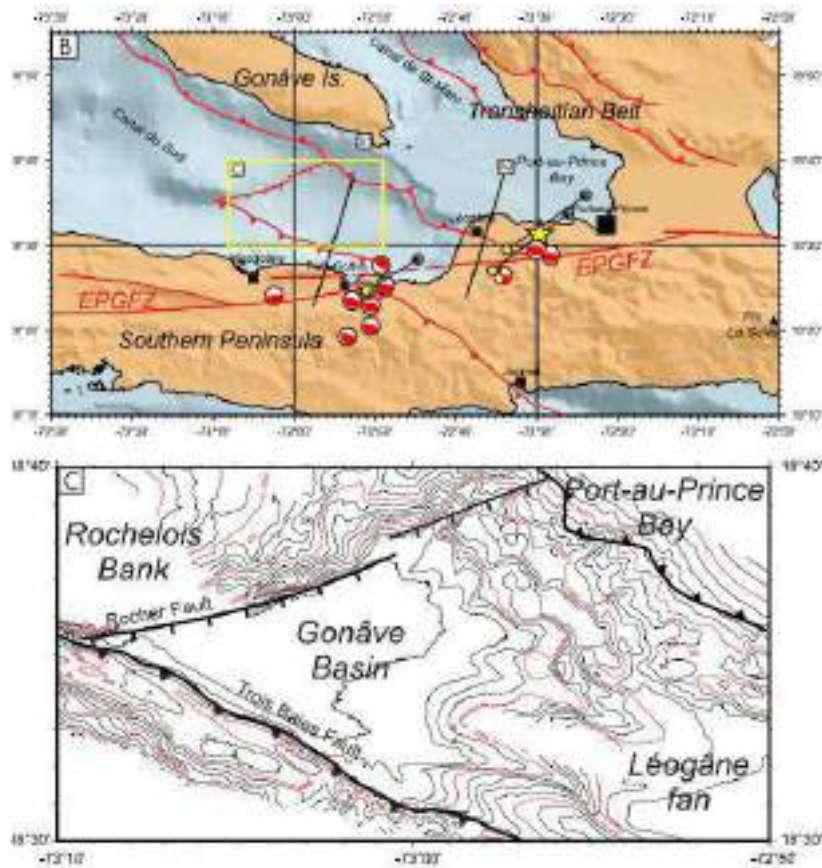


Figure 16 (b) Détail de la zone d'étude. Solutions focales des répliques du catalogue PDE (deux premières semaines après le tremblement de terre) ; S1 et S2, localisation des coupes de la Figure 17; étoile jaune, choc principal ; zone jaune, zone illustrée dans la Figure 1C. (c) carte bathymétrique du bassin de Gonâve. (d'après Mercier de Lépinay et al., 2011)

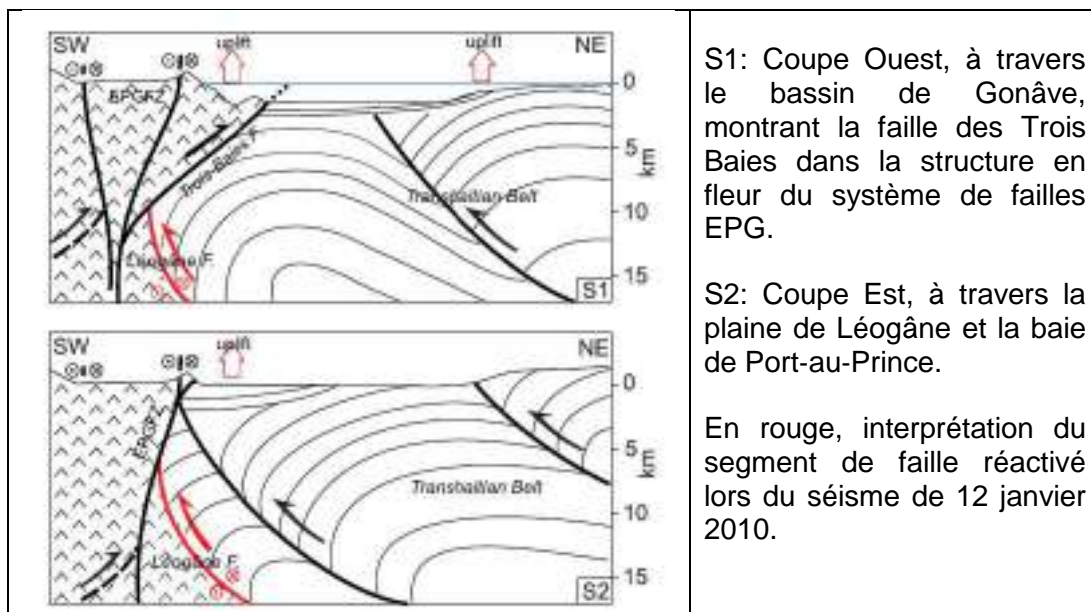


Figure 17 - Coupes interprétatives de la faille de Léogâne puis de la faille des Trois Baies successivement actives lors du séisme de 2010 d'Haïti (d'après Mercier de Lépinay et al., 2011)

3. Etude de la géologie de Port-au-Prince réalisée dans le cadre du microzonage

3.1 LES CARTES GEOLOGIQUES UTILISEES

Les informations géologiques sur la région de Port-au-Prince sont la synthèse bibliographique réalisée par Bourgueil et al. (1988), la carte géologique d'Haïti à 1/250 000 de Momplaisir et Boisson (1987) et la carte géologique publiée par Bachhuber et al. (2010). Cela concerne aussi le travail de Butterlin (1960) sur la description stratigraphique des terrains affleurant à Haïti.

La carte géologique de Port-au-Prince à 1/250 000

Haïti a fait l'objet d'une cartographie géologique à 1/250 000 dans les années 80 (1982-1988). Concernant la région de Port-au-Prince, il s'agit de la feuille Sud-Est, réalisée par Momplaisir et Boisson (B.M.E.) et publiée en 1987.

Dans la région de Port-au-Prince, les faciès suivants sont indiqués :

- Qa : alluvions, éboulis, mangroves.
- P : marnes et sables, vieux cônes d'épandage (Formation du Morne Delmas) ; marnes et sables du Plateau ;
- Ms : marnes à Orbulines; marnes et sables du Plateau Central et du Bassin de Gros Morne Central (Formation de Las Cahobas et Formation Madame Joie) ; grès calcaireux du Bassin de Gros Morne (Formation La Crête) ; calcaires de la plate-forme du Chaînon de Paincroix et de la Presqu'île du Sud ;
- Es : calcaires pélagiques du Massif de la Selle ;
- Ems : biomicrites pélagiques de la Presqu'île du Sud et du versant Sud du Massif du Nord (Formation Ennery); ailleurs, calcaires de plate-forme (Formation Plaisance) du Massif du Nord ;
- Ep : conglomérats et grès volcanogènes du Massif de la Selle (Formation Marigot) ; marnes, grès et calcaires marneux des Montagnes Noires (Formation Abuillot) ; ailleurs, calcaires de plate-forme et calcaires pélagiques.

Carte géologique de Port-au-Prince de Bachhuber et al. (2010)

Après le séisme de 2010, une esquisse géologique est publiée par Bachhuber et al. (2010), Figure 3. Les dépôts miocène, pliocènes et pléistocènes y sont interprétés comme des paléo-éventails complexes et des dépôts de plaine ou de cônes alluviaux, reposant sur les dépôts holocènes (fluviaux ou estuariens) de la plaine du Cul-de-Sac.

Quelques linéaments orientés WNW-ESE sont également indiqués. Selon ces auteurs, ils pourraient représenter la trace de failles potentiellement actives. Elles sont interprétées comme des failles secondaires et rattachées en profondeur à la faille principale d'EPG, formant ainsi une structure en fleur. Elles pourraient avoir un jeu inverse décrochant senestre.

3.2 LES OBSERVATIONS DE TERRAIN

En préalable à la mission sur place des géologues du BRGM, l'équipe du BME avait positionné une trentaine d'affleurements situés sur l'agglomération ou à proximité de Port-au-Prince et pour chacun attribué le faciès probable en se basant sur la carte de Bachhuber et al. (2010).

Ces affleurements ont fait l'objet d'une visite systématique par l'équipe de projet BRGM et BME, et pour partie LNBTP. Ils ont été complétés par une soixantaine de stations d'observations.

Une base de données a été constituée. Elle assigne un ensemble d'attribut à chaque point d'observation géoréférencé. Ci-après sont indiqués les renseignements utiles au microzonage sismique, Figure 19 et Erreur ! Source du renvoi introuvable..

3.1 FACIES OBSERVES

Les sédiments observés sur la zone d'étude sont des sédiments détritiques où la phase carbonatée est représentée soit par les éléments du dépôt (cas des calcaires et des conglomérats par exemple), soit par la matrice ou le ciment du dépôt (cas des silts carbonatés par exemple).

D'un point de vue général, le substratum rocheux se compose de trois classes granulométriques principales : les silts, les marnes et les conglomérats (ou brèches). Les faciès sableux sont rarement rencontrés. Les marnes sont fréquemment associées aux calcaires pour constituer des alternances « marno-calcaires » ou pour concentrer les quelques fossiles marins rencontrés sur la zone d'étude (dont *Ostea haitensis*, décrite dans la littérature).

La topographie actuelle résulte en grande partie de l'orogénèse pliocène et du jeu des failles délimitant des compartiments à laquelle se superpose l'érosion quaternaire et récente par le biais des dépôts grossiers de piémont et des dépôts alluviaux actifs de la Rivière Grise. Les dépôts superficiels en place sont globalement peu épais, en général de 10 cm à 50 cm d'épaisseur sur les reliefs les plus marqués et jusqu'à 4 m d'épaisseur (50 cm à 1 m en moyenne) sur les reliefs les plus doux de la plaine. Les dépôts superficiels remobilisés tels que les dépôts de pente, c'est-à-dire les colluvions, peuvent atteindre plusieurs mètres d'épaisseur dans les fonds de vallées étroites qui concentrent les produits d'érosion récents ou composent des cônes alluviaux quaternaires à proximité immédiate des reliefs.

Les différents faciès rencontrés ont été classés en 10 types ou unités géologiques (Figure 20), du plus ancien au plus récent, F1 (Eocène supérieur) à F10 (Plio-Quaternaire à Actuel). L'estimation de l'âge de ces unités est déduite des travaux de Butterlin (1960).

Les épaisseurs maximales des unités sont difficiles à estimer. Les affleurements rencontrés offrent la plupart du temps des coupes stratigraphiques discontinues, où les contacts entre formations géologiques ne sont pas systématiques et où les sédiments affleurant sont d'une dizaine de mètre d'épaisseur en continu dans les meilleurs cas.

Au sein d'une même unité, des distinctions de faciès ont pu être établies sur la base de différences lithologiques susceptibles de se traduire par des propriétés géotechniques différentes. Ces observations restent cependant trop ponctuelles, pour pouvoir être distinguées au niveau de la carte des contours géologiques.

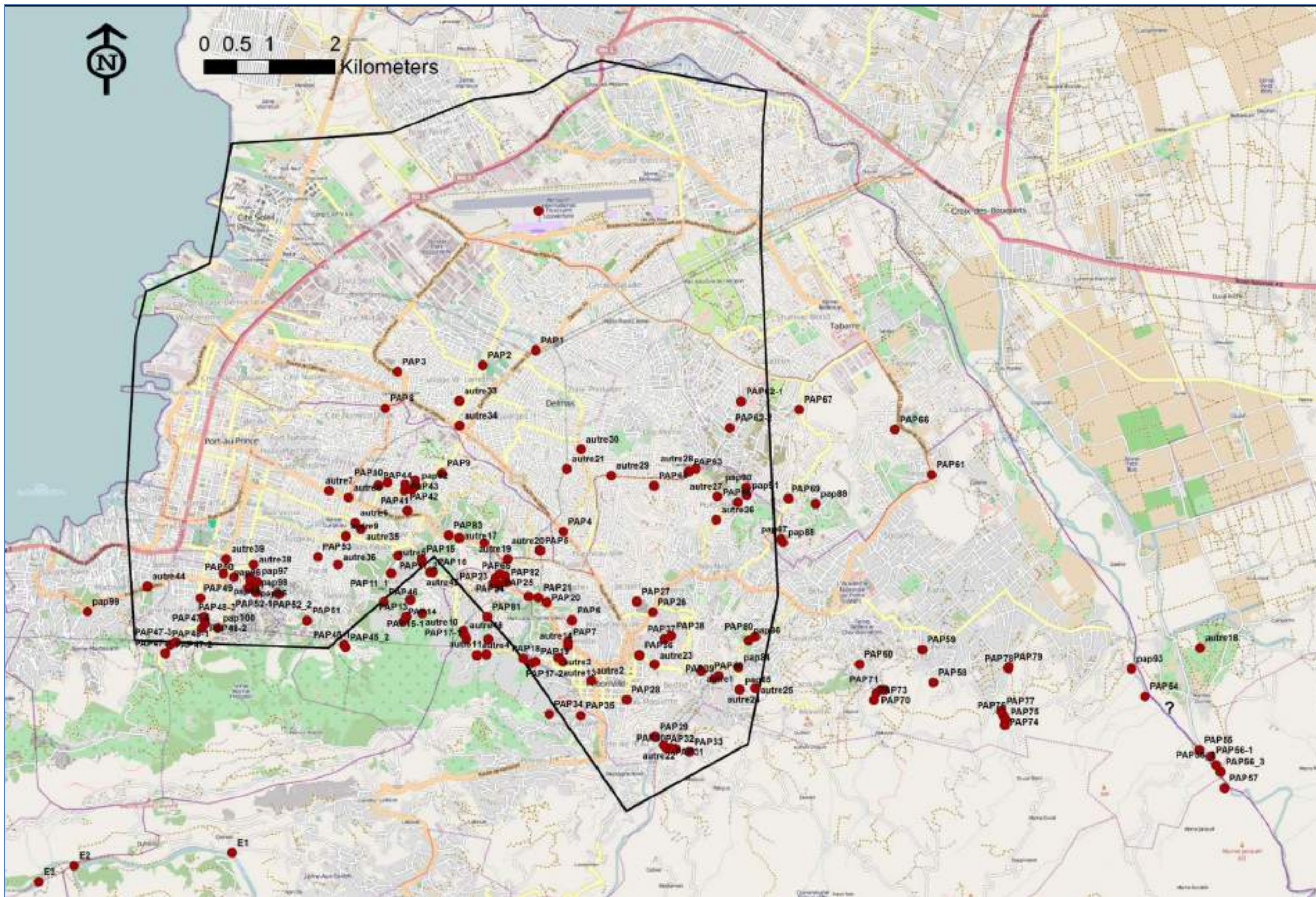


Figure 19 - Localisation des points d'observations (fond OpenStreetMap)

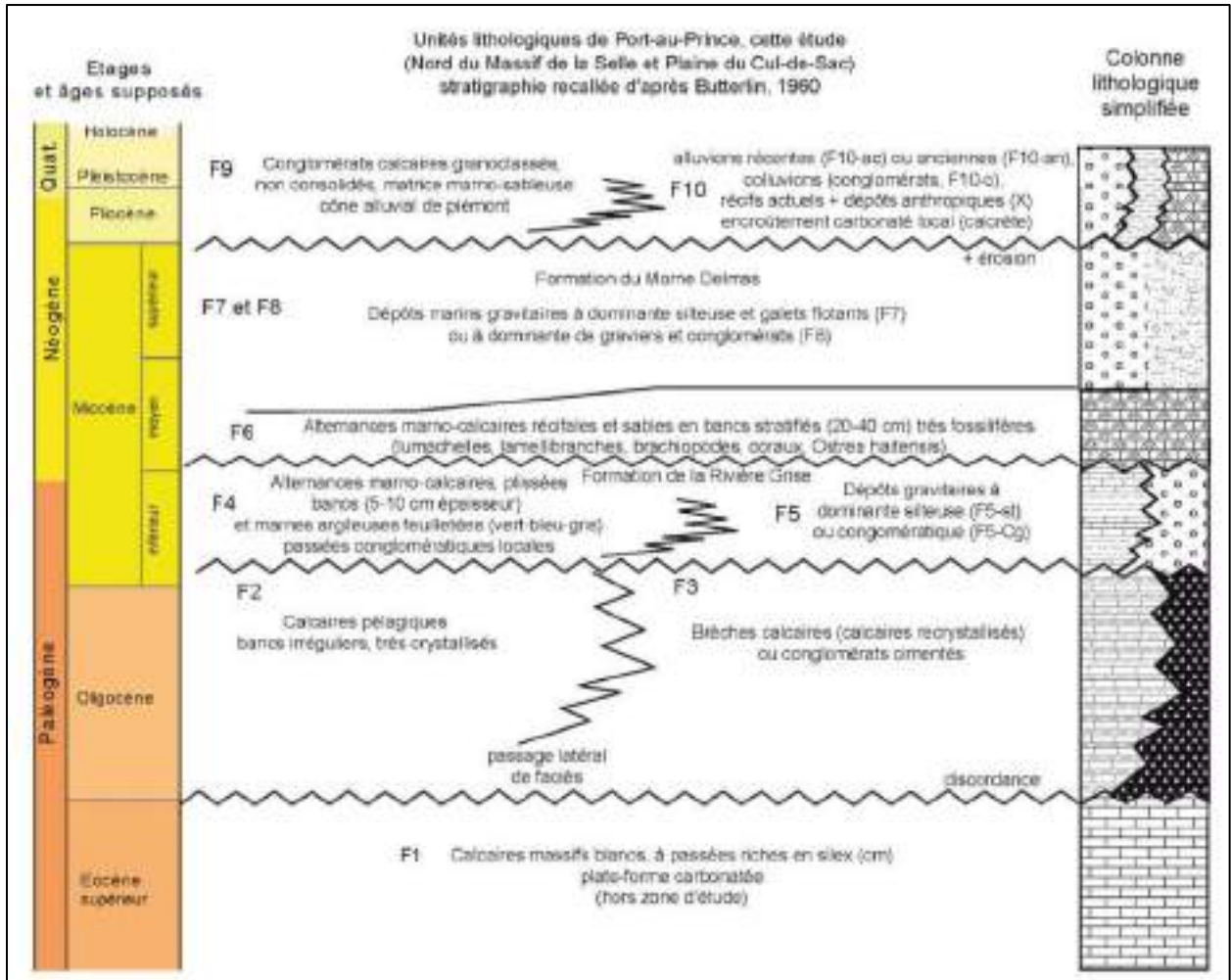


Figure 20 - Synthèse litho-stratigraphique du secteur d'étude de Port-au-Prince (séquence stratigraphique calée sur les travaux de Butterlin, 1960)

Eocène supérieur :

F1 : calcaires massifs blancs à passées riches en silex centimétriques à infra-centimétriques.

