

CARTOGRAPHIE MULTIRISQUE DU DEPARTEMENT DE LA GRAND'ANSE HAITI

Edition 2017



PARTIE 1 :

**RECUEIL DE DONNÉES ET ANALYSE
PRELIMINAIRE DU SECTEUR D'ÉTUDE**

SOMMAIRE

Acronymes et Abréviations utilisés	1
1. OBJETS DE L'ETUDE ET DU PRESENT RAPPORT	2
1.1. CONTEXTE DE LA MISSION	2
1.2. OBJECTIFS DE LA MISSION	3
1.3. OBJET DU PRESENT RAPPORT	3
2. IDENTIFICATION ET RECUEIL DES DONNEES	4
2.1. DONNEES INTERNES	4
2.1.1. Données ARTELIA	4
2.1.2. Données BETA IC	4
2.2. DONNEES EXTERNES	5
2.2.1. Données CIAT	5
2.2.2. Données CNIGS	5
2.2.3. Données MARNDR	6
2.2.4. Données IHSI	6
2.3. ANALYSE ET SYNTHESE	6
3. PRESENTATION GENERALE DU BASSIN ET DU CONTEXTE DE L'ETUDE	7
3.1. CONTEXTE OROGRAPHIQUE – LE RELIEF	7
3.1.1. Contexte général	7
3.1.2. Contexte local	7
3.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET GEODYNAMIQUE	9
3.2.1. Généralités	9
3.2.2. Géologie de la zone d'étude	12
3.3. CONTEXTE CLIMATIQUE	14
3.3.1. Le Climat	14
3.3.1.1. CLIMAT GENERAL DE HAÏTI	14
3.3.1.2. CLIMAT DU SECTEUR D'ETUDE	14
3.3.2. Les cyclones	15
3.3.2.1. EN GENERAL SUR HAÏTI	15
3.3.2.2. LES CYCLONES SUR LE SECTEUR D'ETUDE	18
3.3.3. Régime local des pluies	19
3.3.3.1. PLUVIOMETRIE ANNUELLE	20
3.3.3.2. PLUVIOMETRIE MENSUELLE	21
3.3.4. Régime des pluies extrêmes	22
3.3.4.1. DONNEES	22
3.3.4.2. PRINCIPE DE L'ANALYSE	22
3.3.4.3. APPLICATION	24
3.3.5. L'hydrographie	25
3.4. LES TSUNAMIS	25
3.4.1. Description	25
3.4.2. Occurrences	26
3.5. LES RAZ-DE-MAREE AUTRES	27
3.5.1. Description	27
3.5.2. Occurrences	28

TABLEAUX

Tableau 1 : Données de pluies mensuelles du CNIGS	5
Tableau 2 : Données de pluies mensuelles du MARNDR.....	6
Tableau 3 : Répartition altimétrique du département de Grande Anse.....	8
Tableau 4 : Liste des cyclones	17
Tableau 5 : Cyclones majeurs ayant affecté Haïti entre 1915 et 2015	18
Tableau 6 : Fréquence des cyclones par département de 1954 à 2001.....	18
Tableau 7 : Pluviométrie annuelle sur et aux alentours du département de Grande Anse.....	20
Tableau 8 : Liste des stations traitées pour les pluies extrêmes.....	22
Tableau 9 : Valeurs caractéristiques des pluies journalières	25
Tableau 10 : Liste des Tsunamis ayant touché l'île Hispanolia.....	26

FIGURES

Figure 1 : Situation du département de Grande-Anse.....	2
Figure 2 : Situation des communes objets de l'étude.....	3
Figure 3 : Relief général d'Haïti	7
Figure 4 : Relief de la zone d'étude.....	8
Figure 5 : Carte des pentes du relief	9
Figure 6 : Contexte géodynamique de l'Arc des Antilles.....	9
Figure 7 : Schéma structural de l'île d'Haïti, D'après Saint-Fleur et al., 2015.....	10
Figure 8 : Activité sismique - Calais et Al., 2010	11
Figure 9 : Coupe interprétative du séisme de 2010, d'après Calais et al., 2010.....	11
Figure 10 : Carte des failles répertoriées	12
Figure 11 : Géologie du département de Grande Anse (source LNBTP)	12
Figure 12 : Trajectoires des cyclones plus ou moins récents.....	15
Figure 13 : Trajectoires des cyclones sur Haïti	19
Figure 14 : Pluviométrie annuelle	20
Figure 15 : Répartition mensuelle des pluies	21
Figure 16 : ajustement type des pluies selon une loi de Gumbel.....	23
Figure 17 : Echantillon des maxima annuels des pluies sur graphique de Gumbel	24
Figure 18 : Réseau hydrographique et relief de Grande Anse.....	25
Figure 19 : Historique des tsunamis en Haïti	27
Figure 20 : Houles de tempête de période de retour 10 ans.....	28
Figure 21 : Houles de tempête de période de retour 100 ans.....	29
Figure 22 : Raz-de-marée de période de retour 10 ans.....	29
Figure 23 : Raz-de-marée de période de retour 100 ans.....	29

Acronymes et Abréviations utilisés

ACDED	Action pour le Développement Durable
ACTED	Agence d'Aide à la Coopération Technique Et au Développement
AEP	Alimentation en Eau Potable
BME	Bureau des Mines et de l'Energie
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières (France)
CIAT	Comité Interministériel d'Aménagement du Territoire
CNIGS	Centre National de l'Information Géo-Spatiale
CNSA	Coordination Nationale de la Sécurité Alimentaire
DINEPA	Direction Nationale d'Eau Potable et Assainissement
ETP	Evapo-Transpiration Potentielle
EVI	Enhanced Vegetation Index (Indice de végétation amélioré)
FIC	Frères de l'Instruction Chrétienne
IGN	Institut Géographique National (France)
IHSI	Institut Haïtien de Statistique et d'Informatique
MARNDR	Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural
MDE	Ministère de l'Environnement
MEF	Ministère de l'Economie et des Finances
MICT	Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Territoriales
MNT	Modèle Numérique de Terrain
MPCE	Ministère de la Planification et de la Coopération Externe
MTPTC	Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications
NASA	Administration Nationale de l'Aeronautique et de l'Espace (USA)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
OXFAM	Oxford Committee for Famine Relief
PPCR	Programme Pilote pour la Résilience Climatique
SIG	Système d'Information Géographique
SPI	Standardized Precipitation Index
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission (MNT)
TDR	Termes de Références
UTE	Unité Technique d'Exécution
UTS	Unité Technique de Sismologie au BME
UTSIG	Unité de Télédétection et de Système d'Information Géographique

1. OBJETS DE L'ETUDE ET DU PRESENT RAPPORT

1.1. CONTEXTE DE LA MISSION

Le territoire haïtien est fortement soumis aux risques naturels que sont les cyclones, les inondations, les mouvements de terrain, les séismes et les tsunamis. Les événements passés et récents l'ont montré, de façon parfois douloureuse.

Afin d'éviter que le développement ne fasse qu'accroître la vulnérabilité et, donc, les dégâts à chaque catastrophe naturelle et que tout soit à refaire, il est fondamental de bien cerner les risques et d'établir des règles de construction et de développement selon une logique qui tienne compte de la connaissance des risques naturels ainsi que des enjeux socio-économiques et environnementaux présents et des projets de développement futurs.

Cela nécessite donc une connaissance la plus fine possible :

- des aléas (inondation, mouvements de terrain, séismes et tsunamis) ;
- des enjeux en place et de leur vulnérabilité ;

Afin d'évaluer le niveau des risques par croisement de l'aléa et de la vulnérabilité et de définir des mesures de réduction de ces risques.

Cette réduction des risques pourra être obtenue soit par le biais d'aménagements (ouvrages de protection structurels à l'échelle du bassin ou mesures de mitigation à l'échelle du bâti), soit par une réglementation permettant de contrôler le développement de façon adaptée.

L'information et la formation sont deux mesures importantes qui viendront garantir la bonne intégration et la mise en application des mesures proposées.

L'ensemble de cette démarche est décrite dans le Guide Méthodologique de Réduction des Risques Naturels en Haïti (MPCE, 2015).

L'objet de la présente étude consiste en effet en une application « pilote » de ce guide sur le département de Grand-Anse à travers un financement du gouvernement britannique [Département du développement international britannique (UK DFID)], sous maîtrise d'œuvre du PNUD-Haïti.



Figure 1 : Situation du département de Grande-Anse

Cette application a trait :

- aux 12 communes du département en ce qui concerne la cartographie informative des phénomènes à risques ;
- aux 6 communes prioritaires en ce qui concerne l'établissement de Plans de Réduction des Risques Urbains (PRRU) : Jérémie, Abricot, Moron, Roseaux, Beaumont et Dame-Marie.



Figure 2 : Situation des communes objets de l'étude

1.2. OBJECTIFS DE LA MISSION

Il est donc indispensable au préalable de déterminer les secteurs soumis aux différents aléas naturels suivants :

- Aléas inondation
- Aléas mouvements de terrain
- Aléas séismes
- Aléas submersion marine et/ou tsunami

C'est donc l'objectif de la mission que d'identifier et cartographier les aléas sur le territoire concerné puis de les confronter, pour les 6 communes prioritaires, à l'analyse des enjeux afin d'établir un zonage réglementaire et de prescrire des mesures de mitigation lorsque cela est possible.

En effet, la finalité d'une telle démarche réside dans :

- La mise en place de dispositifs réglementaires,
- Le renforcement de la politique de prévention des risques naturels afin d'assurer la sécurité des personnes, des biens et la pérennisation des investissements de reconstruction/construction.

1.3. OBJET DU PRESENT RAPPORT

Le présent rapport constitue le rapport préliminaire rédigé suite aux réunions de démarrage intervenues en février 2016 et au recueil de données qui a eu lieu, les dernières ayant été réceptionnées durant la semaine 12 (21 au 25 mars).

Il liste les données recueillies, en dresse une première analyse et fournit une première présentation du secteur d'étude.

2. IDENTIFICATION ET RECUEIL DES DONNEES

2.1. DONNEES INTERNES

2.1.1. Données ARTELIA

Avant même la première mission de démarrage, nous avons rassemblé les données déjà à notre disposition, du fait des études précédemment conduites en Haïti. Elles sont en particulier associées aux études suivantes :

- 2012 : PPRN (Plan de Prévention des Risques Naturels) de Port au Prince - Développement des plans des risques 16/6 – Ref. n°1742333.

Client : Nations Unies

- 2013 : Evaluation intégrée des alternatives de développement du bassin versant de l'Artibonite, focalisée sur les usages multiples de l'eau – Ref. n°8410193.

Client : MARNDR – Bureau de coordination du PIA.

- 2014 – 2015 : Elaboration d'un guide méthodologique pour la prévention des risques naturels et la réduction de la vulnérabilité en Haïti – Ref. n°8410863.

Client : PNUD

- Début 2015 : Etude pilote de dangers et risques naturels au niveau d'une zone test du département du Sud-Est pour l'implémentation d'une méthodologie d'analyse multirisque et le transfert de compétences à des professionnels nationaux – Ref. n°8410903.

Client : Ambassade de Suisse en République d'Haïti. Bureau de la coopération suisse. Centre de compétences en Reconstruction et Réduction de Risques (CCR+R - Haïti).

- Fin 2015 et début 2016 : Etude sur les risques naturels dans la boucle Centre-Artibonite et production de cartographie des risques pour les communes de Hinche, Mirebalais, Saut d'Eau, Titanyen et St-Michel-de-l'Attalaye – Ref. n°8410954.

Client : Ministère de l'Economie et des Finances – Unité Technique d'Exécution (UTE).

De ces études nous avons exploités les éléments cartographiques généraux tels que routes, rivières, bassins versants, limites communales... , des couches informatiques relatives aux enjeux (édifices religieux, structures médicales) ainsi que les descriptions générales du contexte géographique et climatique.

Nous disposons également d'un ensemble de rapports d'études et annexes que nous avons répertoriés en précisant s'ils concernaient les 4 aléas à considérer.

Nous pouvons citer en particulier les études suivantes :

- OXFAM cartes et étude de risques, de la vulnérabilité et des capacités de réponse en Haïti (2002)
- Etudes NATHAT 1 et NATHAT 2 (2010)

2.1.2. Données BETA IC

BETA IC dispose des orthophotoplans de 2010 ainsi que des cartes géodésiques.

Des données pluviométriques sont également à leur disposition.

2.2. DONNEES EXTERNES

2.2.1. Données CIAT

Ce sont les données recueillies pour l'étude de la BCA citée plus haut, à savoir :

ATLAS DES ALEAS :

- Atlas des menaces naturelles en Haïti – BRGM – CIAT – Octobre 2015
- Analyse du contenu des différentes études de prévention des risques naturels et réduction de la vulnérabilité en Haïti – BRGM – CIAT – Avril 2015

BASE CARTOGRAPHIQUE SIG :

- Limites diverses (départements, communes, sections communales, bassins versants...)
- Cours d'eau, routes, rail,
- Géographie (relief...)
- Etc...

PROJET NATHAT – Analyse multi-menaces :

- Nathat 1 et 2

DONNES METEO-PLUVIOMETRIQUE

- Il s'agit des photographies d'une partie des documents mis en sécurité dans un hangar suite au tremblement de terre de 2010.

Nous avons récupéré 3000 photographies.

2.2.2. Données CNIGS

Les données recueillies auprès du CNIGS sont les suivantes :

Données topographiques :

- LIDAR 1 m sur le centre urbain de Jérémie
- SRTM 30 m révisé par le CNIGS (abaissement de 4 m en particulier pour mieux correspondre aux levés complémentaires LIDAR ou terrain).
- Ortho-photoplans de 2014 sur Jérémie
- Fond de plan de 1978 d'après photographies aériennes de 1956.

Données hydrologiques :

- Pluies journalières en 10 stations depuis juillet 2013
- Pluies horaires en 10 stations depuis juillet 2013
- Pluies mensuelles en 5 stations :

STATION	Periode	Nb années
Beaumont	1943-1966	6
Chambellan	1964-1986	8
Jeremie	1906-1965	44
Lesson	1957-1986	18
Marfranc	1951-1990	23

Tableau 1 : Données de pluies mensuelles du CNIGS

2.2.3. Données MARNDR

Des données de pluies mensuelles et de pluies journalières (maxima mensuels) ont été recueillies auprès du Ministère concernant 12 stations :

STATION	Pluies mensuelles		Pluies journalières	
	Période	Nb années	Période	Nb années
Abricot	1987-1990	1	1987-1990	1
Anse d'Hainault	1942-1993	18	1964-1993	16
Beaumont	1943-1995	14	1946-1995	14
Castillon	1987-1994	2	1987-1994	2
Chambellan	1964-1986	6	1964-1986	7
Dame-Marie	1977-1990	5	1977-1990	5
Jérémie	1906-1996	55	1960-1982	22
Léon	1962-1967	4	1962-1967	4
Marfranc	1951-1990	23	1963-1990	12
Moron Laroche	1918-1987	1	1987	incomplète
Roseaux	1957-1988	8	1957-1988	7
Tiburon	1977-1990	7	1977-1990	7

Tableau 2 : Données de pluies mensuelles du MARNDR

2.2.4. Données IHSI

Les données statistiques sont disponibles sur internet.

2.3. ANALYSE ET SYNTHÈSE

L'analyse de ces documents a permis :

- d'une part de présenter le contexte général Haïtien
- d'autre part de fournir une première vision des risques sur le territoire du département de Grande Anse.

Ceci fait l'objet des chapitres suivants.

3. PRESENTATION GENERALE DU BASSIN ET DU CONTEXTE DE L'ETUDE

3.1. CONTEXTE OROGRAPHIQUE – LE RELIEF

3.1.1. Contexte général

L'une des caractéristiques principale de la physiographie d'Haiti est sa topographie accidentée. Près de 75% du territoire sont composés de formations montagneuses et 50% des sommets sont constitués de pentes supérieures à 40%. D'une manière générale, les principaux reliefs se distribuent comme suit (figure 3) :

- Le Massif du Nord, avec des sommets entre 1 200 et 1 300 m ;
- Le Massif du centre (chaîne des Montagnes Noires (600 à 1800 m), chaîne des Matheux (point culminant 1575 m) et chaîne du Trou d'Eau (640 m au plus haut) ;
- Le massif de La Selle dans le Sud-Est, d'une longueur d'environ 100 km et qui culmine à 2674 m (Pic de La Selle), le plus haut point du pays ;
- Le massif de La Hotte dans le Sud-Ouest, qui culmine à 2 347 m (Morne Macaya).

Entre ces massifs, quelques zones de plaines occupent environ 7 000 km², soit près d'un quart de la superficie du pays. Les principales sont : Plaine du Nord, de l'Arbre, de l'Artibonite, Cul-de-sac, de Léogâne et des Cayes (figure 3). La zone littorale s'étire sur environ 1 500 km.

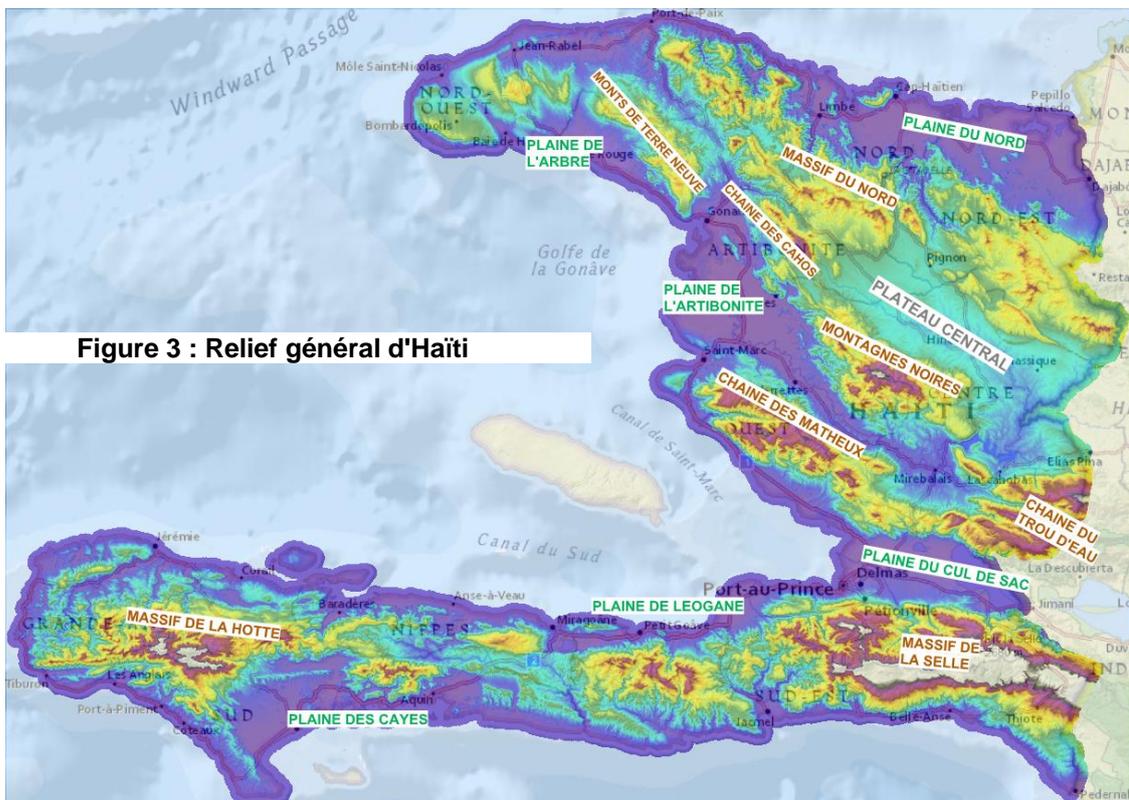


Figure 3 : Relief général d'Haiti

3.1.2. Contexte local

La zone d'étude se situe donc sur la presqu'île sud-ouest, entre les sommets du massif de la Hotte, au sud, et la côte, au nord.

La carte suivante montre le relief de la zone d'étude.

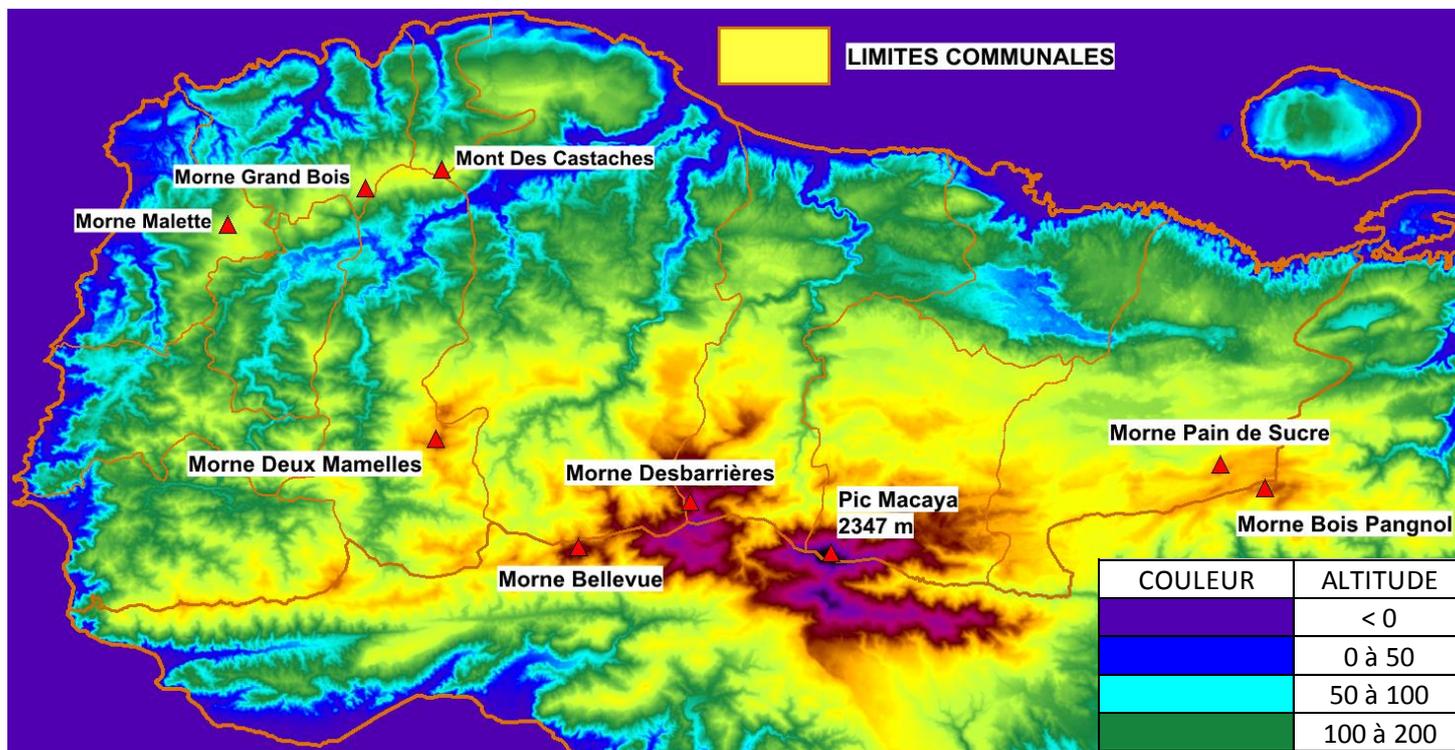


Figure 4 : Relief de la zone d'étude

Sur le département de la Grande Anse, la répartition altimétrique est la suivante :

ALTITUDE (m)	POURCENTAGE	% CUMULE
0 à 50	30.1	30.1
50 à 100	6.1	36.2
100 à 200	6.0	42.2
200 à 500	11.2	53.4
500 à 800	24.1	77.5
800 à 1100	12.7	90.2
1100 à 1400	6.1	96.3
1400 à 1700	2.3	98.5
1700 à 2000	0.9	99.4
2000 à 2300	0.5	99.9
2300 à 2600	0.1	100.0

COULEUR	ALTITUDE
Dark Purple	< 0
Blue	0 à 50
Cyan	50 à 100
Green	100 à 200
Light Green	200 à 500
Yellow	500 à 800
Orange	800 à 1100
Dark Red	1100 à 1400
Magenta	1400 à 1700
Dark Purple	1700 à 2000
Black	2000 à 2300
White	2300 à 2600

Tableau 3 : Répartition altimétrique du département de Grande Anse

La figure suivante représente l'évolution spatiale de la pente, exprimée en %.

On constate que la surface de pente inférieure à 1% ne représente qu'une très faible part de la superficie totale du département. Le relief est uniformément accidenté ce qui le rend difficile d'accès par voie terrestre.

Par ailleurs, sachant qu'au-delà de 1% l'écoulement des cours d'eau est de type torrentiel, cela montre qu'il y a peu de lieu où l'écoulement s'effectuera en régime fluvial c'est-à-dire avec des vitesses faibles (< 1 m/s).

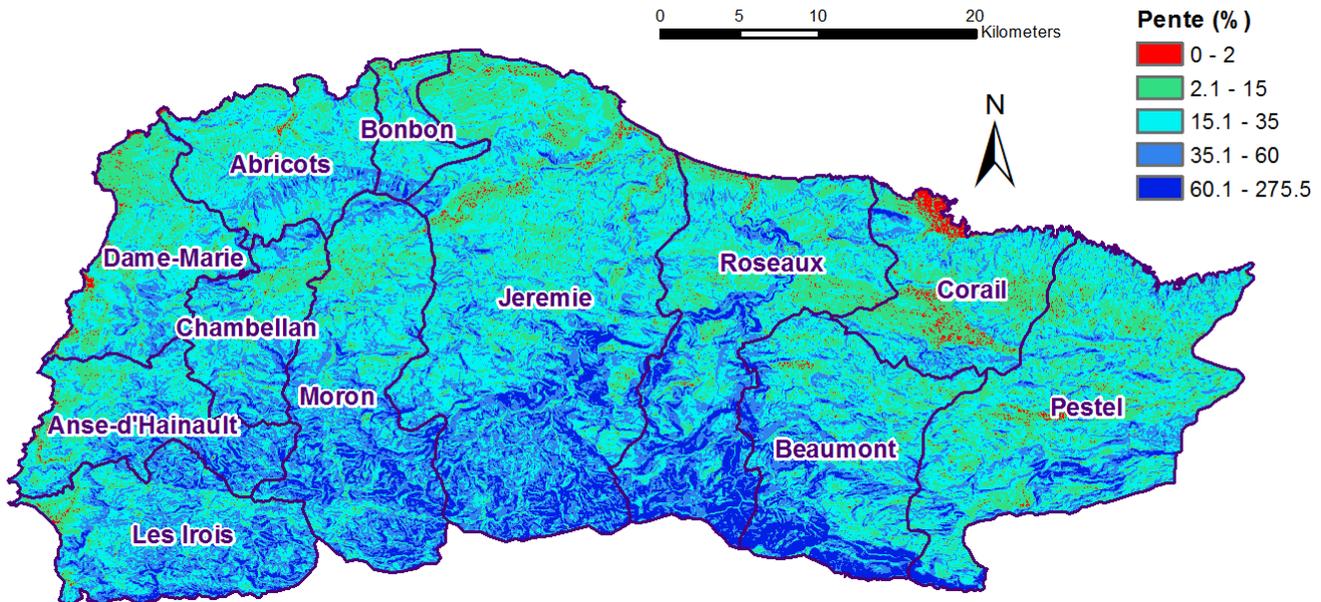


Figure 5 : Carte des pentes du relief

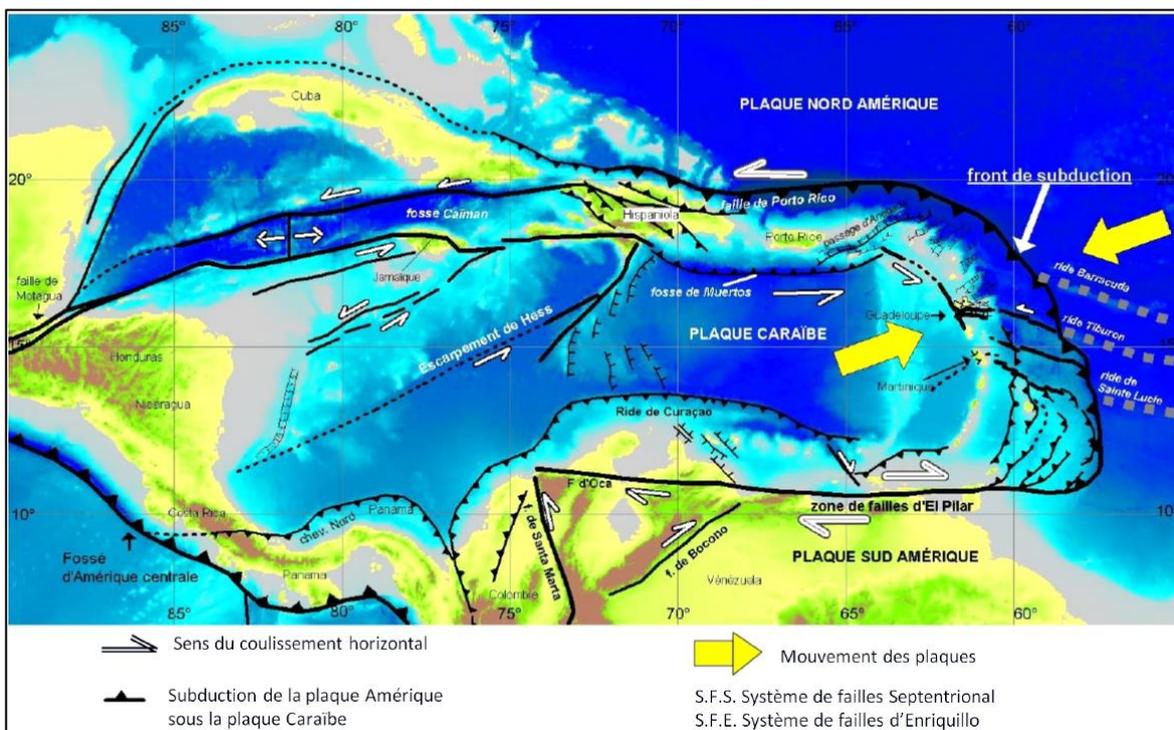
3.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET GEODYNAMIQUE

3.2.1. Généralités

Ce chapitre est en partie tiré de l' « Atlas des menaces naturelles en République d'Haïti », BRGM, CIAT, Banque Mondiale d'octobre 2015.

L'île d'Haïti est située sur la plaque tectonique Caraïbe. Cette plaque est

- limitée à l'est par la subduction de la lithosphère océanique atlantique sous les petites Antilles,
- limitée à l'ouest par la subduction de la lithosphère océanique du pacifique sous l'Amérique centrale, et à la limite de la plaque de Nazca, par la fosse de la Colombie.
- Limitée au sud par un système de failles décrochantes sénestres, et par les prismes d'accrétion du Panama et de la Colombie
- Limitée au Nord par un système décrochant sénestre.



L'île d'Haïti est située sur la frontière nord de la plaque Caraïbe, cisailée entre deux blocs rigides à convergence oblique d'une vitesse de 2 cm par an : le bloc Bahamas sur la plaque nord-américaine, et la ride Beata sur la plaque Caraïbe. Du fait de cette convergence oblique, la déformation est partitionnée entre décrochements sénestres tels que la faille septentrionale au nord d'Haïti (SF figure ci-dessous) et la faille Enriquillo Garden Fault Zone (EPGF) traversant la presqu'île du sud et des systèmes de plis et de chevauchements. Ces systèmes de plis et de chevauchements sont caractérisés par la présence de dépressions (plaine du Cul-de-sac), et de reliefs montagneux tels que le massif des Matheux juste au nord de cette plaine, et au sud les massifs de la Selle et de la Hotte sur la presqu'île du Sud.

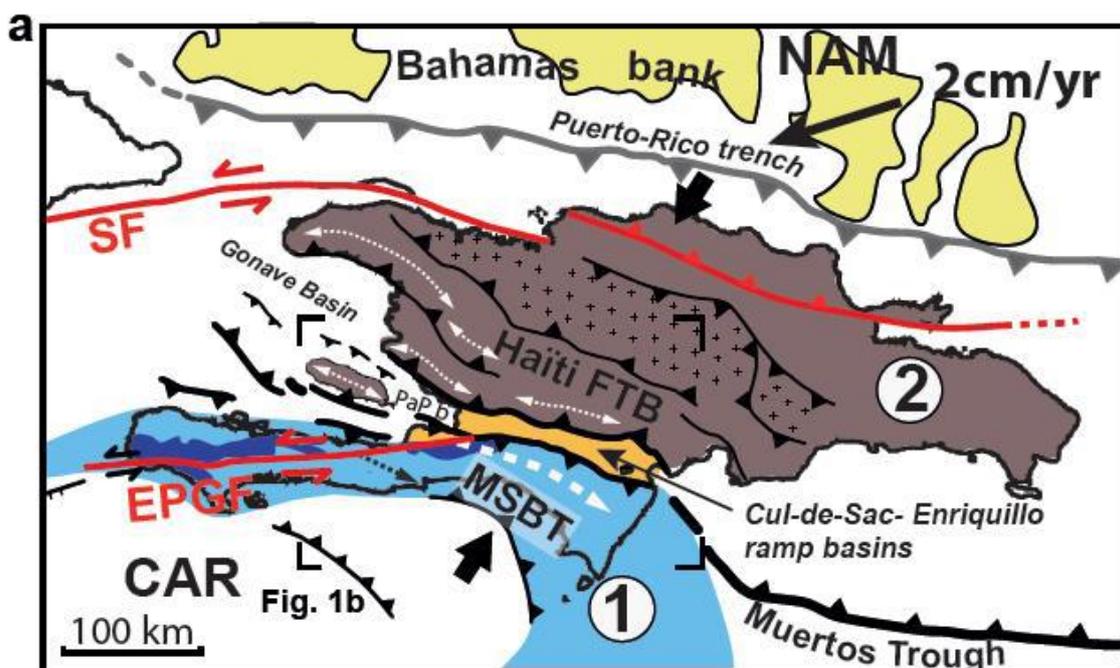


Figure 7 : Schéma structural de l'île d'Haïti, D'après Saint-Fleur et al., 2015

La convergence absorbée par des chevauchements et des plis est active depuis le Miocène (Mann et al., 1995), et contrôle la formation des reliefs en Haïti, dont le plus haut est le Pic de la Selle dans la presqu'île du sud. Ce système s'étend vers l'ouest, formant l'île de Gonâve, et vers l'ouest, avec la chaîne de Muertos (Granja Brūna et al., 2014). La faille EPGF est active seulement depuis le pliocène (Calais et Mercier de Lépinais, 1995), et de fait est plus récente que le système de chevauchements.

D'après la sismicité historique et instrumentale, l'activité sismique en Haïti est principalement localisée le long des failles décrochantes (Calais et al., 2010), figure ci-dessous.

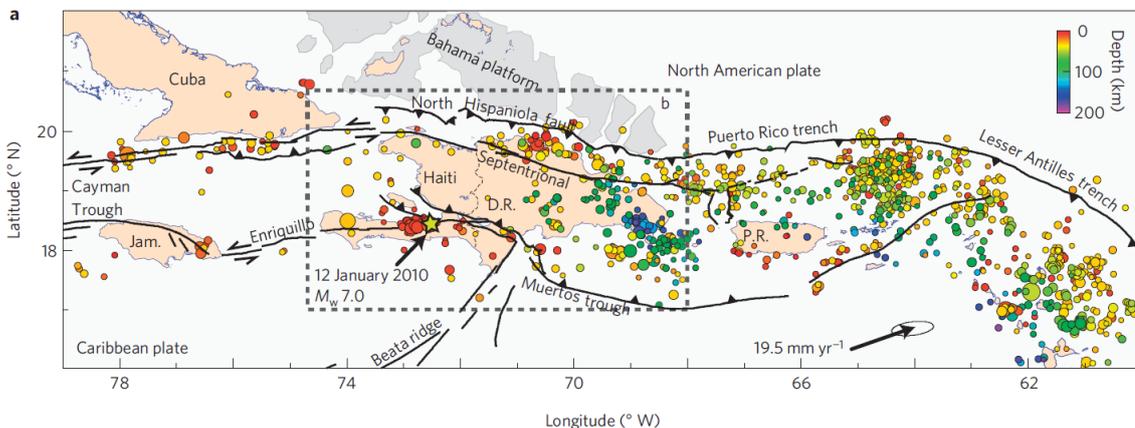


Figure 8 : Activité sismique - Calais et Al., 2010

Sismicité instrumentale (National Earthquake Information Center database, 1974–présent), et mouvement relatif à la plaque nord-américaine (flèche noire). Les limites de plaques sont représentées par les lignes noires.

En effet, la composante décrochante représente la majorité du mouvement de convergence entre les deux plaques. La faille septentrionale absorbe environ 10 mm/an de déplacement ; la faille d'Enriquillo absorbe 7 mm/an. Cependant, en 2010, le séisme majeur qui a touché l'île d'Haïti était localisé sur une faille chevauchante, en relais de la faille d'Enriquillo (figure ci-dessous). Cette localisation montre que la composante convergente est aussi accommodée par des failles dont le glissement a lieu de manière sismique.

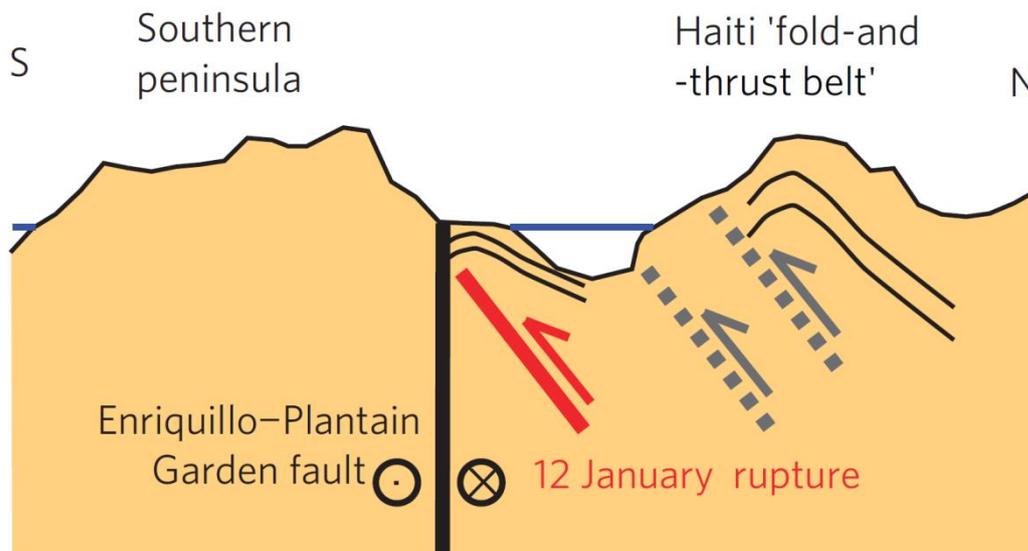


Figure 9 : Coupe interprétative du séisme de 2010, d'après Calais et al., 2010

La presqu'île sud-ouest est donc parcourue par des failles majeures actives longeant le massif de la Hotte par le sud.

Par ailleurs, une multitude de petites failles est décrite grâce aux données SIG issues de l'étude NATHAT (leurs tracés et descriptions seront reprises suite au travail de terrain à réaliser).

La carte suivante présente l'ensemble de ces données.

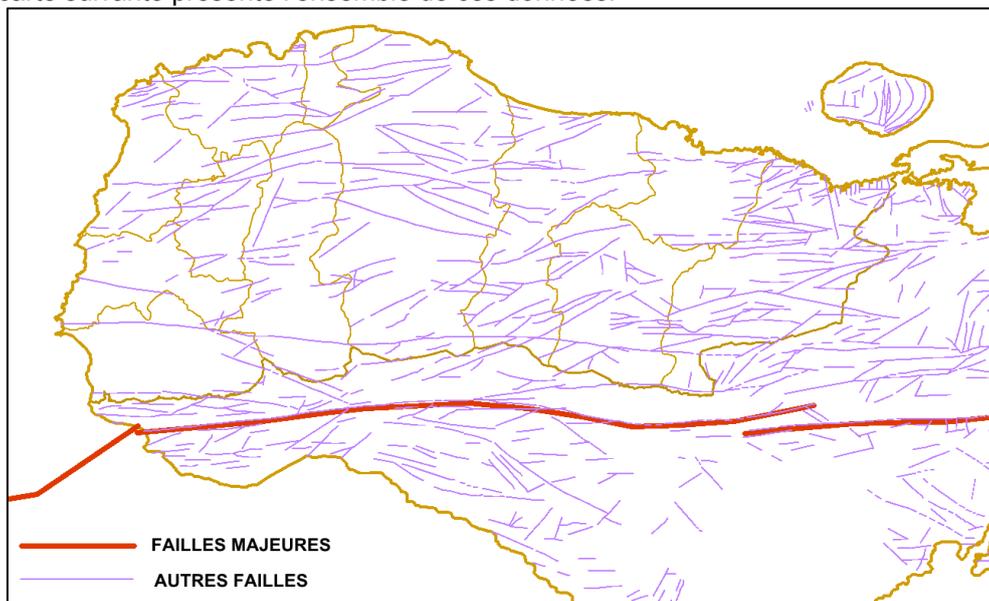


Figure 10 : Carte des failles répertoriées
dénommée EPGF (Enriquillo Plantain Garden Fault). Elle est responsable d'un séisme majeur sur le département en 1770.

3.2.2. Géologie de la zone d'étude

Sur le plan géologique, le département est dominé par deux formations principales :

- Les calcaires, d'âge mésozoïque à cénozoïque, d'origine et de natures diverses, en particulier : calcaire récifaux, calcaires du crétacé, calcaires crayeux ;
- Les roches volcaniques (basaltes) qui représentent environ 15% du sous-sol du département et que l'on rencontre principalement à l'ouest du département.

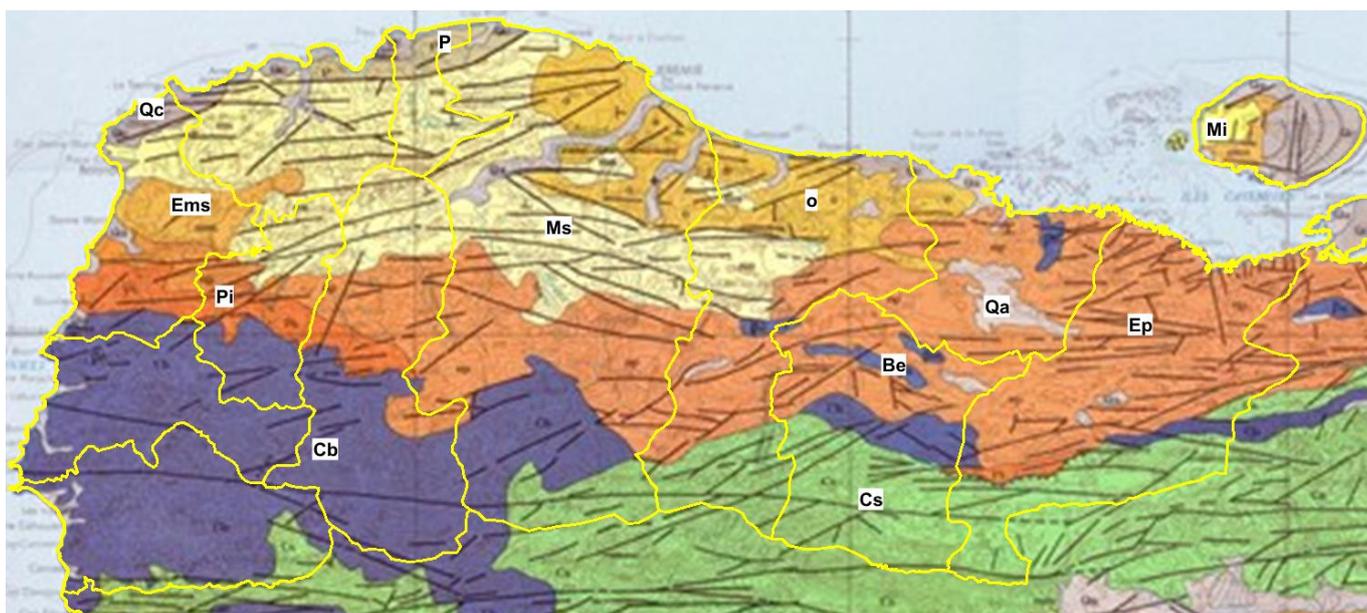


Figure 11 : Géologie du département de Grande Anse (source LNBTP)

Couleur	Code	Nature du terrain
	Qa	Alluvions, éboulis, mangroves
	Qc	Calcaires récifaux, terrasses d'abrasion marine
	P	Marnes et sables
	Ms	Marnes à Orbulines; marnes et sables du Plateau Central et du Bassin de Gros Morne
	Mi	Flysch - grès calcaireux
	o	Craies et calcaires marneux
	Ems	Calcaires - Biomicrites pélagiques
	Ep	Marnes, grès et calcaires marneux
	Pi	Roches volcano détritiques du Massif de la Hotte - calcaires pélagiques de la Presqu'île du Sud
	Cs	Calcaires pélagiques
	Be	Basaltes à dacites
	Cb	Complexe tholéïtique (basaltes) et sédimentaire

On trouve localement des niveaux de Marnes (nord du département), et les terrasses récifales du bord de mer mises à l'affleurement du fait de la tectonique locale.

Les vallées sont remplies de dépôts quaternaires de type alluviaux, avec formations de terrasses ou remplissage de vallées de type poljés dans les zones karstiques du nord est du département

La nature des différentes roches rencontrées dans le département de la grande Anse implique des phénomènes de mouvements de terrain différents en fonction de la nature des roches.

- Les massifs calcaires sont fortement fracturés, favorisant la chute de blocs en provenance des reliefs. Le climat Haïtien entraîne une dissolution importante des roches calcaires, ce qui implique des risques d'effondrement importants et favorise les chutes de blocs. L'altération du calcaire en argile peut entraîner des remplissages de cavités par les argiles, et des glissements de terrain d'ampleur variables. Des phénomènes de ravinement avec transport solide important sont observés dans ces faciès, sur les fortes pentes.
- Les formations d'origine volcanique sont très sensibles à l'altération. Cette altération conduit à la production d'altérites susceptibles de produire des glissements de terrain sur les zones de pentes marquées.
- Les marnes, rencontrées dans la partie nord du département, ont déjà produit des glissements de terrain. Ce risque reste marqué dans les zones de fortes pentes, notamment près des rivages.
- Les terrasses récifales sont peu consolidées, et forment des reliefs marqués dans le paysage. Leur altération et fracturation peuvent conduire à des chutes de blocs.

3.3. CONTEXTE CLIMATIQUE

3.3.1. Le Climat

3.3.1.1. CLIMAT GENERAL DE HAÏTI

Haïti est situé dans la Région Subtropicale Basse (18 - 20 degrés de latitude nord), avec une température annuelle moyenne de 25°C, valeur qui peut s'abaisser à 15°C dans les zones les plus élevées du pays et atteindre 35°C dans les régions les plus chaudes. Dans les plaines, il fait constamment chaud avec une température de 15 à 25°C à l'ombre durant les mois d'hiver et de 25 à 35°C pendant l'été. L'écart entre les températures diurnes et nocturnes est nettement plus important que la différence entre la température moyenne des mois les plus et les moins chauds.

La pluviométrie moyenne annuelle est de 1 400 mm mais présente des variations importantes, de près de 4 000 mm dans les zones d'altitude les plus arrosées à moins de 350 mm dans les plaines semi-arides. Les précipitations présentent une grande variabilité selon la période de l'année.

On enregistre entre une à trois saisons pluvieuses (zones de montagnes) chaque année dans les différentes régions du pays.

Le régime des précipitations est étroitement lié à celui des vents et varie également avec l'altitude.

Le climat d'Haïti est principalement influencé par l'anticyclone des Açores. Cet anticyclone émet en permanence vers les basses pressions intertropicales, les alizés de direction ENE-WSW ou NE-SW entre décembre et mars et E-W entre avril et novembre. Il faut aussi mentionner un anticyclone saisonnier, centré sur les Rocheuses et les plaines centrales nord-américaines, qui envoie pendant l'hiver boréal vers la région du Golfe du Mexique, l'Amérique Centrale et les Antilles, un flux frais N-S, connu sous le nom de Nordé en Haïti. La succession des chaînes de montagnes et des bassins exerce sur le climat des effets importants: les versants exposés "au vent" sont les plus pluvieux et les versants "sous le vent" représentent les zones les plus sèches.¹

3.3.1.2. CLIMAT DU SECTEUR D'ETUDE

Les forts reliefs permettent d'atteindre des températures plus clémentes dès que l'on monte en altitude, le littoral étant généralement chaud.

Du fait de sa position, le département est soumis principalement aux alizés et au Nordé.

Les alizés, de direction Sud-Est – Nord-Ouest, soufflent pendant presque toute l'année.

Le Nordé permet d'induire des pluies durant l'hiver (décembre à février).

On pourrait également y ajouter les perturbations de Sud-Ouest.

¹ TECSULT, 2007, Etudes de protection de la vallée de l'Artibonite contre les inondations – Rapport diagnostic – Partie 1. Programme d'Intensification Agricole de la vallée de l'Artibonite. Haïti. MARNDR, BID

3.3.2. Les cyclones

3.3.2.1. EN GENERAL SUR HAÏTI

Le pays se trouve au milieu de la ceinture des cyclones (cf figure ci-après) et est sujet à de sévères intempéries de juin à octobre (voire novembre) génératrices d'inondations.

La plupart des tempêtes, cyclones ou ouragans frappant Haïti, prennent naissance au large des côtes africaines et, en traversant l'Atlantique, ont pris de la vitesse. Ils sont passés de l'onde tropicale à la dépression, puis à la tempête tropicale, et enfin au cyclone (appelé aussi ouragan lorsqu'il se produit sur l'Atlantique ou le Pacifique Nord-Est).

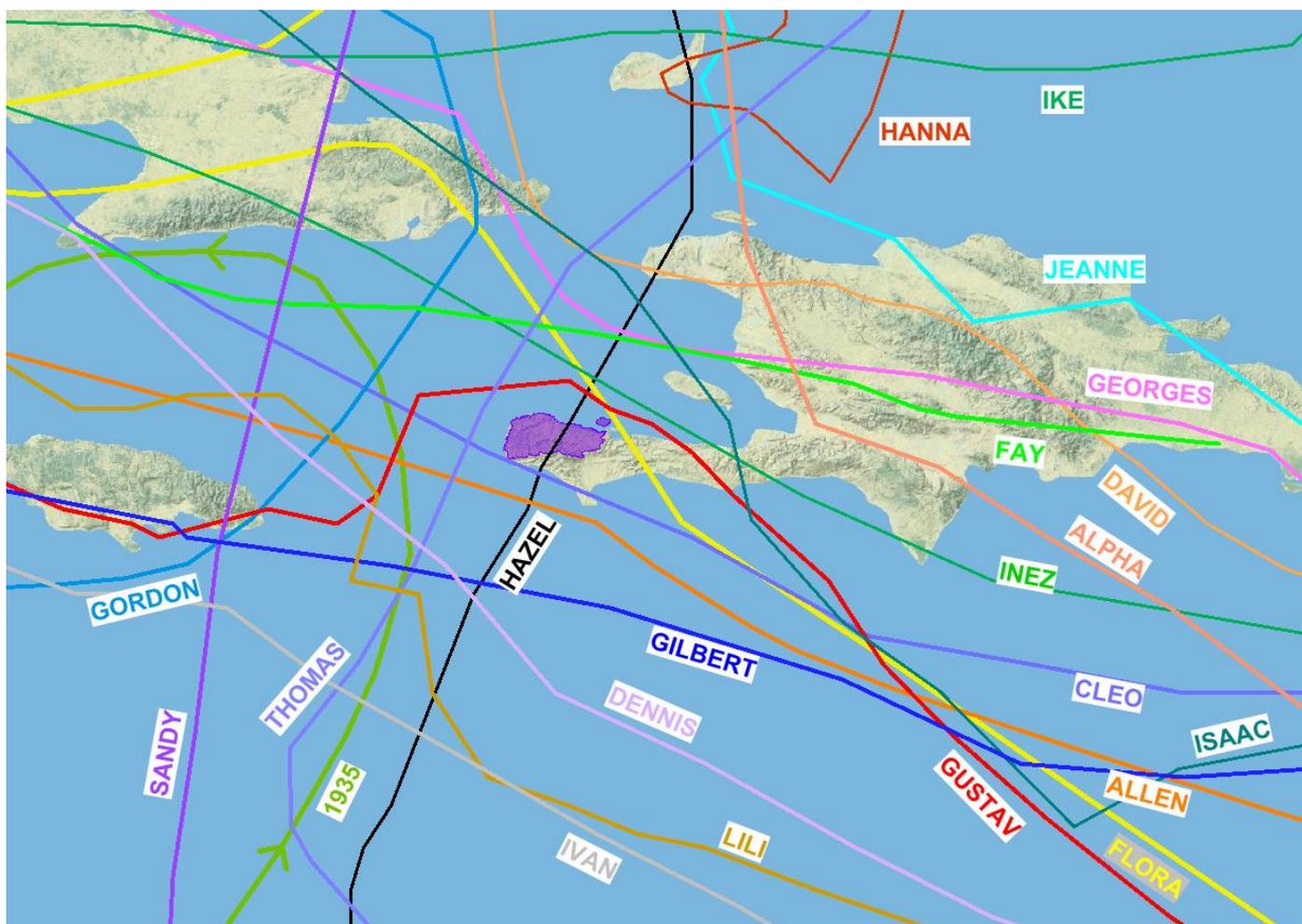


Figure 12 : Trajectoires des cyclones plus ou moins récents

Les trajectoires des cyclones ont été déduites en premier lieu des cartes du Centre National Haïtien de Météorologie que nous avons géoréférencées avant d'en saisir la trajectoire. Nous avons modifié ultérieurement certaines trajectoires (Hazel en particulier) à partir de la base de données du National Hurricane Center (<http://www.nhc.noaa.gov/>).

Nous avons effectué une synthèse des informations extraites des documents compilés et analysés.

Les origines principales sont les suivantes :

- OXFAM : étude intitulée « Cartes et étude de risques, de la vulnérabilité et des capacités de réponse en Haïti » et réalisée principalement par Philippe Mathieu, Jean-Arsène Constant, Josué Noël et Boby Piard (GRD, 2002).
- Le rapport gouvernemental d'évaluation des besoins après les désastres liés aux cyclones Fay, Gustav, Hanna et Ike (2008)
- Le programme d'urgence post-Sandy établi par le gouvernement et daté de mai 2013.
- Le site internet haïtien <http://www.haiti-reference.com/>
- WIKIPEDIA
- Le Centre National de Météorologie

Le tableau suivant récapitule ces informations.

DATE	NOM	Nature	Zone impactée	Nb morts	Remarques
18-19 septembre 1816		Cyclone	Département de l'Ouest et dans le golfe de la Gonâve		
12 au 19 août 1831		Pluies torrentielles	Les Cayes	des centaines	
12 novembre 1909		Cyclone	Départ. De l'Ouest - plaine du Cul de Sac	150	
12-13 août 1915		Cyclone	Jacmel, Les Cayes, Les Côteaux, Aquin, Jérémie	1600	
21 octobre 1935		Cyclone	Sud et Sud-Est	2150	
12 et 13 octobre 1954	HAZEL	Cyclone	Tout le pays	410 ? Des milliers selon Wikipedia	
4 octobre 1963	FLORA	Cyclone	Départements du Sud et de l'Ouest	5000	
24 août 1964	CLEO	Cyclone	Région des Cayes	192	
29 septembre 1966	INEZ	Cyclone	Régions Sud et Ouest	480	ESC : 58 mm CNIGS : 138 mm LDL : 225 mm
20 mai 1972	inondations	Pluies torrentielles	Région des Cayes	20	
1er septembre 1979	DAVID	Cyclone			
5 août 1980	ALLEN	Cyclone	Côte Sud et région des Cayes	200	
1er juin 1986	inondations	Pluies torrentielles	Région des Cayes		
8 mai 1987	inondations	Pluies torrentielles	Thiotte		
11 septembre 1988	GILBERT	Cyclone	régions d'Anse-à-Veau, Camp-Perrin, Cavaillon, Les Cayes, Ile-a-Vache, Jacmel, Jérémie , Kenscoff et Port-Salut.	30	
12-13 novembre 1994	GORDON	Cyclone	Le département du Sud-Est et la péninsule du Sud	1122	
23 septembre 1998	GEORGES	Cyclone	Régions du Sud-Est et du Nord-Ouest	242	
24-27 septembre 2002	LILI		Péninsule du Sud . La ville de Camp Perrin et les localités d'Asile et d'Anse-à-Veau	31	
23-24 mai 2004	inondations	Pluies torrentielles	partie sud-est d'Haïti : Mapou, Belle-Anse, Bodary, Fonds-Verrettes	1232	
10 septembre 2004	IVAN	Cyclone	Péninsule du Sud et la côte Ouest (pas de plein fouet)	3	
18-19 septembre 2004	JEANNE	Cyclone	Bande septentrionale d'Haïti et le Haut Artibonite	1870	
DATE	NOM	Nature	Zone impactée	Nb morts	Remarques
6-7 juillet 2005	DENNIS		Région du Sud-Est (Bainet, Grand-Goave, Les Cayes...)		
4 octobre 2005	inondations	Pluies torrentielles	Département de l'Ouest		
17-18 octobre 2005	WILMA	Cyclone	Ouest et Sud	7 à 10	

22 octobre 2005	ALPHA	Tempête tropicale	Presqu'île du Sud dont les départements de la Grande Anse et de Nippes		
22-23 novembre 2006	inondations	Fortes pluies	Grand'Anse, le département des Nippes et le Nord-Ouest		
17 mars 2007	inondations	Fortes pluies	6 départements		
8-9 mai 2007	inondations	Pluies torrentielles	Départements du Nord, du Nord-Est et du Sud		
Août 2007	DEAN	Tempête tropicale			
27-28 octobre 2007		Fortes pluies			
Nov. 2007	NOEL	Tempête tropicale			
Début Déc.2007	OLGA				Seule la queue touche Haïti
16 août 2008	FAY	Tempête tropicale	Traverse tout le pays	10	Elle a traversé le pays d'est en ouest, en passant par les départements du Centre et de l'Ouest
26 août 2008	GUSTAV	Cyclone	Presqu'île du Sud dont les départements du Sud et de Grande Anse	77	Il a traversé la péninsule du Grand Sud et sa côte nord, touchant les départements du Sud-Est, de l'Ouest, des Nippes, du Sud et de la Grande Anse
2 et 3 septembre 2008	HANNA	Cyclone (+ fort)	Départements de l'Artibonite et du Nord-Est		Il a entraîné d'énormes dommages aux Gonaïves, dans le département de l'Artibonite
6-8 septembre 2008	IKE	Cyclone	Départements du Nord, de l'Ouest et du Nord-Ouest		Il est passé au nord d'Haïti et a provoqué de fortes pluies partout dans le pays, et en particulier dans le département du Nord
4 novembre 2010	THOMAS	Cyclone	Départements formant la presqu'île du Sud	3	
24-25 août 2012	ISAAC	Cyclone	Départements du Sud-Est et de l'Ouest	26	
24-25 octobre 2012	SANDY	Cyclone	Départements de l'Ouest, du Sud et de la Grand'Anse	60 à 100	il a déversé en moins de 24 heures plus de 50 cm de pluie sur Haïti.