Ce faciès est situé au Sud, hors de la zone d'étude, dans le Massif de la Selle. Il ne fait donc pas l'objet d'une description en termes de colonne de sols. Les calcaires massifs constituent l'armature des reliefs les plus hauts du Massif de la Selle.



Figure 21 - Faciès "F1": Calcaires massifs blancs, Eocène supérieur

Oligocène à Miocène inférieur :

F2 : calcaire pélagique

Se compose de bancs pluricentimétriques de calcaires blancs, massifs ou irréguliers (glissement synsédimentaire de type slump).

Les colluvions quaternaires à actuelles peuvent atteindre jusqu'à 5 m d'épaisseur.

La terre végétale est peu épaisse voire absente : 0 à 0,5 m

Oligocène à Miocène inférieur :

F2 : calcaire pélagique

Colonne de sol-type :

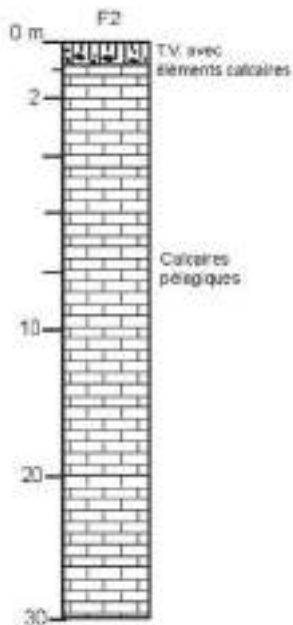


Figure 22 - Faciès "F2", Calcaires pélagiques, Oligocène à Miocène inférieur

F3 : brèche calcaire et conglomérats cimentés

Brèche composée d'éléments calcaire éocène anguleux, le plus souvent fracturée et recristallisée et conglomérats de galets calcaires arrondis assez jointifs, de taille très variable (pluridécimétriques à centimétriques). Les éléments sont consolidés et cimentés par une matrice sablo-silteuse peu friable et peu abondante (~10-20 %) beige à rouge. Les dépôts sont massifs et peuvent parfois présenter une organisation en séquences successives dites normales (dépôts granoclassés, des plus grossiers au plus fins).

Ce faciès caractérise des dépôts épais (> 30 m à l'affleurement) adossés au piémont des reliefs du flanc Nord du Massif de la Selle.

La terre végétale est peu épaisse voire absente : 0 à 0,5 m

Oligocène à Miocène inférieur :

F3 : brèche calcaire et conglomérats cimentés

Colonne de sol-type :

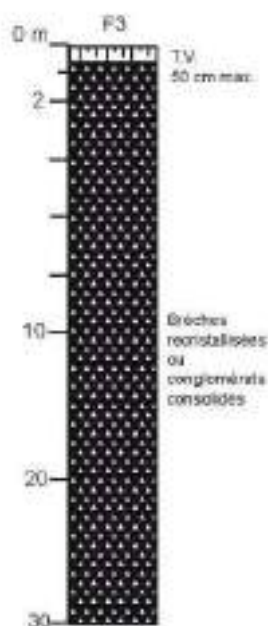


Figure 23 - Faciès "F3", Brèches et conglomérats calcaires cimentés, Oligocène à Miocène inférieur

Miocène inférieur

Formation de la Rivière Grise :

F4 : alternances marno-calcaires

Alternances de bancs réguliers de calcaire de 5 à 10 cm d'épaisseur, et de marnes argileuses feuilletées, de couleur variable dans des teintes vert-bleu-gris.

Quelques passées conglomératiques locales, peu épaisses.

Aisément identifiable sous ce faciès de dépôt en place en partie amont de l'actuelle Rivière Grise, ces dépôts sont plissés ou discontinus sur la région de Port-au-Prince où ces faciès affleurent en quelques points isolés.

La colonne de sol pour la Formation de la Rivière Grise est décrite par une épaisseur faible de terre végétale, 0,5 m maximum, les dépôts sédimentaires d'alternance marno-calcaire ou de silts carbonaté représentent ensuite une dizaine de mètre environ.

Très localement (point PAP 39, angle SE de la zone d'étude), un encroûtement calcaire a été observé. Il présente une épaisseur de 2 cm et se situe au contact entre les dépôts miocènes silteux et la terre végétale. Cet encroûtement peut constituer un refus pour les outils de forage pour les essais géotechniques.



Figure 24 - Faciès "F4", Alternances marno-calcaires de la Formation de la Rivière Grise, Miocène inférieur

Les formations sédimentaires associées latéralement au faciès-type F4 caractérisant les marno-calcaires se composent essentiellement de silts remaniés (faciès F5-st) et de quelques passées conglomératiques (faciès F5-Cg)

F5-st : Dépôts gravitaires de silts calcaires beige-ocre homogènes

Matrice silteuse ocre à beige carbonatée, consolidée, pouvant contenir quelques rares galets de calcaire flottants, sous une forme dispersée au sein de la matrice silteuse.

Localement, sur ce faciès plus fin, en surface ou sous la terre végétale, un encroûtement calcaire a été identifié. Cet encroûtement se rencontre également plus fréquemment sur les faciès qui caractérisent la Formation du Morne Delmas (cf. ci-dessous).

Le faciès F5-st est plus largement répandu que le faciès F5-Cg, enrichi dans sa composition globale en galets calcaires (passées conglomératiques).

Miocène inférieur

Formation de la Rivière Grise

F5-st : Dépôts gravitaires de silts calcaires beige-ocre homogènes

Colonne de sol-type :

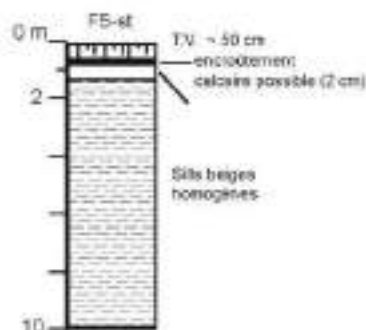


Figure 25 - Faciès "F5-st", silts calcaires homogènes remaniés de la Formation de la Rivière Grise, Miocène inférieur

Miocène moyen à supérieur

F6 : alternance marno-calcaires récifales et fossilifères et bancs sableux

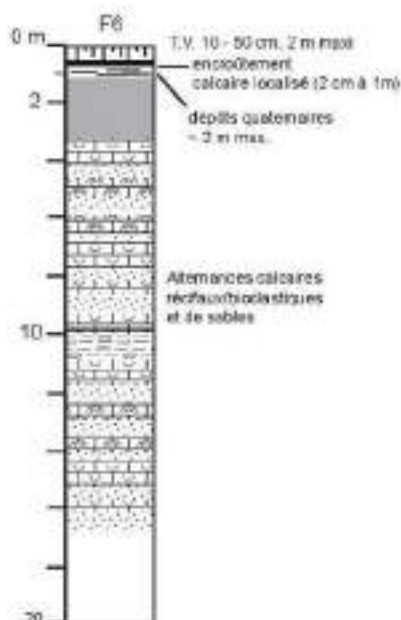
Alternances de bancs (20 à 40 cm d'épaisseur) de calcaires coquillers ou récifaux (fragments, débris), de silts argileux beige à marron, et quelques intercalations de niveaux indurés ou friables de sables très fins, stratifiés, beige foncé, à lamines parallèles de couleur rouille, présentant des Figures d'échappement de fluides.

Miocène moyen

Formation du Morne Delmas

F6 : alternance marno-calcaires récifales et fossilifères et bancs sableux

Colonne de sol-type :



Détail d'un banc marneux fossilifère

Figure 27 - Faciès « F6 » alternances marno-calcaires récifales et bancs sableux, Formation du Morne Delmas, Miocène moyen à supérieur

F7 : dépôts gravitaires de silts et sables fins silto-argileux

Dépôts gravitaires composés de sables fins silteux comportant des intercalations de marnes et quelques galets flottants de taille centimétrique, d'origine variée, de composition calcaire dominante, quelques fragments de silex et proportion réduite de galets de roches volcaniques.

La colonne de sol associée présente une épaisseur moyenne de terre végétale de 10 cm à 50 cm, soit en contact direct avec le faciès silteux, soit en contact avec environ 2 m d'épaisseur de dépôts meubles quaternaires. Dans le cas d'un contact direct terre végétale-silts beiges, un encroûtement calcaire peut se développer et former sur cette surface un calcrète de 2 cm d'épaisseur à laminations carbonatées compactes. Localement, on peut également retrouver ces laminations calcaires discontinues sous une forme discontinue pénétrant le sédiment silteux sous-jacent jusqu'à 1 m de profondeur, induisant une résistance mécanique plus forte du matériau.

Miocène moyen à supérieur

Formation du Morne Delmas

F7 : dépôts gravitaires de silts et sables fins silto-argileux

Colonne de sol-type :

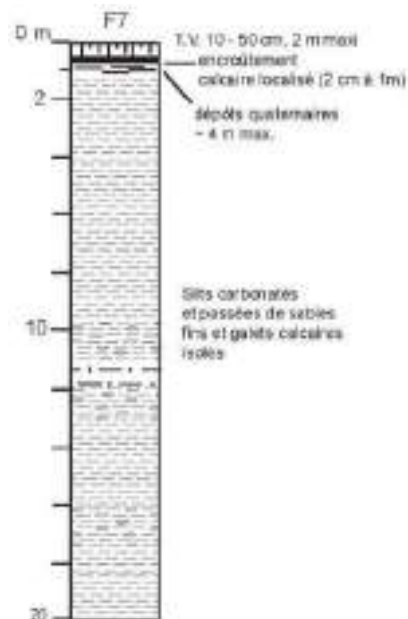


Figure 28 - Faciès « F7 », dépôts gravitaires de silts et sables silto-argileux, Formation du Morne Delmas, Miocène moyen à supérieur

F8 : dépôts gravitaires de conglomérats calcaires

Dépôts gravitaires de conglomérats polymictiques, très hétérogènes (silex, basalte altéré, calcaire altéré et calcaire micritique bioclastique) de taille variée, des graviers aux galets pluri-centimétriques, composés essentiellement de calcaires éocènes, en suspension dans une matrice argileuse dominante versicolore beige à blanche. Les passées conglomératiques sont planes et non chenalisantes, d'épaisseur variable, de 1 à plusieurs mètres.

Miocène moyen à supérieur à Formation du Morne Delmas

F8 : dépôts gravitaires de conglomérats calcaires

Colonne de sol-type :

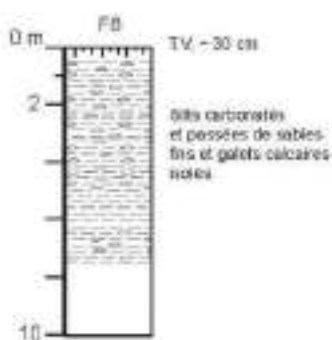


Figure 29 - Faciès « F8 », dépôts gravitaires de conglomérats calcaires, Formation du Morne Delmas, Miocène moyen à supérieur

Plio-Quaternaire

F9 : Conglomérats calcaires à matrice marno-sableuse rouge

Conglomérats calcaires de taille variée, émoussés, jointifs, non cimentés, organisés en séquences de dépôts normales (des plus gros éléments au plus fins) dans une matrice marno-sableuse fine de couleur beige à rouge.

Cet ensemble est érosif et discordant sur les dépôts antérieurs.

La colonne de sol associée, d'une épaisseur minimale de 10 m, comporte un sol de terre végétale compris entre 0 et 50 cm maximum.

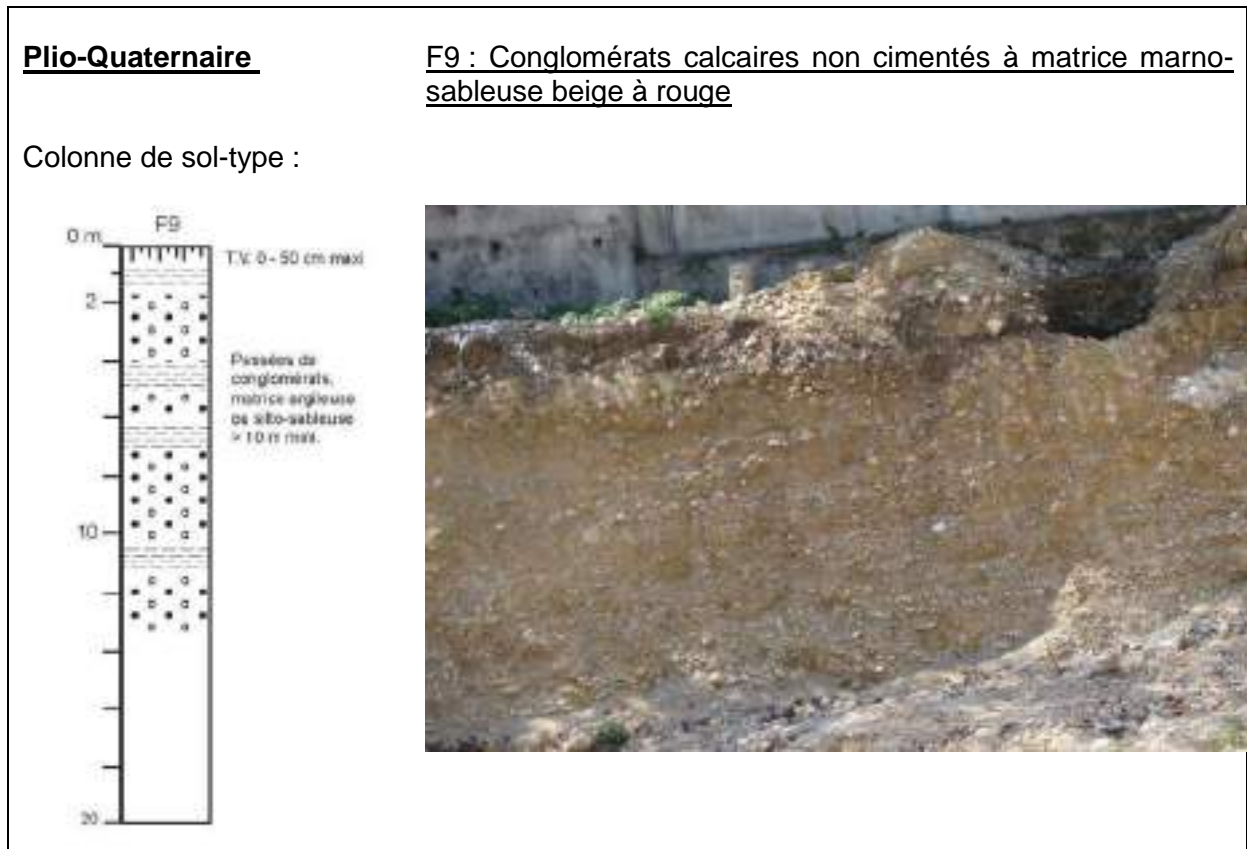


Figure 30 - Faciès "F9", conglomérats calcaires, Plio-Quaternaire

Quaternaire

F10 : Alluvions actuelles (F10-ac1 et F10-ac2) et anciennes (F10-an), colluvions (F10-c), alluvions marines/estuariennes (F10-ma), récifs actuels et dépôts anthropiques (X)

Dans le lit mineur et majeur des rivières et ravines (Rivière Grise et rivières parcourant Port-au-Prince telles que la Ravine du Bois de Chêne, la Ravine Meyotte etc.), les dépôts alluviaux (F10-ac1, Figure 31) sont principalement composés de galets calcaires issus des reliefs. Ces dépôts torrentiels sous climat aride contrasté (Port-au-Prince) transportent des galets décimétriques à centimétriques, bien émoussés, organisés en séquences de dépôts normales, au sein d'une matrice sablo-silteuse beige. Ces dépôts sont meubles, non cimentés, à la différence des dépôts miocènes.