Tableau 4 : Liste des cyclones

Les cases avec un fond coloré signalent les cyclones ayant touché le secteur d'étude.

A noter qu'avant 1950, le nom des ouragans était formé de l'année où la tempête survenait, suivie d'une lettre de l'alphabet (p. ex. : 1942A, 1942B, etc.). Ce n'est qu'après 1950 qu'un nom de personne, masculin ou féminin, leur fût attribué, facilitant ainsi la communication écrite ou parlée.

Les cyclones majeurs ayant affecté Haïti sont donc les suivants :

Date	Nom	Zones touchées	Vitesse (km/h)	Morts	Sinistrés	Dégâts (1000 US\$)
12/08/1915		Presqu'île du Sud tout entier	76	1600		
1935		Sud, Sud-Est, Grand Anse		2150		
12/10/1954	Hazel	Sud, Gd Anse, PaP		410	250000	
03/10/1963	Flora	Sud, Sud-Est	240	5000		180000
24/08/1964	Cléo	Zone des Cayes, Camp-Perrin, Arniquet	150	100	80000	10000
29/09/1966	Inez	Sud, Pap, de Marigot à Gd-Goave	120-190	480	67000	20000
13/11/1994	Gordon	Tout le territoire		1122		
22/09/1998	Georges	Tout le territoire		242	385000	80 à 180 000

Tableau 5 : Cyclones majeurs ayant affecté Haïti entre 1915 et 2015

3.3.2.2. LES CYCLONES SUR LE SECTEUR D'ETUDE

L'étude OXFAM de 2002 fournit également un tableau dénombrant les cyclones ayant affecté chaque département.

Fréquence des cyclones par département de 1954 à 2001		
Département	Nombre de cas / département	Fréquence (%)
Sud	16	59
Nord	7	26
Nord-Est	4	15
Nord-Ouest	7	26
Grande-Anse	12	44
Centre	3	11
Sud-Est	10	37
Ouest	8	30
Artibonite	3	11
Nombre total	27	

Tableau 6 : Fréquence des cyclones par département de 1954 à 2001

On constate que, de par leur position, les départements de Grande Anse et du Sud sont les plus touchés.

Le zoom sur la carte des trajectoires des cyclones (figure suivante) et le tableau récapitulatif montrent que ce sont les cyclones suivants qui ont été a priori les plus conséquents sur le secteur d'étude :

- Août 1915 (sans nom)
- Octobre 1935 (sans nom)
- Hazel – 12 et 13 octobre 1954
- Flora – 4 octobre 1963
- Inez – 29 septembre 1966
- Allen – 5 août 1980
- Gilbert – 11 septembre 1988
- Gordon – 12 et 13 novembre 1994
- Lili – 24-27 septembre 2002
- Ivan – 10 septembre 2004

- Fay – 16 août 2008
- Gustav – 26 août 2008
- Thomas – 4 novembre 2010
- Sandy – 24 et 25 octobre 2012

Les plus forts d'entre eux sont a priori, compte tenu du nombre de victimes, 1915, 1935, HAZEL, FLORA, GORDON et SANDY.

Les enquêtes d'ores et déjà effectuées confirment ce classement avec une mémoire très forte (soit directe soit par ouïe dire) concernant HAZEL.

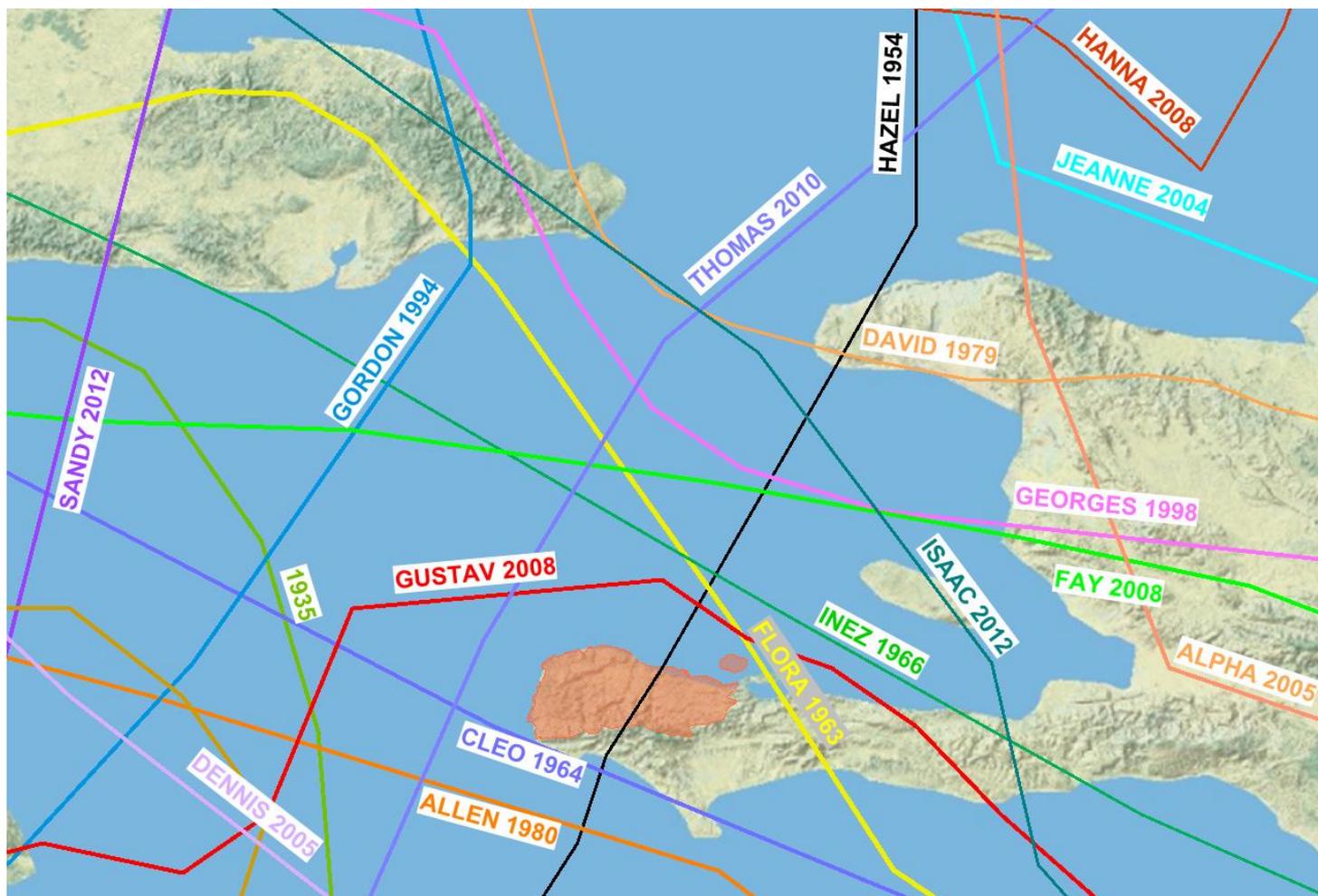


Figure 13 : Trajectoires des cyclones sur Haïti

3.3.3. Régime local des pluies

D'une façon générale, les précipitations sont fonctions de l'altitude, du relief et des vents².

Du fait de la proximité de l'océan, des températures et du relief, les vents véhiculent des masses d'air humide souvent à la limite de l'instabilité. Lorsqu'elles rencontrent un relief suffisamment élevé, ces masses d'air subissent un refroidissement par élévation, ce qui provoque des précipitations sur le versant au vent. A l'inverse, la descente de l'air sous le vent entraîne son réchauffement et donc la disparition rapide de la nébulosité et des précipitations, ce phénomène est connu principalement sous le nom d'effet de foehn. Les chaînes de montagnes du pays étant perpendiculaires à la direction des vents et ainsi les empêchent d'atteindre de la même manière toutes les régions : les versants exposés au vent et les sommets des massifs sont les plus

pluvieux; inversement, les versants sous le vent et les dépressions (vallées et bassins) représentent les zones les plus sèches.

3.3.3.1. PLUVIOMETRIE ANNUELLE

Trois sources de données nous ont permis d'analyser les pluies annuelles (et mensuelles) :

- Un mémoire de l'université du Québec datant de février 2006 ² et établi d'après la base de données des stations synoptiques mondiales de la FAO.
- Un tableau disponible dans les données relatives au NATHAT (2010) et fournissant les pluies moyennes mensuelles et annuelles entre 1953 et 1986.
- Les pluies moyennes calculées à partir des données pluviométriques fournies par le CNIGS et le MARNDR.

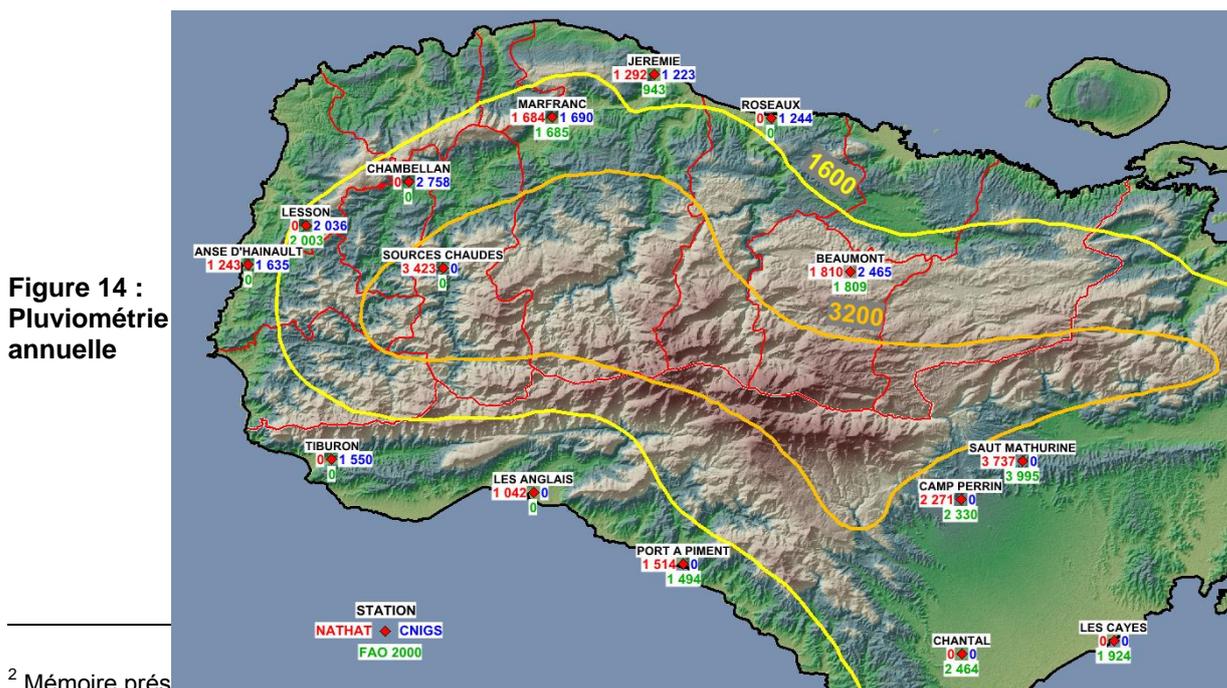
Le tableau suivant récapitule les données exploitées et les résultats obtenus.

STATION	DEPARTEMENT	DONNEES CNIGS + MARNDR			NATHAT 1953-1986 (34 ans)	FAO 2000
		Periode	Nb années	P moy. Annuelle	P moy. Annuelle	P moy. Annuelle
Anse d'Hainault	Grande Anse	1942-1994	15	1635	1243	-
Beaumont	Grande Anse	1943-1966	6	2465	1810	1809
Chambellan	Grande Anse	1964-1986	8	2758	-	-
Jeremie	Grande Anse	1906-1982	52	1223	1292	943
Lesson	Grande Anse	1957-1986	16	2036	-	2003
Marfranc	Grande Anse	1951-1990	18	1690	1684	1685
Roseaux	Grande Anse	1957-1988	9	1244	-	-
Sources Chaudes	Grande Anse				3423	-
Tiburon	Grande Anse	1977-1990	10	1550	-	-
Camp Perrin	Sud				2271	2330
Les Anglais	Sud				1042	-
Port-à-Piment	Sud				1514	1494
Saut Mathurine	Sud				3737	3995

Tableau 7 : Pluviométrie annuelle sur et aux alentours du département de Grande Anse

On constate quelques écarts selon les sources (Anse Hainault , Beaumont et Jérémie) qui sont probablement liés à la taille des échantillons et à la période de calcul de la moyenne annuelle.

Nous disposons également des isohyètes issues des données NATHAT. Leur report sur plan associé aux valeurs du tableau précédent conduit à la figure suivante.



² Mémoire prés intitulé « Etude du potentiel des eaux de surface à Haïti pour répondre aux problèmes de pénurie d'eau potable).

Le tracé de l'isohyète 3200 mm reste approximative (voir la station de Saut Mathurine) mais montre bien l'augmentation de pluviométrie sur les reliefs.

3.3.3.2. PLUVIOMETRIE MENSUELLE

Les figures suivantes présentent la distribution mensuelle des pluies aux différentes stations pour lesquelles nous avons disposé de données du CNIGS complétées par celles du MARNDR et purgées des années incomplètes.



On constate que mis à part pour Tiburon (situé sur la côte Sud), on distingue deux saisons pluvieuses d'Avril à Juin et d'octobre à janvier.

En fait ce sont trois saisons qu'on pourrait considérer dans la mesure où les fortes pluies d'hiver, liées au Nordé, frappent les côtes Nord de la presqu'île de Grande Anse et viennent prolonger la deuxième saison des pluies (de septembre à novembre).

3.3.4. Régime des pluies extrêmes

Les pluies extrêmes sont déterminées à partir des données de pluies journalières en considérant les maxima annuels (ou toutes les valeurs supérieures à un seuil lorsque l'on dispose de l'ensemble des pluies journalières en chaque station).

3.3.4.1. DONNEES

Les données proviennent du MARNDR. Elles ne concernent que les maxima annuels de pluie journalière.

Compte tenu de la faible taille des échantillons nous avons ajouté les données des stations de Camp-Perrin et Ridoré (à proximité de Jacmel) de façon à disposer de séries longues et bien analysées et situées pas trop loin de la zone d'étude.

Le tableau suivant récapitule les séries disponibles :

STATION	Periode	Nb années
Anse d'Hainault	1964-1993	19
Beaumont	1946-1997	17
Chambellan	1980-1986	7
Dame Marie	1977-1990	7
Jeremie	1960-1982	22
Lesson	1956-1966	11
Marfranc	1963-1987	12
Roseaux	1957-1988	8
Tiburon	1977-1990	8
Camp Perrin	1939-1997	58
Ridoré	1940-1988	47

Tableau 8 : Liste des stations traitées pour les pluies extrêmes

3.3.4.2. PRINCIPE DE L'ANALYSE

Elle est conduite sur le principe de la méthode SPEED (crues) mise au point et développée par ARTELIA (ex SOGREAH) depuis une vingtaine d'années.

Cette méthode a fait l'objet, depuis sa mise au point, de plusieurs publications dans la presse spécialisée dont deux récentes présentées lors de colloques hydrologiques de la SHF (Société Hydrotechnique de France), ces dernières années⁽³⁾. Le dernier article est paru dans le numéro d'octobre la revue La Houille Blanche.

⁽³⁾ Analyse probabiliste régionale de la pluviométrie extrême en France métropolitaine. Evénements extrêmes fluviaux et maritimes, SHF - Paris, 1-2 février 2012.

Estimation des débits extrêmes par une approche probabiliste : bilan de 20 ans d'expérience d'Artelia/Sogreah. Evénements extrêmes d'inondation, SHF - Lyon, 13-14 novembre 2013

Elle a également été confrontée aux différentes autres méthodes à l'occasion des études conduites dans le cadre du programme national de recherche EXTRAFL0⁽⁴⁾.

Enfin, elle est mentionnée dans la liste des méthodes exposée dans le guide intitulé « Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crue de barrages » du Comité Français des Barrages et Réservoirs (CFBR) de juin 2013.

Elle est fondée sur le fait que, si l'on fait l'hypothèse que les pluies suivent un processus de Poisson :

- ⇒ Les maxima annuels suivent une loi de Gumbel (à 2 paramètres : le pivot et la moyenne par exemple)
- ⇒ Les valeurs supérieures à un seuil suivent une loi exponentielle
- ⇒ On démontre que le pivot est lié au nombre moyen de perturbations qui génèrent les maxima annuels

Ce dernier point implique que le pivot est constant régionalement (par exemple, un régime d'Ouest ne touche pas une bande étroite de quelques kilomètres mais plutôt une bande de plusieurs dizaines de kilomètres – voire plusieurs centaines sur un continent).

Une analyse régionale (conduite sur un ensemble de pluviomètres d'une région donnée) doit donc permettre de déterminer le pivot propre à la région.

Il en découle une diminution de l'incertitude sur l'ajustement statistique des points de mesure de chaque station.

Lorsque les pluies ont plusieurs origines (flux d'ouest et flux de sud par exemple en France, les alizés et les cyclones en Haïti), il peut apparaître plusieurs pivots.

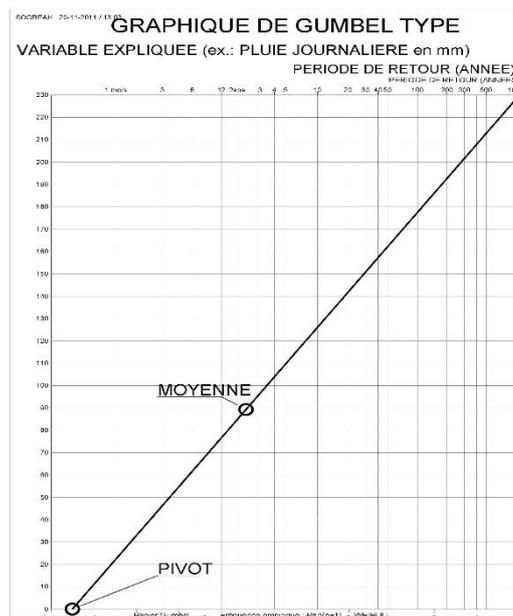


Figure 16 : ajustement type des pluies selon une loi de Gumbel

⁽⁴⁾ Inter-comparaison des méthodes probabilistes. Prédétermination des valeurs extrêmes de pluies et de crues (EXTRAFL0) – Projet ANR-08-Risk-03-01, Séminaire de restitution – Lyon, 15 novembre 2013

3.3.4.3. APPLICATION

Nous avons représenté sur la figure suivante l'ensemble des échantillons disponibles selon une loi de Gumbel (l'axe des abscisses correspond à la variable de Gumbel et est également gradué en période de retour).

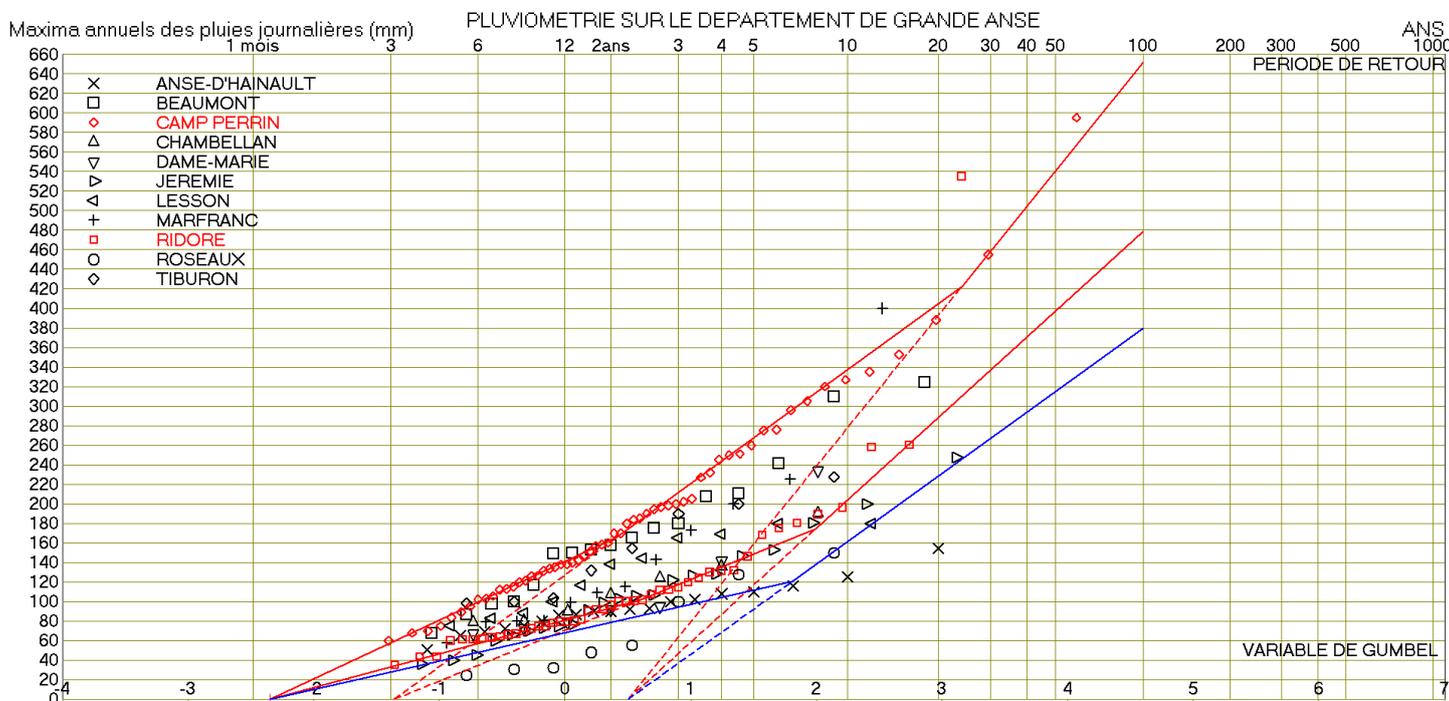


Figure 17 : Echantillon des maxima annuels des pluies sur graphique de Gumbel

Les études conduites dans le cadre de l'étude pilote sur Jacmel⁵ en 2015 ont permis de montrer l'existence de trois valeurs de pivot : -2.4, -1.4 et +0.5 que l'on peut associer aux trois types de temps décrits au paragraphe 3.3.1.2.

D'autres études, dont l'étude en cours sur l'Artibonite⁶ ont permis de confirmer que le pivot de +0.5 est associé aux cyclones.

On constate que les pluies sur le secteur d'étude sont sensiblement comprises entre les ajustements de Camp Perrin et de Ridoré.

A la rigueur, on pourrait envisager un ajustement limite inférieure correspondant à la ligne bleue.

Il faut cependant tenir compte de la faible taille des échantillons ce qui peut conduire à une position erronée des valeurs les plus fortes du fait du hasard de l'échantillonnage. Par exemple, la plus forte valeur de notre échantillon sur 20 ans à Anse d'Hainault pourrait avoir une période de retour de 10 ans seulement ce qui placerait le point associé sur la ligne bleue.

On notera que la station de Beaumont (carrés noirs), située en altitude, est assez comparable à celle de Camp Perrin.

On peut donc retenir les intervalles suivants pour les pluies caractéristiques sur le bassin :

⁵ Etude pilote de dangers et risques naturels au niveau d'une zone test du département du Sud-Est pour l'implémentation d'une méthodologie d'analyse multirisque et le transfert de compétences à des professionnels nationaux – Rapports n°8410903 de juin 2015

⁶ Etude sur les risques naturels dans la boucle Centre-Artibonite et production de cartographie des risques pour les communes de Hinche, Mirebalais, Saut d'Eau, Titanyen et St-Michel-de-l'Attalaye – Rapports 8410954 de 2016.

Période de retour (ans)	10	30	100
Valeur minimale	160	270	380
Valeur moyenne	250	365	515
Valeur maximale	340	460	650

Tableau 9 : Valeurs caractéristiques des pluies journalières

3.3.5. L'hydrographie

Du fait de son relief, le département de Grande Anse est principalement drainé par trois rivières qui sont :

- La rivière de la Grande Anse
- La rivière de Voldroque
- La rivière des Roseaux

Les autres cours d'eau sont très courts et descendent des reliefs bordant le littoral.

Il faut noter, sur la commune de Pestel, la rivière Glace qui ne débouche pas sur le littoral mais sur un bassin endoréique (précisément : qui ne débouche pas).

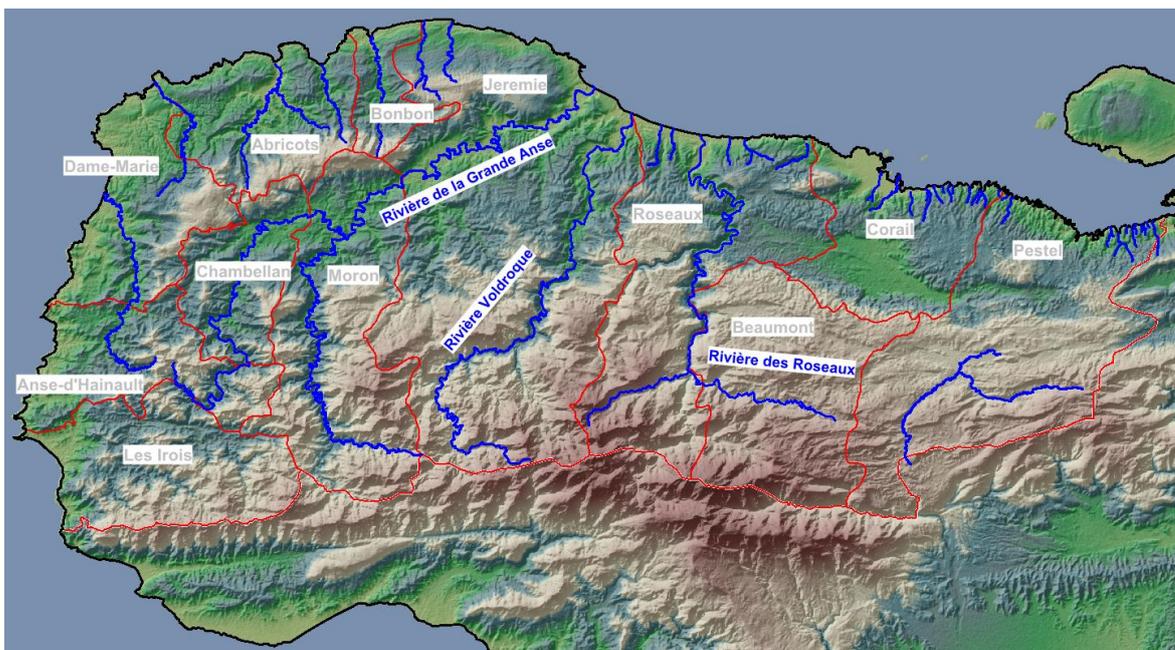


Figure 18 : Réseau hydrographique et relief de Grande Anse

3.4. LES TSUNAMIS

3.4.1. Description

Un tsunami est un raz de marée qui déferle sur le rivage et dont la cause est, en général :

- un tremblement de terre,
- une éruption volcanique,
- un glissement sous-marin,

En Haïti, ce sont principalement les séismes qui peuvent provoquer des Tsunamis.

Pour qu'un tremblement de terre induise un Tsunami, il faut que sa magnitude dépasse 6,3⁷.

Un Tsunami est une série de vagues qui déferlent toutes les 10 à 60 mn, la première vague n'étant pas la plus dangereuse.

Outre le danger que présente le déferlement d'une énorme quantité d'eau sur une hauteur importante, les vagues occasionnées par le Tsunami peuvent provoquer des dégâts du fait de la projection de débris flottants qui se transforment en projectiles, du fait de la ruine de certains ouvrages (ponts, digues, quais...).

3.4.2. Occurrences

La zone de subduction sur laquelle les Grandes Antilles sont situées est notoirement connue pour avoir produit des séismes tsunamigènes de grande magnitude. D'autres mouvements de la croûte terrestre peuvent également produire des phénomènes intenses. Tel fut le cas le 12 janvier 2010 avec le tremblement de terre de magnitude Mw = 7.0 qui s'est produit dans l'un des segments de la faille d'Enriquillo en Haïti. Ce tremblement de terre a généré une vague de Tsunami de 2-3 mètres sur les côtes de Port-au-Prince.

Avec l'événement de 2010, on dénombre 10 tsunamis enregistrés sur l'île d'Hispaniola depuis 1752, à raison de trois par siècle.

Date	Magnitude	Pays touché
18 octobre 1751		Rép. Dominicaine
3 juin 1770	7.5	Haïti
11 février 1775		Haïti
7 mai 1842	8.1	Haïti et Rep. Dom.
8 avril 1860	7.5	Haïti
23 septembre 1887		Haïti
4 août 1946		Rép. Dominicaine
8 août 1946		Rép. Dominicaine
31 mai 1953		Rép. Dominicaine
12 janvier 2010		Haïti

Tableau 10 : Liste des Tsunamis ayant touché l'île Hispanolia

⁷ Pr Narcise Zahibo, Laboratoire de Recherche en Géosciences et Energies. Etudes conduites pour le Nathat (Analysis of Multiple Natural Hazards in Haiti) – Document Tsunami (general), la menace oubliée 2010.pptx

La carte suivante, extraite de l'atlas des menaces naturelles produit par le BRGM et le CIAT en 2015, montre que la commune de Jérémie a été touchée par deux tsunamis : 1842 et 1887.

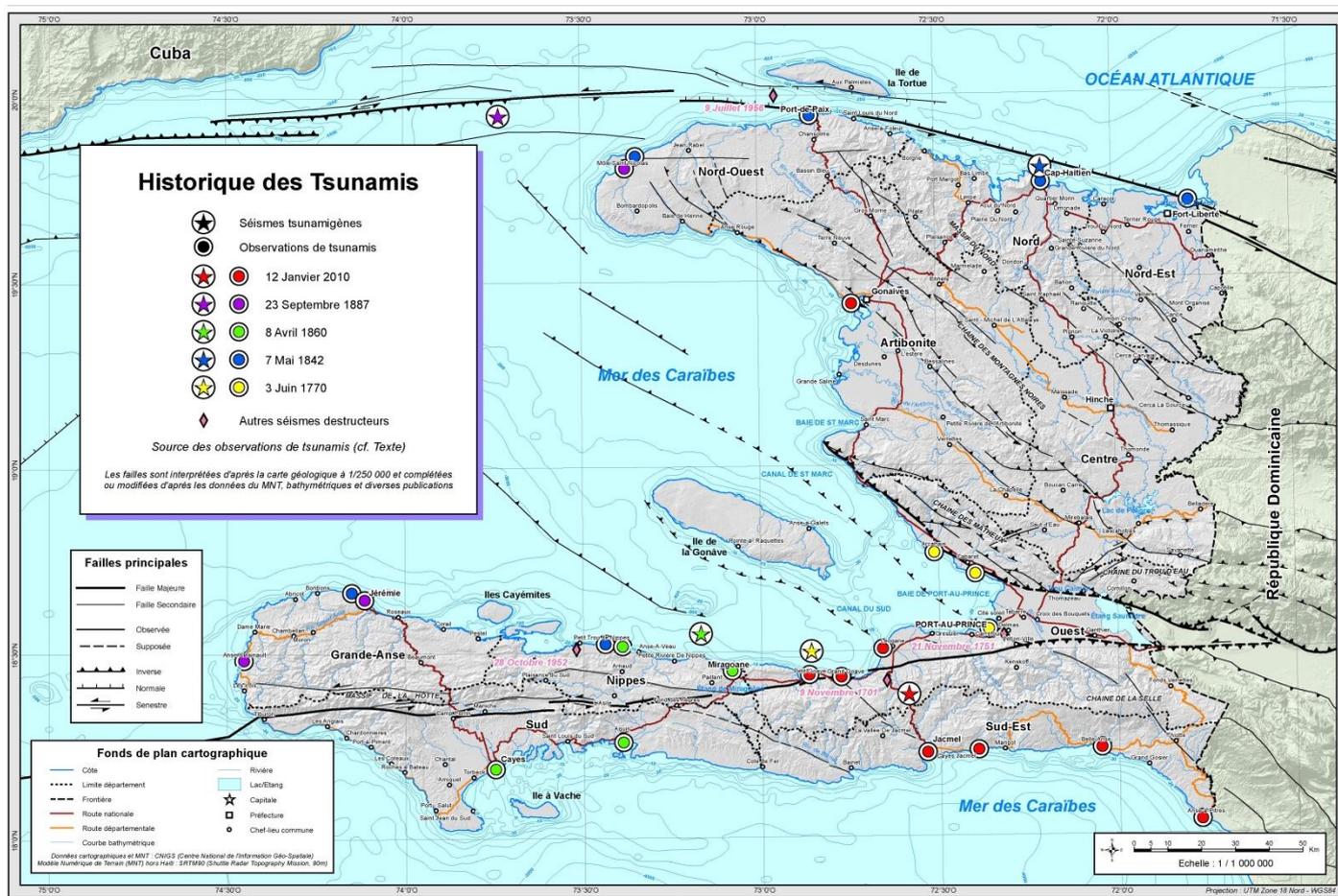


Figure 19 : Historique des tsunamis en Haïti

Tous les Tsunamis ne génèrent pas les mêmes effets. Cela dépend, entre autre, de la magnitude et de l'intensité du séisme générateur. Celui de 2010 est à l'origine de trois morts⁸ alors que celui de 1842 a provoqué 300 morts¹.

Par un raisonnement purement statistique, on peut penser que l'occurrence des submersions liées aux Tsunamis est beaucoup plus faible que celle associée aux cyclones.

3.5. LES RAZ-DE-MAREE AUTRES

3.5.1. Description

Les submersions marines non liées à un tsunami sont d'origine météorologique (passage dépressionnaire ou cyclonique).

Le phénomène de submersion marine comporte plusieurs composantes dont les effets se cumulent en se rapprochant des côtes :

⁸ Hermann Fritz, revue Nature, 25 Février 2010

- Les conditions météorologiques : la pression atmosphérique et le vent génèrent **une surcote atmosphérique** lors du passage d'un système dépressionnaire (cyclone ou tempête tropicale). La **chute de pression atmosphérique entraîne une surélévation du niveau du plan d'eau**. La perte de 20 hPa (20 millibars) équivaut à une élévation de 20 cm du plan d'eau. Ainsi, les grandes dépressions peuvent engendrer des surcotes marines de 1 à 2m.
- **Il s'ajoute à cette surcote l'effet du vent** lorsqu'il pousse les masses d'eaux à la côte, en particulier lors de configuration particulière du littoral. Il est important de noter que ces effets, souvent sous-estimés, peuvent être particulièrement intense dans les baies et estuaires selon la configuration du site et de l'évènement météorologique. Quand ce phénomène se produit, il s'amplifie dans le fond de baies et estuaires là ou souvent se situent les zones urbaines et est dénommé gonflement. Ce gonflement peut atteindre 1m et plus notamment avec un ouragan.
- Enfin **les effets liés à la houle** et à son déferlement à la cote dans un contexte cyclonique sont eux aussi particulièrement forts et peuvent engendrer des surcotes (Set-up) qui s'ajoutent.

Au final en condition cyclonique, la submersion peut atteindre 3 à 4m, inondant les plaines basses comme un tsunami.

3.5.2. Occurrences

Dans le cadre des études conduites dans le contexte du NATHAT 1, une évaluation de la menace due aux perturbations atmosphériques a été entreprise pour les différentes côtes haïtiennes. Après une analyse statistique de toutes les perturbations atmosphériques qui, à cause de leurs trajectoires, se sont approchées voire ont touché l'île les quinze dernières années précédant le séisme (1995-2010), les scénarios développés ont permis d'analyser les hauteurs de propagation des raz-de-marée associés.

Les figures suivantes⁹ fournissent des hauteurs de houle et de raz-de-marée pour des périodes de retour 10 et 100 ans.

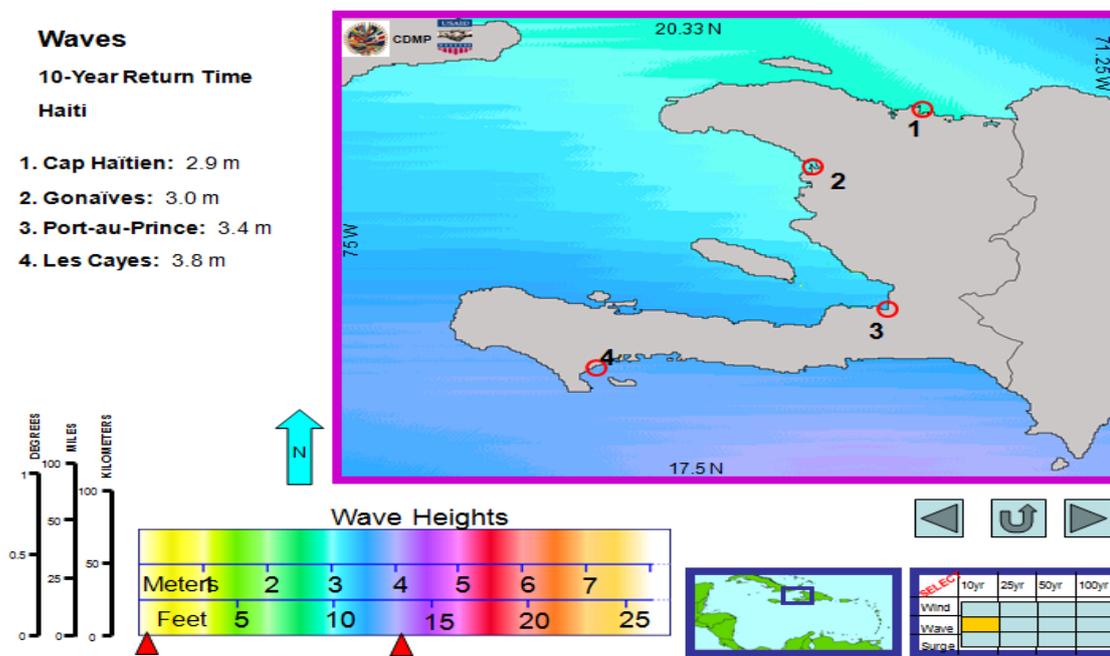


Figure 20 : Houles de tempête de période de retour 10 ans

⁹ Figures extraites du rapport NATHAT 1

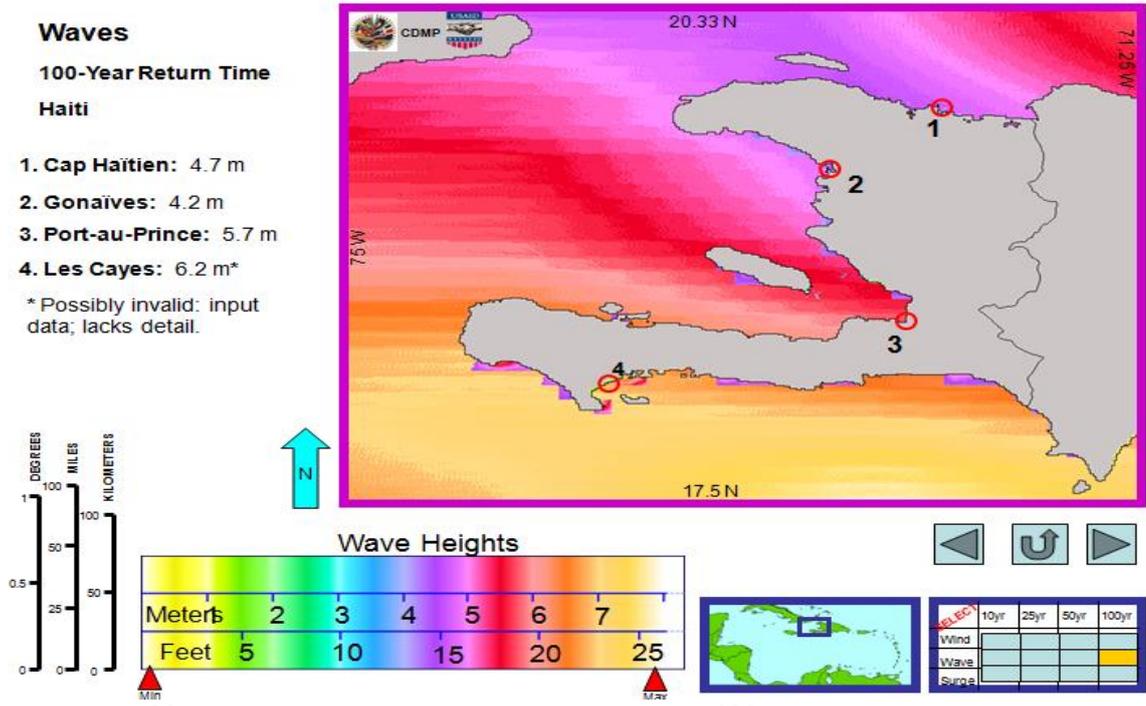


Figure 21 : Houles de tempête de période de retour 100 ans

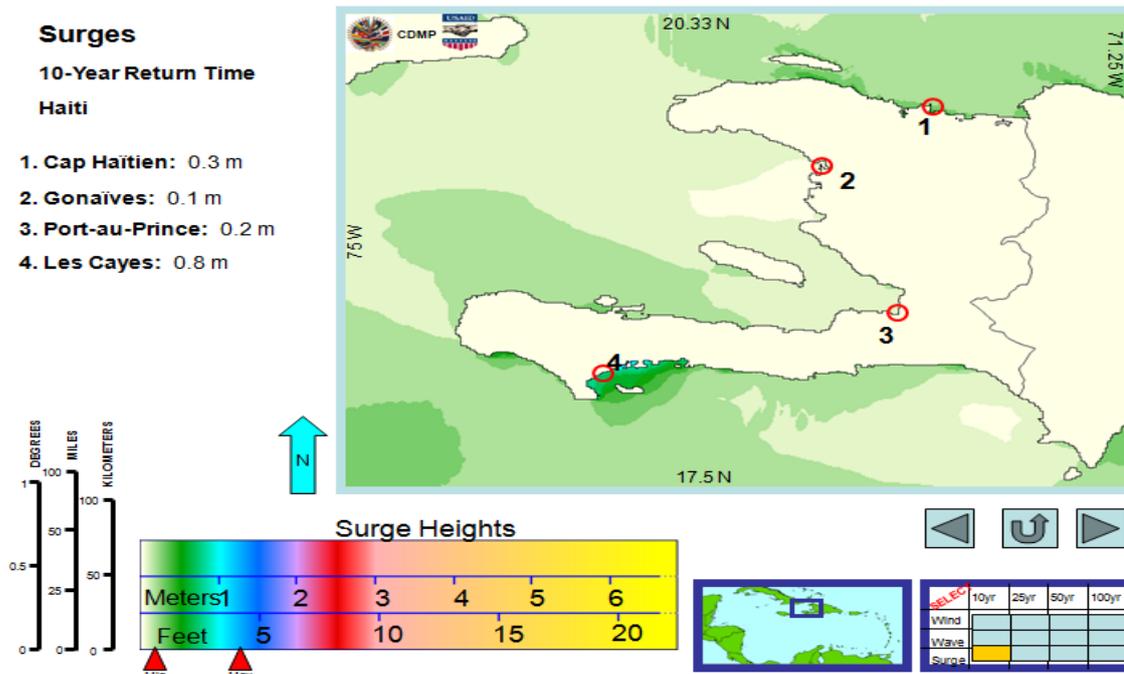


Figure 22 : Raz-de-marée de période de retour 10 ans

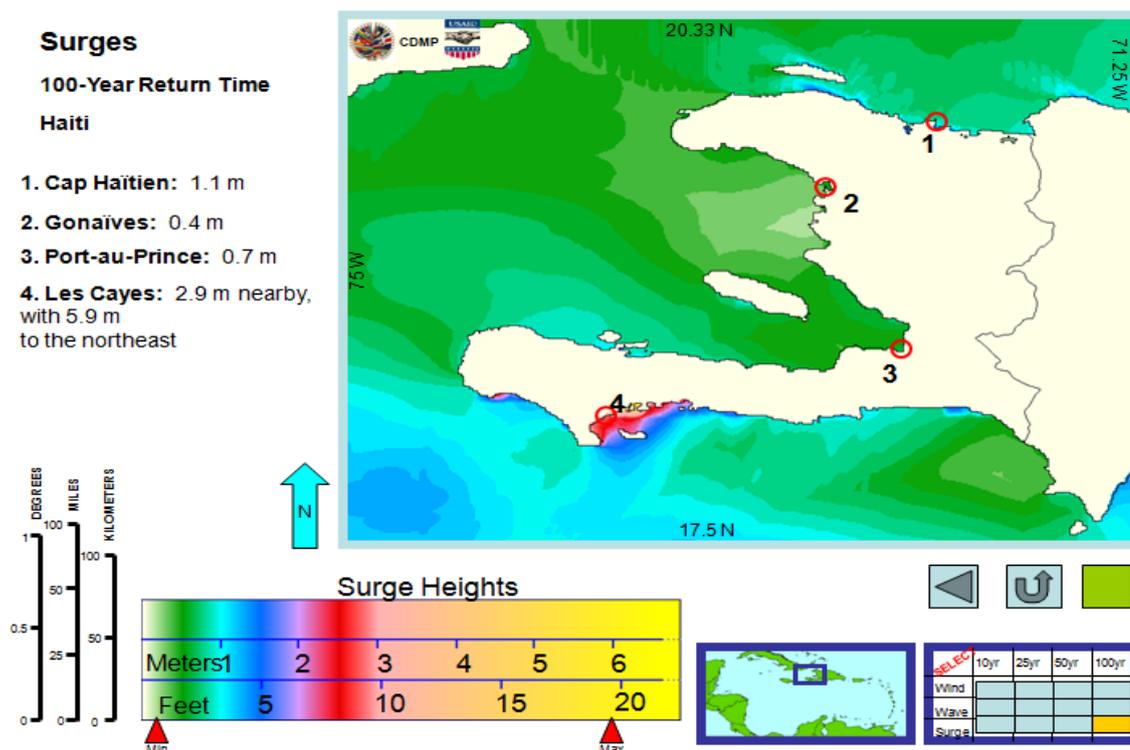


Figure 23 : Raz-de-marée de période de retour 100 ans

On peut en déduire les hauteurs caractéristiques suivantes sur le secteur d'étude :

- Houle décennale : environ 3.50 m
- Houle centennale : de 6.50 m sur la côte Nord à 7 m sur la côte Ouest
- Raz-de-marée décennal : < 30 cm
- Raz-de-marée centennal : 80 cm sur la côte Ouest et 1 m sur la côte Nord

PARTIE 2 :

**PRINCIPE ET RESULTATS DE LA
CARTOGRAPHIE MULTIRISQUES**

SOMMAIRE

1.	Objets de l'étude et du présent rapport	2
1.1.	CONTEXTE DE LA MISSION	2
1.2.	OBJECTIFS DE LA MISSION	3
1.3.	OBJET DU PRÉSENT RAPPORT	4
2.	Méthodologie suivie pour chacun des aléas	5
2.1.	LA CONCERTATION	5
2.1.1.	CONTACTS PRÉLIMINAIRES AVEC LES COMMUNES	5
2.1.2.	RECONNAISSANCES APPROFONDIES DE TERRAIN	5
2.1.3.	ENQUÊTES SUR LES ENJEUX	6
2.2.	ALÉA INONDATION	6
2.2.1.	ANALYSE HYDROLOGIQUE	6
2.2.2.	CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES	15
2.3.	ALEA SUBMERSION MARINE	19
2.3.1.	SUBMERSION MARINE D'ORIGINE CYCLONIQUE	19
2.3.2.	TSUNAMI	21
2.4.	ALÉA RUISSELLEMENT PLUVIAL	23
2.5.	ALÉA MOUVEMENTS DE TERRAIN	24
2.5.1.	ANALYSE DES DONNÉES DE L'ENQUÊTE	24
2.5.2.	CARTOGRAPHIE INFORMATIVE DES PHÉNOMÈNES NATURELS À RISQUES AU 1/100 000ÈME	24
2.5.3.	ANALYSE DE L'ALÉA AU 1/10 000ÈME POUR LES PLAN DE RÉDUCTION DES RISQUES	25
2.6.	ALÉA SISMIQUE	26
3.	Synthèse des résultats	27
3.1.	ABRICOTS	27
3.1.1.	ALEA INONDATION	27
3.1.2.	ALEA SUBMERSION MARINE	27
3.1.3.	ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN	28
3.1.4.	ALEA SISMIQUE	29
3.2.	ANSE D'HAINAULT	30
3.2.1.	ALEA INONDATION	30
3.2.2.	ALEA SUBMERSION MARINE	30
3.2.3.	ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN	30
3.2.4.	ALEA SISMIQUE	31

3.3. BEAUMONT	32
3.3.1. ALEA INONDATION	32
3.3.2. ALEA SUBMERSION MARINE	32
3.3.3. ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN	32
3.3.4. ALEA SISMIQUE	33
3.4. BONBON	34
3.4.1. ALEA INONDATION	34
3.4.2. ALEA SUBMERSION MARINE	34
3.4.3. ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN	34
3.4.4. ALEA SISMIQUE	34
3.5. CHAMBELLAN	35
3.5.1. ALEA INONDATION	35
3.5.2. ALEA SUBMERSION MARINE	35
3.5.3. ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN	35
3.5.4. ALEA SISMIQUE	36
3.6. CORAIL	37
3.6.1. ALEA INONDATION	37
3.6.2. ALEA SUBMERSION MARINE	37
3.6.3. ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN	37
3.6.4. ALEA SISMIQUE	38
3.7. DAME-MARIE	39
3.7.1. ALEA INONDATION	39
3.7.2. ALEA SUBMERSION MARINE	39
3.7.3. ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN	39
3.7.4. ALEA SISMIQUE	42
3.8. JÉRÉMIE	43
3.8.1. ALEA INONDATION	43
3.8.2. ALEA SUBMERSION MARINE	43
3.8.3. ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN	44
3.8.4. ALEA SISMIQUE	45
3.9. LES IROIS	46
3.9.1. ALEA INONDATION	46
3.9.2. ALEA SUBMERSION MARINE	46
3.9.3. ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN	46
3.9.4. ALEA SISMIQUE	47
3.10. MORON	48
3.10.1. ALEA INONDATION	48
3.10.2. ALEA SUBMERSION MARINE	48
3.10.3. ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN	48
3.10.4. ALEA SISMIQUE	49
3.11. PESTEL	50
3.11.1. ALEA INONDATION	50

3.11.2.	ALEA SUBMERSION MARINE	50
3.11.3.	ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN	50
3.11.4.	ALÉA SISMIQUE	51
3.12.	ROSEAUX	52
3.12.1.	ALEA INONDATION	52
3.12.2.	ALEA SUBMERSION MARINE	52
3.12.3.	ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN	52
3.12.4.	ALEA SISMIQUE	53
4.	Analyse des enjeux urbanistiques	54
4.1.	OBJECTIF	54
4.2.	DÉFINITION DES ENJEUX	54
4.3.	MÉTHODOLOGIE SUIVIE POUR LA DÉTERMINATION DES ENJEUX	55
4.3.1.	DÉMARCHE PARTICIPATIVE	55
4.3.2.	RECONNAISSANCE DE TERRAIN	56
4.4.	ANALYSE DU TERRITOIRE	56
4.4.1.	FONCTIONNEMENT DU TERRITOIRE	56
4.4.2.	CONTEXTE SOCIO-ÉCONOMIQUE ET MODE D'OCCUPATION DES SOLS	58
4.4.3.	MODE D'OCCUPATION DES SOLS	60
4.5.	MÉTHODOLOGIE DE CLASSIFICATION DES ENJEUX	60
4.5.1.	CLASSIFICATION DES BÂTIMENTS	60
4.5.2.	DÉFINITION DE LA TYPOLOGIE ET DES SYSTÈMES CONSTRUCTIFS	61
4.5.3.	DATATION DU BÂTI	65
4.5.4.	DÉTERMINATION DE L'EXTENSION DES TACHES URBAINES AU FIL DU TEMPS	65
4.5.5.	CLASSEMENT DES SOLS EN SECTEURS HOMOGENES	66
4.6.	DESCRIPTIONS PAR COMMUNE	67
4.6.1.	LES ABRICOTS	67
4.6.2.	DAME-MARIE	67
4.6.3.	JÉRÉMIE	68
4.6.4.	MORON	69
4.6.5.	ROSEAUX	69
5.	Les PRRN	70
5.1.	CONTENU ET OBJECTIF D'UN PRRN	70
5.2.	LE ZONAGE	70
5.3.	RÈGLEMENTS	71
5.3.1.	OBJECTIFS ET PRINCIPE DE RÉDACTION	71
5.3.2.	QUELQUES DÉFINITIONS	72
5.3.3.	PRINCIPES GÉNÉRAUX DU ZONAGE RÉGLEMENTAIRE	75
5.4.	SOLUTIONS DE MITIGATION	83
5.4.1.	SOLUTIONS DE BASE HABITUELLES	83
5.4.2.	SOLUTIONS PLUS GÉNÉRALES	84

5.4.3. SOLUTIONS RÉDUISANT LA VULNÉRABILITÉ DES BÂTIS FACE AU VENT	84
A.16.4.5. BIBLIOGRAPHIE	1
DÉFINITIONS	3
SRTM3	
LIDAR (LASERSCAN)	3
COMPARAISON DES SOURCES DE DONNÉES ET CORRECTION	4
A.15.1. DONNÉES FOURNIES	6
A.15.2. PARAMÉTRISATION DE LA SOURCE SISMIQUE ET SOURCE INITIALE DE TSUNAMI	8
A.15.3. DÉFINITION DES MAILLAGES DE SIMULATION	10
A.15.3.1 MODÈLE UTILISÉ	10
15.3.2 MAILLAGES	11
15.3.3. TOPOGRAPHIE ET BATHYMÉTRIE	13
A.15.4. RÉSULTATS DES SIMULATIONS	15
A.15.5. CONCLUSIONS	16
A.15.6. RÉFÉRENCES	19
A.16.1. DONNÉES COLLECTÉES ET EXPLOITÉES	22
A.16.1.1. PUBLICATIONS INTERNATIONALES	22
A.16.1.2. THÈSES	22
A.16.1.3. CATALOGUE DE SISMICITÉS HISTORIQUE ET INSTRUMENTALE	22
A.16.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE	23
A.16.3. CONTEXTE GÉODYNAMIQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE	24
A.16.4. CARACTÉRISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE VIS-À-VIS DU RISQUE SISMIQUE	28
A.16.4.1. SISMICITÉ HISTORIQUE ET INSTRUMENTALE	28
A.16.4.2. INDICES D'ACTIVITÉ NÉOTECTONIQUE ET IDENTIFICATION DES PRINCIPALES FAILLES ACTIVES DU DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE (ÉTUDE DE TERRAIN)	34
A.16.4.3. CARTE DES PRINCIPALES FAILLES ACTIVES DE GRANDE ANSE	50
A.16.4.4. EVALUATION DES SOURCES SISMIQUES	51

ANNEXES :

Annexe 1	Note sur la topographie mise à disposition	90
Annexe 2	Etude de modélisation numérique de l'impact côtier d'un tsunami au large de la région de Jérémie	
Annexe 3	Etude détaillée de l'aléa sismique	
Annexe 4	Atlas : cartographie multirisques du département de la Grand'Anse	

TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des stations traitées pour les pluies extrêmes.....	6
Tableau 2 : Débit centennal des rivières modélisées.....	14
Tableau 3 : Modèles hydrauliques construits.....	16
Tableau 4 : Classification de l'aléa submersion marine cyclonique (source: Guide méthodologique PPR Haiti).....	21
Tableau 5 : Paramètres des segments de la source sismique Mw 7.25.....	22
Tableau 6 : Classification de l'aléa submersion marine par tsunami.....	23
Tableau 7 : Paramètres des segments de la source sismique Mw 7.25.....	8
Tableau 8 : Paramètres des maillages G1 et G2.....	11
Tableau 9 : paramètres caractérisant les différentes sources sismiques pouvant affectés le département de la Grande Anse.....	53