Les alluvions récentes (Quaternaire à Actuel) provenant des crues de débordement de part et d'autre de la Rivière Grise sont notées F10-ac2. La colonne de sol est similaire à celle des alluvions anciennes : alternances de limons argileux et de graves marno-sableuse, d'après les forages géotechniques. La présence de nodules carbonatés dans les forages indique des phénomènes de battement de la nappe alluviale qui, en climat aride à semi-aride, conduit à la précipitation des carbonates.

Les dépôts de colluvions (F10-c) constituent des cônes de déjection présents en bordure des reliefs (au sud-est du secteur d'étude notamment) et se composent du même type de matériel.

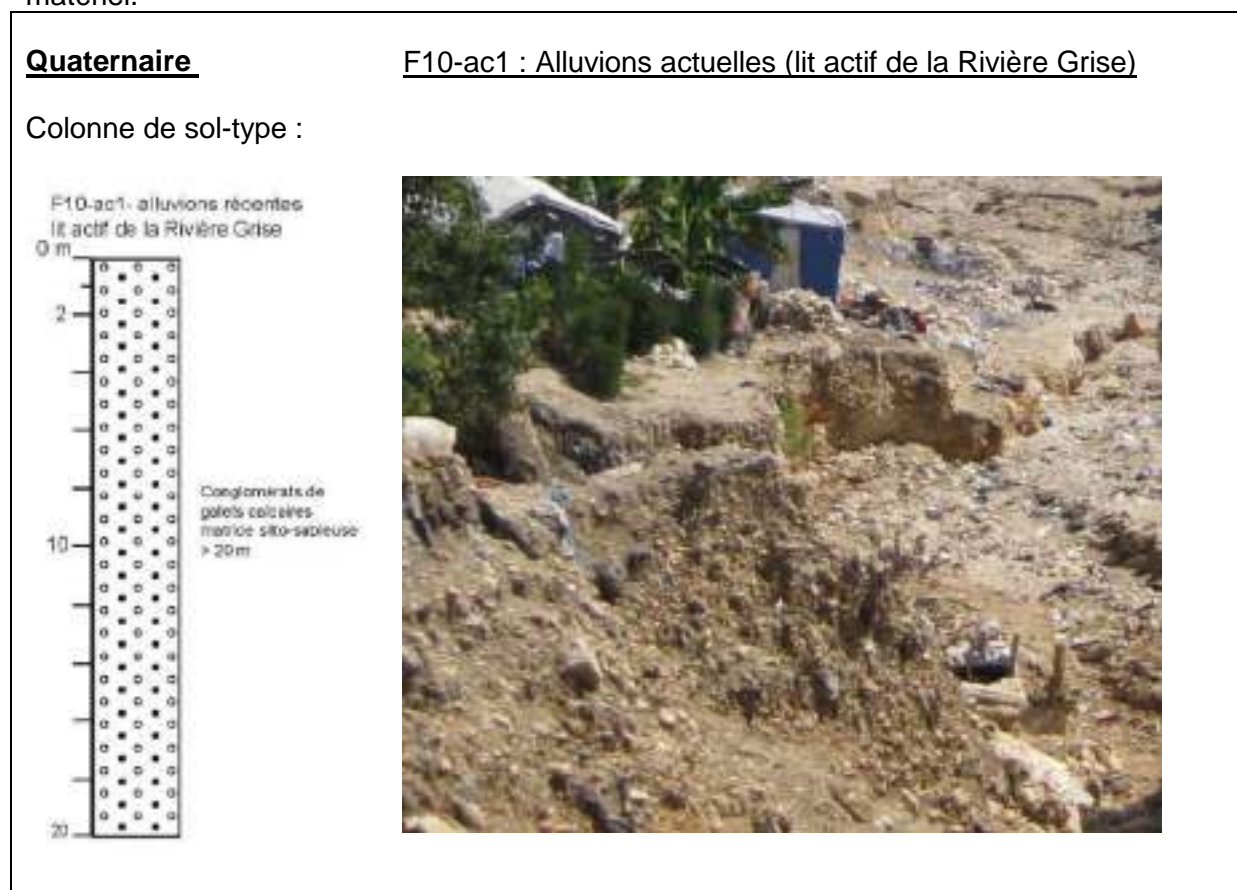


Figure 31 - Faciès "F10-ac", alluvions actuelles, Quaternaire récent

Les alluvions anciennes (F10-an, Figure 32) de conglomérats calcaires visibles en bordure de la Rivière Grise ont enregistré la dynamique de dépôt de la rivière. Elles sont surmontées de dépôts quaternaires plus fins, composés d'alternances silto-argileuses et sableuses fines, où les laminations parallèles sont bien visibles.



Figure 32 - Faciès "F10-an", alluvions anciennes, Quaternaire récent

Les récifs actuels et les dépôts anthropiques (notés « X », Figure 33) et les alluvions marines/estuariennes (« F10-ma », Figure 34), constituent des dépôts pour lesquels aucun affleurement n'est visible. Ils sont toutefois identifiés dans les forages géotechniques dont les plus profonds atteignent 30 mètres. Le faciès des dépôts anthropiques (X) est associé pour partie aux récifs de la zone portuaire de Port-au-Prince et identifié comme tel sur la carte géologique préliminaire.

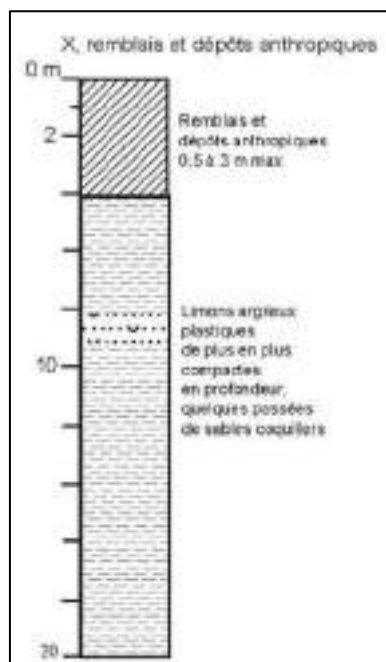


Figure 33 - Colonne de sol-type pour le faciès "X", remblais et dépôts anthropiques sur limons plastiques

Les alluvions marines/estuariennes sont mises en évidence sur l'esquisse de carte géologique préliminaire sur la base de l'analyse des forages géotechniques dans lesquels elles constituent des alluvions « molles » au sens géotechnique (NSPT < 10). D'un point de vue lithologique, elles rassemblent des argiles marines ou fluviales (alluviales ou estuariennes, « limons » ou argile plastique), des sables coquillers ou coralliens et des graviers. Les proportions granulométriques sont équivalentes pour ces 3 lithologies.

La colonne de sols établie pour les formations des alluvions marines « F10-ma » de la façade maritime est basée sur une synthèse des forages géotechniques existants au LNBTP (Figure 34).

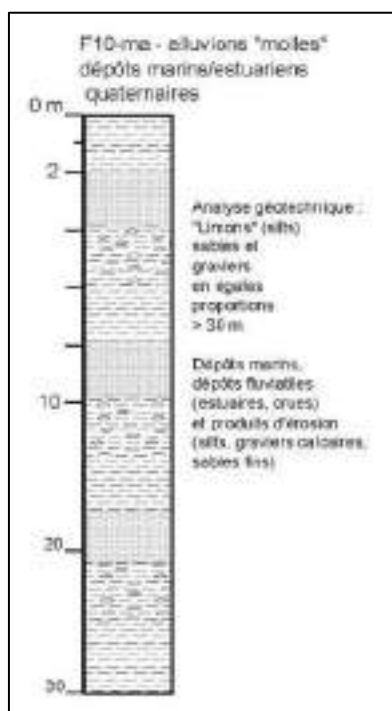


Figure 34 - Colonne de sol-type pour le faciès "F10-ma", alluvions marines/estuariennes, Quaternaire à Actuel

Remarque concernant les surfaces d'encroûtements calcaires, calcrètes ou caliche

On observe localement, sur les faciès silteux carbonatés (de type F4 ou F7, sous des dépôts quaternaires ou sous la terre végétale actuelle, un encroûtement carbonaté laminé dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à 1 ou 2 mètres. Des laminations carbonatées discontinues se retrouvent également jusqu'à 1 m de profondeur, ainsi qu'en encroûtement des galets de calcaires présents au-dessus de cette surface.

Ce calcrète (ou « caliche ») se forme sous climat aride à semi-aride soit par lessivage des carbonates du sol soit par capillarité des éléments chimiques du sol, à une profondeur n'excédant pas 3m en général. Dans le cas présent, la mise en place des calcrètes (carbonatés ou dolomitiques) est un phénomène assez récent (Quaternaire). Ce type de dépôt carbonaté peut présenter des refus à l'avancement lors des forages géotechniques.

4. Observations et interprétations structurales

Pour cette partie de l'étude, il s'agissait de confirmer ou d'infirmer la présence de failles actives au niveau de Port-au-Prince, et, selon, d'en préciser le mouvement. Pour cela, une analyse structurale des affleurements précités a été menée simultanément avec celle des faciès. Cette analyse est complétée par une interprétation : des photographies aériennes en vision stéréoscopique, du modèle numérique de terrain au pixel de 2m sur 2m, calculé à partir des images Pléiades (SERTIT/CNES, KalHaiti) et ses dérivés (pente, courbes de niveau, exposition, etc.), de l'ortho-photo SPOT 2010 et images satellites multi-dates accessibles en vision 3D sous Google Earth.

4.1 CONTEXTE MORPHOLOGIQUE

L'agglomération de Port-au-Prince se trouve au niveau de la plaine alluviale du Cul-de-Sac. Elle s'appuie aussi sur le versant nord du massif de la Selle. A l'est l'agglomération s'arrête à proximité de la Rivière Grise, tandis qu'à l'ouest, c'est la mer qui borne l'extension de la cité.

A la hauteur de l'agglomération, ce sont les mornes Saint-Laurent et Hôpital qui constituent le relief le plus au nord de massif de la Selle, Figure 35. Ils sont limités au sud par la Rivière Froide, dont le tracé est lui-même guidé par la faille d'Enriquillo (EPG). Au niveau des mornes Saint-Laurent et l'Hôpital, les calcaires éocènes à oligocènes affleurent au sud, et les conglomérats miocènes, au nord. L'axe orographique principal est N80°E, parallèle à la faille d'Enriquillo.

Entre la plaine alluviale du Cul-de-Sac au Nord, et le versant nord de Morne Hôpital, de petits chaînons de direction moyenne N110°E marquent la topographie de la plaine du Cul-de-Sac. Ce sont les marno-calcaires et marnes ou silts mio-pliocènes qui forment le soubassement de ces petits mornes (formations F4 à F8), Figure 36. Ces reliefs sont limités, à l'Est et au Nord, par les formations alluviales de la rivière Grise, et à l'ouest, les alluvions marines. Au sud, ce sont des dépôts colluvionnaires ou de cônes de déjections qui recouvrent localement ses mornes.

Au débouché du bassin versant amont de la rivière Brisetout, un important cône de déjection quaternaire vient inciser et recouvrir les petits mornes WNW-ESE marno-calcaires mio-pliocènes, Figure 36.

4.1 RELEVES TECTONIQUES

La Figure 36 indique les surfaces stratigraphiques et les plans de failles qui ont été mesurés.

Au sud, à proximité des reliefs, les pendages stratigraphiques des formations miocènes à pliocènes (silts, marno-calcaires, conglomérats) peuvent être fortement inclinés vers l'ENE ou vers l'OSO (angle supérieur à 45°).

Plusieurs plans de failles ont aussi été mesurés :

Au contact calcaire miocènes F2 et conglomérats miocènes F3	stations 30 à 33
intra conglomérats F3	station 15_1
Au contact conglomérats F3 et marno calcaires ou silts F4, miocènes	stations 48_2, 18, 35, 71
intra marno-calcaires, silts, conglomérats mio-pliocènes F6 à F8	stations 20, 37, 56_2, 56_3 et 65
Au contact marno-calcaires, silts mio-pliocènes et alluvions ou brèches sédimentaires quaternaires, F10	stations : 3, 56_1, 76, 77

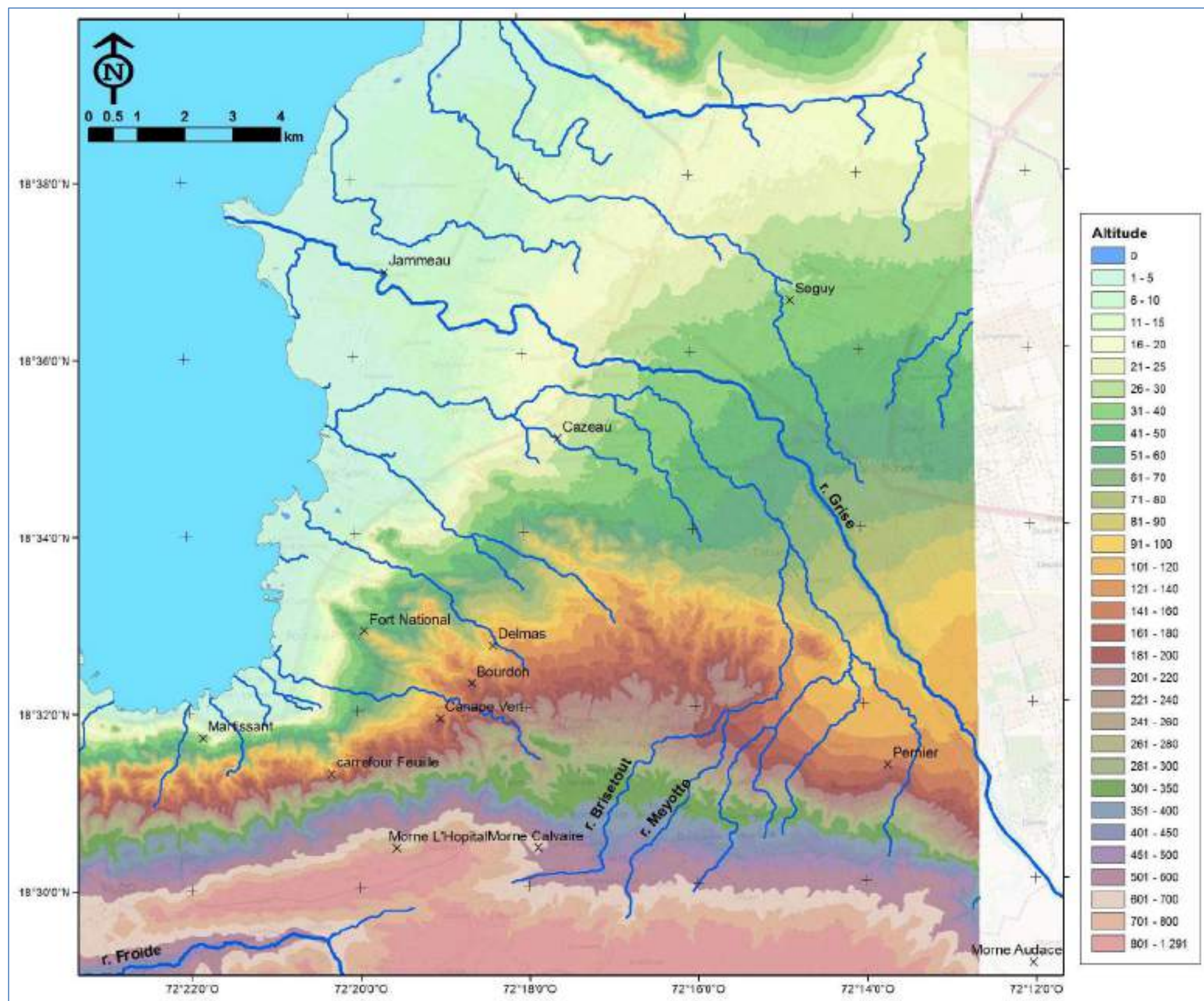


Figure 35 – MNT calculé à partir des images Pléiades (Serti/CNES, KalHaiti) et réseau hydrographique principal calculé à partir du MNT

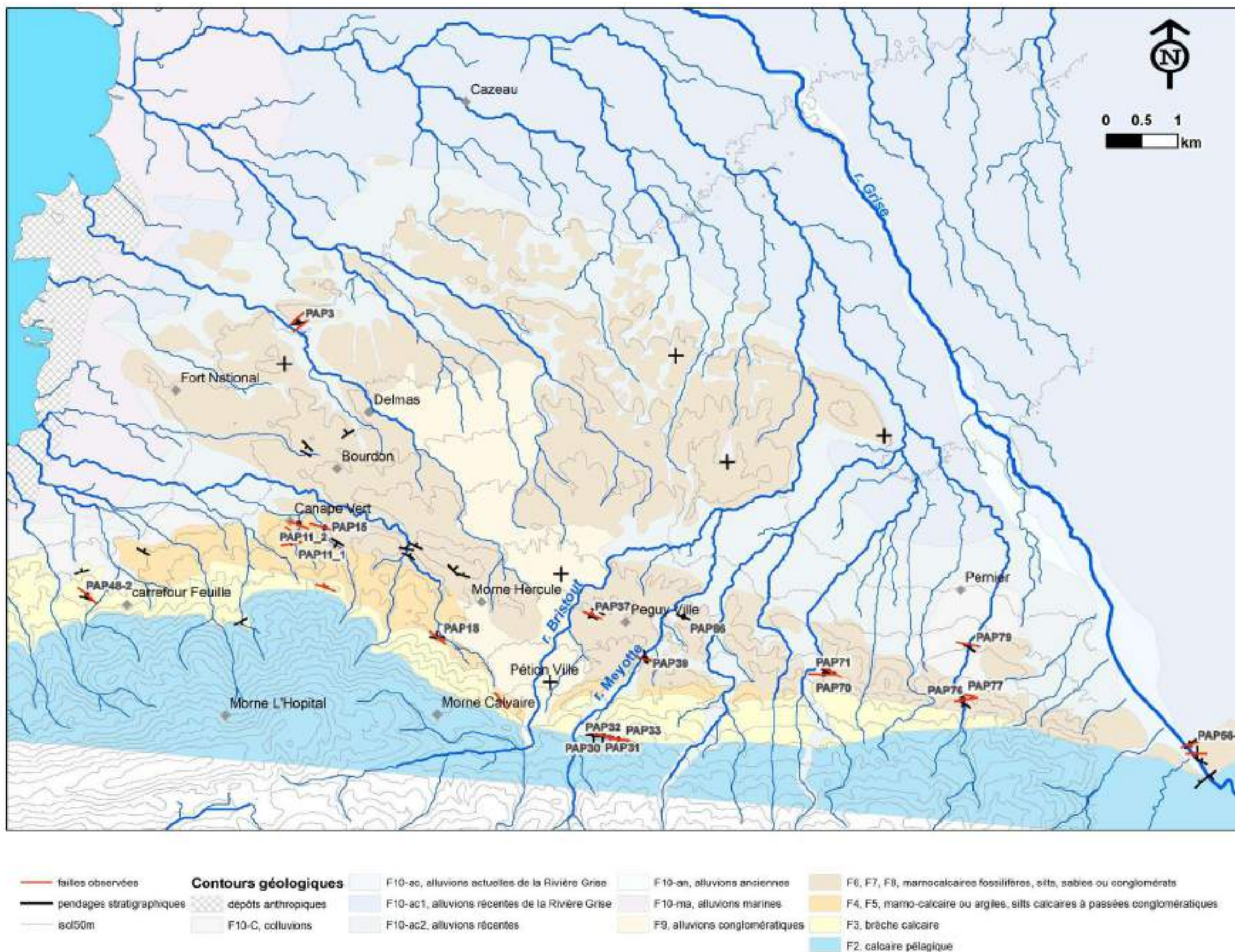


Figure 36 – Localisation sur la carte lithostratigraphique : des stations de mesure tectonique, des directions de plan de failles et surfaces stratigraphiques mesurés

Failles EW à NW-SE, à mouvement décrochant senestre-inverse

Sauf pour les failles observées aux stations 3 et 56, il s'agit de failles de direction EW à NW-SE, avec un mouvement décrochant senestre-inverse identifié aux stations 11_1, 15, 18 et 32 et 37 (Figure 37).



Figure 37 – Contact par faille dans les terrains mio-pliocènes, entre les dépôts de silts sableux ocres et les conglomérats (photo du haut, station 37), et alternance de silts calcaires, silts sableux et dépôts plus grossiers verticalisés, pendage stratigraphique N115°E-80°N (photo du bas, station 38) entre les quartiers Morne Hercule et Péguy-Ville.

Failles normales, NE-SW, quaternaires

Deux failles normales, de direction N50, ont été observées à la station 3, située au nord-ouest de l'agglomération (quartier Delmas 28), Figure 38 à Figure 40. Ces failles mettent en contact les marnes vertes ou marno-calcaires pliocènes en bancs décimétriques avec des brèches et des alluvions récentes, très probablement quaternaires. Ces deux failles normales structurent un petit horst formé par les marno-calcaires pliocènes, en contact avec les formations détritiques quaternaires. Leur rejet vertical apparent dépasse quelques mètres. L'origine gravitaire de ces structures reste néanmoins possible.



Figure 38 - Failles normales quaternaires, de direction NE-SW, visibles au quartier Demas 28 (station 3) : Vue de l'ensemble de l'affleurement



Figure 39 - Failles normales quaternaires, de direction NE-SW, visibles au quartier Demas 28 (station 3) : Vue de l’affleurement extrémité SE, Faille normale sub parallèle au plan de coupe



Figure 40- Failles normales quaternaires, de direction NE-SW, visibles au quartier Delmas 28 (station 3) : Vue de l’affleurement extrémité NO, faille normale perpendiculaire au plan de coupe

Failles inverses NE-SW, à jeu quaternaire

Plusieurs failles inverses de directions NE-SW sont visibles le long de la Rivière Grise (station 56), au contact marnes vertes pliocènes et dépôts quaternaires ainsi qu'intra formations quaternaires. A cet endroit les formations quaternaires sont constituées de silts, limons, recoupés par des chenaux de conglomérats granoclassés. Les marnes vertes pliocènes ont un plan stratigraphique N60°E-90. Ces dépôts sont comparables à ceux observés plus en aval en stations 54 et 93.

Autres failles à jeu quaternaire

Les affleurements se trouvent au quartier Pernier, dans une ravine longée, respectivement à l'est et à l'ouest, par les rues de Maille et Gros Jean, aux altitudes (fond de la ravine) 260m à 230 m, stations 74 à 76 (Figure 42).

En amont, station 74, les marno-calcaires pliocènes, en bancs de largeur décimétrique, présentent un pendage N125-72S. Ils sont en contact vers le NE avec des argiles et brèches marno-calcaires. Au niveau du contact, les argiles et brèches sont pris dans un glissement de terrain.

Les formations quaternaires situées environ 20m plus haut, recouvrent les formations argileuses et brèches marnocalcaires. Les formations quaternaires sont constituées de brèches blanches ou conglomérats légèrement oxydés, coiffés par les colluvions et terre végétale actuels.

Une faille de direction NW-SE, subverticale est interprétée au niveau du contact bancs marno-calcaires d'une part, et les argiles et brèches marnocalcaires d'autre part.

Au niveau de la station 75, il s'agit d'un contact probablement par faille entre les argiles et brèches marnocalcaires, et des brèches à la base légèrement oxydés, consolidés, à matrice peu abondante, recouvertes par des dépôts bréchiqes consolidé, de couleur blanche, probablement quaternaire.

A la station 76, il s'agit de d'un contact par faille N80-65N, à jeu normal, de rejet d'environ 2m, entre des brèches blanches consolidées et des conglomérats peu consolidés. Cette faille pourrait correspondre à une faille secondaire de la faille principale NW-SE identifiée en station 74.

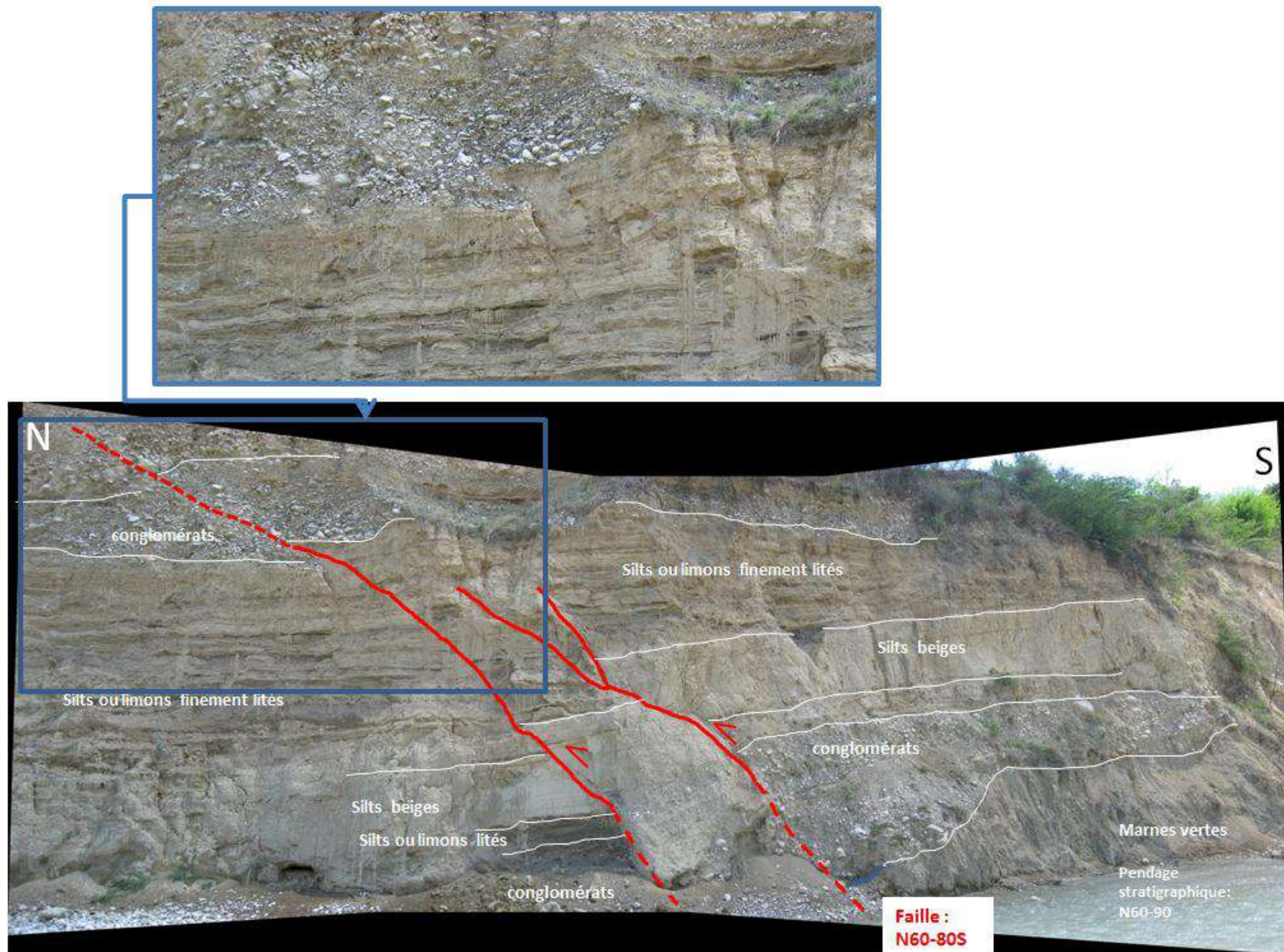
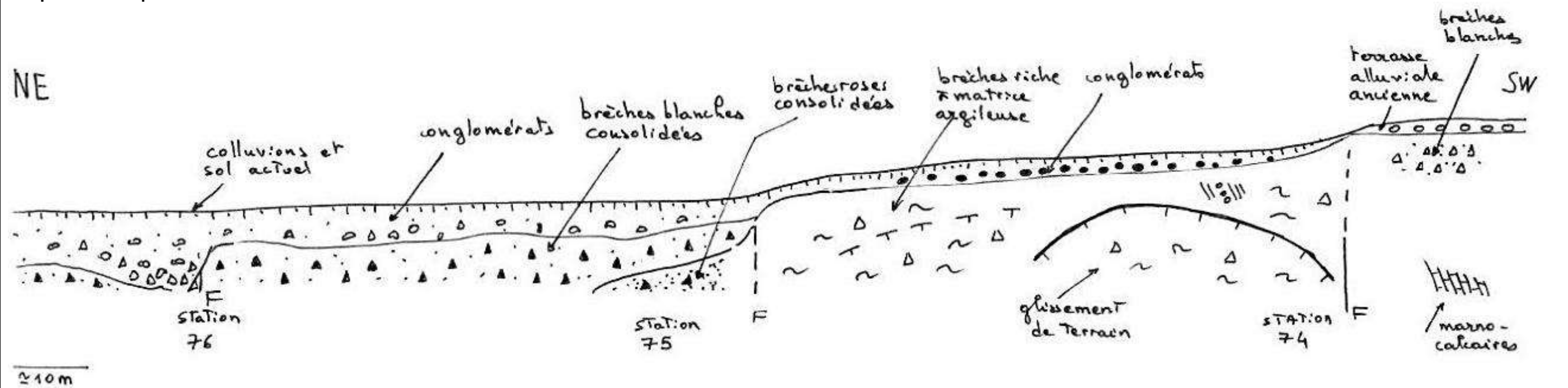


Figure 41 - Failles inverses quaternaires, de direction NE-SW, visibles le long de la Rivière Grise, au contact avec les marnes grises pliocènes (station 56)

Coupe schématique des stations 74 à 76



Station 76



Station 75



Station 74

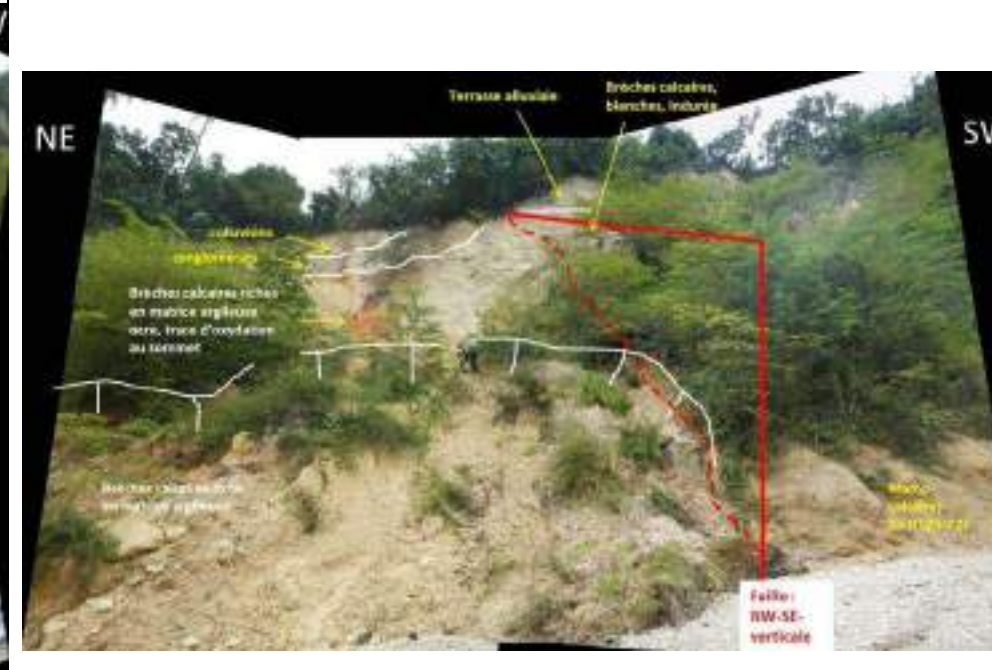


Figure 42 – Série de failles à pendage vertical, jeu quaternaire, de direction WNW-ESE, au contact avec les marno-calcaires mio-pliocènes et les conglomérats quaternaires, visibles entre Pétiön Ville et la Rivière Grise (stations 74 à 76)

4.2 ANALYSE MORPHOSTRUCTURALE

Données altimétriques :

Le modèle numérique de terrain calculé à partir des images Pléïades (Figure 35), et ses dérivés (tels que la pente et le MNT ombré, Figure 43), montrent une direction morphologique privilégiée WNW-ESE. Cette direction se retrouve au contact entre les dépôts récents (F10) et les formations géologiques pliocènes (F5 à F8) ou quaternaires anciens (F9), avec des ruptures de pente assez régulières.