FIGURES

Figure 1 : Situation du département de Grande-Anse.....	2
Figure 2 : Situation des communes objet de l'étude.....	3
Figure 3 : Echantillon des maxima annuels des pluies sur graphique de Gumbel.....	7
Figure 4 : Pluies caractéristiques sur la zone d'étude.....	8
Figure 5 : Relations probabilistes pluie-débit.....	10
Figure 6 : Analyse des débits réduits caractéristiques sur les grands cours d'eau (K=6).....	12
Figure 7 : Analyse des débits réduits caractéristiques sur les petits cours d'eau (K=6).....	13
Figure 8 : Analyse des débits réduits caractéristiques sur les petits cours d'eau (K=12).....	14
Figure 9 : Analyse des débits réduits caractéristiques sur les grands cours d'eau (K=12).....	15
Figure 10 : Illustration de la décomposition entre phénomène avéré et supposé.....	16
Figure 11 : Profil brut (à gauche) et corrigé (à droite).....	17
Figure 12 : Exemple des lignes d'eau simulées sur la rivière Grande Anse.....	17
Figure 13 : Limite de déplacement en cas d'inondation en fonction de la hauteur et de la vitesse du courant.....	18
Figure 14 : Différentes composantes de la submersion marine cyclonique.....	19
Figure 15 : Situation de la faille sismique génératrice du tsunami étudié.....	21
Figure 16 : Extension des maillages de calcul de la propagation du tsunami.....	22
Figure 17 : Failles actives sur la commune des Abricots.....	29
Figure 18 : Failles actives sur la commune d'Anse d'Hainault.....	31
Figure 19 : Failles actives sur la commune de Beaumont.....	33
Figure 20 : Failles actives sur la commune Bonbon.....	34
Figure 21 : Failles actives sur la commune de Chambellan.....	36
Figure 22 : Failles actives sur la commune de Corail.....	38
Figure 23 : Failles actives sur la commune de Dame-Marie.....	42
Figure 24 : Failles actives sur la commune de Jérémie.....	45
Figure 25 : Failles actives sur la commune des Irois.....	47
Figure 26 : Failles actives sur la commune de Moron.....	49
Figure 27 : Failles actives sur la commune de Pestel.....	51
Figure 28 : Failles actives sur la commune de Roseaux.....	53
Figure 29 : Le risque = Aléa x Enjeux x Vulnérabilité.....	55
Figure 30 : Illustration du principe de risque majeur.....	55
Figure 31 : Photographies anciennes.....	56

Figure 32 : Photos anciennes de Jérémie	57
Figure 33 : Plan de la région côtière de Jérémie (1749)	57
Figure 34 : Type 1 : Habitat Traditionnel (RDC) – Ossature bois + toit tôle ou chanvre	62
Figure 35 : Type 2 : Construction patrimoniale (R+1, R+2,...) - Ossature bois et/ou brique + toit tôle	62
Figure 36 : Type 3 : Construction précaire (RDC - R+1) - bois - tôle - aggro + toit tôle	63
Figure 37 : Type 4 : Construction mixte (RDC – R+1) –Bois–brique–Métal–Béton–agglo + Toit Mixte	63
Figure 38 : Type 5 : Construction (RDC – R+1) Béton + aggro + Toit Tôle	64
Figure 39 : Type 6 : Construction (RDC – R+1) Béton + aggro + Toit Béton	64
Figure 40 : Type 7 : Construction (R+2 – R+3) Béton + aggro + Toit Béton	65
Figure 41 : Jérémie - vue aérienne.....	68
Figure 42 : Le vieux lycée de la haute ville de Jérémie après le cyclone Hazel	69
Figure 43 : Définition de façades exposées	73
Figure 44 : Définition de la hauteur d'implantation	73
Figure 45 : Hauteur d'implantation en cas de déblai	74
Figure 46 : Hauteur d'implantation en cas de déblai-remblai	74
Figure 47 : Exemple de constructions traditionnelles ayant subi différents cyclones et inondations à Jérémie	81
Figure 48 : Réalisation d'un habitat populaire de type construction traditionnelle réactualisée, menée par Juliette Nicolas, Architecte haïtienne à Jérémie.....	81
Figure 49 : Site de Caracolie	82
Figure 50 : Exemple de toiture à faible prise au vent	85
Figure 51 : Comportement d'une structure soumise à une force horizontale	86
Figure 52 : Trace sur le fond marin des bandes de mesures bathymétriques dans la région de Grand'Anse .	6
Figure 53 : Trace sur le fond marin (ligne bleue) de la faille sismique.....	7
Figure 54 : Vue Google Earth sur la région étudiée de Grande Anse.....	7
Figure 55 : Élévation initiale de la surface libre d'un tsunami généré au large de Grand'Anse par un événement sismique de magnitude Mw = 7.25	9
Figure 56 : Extension en latitude-longitude des maillages de calcul de FUNWAVE-TVD	12
Figure 57 : Données bathymétriques et topographiques ETOPO-1 interpolées sur les maillages.....	13
Figure 58 : position des points bathymétriques ETOPO-1 et des points de données LIDAR	14
Figure 59 : Données bathymétriques ETOPO-1 et topographiques LIDAR interpolées sur le maillage G2...	14
Figure 60 : Image Google Earth de la région d'intérêt principale autour de Jérémie.....	15
Figure 61 : Enveloppe des élévations de surface de tsunami simulées dans le maillage G1 pendant 30 min	17
Figure 62 : Enveloppe des élévations de surface de tsunami simulées dans le maillage G2 pendant 30 min	18
Figure 63 : Carte géomorphologique simplifiée d'Haïti (Source : PPR 16/6- PNUD 2012).....	23
Figure 64 : Carte géologique de Haïti au 1/250 000e (repris d'après BRGM/BEICIP/BME, 1988)	24
Figure 65 : Situation générale de la plaque des Caraïbes dans le cadre de la tectonique actuelle des plaques	24
Figure 66 : Géodynamique actuel de l'arc Caraïbes	25
Figure 67 : Situation de Haïti dans le contexte tectonique actuel de l'arc Caraïbes	26
Figure 68 : Carte de la sismicité d'Haïti depuis 1973 (Source : USGS)	27
Figure 69 : Carte de la sismicité historique de l'Hispaniola.....	34
Figure 70 : Carte de la sismicité instrumentale de la région Caraïbe et de l'île de l'Hispaniola depuis 1973.	34
Figure 71 : Vitesse de déplacement à partir de GPS mesures avant le séisme de 2010. a- par rapport de plaque d'Amérique du Nord et b- par rapport plaque Caraïbe	35
Figure 72 : Segmentation de la faille de la Presqu'île du Sud d'Haïti	36
Figure 73 : Carte Bathymétrique de la région de la faille de la Presqu'île du Sud d'Haïti	36
Figure 74 : Image satellite DigitalGlob, montrant un recouvrement (d'environ 2km) gauche du segment de second ordre le long du segment Tiburon	37
Figure 75 : Carte facettes triangulaires et « Sag pond » témoignant de la composante normale du segment de Cavaïon.....	37
Figure 76 : Segment de Macaya	38
Figure 77 : Failles de la marge littorale de l'Hispaniola d'après les profils Géophysiques	38
Figure 78 : Failles de la marge littorale de l'Hispaniola d'après les profils Géophysiques	39
Figure 79 : Reconstitution bathymétrique en 3D, de la zone nord du Département de la Grande'Anse	39

Figure 80 : Identification et cartographie des failles actives au large du littoral Nord de la Grande Anse	40
Figure 81 : Terrasses calcaires récifales d'âges Plio-Quaternaire soulevées au niveau du littoral Nord de la Grande Anse entre les Abricots et Jérémie.....	40
Figure 82 : Failles géologique d'après la Carte Géologique 1:250000	41
Figure 83 : Failles et fracturation géologique d'après la Carte Structurale de l'Ouest de la Presqu'île du Sud de 1:50 000.....	42
Figure 84 : Carte de la faille active des Abricots au 1:10 000	42
Figure 85 : Carte de la faille active de Dame Marie au 1:10 000	43
Figure 86 : Carte de la faille active d'Anse d'Hainault au 1:10 000.....	45
Figure 87 : Carte de la faille active de Jérémie au 1:10 000	46
Figure 88 : Carte de la faille active de Rimbeau au 1:10 000	47
Figure 89 : Carte des failles actives de Beaumont Nord et Beaumont Sud au 1:10 000	48
Figure 90 : Failles actives de Selina au 1:10 000.....	49
Figure 91 : Faille active de Fonchon au 1:10 000	50
Figure 92 : Carte de synthèse des failles active affectant le département de la Grande Anse	51
Figure 93 : Magnitude des segments de la faille d'Enriquillo-Plantain Garden.....	51
Figure 94 : Magnitude des segments du système de faille Nord Grand'Anse-Nippe.....	52

Acronymes et Abréviations utilisés

ACDED	Action pour le Développement Durable
ACTED	Agence d'Aide à la Coopération Technique Et au Développement
AEP	Alimentation en Eau Potable
BME	Bureau des Mines et de l'Energie
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières (France)
CIAT	Comité Interministériel d'Aménagement du Territoire
CNIGS	Centre National de l'Information Géo-Spatiale
CNSA	Coordination Nationale de la Sécurité Alimentaire
DINEPA	Direction Nationale d'Eau Potable et Assainissement
ETP	Evapo-Transpiration Potentielle
EVI	Enhanced Vegetation Index (Indice de végétation amélioré)
FIC	Frères de l'Instruction Chrétienne
IGN	Institut Géographique National (France)
IHSI	Institut Haïtien de Statistique et d'Informatique
MARNDR	Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural
MDE	Ministère de l'Environnement
MEF	Ministère de l'Economie et des Finances
MICT	Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Territoriales
MNT	Modèle Numérique de Terrain
MPCE	Ministère de la Planification et de la Coopération Externe
MTPTC	Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications
NASA	Administration Nationale de l'Aeronautique et de l'Espace (USA)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
OXFAM	Oxford Committee for Famine Relief
PPCR	Programme Pilote pour la Résilience Climatique
SIG	Système d'Information Géographique
SPI	Standardized Precipitation Index
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission (MNT)
TDR	Termes de Références
UTE	Unité Technique d'Exécution
UTS	Unité Technique de Sismologie au BME
UTSIG	Unité de Télédétection et de Système d'Information Géographique

1. OBJETS DE L'ÉTUDE ET DU PRÉSENT RAPPORT

1.1. CONTEXTE DE LA MISSION

Le territoire haïtien est fortement soumis aux risques naturels que sont les cyclones, les inondations, les mouvements de terrain, les séismes et les tsunamis. Les événements passés et récents l'ont montré, de façon parfois douloureuse.

Afin d'éviter que le développement ne fasse qu'accroître la vulnérabilité et, donc, les dégâts à chaque catastrophe naturelle et que tout soit à refaire, il est fondamental de bien cerner les risques et d'établir des règles de construction et de développement selon une logique qui tienne compte de la connaissance des risques naturels ainsi que des enjeux socio-économiques et environnementaux présents et des projets de développement futurs.

Cela nécessite donc une connaissance la plus fine possible :

- des aléas (inondation, mouvements de terrain, séismes et tsunamis) ;
- des enjeux en place et de leur vulnérabilité ;

afin d'évaluer le niveau des risques par croisement de l'aléa et de la vulnérabilité et de définir des mesures de réduction de ces risques.

Cette réduction des risques pourra être obtenue soit par le biais d'aménagements (ouvrages de protection structurels à l'échelle du bassin ou mesures de mitigation à l'échelle du bâti), soit par une réglementation permettant de contrôler le développement de façon adaptée.

L'information et la formation sont deux mesures importantes qui viendront garantir la bonne intégration et la mise en application des mesures proposées.

L'ensemble de cette démarche est décrite dans le Guide Méthodologique de Réduction des Risques Naturels en Haïti (MPCE, 2015).

L'objet de la présente étude consiste en effet en une application « pilote » de ce guide sur le département de Grand-Anse à travers un financement du gouvernement britannique [Département du développement international britannique (UK DFID)].



Figure 1 : Situation du département de Grande-Anse

Cette application a trait :

- aux 12 communes du département en ce qui concerne la cartographie informative des phénomènes à risques ;
- aux 6 communes prioritaires en ce qui concerne l'établissement de Plans de Réduction des Risques Urbains (PRRU) : Jérémie, Abricot, Moron, Roseaux, Beaumont et Dame-Marie.



Figure 2 : Situation des communes objet de l'étude

1.2. OBJECTIFS DE LA MISSION

Il est donc indispensable au préalable de déterminer les secteurs soumis aux différents aléas naturels suivants :

- Aléas inondation
- Aléas mouvements de terrain
- Aléas séismes
- Aléas submersion marine et/ou tsunami

C'est donc l'objectif de la mission que d'identifier et cartographier les aléas sur le territoire concerné puis de les confronter, pour les 6 communes prioritaires, à l'analyse des enjeux afin d'établir un zonage réglementaire et de prescrire des mesures de mitigation lorsque cela est possible.

En effet, la finalité d'une telle démarche réside dans :

- La mise en place de dispositifs réglementaires,
- Le renforcement de la politique de prévention des risques naturels afin d'assurer la sécurité des personnes, des biens et la pérennisation des investissements de reconstruction/construction.

1.3. OBJET DU PRÉSENT RAPPORT

Le présent rapport constitue le rapport complet provisoire de fin de phase I et la note de présentation de l'évaluation rapide de phase II.

Il présente les méthodologies suivies pour la cartographie des différents aléas ainsi que les résultats obtenus.

En ce qui concerne l'élaboration des 6 PPRU, il présente les cartographies des aléas de façon plus fine et présente le travail réalisé concernant les enjeux et leur vulnérabilité.

2. MÉTHODOLOGIE SUIVIE POUR CHACUN DES ALÉAS

2.1. LA CONCERTATION

L'objectif du PRRN est qu'il puisse être appliqué localement et, donc, que les acteurs locaux se l'approprient et puissent travailler en coopération intelligente et productive avec les instances nationales et départementales.

La concertation est donc un élément essentiel dans le processus d'établissement d'un PRRN.

La concertation consiste alors à :

- Rechercher une appréciation partagée des risques.
- Dégager une vision partagée des perspectives d'avenir et des orientations de la stratégie locale de réduction des risques.

Dans cet objectif de concertation, la population et ses représentants ont été sollicités tout au long de l'étude.

2.1.1. Contacts préliminaires avec les communes

La première phase de cette démarche a consisté, suite à la mission de démarrage, à rencontrer les instances locales de façon à recueillir leur connaissance des aléas présents sur leur commune.

Ces réunions ont permis :

- de présenter l'objet de notre mission (commanditaires, objectifs...);
- d'annoncer notre intervention plus longue durant les semaines à venir ;
- de recueillir les premières informations relatives aux aléas.

Ces visites « de courtoisie » ont permis d'établir des relations cordiales. Nous avons systématiquement rencontré un accueil très ouvert et nos interlocuteurs nous ont renvoyé leur sentiment de l'importance de cette mission pour leur commune.

Ces visites ont été « préparées » grâce au travail du représentant local du PNUD au niveau de la Grande Anse qui nous a communiqué des informations complémentaires sur les divers aléas.

2.1.2. Reconnaissances approfondies de terrain

Après achèvement de ces contacts préliminaires, les diverses informations recueillies auprès de chaque maire (et/ou ses représentants) ont été communiqués aux experts chargés de l'analyse des différents aléas.

Ceux-ci ont alors effectué des reconnaissances de terrain afin de se rendre compte des différentes situations existantes. Ils ont également rencontré à cette occasion les riverains présents ainsi que des représentants des administrations communales afin de compléter leur connaissance par l'acquisition d'informations plus détaillées.

2.1.3. Enquêtes sur les enjeux

Une troisième mission a permis de parcourir les secteurs urbains des 6 communes prioritaires.

Elle a permis de recenser et définir les différents types d'habitats, leurs caractéristiques et leur état, les enjeux majeurs existant sur le territoire communal. Des enquêtes auprès des communes ont permis d'établir dans la mesure du possible l'historique de ces constructions et de connaître les éventuels projets en cours.

Des enquêtes au sujet du fonctionnement global du territoire ont été effectuées de façon à en tenir compte dans la suite de l'étude, tant du point de vue de la réglementation que des mesures de mitigation.

2.2. ALÉA INONDATION

2.2.1. Analyse hydrologique

Elle a pour objet, dans la mesure du possible, de déterminer les débits caractéristiques de crue des différents cours d'eau de façon à permettre d'associer une fréquence aux différents contours de zone inondable.

Elle se compose d'une analyse régionale des pluies maxima annuelles et de la recherche de relations entre pluies et débits de crue.

2.2.1.1. ANALYSE REGIONALE DES PLUIES EXTREMES

Les pluies extrêmes ont été déterminées lors de la première phase de cette étude. Leur analyse a fait l'objet du paragraphe 3.3.4 du rapport 8411039-R1 d'avril 2016.

Ces analyse ont été effectuées à partir des données de pluies journalières en considérant les maxima annuels (il aurait été intéressant de disposer de toutes les données journalières afin d'analyser également les valeurs supérieures à un seuil).

Les séries sont dans l'ensemble très courtes comme le montre le tableau suivant.

STATION	Periode	Nb années
Anse d'Hainault	1964-1993	19
Beaumont	1946-1997	17
Chambellan	1980-1986	7
Dame Marie	1977-1990	7
Jeremie	1960-1982	22
Lesson	1956-1966	11
Marfranc	1963-1987	12
Roseaux	1957-1988	8
Tiburou	1977-1990	8
Camp Perrin	1939-1997	58
Ridoré	1940-1988	47

Tableau 1 : Liste des stations traitées pour les pluies extrêmes

Compte tenu de la faible taille des échantillons nous avons ajouté les données des stations de Camp-Perrin et Ridoré (à proximité de Jacmel) de façon à disposer de séries longues et bien analysées et situées pas trop loin de la zone d'étude.

L'analyse est conduite selon la méthode SPEED développée par ARTELIA (ex SOGREAH) depuis une vingtaine d'années (cf rapport de première phase) et qui fait intervenir la notion de pivot.

Les études conduites dans le cadre de l'étude pilote sur Jacmel ¹ en 2015 ont permis de montrer l'existence de trois valeurs de pivot : -2.4, -1.4 et +0.5 que l'on peut associer aux trois types de temps existant sur le secteur et décrits au paragraphe 3.3.1.2 du rapport de première phase.

D'autres études, dont l'étude réalisée sur l'Artibonite ² ont permis de confirmer que le pivot de +0.5 est associé aux cyclones.

L'analyse est régionale et permet ainsi de tenir compte des observations faites sur les stations disposant de séries longues.

La représentation de l'ensemble des échantillons disponibles selon une loi de Gumbel (l'axe des abscisses correspond à la variable de Gumbel et est également gradué en période de retour) conduit au graphique suivant.

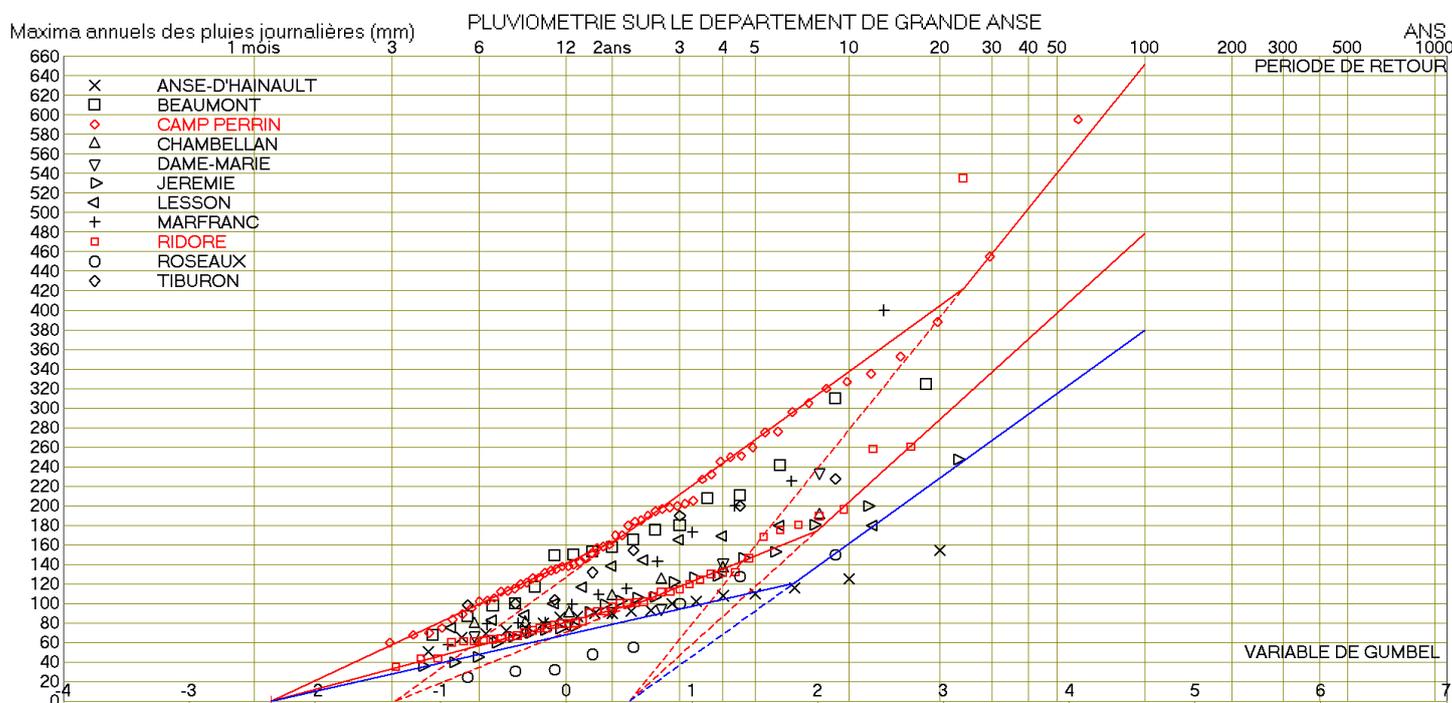


Figure 3 : Echantillon des maxima annuels des pluies sur graphique de Gumbel

Nous avons défini un ajustement pour chacune des stations, inspiré des résultats obtenus pour les séries longues et exploitant la mise en évidence de trois pivots. Les résultats sont entachés d'une grande incertitude concernant les fréquences rares. Ces ajustements font l'objet de l'annexe 13.

Le plan suivant situe chacune des stations exploitées et affiche les valeurs décennale et centennale des pluies journalières. Les valeurs négatives indiquent une incertitude sur le résultat.

¹ Etude pilote de dangers et risques naturels au niveau d'une zone test du département du Sud-Est pour l'implémentation d'une méthodologie d'analyse multirisque et le transfert de compétences à des professionnels nationaux – Rapports n°8410903 de juin 2015

² Etude sur les risques naturels dans la boucle Centre-Artibonite et production de cartographie des risques pour les communes de Hinche, Mirebalais, Saut d'Eau, Titanyen et St-Michel-de-l'Attalaye – Rapports 8410954 de 2016.



Figure 4 : Pluies caractéristiques sur la zone d'étude

On constate que la pluie journalière centennale diminue du Sud vers le Nord.

Le maximum observé atteint 650 mm mais il est envisageable que cette valeur soit dépassée sur ou à proximité des sommets du relief délimitant le département, au Sud.

2.2.1.2. DÉBIT DES COURS D'EAU

2.2.1.2.1. Préliminaire

Il n'y a pas de station de mesure du débit (en fait du niveau, traduit ensuite en débit au moyen d'une courbe de tarage) sur la zone d'étude.

Nous présentons donc ci-après une analyse exploitant ces diverses données et utilisant les relations probabilistes de la méthode SPEED.

2.2.1.2.2. Relations pluie-débit SPEED

Ces relations concernent le deuxième volet de la méthode SPEED crue ⁽³⁾ et ⁽⁴⁾.

Elles résultent des observations, constats et vérifications effectués sur une centaine de projets en France et autant dans le monde.

³ Estimation des débits extrêmes par une approche probabiliste : bilan de 20 ans d'expérience d'Artelia/Sogreah. Evénements extrêmes d'inondation, SHF - Lyon, 13-14 novembre 2013

⁴ Inter-comparaison des méthodes probabilistes. Prédétermination des valeurs extrêmes de pluies et de crues (EXTRAFLO) – Projet ANR-08-Risk-03-01, Séminaire de restitution – Lyon, 15 novembre 2013

- ✓ Elles intègrent la relation de Myer : $Q(T) = C(T).A^\alpha$ avec A = aire du bassin drainé (km²) et T = période de retour

Dès le début du XXème siècle, Fuller⁵ proposait une formule en S^n où n était compris entre 0,67 et 0,83 (moyenne = 0,75). Il présentait d'autres estimations de collègues dans sa réponse à l'article de Jarvis⁶, toutes proches de 0,75.

Nous avons retenu cette valeur de 0,75 pour α .

- ✓ Elles intègrent également la théorie du Gradex⁷ qui exprime le fait que, lorsque le bassin versant est saturé, tout supplément de pluie ruisselle intégralement. Il en découle alors une évolution du débit de pointe directement liée au Gradex des pluies (pente de l'ajustement sur un graphique de Gumbel).

Elles s'expriment comme suit :

$$Q_{RET} = C_0(P_T - P_{0i}) \quad \text{si } T < T_0$$

$$Q_{RET} = P_T - P_0 \quad \text{si } T > T_0$$

$$Q_{ixT} = \frac{S^{0,75}}{K} Q_{RET}$$

Q_{ixT} : le quantile de débit de pointe (débit maximum instantané en m³/s), de temps de retour T

S : la surface du bassin versant (en km²)

P_T : le quantile de pluie journalière de temps de retour T (en mm)

P_{0i} : la perte initiale (en mm)

C_0 : le coefficient empirique de proportionnalité pluie-débit avant saturation

P_0 : le seuil probabiliste de ruissellement intégral (en mm)

T_0 : la période de retour de saturation (très variable d'un bassin à l'autre)

Q_{RET} : variable de travail dénommée débit réduit (en mm)

K : coefficient à la dimension de s.m^{-0.5}

Ce coefficient K vaut souvent 12 dans les pays tempérés (une explication théorique a pu être développée avec cette valeur du coefficient K). Dans quelques autres pays, nous avons pu constater, sans pouvoir l'expliquer, des valeurs différentes :

$K = 9,1$ au Burundi et au Rwanda pour $S < 50$ à 100 km²

$K = 5,5$ au Burkina Faso (région de Bagré) toujours pour $S < 50$ à 100 km²

$K = 6$ en Nouvelle-Calédonie, soumise aux cyclones (valeur également adoptée sur le secteur de Jacmel lors de l'étude conduite en 2015 pour la coopération suisse⁽⁸⁾)

⁵ Fuller W.-E (1914). – Flood flows, Trans. A.S.C.E. LXXVII, p564

⁶ Jarvis C-S. (1926). – Flood flow characteristics. Trans. A.S.C.E, Vol 89, p1073

⁷ CFGB (1994). – Les crues de projet des barrages : méthode du Gradex. Design Flood Determination by the Gradex Method. 18^{ème} congrès CIGB-ICOLD *Bulletin du comité français de grands barrages*, n°2, novembre 1994, 7-96

⁸ Etude pilote de dangers et risques naturels au niveau d'une zone test du département du Sud-Est pour l'implémentation d'une méthodologie d'analyse multirisque et le transfert de compétences à des professionnels nationaux – Rapports n°8410903 de juin 2015

Ces deux lois se représentent graphiquement comme suit :

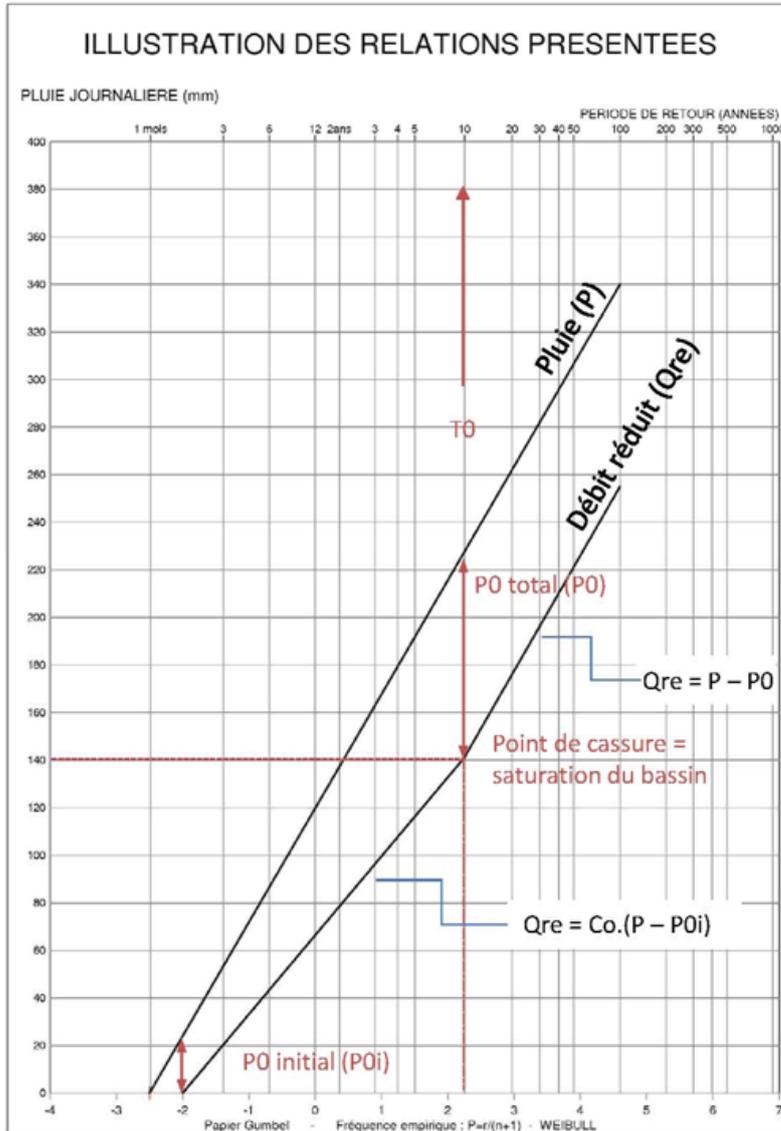


Figure 5 : Relations probabilistes pluie-débit

Il est essentiel de bien intégrer que ces relations sont des relations **probabilistes**. Elles ne peuvent en aucun cas être appliquées à des événements particuliers.

Elles relient en revanche entre eux les quantiles de pluie et de débit c'est-à-dire les ajustements des pluies et des débits.

Dans notre situation, l'absence de mesure de débit ne permet pas d'appliquer cette méthode en vue de déterminer les coefficients C_0 et P_0 de façon analytique.

En revanche, ce genre de graphique avec la représentation des pluies et des débits réduits peut être utilisé pour :

- Apprécier les coefficients C0 et P0 résultants des valeurs de débits obtenues par d'autres méthodes ou issus d'études antérieures
- Estimer les débits caractéristiques à partir des estimations de débit associées à des événements observés.

Pour ce dernier point, le processus d'application est le suivant :

- Estimer la période de retour des différents événements avec un intervalle d'incertitude
- Déterminer les débits associés à ces événements en différents endroits du bassin versant étudié en y associant également un intervalle d'incertitude
- Transformer ces débits en débits réduits
- Reporter ces valeurs sur un graphique de Gumbel comparativement aux pluies sur le bassin

2.2.1.2.3. Application

Lors des reconnaissances de terrain, nous avons recueillis deux sortes d'informations :

- Les niveaux de débordements fréquents auxquels nous avons associé une période de retour comprise entre 1 et 2 ans.
- Les niveaux atteints lors des cyclones.

A. Période de retour des événements passés

Il nous a fallu tout d'abord associer une période de retour aux événements pour lesquels des informations nous ont été données.

Nous avons cherché tout d'abord (et sans succès) à déterminer les pluies journalières lors de ces événements de façon à en graduer l'intensité.

Faute de ces éléments, nous avons déterminé les périodes de retour uniquement d'après les indications des riverains, en prévoyant un intervalle d'incertitude conséquent, déterminé grâce à notre expérience relativement au hasard d'échantillonnage de la nature en matière de crue⁹. Les résultats sont les suivants :

- Cyclone de 1935 : le plus important (T = 50 à 130 ans).
- Hazel [1954] : le second après celui de 1935 (T = 30 à 120 ans).
- Episode de mai 2008 : ce n'est pas un cyclone (20 à 100 sur les bassins montagneux des grandes rivières et 10 à 30 ans sur les petites rivières côtières).
- Allen [1980] : 25 à 70 ans.
- Sandy [2012] : 5 à 20 ans.

⁹ Ces intervalles peuvent apparaître très importants mais sont tout à fait représentatifs de ce que l'on peut constater, même lorsque l'on dispose de séries de mesures conséquentes. Ainsi, sur la période de 1846 à 1866, il y a eu 3 crues centennales de la Loire en France. En ne considérant que cette période de 20 ans, leur période de retour empirique serait donc bien inférieure à 20 ans. Inversement, il n'y a pas eu de crue centennale depuis (soit donc en 150 ans) ce qui conduirait empiriquement à attribuer, de façon erronée, une période de retour de 150 ans à la plus forte crue intervenue (dont la période de retour effective est inférieure à 75 ans). En n'exploitant que de simples témoignages, ces intervalles sont tout à fait justifiés.

B. Débits réduits caractéristiques

Les débits ont été estimés en différents endroits du département, en fonction des informations recueillies et de la topographie des lieux (cf détails dans les annexes relatives à chaque commune), en leur attribuant un intervalle d'incertitude.

Ces débits ont été transformés en débits réduits par la formule suivante :

$$Q_{RET}(mm) = \frac{K}{S^{0,75}} Q_{ixT}(m3/s)$$

Comme vu plus haut, le coefficient K est souvent pris égal à 12. Cependant, avec une telle valeur, nous obtenions des débits réduits supérieurs aux pluies journalières ce qui n'est pas possible selon la méthode. Nous avons finalement retenu la valeur de 6, valeur obtenue en particulier en Nouvelle-Calédonie en association aux cyclones et également adoptée en Haïti sur le secteur de Jacmel.

Nous avons dissocié les résultats obtenus sur les grands cours d'eau qui drainent une grande partie de secteurs très montagneux (et donc très arrosés) de ceux obtenus sur les petites rivières côtières.

Pour les premiers nous avons considéré la pluie à Camp-Perrin comme caractéristique du bassin versant (Pj100 = 650 mm) tandis que pour les seconds, c'est celle de Ridoré (Pj100 = 480 mm) qui a servi de référence, conformément à l'analyse des pluies effectuée précédemment.

Les résultats obtenus font l'objet des figures suivantes.

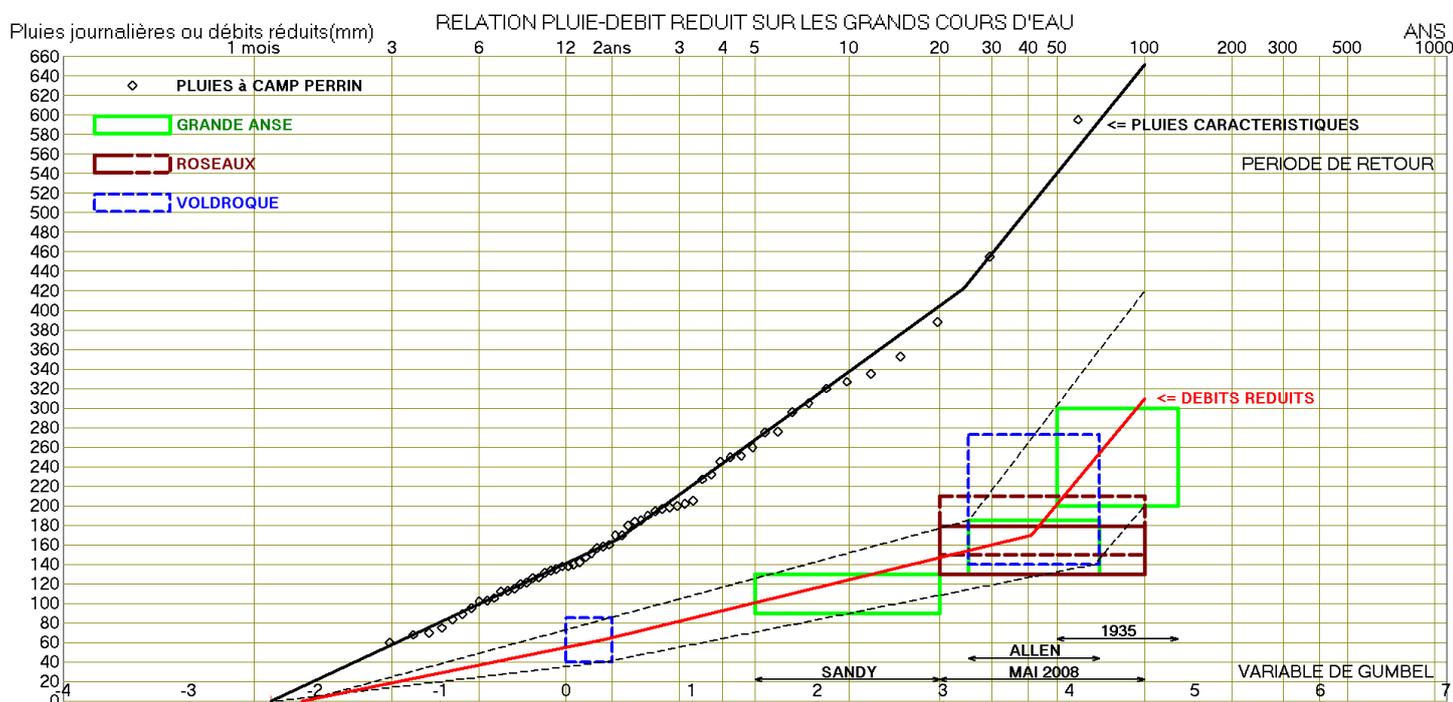


Figure 6 : Analyse des débits réduits caractéristiques sur les grands cours d'eau (K=6)

On constate que le débit réduit centennal est de l'ordre de 310 mm à 33% près.

La valeur du paramètre P0 (Pj100 – Qre100) est de 340 mm ce qui est important mais résulte du fait qu'une bonne partie des bassins versants est située sur les zones calcaires fortement karstiques.

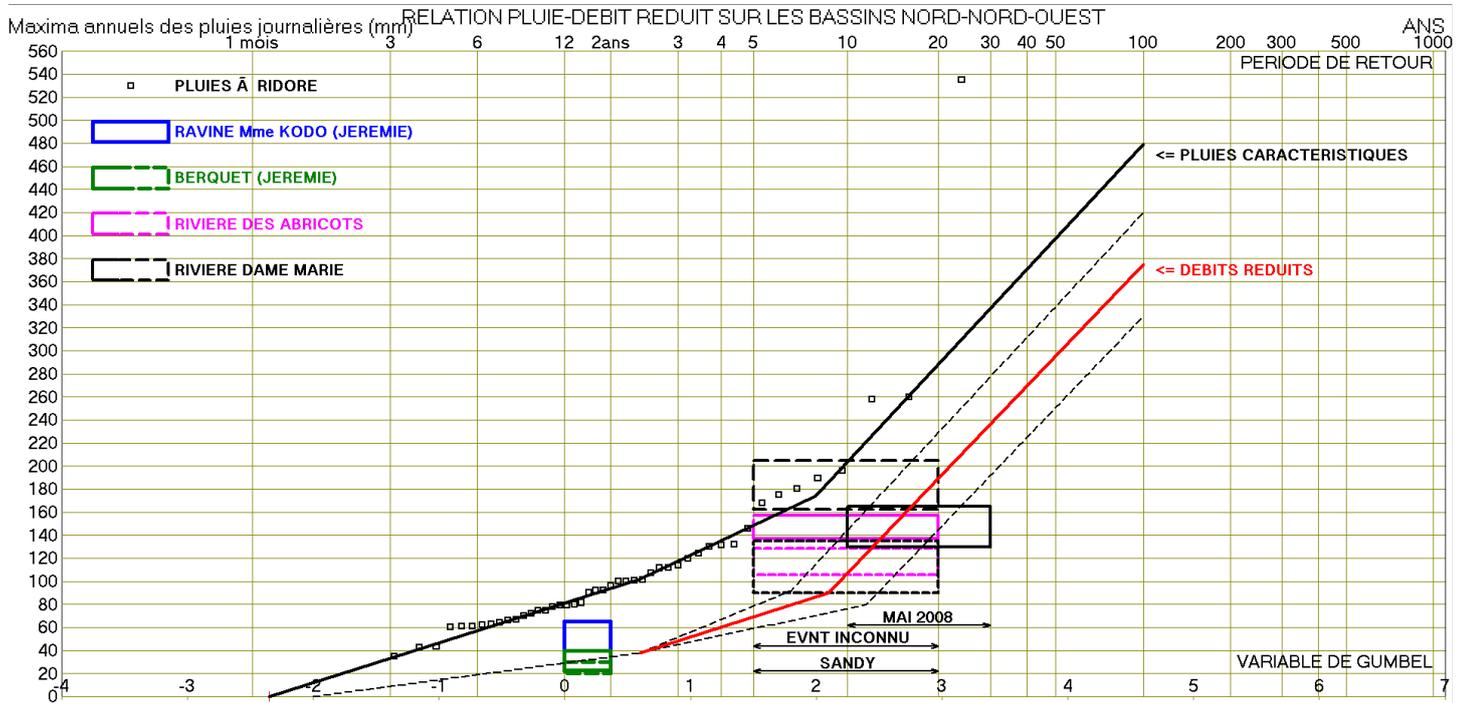


Figure 7 : Analyse des débits réduits caractéristiques sur les petits cours d'eau (K=6)

Le paramètre P0 (480 mm – 375 mm = 105 mm) est nettement inférieur au précédent du fait de la constitution géologique des bassins versants (pas ou très peu de calcaire karstique).

Bien que moins arrosés ces cours d'eau voient leur débit réduit centennal atteindre 375 mm. L'estimation est faite avec une précision empirique apparente de 12%.

C. Débits caractéristiques de crue

La valeur du débit centennal pour chacun des cours d'eau ayant donné lieu à une modélisation des écoulements a ensuite été calculée à partir de la superficie du bassin versant drainé.

Les résultats font l'objet du tableau suivant.

Cours d'eau	Profil HEC-RAS	Lieu	Surface BV (km ²)	Qre 100 (mm)	Q100 (m ³ /s)
Ravine Madame Kodo (Jérémie)	896	Amont modèle	1.06	375	65
Ravine Berquet (Jérémie)	457	Amont modèle	1.87	375	100
Rivière des Abricots	2297	Amont modèle	58	375	1314
Rivière Dame-Marie	4307	Amont modèle	55	375	1262
Rivière Grande Anse	37580	Chambellan	213	310	2881
	34830	Moron amont Bras à gauche	248	310	3229
	25248	Moron bourg	383	310	4473
	16784	Aval Marfranc	484	310	5331
	7982	Amont des gorges (env. totalité BV)	546	310	5836
Rivière des Roseaux	3599	Sortie des gorges	246	310	3209
Rivière de Voldrogue	12687	Léon	149	310	2203
	8706	Aval confluence ravine RG	169	310	2422
	3776	Aval gorges	188	310	2623

Tableau 2 : Débit centennal des rivières modélisées

D. Incertitude

L'incertitude résultant de celle sur la période de retour et les débits déduit des observations a été indiquée précédemment.

On a obtenu $\pm 12\%$ pour les petits bassins et $\pm 33\%$ pour les grands.

Mais on peut s'interroger à propos de l'incertitude résultant du choix du coefficient K.

Avec la valeur de $K=12$, pour les petits bassins versants côtiers, on obtient le graphique suivant qui montre bien des débits réduits supérieurs aux pluies et donc que cette valeur de 12 n'est pas possible.

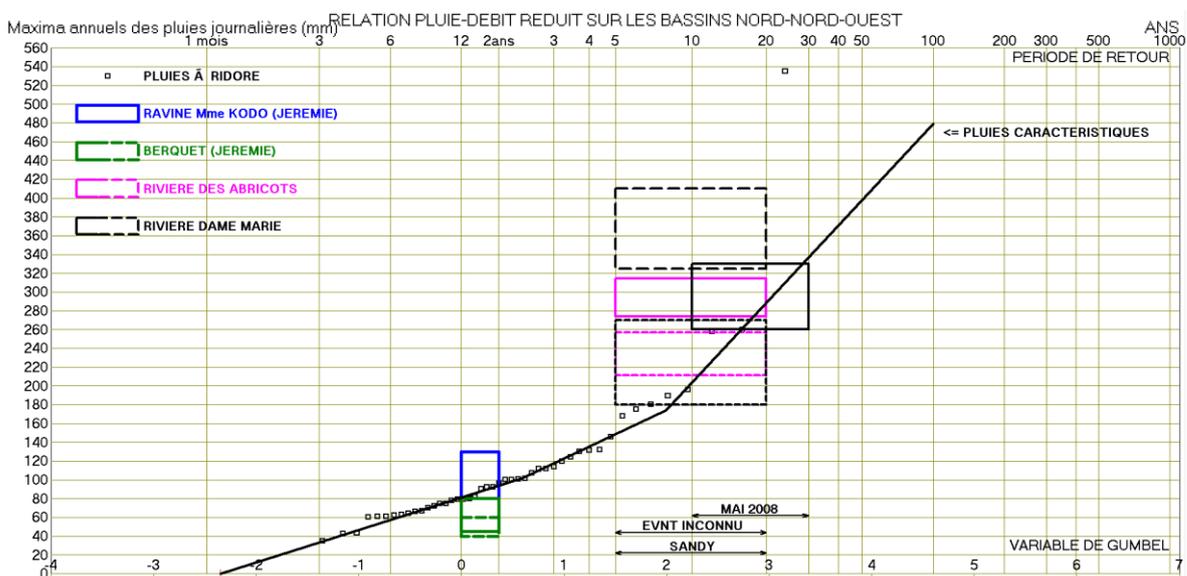


Figure 8 : Analyse des débits réduits caractéristiques sur les petits cours d'eau ($K=12$)

En revanche, pour les grands cours d'eau, on obtient une valeur de Q_{re100} moyenne de 477 mm et une valeur de P_0 de 60 mm ce qui ne traduit pas le caractère karstique des bassins versants et confirme un coefficient K inférieur à 12.

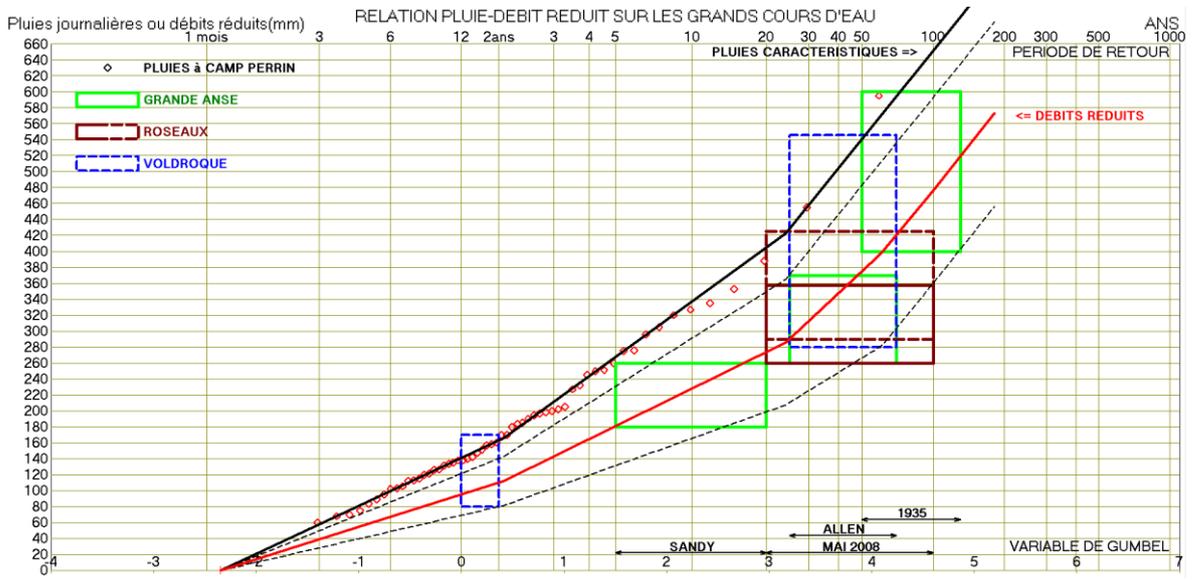


Figure 9 : Analyse des débits réduits caractéristiques sur les grands cours d'eau ($K=12$)
 Le débit centennal de 477 mm en débits purs avec $K=12$ conduit à des valeurs 23% plus faibles que celles obtenues avec $K=6$ et $Q_{re100} = 310$ mm.

On voit que l'on reste dans l'intervalle d'incertitude associé aux estimations de période de retour et débits de crue.

Comme on sait que le coefficient K effectif est obligatoirement inférieur à 12, on en déduit que l'incertitude liée au coefficient K est inférieure à 23%.

2.2.2. Cartographie des zones inondables

Il faut distinguer le travail effectué pour la cartographie informative établie en phase 1 de l'étude (cartes au 1/50 000^{ème}) de celui ayant conduit à la qualification de l'aléa inondation en zone urbaine (phase 2).

2.2.2.1. CARTOGRAPHIE INFORMATIVE

La cartographie informative consiste en un travail préliminaire à l'étude plus poussée du risque inondation. Il s'agit, par le biais d'une enquête de terrain, d'analyse de photographie aériennes et de modèles numériques de terrain, de localiser les secteurs sujets aux inondations.

Ce type de cartographie ne hiérarchise pas l'intensité du phénomène, mais seulement son extension spatiale. Deux emprises sont distinguées :

- **Le phénomène avéré** : toutes zones où des signes d'inondations sont visibles (lit mineur / lit moyen, érosions...) ou bien qui font l'objet de témoignages ;
- **Le phénomène supposé** : les zones où la morphologie de la vallée permet l'inondation où cependant des doutes existent (exemple : terrasses alluviale en pied de versant : entité formée à un moment par les apports de la rivière mais potentiellement hors d'eau suite à une évolution du lit).

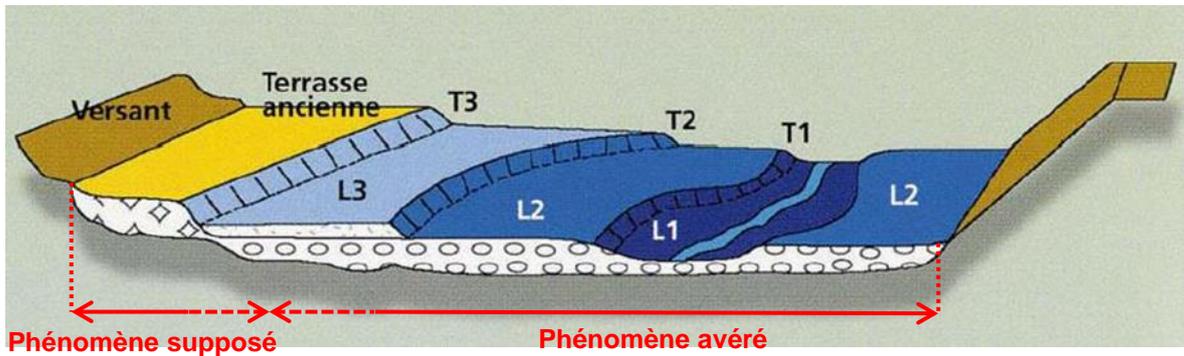


Figure 10 : Illustration de la décomposition entre phénomène avéré et supposé

La limite entre ces deux phénomènes est parfois subjective et fait l'objet d'incertitude, notamment lorsqu'il n'y a pas de décomposition nette entre les différents lits (par exemple, présence d'un glaciais allant du lit mineur jusqu'au pied du versant).

2.2.2.2. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA EN ZONE URBAINE

Lorsque les cours d'eau qui occasionnent des débordements traversent des zones urbaines, un modèle numérique d'écoulement est construit. Cet outil permet, à partir d'une topographie et d'un débit de crue connus, de déterminer les niveaux et les vitesses d'écoulement en différents endroits et ce, afin de cartographier plus précisément la zone inondable.

Au total, sept modèles hydrauliques ont été construits.

Tableau 3 : Modèles hydrauliques construits

Cours d'eau	Longueur (km)
Grande Anse	37.6
Voldrogue	12.7
Dame Marie	4.3
Roseaux	3.6
Abricots	2.3
Ravine Madame Kodo	1
Ravine Berquet	0.5

2.2.2.1. Construction des modèles

Les modèles hydrauliques ont été réalisés avec le logiciel HEC-RAS, développé par le Corps des Ingénieurs de l'Armée Américaine (USACE) et disponible gratuitement à l'adresse suivante : <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

La source de topographie utilisée pour la construction de ces modèles est principalement le SRTM 30m et, pour les ravines Mme Kodo et Berquet, le Lidar 1m. Afin d'être cohérente avec le Lidar 1m, la topographie SRTM a dû être abaissée de 7.5m. L'annexe 14 intitulée « **Error! Reference source not found.** » précise davantage les problèmes rencontrés avec ces données.

Par ailleurs, le manque de précision du SRTM ne permet pas de faire apparaître correctement le lit mineur des cours d'eau. Ce dernier a dû être réinterprété à partir du profil en long de la vallée, pour sa cote de fond, et à partir des photographies aériennes et reconnaissance de terrain pour l'estimation de sa largeur.

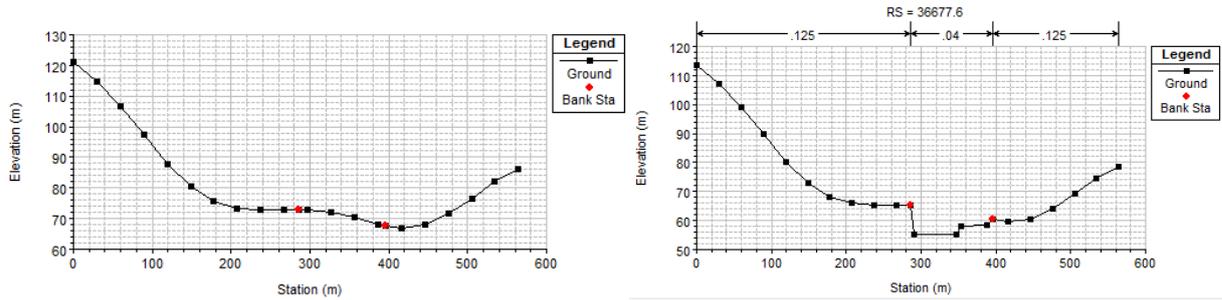


Figure 11 : Profil brut (à gauche) et corrigé (à droite)

De manière générale, l'espacement des profils est de 300m environ en zone agricole et de 100m environ dans les traversées urbaines. La densité des profils a été augmentée pour la représentation des ravines Mme Kodo et Berquet (un tous les 20m environ).

2.2.2.2.2. **Exploitation des modèles**

L'exploitation des modèles est assez simplifiée dans la mesure où il n'y a pas de stations de mesure de débit sur les cours d'eau de la zone étudiée, ce qui rend ainsi impossible le calage des modèles sur des crues particulières.

Les informations sur les niveaux de crues ne manquent cependant pas : il est possible de vérifier et ajuster le bon comportement global des lignes d'eau par rapport à la réalité.

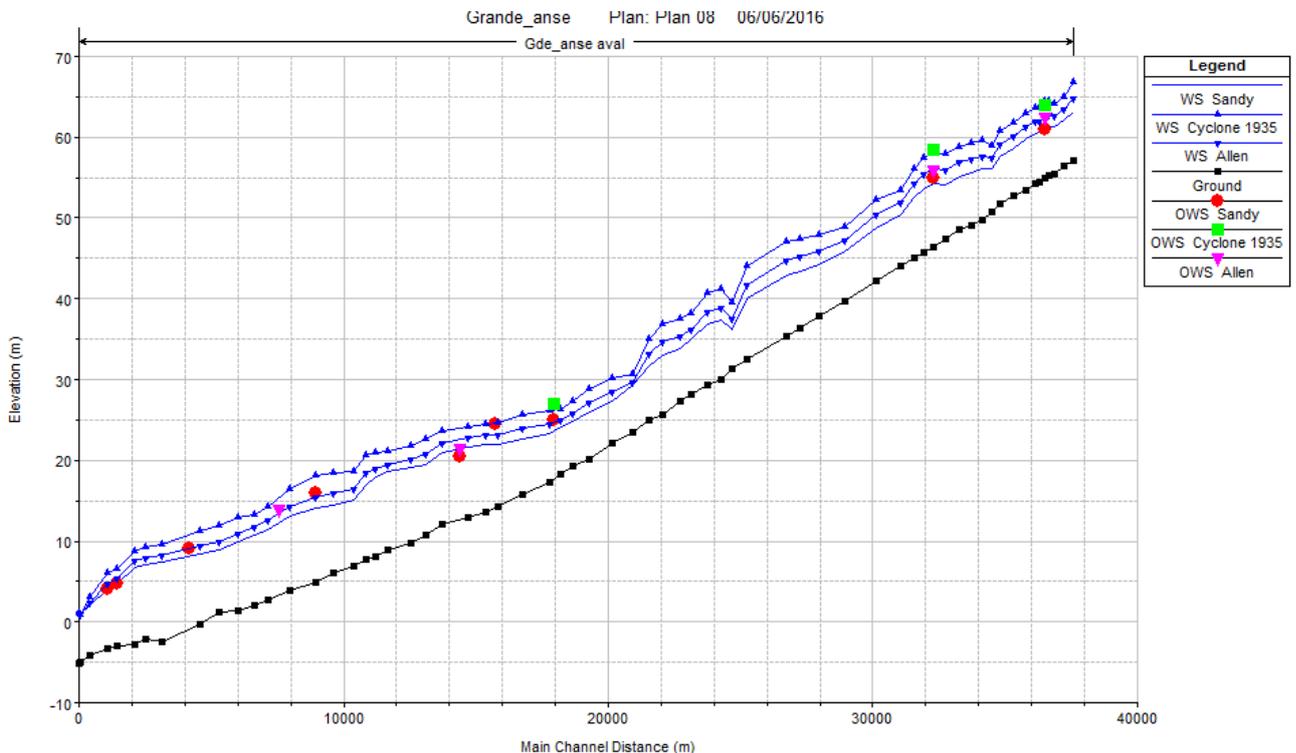


Figure 12 : Exemple des lignes d'eau simulées sur la rivière Grande Anse

Pour les calculs les hypothèses suivantes sont considérées :

- Amont : débit permanent injecté ;
- Aval : niveau de +1m (correspondant au niveau marin surévalué du phénomène de « marée barométrique »).

2.2.2.3. Classification de l'aléa

L'aléa est classé en quatre classes (faible, moyen, fort et majeur) décrivant chacune une résistance plus ou moins bonne du corps humain face à l'inondation caractérisée par :

- sa vitesse d'écoulement (exprimée en m/s) ;
- sa hauteur de submersion (exprimée en m).

La figure ci-dessous illustre cette notion de résistance au travers d'un tableau.

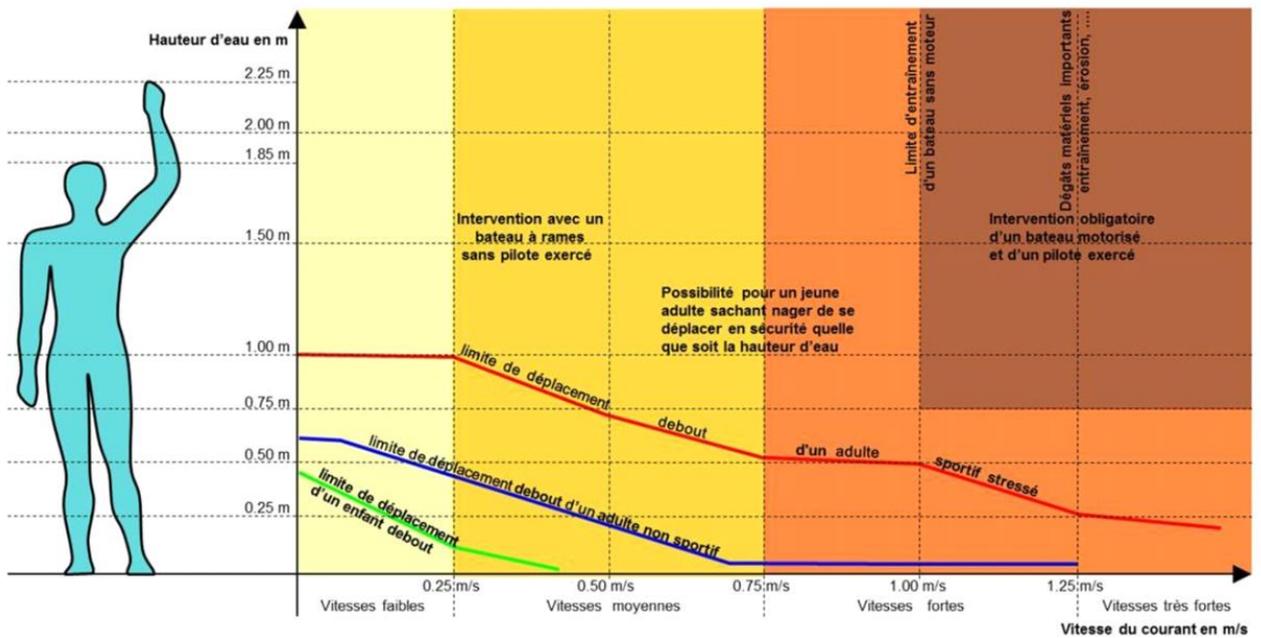
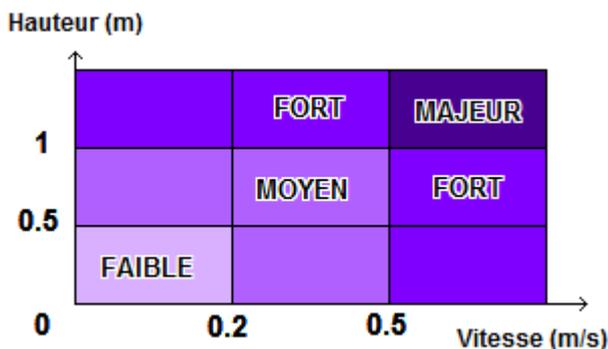


Figure 13 : Limite de déplacement en cas d'inondation en fonction de la hauteur et de la vitesse du courant

De manière plus formelle, la représentation cartographique des aléas est définie selon la grille de croisement ci-dessous (source : Guide méthodologique PPR Haïti).



La cartographie des aléas inondation fait l'objet de l'annexe n°XXXX

2.3. ALEA SUBMERSION MARINE

Le premier rapport¹⁰ de fin de phase 1 datant d'avril 2016 expose plus largement les phénomènes de submersion marine. Ce qui suit ne constitue qu'un résumé.

La submersion marine peut être liée à deux phénomènes distincts :

- Un événement cyclonique qui va induire trois types de surélévations liés :
 - à la dépression (surcote atmosphérique)
 - au vent
 - à la houle

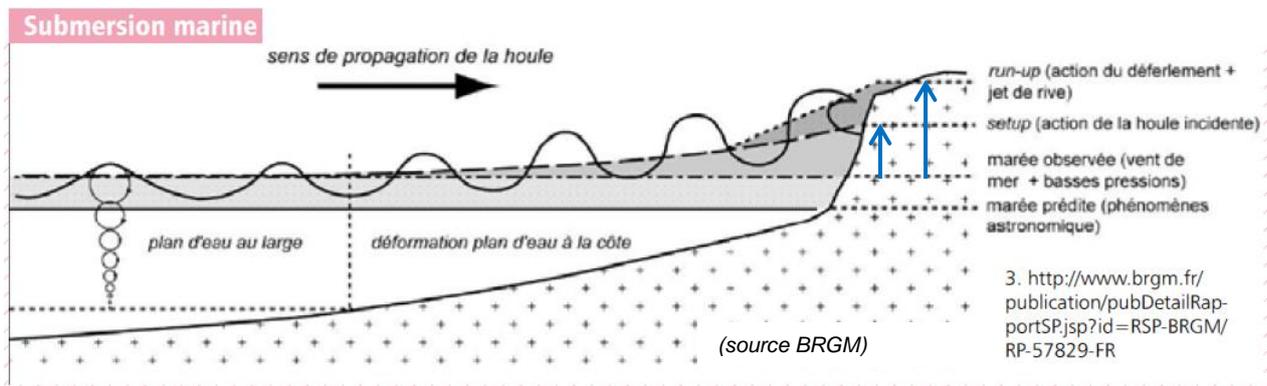


Figure 14 : Différentes composantes de la submersion marine cyclonique

- Un tsunami, raz de marée qui déferle sur le rivage et dont la cause est, en général sur Haïti, un tremblement de terre.

2.3.1. Submersion marine d'origine cyclonique

2.3.1.1. MARÉE ASTRONOMIQUE

Le niveau de pleine mer sur 20 ans a été déterminé avec l'atlas de marée FES 2012. Cet atlas est développé par Noveltis, Legos et CLS Space Oceanography Division et distribué par Aviso, avec le concours du Cnes.

Cet atlas inclut 33 ondes de marée (M2, K1, S2, N2, K2, 2N2, O1, P1, Q1, S1, L2, Mu2, Nu2, R2, T2, E2, J1, La2, M4, M6, M8, MN4, MS4, M3, MKS2, N4, S4, Mf, Mm, Mtm, MSf, Ssa, Z0). Des techniques d'assimilation de données sont utilisées et une validation est réalisée par comparaison avec des mesures de marée et d'autres modèles.

A partir de cet atlas, un signal de marée a été recomposé afin d'obtenir l'évolution du niveau de marée pendant 20 ans en un point à l'ouest d'Haïti. Ce niveau ne tient pas compte des éventuelles surcotes ou décotes atmosphériques ou liées à la houle ; il correspond théoriquement à la simple marée astronomique.

Le niveau de marée de Pleine Mer maximum obtenu est de +0,5m par rapport au PBMA (Plus Basse Mer Astronomique) assimilable au zéro topographique.

¹⁰ Rapport numéroté 8411039_R1_V2

2.3.1.2. NIVEAUX CARACTÉRISTIQUES

Le rapport NATHAT1 fournit des valeurs de surélévations marines induites par les phénomènes de marée barométrique et de houles. Pour une période de retour de 100 ans, les valeurs suivantes sont annoncées :

- Houle: de 6.50 m sur la côte Nord à 7 m sur la côte Ouest ;
- Raz-de-marée (marée barométrique) : 80 cm sur la côte Ouest et 1 m sur la côte Nord.

2.3.1.3. NIVEAU DE RÉFÉRENCE ADOPTÉ

La hauteur de houle ne se répercute pas intégralement sur la cote.

Il est nécessaire de déterminer les valeurs de setup et de runup.

2.3.1.3.1. Setup

Le calcul de la hauteur du Setup (η) peut être réalisé à l'aide de la formule de Stockdon¹¹, en fonction de la hauteur des vagues (H_v), de la longueur d'onde (L) et de la pente (J) entre le trait de côte et la ligne de déferlement :

$$\eta = 0.35 J \sqrt{H_v L}$$

La pente moyenne est de l'ordre de 5%.

Avec une période (T) des ondes de l'ordre de 13 s, la longueur d'onde (L) est de 265 m ($\frac{gT^2}{2\pi}$).

Pour une hauteur de vague de 7 m, le setup est donc de 75 cm.

2.3.1.3.2. Runup

Stockdon propose la formule suivante pour le calcul du runup (R) (qui inclut donc le setup) :

$$R = 1,1 \left(\eta + \frac{H_v L (0,563 J^2 + 0.004)}{2} \right)$$

Il est donc de 2.60 m.

2.3.1.3.3. Niveau à considérer

Les hypothèses précédentes mènent à considérer **un niveau marin exceptionnel de +4m** sur la côte.

Compte tenu de la très large submersibilité du cordon littoral, il sera cartographié directement cette surélévation marine pour l'élaboration des cartes d'aléas.

2.3.1.4. CLASSIFICATION DES ALÉAS

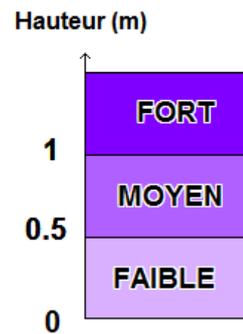
En termes de classification des aléas, il a été considéré que la dynamique de submersion était lente car le phénomène suit l'arrivée progressive et la montée en puissance de la perturbation cyclonique. Une dynamique rapide se justifierait en cas de présence d'ouvrages de protections (digues, écluses) susceptibles de rompre et de déverser brutalement de grandes quantités d'eau à l'intérieur des terres. Aucun ouvrage de ce type n'existe sur la zone étudiée.

¹¹ Stockdon et al. (2006) - Empirical parameterization of setup, swash, and runup

Tableau 4 : Classification de l'aléa submersion marine cyclonique (source: Guide méthodologique PPR Haiti)

		Dynamique de Submersion	
		Lente	Rapide
Hauteur d'eau (m)	H<0,5	Faible	Fort
	0,5<h<1	Modéré	Fort
	H>1	Fort	Très fort

En matière de cartographie, le code couleur utilisé est le suivant :



2.3.2. Tsunami

2.3.2.1. RISQUE ÉTABLI

L'étude du risque sismique a mis en évidence la présence d'une faille au large du département de Grande Anse (ligne bleue sur la figure suivante). Ses caractéristiques sont les suivantes :

- Longueur maximale : 70 km ± 10km
- Magnitude maximale¹² : 7.25 Mw

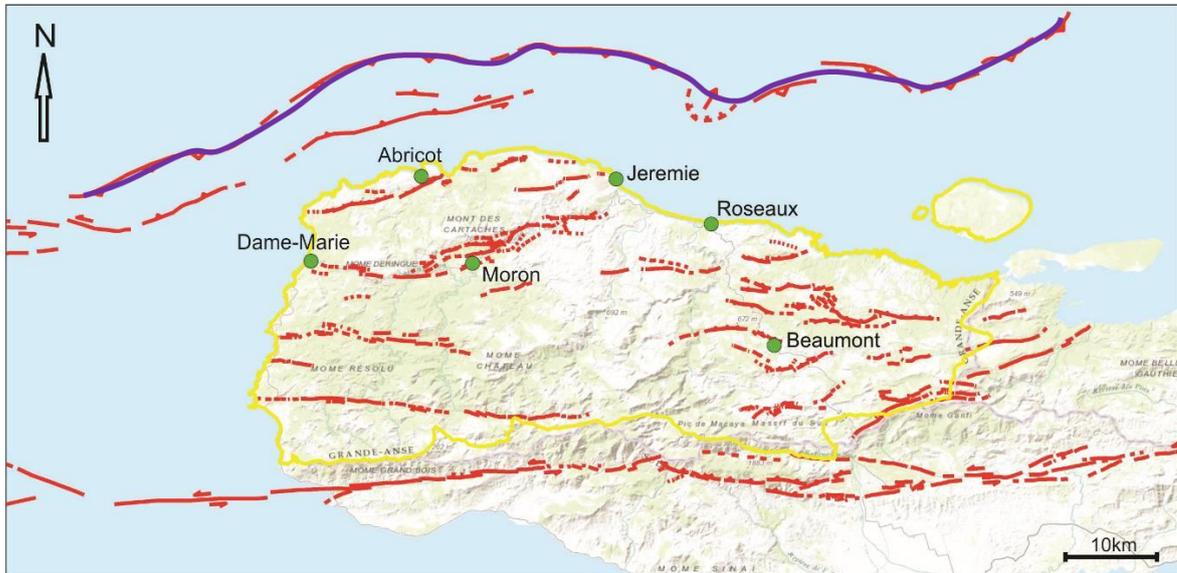


Figure 15 : Situation de la faille sismique génératrice du tsunami étudié

¹² La magnitude Mw est estimée à partir du calcul du moment sismique M0, où M0 est exprimé en N.m.

$$Mw = 2/3 (\log_{10} M0 - 9,1)$$

2.3.2.2. ANALYSE DU RISQUE TSUNAMI

Le risque de tsunami induit par une activation de cette faille a fait l'objet d'une étude confiée à l'expert Stephan Grilli¹³.

Le rapport complet figure en annexe 15.

2.3.2.2.1. Paramétrisation de la source sismique et source initiale de tsunami.

Pour générer la surface initiale du tsunami potentiel, il faut paramétrer la source sismique plus amplement. En l'absence de paramètres complémentaires (tels que pendage, rake), il a été décidé de choisir les paramètres de manière sécuritaire, afin de définir l'événement potentiel le plus extrême.

Le tableau suivant récapitule les paramètres adoptés :

Segmt.	Lat. (centre)	Lon. (centre)	Prof. (km) d	Angle de « strike » (deg. du N) θ	Angle de « dip » (deg.) δ	Long. (km) L	Larg. (km) W	Angle de « rake » (deg.)	« Slip » (m) S
1	18.7167	-74.4854	5	65	20	28	10	90	3.7
2	18.7651	-74.2073	5	95	20	38	10	90	3.7

Tableau 5 : Paramètres des segments de la source sismique Mw 7.25

En appliquant la méthode d'Okada (1985) aux paramètres précédemment établis, il apparait qu'un tsunami significatif est généré par cet événement sismique, qui a une élévation maximale initiale de 1.3 m et minimale de -0.61 m, à proximité de la côte Nord de Grande Anse, en profondeur importante, de l'ordre de 2000 m.

La propagation de cette perturbation vers la cote et son déferlement est modélisée à l'aide du modèle Boussinesq (vagues longues) non-linéaire et dispersif FUNWAVE-TVD développé par le Dr. S. Grilli depuis le début des années 1990 et très largement exploité depuis.

Deux modèles ont été construits :

- Le premier à larges mailles (100 x 100 m) permettant de couvrir l'ensemble de la côte concernée
- Le second à mailles plus fines (20 x 20 m) davantage centré sur le secteur de Jérémie (rectangle rouge).

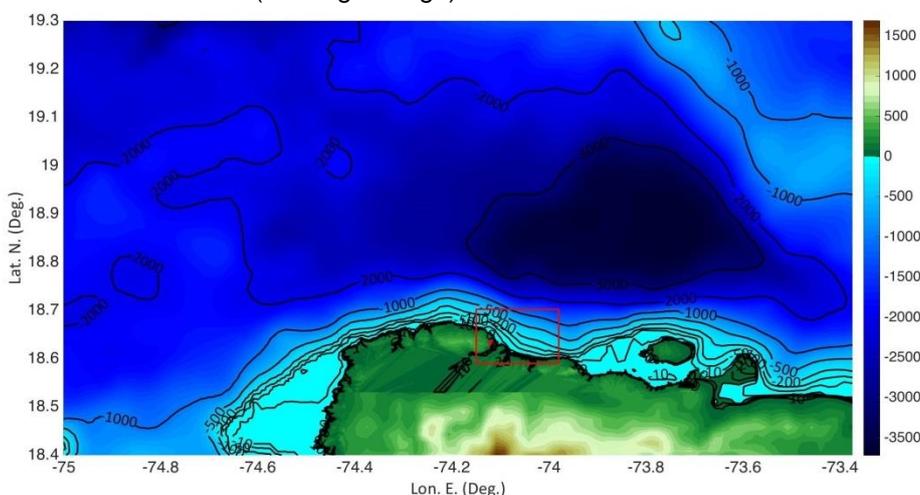


Figure 16 : Extension des maillages de calcul de la propagation du tsunami

¹³ Department of Ocean Engineering, University of Rhode Island, Narragansett, RI, USA

La topographie est issue du SRTM 30 m et du Lidar 10 m. La bathymétrie est extraite de la base de données ETOPO-1 de la NOAA, de 1 arc-min (environ 1800 m) de résolution.

Les résultats sont les suivants :

- La source étant très proche de la côte, l'impact du tsunami commence au bout de quelques minutes.
- Les simulations en maillage G1 montrent en général un runup à la côte atteignant jusqu'à 5 m, avec un maximum de 8.3 m.
- Le maillage plus fin G2 montre des runups atteignant en général de 6 à 14 m le long de la côte, et de 10 à 14 m dans la région immédiate de Jérémie, avec un maximum de 16 m.

2.3.2.3. CLASSIFICATION DES ALÉAS

En matière de classification des aléas, il a été considéré que la dynamique de submersion était rapide car on a vu que l'onde arrivait très rapidement sur la côte.

Tableau 6 : Classification de l'aléa submersion marine par tsunami

		Dynamique de Submersion	
		Lente	Rapide
Hauteur d'eau (m)	H<0,5	Faible	Fort
	0,5<h<1	Modéré	Fort
	H>1	Fort	Très fort

2.4. ALÉA RUISSELLEMENT PLUVIAL

Le ruissellement pluvial est défini généralement comme l'ensemble des phénomènes d'écoulement superficiel hors cours d'eau, qu'il s'agisse du ruissellement urbain (écoulement sur surfaces imperméables) ou du ruissellement « agricole » (avec des phénomènes d'érosion des sols ou de concentration des écoulements).

Compte tenu d'une part, de l'absence quasi générale de drains qu'il s'agisse de fossés bordant les zones de culture ou de réseau d'assainissement pluvial et, d'autre part des fortes intensités pluviales pouvant intervenir en temps de cyclone, il faut considérer que l'ensemble du territoire est soumis au risque de ruissellement, à l'exception des zones de forêt.

Il va sans dire que la déforestation et la pratique de cultures sarclées contribuent à augmenter fortement ce risque ainsi que le risque de phénomènes associés tels que :

- L'érosion des sols
- L'apport de sédiments et corps flottants dans les cours d'eau
- Le creusement de ravines en secteurs urbains

Il est impératif d'en tenir compte systématiquement lors de tout aménagement, rural ou urbain en réalisant des drains et/ou conduits d'assainissement.

2.5. ALÉA MOUVEMENTS DE TERRAIN

2.5.1. Analyse des données de l'enquête

Dans un premier temps, nous avons procédé à l'analyse des évènements issus de la première enquête participative. Une première analyse morphologique sur photos aériennes a permis d'estimer leur étendue, et d'identifier les indices correspondants à leur activité visibles sur ces photos aériennes.

Des reconnaissances systématiques sur photos aériennes, préalables aux visites de terrain, ont permis de déceler des zones d'activité pouvant être comparables aux phénomènes recensés.

Les visites de terrain ont ensuite permis de recueillir sur le terrain les indices observables d'activité et d'étendue, permettant d'évaluer précisément l'aléa généré par ces phénomènes. D'autres phénomènes ont également pu être décelés à ce stade.

On obtient ainsi un premier état des lieux de l'activité des phénomènes ; même s'il n'est pas nécessairement exhaustif, il permet de cerner les problèmes vus localement comme prépondérants en matière de risques naturels, et ainsi de mieux répondre aux attentes vis-à-vis de ces problèmes.

2.5.2. Cartographie Informatrice des Phénomènes Naturels à Risques au 1/100 000ème

Pour les glissements de terrain la classification habituelle permet de distinguer trois classes : glissements avérés, présumés et suspectés.

La recherche d'indices s'est faite par observation sur le terrain, pouvant être distante suivant les cas, couplée à des reconnaissances systématiques sur photos aériennes. Ces reconnaissances sont guidées d'une part par la géologie issue de la carte au 1/250 000^e complétée de nos observations de terrain et, d'autre part, par la morphologie (pente, morphologie observable).

Les glissements évènementiels étant très rares (un cas à Bariadelle et un cas à Désormeaux, commune de Dame Marie), ils ont été regroupés avec les glissements actifs. Les glissements présumés correspondent à des zones touchées par des glissements superficiels moins intenses et/ou des fluages, et cette classification a notamment été appliquée aux pentes du complexe tholéïthique. Enfin, les glissements suspectés ont été appliqués à des versants où les indices de mouvements sont rares ou absents, mais où des phénomènes ont été observés à proximité, notamment dans les marnes du Miocène supérieur ou les marnes et craies oligocènes de la formation de Jérémie.

Pour les éboulements rocheux, nous avons suivi la même démarche de reconnaissance des instabilités actives par observation sur le terrain, couplée à une analyse experte des photos aériennes, de la géologie (recherche de formations suffisamment cohérentes pour produire des éboulements rocheux) et de la topographie (notamment des pentes). La propagation a été déterminée en couplant notre analyse experte avec l'analyse de la topographie, appuyée par une carte des pentes, pour adapter les résultats au contexte des phénomènes observés. Dans les secteurs où l'observation directe n'a pas été possible, la précision des contours dépend donc de celle de la topographie existante (cartes 1/50.000 et données SRTM 30m) en l'absence de données LIDAR.

Ici aussi, les phénomènes évènementiels n'ont pas été distingués, en l'absence d'informations ; la plupart des zones correspondent aux phénomènes constatés, avec certains talus de pente moyenne repérés par photo-interprétation en phénomènes présumés, et des phénomènes suspectés pour des talus de pente moyenne où la présence d'instabilités est seulement suspectée.

Pour les affaissements et effondrements, le point de départ a été également la reconnaissance des indices de cavités, dolines notamment. L'aléa a ensuite été évalué en fonction de la densité de ces indices, de la géologie, et aussi de la topographie (aléa plus présent sur les plateaux, plus favorables à l'infiltration des eaux météoriques).

Des phénomènes suspectés ont été associés à des formations d'apparence karstique mais présentant pas ou peu d'indices d'affaissements récents : calcaires récifaux près des côtes, frange nord des communes de Corail et Pestel. Les phénomènes présumés couvrent le reste de ces formations karstiques, éventuellement recouvertes dans le cas des fonds ou poljés (fond d'Icaque, perte de la rivière Glace, etc) présentant suffisamment d'indices d'affaissements. Les dolines individualisées et/ou actives sont cartographiées en tant que phénomènes constatés, dont un seul (effondrement dit crevasse de Gwezel, Dame Marie) pourrait être classé en événementiel.

2.5.3. Analyse de l'aléa au 1/10 000ème pour les Plan de Réduction des Risques

La méthodologie précédente est reprise et approfondie pour l'analyse de l'aléa dans les communes destinées à se doter d'un PRR.

Les zones à enjeux ont été parcourues sur le terrain, en priorité à la recherche d'indices correspondant aux phénomènes identifiés par photo-interprétation et d'une façon générale à la recherche de tous indices de mouvements de terrain :

- Inventaire des indices d'activité observable présents sur le territoire : morphologie typique des glissements de terrain, blocs éboulés, effondrements ou dolines...
- Caractérisation géologique, morphologique et structurale des formations susceptibles de produire des mouvements,
- Relevé des données de topographie, de rugosité des sols et de végétation pouvant influencer sur la propagation.

Ces indices ont ensuite été synthétisés et intégrés dans l'analyse de l'aléa, qui fait apparaître trois niveaux :

- Un aléa fort, a priori incompatible avec des urbanisations conventionnelles,
- Un aléa modéré, où des études complémentaires détaillées (pour lever d'éventuelles incertitudes) et/ou la mise en place de parades de protection d'ampleur réaliste pourraient permettre d'urbaniser la zone sous conditions,
- Un aléa faible, correspondant à des zones où des études complémentaires pourraient être recommandées, compte tenu de facteurs de sensibilité ; les phénomènes avérés sont rares ou absents dans ces zones.

Cette analyse intègre :

- Le diagnostic et la reconnaissance des mouvements actifs et de leur évolution,
- La reconnaissance et la hiérarchisation des formations susceptibles de produire des instabilités pour qualifier l'instabilité au départ,
- L'estimation de la propagation des phénomènes, d'après la topographie et les indices collectés sur le terrain.

2.6. ALÉA SISMIQUE

L'étude détaillée de l'aléa sismique fait l'objet de l'annexe 16. Elle a consisté à :

- Analyser la documentation écrite disponible (rapports d'étude, thèses, publications).
- Etudier les cartes, plans topographiques et bathymétriques et photographies aériennes existantes.
- Etablir le cadre géologique et géodynamique général permettant de comprendre le complexe des différentes failles présentes.
- Recenser les sismicités historique et instrumentale.
- Rechercher les indices d'activité néotectonique et identifier les principales failles actives par une campagne de terrain.
- Cartographier ces failles actives et évaluer leurs caractéristiques (longueur, cinématique, magnitude ...).

3. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

Le présent chapitre constitue une synthèse des annexes 1 à 7 relatives à chacune des communes.

3.1. ABRICOTS

3.1.1. Alea inondation

L'aléa inondation est associé aux écoulements de deux cours d'eau principaux. Nous les analysons ci-après d'est en ouest.

3.1.1.1. RIVIÈRE ANSE DU CLERC

La rivière Anse du Clerc inonde le bourg du même nom, situé en rive droite. Une digue en maçonnerie a été construite mais reste inachevée à ce jour et ne protège seulement qu'une petite partie du bourg, à l'amont, et ce pour les crues courantes uniquement.

L'ouvrage hydraulique routier permettant l'accès au bourg s'affaisse dangereusement faute de fondations suffisantes et de protections adéquates.

3.1.1.2. RIVIÈRE DES ABRICOTS

Au niveau du bourg des Abricots, la rivière du même nom déborde en rive droite et inonde des habitations et ce de manière assez régulière. Une digue a été construite mais elle est contournée par l'aval, là où un tronçon a été détruit. Pour de plus fortes crues, la digue est submergée.

Le développement actuel des Abricots s'effectue à l'arrière de la digue, près du marché, dans une zone basse, très mal drainée, propice à l'insalubrité. Cet endroit est probablement une ancienne lagune et l'installation progressive de bâtiments s'y est faite sans remblaiement.

A l'amont du bourg, la rivière des Abricots méandre dans une large plaine qu'elle inonde largement. Les enjeux sont localisés en pied de versants, globalement hors d'eau, et avec possibilité de refuge dans les reliefs en cas d'inondation.

3.1.2. Alea submersion marine

Régulièrement, la mer fait des incursions dans les bourgs d'Abricots et d'Anse du Clerc. Le phénomène a été important en 1980 lors du cyclone Allen.

Le bourg des Abricots s'est muni d'une digue littorale pour protéger les habitations situées en bord de mer, mais cet ouvrage est détruit (ou en passe de l'être) sur une moitié de son linéaire.

On retrouve sensiblement les mêmes zones inondées par la submersion marine que par les inondations : secteur du marché aux abricots et abords de la rivière Anse du Clerc au bourg du même nom.

3.1.3. Aléa mouvements de terrain



Au nord de la commune, on trouve, à l'affleurement, des marnes pliocènes. Ces formations argileuses et tendres peuvent générer des glissements de terrain comme on en trouve notamment de part et d'autre d'Anse du Clerc, en lien à l'érosion marine en pied et à la raideur des pentes.

A l'est d'Anse du Clerc, l'ancienne route de Bonbon est traversée par plusieurs glissements (photo ci-dessus à gauche) ; l'aléa y est fort, il est faible dans les zones moins pentues en amont où a été construite la nouvelle route, surtout pour tenir compte de la sensibilité de ces terrains à l'infiltration (risque de régression amont des mouvements inférieurs avec les infiltrations d'eau).

On retrouve sensiblement les mêmes aléas de l'autre côté d'Anse du Clerc (photo ci-dessus à droite), avec des pentes inférieures raides en aléa fort, et une zone sensible en amont en aléa faible.

Au nord d'Abricot et d'Anse du Clerc, ces formations sont entrecoupées plus fréquemment par des terrasses de calcaires récifaux plus durs, tempérant les phénomènes de glissement.

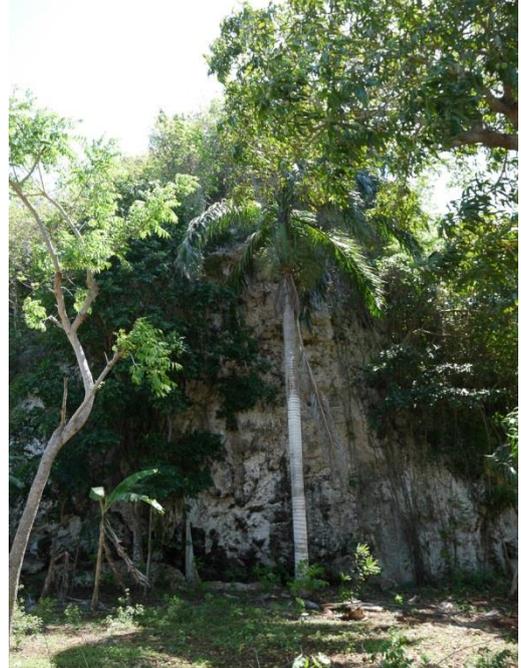


Ponctuellement, quelques talus peuvent générer quelques rares chutes de blocs comme à l'est d'Abricot (aléa moyen, photo ci-dessus de blocs anciens posés en pied de talus) ou au sud d'Anse du Clerc (petits volumes, aléa faible).

On trouve également quelques indices de karstification (ex : grotte Cotubanama, photo ci-contre) qui poussent à afficher un aléa faible d'effondrements sur les plateaux, de façon plus ponctuelle au nord et plus étendue vers l'ouest (calcaires miocènes et terrasses récifales).

On retrouve également des chutes de blocs au niveau de certaines pentes de calcaires marneux du Miocène vers le sud de la commune (Monts des Cartaches), où les instabilités semblent rares, mais où un bloc pourrait cependant se propager : l'aléa y est faible.

À l'extrémité sud-ouest de la commune, on trouve, sur une étendue modérée, les formations calcaires (ici plus marneuses) de l'Éocène moyen et supérieur, qui montrent des indices de fluages superficiels ; l'aléa y est moyen, en l'absence d'indices de mouvements de plus grande ampleur.



3.1.4. Alea sismique

La commune des Abricots est parcourue par une faille active d'une longueur d'environ 24 km et orientée N74. Elle est segmentée. La magnitude des différents segments varie entre 6 (à l'Est) et 6.4.

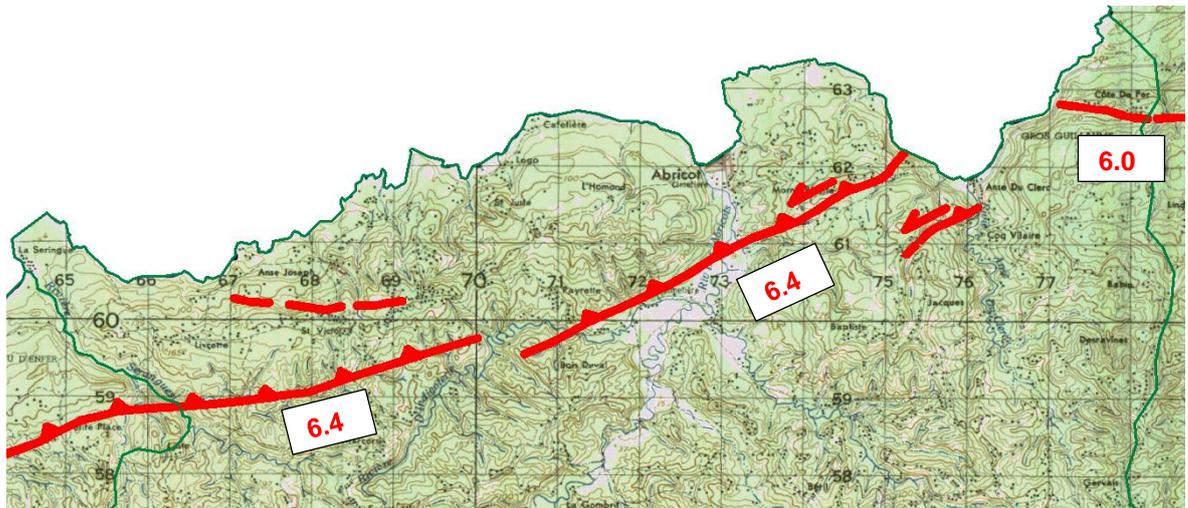


Figure 17 : Failles actives sur la commune des Abricots

3.2. ANSE D'HAINAULT

3.2.1. Alea inondation

Sur la commune d'Anse d'Hainault, les principaux secteurs touchés par les inondations sont les suivants :

- Les zones de plaines côtières (du Nord au Sud) : Anse d'Hainault, Malette et Illette. Ces zones conjuguent les problématiques complexes de débordements de cours d'eau et de submersion marine ;
- La rivière Mandou, qui déborde régulièrement sur la route menant aux Irois.

3.2.1.1. SECTEURS DE PLAINES CÔTIÈRES

La morphologie de ces plaines est sensiblement la même : elles présentent une altimétrie très proche de celle du niveau de la mer et sont séparées de cette dernière par un cordon dunaire plus élevé formant ainsi une digue. Ce point haut est bien souvent le siège d'habitations.

Les plaines sont souvent parcourues par un cours d'eau de très faible pente qui déborde très fréquemment à la faveur de fortes pluies (c'est notamment le cas à Anse d'Hainault) ou du fait d'une mer un peu haute induisant un refoulement des eaux. Exceptionnellement, le cordon dunaire peut être submergé par la mer comme par les eaux des rivières. Cela est notamment le cas lors d'un cyclone où les phénomènes d'inondation et de submersion marine se conjuguent.

3.2.1.2. RIVIÈRE MANDOU

La rivière Mandou est un cours d'eau non pérenne qui draine les eaux d'un petit massif situé au Nord des Irois. Le lit est peu marqué, végétalisé, ce qui facilite les débordements. Au niveau de la route qui relie Anse d'Hainault aux Irois, les débordements sont amplifiés par la présence d'un ouvrage hydraulique de faible dimension : des écoulements déconnectés du reste de la rivière se produisent en rive droite et touchent quelques habitations.

3.2.2. Alea submersion marine

Anse d'Hainault comporte des secteurs de plaines côtières sujettes à la submersion marine. Ces plaines sont séparées de la mer par un cordon littoral dont l'altitude ne dépasse généralement pas deux mètres et qui peut être franchi facilement lors d'un cyclone. La remontée d'eau dans ces plaines se fait également par l'embouchure des rivières.

Les secteurs concernés sont les suivants (du Nord au Sud) :

- Anse d'Hainault ;
- Malette ;
- Illette ;
- Basié.

3.2.3. Alea mouvements de terrain

Sur la commune, les formations du complexe tholéitique (altérites de basaltes et de sédiments volcanogènes) montrent de nombreux indices de fluages superficiels ; les phénomènes y sont généralement présumés, en l'absence d'indices de mouvements de plus grande ampleur (prédominance des phénomènes d'érosion superficielle).



Souvent, des tranchées anthropiques mettent en évidence de petits mouvements de fluages superficiels (photos ci-dessus).

3.2.4. Alea sismique

La commune d'Anse d'Hainault est parcourue, au Nord, par une faille active dénommée faille d'Anse d'Hainault », d'une longueur d'environ 20 km et orientée N84. Elle est très segmentée et de magnitude 5,7. Le Sud de la commune est concernée par la faille dite de « Fonchon », la plus longue et la plus marquée morphologiquement dans la Grand Anse et de magnitude 6,5.,

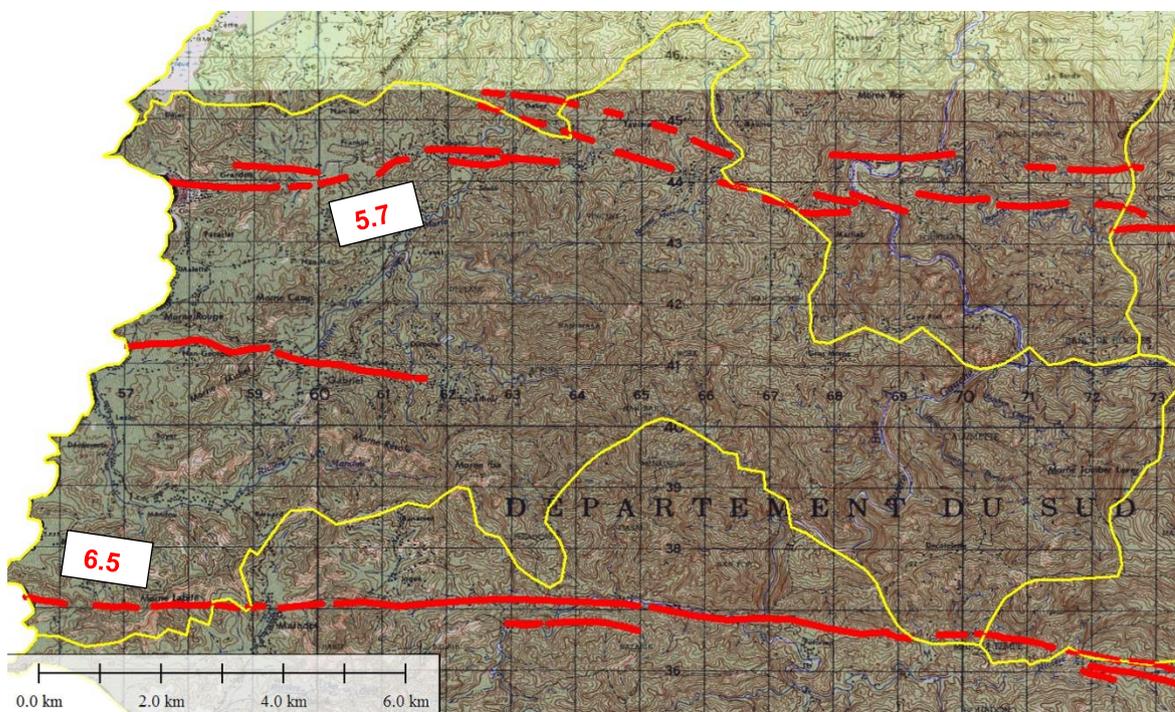


Figure 18 : Failles actives sur la commune d'Anse d'Hainault

3.3. BEAUMONT

3.3.1. Alea inondation

Faute de réseau hydrographique marqué du fait de la présence d'un vaste plateau karstique, la commune de Beaumont n'est pas sujette aux inondations torrentielles. Seules des zones de dépressions dont le fond est plus ou moins colmaté s'emplissent d'eau lors de fortes pluies, eau qui ne disparaît qu'au bout de quelques jours.

Le seul cours d'eau notable concernant Beaumont est la rivière des Roseaux : celle-ci parcourt le territoire communal dans de profondes gorges où la présence humaine est extrêmement faible.

3.3.2. Alea submersion marine

Commune non concernée.

3.3.3. Alea mouvements de terrain

La commune est essentiellement touchée par une problématique d'affaissements et d'effondrements, liés aux formations calcaires karstifiées de l'Éocène de sa partie Nord.



Dolines sous Carrefour Zaboca, Trou Odilias à l'est du village, et au sud du village vers Sanette

Les dolines observables y sont nombreuses (photos ci-dessus), et certaines sont à proximité immédiate du chef-lieu, parfois simplement remblayées (photo ci-dessous au nord du village) ce qui ne diminue que leur visibilité mais pas leur activité.



L'aléa est fort sur les dolines et grottes observables (grotte de Mouline, photo ci-après) et aux alentours immédiats, moyen ailleurs.



A noter que ponctuellement (au nord de Mouline, et vers Nan Guinée) on retrouve à l'affleurement une formation d'altérites basaltiques, qui n'est pas sujette aux affaissements, ni aux autres mouvements de terrain étudiés.

Au sud de la commune, on observe des calcaires sénoniens (formation de Macaya) constituant le massif de la Hotte et ses contreforts, avec des reliefs bien plus accusés ; les aléas y sont de chutes de blocs dans les pentes les plus fortes. Il n'y a pas été observé d'affaissements.

3.3.4. Alea sismique

La commune de Beaumont est parcourue par plusieurs systèmes de failles :

- En limite Nord de la commune, la faille de Selina Sud, de magnitude 5,5.
- Les failles de Beaumont Nord et Sud (plus segmentée que la Nord), toutes deux de magnitude 5,3.
- Au Sud, des mini failles de moindre importance.

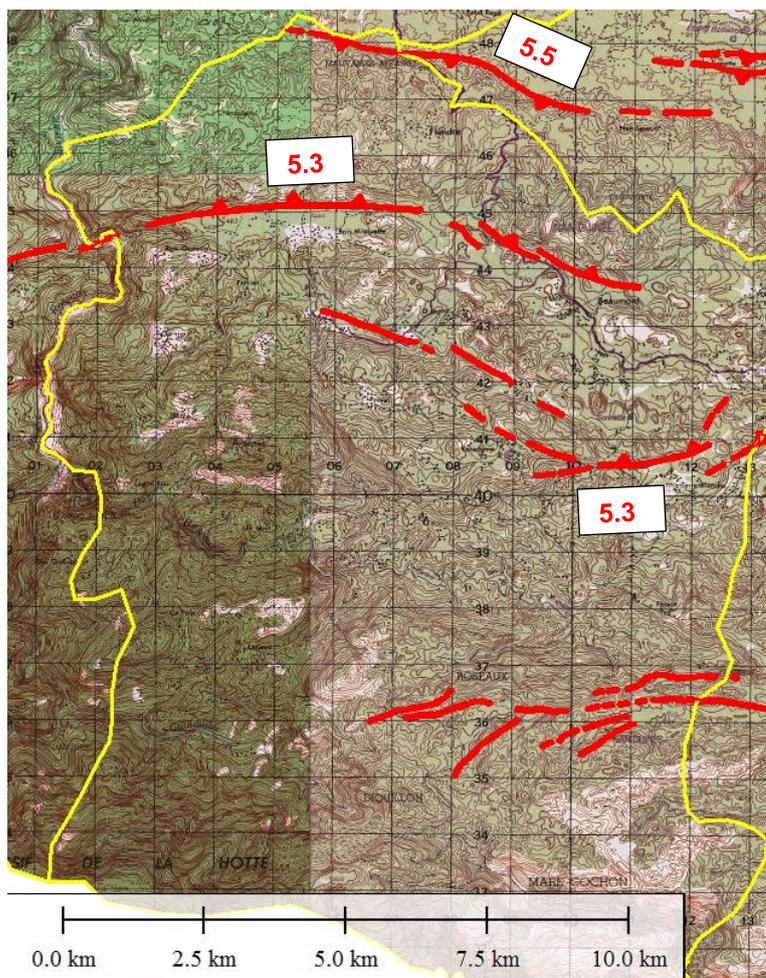


Figure 19 : Failles actives sur la commune de Beaumont

3.4. BONBON

3.4.1. Alea inondation

La commune de Bonbon est assez peu étendue et seule une rivière occasionne des débordements significatifs : la rivière Bonbon. Au niveau du bourg de Bonbon, qui se trouve à l'embouchure de la rivière, de vastes débordements ont lieu dans la plaine. La zone du marché ainsi que quelques habitations sont inondées. En revanche, le centre historique est situé sur une terrasse récifale et se trouve hors de la zone inondable.

3.4.2. Alea submersion marine

Les risques de submersion marine se cantonnent à l'embouchure de la rivière Bonbon où la mer refoule dans l'embouchure et inonde la plaine alluviale de la rivière. Le bourg de Bonbon est partiellement submergé lors d'un événement de période de retour centennale.

Le reste du littoral de la commune est escarpé et donc peu concerné par la submersion marine.

3.4.3. Alea mouvements de terrain

La commune est touchée par des éboulements rocheux ponctuels qui affectent des talus et escarpements dans les formations calcaires du Miocène supérieur et les calcaires récifaux quaternaires.

Au nord de la commune, la carte géologique indique des marnes pliocènes et des terrasses de calcaires récifaux quaternaires ; sur le terrain, ce sont les calcaires récifaux qu'on a surtout pu observer à l'affleurement, avec quelques talus au-dessus de la route et sur les rives de la rivière Bonbon, pouvant produire des blocs de volume modéré, les phénomènes y sont présumés, ils sont constatés au niveau d'un escarpement plus marqué en rive droite de la rivière.

Plus au sud, on retrouve les calcaires miocènes qui forment de plus grands versants ; les phénomènes y sont présumés en l'absence d'escarpements marqués, ils sont suspectés seulement sur les pentes du Mont des Castaches tout au sud de la commune où les instabilités semblent rares, mais où un bloc pourrait cependant se propager.

Il n'a pas été reconnu d'indice d'activité ni d'effondrement ou de karstification, ni de glissement de terrain dans ces formations.

3.4.4. Alea sismique

La commune de Bonbon est traversée par l'extrémité du système de failles des Abricots, de magnitude 6.

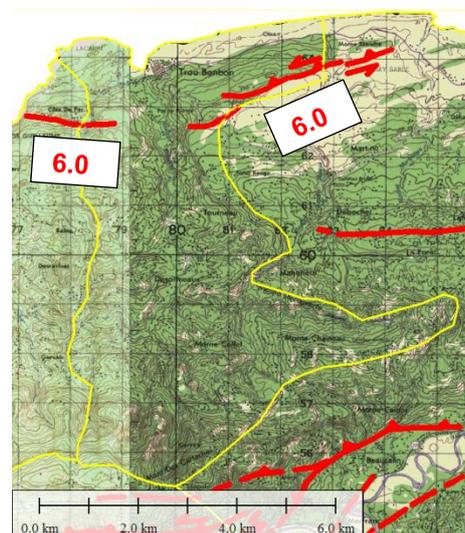


Figure 20 : Failles actives sur la commune Bonbon

3.5. CHAMBELLAN

3.5.1. Alea inondation

La commune de Chambellan est concernée par les débordements de la rivière Bras à Droite qui forme ensuite la Grande Anse au niveau de Moron. Les crues les plus fortes recensées sur cette rivière ont été consécutives aux cyclones « 1935 » et Allen en 1980. L'évènement de référence sur cette rivière est la crue de 1935 consécutive au cyclone (il n'y avait pas de dénomination des cyclones à cette époque).

Pour cette crue, l'essentiel des enjeux est constitué du bourg, inondé dans son ensemble (terrasses rive gauche et rive droite). Le long de la route menant à Moron se trouvent des enjeux ponctuels (habitations) inondés par la rivière.

3.5.2. Alea submersion marine

La commune n'est pas concernée.

3.5.3. Alea mouvements de terrain

Au nord de la commune, on trouve des chutes de blocs au niveau de certaines pentes de calcaires marneux du Miocène (Monts des Cartaches), où les instabilités semblent rares, mais où un bloc pourrait cependant se propager : les phénomènes y sont suspectés seulement.



On retrouve également des chutes de blocs au niveau de certains escarpements de calcaires moins marneux du Miocène (photo ci-dessus à l'ouest du chef-lieu), et plus au sud de ceux parfois conglomératiques du Paléocène et de l'Éocène, au sud de la Grande Anse. L'aléa est moyen.

Il n'a pas été reconnu d'indice d'activité ni d'effondrement ou de karstification, ni de glissement de terrain dans ces formations.

À l'extrémité sud de la commune, les pentes du massif de la Hotte sont constituées des formations du complexe tholéitique (altérites de basaltes et de sédiments volcanogènes), qui montrent de nombreux indices de fluages superficiels ; les phénomènes y sont présumés, en l'absence

d'indices de mouvements de plus grande ampleur (prédominance des phénomènes d'érosion superficielle).

3.5.4. Alea sismique

La commune de Chambellan est traversée par deux systèmes de failles :

- Au Nord, le système de failles de Dame-Marie, de magnitude variant de 6,4 à 6,5.
- Au Sud, le système de failles d'Anse d'Hainault, de magnitude 5,7.

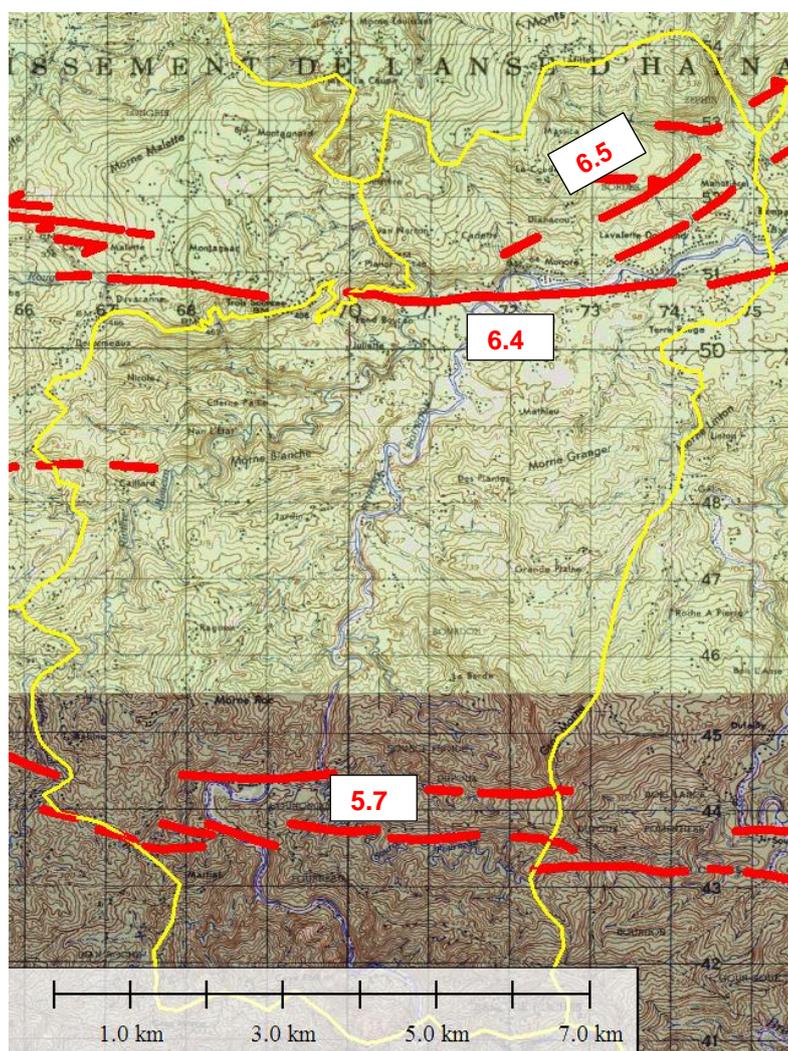


Figure 21 : Failles actives sur la commune de Chambellan

3.6. CORAIL

3.6.1. Alea inondation

Faute de réseau hydrographique marqué du fait de la présence d'un vaste plateau karstique, la commune de Corail est très peu sujette aux inondations torrentielles. Seuls deux phénomènes d'inondation notables peuvent être mentionnés : l'inondation du poljé de Nan Guillaume / Troupeau et le débordement de la rivière Lacombe.

3.6.1.1. POLJÉ DE NAN GUILLAUME / TROUPEAU

Cette vaste zone de dépression possède un fond plus ou moins colmaté qui permet à l'eau de pluie de s'accumuler et de former un véritable lac lors de forts épisodes pluvieux. L'eau disparaît ensuite lentement par infiltration et évaporation. Quelques habitations peuvent être inondées.

3.6.1.2. RIVIÈRE LACOMBE

Le seul cours d'eau notable concernant Corail est la rivière Lacombe. Celle-ci est très courte car elle provient d'une résurgence localisée dans une plaine côtière, quelques kilomètres avant la mer. La rivière déborde ici dans une vaste zone de mangrove dont certaines parties commencent à être bâties (notamment le long de la route Corail – Carrefour Charles).

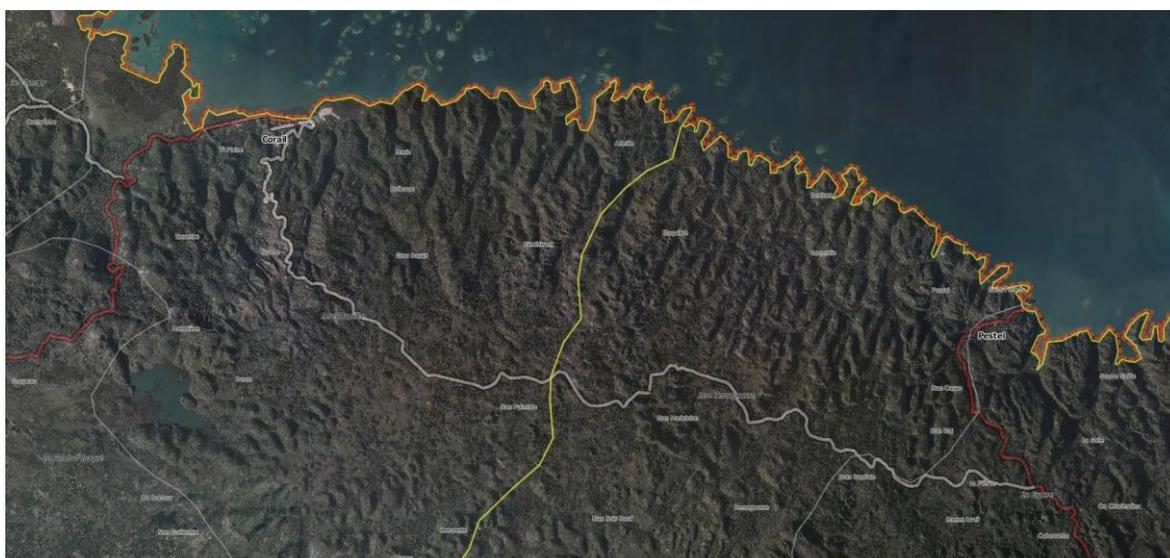
3.6.2. Alea submersion marine

Pour un évènement de période de retour centennale, la submersion marine concerne toute la partie basse du bourg de Corail (jusqu'au niveau de l'église, approximativement).

A l'Ouest du bourg, toute la zone de mangrove est submergée de même que les habitations se trouvant à proximité.

3.6.3. Alea mouvements de terrain

Comme Pestel, la commune est essentiellement touchée par une problématique d'affaissements et d'effondrements, liés aux formations calcaires karstifiées de l'Éocène.



Au nord de la commune, la morphologie est karstique avec des mogotes, collines arrondies et plus ou moins alignées (orthophotographie ci-dessus, relief typique entre les bourgs de Corail et Pestel) typiques d'un karst effondré de bord de mer tropicale, et un substrat rocheux souvent lapiazé ; il n'a pas été observé d'indices d'affaissements particuliers sur ces zones, mais la karstification avérée par ces formes de terrain pousse à afficher des phénomènes potentiels d'affaissements.

Un peu plus au sud, la morphologie est moins uniforme, et on retrouve çà et là des dolines ; les dolines forment des phénomènes constatés, les autres zones sont classées en phénomène présumé compte tenu de ces indices d'activités dans la formation.

Ces phénomènes présumés persistent en présence de recouvrement dans les fonds, plaines alluviales (poljés) telle que le Fond d'Icaque où nombre d'étangs pourraient être associés à d'anciennes dolines.

Très ponctuellement, des talus d'ampleur réduite pourraient générer quelques chutes de blocs, mais la faible propagation, freinée par la rugosité du terrain) ne permet pas de représenter ces zones à l'échelle de l'étude.

Au nord de la rivière Lacombe, à l'extrémité nord-ouest de la commune, le morne Rimbeau est constitué des marnes et craies oligocènes de la formation de Jérémie ; ces formations plus argileuses et tendres ne semblent pas karstifiées, elles pourraient générer quelques glissements de terrain, phénomènes observables sur les communes voisines de Roseaux ou Jérémie. Les phénomènes ne sont ici que suspectés.

3.6.4. Alea sismique

La commune de Corail est particulièrement touchée par l'aléa sismique du fait de la présence de nombreuses failles actives :

- Les failles de Rimbeau, au Nord, de magnitude 5,0.
- Les failles de Selina Nord, de magnitude 6,2 à 6,3.
- Les failles de Selina Sud, de magnitude 5,5.