Réseau hydrographique

Au centre de l'agglomération, le cône d'épandage visible depuis Pétionville jusqu'au quartier Delmas recouvre les formations marno-calcaires et silts pliocènes. Il s'agit de dépôts conglomératiques vraisemblablement du Quaternaire ancien. Aujourd'hui le cône alluvial est coupé du système hydrographique d'origine, à savoir la partie amont du bassin versant de la rivière Bristout, Figure 36.

Trois ensembles sont distinguables (Figure 44, numéros 1 à 3), elles représentent probablement les épandages successifs du bassin versant, le plus ancien étant situé le plus au nord, et le plus récent étant toujours alimenté par la ravine actuelle visible au quartier Pétion-Ville.

Les corps sédimentaires 1 et 2 paraissent décalés d'environ 1000m.

L'analyse du réseau hydrographique situé dans le prolongement ESE montre aussi de changements de direction des drains hydrographiques d'ordre de grandeur comparable (Figure 44, flèches bleues). Néanmoins, ces décalages ne sont pas décelables au niveau des petits cônes de déjections très récents visibles par endroit.

Coupes topographiques

Sur la base du MNT Pléiades, plusieurs coupes topographiques de direction NNE-SSW, et étendu depuis la plaine alluviale du Cul-de-Sac jusqu'au relief bordant au sud la plaine, ont été réalisés, Figure 45.

Les coupes montrent une décroissance rapide du relief en direction de la plaine alluviale. En outre, les zooms sur les segments 2, 3 et 4 montrent des décalages d'ordre décimétrique à pluri-décimétrique au niveau de la pente des terrains, respectivement : 40m, 12m, 48m.

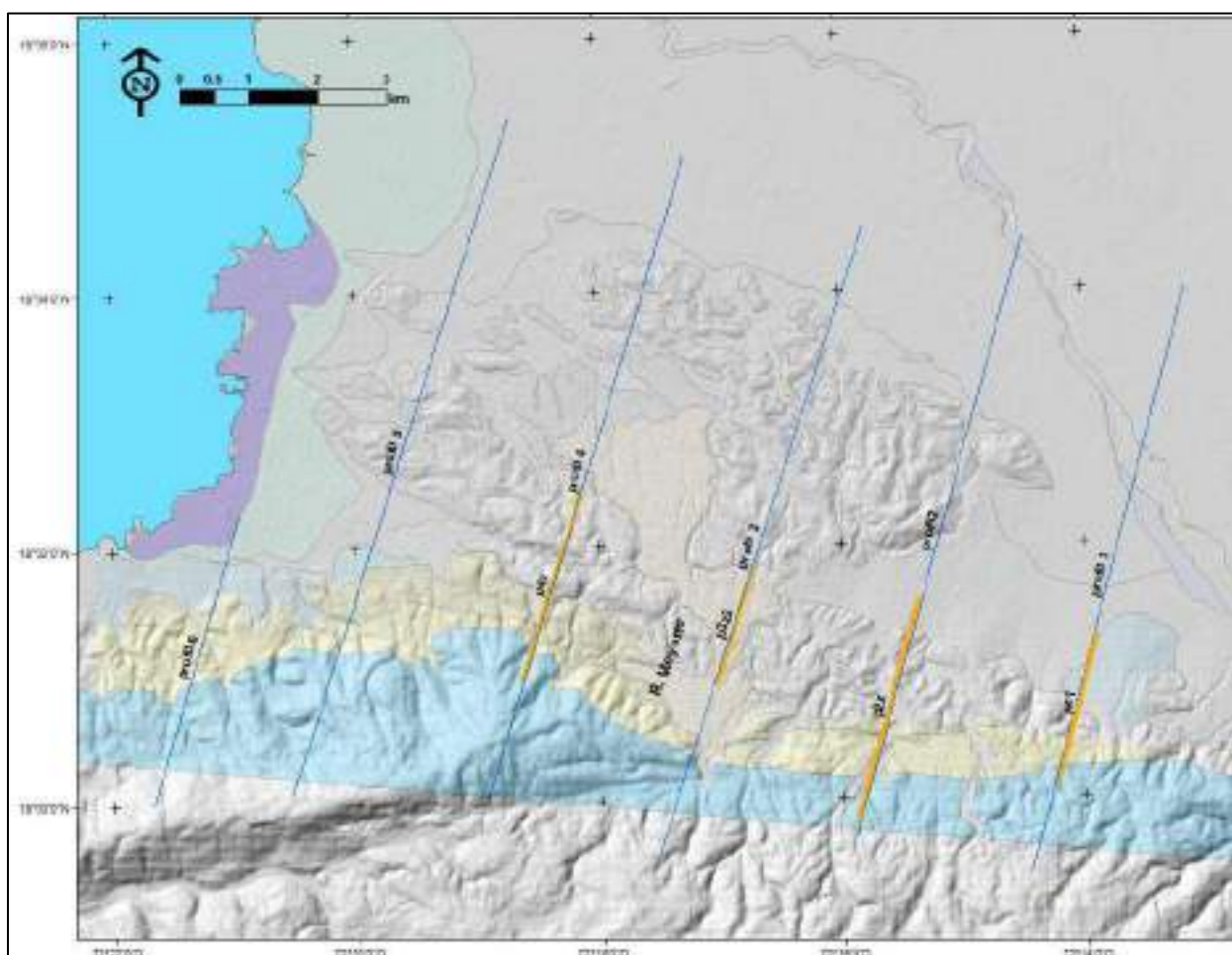


Figure 45 – Localisation des coupes topographiques

Figure 46 – Coupes topographiques 1 à 6

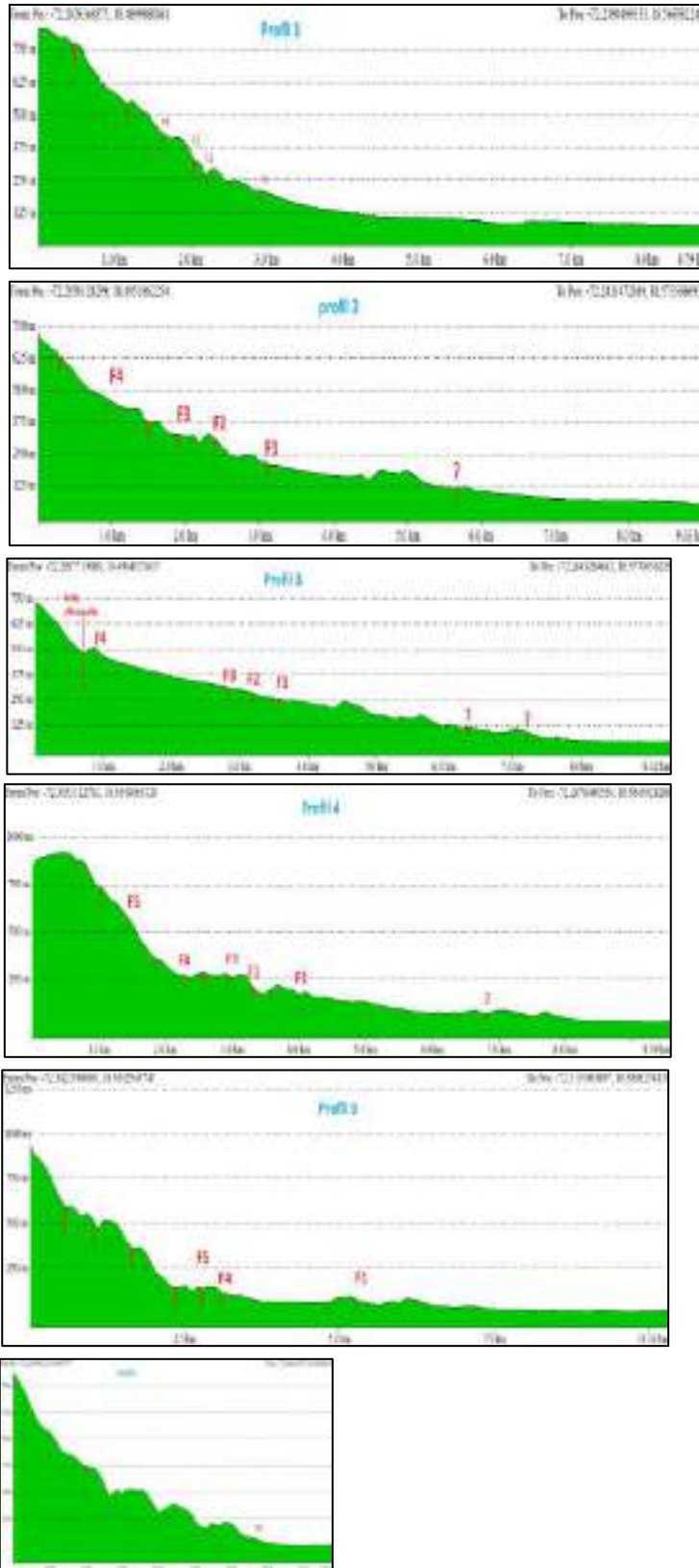
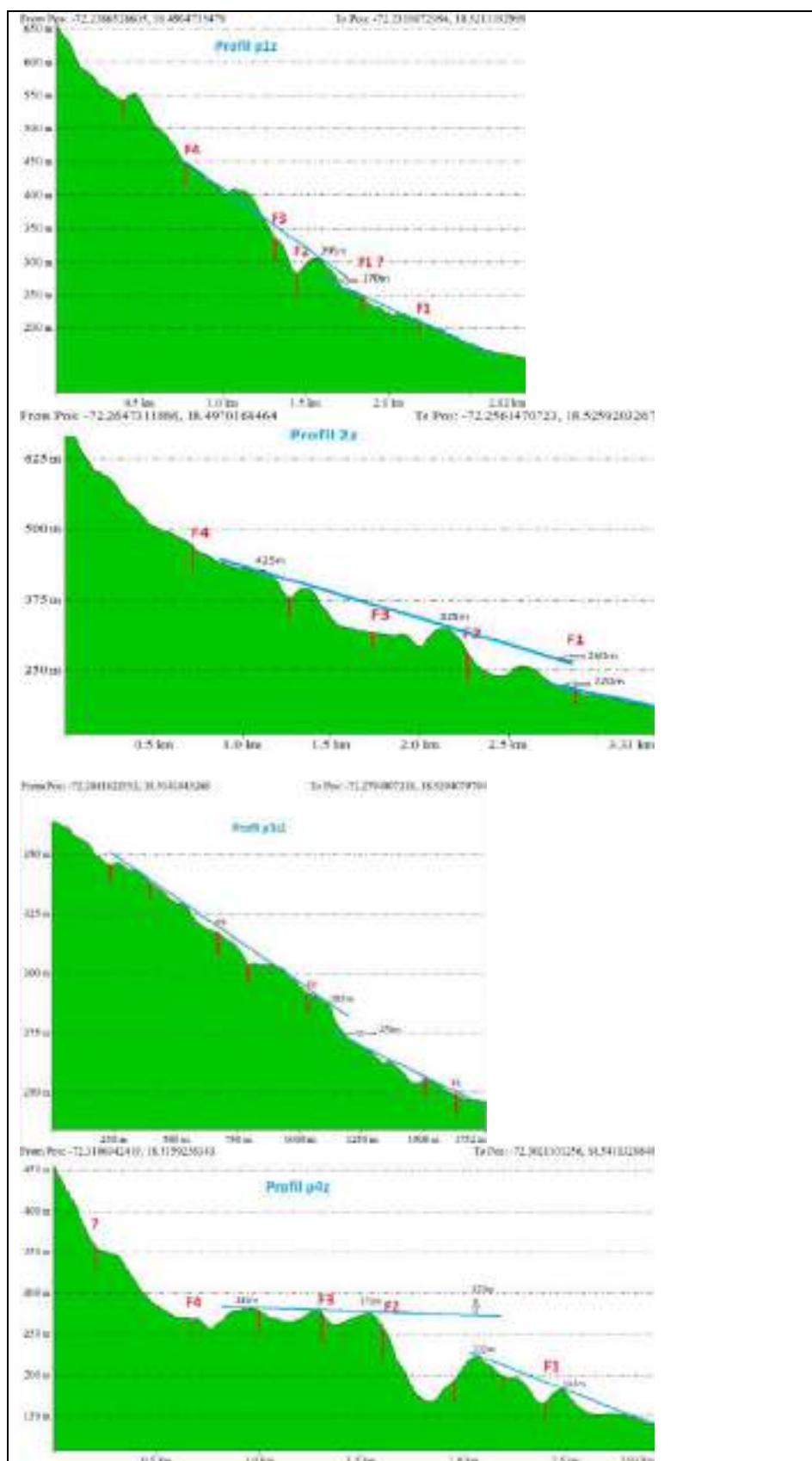


Figure 47 – Profils zoomés, p1z, p2z, p3z2, p4z montrant des ruptures de pente d’ordre décimétrique à pluridécimétrique dans la surface topographique.



4.3 SYNTHÈSE STRUCTURALE

A partir des observations tectoniques et stratigraphiques (Figure 36), ainsi que des données morphologiques (Figure 35, Figure 43 à Figure 47), une cartographie des failles est proposée (Figure 48). Nous y distinguons :

- les segments de failles observés sur le terrain,
- les segments interprétés sur la base de données morphologiques,
- les segments interprétés comme possibles mais masqués par des formations récentes ou non décelables dans le paysage.

Comme il était pressenti plus haut, la direction N110 apparaît comme la direction structurale majeure au niveau de Port-au-Prince. Il s'agit, en surface, de failles subverticales.

Des anomalies morphologiques ainsi que des observations tectoniques observées le long de ce système de failles indiquent leur activité durant le Quaternaire selon un mouvement senestro-inverse.

En considérant l'axe central de chacune des parties 1 et 2 du cône d'épandage quaternaire ancien, F9, l'hypothèse d'un décalage de 1000m du réseau hydrographique à l'origine de ces épandages n'est pas exclue. Ce qui indiquerait une vitesse de mouvement horizontale de 0,6 ($\pm 0,2$) mm/an pour les systèmes de failles F1 et F2, en supposant que le cône alluvial F9 soit d'âge Pliocène supérieur à Quaternaire inférieur.

Plus à l'Est, les changements de directions du réseau hydrographique actuel atteint par endroit 300 à 400 m d'inflexion. Cette valeur moyenne est cohérente avec l'hypothèse d'une vitesse de mouvement horizontale de 0,6 ($\pm 0,2$) mm/an, sachant qu'à cet endroit il s'agit de marqueurs plus récents (Quaternaire moyen à actuel).

D'après les indications morphologiques, la composante horizontale senestre des failles N110 est la composante majeure, néanmoins, les coupes topographiques indiquent aussi un décalage vertical jusqu'à une cinquantaine de mètres, interprété entre les systèmes de failles f1 et f2.

L'origine tectonique des failles N50, normales, dont le jeu quaternaire a été observé reste à confirmer.

Néanmoins, au niveau de la plaine du Cul-de-Sac, les jeux senestro-inverses des failles ONO-ESE, et normal des failles NE-SW sont cohérents avec une contrainte horizontale principale orientée NE-SW dans cette partie d'Haïti.

L'étude des terrains pliocènes à miocènes visibles au niveau de la plaine de Port-au-Prince, au nord des mornes Hôpital, Calvaire ou Duval montre : 1) des dépôts marins profonds à sub-littoraux (marnocalcaires, mudstones, grès fins, silts) caractéristiques de milieux de faible énergie, 2) des intercalations brusques de formations détritiques apparentés à des turbidites sablo-graveleuses (conglomérats) à silteuse. Ces intercalations sont interprétées comme des apports détritiques soudains d'origine tectonique, attribués au jeu continu des failles bordières sud de la plaine de Port-au-Prince au cours du Miocène et Pliocène.

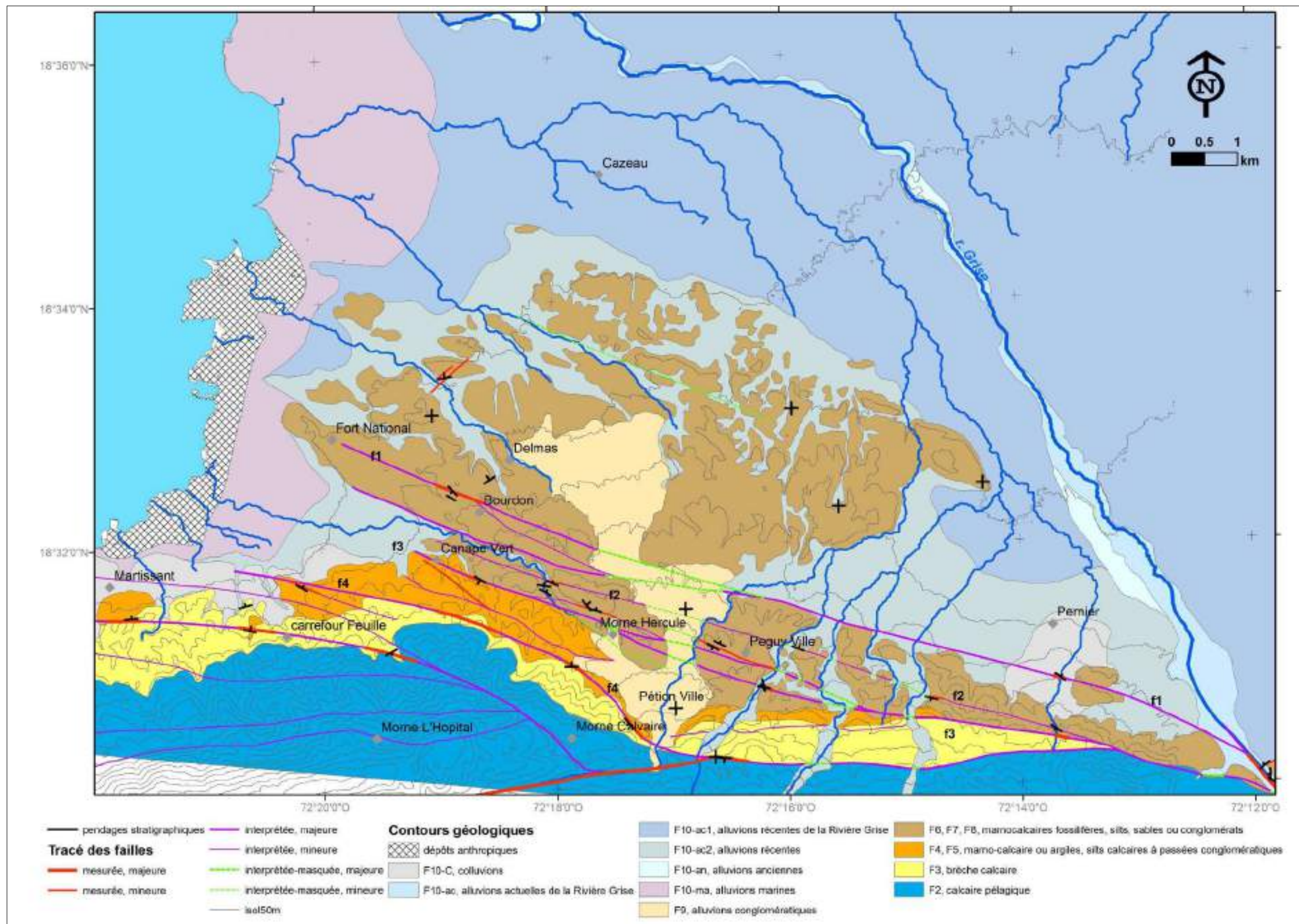


Figure 48 – Carte géologique préliminaire de l'agglomération de Port-au-Prince

5. Conclusion

5.1 CARTE GEOLOGIQUE PRELIMINAIRE DE PORT-AU-PRINCE

Les difficultés rencontrées pour la pratique de la géologie de terrain et de surcroît pour la cartographie en milieu urbain nécessitent de multiplier les points d'observation, de proposer un modèle de dépôts calé sur une révision stratigraphique et les grandes étapes tectoniques afin d'interpoler au mieux les observations ponctuelles. Dans le cadre de cette étude, les indications sur les âges stratigraphiques sont basées sur les références bibliographiques (Butterlin, 1954, 1960 ; Momplaisir et Boisson, 1987). Aucune datation biostratigraphique ni actualisation des biozones identifiés n'ont été réalisées dans le cadre de ce projet. L'évaluation de la vitesse de mouvement de failles active au Quaternaire est donc a considéré avec prudence.

La Figure 48 présente l'interprétation cartographique de la géologie de l'agglomération de Port-au-Prince réalisée dans le cadre du microzonage sismique. Cette interprétation a été établie sur la base : d'observations sur le terrain, de la compréhension de l'organisation des dépôts dans l'espace et dans le temps, d'une analyse morphologique (MNT Pléiades traité dans le cadre du projet KalHaiti, images satellites via Google Earth, photos aériennes en vision stéréoscopique) ainsi que des forages géotechniques (notamment ceux situés sur la façade maritime). Le contour des unités F6 à F8 y est rassemblé en raison de la similitude des faciès et de la difficulté de distinction cartographique sur la seule base des données du microzonage sismique. Outre la confirmation et la précision à apporter sur l'âge de ces formations, l'établissement d'une carte géologique finalisée devrait cependant s'attacher à distinguer, dans la mesure du possible, leur contour.

La cartographie des failles repose sur les interprétations morphostructurales et les observations tectoniques acquises lors des visite de terrain. La Figure 48 montre une relation étroite entre les limites de contours lithologiques et la localisation du système de failles N110. En outre, sur la base des données morphologiques, des contrastes lithologiques et des mesures structurales, certaines failles paraissent plus importantes que d'autres. Il s'agit des failles :

- f1, bordant le flanc nord du morne Bourdon, qui se poursuit vers l'est en direction de Bois Neuf puis Frères jusqu'à la Rivière Grise,
- f3, interprétée ou visible depuis Turgeau, jusqu'à morne Hercule, puis les quartiers Berthe et Métivier,
- f4, visible depuis les quartiers Martissan et Deprez jusqu'au morne Calvaire où elle se connecte au système de failles d'Enriquillo.

La faille f2, cartée depuis les mornes Canapé Vert, Lazare puis le quartier Meyotte se connecte au SE à la faille F3. Contrairement aux failles f1, f3 et f4, elle n'apparaît pas comme un contact faillé régulier entre deux formations lithologiques.

Ces failles dessinent un système dont la longueur maximale connue à terre est d'une quinzaine de kilomètres mais, comme le montre les données géophysiques marines, ce système doit se poursuivre vers l'ONO, dans la baie de Port-au-Prince.

Plusieurs déformations d'origine tectoniques ont été observées le long de ces failles. Les plus récentes sont estimées Quaternaire moyen à supérieur. Elles concernent les failles senestro-inverses ONO-ESE, et, peut-être, normales NE-SW.

Concernant la direction ONO-ESE, la vitesse du mouvement, composante horizontale des principales failles est estimée de l'ordre de 0,6 (± 0.2) mm/an. Cette évaluation est basée sur l'hypothèse d'un âge pliocène supérieur à quaternaire inférieur de la formation F9. Cette estimation est compatible avec les valeurs indiquées par les mesures GPS au niveau des déformations compressives de la chaîne transhaïtienne (notamment 1mm/an pour le chevauchement des Matheux).

L'étude démontre la position de la capitale à proximité ou à l'aplomb de deux systèmes de failles actives dont il doit être tenu compte pour les évaluations du risque sismique :

- le système majeur de failles d'EPG, localisé en bordure sud du territoire de Port-au-Prince,
- les failles ONO-ESE, qui correspondent très probablement au prolongement SE des failles inverses localisées dans le golfe de Gonâve et qui à l'Est se raccordent au système de failles EPG.

5.2 RECOMMANDATIONS POUR LA PRISE EN COMPTE DES FAILLES ACTIVES DANS LE CADRE DU MICROZONAGE DE PORT-AU-PRINCE

La cartographie des faciès géologiques de l'agglomération de Port-au-Prince constitue une donnée d'entrée nécessaire à l'identification des différentes zones sismiques susceptibles de produire des réponses de sols distinctes. Les informations acquises tant sur les contours des différentes formations mais aussi sur la nature des terrains devront être utilisées en complément des données géotechniques et des reconnaissances géophysiques.

Pour ce qui concerne les failles actives, nous avons distingué des failles majeures et des failles mineures. Les failles majeures correspondent à des structures tectoniques plus importantes dans le schéma tectonique proposé, du fait de la régularité et longueur de leur tracé mais aussi de leur empreinte dans la morphologie et de l'intensité des déformations tectoniques observées.

Dans le cadre du zonage sismique de Port-au-Prince, nous recommandons de tenir compte des failles f1, f3 et f4, avec une bande de neutralisation de 100 m de part et d'autre des tracés indiqués. Au niveau de ces bandes nous préconisons dans la mesure du possible l'inconstructibilité des bâtiments à forts enjeux tels que les écoles, les hôpitaux, les centres de secours ou les bâtiments stratégiques en cas de crise.

A défaut, au niveau des bandes de failles, une valeur forfaitaire de dimensionnement pour la prise en compte des ruptures en surface devrait être retenue. Nous préconisons la prise en compte d'un rejet possible de 0,5m, valeur qui correspondrait à un séisme de magnitude 6,5, pour une rupture décrochante - inverse d'un plan de faille sur une longueur moyenne de 15 à 20 km.

5.3 POURSUITE DES ETUDES

Concernant la carte des unités lithologiques de Port-au-Prince, l'âge des terrains est estimé d'après les travaux de Butterlin (1954 et 1960), il serait nécessaire de les confirmer par des datations chronostratigraphiques avec des échantillons pris in situ. En outre, il serait nécessaire de préciser les relations et contours des unités F6 à F8, lesquels présentent environnements de dépôts spécifiques.

Concernant l'analyse morphostructurale, il conviendrait de préciser la mise en place de l'unité F9, notamment ces relations avec la partie amont du bassin versant.

Concernant la carte des failles, des recommandations sont proposées, néanmoins il serait préférable de réduire les incertitudes sur leur tracé et leur taux d'activité. A cette fin, l'analyse pourrait être poursuivie par des reconnaissances géophysiques locales (profils sismiques sur 50 à 100 m de profondeur et réalisés perpendiculairement à leur tracé) puis la réalisation de tranchée(s) paléosismique(s) et la datation des formations géologiques.

6. Bibliographie

- Bachhuber J. L., Rathje E. M., Cox B. R., Dulberg R. A., Kottke A., GEER Team, 2010, Carte géologique de Port-au-Prince.
- Bakun W.H., Flores C.H., and ten Brink U., (in press), Significant Earthquakes on the Enriquillo Fault System, Hispaniola, 1500-2010: Implications for Seismic Hazard, [BSSA-D-11-00077R3](#)
- Bakun W., Flores C., ten Brink U., 2012, Significant earthquakes on the Enriquillo fault system, Hispaniola, 1500-2010: Implications for seismic hazard, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102: 18 - 30
- Butterlin, 1954, La géologie de la République d'Haïti et ses rapports avec celle des régions voisines, *Publ. Comité 150^e anniv. Indépend.*, Port-au-Prince, 446 p., 20 fig., XXVI pl. carte géol.
- Butterlin J., 1960, Géologie générale et régionale de la République d'Haïti – Travaux et Mémoire de l'Institut des Hautes Etudes de l'Amérique Latine, Paris, 1960, une carte géologique hors texte à 1 :250000, en couleurs, 1958, 194 p.
- Momplaisir B.M., Boisson D., 1987 : feuille Sud-Est (feuille Port-au-Prince) – Carte géologique à 1/250000 de la République d'Haïti (en 4 feuille), B.M.E. (1982-1988).
- Berthier F., Janjou D., 1984, Evaluation des ressources géothermiques basse énergie en république d'Haïti. Recherche d'un projet type – rapport géologique. Rapport BRGM 84SGN206GTH
- Bourgeuil et al., 1988, Synthèse géologique de la République d'Haïti, volume 1 Géologie, BRGM-Beicip.
- Calais E. 2012, Failles et aléa sismique en Haïti, Bulletin spécial no 01 de l'Unité Technique de Sismologie (UTS) du Bureau des Mines et de l'Energie (BME) 12 janvier 2010 - 12 janvier 2012
- Calais E., Mazabraud Y., Mercier de Lépinay B., Mann P., Mattioli G.S., Jansma P.E., 2002. Strain partitioning and fault slip rates in the northeastern Caribbean from GPS measurements. *Geophys. Res. Letters*, 29(18), 1856, [DOI: 10.1029/2002GL015397](https://doi.org/10.1029/2002GL015397)
- Calais E., Freed A. Mattioli G., Amelung F., Jónsson S., Jansma P., Hong S.H., Dixon T., Prépetit C., Momplaisir R., 2010, rupture d'une faille jusqu'ici inconnue pendant le séisme de 2010 à Haïti, *nature geoscience* | VOL 3 | NOVEMBER 2010 | www.nature.com/naturegeoscience
- Cox B.R., Bachhuber J., Rathje E., Wood C.M., Dulberg R., Kottke A., Green R.A., Olson S.M., 2011, Shear Wave Velocity- and Geology-Based Seismic Microzonation of Port-au-Prince, Haiti, *Earthquake Spectra*, Volume 27, No. S1, pages S67–S92, October 2011; VC 2011, Earthquake Engineering Research Institute

Desmeuroux C., 1987, Contribution à l'étude de l'Histoire géologique des régions centrale et méridionale d'Haïti (Grandes Antilles) du Crétacé à l'Actuel – Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Bordeaux I, n° 904, 507 p.

Douilly R., Symithe S., Haase J. et Calais E., 2012, Les répliques du séisme du 12 janvier 2010, Bulletin spécial no 01 de l'Unité Technique de Sismologie (UTS) du Bureau des Mines et de l'Energie (BME), période du 12 janvier 2010 - 12 janvier 2012

Hayes, G. P., Briggs R.W., Sladen A., Fielding E.J., Prentice C., Hudnut K., Mann P., Taylor F.W., Crone A.J., Gold R., Ito T., Simons M. (2010), Complex rupture during the 12 January 2010 Haiti earthquake, *Nat. Geosci.*, 3, 800–805, doi:10.1038/ngeo977.

Manaker, D. M., Calais E., Freed A.M., Ali S. T., Przybylski P., Mattioli G., Jansma P., Prépetit C. and J. B. de Chabalière J. B., 2008, Interseismic plate coupling and strain partitioning in the northeastern Caribbean. *Geophys. J. Int.* **174**, 889–903

Mann, P., Burke, K. and Matumoto, T., 1984a. Neotectonics of Hispaniola: Plate motion, sedimentation, and seismicity at a restraining bend. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 70: 311-324

Mann P., Calais E., Ruegg J.C., DeMets C., Jansma P.E., Mattioli G.S., 2002, Oblique collision in the northeastern Caribbean from GPS measurements and geological observations, *TECTONICS*, VOL. 21, NO. 6, 1057, doi:10.1029/2001TC001304, 2002

Mann, P., Taylor, F., Edwards, R. & Ku, T. 1995 - Actively evolving microplate formation by oblique collision and sideways motion along strike-slip faults: An example from the northeastern Caribbean plate margin. *Tectonophysics* 246, 1–69.