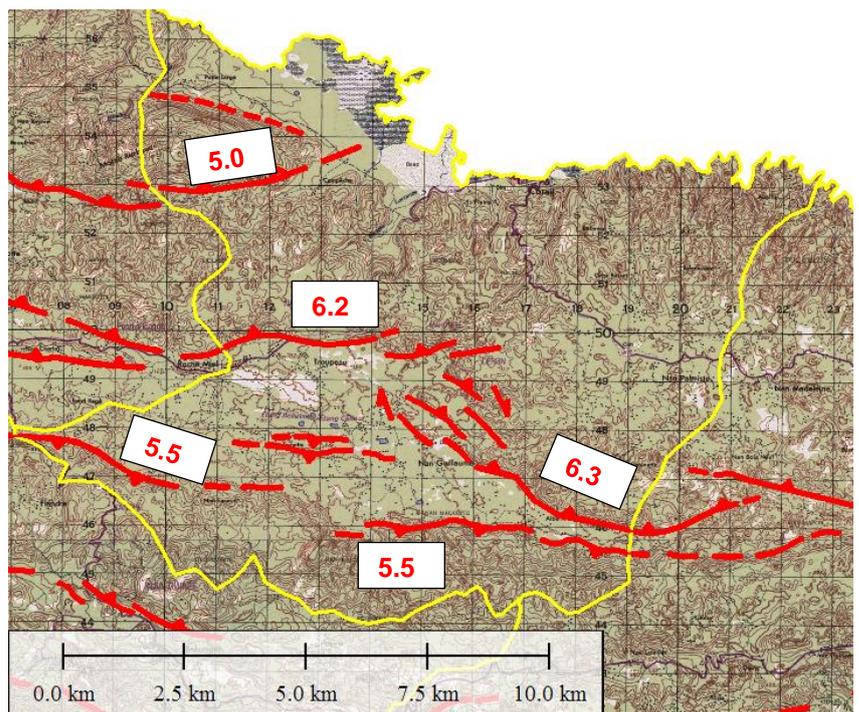


Figure 22 : Failles actives sur la commune de Corail

3.7. DAME-MARIE

3.7.1. Alea inondation

Régulièrement, Dame-Marie est inondée par la rivière du même nom : l'eau refoule depuis le nord de la ville par les canaux de drainage pour inonder la place centrale du bourg (comme en 2008 par exemple).

Pour un évènement de période de retour centennal, plus intense, l'eau arrive en plus par le lit majeur du fait de débordements qui ont lieu en rive gauche. Ces derniers ne sont pas très importants mais concernent de vastes zones habitées du fait de l'étalement de l'eau avec de faibles épaisseurs.

A l'amont du bourg, à la confluence entre la rivière Dame-Marie et la ravine sèche, des habitations sont fortement inondées en cas de crue.

3.7.2. Alea submersion marine

Sur le bourg de Dame-Marie, la submersion marine concerne essentiellement le secteur de l'embouchure de la rivière ainsi que la rangée d'habitations situées au bord de la route côtière, à l'Ouest du bourg. Le bourg de Dame Marie (église et ses alentours immédiats) est situé en hauteur et se trouve de facto hors d'eau.

Sur le reste de la commune, quelques plaines côtières sont inondées à chaque cyclone par incursion de la mer : il s'agit des lieudits de Lahaie/Petite Rivière, Plonquette et Bariadèle.

3.7.3. Alea mouvements de terrain



Au nord de la commune, on trouve à l'affleurement des formations de calcaires miocènes, entrecoupées par des terrasses de calcaires récifaux. On y trouve des indices de karstification (photos ci-dessus, grotte de Balandier – à noter des témoignages indiquant que la route qui passe à proximité sonne creux, au niveau du passage de la rivière souterraine qui exsurgit juste en aval), mais la morphologie générale n'est pas très riche en formes karstiques ; l'aléa est faible sur ces formations calcaires, et moyen (doline ancienne au-dessus du Trou d'Enfer) ou fort (Grotte de Balandier) au niveau des indices reconnus.



Signalons également, au sein de formations de colluvions meubles ou altérites assez argileuses au-dessus de calcaires miocènes ou éocènes, le seul effondrement récent et actif observé lors de la présente étude, la crevasse de Gwezel, qui forme un fontis à peu près circulaire de 20-30m de diamètre et une dizaine de mètres de profondeur, daté par les habitants du 15 mai 2014. L'aléa est fort au niveau du fontis et sur ses avoisinants.



Plus au sud, directement au nord du chef-lieu, des formations de calcaires plus marneux de l'Éocène moyen et supérieur peuvent ponctuellement générer des glissements de terrain, comme on en trouve notamment juste au nord de Désormeaux sur la route (glissement du talus aval de la route au sein d'un mouvement plus important depuis le talus amont jusqu'à la ravine en contrebas, volume 2000 à 3000 m³ environ, photo ci-dessus). Ce mouvement actif est en aléa fort, les zones avec des indices de mouvements (fluages), souvent plus pentues et orientées vers le nord ou l'ouest, sont en aléa moyen, le reste des versants pentus est en aléa faible.



Vers le sud, les faciès évoluent vers ceux plus calcaires et parfois conglomératiques de l'Éocène inférieur et du Pliocène, qui génèrent plus de chutes de blocs isolés ; l'aléa est moyen sur les talus raides (photo ci-dessus, talus calcaire vers Bariadèle au nord de Morne Mercier).



À l'extrémité sud de la commune, les formations du complexe tholéitique (altérites de basaltes et de sédiments volcanogènes) montrent de nombreux indices de fluages superficiels ; les aléas y sont généralement moyens, en l'absence d'indices de mouvements de plus grande ampleur (prédominance des phénomènes d'érosion superficielle).

Ponctuellement, on y observe des mouvements plus marqués, comme derrière le Morne Mercier (photo ci-dessus) où on observe un glissement d'environ 1000m³ au sein d'altérites argileuses de grès ; l'aléa y est ponctuellement fort.

3.7.4. Alea sismique

La commune de Dame-Marie est parcourue par une faille active d'une longueur d'environ 27 km, bien marquée morphologiquement et segmentée. Son orientation et sa cinématique sont variables ce qui a permis de distinguer trois segments : Deringue, Moron, et Cartaches. La magnitude des différents segments est de 6.4.

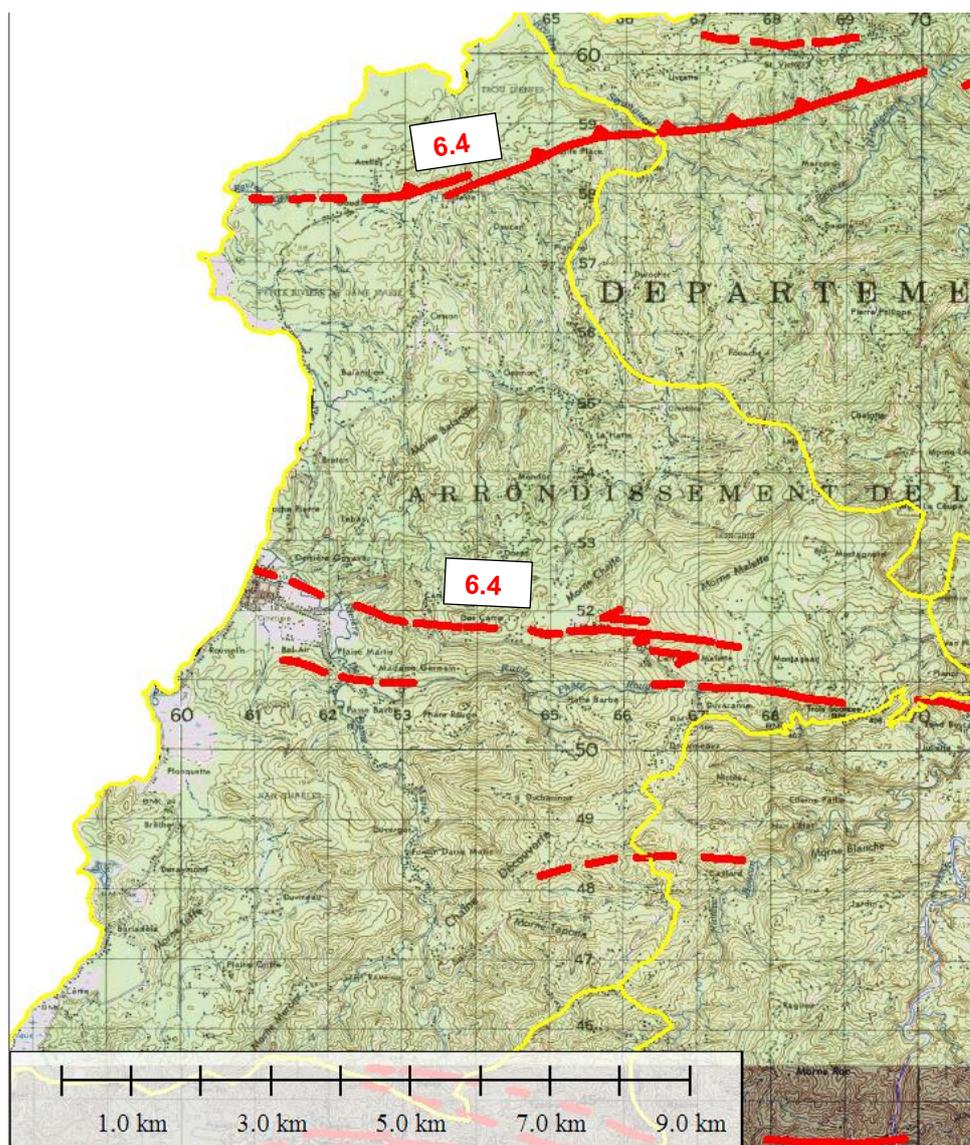


Figure 23 : Failles actives sur la commune de Dame-Marie

3.8. JÉRÉMIE

3.8.1. Alea inondation

L'aléa inondation sur la commune de Jérémie est le fait de la présence de trois rivières importantes (Grande Anse, Guinaudée et Voldrogue) et de quelques ravines en secteur urbain (Mme Kodo et Berquet).

3.8.1.1. RIVIÈRE VOLDROGUE

La rivière Voldrogue parcourt de profondes gorges jusqu'au lieudit « de Léon » où la vallée s'élargit progressivement en laissant place à un lit en tresses assez mobile.

Le bourg de Léon est partiellement inondé, notamment la zone du marché. Plus à l'aval, de nombreuses habitations construites à l'interface plaine alluviale / versant peuvent être inondées à la faveur d'évènements exceptionnels.

A l'approche de la mer, la plaine s'élargit d'avantage et la zone inondable atteint près de 500m de largeur depuis le carrefour Canot en rive gauche jusqu'au versant en rive droit.

3.8.1.2. RIVIÈRE GUINAUDÉE

La rivière Guinaudée se situe entre la rivière Voldrogue, à l'Est, et la rivière Grande Anse, à l'Ouest. Globalement, la rivière ne génère que très peu de débordements à l'exception de la partie proche de l'embouchure, où la vallée est beaucoup plus large.

Elle inonde la partie basse du lieudit « vieux bourg de Jérémie ».

3.8.1.3. RIVIÈRE GRANDE ANSE

Le recueil de quelques témoignages sur le cyclone de 1935 (crue historique pouvant être assimilée à une crue centennale) a permis de modéliser et de cartographier la zone inondable liée à cet évènement.

D'amont en aval, les principaux secteurs à enjeux touchés sont : Marfranc, Beucalin, Plaine Gélín, Buvette, La Saline/Plaine Giffeau.

3.8.2. Alea submersion marine

La partie basse du bourg de Jérémie est construite sur des terrasses récifales plus ou moins hautes. On recense trois zones particulièrement exposées :

1 – Au Nord de l'avenue Simon Duvalier : les abords d'une embouchure présentent des terrains bas, de second choix, mais progressivement bâtis du fait de la pression foncière ;

2 – La zone de la « presqu'île » : selon les témoignages recueillis, le bout de la presqu'île (au Nord du « Wharf ») est fréquemment submergé par la mer ;

3 – La partie située entre la rue Sténio Vincent et la mer est densément urbanisée et fortement soumise à la submersion marine. Les fondations des habitations sont directement placées dans l'eau. Ces constructions sont très vulnérables et ne peuvent pas résister à une forte houle.

3.8.3. Alea mouvements de terrain

Au nord de la commune, on trouve à l'affleurement des marnes et craies oligocènes de la formation de Jérémie, parfois entrecoupées des marnes du Miocène supérieur ; ces formations plus argileuses et tendres ne semblent pas karstifiées, mais elles peuvent générer quelques glissements de terrain ; on trouve notamment des indices de fluages voire de mouvements anciens (paquet glissé au sud du chef-lieu ?) sur une partie des rives de la Grande Anse et de la Voldrogue (photo ci-dessous, morphologie de paquet glissé en rive gauche de la Voldrogue au sud de Marché Léon). Ces zones avec indices de mouvements sont en aléa moyen, le reste des zones pentues dans ces formations sont en aléa faible.



À l'ouest du chef-lieu, ces formations sont entrecoupées par des terrasses de calcaires récifaux plus durs, tempérant les phénomènes de glissement. Ponctuellement, des talus sont suffisamment en pente, générant des volumes importants (photo ci-dessous, bloc de 50 à 100m³ posé sous Nan Cimite).



On retrouve également des chutes de blocs au niveau de certains escarpements de calcaires moins marneux du Miocène, notamment sur les rives de la Grande Anse (Décade et Coques Hudor, Ouest de Marfranc) et de la Voldrogue (rive gauche face à Marché Léon). L'aléa est le plus souvent moyen, avec des chutes peu fréquentes, il est fort sinon.

Plus au sud de la commune, on observe des calcaires conglomératiques du Paléocène et de l'Éocène constituant les contreforts du massif de la Hotte et, avec des reliefs bien plus accusés ; les aléas y sont de chutes de blocs dans les pentes les plus fortes. Il n'y a pas été observé d'affaissements.

À l'extrémité sud de la commune, les crêtes du massif de la Hotte sont constituées des formations du complexe tholéitique (altérites de basaltes et de sédiments volcanogènes), qui montrent de nombreux indices de fluages superficiels ; les aléas y sont moyens, en l'absence d'indices de mouvements de plus grande ampleur.

3.8.4. Alea sismique

La commune de Jérémie est parcourue par plusieurs systèmes de failles actives :

- Tout au Nord, l'extrémité du système des Abricots, de magnitude 6,0.
- Juste en dessous, le système de Jérémie, de magnitude 5,2.
- Plus au Sud, l'extrémité du système de Dame-Marie, de magnitude 6,5.
- Au centre, un petit système (Gobin), de magnitude 5,4.
- Tout au Sud, l'extrémité du système de Fonchon, de magnitude 6,4.

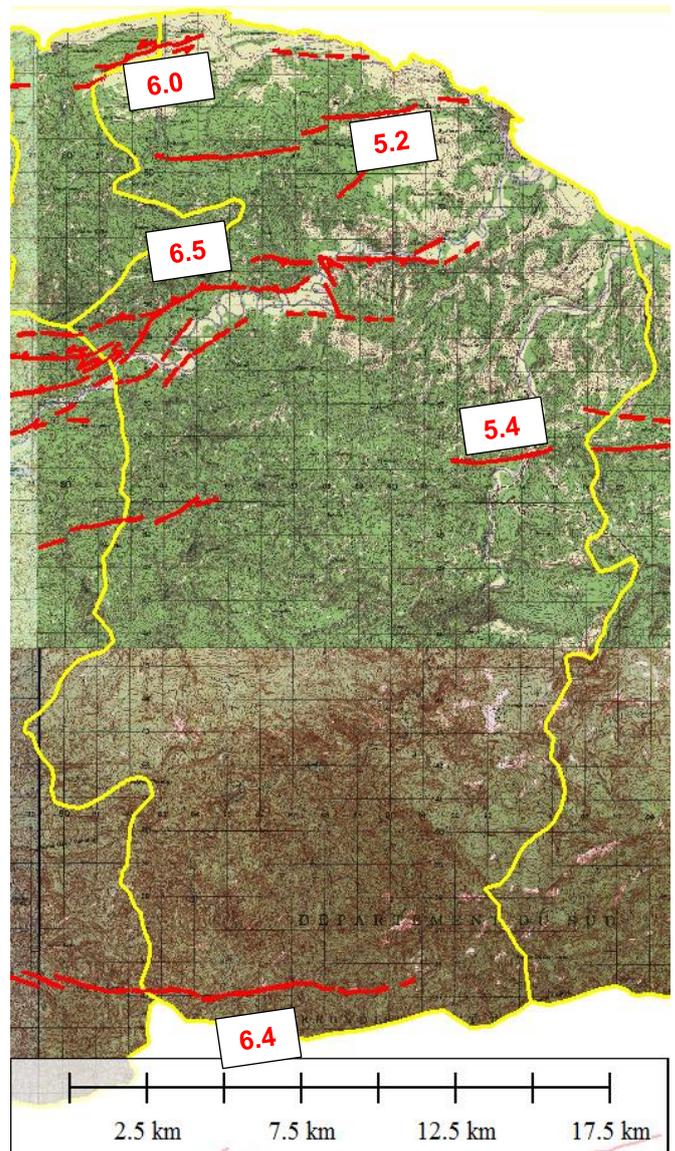


Figure 24 : Failles actives sur la commune de Jérémie

3.9. LES IROIS

3.9.1. Alea inondation

La commune des Irois est sujette aux inondations sur deux principaux secteurs :

- Sur son centre-ville, concerné par les débordements de la rivière des Irois (appelée aussi « Ticongo ») ;
- Au lieu-dit de Carcasse, plus au Sud, où plusieurs ravines traversent des zones habitées.

3.9.1.1. CENTRE-VILLE DES IROIS

Les inondations sur ce secteur sont liées d'une part aux débordements de la rivière des Irois (au niveau d'une digue transversale, au Nord), et d'autre part à la déficience du réseau de drainage récoltant les ruissellements des reliefs situés au Nord de la ville. L'influence de ces deux phénomènes se conjugue dans la zone du commissariat.

3.9.1.2. CARCASSE

Le hameau de Carcasse est parcouru par trois ravines, du Nord au Sud, la plus méridionale étant la plus importante et celle causant le plus de dégâts. Cette dernière déborde en rive droite au niveau du gué de la route principale : les écoulements empruntent ensuite la rue principale en direction de la plage où de nombreuses habitations sont alors touchées.

3.9.2. Alea submersion marine

Sur la commune des Irois, c'est principalement le bourg qui est inondé notamment :

- Dans sa partie Sud, par refoulement dans la rivière Ticongo ;
- Dans sa partie Nord, dans une zone de plaine côtière.

Le lieu-dit de Carcasse est également concerné, mais dans une moindre mesure car le terrain remonte assez rapidement à mesure qu'on s'éloigne du rivage.

3.9.3. Alea mouvements de terrain

Sur la commune, les formations du complexe tholéïtique (altérites de basaltes et de sédiments volcanogènes) montrent de nombreux indices de fluages superficiels ; les phénomènes y sont généralement présumés, en l'absence d'indices de mouvements de plus grande ampleur (prédominance des phénomènes superficiels de fluages, photos ci-dessous).



3.9.4. Alea sismique

La commune est traversée par la longue faille de Fonchon, d'orientation générale E-W (N93°) et de magnitude 6,5.

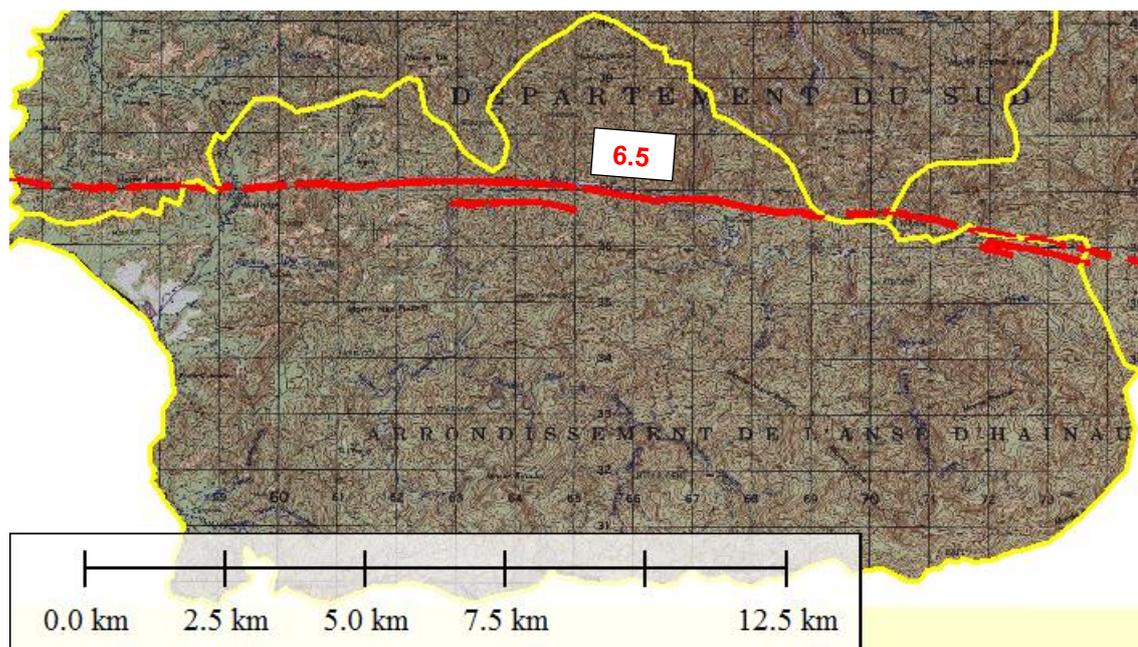


Figure 25 : Failles actives sur la commune des Irois

3.10. MORON

3.10.1. Alea inondation

La commune de Moron est concernée par les débordements des rivières Bras à Droite et Bras à Gauche qui forment ensuite la Grande Anse. Les crues les plus fortes recensées sur cette rivière ont été consécutives aux cyclones « 1935 » et « Hazel ».

Les enjeux notables touchés sont localisés le long de la route suivant les vallées des rivières Bras à Droite et Grande Anse, notamment en rive gauche, à l'emplacement de l'ancien bourg de Moron. Le village de Moron avait été déplacé en hauteur à la suite de sa destruction en 1954 lors du cyclone Hazel.

3.10.2. Alea submersion marine

La commune n'est pas concernée.

3.10.3. Alea mouvements de terrain



Au nord de la commune, on trouve des chutes de blocs au niveau de certaines pentes de calcaires marneux du Miocène (Monts des Cartaches, photo ci-dessus), où les instabilités semblent rares, mais où un bloc pourrait cependant se propager : l'aléa y est faible.



On retrouve également des chutes de blocs au niveau de certains escarpements de calcaires moins marneux du Miocène (photo ci-dessus au-dessus de la route à l'est de la commune), et plus au sud de ceux parfois conglomératiques du Paléocène et de l'Éocène, au sud de la Grande Anse. L'aléa est le plus souvent moyen, avec des chutes peu fréquentes, il est fort sur les escarpements les plus marqués.

Il n'a pas été reconnu d'indice d'activité ni d'effondrement ou de karstification, ni de glissement de terrain dans ces formations.

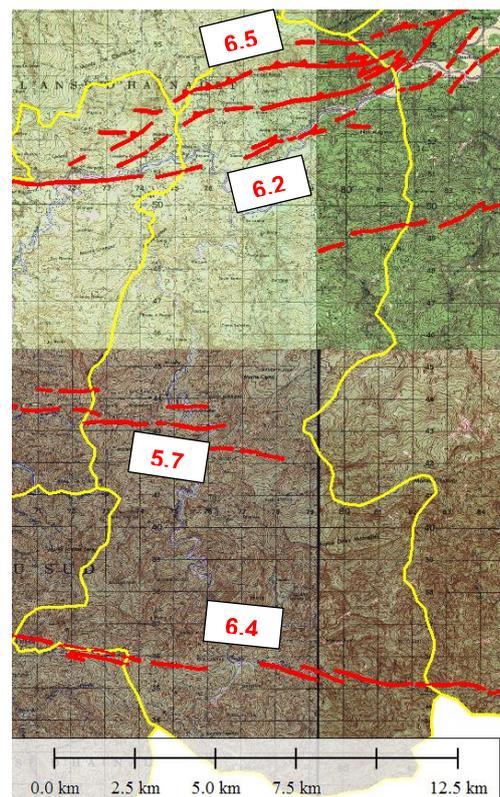
À l'extrémité sud de la commune, les pentes du massif de la Hotte sont constituées des formations du complexe tholéitique (altérites de basaltes et de sédiments volcanogènes), qui montrent de nombreux indices de fluages superficiels ; les aléas de glissement de terrain y sont moyens, en l'absence d'indices de mouvements de plus grande ampleur (prédominance des phénomènes d'érosion superficielle).

3.10.4. Alea sismique

La commune de Moron est parcourue par plusieurs systèmes de failles actives :

- Tout au Nord, le système de Dame-Marie, de magnitude 6,2 à 6,5.
- Au centre, le système d'Anse d'Hainault, de magnitude 5,7.
- Au Sud, le système de Fonchon, de magnitude 6,4.

Figure 26 : Failles actives sur la commune de Moron



3.11. PESTEL

3.11.1. Alea inondation

Faute de réseau hydrographique marqué du fait de la présence d'un vaste plateau karstique, la commune de Pestel est très peu sujette aux inondations torrentielles. Seuls deux phénomènes d'inondation notables peuvent être mentionnés : l'inondation du poljé de Fond Lacomme et l'inondation de plaines côtières par des résurgences.

3.11.1.1. POLJÉ DE FOND LACOMME

Cette vaste zone de dépression possède un fond plus ou moins colmaté qui permet à l'eau de pluie de s'accumuler et de former un véritable lac lors de forts épisodes pluvieux. La rivière Glace, issue du massif de la Hotte, contribue fortement à ces apports.

L'eau disparaît ensuite par infiltration et évaporation. Il n'y a visiblement pas d'enjeux dans cette zone hormis quelques cultures.

3.11.1.2. PLAINES CÔTIÈRES

À l'Est du bourg de Pestel, deux zones de résurgences côtières affichent des risques potentiels d'inondations. Il s'agit notamment de zones de mangrove, inhabitées à ce jour.

3.11.2. Alea submersion marine

Le village de Pestel est très bien abrité de la houle car situé dans une petite rade, orientée vers l'Est et non directement vers le large, d'où proviennent en général les fortes houles. Cette quiétude des eaux a permis aux habitants de construire très près de l'eau (parfois juste une cinquantaine de centimètres au-dessus du niveau de la mer !) ce qui fait que toute la partie basse du village est très vulnérable à la submersion.

Deux secteurs ont été placés en zones sujettes à la submersion marine :

- Le bourg de Pestel (+ îlot habité dans la baie) ;
- Les zones de mangrove situées aux embouchures des deux rivières résurgentes, situées quelques kilomètres à l'Est du bourg.

3.11.3. Alea mouvements de terrain

La commune est surtout touchée par une problématique d'affaissements et effondrements, liée aux formations calcaires karstifiées de l'Éocène de sa partie Nord.

Au nord de la commune, la morphologie est karstique avec des mogotes, collines arrondies et plus ou moins alignées typiques d'un karst effondré de bord de mer tropicale, et un substrat rocheux souvent lapiazé ; il n'a pas été observé d'indices d'affaissements particuliers sur ces zones, mais la karstification avérée par ces formes de terrain pousse à afficher des phénomènes potentiels d'affaissements.



Un peu plus au sud, la morphologie est moins uniforme, et on retrouve çà et là des dolines ; les dolines forment des phénomènes constatés (photo ci-dessus à Duchity), les autres zones sont classées en phénomène présumé compte tenu de ces indices d'activités dans la formation.

Ces phénomènes présumés persistent en présence de recouvrement dans les fonds, plaines alluviales (poljés) telles que celle de la perte de la Rivière Glace.

Très ponctuellement, des talus d'ampleur réduite dans ces formations calcaires du nord de la commune pourraient générer quelques chutes de blocs, mais la faible propagation, freinée par la rugosité du terrain, ne permet pas de représenter ces zones à l'échelle de l'étude.

Au sud de la commune, on observe des calcaires sénoniens (formation de Macaya) constituant le massif de la Hotte et ses contreforts, avec des reliefs bien plus accusés ; les phénomènes y sont de chutes de blocs dans les pentes les plus fortes. Il n'y a pas été observé d'affaissement.

Plus ponctuellement, une bande est-ouest au sud de Pavillon, entre les calcaires éocènes au nord et ceux sénoniens au sud, montre des formations du complexe tholéitique (altérites de basaltes et de sédiments volcanogènes), avec de nombreux indices de fluages superficiels ; les phénomènes y sont présumés, en l'absence d'indices de mouvements de plus grande ampleur.

3.11.4. Aléa sismique

La commune est parcourue par plusieurs systèmes de failles :

- Le système de Selina Nord, de magnitude 6,3.
- Le système de Selina Sud, de magnitude 5,5.
- L'extrémité du système de Beaumont Sud, de magnitude 5,3.
- Un système de failles mineures, non qualifiées.
- Le système de Marcelline, de magnitude 6,4

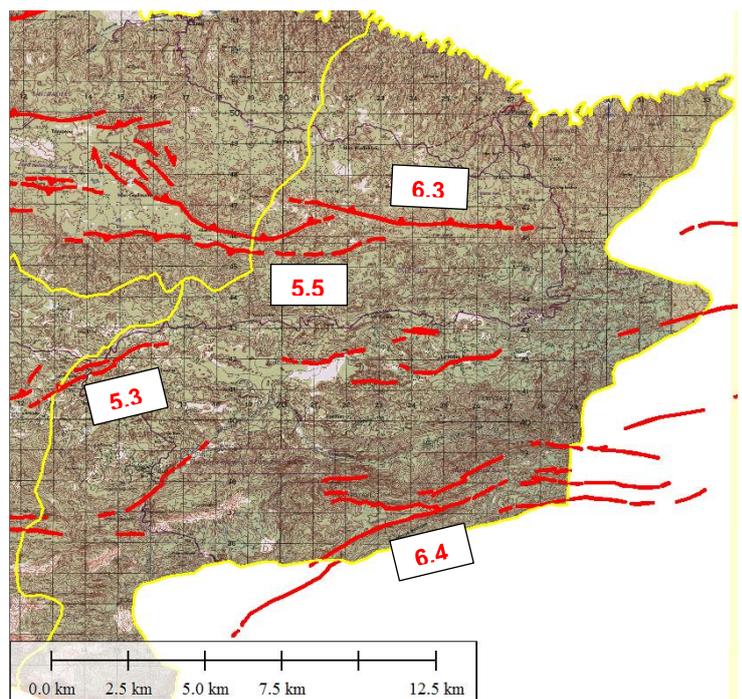


Figure 27 : Failles actives sur la commune de Pestel

3.12. ROSEAUX

3.12.1. Alea inondation

Le territoire communal ne comporte qu'un cours d'eau majeur provoquant de vastes débordements : la rivière des Roseaux. Sur la quasi-totalité de son linéaire, la rivière parcourt des gorges. Ce n'est seulement qu'à environ quatre kilomètres de son embouchure que la vallée s'élargit et où des débordements ont lieu sur d'anciens bancs alluviaux végétalisés et cultivés. Sur ce secteur, l'habitat est diffus.

Au niveau de l'embouchure, la rivière érode fortement ses berges, notamment en rive gauche où des habitations ont été emportées il y a quelques années.

3.12.2. Alea submersion marine

Le bourg des Roseaux est bâti sur une terrasse récifale, plaçant de fait le bourg 4 à 5 mètres au-dessus du niveau de la mer. Les témoignages recueillis auprès des habitants font état d'une surcote marine d'environ 2.5 m lors d'évènements de type cyclone.

En dehors des terrasses récifales hautes et de fait assez bien protégées des assauts marins, le reste du littoral de la commune est formé de lagunes isolées de la mer par un cordon littoral, notamment au niveau du lieu-dit de Gomiers. Le cordon formé ne dépasse pas une altitude de 3 à 4m et peut, lors de cyclones de forte intensité, être franchi par les vagues. La plaine côtière se retrouve ainsi fortement inondée, lorsqu'elle ne l'est pas déjà par les eaux de ruissellement des versants voisins.

3.12.3. Alea mouvements de terrain

Au nord de la commune, on trouve à l'affleurement des marnes et craies oligocènes de la formation de Jérémie, parfois entrecoupées des marnes du Miocène supérieur ; ces formations plus argileuses et tendres ne semblent pas karstifiées, mais elles peuvent générer quelques glissements de terrain ; on trouve notamment des indices de fluages voire de mouvements anciens sur les rives de la rivière des Roseaux (photo ci-après, indices de fluages en haut du vallon au centre de l'image, morphologie de paquet glissé en aval).



Ces zones avec indices de mouvements sont en aléa moyen, le reste des zones pentues sont en aléa faible.

À proximité de la côte à l'est du chef-lieu, ces formations sont recouvertes par des terrasses de calcaires récifaux plus durs, tempérant les phénomènes de glissement. Il n'y a été observé ni d'affaissements, ni d'éboulements rocheux (pentes modérées).

Plus au sud, le plateau calcaire (calcaires marneux du Miocène supérieur) au sud du Grand Vincent présente quelques signes de karstification dans sa morphologie, sans qu'il ait pu être individualisé de dolines actives ou récentes. L'aléa y est faible.

À l'Est de la rivière des Roseaux, les calcaires de l'Éocène sont plus intensément karstifiés. Au nord du Fond d'Icaque, la morphologie est karstique avec des mogotes, collines arrondies et plus ou moins alignées typiques d'un karst effondré de bord de mer tropicale, et le substrat rocheux est souvent lapiazé ; il n'a pas été observé d'indices d'affaissements particuliers sur ces zones, mais la karstification avérée par ces formes de terrain pousse à afficher des phénomènes potentiels d'affaissements.

Sur le Fond d'Icaque et au sud, la morphologie est moins uniforme, et on retrouve çà et là des dolines ; l'aléa est fort sur les dolines observables et aux alentours immédiats, moyen ailleurs.

Au sud de la commune, on observe des calcaires sénoniens (formation de Macaya) constituant le massif de la Hotte et ses contreforts, avec des reliefs bien plus accusés ; les aléas y sont de chutes de blocs dans les pentes les plus fortes. Il n'y a pas été observé d'affaissements.

3.12.4. Alea sismique

La commune est parcourue par plusieurs systèmes de failles :

- Le système de Gobin, de magnitude 5,4.
- Au Nord-Est, les systèmes de Rimbeau (magnitude 5,0) et de Selina Nord (magnitude 6,2).
- Au centre, l'extrémité Ouest du système de Beaumont Nord, de magnitude 5,3.

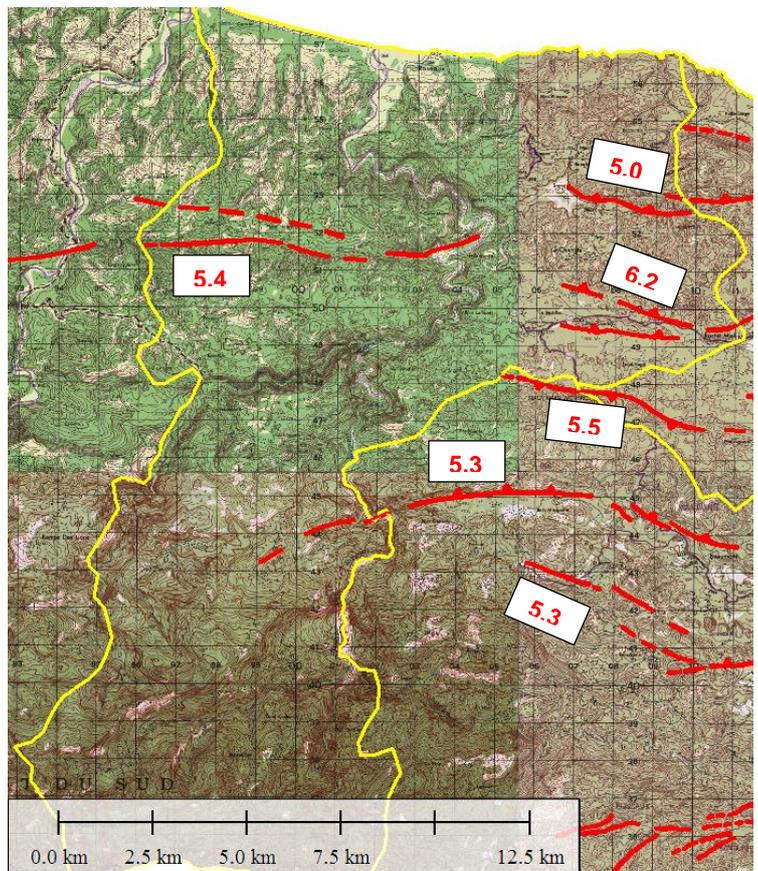


Figure 28 : Failles actives sur la commune de Roseaux

4. ANALYSE DES ENJEUX URBANISTIQUES

4.1. OBJECTIF

La gestion des risques de désastres est un axe prioritaire du PNUD en Haïti. Le PNUD contribue à :

- identifier les risques à travers une cartographie des zones qui classe le niveau de risque
- identifier les règles à suivre à l'issue de l'analyse pour mettre en œuvre la réduction des risques en zones urbaines.

Ces règles dépendent des enjeux en place, soumis aux aléas précédemment cartographiés.

Le PNUD accompagne le Gouvernement haïtien à travers la Direction de la Protection civile (DPC) afin de sortir des scénarios d'urgence et mettre en place des projets à long terme qui permettent au pays de se relever et avancer vers le développement durable.

La nécessité de faire un atout du lien existant entre le développement économique et l'environnement, nous a conduit à faire intervenir un expert Architecte, Urbaniste environnementaliste, Gérard ETTORE, représentant le Groupe AAGE, pour l'analyse de ces enjeux. Ce dernier, avec ses connaissances en aménagement du territoire, en architecture, en urbanisme et en aménagement fluvial et maritime, a permis d'orienter les analyses vers des réponses techniques et sensibles en adéquation avec les réalités du terrain et les outils de l'aménagement du territoire des six communes prioritaires du département de Grande Anse.

L'élaboration de Plans de Réduction des Risques Urbains est une opportunité d'intégrer une valeur environnementale essentielle. Il s'agit donc d'apporter un nouvel angle de lecture et un certain nombre d'éléments de propositions pour concilier le développement de l'activité humaine et le respect de l'environnement et d'aller vers un développement de l'urbanisme raisonné et durable.

4.2. DÉFINITION DES ENJEUX

L'évaluation des enjeux est une étape clé qui permet d'assurer la meilleure cohérence entre les objectifs de réduction des risques et les dispositions réglementaires qui seront retenues. Elle sert d'interface avec la carte des aléas **pour délimiter le plan de zonage réglementaire**, préciser le contenu du règlement, **et formuler un certain nombre de recommandations sur les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde.**



Figure 29 : Le risque = Aléa x Enjeux x Vulnérabilité

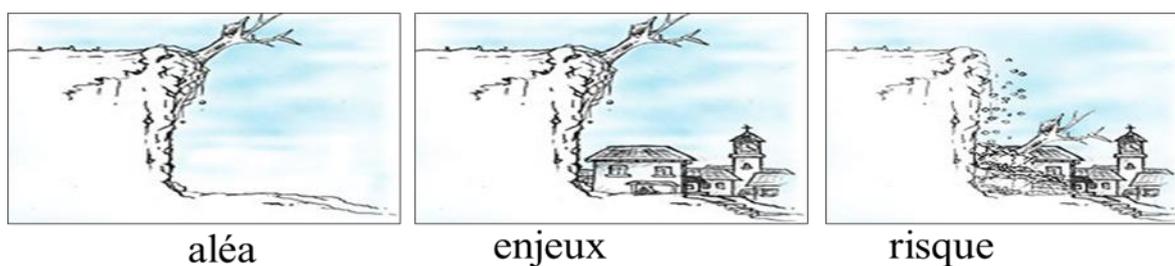


Figure 30 : Illustration du principe de risque majeur

Le **risque majeur** se caractérise par sa **faible fréquence**, sa **gravité** et l'incapacité de la société exposée à **surpasser** l'événement.

4.3. MÉTHODOLOGIE SUIVIE POUR LA DÉTERMINATION DES ENJEUX

4.3.1. Démarche participative

Comme vu au chapitre relatif à la concertation, à la suite de la présentation des cartographies informatives et des principes de la connaissance des enjeux aux élus à Jérémie, une rencontre avec les différents élus des six communes prioritaires a été effectuée.

Elle a permis aux élus de présenter leur commune au travers de leurs enjeux urbains et des éventuels projets de développement envisagés ou en cours de réalisation.

4.3.2. Reconnaissance de terrain

Ces rencontres ont été associées à un parcours du territoire urbanisé de chacune des communes prioritaires de façon à permettre une distinction entre les différents habitats et bâtiments en place (des différents espaces urbanisés).

4.4. ANALYSE DU TERRITOIRE

4.4.1. Fonctionnement du territoire

4.4.1.1. ELEMENTS HISTORIQUES

L'approche historique et sociale du développement urbain permet une meilleure compréhension de la répartition des différents espaces urbanisés.

Cette approche essentielle permet d'expliquer aux populations riveraines **les raisons d'un développement qui doit redevenir mesuré et durable.**

La notion de **bon sens**, dans l'aménagement du territoire, doit revenir au 1° plan.



Figure 31 : Photographies anciennes



Figure 32 : Photos anciennes de Jérémie

4.4.1.2. CARTOGRAPHIE ANCIENNE

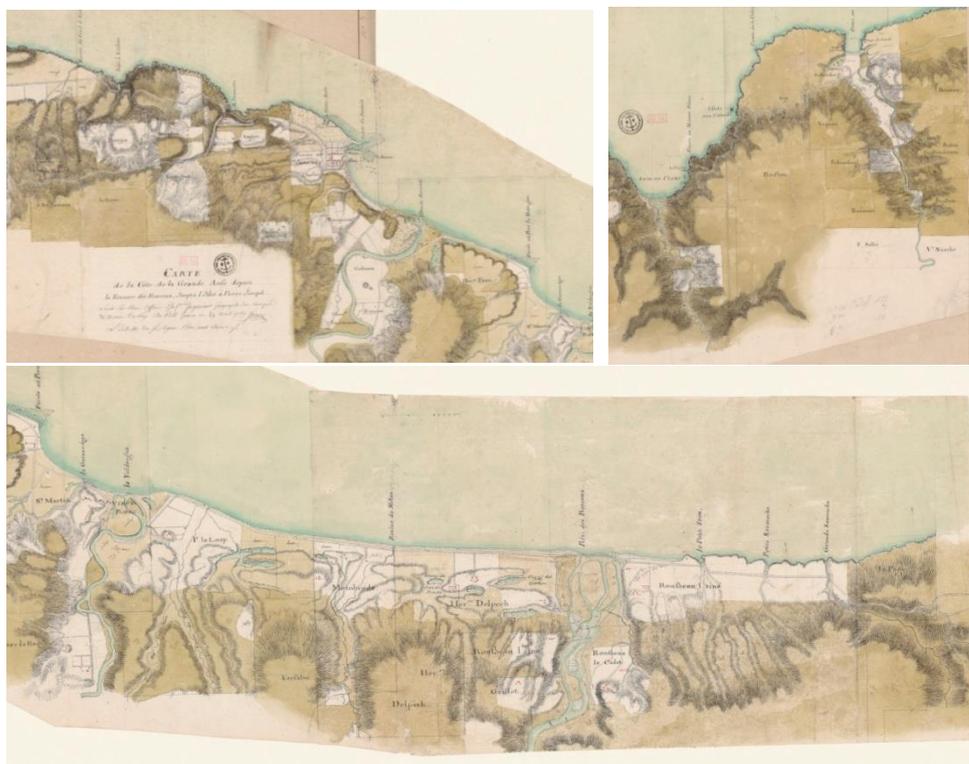


Figure 33 : Plan de la région côtière de Jérémie (1749)

Le recueil et l'analyse des cartes anciennes a permis de se rendre compte de l'évolution historique de l'urbanisation.

4.4.1.3. CRUES ET INONDATIONS ANCESTRALES

Les phénomènes d'inondations étant récurrents sur le territoire des six communes prioritaires, il est indispensable que les populations fassent un devoir de mémoire :

- Depuis longtemps les crues ont engraisées les plaines alluvionnaires des fleuves et des rivières.
- L'être humain a appris à vivre en zone inondable depuis des lustres. Souvenons-nous des palafittes situés dans les deltas des fleuves (cité lacustre du néolithique).
- Avant d'être destructrices, les crues ont été nourricières

La notion d'échelle du temps est importante en secteur inondable : ne parle-t-on pas de crues cinquantenales, centenales, alors que les aménagements urbains se décident à l'échelle d'un ou deux mandats politiques (5, 7, 8 ans).

4.4.2. Contexte socio-économique et mode d'occupation des sols

4.4.2.1. ANALYSE

Une étude menée par la Direction d'Analyse et de Recherche Démographique (DARD) de l'IHSI sur la relation entre l'exode rural et la planification urbaine en Haïti a présenté l'accélération de l'urbanisation à partir de 1950 et a souligné que l'urbanisation fut assez lente au cours du 19^e siècle et dans la première moitié du 20^e siècle.

Les résultats ont fait ressortir la forte contribution de l'exode rural à la croissance de la population urbaine et les conséquences de l'évolution de cette forte croissance qui a concerné la raréfaction des terrains urbains et la bidonvilisation. Les causes évoquées concernaient la détérioration de la qualité de vie en milieu rural.

La nature de la croissance urbaine semble être visiblement associée au niveau de développement économique du pays assez faible. Initialement liée à l'intensification de l'urbanisation, elle s'inscrit dans la nature et les raisons des migrations internes et de l'évolution économique du pays.

De 1950 à 2012, le pays qui était un pays à 88% rural est devenu à moitié urbanisé. Le nombre de villes est passé de 114 à 140 et leur taille moyenne est passée de 2742 à 34070.

Une certaine croissance qui caractérisait le début de la période s'est transformée en stagnation puis en récession économique.

De 1950 à 2012, l'économie haïtienne a évolué à partir d'une période relativement stable. On constate :

- un début de croissance puis une période de croissance plus ou moins en hausse pour le territoire national (phase I : 1950-1971 et phase II : 1971-1982) ;
- une période de stagnation progressive de la croissance et de récession économique (phase III : 1982-2003 et phase IV : 2003-2012)

4.4.2.2. POPULATION DES SIX COMMUNES PRIORITAIRES

POPULATION

Institut Haitien de Statistique et d'Informatique (Mars 2015)

Unité géographique	Milieu	Habitants	18 ans et +
HAITI		10 911 819	6 296 351
Villes	Urbain	5 247 704	3 020 481
Quartiers	Urbain	419 982	228 781
Sections Rurales	Rural	5 244 133	3 047 089
DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE			
		468 301	291 238
Villes	Urbain	101 685	64 004
Quartier	Urbain	8 803	5 426
Sections Rurales	Rural	357 813	211 808
ARRONDISSEMENT DE JEREMIE			
COMMUNE DE JEREMIE		134 317	85 174
Ville de Jérémie	Urbain	42 388	27 739
Quartie de Léon	Urbain	1 131	739
Quartier de Marfranc	Urbain	3 278	2 145
Sections Rurales	Rural	87 520	54 551
COMMUNE DES ABRICOTS			
		37 675	21 126
Ville des Abricots	Urbain	1 353	723
Sections rurales	Rural	36 322	20 403
COMMUNE DE MORON			
		31 157	18 234
Ville de Moron	Urbain	3 437	2 039
Quartier des Sources Chaudes	Urbain	233	139
Sections rurales	Rural	27 487	16 056
ARRONDISSEMENT D'ANSE D'HAINAULT			
COMMUNE DE DAME MARIE		38 747	23 768
Ville de Dame Marie	Urbain	11 154	7 923
Quartier de Lesson	Urbain	406	289
Sections rurales	Rural	27 187	15 556
ARRONDISSEMENT DE CORAIL			
COMMUNE DES ROSEAUX		35 756	21 496
Ville des Roseaux	Urbain	2 117	1 119
Sections rurales	Rural	33 639	20 377

COMMUNE DE BEAUMONT		31 580	19 345
Ville de Beaumont	Urbain	6 017	3 915
Sections rurales	Rural	25 563	15 430

4.4.3. Mode d'occupation des sols

L'analyse des populations permet de mieux comprendre l'évolution des taches urbaines sur les six communes prioritaires du territoire de Grande Anse. (Cf cartographie des taches urbaines en annexe xxx)

En effet nous constatons que les centres bourgs des communes des Abricots, de Dame Marie, Moron, les Roseaux, Beaumont ainsi que la ville de Jérémie ont conservé la trame viaire des anciennes implantations jusque dans les années 50.

Suite au passage du cyclone Hazel en 1954, les villages se sont reconstruits sur les mêmes trames viaires et quelques faubourgs ont été délocalisés (Moron). Jérémie a reconstruit sa ville sur la ville avec le même type d'habitat. (type 1, 2,3) cf § suivant.

Puis il y a eu les années économiquement « fastes » du département de Grande Anse entre 1974 et 1982, exportation de café (dixit l'ancien juge de paix de Beaumont) transformant le mode d'habitat (bâtiment en maçonnerie et béton) de type 4, 5, 6 et 7, plus « modernes » délaissant l'habitat traditionnel de type 1 avec des surfaces habitables plus grandes.

Les années de stagnation et de récession économique de 1985 à nos jours sont arrivées, augmentant l'exode rural massif vers Jérémie, et les constructions anarchiques et précaires se sont développées sur les terrains non utilisés jusqu'alors (le plus généralement sur les zones fortement inondables et les pentes des bassins versants), débouchant sur la tache urbaine de 2015.

C'est ainsi que le quartier de Caracoli à Jérémie notamment s'est développé ex nihilo à une vitesse inouïe. Il en est de même sur le petit village des Abricots où, actuellement, se développe une extension anarchique de maisons d'habitation autour du marché en plein champ d'expansion des crues (ZEC) ou zone inondable.

4.5. MÉTHODOLOGIE DE CLASSIFICATION DES ENJEUX

4.5.1. Classification des bâtiments

4.5.1.1. INTRODUCTION

Pour atteindre l'objectif défini plus haut, une étude de la vulnérabilité des bâtiments d'habitation et des bâtiments publics des bourgs des six communes a été réalisée.

L'évaluation de la vulnérabilité est réalisée de manière démonstrative à travers une visite de terrain de six jours durant laquelle des bâtiments ont été identifiés, localisés, photographiés et sommairement caractérisés du point de vue de leur vulnérabilité : type constructif, classe d'âge.

Une typologie des bâtiments courants propre à la zone d'étude (sur un diamètre de 5 à 6 km du centre bourg) est proposée.

Un reportage photo et vidéo suivant plusieurs parcours et cheminements dans les communes en voiture, taxi moto et à pieds a permis d'identifier ces typologies ainsi que les datations du bâti.

4.5.1.2. TYPE CONSTRUCTIF

Un nombre limité et non-exhaustif de types de constructions est considéré pour représenter :

- l'habitat traditionnel
- les bâtiments de type patrimonial
- les bâtiments en maçonnerie et les bâtiments en ossature béton armé (poteau poutre) avec des remplissages en maçonnerie.

Les bâtiments en ossature en béton armé avec des remplissages en maçonnerie sont les plus représentatifs avec des qualités de béton plus ou moins bonnes (dosage, sable de mer, construction non chaînée).

Afin de différencier leurs vulnérabilités, une classification de ces constructions est réalisée à partir des caractéristiques architecturales (structure et composition) et des facteurs aggravant la vulnérabilité (transparences, poteaux courts, fondations non adaptées à la pente du terrain).

4.5.1.3. CLASSES D'ÂGE

La cartographie des taches urbaines (**Annexe n°xx**) est utilisée afin de déterminer les grandes périodes de construction des bâtiments :

- Pour la ville de Jérémie : 1769, Avant 1957, Avant 1987, Avant 2003, Avant 2010, Avant 2015
- Pour les centres bourgs des Abricots, Dame Marie, Moron, les Roseaux, Beaumont : Avant 2010, Avant 2015

Suite à la visite de terrain et en se basant sur les âges de référence, sont délimitées des zones dans lesquelles les bâtiments ont en grande majorité la même typologie et les mêmes caractéristiques architecturales et de vulnérabilité. Ces zones sont estimatives et pourront être affinées par des études ultérieures plus détaillées.

4.5.2. Définition de la typologie et des systèmes constructifs

La classification typologique (par type de système constructif) est définie comme suit :

- Type 1 : Habitat Traditionnel (RDC) – Ossature bois + toit tôle ou chanvre
- Type 2 : Construction patrimoniale (R+1, R+2 +) – Ossature bois et/ou brique + Toit Tôle
- Type 3 : Construction Brique(RDC – R+1) – bois + Toit tôle
- Type 4 : Construction mixte (RDC – R+1) – Bois – Métal – Béton – agglo + Toit Béton
- Type 5 : Construction (RDC – R+1) Béton + agglo + Toit Tôle
- Type 6 : Construction (RDC – R+1) Béton + agglo + Toit Béton
- Type 7 : Construction (R+2 – R+3) Béton + agglo + Toit Béton

4.5.2.1. TYPE D'HABITAT 1

- Type 1 : Habitat Traditionnel (RDC) – Ossature bois + toit tôle ou chanvre

Fondation et soubassement : Pierre et ciment
 Ossature : Bois
 Remplissage : Clissage de palmiste et enduit sable / chaux
 Charpente et menuiserie : Bois
 Toit : Tôle



Figure 34 : Type 1 : Habitat Traditionnel (RDC) – Ossature bois + toit tôle ou chanvre

4.5.2.2. TYPE D'HABITAT 2

-Type 2 : Construction patrimoniale (R+1, R+2 +) – Ossature bois et/ou brique + Toit Tôle

Fondation et soubassement : Pierre et ciment
 Ossature : Bois et/ou brique
 Remplissage : moellons et brique enduit sable / chaux
 Charpente et menuiserie : Bois
 Toit : Tôle



Figure 35 : Type 2 : Construction patrimoniale (R+1, R+2,...) - Ossature bois et/ou brique + toit tôle

4.5.2.3. TYPE D'HABITAT 3

- Type 3 : Construction précaire (RDC – R+1) – bois - tôle – agglo sable de mer + Toit tôle

Fondation et soubassement : Pierre et ciment
 Ossature : Béton mauvais état et mal chaîné
 Remplissage : Tôle – agglo(sable de mer) - bois
 Charpente et menuiserie : Bois
 Toit : Tôle et/ou bâche



Figure 36 : Type 3 : Construction précaire (RDC - R+1) - bois - tôle - agglo + toit tôle

4.5.2.4. TYPE D'HABITAT 4

- Type 4 : Construction mixte (RDC – R+1) –Bois–brique–Métal–Béton–agglo + Toit Mixte

Fondation et soubassement : Pierre et ciment
 Ossature : Bois - Métal – Béton
 Remplissage : agglos (parpaings)
 Toit : Dalle béton ou Tôle



Figure 37 : Type 4 : Construction mixte (RDC – R+1) –Bois–brique–Métal–Béton–agglo + Toit Mixte

4.5.2.5. TYPE D'HABITAT 5

- Type 5 : Construction (RDC – R+1) Béton + agglo + Toit Tôle

Fondation et soubassement : Pierre et ciment
 Ossature : Béton
 Remplissage : agglos (parpaings)
 Toit : Tôle



Figure 38 : Type 5 : Construction (RDC – R+1) Béton + agglo + Toit Tôle

4.5.2.6. TYPE D'HABITAT 6

-Type 6 : Construction (RDC – R+1) Béton + agglo + Toit Béton

Fondation et soubassement : Pierre et ciment
 Ossature : Béton
 Remplissage : agglos (parpaings)
 Toit : dalle béton



Figure 39 : Type 6 : Construction (RDC – R+1) Béton + agglo + Toit Béton

4.5.2.7. TYPE D'HABITAT 7

- Type 7 : Construction (R+2 – R+3) Béton + agglo + Toit Béton

Fondation et soubassement : Pierre et ciment

Ossature : Béton

Remplissage : agglos (parpaings)

Toit : dalle béton



Figure 40 : Type 7 : Construction (R+2 – R+3) Béton + agglo + Toit Béton

4.5.3. Datation du bâti

L'âge des constructions est divisé en sept classes :

- Classe 1 : Avant 1915
- Classe 2 : De 1916 à 1954
- Classe 3 : De 1955 à 1963
- Classe 4 : De 1964 à 1987
- Classe 5 : De 1988 à 2003
- Classe 6 : De 2004 à 2010
- Classe 7 : De 2011 à 2015

4.5.4. Détermination de l'extension des taches urbaines au fil du temps

Afin de déterminer les grandes périodes de constructions des bâtiments nous avons établi des recherches sur les documents suivants :

- Levé par un officier Ingénieur géographe de l'armée du roi le 27 avril 1769 (Jérémie et Roseaux)
- Carte topographique au 1/50 000° de 1957 (Jérémie)
- Carte topographique au 1/50 000° de 1987 (Jérémie)

- Carte Google Earth 2003

Dame Marie, Abricots, Moron, Jérémie, Roseaux, Beaumont :

- Orthophoto de 2010, 2014 (Jérémie)
- Carte Google Earth 2015

Une étude terrain de six jours sur les six communes est venue compléter l'analyse.

L'étude de la tâche urbaine est réalisée sur un périmètre de 5 à 7 km autour du centre bourg.

Une cartographie au 1/25 000^{ème}, parfois au 1/10 000^{ème} et des zooms au 1/5000^{ème} sont réalisés sur les centres bourgs.

4.5.5. Classement des sols en secteurs homogènes

4.5.5.1. INTRODUCTION

L'analyse de nombreux documents (études, inventaire cartographique, photographies aériennes), la rencontre avec les élus et les visites de terrain ainsi que l'importance du développement de nouvelles zones urbaines en zones à forts aléas nous conduisent à la mise en place d'une classification de l'utilisation des sols spécifique aux territoires à forts enjeux urbanistiques.