Mercier de Lépinay B., Deschamps A., Klingelhoefer F., Mazabraud Y., Delouis B., Clouard V., Hello Y., Crozon J., Marcaillou B., Graindorge D., Vallée M., Perrot J., Bouin M.P., Saurel J.M., Charvis P., St-Louis M., 2011, The 2010 Haiti earthquake: A complex fault pattern constrained by seismologic and tectonic observations, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 38, L22305, doi:10.1029/2011GL049799, 2011

Pubellier M., Boisson D., Vila J-M, 1986, déformations successives en bordure de la plaine du Cul-de-Sac, Haïti. In : 11^{ème} Réun. Sci. Terre (Clermont-Ferrand), Spec. Publ. Geol. Soc. Fr., p152

Pubellier M., Mauffret A., Leroy S., Vila J.M., Amilcar H., 2000, Plate boundary readjustment in oblique convergence : example of the Neogene of Hispaniola, Greater Antilles, *Tectonics*, vol.19, n°4, p630-648

annexe 1 – Synthèse des informations des points d'observations (cf Figure 19)

Ref. observation	longitude	latitude	altitude	Description	interprétation	hypothèses	code foréarène	environnement-dépôt	mesures pendage stratigraphique	mesures totales	rejet	mouvement du terrain	
PAP1	-72.29545	18.55923	80	Conglomérat polymétrique très hétérogène (sable, basalte aéré, calcaire aléaire et calcaire micritique bioclastique) en suspension dans matrice argileuse dominante verte/rouge beige à blanche, chenaux peu étroits.	Dépôt gravitaire non cohésif avec transport important des éléments.	Fm du Miocene Delmas, strat du Pt.	F8	Dépôt gravitaire non cohésif avec transport important des éléments.	cône sous-marin, rampe distale				
PAP2	-72.30213	18.55730	60	Lois d'écoulement turbidite avec embouchure de sable fin argileux, conglomérats fins, marines inégalement, et au en fucus, surface d'érosion à 35-40°.	lobes siltro-sableux emborbés, zone distale	Fm du Miocene Delmas?	F7	cône sous-marin distal	strati en fucus, surface erosion à 35-40°	fractures - N118-70N, N110-85N, N110-80N			
PAP4	-72.29183	18.55417	215	Chenaux épisés de galets localement grossiers, 1-20m, 4-4 à 6m, galets d'origine diverse bien érosionés, localement marines sableuses marron.	Complexes de chenaux érosifs emborbés dans une matrice de type débris flow	cône alluvial Q, zone de transition partie proximale (plus grossier) / d.	F9-Cg	sous-écoulement gravitaire, rampe		Fractures: N105-85E			
PAP5	-72.29527	18.53169	215	Séts calcaires maronnières à chenaux isolés de conglomérats.	similaire à PAP 4, chenaux sous-marins profonds dans turbidite calcaire monochrome		F5-Cg	chenaux sous-marins, partie basale du talus				GT Aviation, actif en 2008, glissé en 2010	
PAP6	-72.29073	18.52193	285	dépôts de pente à éléments bréchiques/conglomératiques, sous un sol brun-rouge.	colluvions récentes.	Q, colluvions	F9	dépôts de pente, éboulis					
PAP7	-72.29100	18.51897	325	Conglomérats bréchiques hétérométriques d'éléments calcaires dans matrice silteuse rouge-rose sans S0.	dépôts flyschoides de type torrentiel / dépôts de cône de déjection	coûtes de débuts de cône alluvial, lié à la surface de ravinement identifié	F9-Cg	cône alluvial emboui	pos identifiable, dépôt en masse				
PAP8	-72.30793	18.55153	65	Méditerranée et lamochettes, coquilles bien préservées (bivalves, brachiopodes, mollusques, gastéropodes), Coques hétéroites, fragments de coraux.	dépôts récents/taillé émerge (niveau calme, sous carénation)	Fm du Miocene Delmas, Miocene moyen à Pliocene	F6	lagon, plate-forme récifale externe (offshore) ?	sub-horizontale ?			GT ?	
PAP9	-72.30503	18.54350	105	Grès fins friables et Marne calcaires à fragments coquilliers/coraux/palets isolés/fragment, stratifications obliques.	plus profond qu'à PAP 9, marin peu profond, subtidal (100 à 200 m de profondeur)	Fm du Miocene Delmas, Miocene moyen à Pliocene	F6	littoral calme à marin peu profond (subtidal)	N65, 30°NW				
PAP 20	-72.30713	18.54133	211	Sable fin friable et silt calcaires brisés à fragments coquilliers/coraux, terniers ?	sous le niveau d'action des vagues, plus profond que PAP9	récifs ou littoral, barrière externe (pas de rides de vagues)	F6	plate-forme récifale externe	plongement 20°SW (apparent)				
PAP11_1	-72.34682	18.52880	170	Conglomérats de taille très variables (sables à graviers) dans matrice argileuse rouge inorganique, composé de calcaires bréchiques.	cône alluvial torrentiel, au toit, calcaires recristallisés (discordance?)	débris flow, brèche de pente plutôt conglomérats ou sous-marin alluvial	F9	dépôt de pente, talus, plénum	N0, 30, 15°NE en haut puis inversez 35°-55°SW en bas	du Sud au Nord, entre 11-1 et 11-2, PF(1) N00-100N, 0°-PF(2) N100-79N, 45°E (marines calcaires dans congl.)	sur 3m de chique F		

PAP11_2	-72.31175 18.53124	140	Conglomérats de tailles très variables (blocs à graviers) dans matrice argileuse rouge, composé de calcaires éocènes, jusqu'au pied du versant.	cône alluvial torrentiel, au toit, calcaire recristallisé (lithocodérite?)	débris flow continental ou sous-marin altérés au toit, calcaires recrist.	F3	dépôt de pente, talus, piémont	pendage apparent N30N	PF11) N125-55N, PF10) N110-30N, PF14) N75-85N-54E, dans conglomérats	
PAP12	-72.31410 18.52609	215	maires finement sableuses,ocre-brun, et marne-calcaires, à gastéropodes et lamellibranches ? Dû à un rognon.	vasière littorale ? (Peu profond mais arroyé, peut-être remanié)	Fn du Morné Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F4	vasière arrière plage? remanié ?			
PAP13	-72.31472 18.52278	260	brèche calcaire très hétérométrique, éléments très anguleux, très dure, "cristallisé"	brèche de pente recristallisée		F3	piémont ou talus continental	N20, 28°SE		
PAP14	-72.31119 18.52707	300	calcaire micritique massif, surmontant les brèches calcaires recristallisées qui remanient l'éocène.	repose sur les brèches calcaires recristallisées	miocène ? éocène ?	F2	effondre	pas idf, mais lecture pour les brèches : N25, 25°SE		pas idf, mais lecture pour les brèches : N25, 25°SE
PAP15	-72.31138 18.53069	NR	conglomérats rouges torrentiels			F3			PF1) N110, 75°N, pitch 18°E, sensétre ; PF2) N58-85W, normale ?	
PAP15-1	-72.31138 18.52821	265	FALLE	secteur F3, proximité du PAP13 attribué au F5		taille				
PAP16	-72.31077 18.52889		alternance marne-calcaire (1,5m), marnes sableuses fines et calcaires en bancs à la base	contact F3-F4, toit des conglomérats rouges, marnes-calcaires en rognons	Fn du Morné Delmas, Miocène moyen-Pliocène	F4	dépôts lacustres, ou arrière plage (sans structure, aspect en rognons)	N120, 20 SW ?		
PAP17-1	-72.30806 18.51959		brèches consolidées, recristallisées	contact brèches calcaires sur marne-calcaire, à reprendre sur carte US		F3				
PAP17-2	-72.29667 18.51611	300	brèches torrentielles dans matrice sable-argileuse rouge sans SD, idem qu'à PAP7 (hôtel Oasis)	modifier carte US	brèches de pente non recristallisées, contact F3-F4	F3	dépôts de pente, talus continental	pas de SD idf, torrentiel		
PAP18	-72.29786 18.51674	300	Marne-calcaires aspect-dumps	Sumps de marne-calcaires, pente	brèches de pente	F3	rampe distale	N92, 35°N; N120, 82°N	PF : N130, 90° pitch 18°NE, sensétre	
PAP19	-72.29607 18.51032	290	conglomérats bien granitocœux matrice sableuse (10-20%), peu cimentés.	Dépôts gravitaires sur le glacis d'accumulation ou de piémont	cône de déjection	F5-Cg				
PAP20	-72.29439 18.52447		sils argileux marron avec niveaux plus indurés de sables très fins, beige foncé, lamines parallèles rouilles, échappet de fluides, tenters ?	facies de plage externe, sans action des vagues	Fn du Morné Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F6	plage externe	N105, 65°NE		
PAP21	-72.29599 18.52514	309	Blocs de calcaire micrit et de calcaire recristallisé (micrits), bancs décolorés, sumps? éléments basculés mais organisation // encas visible	débris flow de calcaire micrit (matté) formé en eaux peu profondes)	Fn du Morné Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F6	talus continental	N140 ± N160 - 30E, blocs basculés		
PAP22	-72.30128 18.52898	210	sils argileux marron avec niveaux plus indurés de sables très fins, coquilles et fragments conus flottants, cordons galets ronds, nœuds obliques, parallèles et peut-être de vagues, + sumps	front de recif remanié	Fn du Morné Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F6	rampe ou partie profonde de plate-forme	N120, 85°NE		GT
PAP23	-72.30108 18.52718				Fn du Morné Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F6				GT Djober

PAP24	-72.36173	18.52794	200	barro de 20 à 40 cm calcaire rectil base érosive, coquilles remaniées, fragments coraux, intermédiaires manœuvres très réduits, affleurement visible sur 20 m de largeur	dépôts de calcaire rectil, soumis à l'action des vagues	fin du Morné Dalmas, Miocène moyen à Pliocène	F6	front du barriéro récidiva ou milieu de rampe carbonatée	N100, 60°N		
PAP25	-72.36114	18.52845		benes marno-siliceux à fines passées conglomératiques flittantes, hétérométriques	dépôts flow depuis la plate-forme rectil externe ?	fin du Morné Dalmas, Miocène moyen à Pliocène	F6	base de rampe carbonatée ou massifs			GT
PAP26	-72.27908	18.52289	285	dépôts lentoculaires granoclassés de conglomérats de calcaire éocène; matrice sableuse occo peu abondante - 20%	écoulement type coulées de débris Q ou pliocène	cône alluvial Q (surface de ravinement)	P9-Cg	remplissage de canyons continental, cohérent avec la surface de ravinement iff ou	courant vers le N, strictement subhorizontale		
PAP27	-72.28136	18.52440	285	conglomérat massif de calcaire éocène à matrice sablo-argileuse rouge, blocs vagues formes chataubées	dépôts fluviatiles torrentiels ou coulées de débris associées à la surface de ravinement	cône alluvial Q (surface de ravinement)	P9-Cg	remplissage de cône alluvial, cohérent avec la surface de ravinement iff sur ca	idem que PAP26		
PAP28	-72.28305	18.51087	419	Conglomérats calcaire éocène dans matrice sablo-argileuse rouge, blocs grossier joints, corps parasites, parfois granoclassés	dépôts torrentiels ou débris flow continentaux de piémont. Ecoulement vers l'Est	cône alluvial Q (surface de ravinement)	P9-Cg	débris flow de piémont, canyon érosif cf. surface de ravinement carte US	subhorizontale		
PAP29	-72.27904	18.50572	450	alluvions conglomératiques Q, lit actuel de la ravine, sols rouges (fortes ?)	fluviatile torrentiel	Q-alluvions actuelles	Q-alluv	fluviatile torrentiel, lit actuel de la ravine Mlérta			
PAP3	-72.31547	18.50607	60	zone faille, marnes sableuses homogènes gris-vertâtre à galets flittants localement, passées plus argileuses, Q érosif en remplissage de blocs basculés	turbidite stfo-sableuse, transport en suspension mais structure laminée en bancs identifi	serait encore la fin du Morné Dalmas	F7	cône sous-marins, turbidites stfo-sableuses interlobes ou plans distale	N30-10 NW ? (300-10)	F(1) > 8m normal, F(2) sup 1m, normal	
PAP30	-72.27738	18.50412	505	conglomérats de calcaire éocène subanguleux à matrice sableuse saumon, granoclassés, surface érodée sur brèche calcaire sous-pente	contact anormal, dû au passage de la faille Enriquillo	dépôts de brèche associés à la faille	F3	cône de déjection torrentiel, coulées de débris granoclassés	subhorizontale	faille d'Enriquillo	
PAP31	-72.27680	18.50413	511	brèche de faille, coulées de débris calcaires recristallisés, passage progressif	contact anormal éocène-miocène ? cf. faille Enriquillo	dépôts de brèches associés à la faille	F3	piémont coulées de débris et brèches de la faille d'Enriquillo,		a) direction du plan WNW-ESE ? - // à l'affleurement, jeu inversé, rejet sup 1m,	1m
PAP32	-72.27610	18.50406	515	brèche de faille, calcaire recristallisé, plans d'ité, 4-10 m	brèche de faille Enriquillo sur au moins 10 m	dépôts de brèche associés à la faille	F3	dépôts calcaires de bassin profond (offshore) + faille d'Enriquillo, contact e-m	N65, 38°S	FF(0) N110-60S-14E, semestre ; FF(1) N38-32SE ; FF(2) N100-34S ; FF(3) N105-68S-20°E; Fractures : N80 à N130 - 45 à 60S	semestre, géométrique
PAP33	-72.27406	18.50354	549	Calcaires bréchifiés, locsés et recristallisés	faille d'Enriquillo	dépôts de brèche associés à la faille	F3	dépôt carbonaté de bassin (offshore), faille d'Enriquillo, contact e-m ?	N65, 39°S, 30E		

FAP34	-72.29428	18.50802	502	passage : passage brèche calcaire non consolidée Est / Ouest : brèche consolidée. Balais doux = conglomérats matrice argileuse	contact brèche calcaire aux conglomérats de piémont	dépôts de brèche associés à la faille	F3	contact bassin profond (calcaires éocènes)- dépôts de talus/piédomont.			
FAP35	-72.28970	18.50876	435	contact brèche de sédimentation oligocène-miocène /marne-calcaires Miocène moyen-Pliocène courbé	CONTACT brèche de sédimentation oligocène-miocène /marne-calcaires Miocène moyen-Pliocène	CONTACT F3-F4	F4	contact e-m/d bassin profond/coulées sableuses talus/turbidite zone de trace	N140, 70SW ?		
FAP36	-72.28109	18.51700	330	conglomérats fluviatiles très bien triés granoclasés non consolidés, sous sol brun-rouge (TV), h = 10/12 m	conglomérats fluviatiles rouges	ône alluvial O (surface de ravinement)	F9-Q	fluviatile actuel, torrentiel, dépôts granoclasés normal, faiblement channelisés	N140, 60°NW/60°NE-60°SW, N160-60W, N140-70W, N145-40°SW (brèches calcaires); N120-38°		
FAP37	-72.27742	18.51917	300	contact silto-sableux avec sur dépôts gravitaires conglomérats floctants dans matrice argileuse	contact par faille des turbidites silto-sableuses - coulées de débris	Fin du Miocène Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F8	Contact dépôts gravitaires bassin profond - dépôts de perte de turbidites plus f	N120, 70°S (marnes argileuses) fractures : N55-80S	sup 3m	
FAP38	-72.27643	18.51980	330	silts calcaires indurés, aspect boudiné, galets flottants, 4-5 m et séquences de graviers	séquences de turbidites profondes, superposées, dépôts silto-sableux/dépôts plus grossiers	Fin du Miocène Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F7	bassin profond, lobes distaux	N115, 80°N, dépôts redressés à la verticale	fractures : N10, 80°NE	
FAP39	-72.27025	18.51357	350	affleurement silto-marneux visibles mais aussi qa blocs flottants dans matrice fine cone, nodules CaCO3 post dépôt (nappe phréatique)	affleurements marne-oligocènes avec qa bancs stampés plus grossiers	Fin de la Rivière Grise, Miocène inf	F4		probablement faille au niveau de la maison WWN-ESE ? Fractures : N10-80W, 32W		
FAP40	-72.26969	18.51394	385	affleurement calcaire sous sol brun, passées conglomératiques classées dans matrice silteuse compacte, est-est, sur marnes silteuses vert-ocre	dépôts collinaires/fluviales récents sur turbidites marino-calcaires vert-ocre ?	Terminus O, Contact Miocène moyen à Pliocène/O	Q-collinaires	contact dépôts Q collinaires ? ou Terraces ? sur dépôts profonds turbidites [pi]			
FAP41	-72.31433	18.53730	148	silts calcaires beiges sous TV avec blocs calcaires et remblais, laminaires de laminations // ?	turbidite distale (affleurement très médiocre)	Fin du Miocène Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F7	lobes sous-marin étalés	pas visible		
FAP42	-72.31470	18.54013	115	Poubellin sur 4 m et 1,50 m de silts calcaires beiges avec qa niveaux congl	remblais importants (4 m), dépôts fins silteux de lobes turbidites distaux (1,5 m)	Fin du Miocène Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F7	lobes sous-marins étalés	verticalité WWN-ESE d'après photo		
FAP43	-72.31462	18.54100	132	Bancs silts carbonatés indurés 80 cm, massifs, lamins base et sommet, base érosee sur séquence granoclasto-sable à laminations obliques, galets flottants	turbidites distales assez caractéristiques	Fin du Miocène Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F7	marin profond, lobes distaux	N135-85W		
FAP44	-72.31847	18.54094	120	écoulement gravitaire galets hétérogènes dans matrice argileuse et silts bruns homogènes, plus fins 300	débris flow + turbidite homogène [pi] déposée en masse	Fin du Miocène Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F7	bassin, distal ou zone de transition	pas visible		
FAP45_2	-72.32859	18.51866	278	brèche sédimentaire recouvre les calcaires, avec ciment induré soussol	brèche sédimentaire, contact cocône-miocène ?	brèche de piédomont	F3	piédomont ou talus			