Cette approche permet de déterminer, pour les zones urbaines, des unités homogènes en termes de morphologie, de typologie, de densité, de datation du bâti et, surtout, du mode d'organisation et d'accessibilité aux réseaux viaires des villages et de la ville de Jérémie.

Nous signalons le manque de cadastre à l'heure actuelle mais nous avons appris que sa réalisation est projetée.

D'autre part nous constatons la non présentation de projets d'aménagements et la non application des lois nationales sur l'urbanisme par les mairies.

4.5.5.2. MÉTHODE

L'observation et l'analyse plus fine de la typologie des bâtiments et de leur mode d'implantation les uns par rapport aux autres dans un tissu urbain dense permet de constater que la plupart de ces constructions (90% environ) sont indépendantes les unes des autres.

Nous observons que chaque maison (ou bâtiment de tout type) en centre urbain est posé sur un système fondatif indépendant ménageant ainsi un joint de rupture de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres entre chacune d'elles.

Cette observation importante nous permet de classer en secteurs homogènes urbains des ilots, des quartiers composés de bâtiments de type 2, 4, 5, 6 et quelques bâtiments de type 7.

Une classification plus fine permet de déterminer les enjeux urbanistiques des bourgs (Abricots, Roseaux), villages (Dame Marie, Moron, Beaumont) et la ville de Jérémie par secteurs homogènes urbains, différenciés par leur mode de relation avec les réseaux viaires des quartiers.

C'est ainsi qu'un même quartier ou ilot peut être composé des différentes typologies de bâtiments.

4.5.5.3. CLASSIFICATION DES ENJEUX

La classification des enjeux surfaciques est listée ci-après.

Ces zones homogènes sont estimatives et pourront être affinées par des études ultérieures plus détaillées si nécessaire.

Le rendu de l'identification des enjeux ponctuels de type bâtiments publics et stratégiques n'a pas été remis car le repérage GPS des différents bâtiments publics est en cours de traitement à l'IHSI mais non encore disponible.

Les enjeux linéaires ne sont pas modélisés mais ils sont abordés dans notre rapport.

- Centre Urbain Structuré (CUS)
(cœur historique et faubourg présentant une continuité bâtie et mixité d'usage)
- Centre urbain précaire (CUP)
- Extension urbaine linéaire (EUL)
- Habitat diffus (HD)
- Zone d'activité (ZA)
- Zone portuaire (ZP)
- Espace public (EP)
- Dents creuses + enclaves (DC + ENC)

4.6. DESCRIPTIONS PAR COMMUNE

4.6.1. Les Abricots

4.6.1.1. HISTORIQUE DU LIEU

Le centre bourg des Abricots est un ancien village de pêcheur.

En 1780, le bourg des Abricots ne comptait que 17 maisons et dépendait de la paroisse de Dalmarie.

Son anse sert d'embarcadère pour les denrées qu'on exploite sur la commune.

4.6.1.2. DÉSASTRES NATURELS

Le village a été pratiquement rasé lors du passage du cyclone HAZEL.

Le village existant s'est reconstruit durant la période de 1954 à 1974.

4.6.2. Dame-Marie

DALMARIE, nom indien qui, par corruption, a été changé en Dame-Marie. C'est un bourg dont l'établissement remonte à l'année 1776.

Les eaux thermales du bras gauche de la grande rivière de Jérémie sont dans la commune de Dalmarie.

Le canton de Dame-Marie produit du café, du cacao et autres denrées d'exportation et de consommation intérieure.

4.6.3. Jérémie

4.6.3.1. HISTOIRE DU LIEU

La ville actuelle fut fondée en 1760. Des incendies dont ceux du 16 juillet 1876 et des années 1884 et 1885 effacèrent le tracé original.

Surnom : Cité des poètes.

Le port fut ouvert au commerce extérieur en 1807. Il n'offre aucun abri contre les vents du Nord.

De fréquentes submersions marines viennent ajouter aux dangers que courent les bâtiments.



Figure 41 : Jérémie - vue aérienne

4.6.3.2. DÉSASTRES NATURELS

Ville pratiquement isolée du reste du pays à cause d'un réseau routier déficient, Jérémie a été frappée par un cyclone plus d'une vingtaine de fois, certains causant des dégâts considérables comme par exemples :

- La première ville fut détruite par les ouragans de 1772,1775, 1781 ;
- 28 Septembre 1873 ;
- 12 septembre 1875 ;
- Le cyclone Hazel qui la brossa sévèrement le 11 octobre 1954 ;
- Le cyclone de 1958 connu sous le nom d'Ella ;
- 24 Août 1964 le cyclone Cléo y fit 192 victimes ;
- 5 Août 1980: cyclone Allen ;
- 12 novembre 1994: Gordon.



Figure 42 : Le vieux lycée de la haute ville de Jérémie après le cyclone Hazel

Photographie aimablement fournie par Patricia Balandie

Le vieux lycée de la haute ville fut gravement endommagé mais resta cependant debout.

4.6.3.3. ESPACES REFUGES COLLECTIFS

Centre d'hébergement : Ecole notre dame de Lourdes – Capacité : 700 personnes

Centre d'hébergement : Ecole des frères Paulin – Capacité d'accueil : 500 personnes

Centre d'hébergement : Ecole nationale St Luc – Capacité d'accueil : 200 personnes

Centre d'hébergement : Ecole Marguerite d'Youville – Capacité d'accueil : 200 personnes

4.6.4. Moron

Espaces refuges collectifs.

Plan Communal d'Alerte et d'évacuation (Predict Services – 2010).

Inondation Rivière Grande Anse – La ferme – Raque.

Centre d'hébergement : Eglise Baptiste – Capacité : 100 personnes

Centre d'hébergement : Lycée national de Moron – Capacité d'accueil : 500 personnes

4.6.5. Roseaux

Ce bourg que l'on nommait autrefois le Petit trou de la Grande Anse, est situé à quelques kilomètres de la ville de Jérémie.

C'est un embarcadère qui a pris quelque accroissement durant la révolte de Goman.

5. LES PRRN

5.1. CONTENU ET OBJECTIF D'UN PRRN

Le Plan de Réduction des Risques Naturels détermine sur un territoire donné les aléas naturels (inondation, submersion marine, séisme, ...) et les cartographie en fonction de leur intensité.

Le PRRN a pour objet de délimiter les zones directement exposées aux risques et d'autres zones non directement exposées mais où certaines occupations ou utilisations du sol pourraient aggraver les risques ou en provoquer de nouveaux.

Au regard de ces priorités les objectifs du PPR visent à :

- Assurer la sécurité des personnes, en interdisant les implantations humaines dans les zones les plus dangereuses où la sécurité des personnes ne peut être garantie.
- Ne pas augmenter les enjeux exposés, en limitant strictement l'urbanisation et l'accroissement de la vulnérabilité dans les zones soumis aux différents aléas.
- Diminuer les dommages potentiels en réduisant la vulnérabilité des biens et des activités dans les zones exposées et en aidant à la gestion de crise.
- Préserver les capacités d'écoulement et les champs d'expansion des crues pour ne pas aggraver les risques dans les zones situées en amont et en aval.
- Eviter tout endiguement ou remblaiement nouveau qui ne serait pas justifié par la protection de lieux fortement urbanisés.
- Sauvegarder l'équilibre des milieux dépendant des petites crues et la qualité des paysages souvent remarquables du fait de la proximité de l'eau et du caractère encore naturel des vallées concernées.

En fonction des enjeux présents, le PRRN définit sur ce territoire des règles de bon usage du sol ainsi qu'une carte de zonage.

Ainsi, le PRRN, à travers le zonage et les règles de bon usage du sol, organise les projets d'installations nouvelles et les projets d'aménagement des constructions existantes en prescrivant des règles d'urbanisme, de construction ou d'exploitation.

5.2. LE ZONAGE

Le zonage et les règles de bon usage du sol distinguent schématiquement trois types de zones :

- **Les zones rouges où le risque est jugé fort à très fort.** Dans ces zones, **le principe général est l'interdiction.** Les objectifs sont :
 - L'interdiction de toutes constructions nouvelles.
 - L'amélioration de la sécurité des personnes et la non-augmentation de la population exposée.
 - La réduction de la vulnérabilité des constructions et des aménagements existants par des prescriptions de travaux très strictes.
- **Les zones vertes où le risque est plus modéré.** Les principes sont :
 - De réglementer la construction.

- De viser la réduction du risque par une diminution significative de la vulnérabilité des biens et des personnes.
- **Des zones jaunes ou orange** où le risque est présent mais sur lesquelles des aménagements lourds sont réalisables pour réduire ce risque. Sur ces zones, et après réalisation des aménagements, l'urbanisation sous condition devient possible.

5.3. RÈGLEMENTS

5.3.1. Objectifs et principe de rédaction

L'objectif du règlement est d'organiser les projets d'installations nouvelles en prescrivant les règles d'urbanisme, de construction et d'exploitation.

Le présent règlement a été rédigé en s'appuyant sur le guide méthodologique d'établissement des plans de réduction des risques naturels en Haïti.

Afin d'aider les autorités et les populations dans la mise en application de ce règlement, nous proposons dans un souci de pédagogie auprès des autorités et des populations, d'identifier les mesures d'accompagnement d'ordre général qu'il va falloir mettre en œuvre.

Nous voulons ici définir les priorités :

a) Limiter les facteurs aggravants en :

1. Stop pant l'urbanisation anarchique vers les secteurs à aléas : Inondation, Submersion marine/Tsunami, Mouvement de terrain, Séisme.
2. Stop pant la dépréciation agricole et forestière des bassins versants amont aux zones urbanisées en y remédiant par :
 - Plantation de forêts pour le bois d'œuvre
 - Plantations de culture légumière et fruitière
 - Plantation de haies vives le long des courbes de niveaux afin de retenir les terres et limiter l'érosion des sols et particulièrement sur les parcelles agricoles et le long des chemins et des routes en amont des villages et de la ville de Jérémie.
3. Stop pant la construction de voiries parallèles à la pente et ayant une pente supérieure à 25%

b) Orienter les populations vers d'autres modes constructifs (Structure légère, contreventée et anticyclonique) en :

1. Proposant des formations aux entrepreneurs
2. Favorisant la formation à l'auto construction encadrée en structure légère

c) Réaliser un réseau viaire structuré en :

1. Regroupant les fonctions structurantes d'une voirie comme suit :
 - Réseau d'assainissement
 - Réseau pluvial

- Réseau de distribution (Eau, Electricité, téléphone, internet)
- Chaussée carrossable avec traitement de surface (Trottoir, cunettes, plantation d'arbre)

d) Organiser la gestion des déchets en :

1. Réalisant la chaîne complète qui se décompose comme suit :
 - l'entretien des réseaux des voiries
 - la collecte des ordures ménagères
 - la mise en place de décharges autorisées règlementées.

5.3.2. Quelques définitions

5.3.2.1. PROJETS NOUVEAUX

Est considéré comme projet nouveau :

- tout ouvrage neuf (construction, aménagement, installation, clôture,...),
- toute extension de bâtiment existant,
- tous travaux, toute installation,
- toute modification ou changement de destination d'un bâtiment existant, conduisant à augmenter l'exposition des personnes et/ou la vulnérabilité des biens.

5.3.2.2. FAÇADES EXPOSÉES

Le règlement utilise la notion de « façade exposée » notamment dans le cas d'écoulements proches du lit mineur, où les vitesses atteintes peuvent être importantes avec transport de matériaux. Cette notion, simple dans beaucoup de cas, mérite d'être explicitée pour les cas complexes :

- la direction de propagation du phénomène est généralement celle du sens du courant du cours d'eau principal et de la ligne de plus grande pente (en cas de doute, la topographie et la carte des aléas permettront souvent de définir sans ambiguïté le point de départ ainsi que la nature et la direction des écoulements prévisibles) ;
- elle peut s'en écarter significativement, du fait de la dynamique propre au phénomène, d'irrégularités de la surface topographique, de l'accumulation locale d'éléments transportés (embâcles notamment) constituant autant d'obstacles déflecteurs ou même de la présence de constructions ou murs de clôture à proximité pouvant aussi constituer des obstacles déflecteurs.

C'est pourquoi, sont considérés comme :

- directement exposées, les façades pour lesquelles $0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$
- indirectement ou non exposées, les façades pour lesquelles $90^\circ \leq \alpha < 180^\circ$

Le mode de mesure de l'angle α est schématisé ci-après.

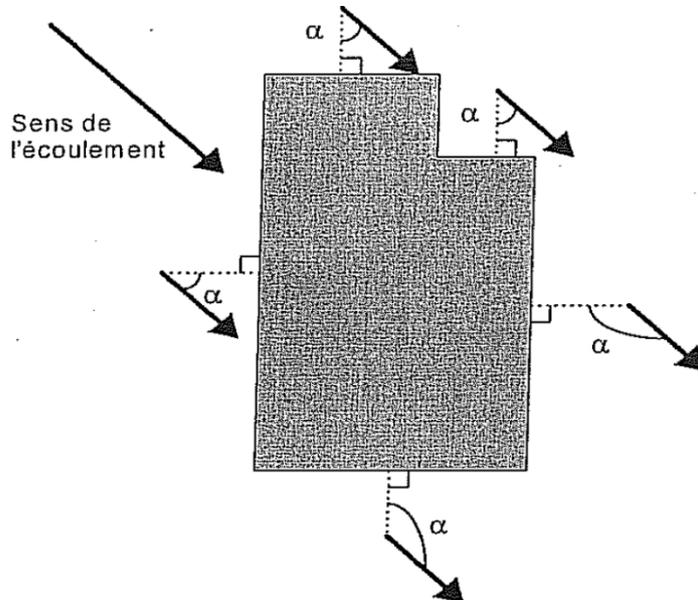


Figure 43 : Définition de façades exposées

5.3.2.3. HAUTEUR PAR RAPPORT AU TERRAIN NATUREL

Le règlement utilise la notion de « hauteur par rapport au terrain naturel » et cette notion mérite d'être explicitée pour les cas complexes d'écoulement.

- Les irrégularités locales de la topographie ne sont pas forcément prises en compte si elles sont de surface faible par rapport à la surface totale de la zone considérée. Aussi, dans le cas de petits thalwegs ou de petites cuvettes, il faut considérer que la cote du terrain naturel est la cote des terrains environnants (les creux étant vite remplis par les écoulements), conformément au schéma suivant :



Figure 44 : Définition de la hauteur d'implantation

- En cas de terrassements en déblais, la hauteur doit être mesurée par rapport au terrain naturel initial

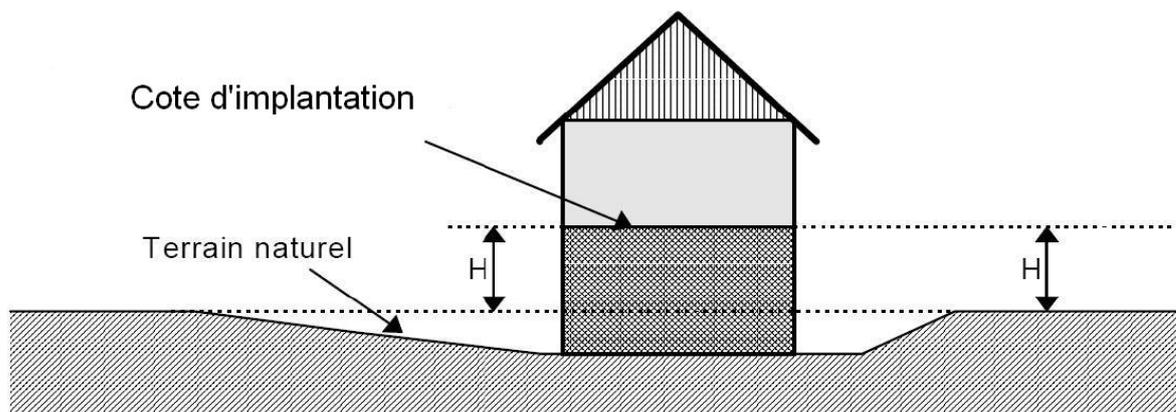


Figure 45 : Hauteur d'implantation en cas de déblai

- En cas de terrassements en remblais, ceux-ci ne peuvent remplacer le renforcement des façades exposées que s'ils sont attenants à la construction et s'ils ont été spécifiquement conçus pour cela (parement exposé aux écoulements subverticaux sauf pour les inondations de plaine, dimensionnement pour résister aux efforts prévisibles). Dans le cas général, la hauteur à renforcer sera mesurée depuis le sommet des remblais.

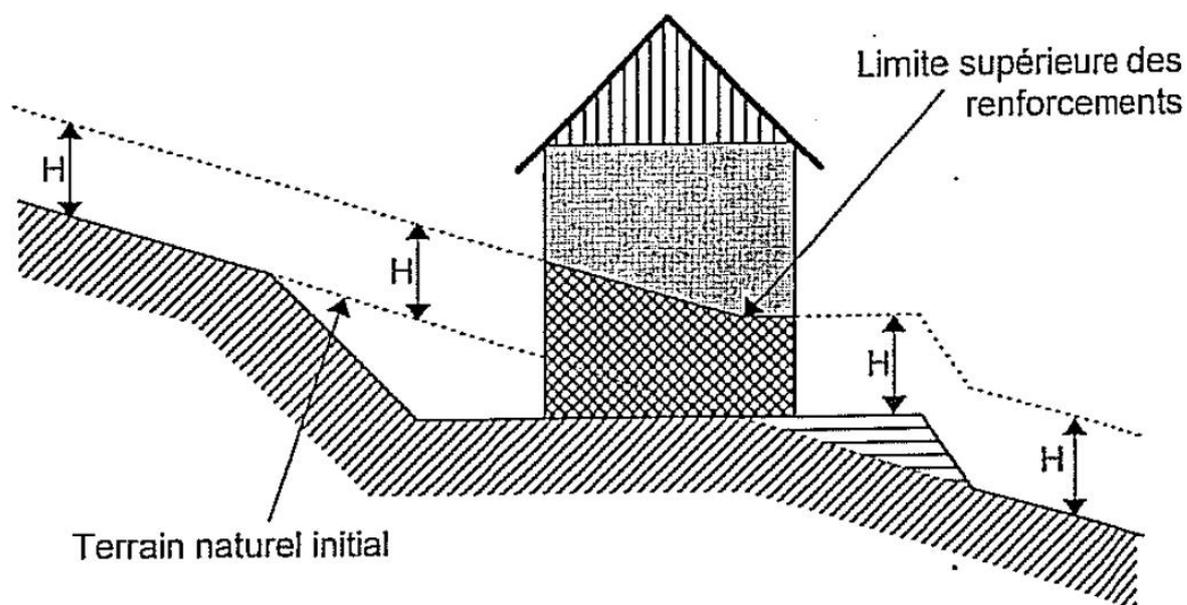


Figure 46 : Hauteur d'implantation en cas de déblai-remblai

5.3.3. Principes généraux du zonage réglementaire

Le tableau suivant présente le zonage de base proposé.

Aléas	Mesures de prévention	Espaces non urbanisés	Espaces urbanisés	
			Non protégés par une parade ou mitigation et/ou parade inefficace	Protégés par une parade (efficace et surveillée) ou mitigation
Aléa fort	Difficiles techniquement ou très coûteuses	Inconstructible	Inconstructible	Inconstructible sauf exception stricte
Aléa moyen	Coûteuses généralement à maîtrise d'ouvrage collective	Inconstructible	Inconstructible (exceptionnellement constructible sous conditions après mise en œuvre de mesures de protection collectives)	Constructible sous conditions de réalisations d'ouvrages de protection et de leur entretien
Aléa faible	Coût modéré, généralement à maîtrise d'ouvrage individuelle	Constructible sous conditions de prise en compte de mesures de prévention. Inconstructible en cas de danger humains	Constructible sous conditions de prise en compte de mesures de prévention individuelle	Constructible sous conditions d'entretien des ouvrages de protection

En espaces non urbanisés :

- Ces espaces ne peuvent plus être urbanisés sauf si les aléas y sont faibles.
- Dans le cas d'aléas moyens ou forts, les nouvelles constructions sont donc interdites.

En espaces urbanisés :

Des règles sont prescrites selon la nature de l'aléa et le classement des zones urbanisées tel qu'il ressort de l'étude des aléas (chapitre précédent).

Le tableau suivant récapitule les principes et les actions à mener.

ENJEUX	Z.I.			Sub. Marine / Tsunami			Mvt de terrain		
	Fort	Moy.	Faible	Fort	Moy.	Faible	Fort	Moy.	Faible
Centre Urbain Structuré (CUS)	X	△	△	X	X	X	X	△	△
Centre urbain précaire (CUP)	X	X	△	X	X	X	X	X	△
Extension urbaine linéaire (EUL)	X	X	□	X	X	X	X	X	□
Zone d'activité (ZA)	X	△	□	X	X	X	X	△	□
Zone portuaire (ZP)	X	△	□	X	X	X	X	△	□
Espace public (EP)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Dents creuses + enclaves (DC + ENC)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Espaces peu urbanisés (EPU)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	Interdiction								
O	Autorisation								
□	Autorisation avec prescription								
△	Soumis à plan d'aménagement d'ensemble (PAE)								
△	Soumis à PAE pilote localisé (valeur d'exemple)								

5.3.3.1. INTERDICTION :

Aucune construction n'est tolérée.

Cependant, certains projets nouveaux ou aménagements tels que les ouvrages de protection ou des infrastructures publiques (routes...) qui n'aggravent pas l'aléa peuvent être autorisés.

Egalement, peuvent être autorisés sous réserve de ne pas aggraver les risques et de ne pas en provoquer de nouveaux :

- sous réserve qu'ils ne conduisent pas à une augmentation de la population exposée, ni à créer, aménager ou agrandir des locaux en sous-sol, les travaux courants d'entretien et de gestion des constructions et installations existantes, notamment les aménagements internes, les traitements de façades, la réfection des toitures ;
- sous réserve d'un renforcement de la sécurité des personnes et de réduction de la vulnérabilité des biens :
 - les extensions limitées qui seraient nécessaires à une amélioration de l'habitabilité ou de la sécurité ;
 - la reconstruction ou la réparation de bâtiments sinistrés dans le cas où les dommages n'ont pas de lien avec le risque à l'origine du classement en zone interdite.
 - les constructions et installations nécessaires au respect des règles de sécurité, des Etablissements Recevant du Public et des Immeubles de Grande Hauteur ;
- le changement de destination sous réserve de la réduction de la vulnérabilité des personnes exposées et des biens ;
- sous réserve qu'ils ne fassent pas l'objet d'une occupation humaine permanente et que la sécurité des personnes soit assurée :
 - les installations et structures provisoires démontables en moins de 06 heures ;
 - les abris légers, annexes des bâtiments d'habitation d'une surface inférieure à 20 m².

- les constructions, les installations nécessaires au fonctionnement des services d'intérêt collectif ou général déjà implantés dans la zone, les infrastructures (notamment les infrastructures de transports routiers, de fluides), les équipements et ouvrages techniques qui s'y rattachent, sous réserve que le maître d'ouvrage prenne des dispositions pour réduire leur vulnérabilité face aux crues et pour rendre leur impact sur les crues totalement neutre ;
- tous travaux et aménagements de nature à réduire les risques, notamment ceux réalisés dans le cadre d'un projet d'aménagement et de protection contre les inondations, à condition de ne pas les aggraver ailleurs ;
- les hangars non clos, assurant une parfaite transparence hydraulique, dès lors qu'ils sont destinés à protéger une activité existante et sous réserve que les piliers de support soient conçus pour résister aux affouillements, tassements, érosions et chocs d'embâcles éventuels.

5.3.3.2. AUTORISATION

5.3.3.2.1. **En général**

Rien n'est interdit mais tout ce qui est réalisé doit l'être dans les règles de l'art et en tenant compte des particularités du terrain. En particulier, les règles d'urbanisme, de construction et de sécurité doivent être respectées.

Par exemple, et en particulier, il est essentiel que l'assainissement pluvial soit traité de façon correcte (dans les règles de l'art).

Par ailleurs, les aménagements et travaux ne doivent en aucun cas aggraver les risques ni en provoquer de nouveaux, sur le secteur ou en dehors du secteur concerné. Il s'agit en particulier des aménagements suivants :

- Les travaux d'entretien et de réparation courants des constructions et des installations implantées antérieurement à la publication du présent document.
- Les travaux, installations et ouvrages nécessaires au fonctionnement des services publics, y compris les voiries communales.
- Les travaux, installations et ouvrages tels que lignes, pylônes.
- Les voies d'accès nécessaires à la desserte d'une construction.
- Les utilisations agricoles courantes, en privilégiant le maintien du couvert forestier.
- Tous travaux et aménagements de nature à réduire les risques.
- Les constructions légères nécessaires à l'activité économique mentionnée ci-dessus (activité agricole et carrières et extraction de matériaux), si elles ne sont pas destinées à l'occupation humaine.
- Les carrières et extractions de matériaux sous réserve qu'une étude d'impact préalable intègre la gestion des risques naturels.

5.3.3.2.2. **Risque sismique**

En terme sismique, même s'il n'y a pas de faille présente sur le secteur ou si le secteur est en dehors de la bande de 100 m centrée sur les failles actives, les failles situées à distance peuvent induire des dégâts importants. Il est donc indispensable d'en tenir compte lors du dimensionnement des constructions.

5.3.3.2.3. **Attention particulière au déboisement**

A. Situation actuelle

Le déboisement général qui touche les versants du département a pour premier objectif la production de charbon de bois. Ce n'est que la première étape de l'escalade de la dégradation de ces versants.

En effet, les cultures sarclées qui sont mises en œuvre à la suite constituent la cause essentielle, l'action humaine fondamentale qui fait que le sol devient plus fragile et induit des conséquences catastrophiques :

- disparition du substrat fertile ;
- accélération et augmentation du ruissellement (et donc augmentation des débits de crue) ;
- déversement de matériaux (alluvions) sur les zones plus basses, conduisant à un encombrement des chenaux d'écoulement et un accroissement du risque inondation ;
- diminution de l'infiltration donc l'appauvrissement de la ressource en eau (abaissement du niveau de la nappe phréatique).

B. Recommandations expresses

Tout déboisement supplémentaire est à proscrire.

Le reboisement est particulièrement recommandé sur les zones ...

L'extension des zones agricoles doit être réalisée avec bon sens, en évitant les zones de pentes raides où le lessivage des sols ne permettra plus, sous quelques années, ni agriculture, ni repousse de la forêt.

5.3.3.3. **AUTORISATION AVEC PRESCRIPTIONS OU RECOMMANDATIONS**

Cette situation ne se rencontre qu'en aléa faible.

Ces prescriptions (obligatoires) ou recommandations (fortement souhaitables) sont définies de façon à ne pas aggraver l'aléa et à ne pas accroître la vulnérabilité des biens et des personnes.

Elles varient selon les situations et l'aléa en jeu.

Elles peuvent consister en des études complémentaires et/ou en des mesures ou des travaux particuliers (protections).

Nous détaillons ci-après, selon la nature de l'aléa.

5.3.3.3.1. **Zones inondables**

Tout d'abord, l'existence d'un risque d'inondation faible sur ces zones, ne doit pas faire oublier qu'un risque plus important existe dans l'éventualité d'une crue supérieure à la crue de référence, surtout à proximité des zones d'aléa moyen ou fort.

Les nouvelles constructions devront être calées de façon à ce que le plancher habitable soit calé à 70 cm au-dessus du terrain naturel.

Les façades soumises aux écoulements ne doivent pas présenter d'ouverture au niveau du sol et les fenêtres doivent être pourvues de volets.

Les bâtiments nouveaux, les infrastructures nouvelles ou les remblais nouveaux ne doivent en aucune façon modifier les conditions d'écoulements en les aggravant.

5.3.3.2. **Zones à risque d'affaissement et d'effondrement**

Les zones constructibles exposées à des mouvements du sol (affaissement principalement) sont soumises aux recommandations suivantes :

- Une étude géotechnique et hydrogéologique jointe au projet de construction ou de terrassement garantira l'absence de cavités au droit ou à proximité du projet, et définira les mesures à mettre en œuvre pour garantir la sécurité et la pérennité du bâti vis à vis des risques de déformations du sol (affaissements et effondrements).

NB : Cette recommandation ne concerne que les projets nouveaux et les extensions induisant une augmentation d'emprise au sol d'un bâtiment existant. Elle disparaît pour les aménagements sans modification d'emprise au sol.

- Les zones d'infiltrations d'eaux (eau potable, eaux pluviales, eaux usées...) devront être éloignées le plus possible des constructions.

5.3.3.3. **Zones à risque d'éboulement rocheux**

Ces zones sont soumises aux recommandations suivantes :

- Une étude géotechnique de protection contre les éboulements rocheux, jointe au projet de construction à usage d'occupation humaine définira les mesures à mettre en œuvre pour garantir la sécurité du bâti et de ses occupants.
- Une maîtrise d'œuvre collective est souhaitable pour mettre en place des protections cohérentes et efficaces.

5.3.3.4. **Zones à risque de glissement de terrain**

Ces zones sont soumises aux recommandations suivantes :

- Une étude géotechnique et hydrogéologique jointe au projet de construction ou de terrassement définira les mesures à mettre en œuvre pour garantir la stabilité et la pérennité du bâti vis à vis des risques de déformations du sol : modalités de terrassement, fondations, drainage...
- Cette étude définira également quelles mesures s'appliqueront aux réseaux humides (eau potable, eaux pluviales, eaux usées...), dans le même objectif de stabilité et de pérennité des ouvrages *et de leur environnement*.
- Les réseaux humides ne devront pas infiltrer d'eau dans les sols.

5.3.3.4. **SOUMIS À PAE**

Plutôt que de prescrire des mesures individuelles qui ne pourront être que très partielles et moyennement efficaces, le plan d'aménagement d'ensemble permet de mutualiser les aménagements de façon à les rendre d'une part possibles et, d'autre part, plus efficaces. Il comporte souvent une déconstruction plus ou moins conséquente de l'existant.

Pour cela, il s'agit d'analyser l'aléa, à différentes échelles d'espace et de temps, et de le conceptualiser par rapport à des enjeux humains, économiques et environnementaux afin d'en réduire la vulnérabilité.

5.3.3.5. SOUMIS À PAE PILOTE LOCALISÉ

5.3.3.5.1. Principe

Il s'agit de proposer un développement réfléchi dans les choix des aménagements locaux.

L'analyse de ces trois domaines (enjeux humains, économiques et environnementaux) permet d'opérer pour que ce territoire soit écologiquement reproductible, socialement équitable et économiquement viable.

A. Ecologiquement reproductible

Pour développer durablement un territoire et en réduire la vulnérabilité, l'architecte environnementaliste peut faire le lien entre toutes les études sectorielles qu'il faut organiser et orienter.

Une vision globale est nécessaire tout en appréhendant les réalités constructives en les adaptant au paysage.

Il faut également réactiver tout le vocabulaire de l'aménagement du territoire et transmettre la mémoire du génie des lieux.

- Réfléchir globalement :

Les contraintes durables de préservation des patrimoines naturels et culturels joueront probablement progressivement sur les formes urbaines en favorisant les réaffectations d'usage, une réutilisation plus intensive des zones déjà urbanisées et une maîtrise plus grande de la consommation de l'espace » François Ascher Les nouveaux principe de l'urbanisme (2004)

- Agir localement ...

Lutter contre l'étalement urbain en zone à risques (habitat et zones d'activités) afin de préserver et de restaurer :

- la transparence hydraulique des cours d'eau en reconsidérant les champs ou zone d'extension de crue (ZEC)
- la reforestation et la réintroduction d'une culture agricole raisonnée sur les secteurs à forte dépréciation agricole situé en amont des bassins versants au-dessus de la lisière de la tache urbaine

B. Socialement équitable

Pour répondre à la mixité sociale, nécessaire au bon développement urbain et à sa cohésion sociale, il faudra prendre en considération le développement précaire et anarchique que connaissent les extensions urbaines.

Il faudra également proposer la mise en pratique par l'exemple sur des secteurs identifiés au niveau de la population des constructions traditionnelles et simples à un coup et une durée de réalisation cadrée suivant l'importance de la maison.

La finalité est de développer des chantiers ponctuels de construction et d'auto-construction sur des zones à risques à partir d'un plan d'Aménagement d'Ensemble Pilote et Localisé.

Une formation sur un nouveau type de construction traditionnelle en structure légère contreventée et anticyclonique doit être menée parallèlement pour les entrepreneurs haïtiens et les haïtiens.



Figure 48 : Réalisation d'un habitat populaire de type construction traditionnelle réactualisée, menée par Juliette Nicolas, Architecte haïtienne à Jérémie

Figure 47 : Exemple de constructions traditionnelles ayant subi différents cyclones et inondations à Jérémie

Une collaboration dans le montage des projets est souhaitable avec les acteurs locaux ayant ce type de réflexion.

C. Économiquement viable

La récession économique qui frappe Haïti, atteint principalement les populations les plus pauvres et actuellement les couches sociales un peu plus aisées.

Ces populations construisent là où ils peuvent et selon de mauvais modèles (construction en béton avec des surfaces de plancher importantes) qui deviennent pour la plupart des gouffres financiers amenant les plus pauvres à interpréter ces modèles en cherchant des économies (Absence de chaînage, utilisation de sable de mer pour les ciments et disparition des aciers qui coutent chers) transformant ainsi les habitations mal construites en pièges redoutables (effondrement) lors d'évènements naturels importants.

Les pouvoirs publics ont le devoir de préparer ces initiatives menées par un architecte environnementaliste en lançant les études de PAE Pilotes localisés et de financer les travaux de viabilisation et de protection collective à l'échelle du quartier.

5.3.3.5.2. Application

Il s'agit de déterminer un quartier à enjeux forts où les aménagements sont susceptibles d'être repris sur d'autres sites ou quartier.

La complexité des enjeux (urbanistiques, socio-démographiques, sécurité publique....) et la multiplication des sites concernés et l'urgence inhérentes à la pression foncière rend utile la mise en place d'une méthodologie partagée capable de répondre à plusieurs niveaux de besoins.

Nous n'avons pas recensé de projet urbain et de schéma d'aménagement sur les six communes prioritaires comme il en existe à Port au Prince.

En revanche, la problématique de ruissellement posée sur le quartier de Caracolie (Jérémie) nous permet de proposer ce secteur comme site pilote.

Ainsi, une réflexion pourrait être lancée sur ce quartier de Caracolie afin de limiter le ruissellement important provenant, tout en amont, de la dépréciation agricole sur les hauts de la ville et accentué par le mauvais tracé des routes (dans le sens la pente) venant aggraver les phénomènes d'inondation à l'aval.



Figure 49 : Site de Caracolie

5.4. SOLUTIONS DE MITIGATION

5.4.1. Solutions de base habituelles

5.4.1.1. LES DIGUES

Les digues visent à empêcher le débordement des cours d'eau dans les zones à enjeux. Leur rupture peut toutefois aggraver les conséquences d'une crue, en affectant des populations non préparées car estimant à tort ne pas être soumises au risque du fait de la présence même de ces ouvrages.

C'est pourquoi ces ouvrages sont fortement déconseillés car nécessitant, pour garantir une bonne protection, une réalisation très soignée, prévoyant des déversoirs de sécurité et des protections adaptées. Ils sont donc très coûteux.

NOTA BENE :

Les digues existantes de la commune des Abricots sont largement submergées pour les événements de référence et les organes d'assainissement sont inopérants pour les crues moyennes.

5.4.1.2. LES BATARDEAUX

Ce sont des dispositifs qui rendent les ouvertures (portes, fenêtres) étanches à l'eau.

Ils sont très coûteux et nécessitent que le support soit lui-même résistant et adapté (structures droites).

Ils seront difficilement applicables, techniquement et financièrement.

5.4.1.3. LIBÉRATION DES ESPACES D'ÉCOULEMENT

Particulièrement dans les centres urbains, il est indispensable de donner aux écoulements le maximum de place de façon à minimiser les hauteurs d'eau.

Pour cela, on proposera :

- De supprimer les obstacles existants (par exemple, à Jérémie, le portail d'accès au wharf fermant la rue servant d'écoulement à la ravine Madame Kodo).
- De reprendre systématiquement les réseaux d'assainissement souterrain existant en les nettoyant, les remettant en état voire en les redimensionnant (redimensionnement à la hausse) et d'y adjoindre des grilles anti embâcles.
- Dans le cas du réaménagement d'un bâtiment existant, il serait souhaitable, si techniquement possible, de rehausser le niveau du seuil d'entrée

5.4.2. Solutions plus générales

5.4.2.1. REBOISEMENT

5.4.2.1.1. Situation

Le déboisement général qui touche les versants du département a pour premier objectif la production de charbon de bois et pour second la production de bois de construction. Ce n'est que la première étape de l'escalade de la dégradation de ces versants.

En effet, les cultures sarclées qui sont mises en œuvre à la suite constituent la cause essentielle, l'action humaine fondamentale qui fait que le sol devient plus fragile et induit des conséquences catastrophiques :

- disparition du substrat fertile ;
- accélération et augmentation du ruissellement (et donc augmentation des débits de crue) ;
- déversement de matériaux (alluvions) sur les zones plus basses, conduisant à un encombrement des chenaux d'écoulement et un accroissement du risque inondation ;
- diminution de l'infiltration donc l'appauvrissement de la ressource en eau (abaissement du niveau de la nappe phréatique).

5.4.2.1.2. Proposition d'aménagement

Il s'agit donc de réduire la vitesse des écoulements et le transport solide en reboisant le bassin versant.

Un reboisement à l'aide d'essences productrices (caféiers ou cacao par exemple) serait doublement intéressant :

- Du point de vue de la tenue des sols
- Par augmentation des ressources des habitants.

Or, c'est bien l'absence de ressources qui pousse la population à exploiter les forêts couvrant les versants.

5.4.2.2. RÉTABLISSEMENT DE LA MANGROVE

L'extraction du sable marin et l'exploitation des bois de mangrove, encore plus résistants que ceux des forêts, contribuent à faire reculer le trait de côte et à accroître la vulnérabilité des secteurs habités (la mangrove joue un rôle important pour la dissipation des houles côtières).

La reconstitution de cette mangrove est primordiale si l'on veut lutter contre l'aléa submersion marine.

5.4.3. Solutions réduisant la vulnérabilité des bâtis face au vent

5.4.3.1. LIMITER LA PRISE AU VENT

5.4.3.1.1. Intérêt

La résistance au vent violent est directement liée à la prise au vent de l'habitat.

En limitant dès la conception du bâti sa prise au vent, on améliore sa résistance globale de manière intrinsèque.

On peut envisager la modification d'une toiture existante si le bâtiment en vaut la peine.

5.4.3.1.2. Condition de mise en œuvre

La pente du toit est l'élément principal de défense des structures de maisons individuelles contre les forces de soulèvement et d'arrachement.

Pour lutter efficacement contre l'effet « prise au vent », il faut réduire autant que possible la taille de ce qui dépasse des murs porteurs (débord de toiture). Au-delà d'une trentaine de centimètres, des techniques particulières sont nécessaires pour renforcer le débord et limiter le risque de soulèvement du toit. Pour un meilleur compromis entre forces de soulèvement et surpression du versant au vent, la pente du toit doit se situer autour de 30°. Un toit à quatre pentes, avec une inclinaison de 30°, est recommandé.

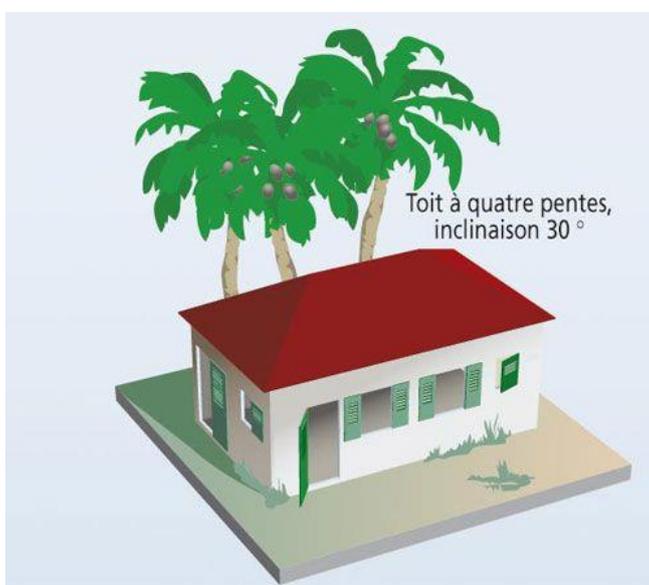


Figure 50 : Exemple de toiture à faible prise au vent
(Source PRIM NET)

5.4.3.2. UN CONTREVENTEMENT ADAPTÉ AUX VENTS VIOLENTS

5.4.3.2.1. Intérêt de la mesure

Le contreventement correspond à l'agencement des pièces d'une construction (d'une maison par exemple), destiné à en assurer la stabilité, à s'opposer à sa déformation due aux efforts horizontaux ou à son renversement.

5.4.3.2.2. Conditions de mise en œuvre

Le renforcement des contreventements lors de la construction permet d'adapter l'habitat aux conditions cycloniques. A noter que le renforcement des contreventements est également préconisé pour les constructions anti-sismiques.

Les constructions en maçonnerie chaînée se comportent généralement bien vis-à-vis de l'action cyclonique. Elles sont naturellement lourdes et rigides, deux facteurs favorables vis-à-vis de l'action du vent. Une bonne conception et une réalisation soignée du chaînage est néanmoins primordiale : la maçonnerie doit être systématiquement confinée par une ceinture en béton armé.

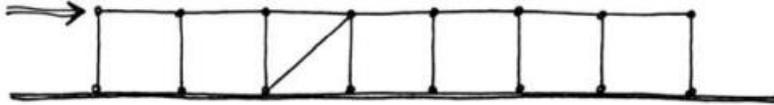
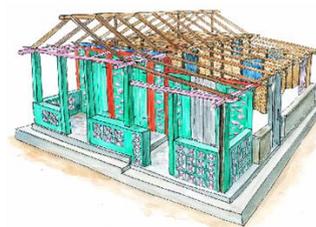
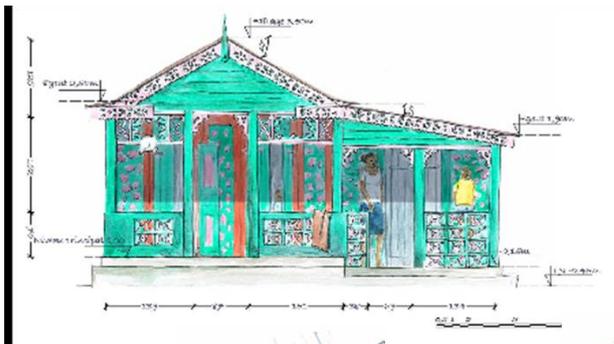


Figure 51 : Comportement d'une structure soumise à une force horizontale

(Source CONCEPTION PARACYCLONIQUE par Barré/de la Foye/Moreau pour le MEEDDE France)

Ici, la diagonale s'oppose à l'allongement : elle travaille en traction.

5.4.3.3. EXEMPLES DE TYPES D'ARCHITECTURES AVEC DES SYSTÈMES CONSTRUCTIFS ADAPTÉS



Extrait Association LI'nCS et des étudiants du Département d'Architecture de l'Université de Quisqueya (Port-au-Prince), avec le soutien du Groupe URD et de la Chaîne du Bonheur (2013)



A.16.4.5. Bibliographie

Amilcar Heliot, Etude Géologique de l'Oust du Massif de la Hotte (Haiti, Grandes Antilles) dans son cadre terrestre et marin. Implications Geodynamiques. Universite Paul Sabatier de Toulouse, 1997.

Bakun, W. H., Flores, C. H. & ten Brink, U. S. Significant Earthquakes on the Enriquillo Fault System, Hispaniola, 1500-2010 : Implications for Seismic Hazard. Bulletin of the Seismological Society of America 102, 18-30, doi:10.1785/0120110077 (2012).

Calais, E. et al. Transpressional rupture of an unmapped fault during the 2010 Haiti earthquake. Nature Geoscience 3, 794-799, doi:10.1038/ngeo992 10.1038/NGEO992 (2010).

Calais, E., 1990. Relations cinématique/déformation le long des limites de plaques en coulissage: L'exemple de la limite de plaques nord caranbe de Cuba a Porto Rico.

Calais, E., Y. Mazabraud, B. Mercier de L'ipinay, P. Mann, G. Mattioli, and P. Jansma, 2002. Strain partitioning and fault slip rates in the northeastern Caribbean from GPS measurements, Geophysical Research Letters, 29(18).

Coppersmith, K.J., 1991. Seismic source characterization for engineering seismic hazard analysis, in Proc. 4th International Conference in Seismic Zonation, vol. 1, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California, 3-60

Goreau, 1983

Mann, P., Taylor, F. W., Edwards, R. L. & Ku, T.-L. 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 (1995).

Mann, P., E. Calais, J.-C. Ruegg, C. DeMets, P. E. Jansma, and G. S. Mattioli, 2002. Oblique collision in the northeastern Caribbean from GPS measurements and geological observations, Tectonics, 21(6), 7-1-7-26.

Momplaisir Bien-Aimé, R. Contribution a l'étude géologique de la partie orientale du Massif de la Hotte (Presqu'île du Sud d'Haiti): Synthèse structurale des marges de la presqu'île à partir de données sismiques. Thesis Univ. Paris VI (1986).

Mercier 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. The 2010 Haiti earthquake: A complex fault pattern constrained by seismologic and tectonic observations. Geophysical research letters, 2011, vol. 38, L22305, doi:10.1029/2011GL049799

Pubellier, M., J. M. Vila, and D. Boisson (1991), North Caribbean neotectonic events: The Trans-Haitian fault system. Tertiary record of an oblique transcurrent shear zone uplifted in Hispaniola, Tectonophysics, 194, 217-236.

Saint Fleur Newdeskarl, Sismotectonique du système de faille d'Enriquillo et du seisme du 12 janvier 2010 (Mw 7.0) en Haiti. Institut de Physiaue du Globe de Paris. 2014.

Slemmons D.B. Determination of Design Earthquake Magnitudes for Microzonation: Proceedings of the Third International Earthquake Microzonation Conference, 1982, Volum I of III, p. 119-130.

Wells D.L., Coppersmith K.J. Empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture area, and surface dis-placement. Bull. Seismol. Soc. Am. 1994, 84, p. 974– 1002.

ANNEXES

ANNEXE 1

Note sur la topographie mise à disposition

La topographie mise à disposition dans le cadre de l'étude, pour l'élaboration des modèles hydrauliques d'inondation, est issue de deux sources :

- Le SRTM 30, disponible sur toute la zone d'étude (un point tous les 30 m) ;
- Le modèle numérique de terrain « Lidar » de Jérémie (un point tous les mètres), disponible seulement sur une petite zone à l'embouchure de la rivière Grande Anse.

DÉFINITIONS

SRTM

Le SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) est une mission de l'agence spatiale américaine (NASA) qui a permis d'établir une cartographie mondiale des reliefs continentaux. En février 2000, une navette spatiale a balayé avec un radar la surface du globe recueillant ainsi une grande quantité de données qui sont traitées pendant quelques années pour aboutir à une première version (volontairement altérée) donnant un point tous les 90m à l'équateur.

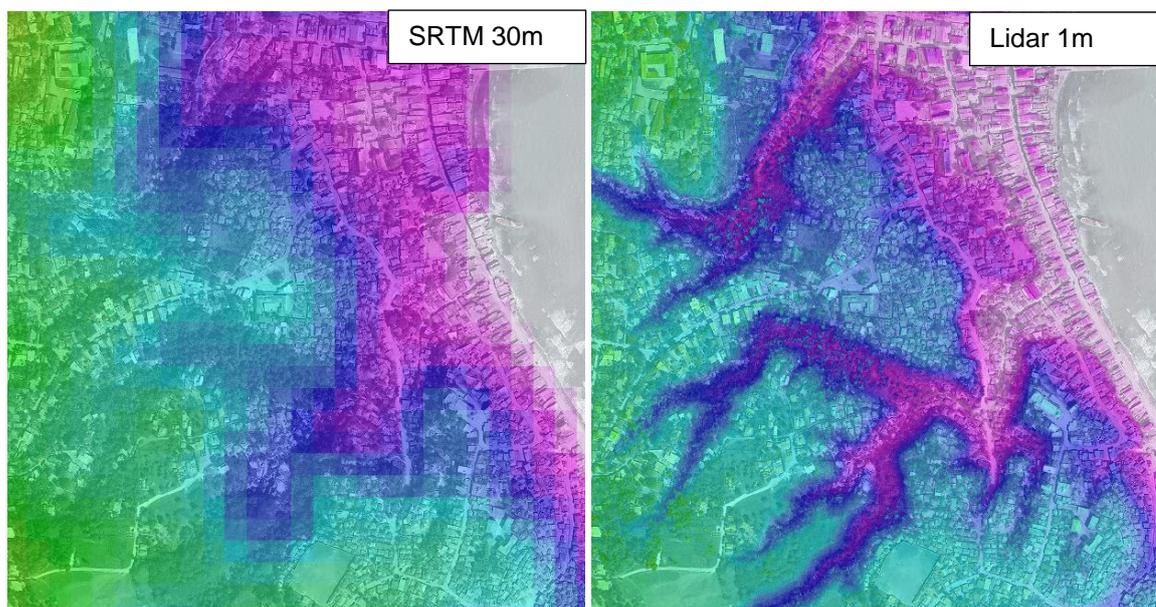
Depuis 2015, une version offrant un point tous les 30m (à l'équateur) est disponible mondialement. C'est cette dernière source dont on dispose sur Haïti.

Les applications de cette source de données se font en général à grande échelle (cartographie des reliefs d'une région, détermination de bassins versants et de réseaux hydrographiques...). **Cependant, faute d'autre source de données, c'est cette dernière qui a été majoritairement utilisée pour l'élaboration des modèles hydrauliques.**

LIDAR (Laserscan)

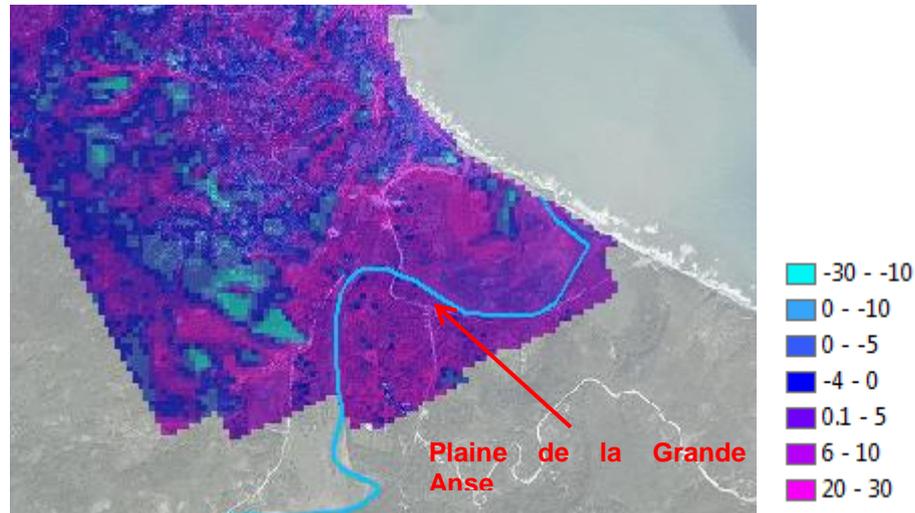
Cette technologie utilise le laser (et non les ondes radios comme le radar) pour balayer le sol et analyser la réflexion du faisceau afin d'en déduire la distance du sol. Ce relevé se réalise depuis un aéronef et permet l'obtention de plusieurs milliards de points par km² (les données doivent même être dégradées pour être exploitables).

La précision en altimétrie est très bonne (erreur < 10cm).



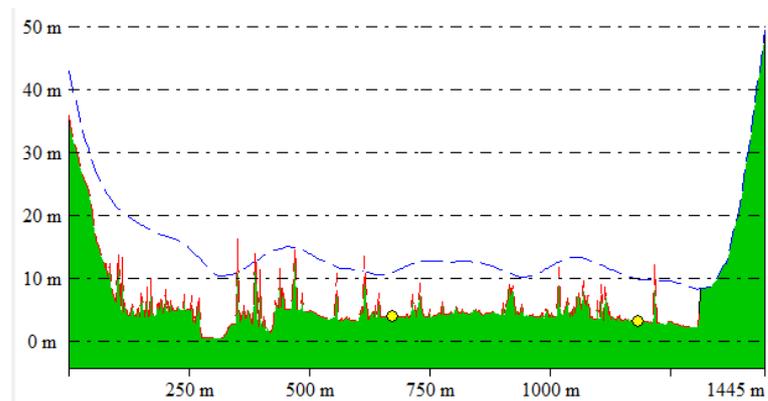
COMPARAISON DES SOURCES DE DONNÉES ET CORRECTION

Au préalable, une comparaison des deux sources de données a été réalisée afin d'estimer les décalages altimétriques entre les deux sources. Une soustraction a été effectuée entre le SRTM et le Lidar de Jérémie et le résultat est le suivant :



Les zones bleues présentent une différence négative, les zones violettes/mauves une différence positive. On constate que sur la plaine alluviale de la Grande Anse, les différences sont systématiquement positives, en moyenne de l'ordre de +7.5m.

Ci-dessous, l'illustration des différences sur un profil en travers de la vallée : en bleu les valeurs SRTM, en rouge celles du LIDAR.



Nous avons de ce fait construit les modèles hydrauliques et cartographié les zones inondables sur la base d'une topographie SRTM d'origine abaissée de 7.5m.

ANNEXE 2

Etude de modélisation numérique de l'impact côtier d'un tsunami au large de la région de Jérémie

A.15.1. DONNÉES FOURNIES

Au départ de cette étude ont été fournies :

- (i) des données topographiques LIDAR+SRTM (maillage de 30 m de résolution) couvrant la région concernée de Grande Anse.
- (ii) des données bathymétriques obtenues par des mesures le long de bandes situées en grande profondeur, au large de Grande Anse (Nord et Ouest)

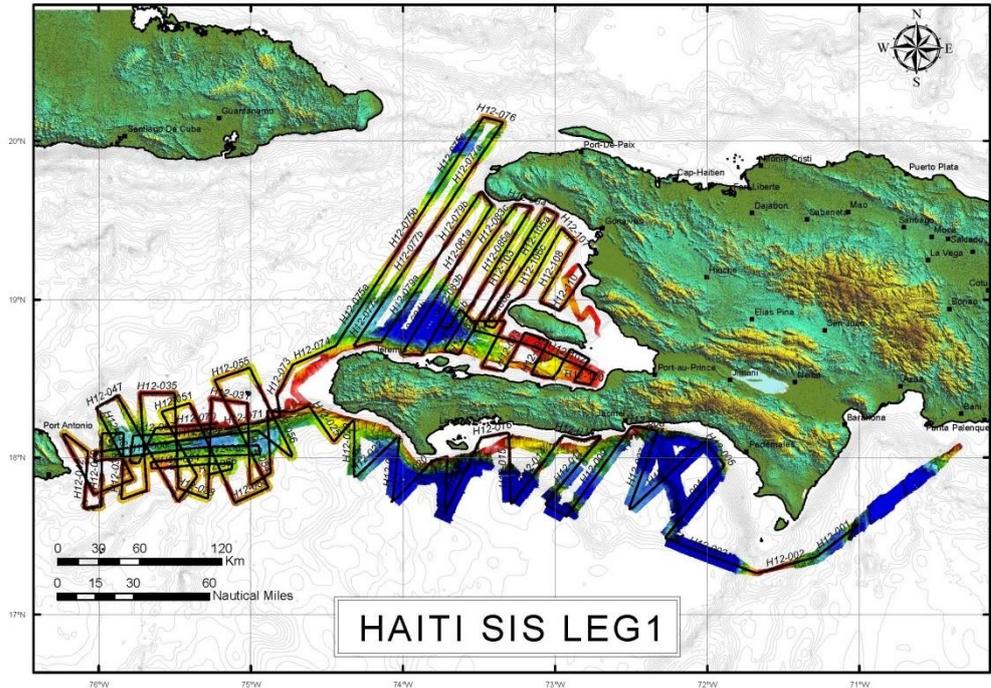


Figure 52 : Trace sur le fond marin des bandes de mesures bathymétriques dans la région de Grand'Anse

- (iii) La localisation approximative de la trace sur le fond marin d'une faille de subduction au Nord et Ouest de Grande Anse ainsi qu'une longueur approximative (70 ± 10) km et magnitude ($M_w 7.25$) pour un événement sismique extrême dans cette faille, pouvant causer un tsunami. Il est à noter que cette trace de faille en accent circonflexe peut se distinguer sur la carte disponible via Google Earth.

La direction de la subduction indique un pendage généralement Nord-Sud.



Figure 53 : Trace sur le fond marin (ligne bleue) de la faille sismique



Figure 54 : Vue Google Earth sur la région étudiée de Grande Anse

A.15.2. PARAMÉTRISATION DE LA SOURCE SISMIQUE ET SOURCE INITIALE DE TSUNAMI

Pour générer la surface initiale du tsunami potentiel, il faut paramétrer la source sismique plus amplement. En l'absence de paramètres complémentaires (tels que pendage, rake), il a été décidé de choisir les paramètres de manière sécuritaire, afin de définir l'événement potentiel le plus extrême.