PAP45-1	-72.32377 18.53803	375	contact brèche calcaire sur bancs calcaires 10 cm très fracturés, discontinus, e = 8 m	contact F3 brèche / F2 calcaire massif éocène ou oligocène	brèche de piémont	F3	dépôt de pente actuel, talus ou piémont	N62-503	Fractures: N180-78W, N145-80W
PAP46	-72.31791 18.52483	248	brèche calcaire fracturée, ciment calcaire beige consolidé (10-20%)	brèche de pente	e-m ?	F3	dépôt de pente sous-marin		
PAP47-1	-72.34985 18.53822	218	brèche sédimentaire cobaltée à matrice siliceuse beige-saumon fragile, voire rouge	débris flow granodésal, talus et/ou piémont	Éocène sup. à Oligocène-Miocène	F3	dépôt de pente sous-marin, peut présenter un granoclassement		
PAP47-2	-72.34891 18.53895	187	Coulées de brèches et chenaux conglomérats oxydés, trace de sol anthropique au sommet	coulées de débris superposées et chenaux fuyatiles torrentiels	Éocène sup. à Oligocène-Miocène	F3	dépôts de cône alluvial		
PAP47-3	-72.34832 18.53870	190	brèche oxydée et chenaux conglomérats oxydés, trace de sol anthropique	coulées de débris superposées et chenaux fuyatiles torrentiels	Éocène sup. à Oligocène-Miocène	F3	cône alluvial, piémont		
PAP47-4	-72.34428 18.52158	144	congl à matrice oxydée	chenaux identifiables de conglomérats hétérométriques, avec granoclassement, type torrentiel	cône alluvial de piémont, en aval	F3	piémont, partie aval		
PAP48-1	-72.36580 18.52225	136	Séquences (2 m x5) de turbidites de siltés, beige, très homogène, laminations // discontinues, aspect bouillie, surface plane belt et mur, arrête de sect., frac-verticales	turbidites successives avec surface d'arrêt de sédimentation	dépôts de siltés massifs associés au piémont	F5-st	main profond, offshore, lobes distaux	Fractures: N170-75E, N150-90, N5-85W	
PAP48-2	-72.36592 18.52271	152	contact progressif, érosion diffuse des conglomérats rouges sur les turbidites beige	Chenal sous-marin? érosif sur lobes distaux de turbidites	Fm de Morne Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F5-Gr	chenal isolé érosif de conglomérats sur assises turbidites siliceuses		
PAP48-3	-72.34839 18.52314	128	chenal conglomératique à matrice rouge érodé les siltés calcaires beige	contact conglomérats/turbidites, secteur aval du cône sous-marin	Fm de Morne Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F5-st	lobes et chenal isolé zone de transition et zone distale		
PAP49	-72.34448 18.52575	90	brèche sédimentaire sur bancs calcaires rouge adombrés ?, aspect rugueux, coupant	contact brèches de pente sur calcaires oligomifés ?	cône alluvial de piémont, en aval	F3	CONTACT brèche de pente sur turbidites, reprise érosion ?	N75, 82°N	
PAP50	-72.38950 18.52857	58	Tv/remblais (1,5m), blocs fractures (en place ?) de calcaire micritique altéré couffent les congl., pulvérisés sur marnes beige	turbidites distales intercalées avec des dépôts O type colluvions	CONTACT turbidites distales/ quaternaire alluvial grossier	F5-st	zone d'imbrication de lobes O et turbidites distales		
PAP51	-72.33906 18.52342	222	conglomérats calcaires hétérogènes en taille à matrice rouge siliceuse (oxydée consolidée)	dépôts de pente, coulées de débris	coulées de débris	F3	dépôts de pente continentaux ? ou altération post-glaciaire en masse		
PAP52_1	-72.33508 18.52813		tv (0.4m), alt (= 3m)	turbidite distale	Fm de Morne Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F5-st	talus ou bassin profond		

PAP51-1	-72.53350 18.50029	100	bars calcaire recouvert remanié coiffe silt beige consolidé, puis conglomérats à matrice argileuse rouge	terrasse Q ancienne ?	turbidite distale humectée coulée de débris remaniés sous des silt	F5-st	zone de transition, talus continental.		
PAP13	-72.32738 18.53122		Conglomérats à matrice de limons rouges	terrasse Q ancienne ?		?	terrasse alluviales anciennes ?		
PAP54	-72.20811 18.51024	156	dépôts à silt beige et charnux conglomérats granodésiques (calcaire écène, barabte, silt)	Alluvium ancien-écoulement vers le N	Q alluvial ancien (terrasse)	Q-allu ancien	terrasse alluviales anciennes		
PAP15	-72.20031 18.50275	176	charnux conglomérats argileux sur limons beige stratifiés horizontaux	Alluvium ancien-terrasse alluviale	Q alluvial ancien (terrasse)	Q-allu ancien	terrasse alluviales anciennes		sup 4m
PAP51_3	-72.19794 18.50063	180	marno-calcaire pliocène, plusieurs passages meures, passage d'une faille ?	plus dans les marno-calcaires pliocène	Fin de la Rivière Grise, Miocène inf	F6	bassin profond	Faille E-W ?	
PAP56_3	-72.19736 18.49909	187	Marno-calcaire en bancs de 20 à 30 cm (calcaire) Interbancs marno-0,5 à 1 m	plus dans les marno-calcaires	Fin de la Rivière Grise, Miocène inf	F6	bassin profond, terrasses Q perthésés à 480 m	oak : N120-55M (à visé)	
PAP56-1	-72.19871 18.50182	158	alluvions Q (charnux corrigé granodésiques et limons + silt) en contact par faille inv N60-45S avec marno-olc (Mioène) pliocène verticalisés	Contact stratif Q / Pliocène marno-calcaire	Q alluvial ancien (terrasse)	Q-allu ancien	Contact érosif Q finant le bassin profond pliocène	Pliocène : N50-60, 80°NW	N70, 42°S (à visé), plusieurs petits failles verticales dans Q ; F1, N60-80S, contact pliocène sur Quaternaire, inverse, vergence N : 72, N20 860 - 92
PAP17	-72.19080 18.49749	191	calcaire blanc alumpy puis massif avec surf érosion durcie très irrégulière, recouvert jusqu'à 5m de colluvions actuelles	séd. de bassin profond, terminée par des remobilisations calcaire écène ?	Calcaires pélagiques Oligocène-Miocène	F2	bassin profond, avec sq écoulement gravitaire au sommet (dumpy)	N55, 25°SW, N150, 43°NW	
PAP58	-72.23866 18.51261	260	colluvions (moins de 1m) sur calcaire (brèche calcaire ?)	calcaire écène ?	brèches calcaires pélagiques Oligocène-Miocène	F2	substratum calcaire	NR lecture morpho du paysage	
PAP19	-72.24018 18.51718	190	Colluvions sur petits reliefs de calcaire bréchique de bas de pente	Colluvions sur brèche calcaire (> 100 m épaisseur)	Colluvions graviers-conglomérats Q	Q-colluvions	plémont (>100 m brèches calcaires)	NR lecture morpho du paysage	
PAP60	-72.24691 18.51529	282	Colluvions sur petits reliefs de lies de pente	colluvions Q sur pentes des petits reliefs	Colluvions graviers-conglomérats Q	Q-colluvions	Colluvions sur probablement brèches calcaires		
PAP61	-72.23844 18.54124	112	barns embobêlés à tendance fluviatile, base érosive à galets, puis galets flottants dans murine beige argileuse à strati obliques, quelques paléols CaCO3 quaternaires	barns fluviatiles à embouchure ?	Fin du Miocène Délmis, Miocène moyen à Pliocène	F5-st	embouchure de delta ?	subhorizontale	
PAP62-1	-72.20585 18.50170	131	faunes silt argileux beige foncé graveres flottants, quelques passes géométriques de galets plus concentrés	strati très plaine - dépôts gravitaires de atcales ou embouchure deltaïque ?	Fin du Miocène Délmis, Miocène moyen à Pliocène	F5-st	bassin profond ou embouchure deltaïque ?	subhorizontale	
PAP62-2	-72.26750 18.54815	134	silt beige homogène avec quelques galets flottants	Dépôts gravitaires, coulées de siltés peu dense	Fin du Miocène Délmis, Miocène moyen à Pliocène	F5-st	petite estale des lobes turbidiques, bassin profond		

PAP63	-72.27357 18.54218	174	silt. brun-ocre, aspect fluvialité, emboulté	lobes de turbidites siliceux distaux embêtés ou barre d'embouchure ?	Fm de Morne Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F5-af	lobes distaux, bassin profond ou barre d'embouchure de delta ?				
PAP64	-72.27861 18.54033	184	marno-calcaire pliocène marin, F5, lamination parallèle. Présence de nodules CaCO3 (nappe piézoïque actuelle)	alternances marno-calcaires puis émissien (calcaire)	Fm de la rivière Grosse, Miocène inf	F4	bassin profond, partie distale, turbidites type Bouma ? / émission au Pliocène	pendage général vers le NE, mais plat dans la formation, ass. N46E-J	fractures : N3-79E, N165-75E, N25-70W, N162-88W, N155-90		
PAP65	-72.30037 18.52819	265	calcaire récifal à Madisporae et sables marneux sur conglomérats et silt. beiges	dépôts entamés de la barrière récifale reposant sur dépôts gravitaires	Fm de Morne Delmas, Miocène	F6	zone de transition plate-forme récifale externe-labus	N115, 70°N			
PAP66	-72.24965 18.54757	100	marne beiges, parsees conglomérats isolés et locaux, nodules CaCO3 (nappe piézoïque)	turbidites distales cf. PAP 61 sur même relief	Fm de Morne Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F5-af	bassin profond	pas diff, affaiblement pas évident			
PAP67	-72.25747 18.55027	106	barre de silt fluvialité grise-calcaire à lamination irrégulière discontinue, silt beige très induré	barre d'embouchure de delta (calcaire)	Fm de Morne Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F5-af	embouchure de delta				
PAP68	-72.26654 18.53766	164	~ 12 m de conglomérats dans matrice siliceuse beige, constituent les petits reliefs	colées de silt bruns colorées par intercalées	Fm de Morne Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F5-af	partie distale du talus	pas diff			
PAP69	-72.25917 18.53826	194	Entièrement calcaire sous T4, jusqu'à 1 m, silt calcaire beiges et niveau d'argile plastique brun	colées de silt bruns assez fluides (silt en suspension) et sur, d'émission plaquée sur la p.	Fm de Morne Delmas, Miocène moyen à Pliocène	F5-af	base de talus ou partie distale + émission des dépôts ?	subhorizontale			
PAP70	-72.24698 18.51130	308	marno-calcaire sur conglomérats à matrice rouge					?	N30-70N		
PAP71	-72.24630 18.51170	319	conglomérats à matrice rouge sur brèche calcaire de faille					N95-225	N122-64N 70°NW		
PAP72	-72.24575 18.51170	364	silt à galet basaltique (?) altère								
PAP73	-72.24730 18.51030	365	calcaire marmoré en gros blocs à contact par faille marno calcaire en bancs 30 cm avec brèches consolidées								
PAP74	-72.22840 18.50660	356	calcaire marmoré en gros blocs à contact par faille marno calcaire en bancs 30 cm avec brèches consolidées								
PAP75	-72.22830 18.50730	334	calcaire marmoré en gros blocs à contact par faille marno calcaire en bancs 30 cm avec brèches consolidées								
PAP76	-72.22860 18.50750	329	calcaire marmoré en gros blocs à contact par faille marno calcaire en bancs 30 cm avec brèches consolidées								
PAP77	-72.22850 18.50850	322	calcaire marmoré en gros blocs à contact par faille marno calcaire en bancs 30 cm avec brèches consolidées								
PAP78	-72.22780 18.51440	246	marno-calcaire en banc 0,3 m et gréseux F7								
PAP79	-72.22770 18.51460	241	contact par faille marno calcaire (M6) et molasse gréseuse (M6), recouvert par conglomérats à matrice argileuse rouge, plus fins, molasse gréseuse recouverte par banc calcaire de 1m, surface structurée								
PAP80	-72.26430 18.51910	377	marno-calcaire et conglomérat, glissement								
											GT

PAP81	-72.30300	18.52280	328	conglomérat et margocalcaire, plusieurs Glissements							GT Djebel GT
PAP82	-72.30300	18.52730	290	vue sur Glissement							GT et Eb
PAP83	-72.30800	18.52280	218	Glissement et éboulement dans conglomérats et Glissement dans marno-jalisco							GT
PAP84	-72.20600	18.51510	323	marno calcaire recouvert par conglomérats granodassés							GT
PAP85	-72.20670	18.51200	251	marno calcaire jusqu'au sommet, recouvert par calcaire (en surface structurable)						NLS-000 ? NE-SW ?	GT
PAP86	-72.20550	18.51880	279	alternance marno calcaire et conglomérat, bancs discontinus						NL10-75N NL10	
PAP87	-72.20600	18.53270	171	conglomérats à éléments calcaires, granodassés, recouverts par un banc calcaire d'épaisseur métrique, conforme à pente							
PAP88	-72.20610	18.53220	168	en pied de pente, conglomérats blancs riches à matrice sable argileuse ; bancs ferrés de restes, émon d'inondation, br rue trouble, en face de ruine, GT congl au sommet, site à la base							
PAP89	-72.25550	18.53750	163	Glissement actif, au sommet barre calcaire et conglomérats (épaisseur ~ 2m), puis silt ; assure sous les calcaires et conglomérats ; Discontinuité du glissement à 5 à 10 m de profondeur							GT
PAP90	-72.20520	18.52000	174	Glissement actif, même formation qu'en PAP90							GT
PAP91	-72.20520	18.53880	178	haut d'un glissement actif en 2003							GT
PAP92	-72.31300	18.54000	101	site avec nodules calcaires, stratigraphie fine, recouvert par conglomérats granodassés							GT
PAP93	-72.21000	18.51410	122								
PAP94	-72.33720	18.52810	118	quartier si grand, rq fort							rq f
PAP95	-72.33650	18.52750	100	Glissement dans marnes et conglomérats							GT
PAP96	-72.33630	18.52780	123	silt argileux						8	
PAP97	-72.33630	18.52900	118	contact par faille, marnes (au sud), calcaires, conglomérats						N130-75N (au large)	
PAP98	-72.33640	18.52640	119	silt et conglomérats dans ravine, Glissement							GT
PAP99	-72.30000	18.52410	97	marno calcaires en bancs de 30cm d'épaisseur						N85-75N	
PAP100	-72.34200	18.52660	161	congl. cb my							cb my
autre1	-72.27220	18.51470	307	conglomérats micocènes							
autre10	-72.30650	18.53070	333	brèches de faille calcaires							rq my sur relief, en aval de la route non
autre11	-72.30320	18.51340	333	rq cb sur relief à partir de la rte							rq sur relief

Dépôt légal : 14-07-316
Bibliothèque nationale d'Haïti
ISBN : 978-99970-4-233-0