Tout d'abord, il a fallu localiser la partie de la faille où l'événement se produira. En supposant la longueur minimum de l'intervalle donné, 60 km, on a localisé deux segments de la faille recouvrant la région de Grande Anse dans la partie de subduction et causant l'impact maximum sur la côte Nord de Grande Anse, et en particulier la ville de Jérémie. Avec un recouvrement assurant la continuité du plan de faille, cela représente 2 segments de longueur $L_1 = 28$ km et $L_2 = 38$ km, pour une longueur total $L = 66$ km. En se basant sur les rapports habituel longueur-largeur des plans de faille, et selon l'approche suivie par Grilli et al. (2016)¹⁴ dans leur étude de l'impact des tsunamis potentiels sur la côte Nord de Haiti et Hispaniola, une largeur $W = 10$ km a été sélectionnée. Une profondeur faible de $d = 5$ km au point le plus élevé du plan de faille a été sélectionnée pour maximiser la déformation du fond.

Sur la base de la Figure 53, les azimuths Θ des 2 segments et les coordonnées latitude-longitude des centroïdes des deux plans de faille correspondant ont été déterminés (cf tableaux récapitulatifs ci-dessous).

En supposant une subduction en faille normale, perpendiculaire à la trace de chaque segment, un angle de « rake » de 90° a été adopté pour chaque segment ; cela maximisera la génération de tsunamis.

Ensuite, vue l'absence de données sur le paramètre de pendage (angle de « dip » δ) important pour la génération de tsunami, on s'est basé sur les valeurs utilisées par Grilli et al. (2014) pour la faille de subduction « North Hispaniola Thrust Fault » (NHTF), un dip $\delta=20^\circ$ a été considéré, ce qui est un shallow-dip propice à maximiser la génération de tsunamis.

La profondeur aux centroïdes est ainsi : $d + (W/2) \sin(\delta) = 6.7$ km.

Finalement, en se basant sur la magnitude totale de l'événement $M_w = 7.25$, un Slip uniforme $S = 3.7$ m est déterminé à l'aide des formules suivantes :

$$M_0 = S(L_1 + L_2)W\mu \quad \text{et} \quad M_w = \frac{\log_{10} M_0}{1.50} - 6.0 \quad (1)$$

avec le module de Coulomb $\mu=30$ GPa (Grilli et al., 2014).

Le tableau suivant récapitule les paramètres adoptés :

Segmt.	Lat. (centre)	Lon. (centre)	Prof. (km) d	Angle de « strike » (deg. du N) Θ	Angle de « dip » (deg.) δ	Long. (km) L	Larg. (km) W	Angle de « rake » (deg.)	« Slip » (m) S
1	18.7167	-74.4854	5	65	20	28	10	90	3.7
2	18.7651	-74.2073	5	95	20	38	10	90	3.7

Tableau 7 : Paramètres des segments de la source sismique $M_w 7.25$

¹⁴ Voir également le rapport ARTELIA 8410558 Tomes 1 et 2 – Evaluation des risques liés aux tsunamis sur le Nord d'Hispaniola – Décembre 2014 pour le compte de l'UNESCO

En appliquant la méthode d'Okada (1985) aux paramètres précédemment établis, on détermine les 2 sources (élévation de tsunami) initiales dont la somme représente la source totale initiale (Fig. 3). On voit qu'un tsunami significatif est généré par cet événement sismique, qui a une élévation maximale initiale de 1.3 m et minimale de -0.61 m, à proximité de la côte Nord de Grande Anse, en profondeur importante, de l'ordre de 2000 m.

Les figures (a) et (b) suivantes montrent les sources individuelles générées pour les paramètres des 2 segments de plan de faille ; la trace horizontale de chaque plan de faille est indiquée par un rectangle noir. La figure (c) montre la source résultant de la somme des sources des 2 segments, avec le contour de Grande Anse indiqué en blanc et la source limitée à l'océan. L'échelle des couleurs est en mètre, positive en soulèvement et négative en subduction.

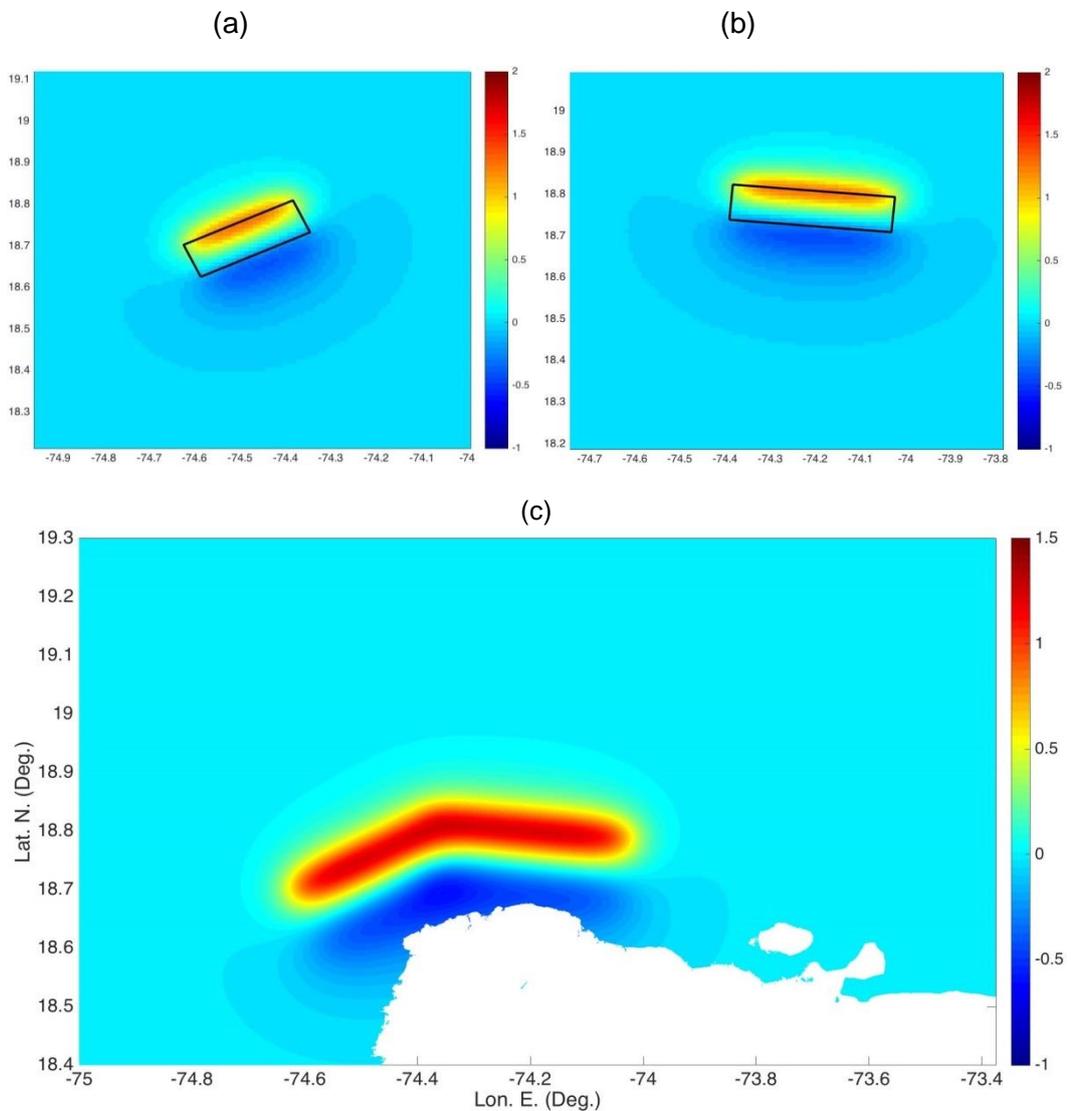


Figure 55 : Elévation initiale de la surface libre d'un tsunami généré au large de Grand'Anse par un événement sismique de magnitude $M_w = 7.25$

La méthode d'Okada (1985) calcule la déformation du fond de l'océan, et de la terre le cas échéant si la source en est suffisamment proche, résultant d'un séisme se produisant dans un plan de faille oblique au sein d'un milieu supposé homogène et semi-infini (demi-espace). En supposant l'eau incompressible et le temps d'ascension faible (« rise time »), la déformation du fond est simplement reportée sur la surface libre de l'océan, pour être utilisée comme condition initiale sans vitesse du modèle de propagation de tsunami utilisé. Le modèle de calcul basé sur cette méthode utilise une méthode par équation intégrale (avec une fonction de Green d'espace libre), qui discrétise le plan de faille en un grand nombre de facettes rectangulaires. Dans le cas présent, la méthode d'Okada a été implémentée sous la forme d'un programme Matlab.

A.15.3. DÉFINITION DES MAILLAGES DE SIMULATION

A.15.3.1 Modèle utilisé

La modélisation de la propagation et de l'impact côtier du tsunami, sur la base de la source initiale de la figure précédente, a été effectuée à l'aide des versions les plus récentes du modèle Boussinesq (vagues longues) non-linéaire et dispersif **FUNWAVE-TVD** (Shi et al., 2012a ; Kirby et al., 2013). Ces versions sont disponibles en maillages cartésiens et sphériques selon le besoin. Dans chaque cas, une série de maillages emboîtés est utilisée, de résolution graduellement plus fine lorsque l'on se rapproche de la côte et des profondeurs plus faibles et la modélisation s'effectue par couplage des maillages grossiers vers les maillages plus fin. FUNWAVE-TVD a été co-développé par le Dr. S. Grilli depuis le début des années 1990, et utilisé pour la simulation de beaucoup d'études de cas de tsunamis (voir par ex., Watts et al., 2003; Days et al., 2005; Grilli et al., 2007; Ioualalen et al., 2007; Tappin et al., 2008; Abadie et al., 2010, 2011, 2012; Harris et al., 2012; Grilli et al., 2010, 2013). Plus récemment, Grilli et ses collaborateurs ont utilisé ce modèle ainsi que la méthode de couplage par maillages emboîtés pour calculer l'inondation causées par des tsunamis extrêmes sur la côte est des USA (USEC), dans le cadre d'un projet de plusieurs années financé par le U.S. National Tsunami Hazard Mitigation Program (NTHMP) (voir par ex., Grilli and Grilli, 2013a,b,c; Grilli et al., 2013). De surcroît, la même approche a été utilisée pour étudier les risques dus aux tsunamis pour plusieurs centrales nucléaires aux USA, et approuvée dans ce cadre par la U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC). FUNWAVE-TVD a également été utilisé récemment pour des projets d'évaluation des risques de tsunamis pour des développements côtiers, pour le secteur privé. Comme indiqué précédemment, dans le cadre du projet NTHMP-USEC les sources LSB, PRT et CVV furent identifiées en champ lointain et la génération de tsunamis et leur propagation vers la USEC furent simulées à l'aide de FUNWAVE-TVD, tout d'abord dans un maillage sphérique de résolution 1 arc-min (1800 m), et ensuite dans des maillages emboîtés sphériques, puis cartésiens, de plus en plus fin, jusqu'à 10-30 m au final sur la côte.

Bien que les tsunamis en eaux profondes soient en général bien représentés par la théorie linéaire et non-dispersive de vagues longues, en se propageant vers les eaux moins profondes des talus et plateau continentaux, ils se transforment graduellement en trains d'ondes beaucoup plus complexes, qui sont à la fois non-linéaires et dispersifs. Des mascarets, c'est-à-dire des ondes de choc dispersives, peuvent également apparaître en eaux peu profondes près des crêtes et des creux de longues vagues incidentes (Grilli et al. 2012). Les vagues de fréquence plus élevée dans de tels trains d'ondes plus complexes se cambrent graduellement (dû à la levée) et finiront par déferler de manière similaire aux longues houles océaniques, alors que les vagues longues qui les portent ne déferleront pas si vite mais causeront la plus grande partie de l'inondation côtière. Les équations d'un modèle tel que FUNWAVE-TVD contiennent la physique nécessaire à la représentation précise de ces phénomènes complexes. Par ailleurs, les phénomènes dissipatifs tels que le frottement de fond et le déferlement sont également très bien représentés dans ce modèle. Pour le déferlement, les vagues déferlantes sont suivies par un algorithme de capture de front (TVD : Total Variation Diminishing) et lorsque le déferlement est détecté (par un critère de

déferlement), les termes dispersifs des mailles en question sont annulés, ce qui transforme le modèle en un modèle de St Venant pour la zone inondée de post-déferlement.

FUNWAVE-TVD a été implémenté en FORTRAN-MPI (Message Passing Interface), qui permet sa parallélisation efficace sur des clusters d'ordinateurs à mémoire partagée. Ainsi, on peut calculer les résultats pour des maillages très importants (typiquement 1 à 4 millions de nœuds) en un temps CPU raisonnable. Les versions cartésiennes et sphériques parallélisées de FUNWAVE-TVD ont été validées sur la base de « benchmarks » dans le cadre du projet NTHMP-USEC (Tehranirad et al., 2011; Shi et al., 2012b).

15.3.2 Maillages

Un premier maillage G1 a été défini, en coordonnées sphériques, de dimensions approximatives 172 x 99 km et de résolution approximative de 100 x 100 m (Figure 56.a). Les paramètres de ce maillage sphérique sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Un second maillage emboîté cartésien, G2, de résolution approximative 20 x 20 m et dimensions 18 x 12.5 km a été défini autour de la région de Jérémie, pour calculer plus précisément l'impact côtier du tsunami sur cette région (Figure 56.b).

Grid	Lat. Min. (Deg. N.)	Lat. Max. (Deg. N.)	Lon. Min. (Deg. E)	Lon. Max. (Deg. E)	sphérique [S]/ cartésien [C]	Résolution des maillages		Nx mailles	Ny mailles
						Arc-Sec	Mètre		
G1	18.4 [0 km]	19.3 [171.5 km]	-73.375 [0 km]	-75 [99.2 km]	S	3.403 x 3.466	99.7 x 99.9	1720	993
G2	18.59 [0 km]	18.7023 [12.5 km]	-74.15 [0 km]	-73.98 [18 km]	C	0.681 x 0.693	19.95 x 20.08	900	620

Tableau 8 : Paramètres des maillages G1 et G2

Sur les figures suivantes, l'échelle des couleurs et les contours représentent la bathymétrie (< 0) et topographie (> 0) finale utilisée (en mètre). En (a), la boîte rouge marque la position du maillage G2 objet de la figure (b).

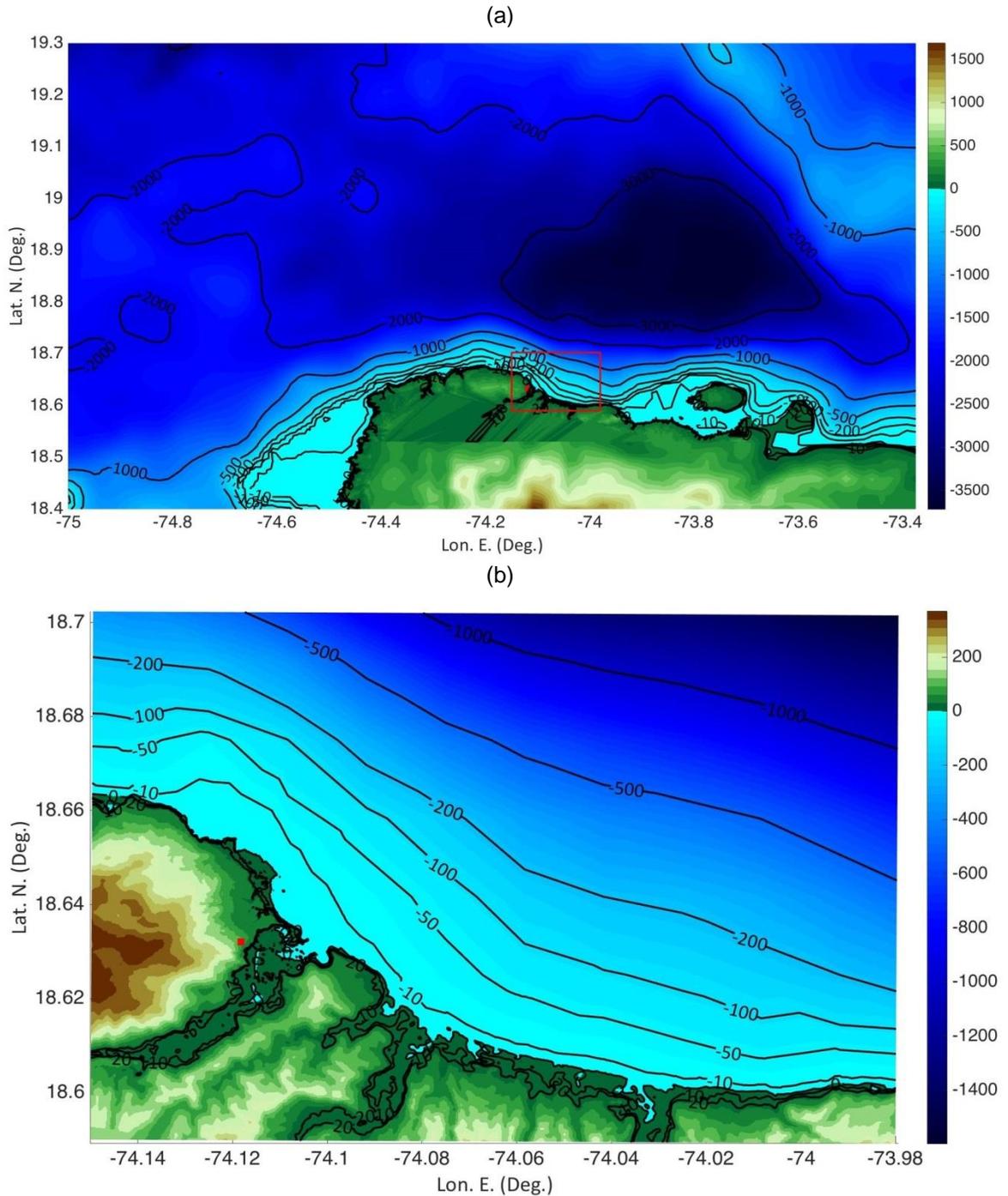


Figure 56 : Extension en latitude-longitude des maillages de calcul de FUNWAVE-TVD

15.3.3. Topographie et bathymétrie

En terme de données publiquement disponibles, de bathymétrie et topographie, la base de données ETOPO-1 (Amante and Eakins, 2009). Elle est à 1 arc-min ou à peu près 1800 m de résolution, et est maintenue par la NOAA National Geodetic Data Center (NGDC) (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>). Elle est utilisée par défaut pour définir la bathymétrie et topographie sur les maillages G1 et G2. Ces données sont visualisées sur la Figure 57 où l'échelle des couleurs et les contours représentent la bathymétrie (< 0) et topographie (> 0) finale utilisée (en mètre). En (a), la boîte rouge marque la position du maillage G2 objet de la figure (b).

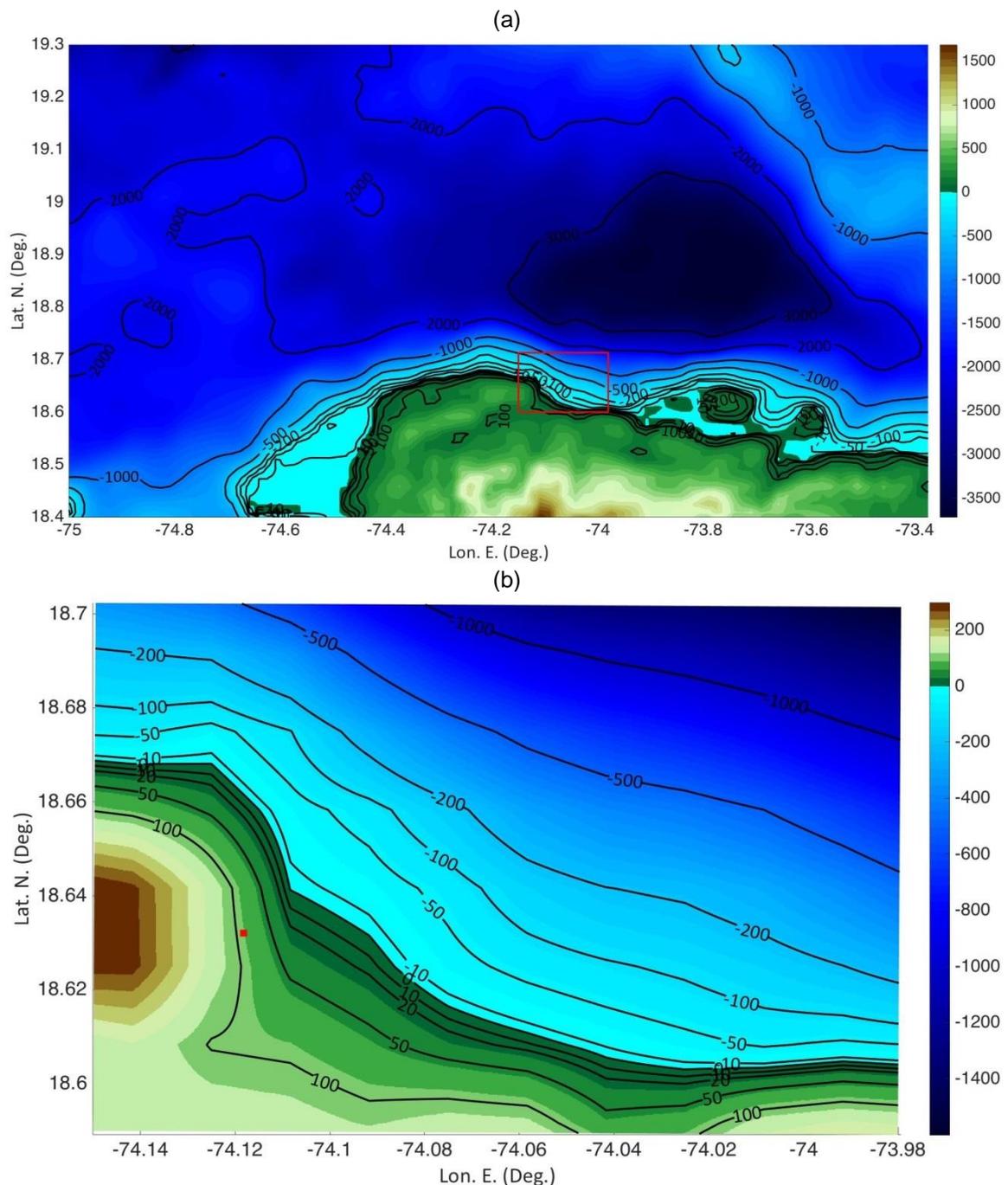


Figure 57 : Données bathymétriques et topographiques ETOPO-1 interpolées sur les maillages

Pour compléter cela, les données bathymétriques fournies ont tout d'abord été analysées, mais comme ces données ne se situaient qu'en grande profondeur, en général supérieure à 500 m (et donc qu'elles auront une influence négligeable sur la propagation du tsunami), et qu'elles ne se raccordaient pas aux données ETOPO-1, elles n'ont pas été utilisées.

Les données LIDAR fournies couvrent une bande côtière contournant la région Nord de la Grande Anse (Figure 58). Pour définir la bathymétrie/topographie finale des maillages G1 et G2, on a interpolé ces données, simultanément avec les données bathymétriques ETOPO-1 (également marquées à la Figure 58).

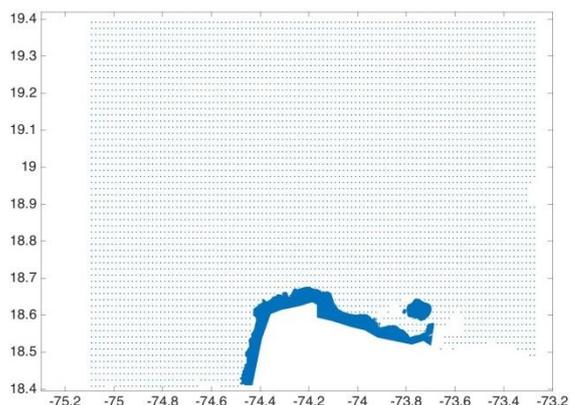


Figure 58 : position des points bathymétriques ETOPO-1 et des points de données LIDAR

Cela donne la bathymétrie/topographie visualisée à la Figure 59 sur le maillage G2. Comparant cette figure à l'image Google Earth de la Figure 60 sur la même région, on voit que le niveau moyen de référence de l'océan est trop bas. Cela est aussi apparent pour la bathymétrie/topographie basée uniquement sur ETOPO-1 à l'Est de cette région (Figure 57 a), où on voit que les îles sont connectées à la terre alors que, sur l'image Google Earth de la Figure 60, elles ne le sont pas. Consultants le marnage à Jérémie entre les 9 et 14 juillet 2016, on obtient plus de 2.2 m entre marée basse et haute.

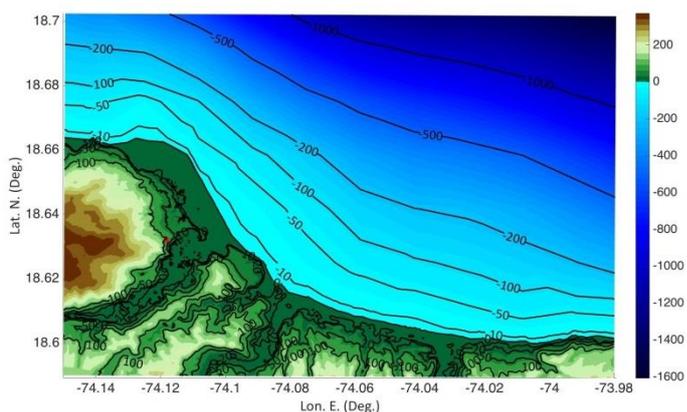


Figure 59 : Données bathymétriques ETOPO-1 et topographiques LIDAR interpolées sur le maillage G2

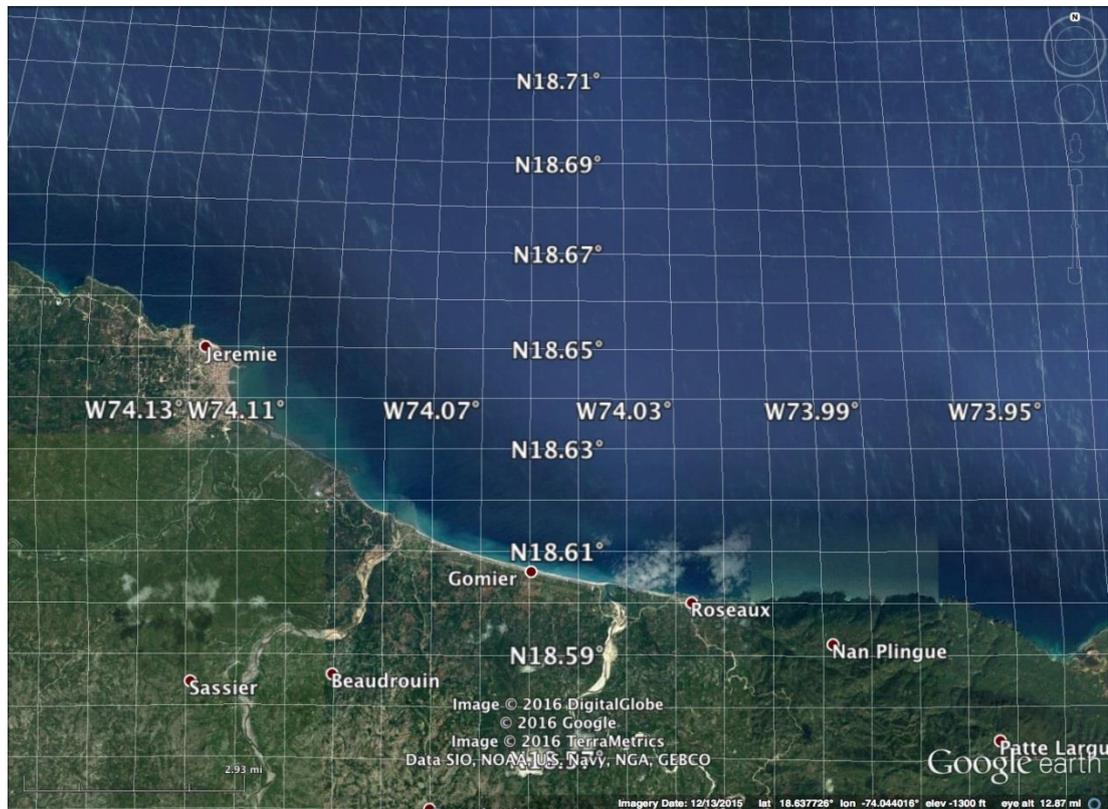


Figure 60 : Image Google Earth de la région d'intérêt principale autour de Jérémie

Donc, à la fois pour ajuster la bathymétrie côtière et le trait de côte à ceux observés sur l'image Google Earth de la Figure 60, et pour être sécuritaire, on a ajouté 2 m à la Figure 59, ce qui donne la bathymétrie/topographie finale du maillage G2 de la Fig. 4b, qui est bien plus proche de l'image de la Fig. 6c. Pour le maillage G1, cela donne la bathymétrie/topographie finale de la Figure 56, où on voit que les îles à l'est sont bien telles que vu sur l'image de la Figure 54 ; il est à noter que pour la topographie finale de G1, on a ajouté au sud la topographie ETOPO-1, afin d'avoir une figure propre et complète, mais cela n'affecte bien sûr pas les simulations du tsunami.

A.15.4. RÉSULTATS DES SIMULATIONS

Selon la méthodologie détaillée par Grilli et al. (2016), la propagation du tsunami généré par la source sismique est simulée avec FUNWAVE-TVD, tout d'abord dans le maillage G1, sur la base de l'élévation initiale de la Figure 55 (sans vitesse initiale). Dans ce maillage, pour éviter la réflexion sur la frontière extérieure, une zone de dissipation (« sponge layer ») de 22 km est spécifiée le long des frontières océaniques extérieures. Le calcul est effectué pour une durée de propagation de 30 min. Cette durée est courte mais la source étant très proche de la côte, l'impact du tsunami commence au bout de quelques minutes et les réflexions diverses qui s'ensuivent sont terminées au bout de 30 min.

Durant ce premier calcul, selon la méthode de couplage unidirectionnel, des séries temporelles d'élévation de surface et de vitesse horizontale sont calculées pour un grand nombre de stations (ici 428) spécifiées à intervalle régulier le long de la frontière du maillage emboîté G2. Les simulations sont ensuite reprises depuis le temps initial dans le maillage G2, en utilisant ces séries

comme conditions aux limites. Notez que comme la source initiale recouvre également le maillage G2, la surface de celui-ci doit être aussi initialisée avec la source.

Les élévations de surface instantanées ont été générées dans les maillages G1 et G2 toutes les 30 s. Les figures suivantes montrent les enveloppes d'élévation de surface maximale de tsunami calculée durant les 30 min de simulation dans les maillages G1 et G2, respectivement. A chaque fois, la figure (a) montre le maillage complet ainsi que en (b) un zoom sur la région de Jérémie.

Les simulations en maillage G1 (Figure 61) montrent en général un runup à la côte atteignant jusqu'à 5 m, avec un maximum de 8.3 m.

Ces mêmes simulations en maillage G2 (Figure 62), du fait de la résolution plus fine et donc d'une meilleure simulation des focalisations bathymétriques et topographiques du tsunami, montrent des runups atteignant en général de 6 à 14 m le long de la côte, et 10 à 14 m dans la région immédiate de Jérémie (Figure 62 b), avec un maximum de 16 m. On voit qu'une zone importante serait inondée par le tsunami, au nord et à l'est de la ville.

A.15.5. CONCLUSIONS

L'impact sur la côte nord de Grande Anse a été simulé pour un cas unique de tsunami causé par une source sismique de magnitude Mw 7.25, dans une faille située à proximité de la côte. Les animations des résultats permettent de voir que les vagues maximales du tsunami atteindraient la côte au bout de quelques minutes seulement, de ce fait offrant peu de possibilité d'alerte. Le runup causé par ce tsunami est simulé de l'ordre de 4 à 8 m pour la majorité de la côte nord de Grande Anse, avec des effets locaux plus importants, particulièrement le long de la côte de Jérémie où le runup atteint 6 à 14 m. Vue la présence de beaucoup de falaises (côte raide), la pénétration horizontale du tsunami (l'inondation) est en général limitée, excepté dans la région de Jérémie où l'on voit une inondation significative de la partie côtière Est et Nord de la ville, et dans une série d'estuaires à l'est de la ville. La commune de Roseaux est également particulièrement touchée.

Cette source a été paramétrée pour être sécuritaire et on a supposé un impact autour d'une marée haute normale à Jérémie. Cependant au vu de ces résultats et de l'impact sévère causé par ce tsunami, il serait bon de réaliser une étude plus approfondie et aussi de mieux cerner les paramètres géologiques de la source sismique proposée.

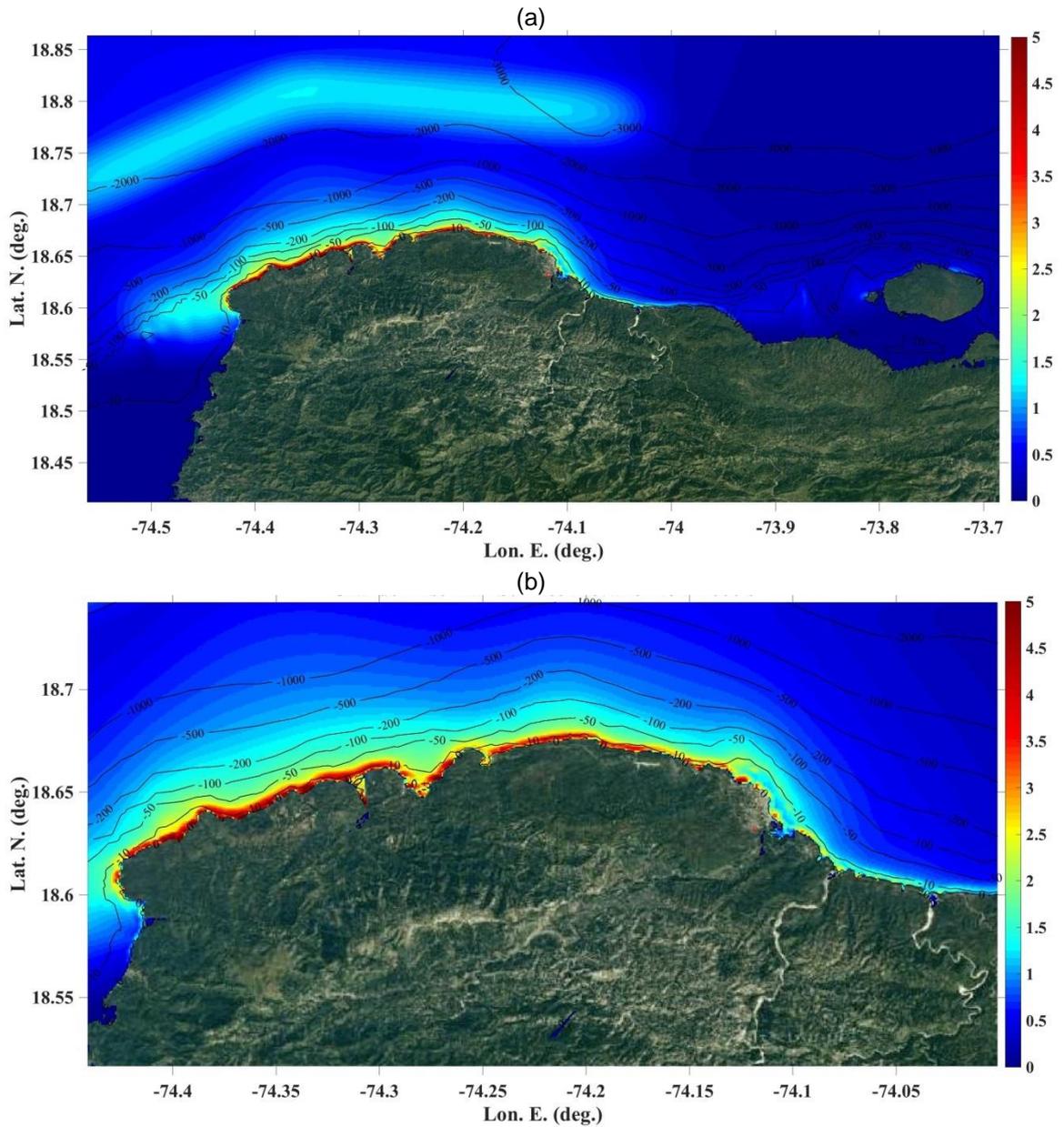


Figure 61 : Enveloppe des élévations de surface de tsunami simulées dans le maillage G1 pendant 30 min

(a) maillage complet ; (b) zoom de (a). Les contours représentent la bathymétrie (< 0) (en mètre) ; le trait de côte initial est marqué par le contour zéro.

Echelle des couleurs en mètres.

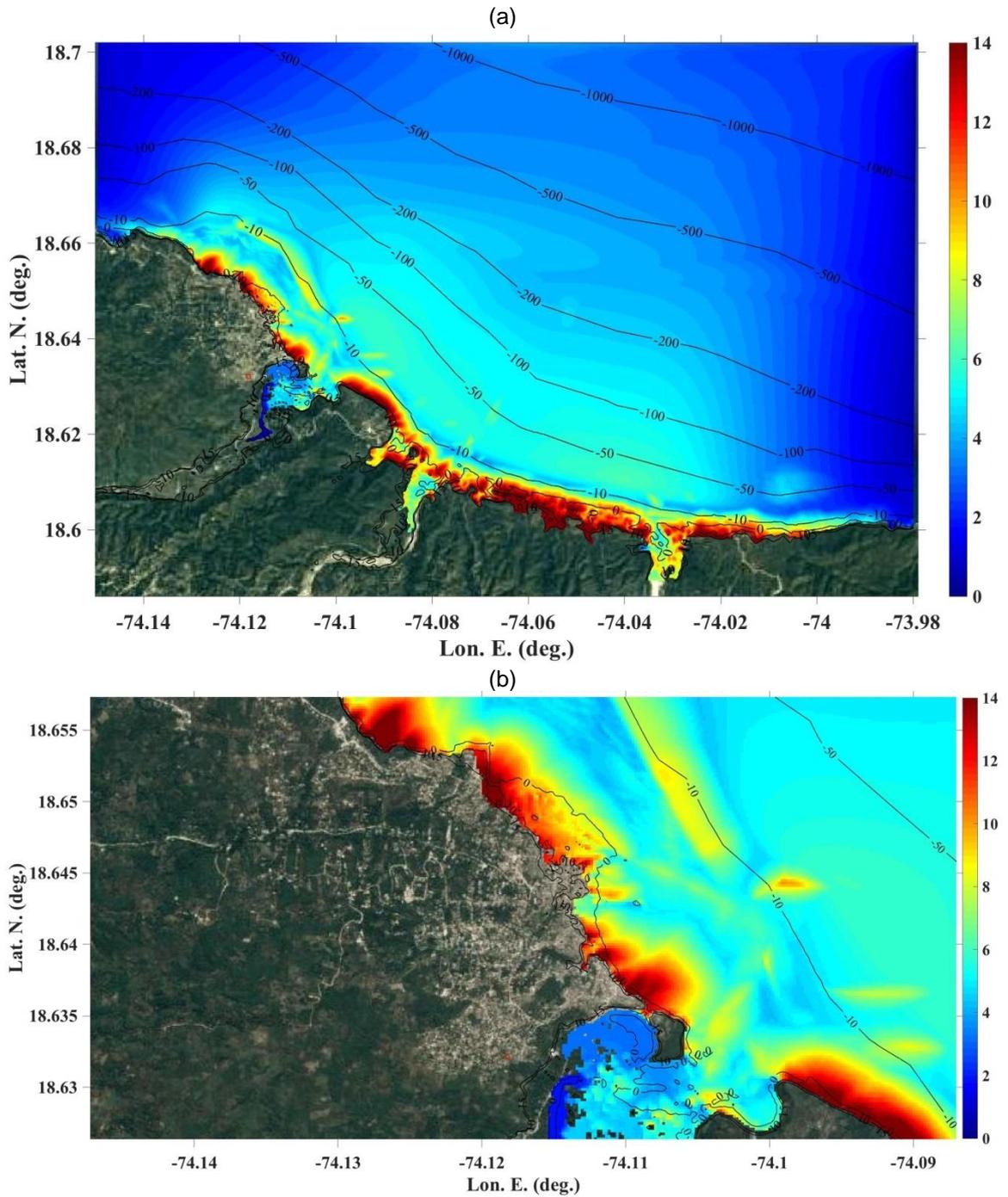


Figure 62 : Enveloppe des élévations de surface de tsunami simulées dans le maillage G2 pendant 30 min

(a) maillage complet ; (b) zoom de (a). Les contours représentent la bathymétrie (< 0) (en mètre) ; le trait de côte initial est marqué par le contour zéro.

Echelle des couleurs en mètres.

A.15.6. RÉFÉRENCES

Abadie, S., Morichon, D., Grilli, S.T. and Glockner, S. 2010. Numerical simulation of waves generated by landslides using a multiple-fluid Navier-Stokes model. *Coastal Engineering*, 57, 779-794, doi:10.1016/j.coastaleng.2010.03.003.

Abadie, S., J. Harris and S.T. Grilli 2011. Numerical simulation of tsunami generation by the potential flank collapse of the Cumbre Vieja Volcano. In Proc. 21st Offshore and Polar Engng. Conf. (ISOPE11, Maui, HI, USA, June 19-24, 2011), pps. 687-694, Intl. Society of Offshore and Polar Engng.

Abadie, S., J.C. Harris, S.T. Grilli and R. Fabre 2012. Numerical modeling of tsunami waves generated by the flank collapse of the Cumbre Vieja Volcano (La Palma, Canary Islands) : tsunami source and near field effects. *J. Geophys. Res.*, 117, C05030, doi:10.1029/2011JC007646.

Amante, C. and B.W. Eakins, 2009. ETOPO-1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. National Geophysical Data Center, NOAA. doi:10.7289/V5C8276M.

Day, S. J., P. Watts, S. T. Grilli and Kirby, J.T. 2005. Mechanical Models of the 1975 Kalapana, Hawaii Earthquake and Tsunami. *Marine Geology*, 215(1-2), 59-92.

Grilli, S.T., Ioualalen, M, Asavanant, J., Shi, F., Kirby, J. and Watts, P. 2007. Source Constraints and Model Simulation of the December 26, 2004 Indian Ocean Tsunami. *Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering*, 133(6), 414-428.

Grilli, S.T., Taylor, O.-D. S., Baxter, D.P. and S. Marezki 2009. Probabilistic approach for determining submarine landslide tsunami hazard along the upper East Coast of the United States. *Marine Geology*, 264(1-2), 74-97, doi:10.1016/j.margeo.2009.02.010.

Grilli, S.T., S. Dubosq, N. Pophet, Y. Pérignon, J.T. Kirby and F. Shi 2010. Numerical simulation and first-order hazard analysis of large co-seismic tsunamis generated in the Puerto Rico trench: near-field impact on the North shore of Puerto Rico and far-field impact on the US East Coast. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 2109–2125, doi:10.5194/nhess-2109-2010.

Grilli, S.T., Harris, J., F. Shi, J.T. Kirby, T.S. Tajalli Bakhsh, E. Estivals and B. Tehranirad 2012. Numerical modeling of coastal tsunami dissipation and impact. In Proc. 33rd Intl. Coastal Engng. Conf. (P. Lynett and J. Mc Kee Smith, eds.) (ICCE12, Santander, Spain, July, 2012), 12 pps. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Grilli, S.T., J.C. Harris, T. Tajalibakhsh, T.L. Masterlark, C. Kyriakopoulos, J.T. Kirby and F. Shi 2013. Numerical simulation of the 2011 Tohoku tsunami based on a new transient FEM co-seismic source: Comparison to far- and near-field observations. *Pure and Applied Geophysics*, 170, 1333-1359, (published online 7/24/12).

Grilli A.R. and S.T. Grilli, 2013. Modeling of tsunami generation, propagation and regional impact along the U.S. East Coast from the Azores Convergence Zone. Research Report no. CACR-13-04. NTHMP Award, #NA10NWS4670010, US National Weather Service Program Office, 20 pp. <http://www.oce.uri.edu/~grilli/grilli-grilli-cacr-13-04>

Grilli A.R. and S.T. Grilli, 2013. Far-Field tsunami impact on the U.S. East Coast from an extreme flank collapse of the Cumbre Vieja Volcano (Canary Island). Research Report no. CACR-13-13. NTHMP Award, #NA10NWS4670010, US National Weather Service Program Office, 13 pp. <http://www.oce.uri.edu/~grilli/grilli-grilli-cacr-13-03>

Grilli A.R. and S.T. Grilli, 2013. Modeling of tsunami generation, propagation and regional impact along the upper U.S East coast from the Puerto Rico trench. Research Report no. CACR-13-02.

NTHMP Award, #NA10NWS4670010, US National Weather Service Program Office, 18 pp. <http://www.oce.uri.edu/~grilli/grilli-grilli-cacr-13-02>

Grilli, S.T., Grilli A.R., David, E. and C. Coulet 2016. Tsunami Hazard Assessment along the North Shore of Hispaniola from far- and near-field Atlantic sources. *Natural Hazards*, 82(2), 777-810, doi: 10.1007/s11069-016-2218-z (published online 2/19/2016).

Harris, J.C., S.T. Grilli, S. Abadie and T. Tajalibakhsh 2012. Near- and far-field tsunami hazard from the potential flank collapse of the Cumbre Vieja Volcano. In Proc. 22nd Offshore and Polar Engng. Conf. (ISOPE12, Rodos, Greece, June 17-22, 2012), Intl. Society of Offshore and Polar Engng., 242-249.

Kirby, J.T., Shi, F., Tehranirad, B., Harris, J.C. and Grilli, S.T. 2013. Dispersive tsunami waves in the ocean: Model equations and sensitivity to dispersion and Coriolis effects. *Ocean Modeling*, 62, 39-55, doi:10.1016/j.ocemod.2012.11.009.

Loualalen, M., Asavanant, J., Kaewbanjak, N., Grilli, S.T., Kirby, J.T. and P. Watts 2007. Modeling the 26th December 2004 Indian Ocean tsunami: Case study of impact in Thailand. *Journal of Geophysical Research*, 112, C07024, doi:10.1029/2006JC003850

Okada Y. (1985) Surface deformation due to shear and tensile faults in a half space. *Bull Seismol Soc Am*, 75(4):1135-1154.

Shi, F., J.T. Kirby, J.C. Harris, J.D. Geiman and S.T. Grilli 2012. A High-Order Adaptive Time-Stepping TVD Solver for Boussinesq Modeling of Breaking Waves and Coastal Inundation. *Ocean Modeling*, 43-44, 36-51, doi:10.1016/j.ocemod.2011.12.004.

Tappin, D.R., Watts, P., Grilli, S.T. 2008. The Papua New Guinea tsunami of 1998: anatomy of a catastrophic event. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 243-266. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/8/243/2008/

Tehranirad, B., Shi, F., Kirby, J. T., Harris, J. C. and Grilli, S., 2011. Tsunami benchmark results for fully nonlinear Boussinesq wave model FUNWAVE-TVD, Version 1.0. Research Report No. CACR-11-02, Center for Applied Coastal Research, Univ. of Delaware, Newark.

Watts, S. T. Grilli, J. T. Kirby, G. J. Fryer, and Tappin, D. R. 2003. Landslide tsunami case studies using a Boussinesq model and a fully nonlinear tsunami generation model. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, 391-402.

ANNEXE 3

Etude détaillée de l'aléa sismique

A.16.1. DONNÉES COLLECTÉES ET EXPLOITÉES

Outre les données listées dans le rapport R1, de nature cartographique, topographique et concernant les rapports des études antérieures, l'étude sismique a exploité les données suivantes :

A.16.1.1. Publications internationales

- Bakun et al. 2012;
- Calais et al. 1995.2010;
- Douilly, R. et al. 2013;
- Hashimoto et al. 2011;
- Hayes, G. et al. 2010;
- Mann et al. 1984, 1995
- Manaker, D. M. et al. 2008:
- Mercier de Lépinay, B. et al. 2011;
- Prentice, C. S. et al. 2010;
- Pubellier et al. 2000;
- Symithe et al.,2013.

A.16.1.2. Thèses

- Bien-Aimé Momplaisir, R. Contribution a l'étude géologique de la partie orientale du Massif de la Hotte (Presqu'île du Sud d'Haiti): Synthèse structurale des marges de la presqu'île a partir de données sismiques. ThesisUniv. Paris VI (1986).
- Helliott Amilcar, Etude Géologique de l'Oust du Massif de la Hotte (Haiti, Grandes Antilles) dans son cadre terrestre et marin. Implications Geodynamiques. Universite Paul Sabatier de Toulouse, 1997.
- Newdeskarl Saint Fleur, Sis,otectonique du système de faille d'Enriquillo et du seisme du 12 janvier 2010 (Mw 7.0) en Haiti. Institut de Physiaue du Globe de Paris. 2014.

A.16.1.3. Catalogue de sismicités historique et instrumentale

Accounts of Damage from Historical Earthquakes in the Northeastern Caribbean, to Aid in the Determination of their Location and Intensity Magnitudes. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. Open-File Report 2011–1133

A.16.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude se situe dans l'île d'Hispaniola qui appartient à l'arc antillais. Ce dernier, correspond à une chaîne dont le sous-sol est formé d'un socle cristallin enrobé à l'ère secondaire par des couches de sédiments de 2000 à 6000 m et par des colonies coralliennes. Elle se présente sous forme d'une succession de plis de direction générale NW-SE, formant une série de collines (anticlinales) et de vallées (synclinales), disposés en arc et limités, le plus souvent, par des failles et alternant du nord au sud (cf carte ci-dessous).

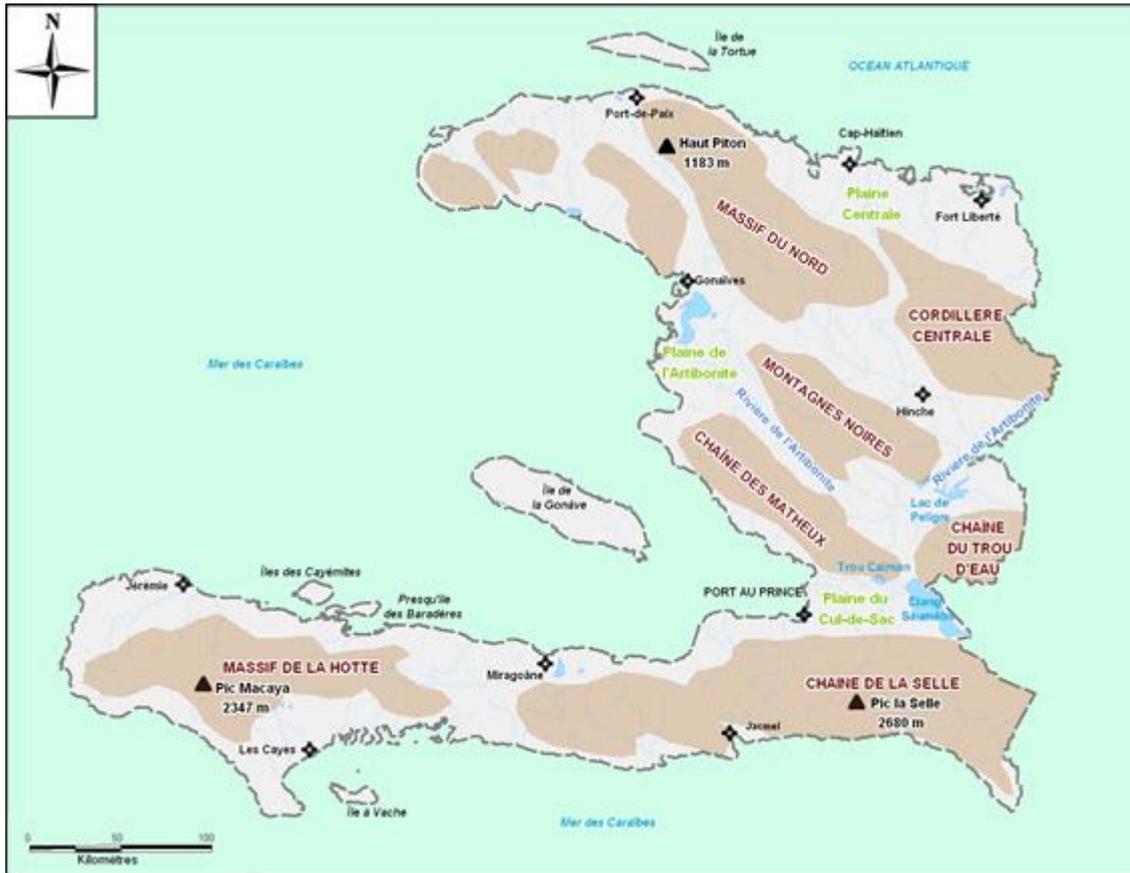
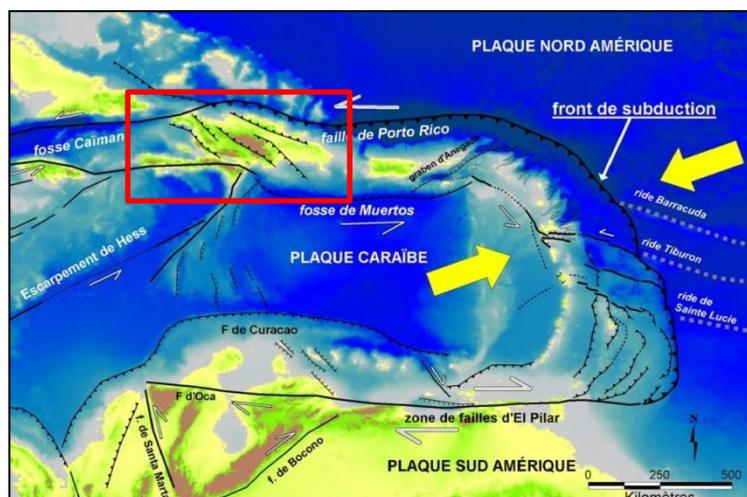


Figure 63 : Carte géomorphologique simplifiée d'Haïti (Source : PPR 16/6- PNUD 2012)

Le noyau montagneux de l'île est composé de schistes, de conglomérats et de calcaires anciens, au travers desquels se sont injectées des syénites. Au Nord et au Sud de ce noyau, on trouve de larges dépôts tertiaires, flanqués de calcaires récents et de graviers. La chaîne centrale et la chaîne septentrionale sont formées de roches métamorphiques, de grès, de conglomérats, de calcaires, de glaises. Dans la zone centrale et occidentale, ces dépôts sont bouleversés et percés de dykes éruptifs, de veines de quartz souvent aurifères. La moitié environ du sol de l'île est formée d'alluvions anciennes ou récentes, provenant de l'érosion des roches composant les versants environnants. Sur presque tout son pourtour, elle continue de s'accroître par le double travail des polypiers marins et des apports roulés par les torrents et les fleuves. Aussi une grande partie des rivages est occupée par des terrains marécageux situés au niveau de la mer, nommés esterres.

Le système de failles est également accentué au sein des différentes unités tectoniques (BUTTERLIN, 1954). Dans le cas d'Haïti, les failles majeures connues, ont un déplacement décrochant sénestre.



(Source : d'après Stephan et al., 1985, Taboada et al., 1999 ; Feuillet, 2000)

Figure 66 : Géodynamique actuel de l'arc Caraïbes



En effet, cette configuration géodynamique se traduit, par une convergence entre la plaque Caraïbe et le plancher océanique Atlantique (plaques Nord Américaine et Sud Américaine) selon une direction ENE-WSW, à une vitesse d'environ 2 cm/an (DeMes et al. 2000).

Ce déplacement est distribué sur plusieurs structures régionales qui bordent les plaques tectoniques et des microplaques distinctes comme la microplaque de Gonave sur laquelle se situe Haïti. Une grande partie de cette convergence est absorbée dans la zone de subduction¹⁵ qui marque la frontière entre la plaque Caraïbe et les plaques Américaine (figure ci-dessus).

Haïti se situe ainsi, dans une zone tectonique très active, à la frontière de deux plaques tectoniques (Caraïbe et Nord-Américaine), dans une bande de déformation de 250 km de large, communément appelée la Northern Caribbean Plate Boundary Zone (NCPBZ) (Calais, 1990). Le long de cette zone la plaque Caraïbe coulisse vers l'Est par rapport à la plaque Nord-Américaine à la vitesse d'environ 20 mm/an. Cette collision oblique se traduit par une tectonique transpressif, conduisant à une tectonique de décrochement et de raccourcissement au niveau de l'île de l'Hispaniola (e.g. Mann et al., 2002). Au niveau d'Haïti, ce déplacement s'accommoder donc par :

- Du coulissement/décrochement, le long de deux systèmes de failles actives de direction générale Est-Ouest (figure ci-dessus) :
 - En mer, le long de la côte nord, un système de faille de direction WNW-ESE, inverse-décrochant, qui se prolonge à terre dans la vallée du Cibao en République Dominicaine (9 ± 2 mm/an).
 - À terre, au travers de la presqu'île du sud : un système de failles de direction Est-Ouest à WNW-ESE, décrochant, de près de 250 km de long, allant de Tiburon à Pétion-Ville et se prolongeant en République Dominicaine dans la vallée d'Enriquillo (7 ± 2 mm/an).
- Raccourcissement avec un taux de $5,2 \pm 2$ mm/an d'après les données GPS (Calais, 2002) et qui s'exprime par des plissements (e.g. Pubellier et al., 1991; Amilcar, 1997) et par de nombreux chevauchements et failles inverses mis en évidence à l'occasion de la présente étude (voir chapitres suivants).

¹⁵ Enfoncement de la lithosphère atlantique sous l'arc des Petites Antilles

D'après Stephan et al., 1985 ; Taboada et al., 1999 ; Feuillet, 2000 ; Rabaute et Chamot-Rooke, 2012) :

Principales failles actives(Coupe géologique sub-méridienne depuis la Presqu'île du Sud d'Haïti jusqu'au Golfe de Gonâve, d'après la « Synthèse géologique de la République d'Haïti » - BRGM 1988) **et activité sismique associée**(carte de sismicité historique de l'Île de l'Hispaniola d'après Eric Calais, 2002).

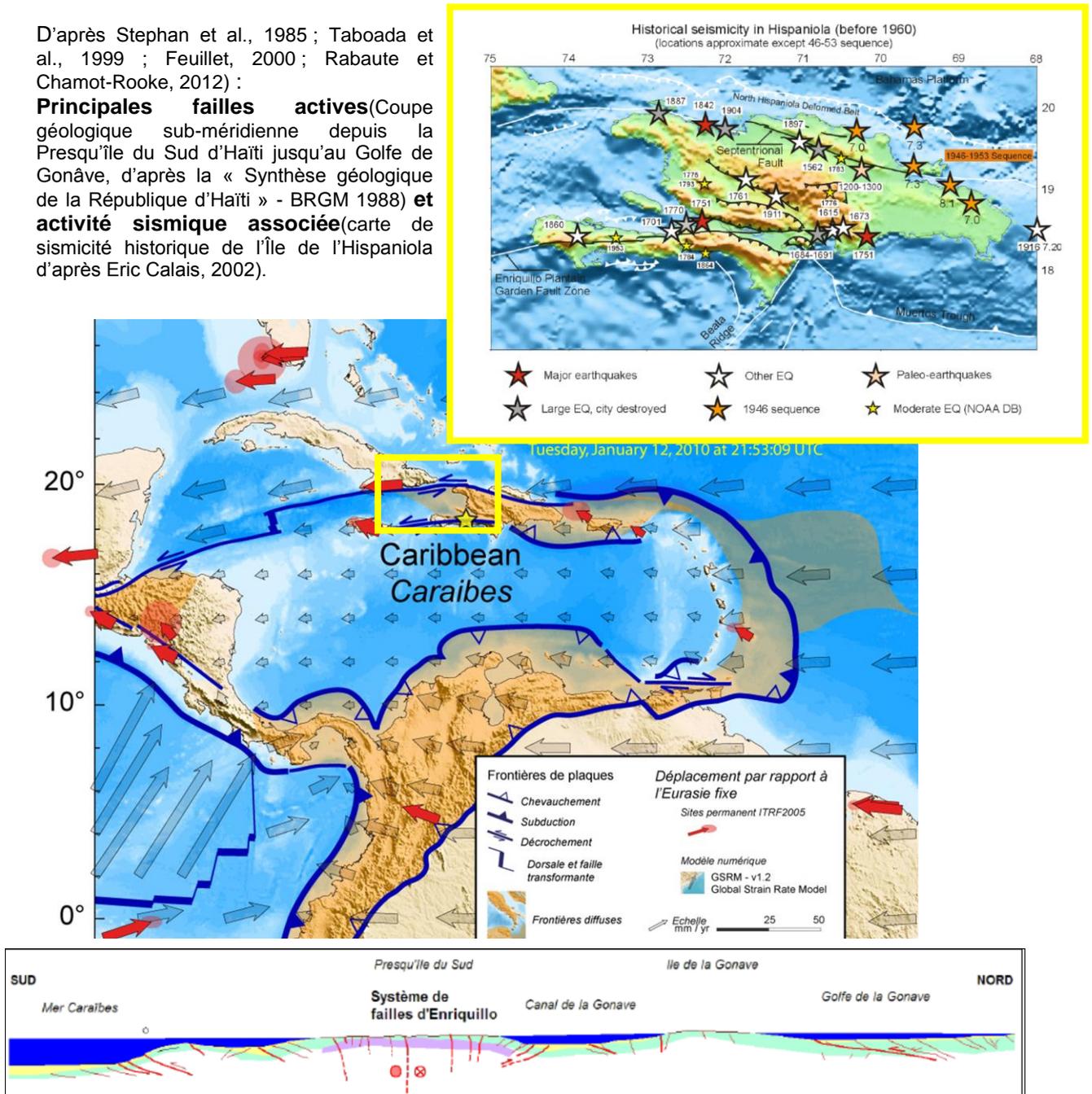


Figure 67 : Situation de Haïti dans le contexte tectonique actuel de l'arc Caraïbes

Ainsi, la convergence entre les plaques Nord et Sud-américaines, se manifeste au niveau de l'île d'Hispaniola par une tectonique actuelle et récente très active.

En effet, actuellement l'ensemble de l'île est soumise à un soulèvement général. Ce soulèvement qui est plus marqué dans le Nord-Ouest de l'île, est responsable du développement de nombreuses terrasses récifales (Bombardopolis, Baie de Henne, Môle Saint Nicolas, île de la Tortue, île de la Gonave, Baintet, Jacmel, etc.) et de cônes d'épandage alluviaux (Léogane, Arcahaie, La Chapelle, plaine de l'Arbre, etc.). Ce soulèvement est également accompagné par un volcanisme fissural à contrôle tectonique (failles Nord-Est Sud-Ouest). Cette tectonique se manifeste également par des failles et plissements particulièrement visibles dans les formations du Pliocène et du Quaternaire ainsi que par un niveau de sismicité relativement élevé (Figures ci-dessus et ci-dessous). Sur l'île d'Hispaniola, on sait que chacun des siècles passés a été marqué par au moins un séisme majeur (sismicité historique) : destruction de Port-au-Prince en 1751 et 1771, destruction de Cap Haïtien en 1842, séismes de 1887 et 1904 dans le nord du pays avec dégâts majeurs à Port de Paix et Cap Haïtien, séisme de 1946 dans le nord-est de la République Dominicaine accompagné d'un tsunami dans la région de Nagua. Le dernier séisme majeur est celui du 12 janvier 2010, occasionnant d'importants dégâts dans la ville de Port au Prince, et entraînant la mort de 230 000 personnes. Il y a eu des séismes majeurs en Haïti, il y aura donc des séismes majeurs dans le futur, à l'échelle de la dizaine ou de la centaine d'années.

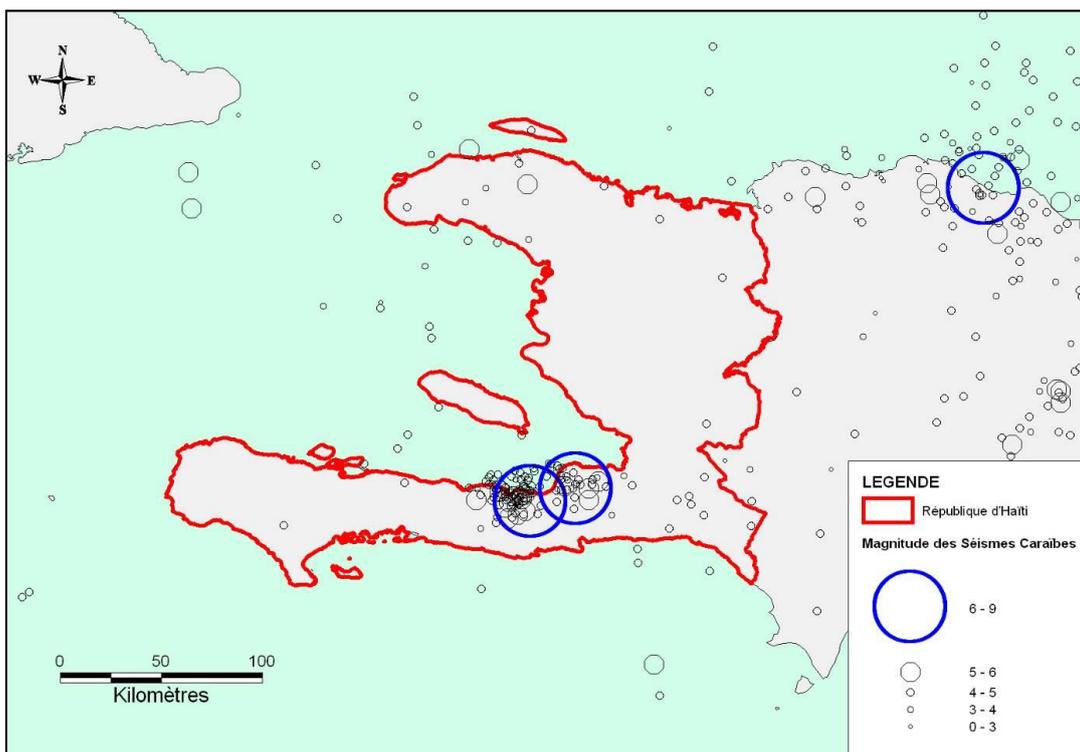


Figure 68 : Carte de la sismicité d'Haïti depuis 1973 (Source : USGS)

Le contexte géomorphologique et structural actuel de la zone d'étude, est marqué par une association de décrochements dont le plus important est celui d'Enriquillo et d'un anticlinorium majeur (Massif de la Hotte).

Sur la zone d'étude, plusieurs déformations tectoniques récentes sont détectables aussi bien en photographies aéroportées que sur le terrain (observations réalisées à l'occasion de la présente étude).

A.16.4. CARACTÉRISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE VIS-À-VIS DU RISQUE SISMIQUE

A.16.4.1. Sismicité historique et instrumentale

Les catalogues de sismicité comprennent à la fois des informations macrosismiques relatives aux séismes historiques (i.e. antérieurs à 1900 et pour lesquels un complément d'investigations est parfois nécessaire) et des données plus précises de la période instrumentale.

Pour prendre en compte toutes les sources sismiques, proches et lointaines¹⁶, capables de produire sur le territoire du Département de la Grande Anse des niveaux d'accélération maximale du sol de quelques centièmes de g (ou induire une intensité macrosismique supérieure à V¹⁷ sur l'échelle de Mercalli modifiée¹⁸) nous avons considéré un rayon d'environ 100 à 200 km autour des limites du territoire de ce Département.

Les plus importants de ces séismes qui ont affectés la zone d'étude sont listés ci-après d'après le catalogue de sismicités historique et instrumentale (U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. Open-File Report 2011–1133) :

May 7, 1842

Time: About 5:37 in the evening, Santo Domingo local time

Land Surface Observations: The Yaque River near Santiago split and one of the splits reversed flow direction for a short period before returning to its normal flow (Ardouin, 1860). Salt and bitumen (?) springs appeared along the coastal mountains. The Ozama river in Santo Domingo overflowed causing ships tied along the river to run aground and pitch strongly. The mountain behind St. Marc was said to have divided in two with a fissure wide enough for a carriage to pass (El Constitucional, 1842a).

Tsunami: Observed first outflow of 200 paces and then inflow 15 feet tall at Port-de-Paix and the sea overtook the river deltas of the Yaque in Monte Cristi and Massacre near Fort Liberte flooding the neighboring regions (Ardouin, 1860). High waves were noticed in Anse-a-Veau and **Jeremie** on the southern peninsula.

Aftershocks: Several aftershocks felt for hours and many felt for days after the event. Besides the cities most affected by the initial shocks, aftershocks were felt as far away as Añasco, Puerto Rico.

Phenomenon Notes: Some sources record this event as being as long as five minutes. However, Puerto Plata and Port-au-Prince describe two shocks in very close succession, the second of the two being stronger and more powerful. About half of the population of Cap Haitien died and about 2,000 died combined between Santiago de los Caballeros and La Vega. This earthquake was far reaching in that ground oscillations were observed in various bodies of water in Louisiana (L'Ami de la Religion, 1842b).

Number of Observations: 50

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.1145	18.6446	Jeremie	(L'Ami de la Religion, 1842b): The tremor was felt at Jeremie but it did not cause havoc. The waters were instantly elevated to a height of six feet.	CHF(3) WHB(3)

¹⁶ Les effets de séismes lointains de fortes magnitudes peuvent être dommageables : liquéfaction et/ou déclenchements de mouvements de terrain (glissements, éboulements).

¹⁷ L'intensité V, correspond à la limite à partir de laquelle on commence à avoir des effets sur le bâti. Des fissures peuvent en effet se produire sur les bâtiments à partir de l'intensité VI.

¹⁸ Pour les séismes anciens il n'y a pas de mesure de la magnitude. Il existe des formules empiriques qui permettent de passer de l'Intensité à l'épicentre à la magnitude. Ces formules ont une valeur régionale. En ce qui concerne les études d'aléas et de risque, l'utilisation des intensités est justifiée par le fait qu'on s'intéresse plutôt aux effets des séismes en surface plus qu'à l'énergie. Deux séismes de même magnitude auront des intensités épacentrales différentes suivant leurs profondeurs respectives. La magnitude ne rend pas compte des phénomènes d'amplification ou d'atténuation induits par les effets locaux (géologiques, topographiques, etc.).

January, 1887

Time: Unknown

Phenomenon Notes: None

Number of Observations: 1

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.1145	18.6446	Jeremie	(Tippenhauer, 1893): 1887, early, Jeremie. (Scherer and Baltenweck, 1914): January, Jeremie.	-

September 22, 1887

Time: 4:50 AM, Port-au-Prince local time

Phenomenon Notes: Possible foreshock (?)

Number of Observations: 1

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-72.3388	18.5432	Port-au-Prince	(Tippenhauer, 1893): 1887 September 22, 4:50 morning, lasting 2 seconds, E to W, Port-au-Prince. (Scherer and Baltenweck, 1914): September 22 at 5:00 a.m. Port-au-Prince. Direction NE, duration 5 seconds.	-

September 23, 1887

Time: 12:50 AM, Port-au-Prince local time

Phenomenon Notes: Possible foreshock (?)

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-72.3388	18.5432	Port-au-Prince	(Tippenhauer, 1893): 1887 September 23, 12:50 night, Port-au-Prince. (Scherer and Baltenweck, 1914): September 23 at 55 after midnight, Port-au-Prince, one shock.	-

September 23, 1887

Time: 6:43 AM Kingston, Jamaica local time

Tsunami: According to Scherer (1912a) there was a tsunami associated with this earthquake that affected from Mole-St. Nicolas to Anse d'Hainault; on the western most coastline in the southern peninsula of Haiti, north of Tiburon.

Phenomenon Notes: Recorded in Kingston Jamaica (Hall, 1922). Many Spanish newspapers republished the same story that came out in The New York Times (1887a).

Number of Observations: 22

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.1145	18.6446	Jeremie	(Tippenhauer, 1893): 8:05 early, the sea withdrew itself 60 feet back, 8:15 early, 2 shocks. (Scherer, 1912a): At Jeremie strong shocks were felt during several minutes. The inhabitants abandoned their dwellings and the stores were closed. The sea drew back twenty meters, leaving numbers of fine fish out of water, and the people were still disputing about these, when the water returned with a rush upon the beach. There was no accident however. The same movement of the sea made itself felt in all the neighborhood ports and especially at Anse d'Hainault.	CHF(5) WHB(-) SISF(7) S&L1992(6)

September 23, 1887, to October 4, 1887

Time: Various

Phenomenon Notes: Aftershocks of September 23, 1887.

Number of Observations: 7

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.1145	18.6446	Jeremie	(Tippenhauer, 1893): 1887, Sept. 24, 12:30 at night 3 shocks.	-

October 12, 1905

Time: About 05:00:00 PM, Jeremie local time (about 21:49:21 UTC)

Phenomenon Notes: None

Number of Observations: 2

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.1145	18.6446	Jeremie	(Scherer and Baltenweck, 1921): Earthquake around 5 o'clock in the evening.	-
-73.7500	18.1945	Les Cayes	(Scherer and Baltenweck, 1921): Earthquake around 5 o'clock in the evening.	-

October 13, 1905

Time: About 05:00:00 PM, Petit-Goave local time (about 21:49:21 UTC)

Phenomenon Notes: None

Number of Observations: 3

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-72.8668	18.4315	Petit-Goave	(Scherer and Baltenweck, 1921): Earthquake around 5 o'clock in the evening.	-
-74.1145	18.6446	Jeremie	(Scherer and Baltenweck, 1921): Earthquake around 5 o'clock in the evening.	-
-73.7500	18.1945	Les Cayes	(Scherer and Baltenweck, 1921): Earthquake around 5 o'clock in the evening.	-

October 14, 1905

Time: 09:51:00 AM, Port-au-Prince local mean time (14:40:21 UTC)

Phenomenon Notes: A second earthquake was recorded at Port-au-Prince at 08:10 PM, local mean time (00:59:21 UTC, October 15, 1905)

Number of Observations: 8

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.1145	18.6446	Jeremie	(Scherer and Baltenweck, 1921): Earthquake at 9h. 51m in the morning.	-

June 22, 1906

Time: 02:30:00 AM and 03:00 AM, Jeremie local time (about 07:19:21 UTC)

Phenomenon Notes: A second tremor was felt at 03:00:00 AM Jeremie local time (about 07:49:21 UTC)

Number of Observations: 1

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.1145	18.6446	Jeremie	(Scherer and Baltenweck, 1921): Two earthquakes at 2 h 30 m and 3 h in the morning.	-

August 2, 1909

Time: Unknown

Phenomenon Notes: Description originally published by the Port-au-Prince observatory for July–December 1909 (Scherer, 1910a).

Number of Observations: 1

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.1145	18.6446	Jeremie	(Scherer and Baltenweck, 1921):	-

			Earthquake within the surrounding area without indication of the time.	
--	--	--	--	--

November 11, 1909

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-72.5345	18.2359	Jacmel	(Scherer and Baltenweck, 1921): One light tremor during the night.	-
-74.1145	18.6446	Jeremie	(Scherer and Baltenweck, 1921): One light tremor during the night.	-

August 3, 1910

Time: 05:58:45 PM Port-au-Prince, local mean time (22:48:06 UTC)

Phenomenon Notes: None

Number of Observations: 25

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.1145	18.6446	Jeremie	(Scherer, 1910b): Very strong tremor; many sections of walls cracked and objects overthrown with force. Intensity VII (Rossi-Forel Intensity), S direction.	CHF(4)

October 6, 1911

Time: 10:16:12.0 UTC earthquake origin time; 05:28:30 AM, Port-au-Prince local mean time (10:17:51 UTC)

Land Surface Effects: In the village of Cotte-Plage that is now in Carrefour the train rails were shifted out of place. Landslides on the mountain Le Selle, near Furcy.

Phenomenon Notes: (-70.5° W, 19.0° N) depth = 0.0 km, Ms = 6.8 (Engdahl and Villaseñor, 2002)

This earthquake most severely affected the central region of Hispaniola and the aftershocks were mostly felt in that region.

Number of Observations: 64

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.1145	18.6446	Jeremie	(Scherer, 1912b): Tremor observed by a certain number of people, lasting 30 seconds, E direction, intensity III (Rossi-Forel Intensity). Much lower than that of August 30, 1910. There is talk of a shock already felt the day before.	CHF(3)

September 6, 1912

Time: 11:59:00 PM Port-au-Prince local mean time (04:48:21 UTC, September 7, 1912)

Phenomenon Notes: None

Number of Observations: 29

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.1145	18.6446	Jeremie	(Scherer, 1912c): One could distinguish two successive shocks; the first	CHF(4)

January 15, 1922

Time: 06:37:58 UTC, 01:38:00 AM Port-au-Prince, 75th Meridian Time

Phenomenon Notes: Intensities inside the descriptions were assigned by the Port-au-Prince observatory and are Rossi-Forel Intensities (Scherer and Baltenweck, 1922).

Number of Observations: 11

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.1145	18.6446	Jeremie	(Scherer and Baltenweck, 1922): Two very strong tremors, creaking doors, intensity IV to V.	-

November 4, 1922

Time: 05:35:11 UTC, 00:35:00 AM Port-au-Prince local time, 75th Meridian Time

Phenomenon Notes: Intensity values in the descriptions were assigned by the Port-au-Prince observatory and are Rossi-Forel Intensities (Scherer and Baltenweck, 1923).

Number of Observations: 18

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.1145	18.6446	Jeremie	(Scherer and Baltenweck, 1923):	-

			Vibrating motion, accompanied by a loud sound in some places. Intensity IV, coming from the east, duration of 10 seconds.	
--	--	--	---	--

October 28, 1952

Time: 04:25:56.4 UTC earthquake origin time; Oct. 27, 1952, at 23:29:51 local time, 75th meridian Port-au-Prince

Phenomenon Notes: (-73.520° W, 18.510° N) depth = 24 km, Ms=5.9 (Sykes and Ewing, 1965). The observatory at Seminare-College St-Martial conducted a geologic reconnaissance of this earthquake in the Asile valley south of Anse-a-Veau. The Haitian government invited the United States Coast and Geodetic Survey (USCGS) Chief Seismologist Frank Neumann to provide his professional opinion and assessment of earthquake risk in Haiti. The Port-au-Prince bulletin for 1952 generated and published a report that included a geology map of the region most affected by this earthquake and an intensity map where some of the lower intensities are included in this list. The seismometer at the observatory recorded the P wave arrival at 23:30:16 local time, 04:30:16 UTC (Bettembourg and others, 1955).

Number of Observations: 29

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.1145	18.6446	Jeremie	(Bettembourg and others, 1955): Two tremors at three second intervals; the second was very strong. Slow swinging. Direction East-West. No damages. Intensity IV.	CHF(4)

October 6, 1911

Time: 10:16:12.0 UTC earthquake origin time; 05:28:30 AM, Port-au-Prince local mean time (10:17:51 UTC)

Land Surface Effects: In the village of Cotte-Plage that is now in Carrefour the train rails were shifted out of place. Landslides on the mountain Le Selle, near Furcy.

Phenomenon Notes: (-70.5° W, 19.0° N) depth = 0.0 km, Ms = 6.8 (Engdahl and Villaseñor, 2002) This earthquake most severely affected the central region of Hispaniola and the aftershocks were mostly felt in that region.

Number of Observations: 64

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.2572	18.5613	Moron	(Scherer, 1912b): (near the Hotte) 3 distinct tremors a few seconds apart, the second tremor very violent. The dew drops accumulated in the trees fell like rain. Large cracks along the framework, some pieces of mortar fell. The people came out of the houses. Intensity V (Rossi-Forel Intensity). The second is much weaker than that of August 3, 1910, but it was stronger to the Sources-Chaudes between Moron and Tiburon.	CHF(4) SISF(6)

September 6, 1912

Time: 11:59:00 PM Port-au-Prince local mean time (04:48:21 UTC, September 7, 1912)

Phenomenon Notes: None

Number of Observations: 29

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.2572	18.5613	Moron	(Scherer, 1912c): Tremor fairly light, intensity III (Rossi-Forel Intensity).	CHF(3)

October 31, 1909

Time: Unknown

Phenomenon Notes: Description originally published by the Port-au-Prince observatory for July–December 1909 (Scherer, 1910a).

Number of Observations: 1

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.4222	18.5605	Dame-Marie	(Scherer and Baltenweck, 1921): One strong tremor without indication of the	-

			time.	
--	--	--	-------	--

October 6, 1911

Time: 10:16:12.0 UTC earthquake origin time; 05:28:30 AM, Port-au-Prince local mean time (10:17:51 UTC)

Land Surface Effects: In the village of Cotte-Plage that is now in Carrefour the train rails were shifted out of place. Landslides on the mountain Le Selle, near Furcy.

Phenomenon Notes: (-70.5° W, 19.0° N) depth = 0.0 km, Ms = 6.8 (Engdahl and Villaseñor, 2002) This earthquake most severely affected the central region of Hispaniola and the aftershocks were mostly felt in that region.

Number of Observations: 64

Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.4222	18.5605	Dame-Marie	(Scherer, 1912b): Lasted one minute. Noise from furniture and objects hanging on the wall. Out in the countryside, the phenomenon was barely observed. Intensity III (Rossi-Forel Intensity). The last earthquake of this intensity to date is January, 1909.	CHF(3)

October 28, 1952

Time: 04:25:56.4 UTC earthquake origin time; Oct. 27, 1952, at 23:29:51 local time, 75th meridian Port-au-Prince

Phenomenon Notes: (-73.520° W, 18.510° N) depth = 24 km, Ms=5.9 (Sykes and Ewing, 1965). The observatory at Seminare-College St-Martial conducted a geologic reconnaissance of this earthquake in the Asile valley south of Anse-a-Veau. The Haitian government invited the United States Coast and Geodetic Survey (USCGS) Chief Seismologist Frank Neumann to provide his professional opinion and assessment of earthquake risk in Haiti. The Port-au-Prince bulletin for 1952 generated and published a report that included a geology map of the region most affected by this earthquake and an intensity map where some of the lower intensities are included in this list. The seismometer at the observatory recorded the P wave arrival at 23:30:16 local time, 04:30:16 UTC (Bettembourg and others, 1955).

Number of Observations: 29

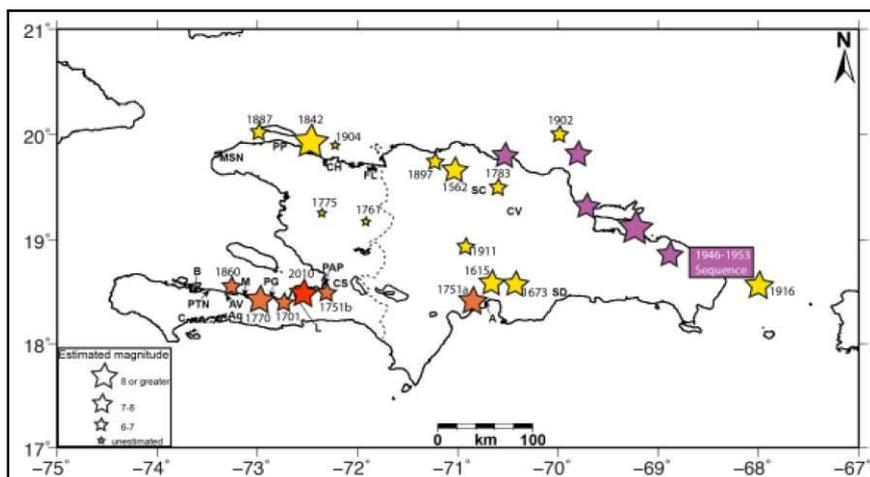
Longitude	Latitude	City	Description	Intensity
-74.4222	18.5605	Dame-Marie	(Bettembourg and others, 1955): From earthquake intensity map in report: III.	CHF(3)

Au niveau régional, les cartes de répartition de la sismicité historique et instrumentale du territoire haïtien (figures page suivante), indiquent une sismicité relativement faible au regard de la situation géodynamique de ce territoire.

En effet, l'histoire écrite d'Haiti est relativement récente (XVe siècle), ce qui correspond à une fenêtre de temps de seulement cinq siècles et par conséquent très insuffisante pour rendre compte de ces phénomènes dont la période de retour est de plusieurs siècles. Ceci explique la faible sismicité historique sur l'ensemble de l'Hispaniola.

La carte de répartition de la sismicité instrumentale montre une faible concentration de la sismicité sur le territoire haïtien par rapport au reste de la région Caraïbe en générale et la république Dominicaine en particulier. Il s'agit en fait d'un artéfact, lié à l'absence de réseau de sismicité instrumentale sur le territoire haïtien et non à l'absence d'activité sismique sur ce territoire.

Au niveau local, le département de la Grande 'Anse semble « a priori » être épargné de toute sismicité.



(Source : Bakun et al., 2012)

Figure 69 : Carte de la sismicité historique de l'Hispaniola

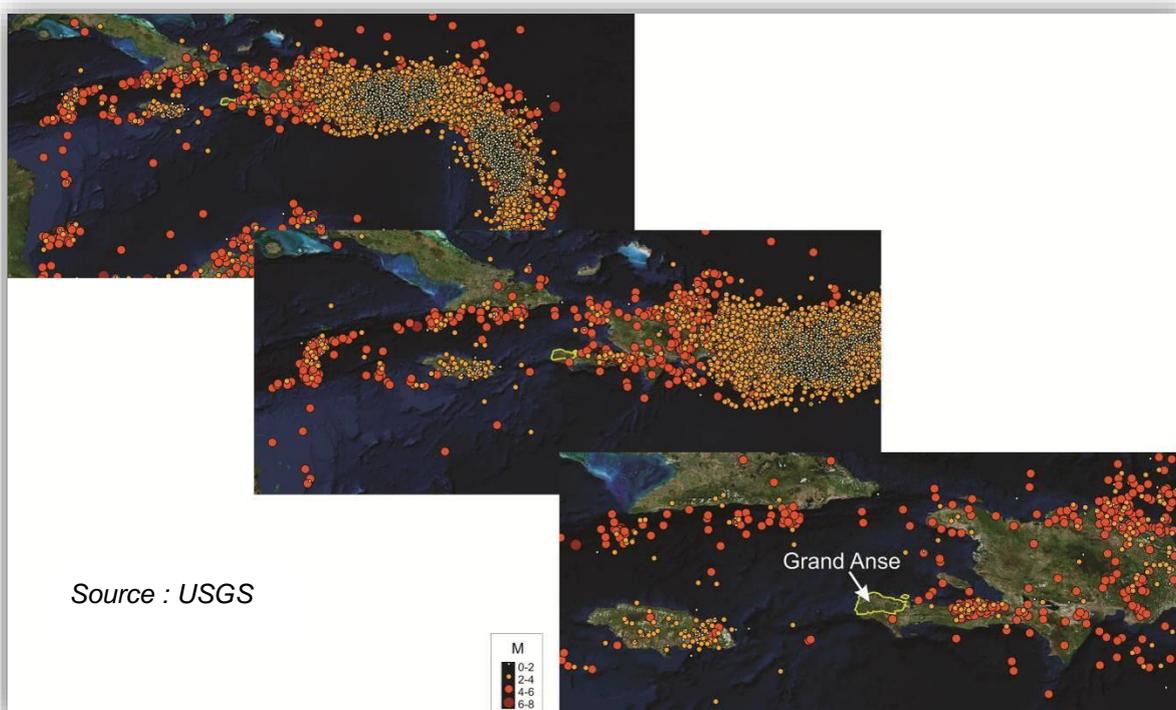


Figure 70 : Carte de la sismicité instrumentale de la région Caraïbe et de l'île de l'Hispaniola depuis 1973

A.16.4.2. Indices d'activité néotectonique et identification des principales failles actives du département de la Grande Anse (étude de terrain)

La déformation active étant concentrée sur des structures anciennes réactivées dans le champ de contraintes actuel, la compréhension des déformations récentes implique une connaissance préalable de la fabrique de la croûte terrestre et, par conséquent, de l'histoire tectonique de la zone d'étude (voir chapitre précédent).

La nature et l'orientation des failles héritées et susceptibles d'être réactivées par les contraintes actuelles sont identifiées et servent de base structurale au report des différentes données de la tectonique récente et actuelle. Cette caractérisation de la croûte terrestre permet de déterminer les mécanismes les plus plausibles des déformations actives.

Les types de déformations associés aux structures les plus nettes connues à ce jour et confirmés par les mesures GPS, sont (voir chapitres précédents et figure ci-dessous) :

- Coulissement/décrochement, le long de deux systèmes de failles actives de direction générale Est-Ouest
- Raccourcissement qui s'exprime par des plissements et par de nombreux chevauchements et failles inverses (voir chapitres suivants).

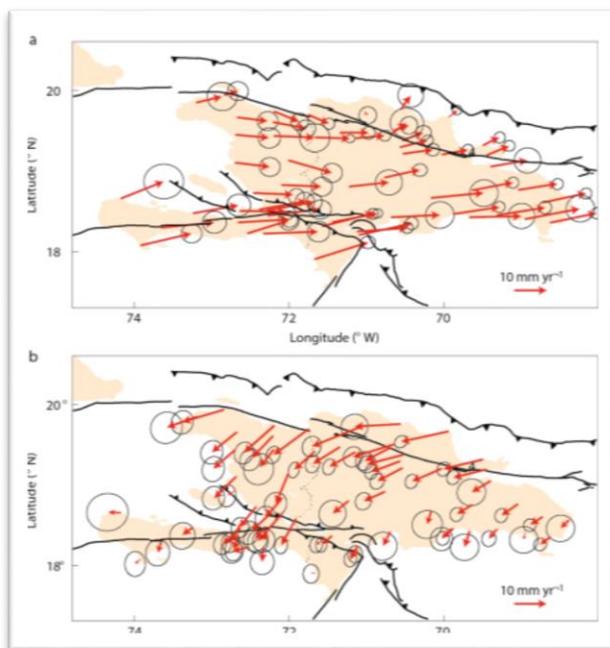


Figure 71 : Vitesse de déplacement à partir de GPS mesures avant le séisme de 2010. a- par rapport de plaque d'Amérique du Nord et b- par rapport plaque Caraïbe

L'identification des failles actives est généralement fondée sur la sismicité instrumentale et historique, l'interprétation morphostructurale des images satellitaires, des photographies aériennes et des modèles numériques de terrain de type SRTM et LIDAR disponibles sur la région d'étude. Cette approche permet de sélectionner les accidents tectoniques majeurs les plus susceptibles de rejouer dans le futur et d'identifier dans les cas favorables leur extension, leur segmentation, leur géométrie et leur cinématique.

De nombreuses reconnaissances de terrain fines et ciblées nous ont permis de préciser la géométrie et de caractériser le comportement sismogénique des failles actives identifiées par l'analyse des déformations des sédiments quaternaires et/ou des perturbations de la morphologie à l'échelle du département de la Grande Anse.

A.16.4.2.1. FAILLES ACTIVES D'ÉCHELLE RÉGIONALE : SYSTÈME DE FAILLES ACTIVES DE LA PRESQU'ÎLE DU SUD (ENRIQUILLO-PLANTAIN-GARDEN)

Ce système de failles, bien connu dans la littérature, longe le département de la Grande Anse au Sud. Pour une bonne caractérisation des capacités sismogéniques de cette faille, il est impératif de cartographier et de caractériser (géométrie, segmentation, mécanisme de déformation, longueur, ...) ce système de failles sur toute la longueur qui jouxte le département de la Grande Anse. Ainsi, l'exploitation des études existantes et l'analyse des photographies aériennes permettent de distinguer 3 segments différents au niveau de ce système de failles immédiatement au sud du

département de la Grande Anse (figure suivante). Cette segmentation a été effectuée principalement sur la base de la géométrie et de la cinématique de ces derniers. En effet, le relevé précis du tracé de la faille permet de dégager géométriquement, trois segments de premier ordre :

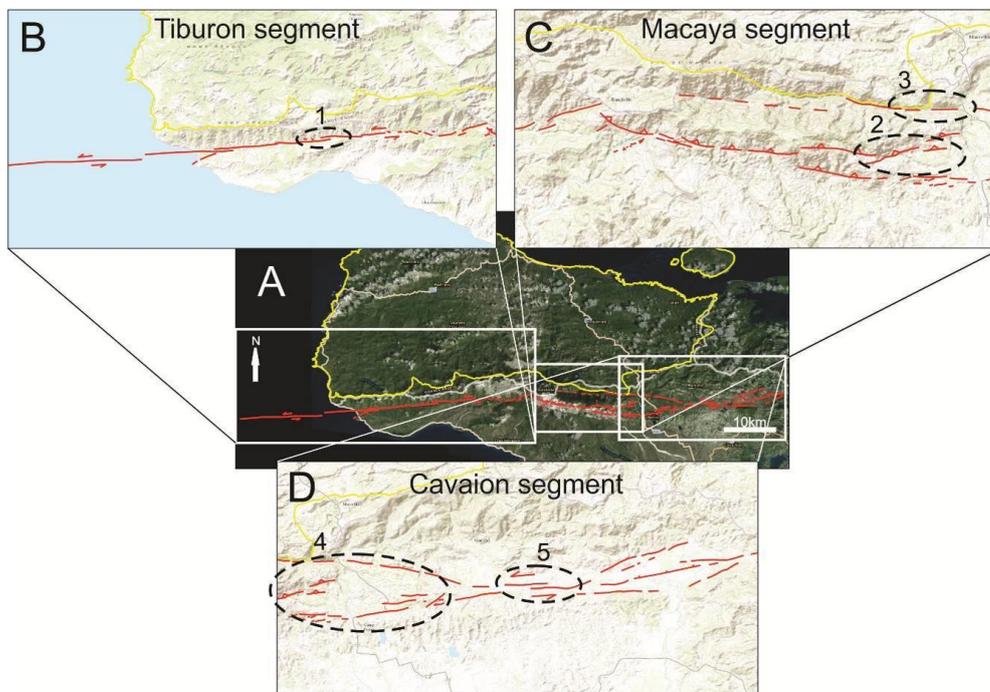


Figure 72 : Segmentation de la faille de la Presqu'île du Sud d'Haïti

1. Segment de Tiburon

Il s'agit de l'extrémité ouest du système de failles de la Presqu'île du Sud. Ce segment est bien marqué morphologiquement jusqu'au niveau de la côte atlantique. Il est donc primordial de savoir si ce segment se prolonge en mer ou pas et, si oui, jusqu'à quelle distance. Une analyse fine des données bathymétriques obtenues et améliorées lors de la campagne Géophysique 2012 (Campagne océanographique HAITI-SIS N/O L'Atlantique, Saint Domingue - Port au Prince Fort de France) a été effectuée (figure suivante). Ainsi nous avons pu mettre en évidence le prolongement de ce segment de faille en mer sur environ 20 km vers l'Ouest. Ainsi, la longueur totale de ce segment est de 58 km au lieu de 38 km (si on s'est limité à la seule partie identifiée au niveau de la terre), ce que nous donne une réserve de confiance sur l'estimation d'aléa.

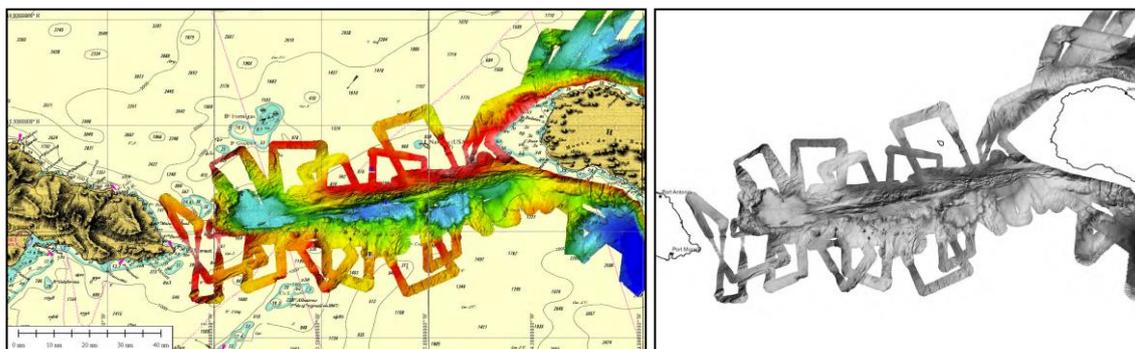


Figure 73 : Carte Bathymétrique de la région de la faille de la Presqu'île du Sud d'Haïti

Ce segment se distingue par un tracé rectiligne propre aux failles décrochantes. Il est segmenté en deuxième ordre, avec une géométrie en échelon gauche avec un recouvrement considérable (Figure 72-B-1 et figure ci-dessous), indiquant une cinématique décrochante à composante inverse au niveau de ce segment.

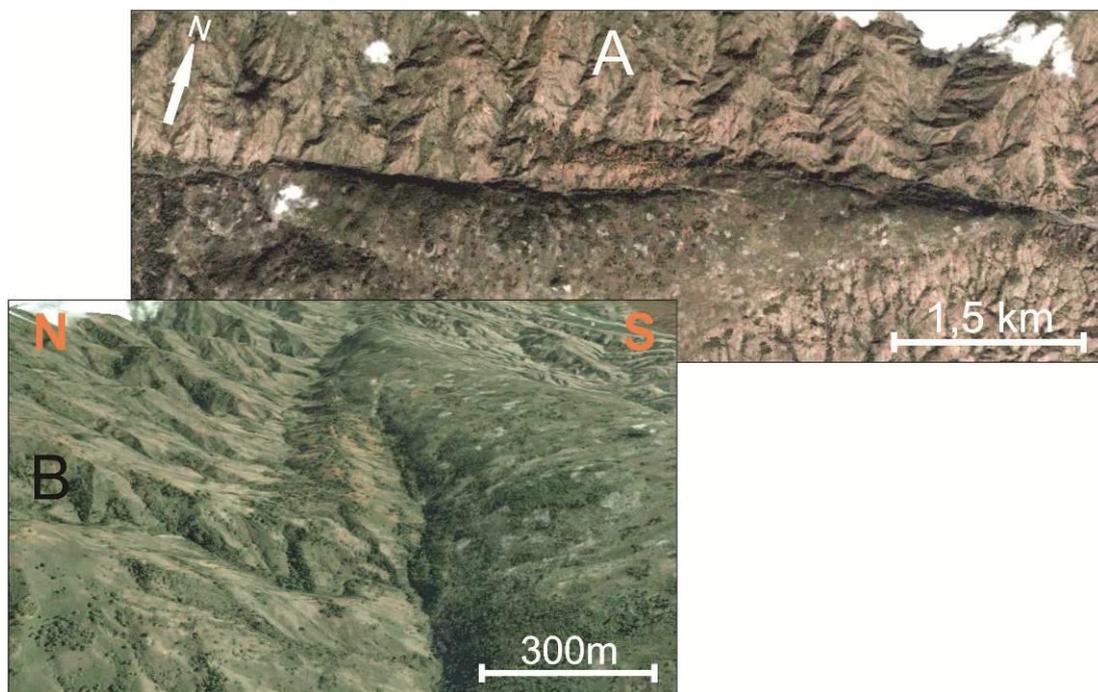


Figure 74 : Image satellite DigiralGlob, montrant un recouvrement (d'environ 2km) gauche du segment de second ordre le long du segment Tiburon

2. Segment de Cavaion

À la différence du segment Tiburon, le segment de Cavaion montre une géométrie plus complexe. Il se situe entre deux bassins « pull-apart », ceux de Camp Perrin (4) et de Clonard (5). Ce segment montre une cinématique décrochante avec une composante normale attestée par ailleurs par l'étude de Saint Fleur (2014) (figure ci-dessous).

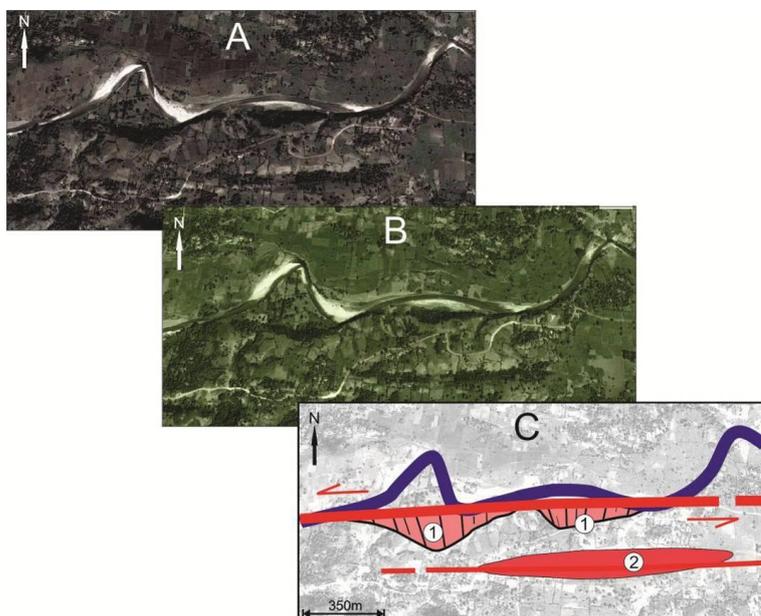


Figure 75 : Carte facettes triangulaires et « Sag pond » témoignant de la composante normale du segment de Cavaion

3. Segment de Macaya

Le segment de Macaya (Figure 76-A) a été identifié comme une unité à part de par sa géométrie concave et l'importance de la composante inverse. En effet, entre le segment Macaya et celui situé entre 1,5 et 3 km plus au Nord (Figure 72-C3 et Figure 76-B), on y distingue la ride compressive de Macaya.

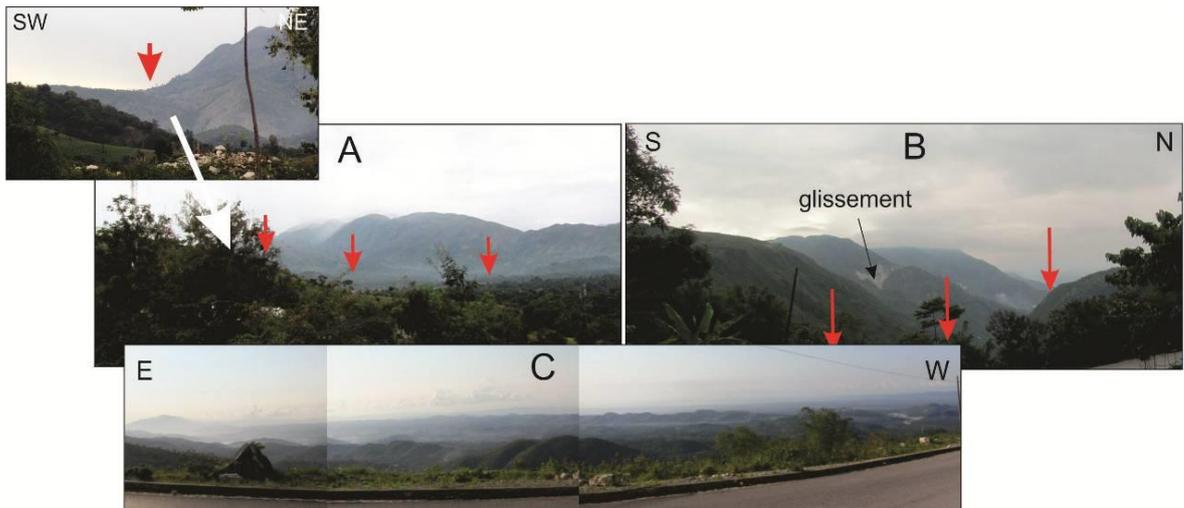
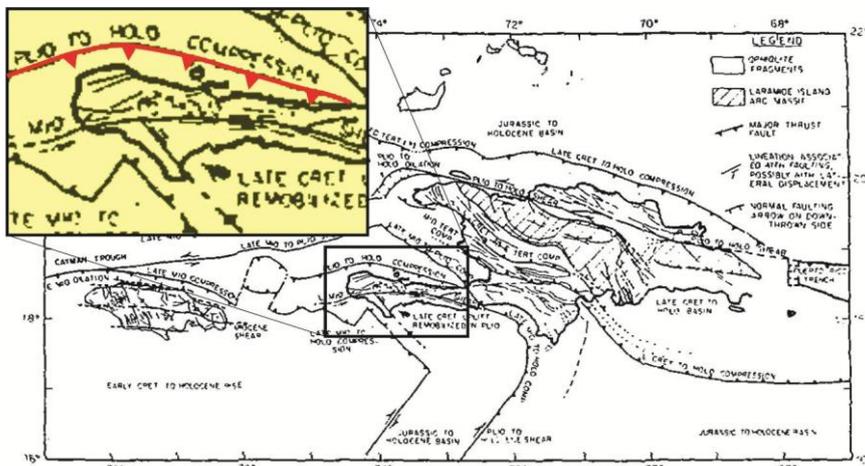


Figure 76 : Segment de Macaya

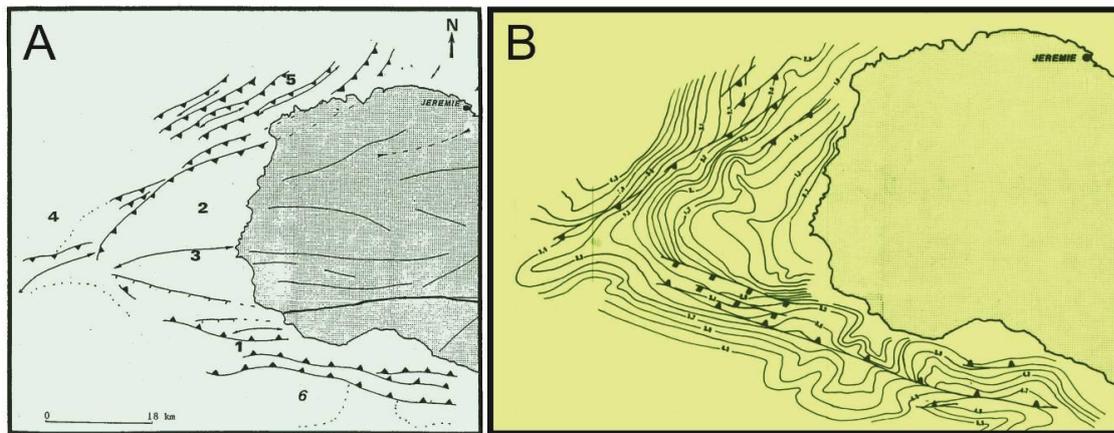
A.16.4.2.2. FAILLES ACTIVES D'ÉCHELLE RÉGIONALE : SYSTÈME DE FAILLES ACTIVES SOUS-MARINES NORD GRANDE ANSE

L'exploitation des études existantes sur la zone d'étude dont notamment Goreau, 1983 et Momplaisir, 1986, signale l'existence de failles sous-marines au large de la Presqu'île du Sud (voir les 2 figures suivantes) grâce à l'exploitation des données de Géophysiques marines. Plus récemment, Mercier et al. 2011, ont pu prouver l'activité de la faille Trois Bais qui se trouve plus à l'Est.



(P.Goreau, 1983)

Figure 77 : Failles de la marge littorale de l'Hispaniola d'après les profils Géophysiques

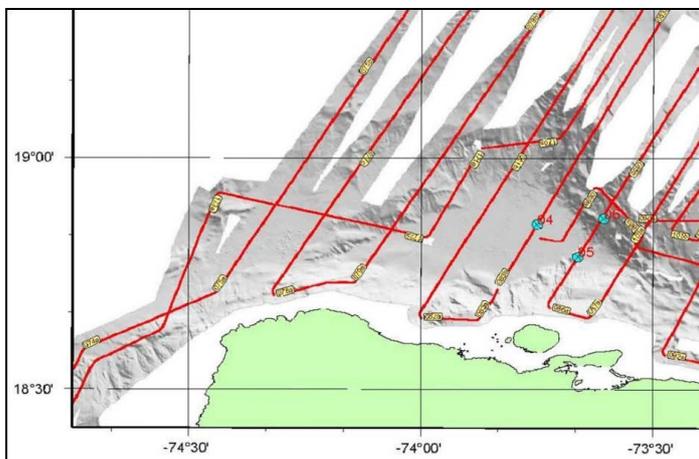


(Momplaisir, 1986)

— accident
 ——— accident à rejet apparent normal
 ——— accident à rejet apparent inverse
 ——— axe anticlinal
 ——— axe synclinal

Figure 78 : Failles de la marge littorale de l'Hispaniola d'après les profils Géophysiques

Une analyse morpho-tectonique fine des données bathymétriques (Campagne océanographique HAITI-SIS N/O L'Atalante, Saint Domingue - Port au Prince Fort de France, 2012), permet d'identifier clairement des failles actives sous-marines au Nord du Département de la Grande Anse (fig. 17 et 18).



(d'après Campagne océanographique HAITI-SIS N/O L'Atalante, Saint Domingue - Port au Prince Fort de France, 2012)

Figure 79 : Reconstitution bathymétrique en 3D, de la zone nord du Département de la Grande'Anse

Deux structures quasi-parallèles ont été mises en évidence :

1. Une faille majeure à cinématique inverse au nord, baptisée « Faille Nord de la Grande Anse ».
2. Une Faille secondaire à cinématique inverse décrochant inverse, plus au sud, baptisée « faille de Dame Marie-Jérémie ».

Les évidences d'activités de ces failles sont attestées par l'expression morphologique de ces structures en mer ainsi que des observations directes sur le terrain. L'activité des failles identifiées se manifeste par la morphologie, mais également par l'observation de terrain.

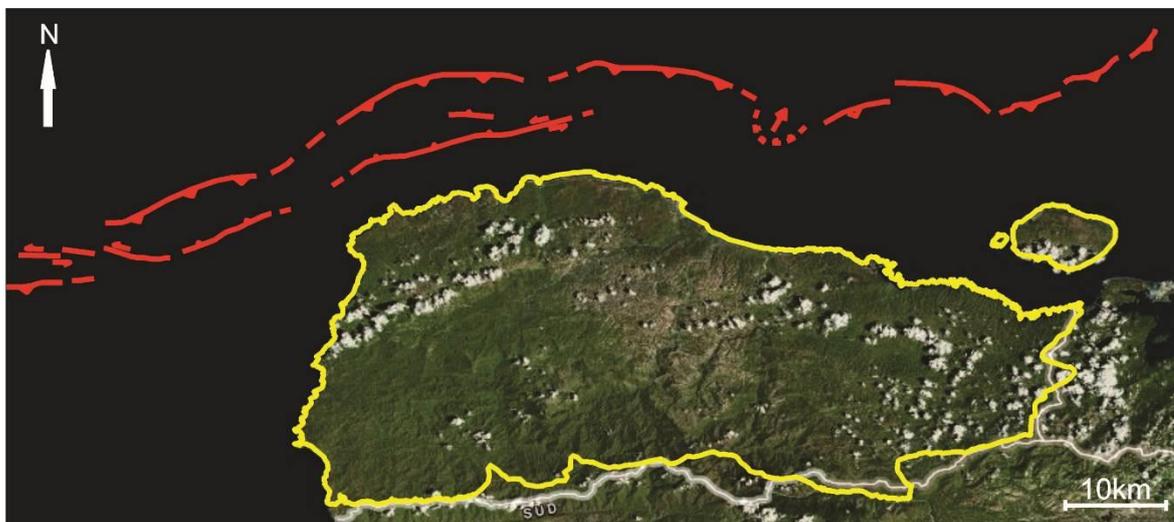


Figure 80 : Identification et cartographie des failles actives au large du littoral Nord de la Grande Anse

En effet, l'analyse des photographies aériennes et les observations de terrains montrent une série de terrasses marines soulevées tout au long du littoral Nord de la Grande Anse, depuis Jérémie à l'Est (figure ci-dessous B), jusqu'à Abricots à l'Ouest (figure ci-dessous C). Ces terrasses calcaires récifales d'âges Plio-Quaternaire (Carte Structurale de l'Ouest de la Presqu'île du Sud au 1:50 000, Amilcar, 1997) à Holocène témoignent d'un soulèvement récent de ce rivage cohérent avec la cinématique de failles identifiées au large (figure ci-dessus) et en particulier la faille Nord Grand Anse –Nippe (Faille Est-Ouest à pendage vers le Sud et à cinématique principalement inverse). La géométrie ainsi que la cinématique de cette structure suppose donc un soulèvement du compartiment sud/au compartiment nord qui explique la présence de ces terrasses soulevées qui témoignent de l'activité récurrente durant le quaternaire de cette faille. La zone de faille est constituée par un ensemble de segments d'orientations variables caractéristiques des zones de failles à forte composante inverse.

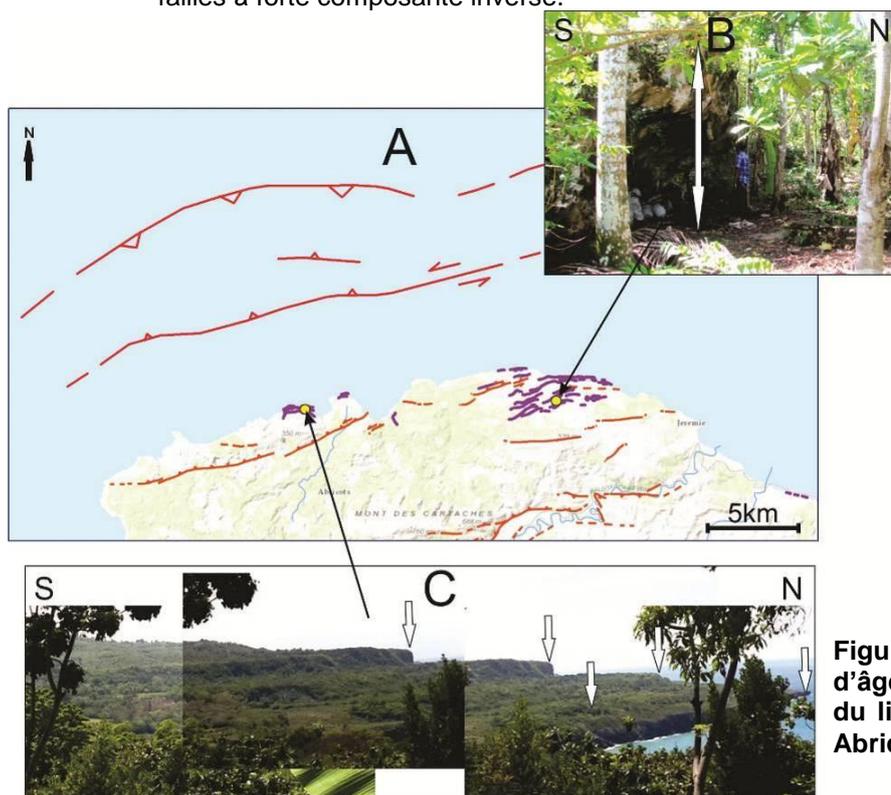


Figure 81 : Terrasses calcaires récifales d'âges Plio-Quaternaire soulevées au niveau du littoral Nord de la Grande Anse entre les Abricots et Jérémie

Plus au sud, de la faille Nord de la Grande Anse, nous avons pu mettre en évidence une structure secondaire « faille de Dame Marie-Jérémie », d'orientation générale N17 et de cinématique inverse décrochant- senestre, identique à celle identifiée plus loin en terre, au NW, au niveau de la commune d'Abricot.

A.16.4.2.3. FAILLES ACTIVES D'ÉCHELLE LOCALE

De nombreuses failles géologiques ont été identifiées et cartographiées sur la zone d'études (voir les 2 figures suivantes), dont certaines ont été présumées actives (Goreau, 1983 ; Momplaisir, 1986 et Amilcar, 1997). La répartition spatiale de failles géologiques indique une déformation diffuse. Amilcar (1997) avait affiné la carte géologique existante au 1/50 000^e (**fig. 23**) au lieu du 1/250 000^e qui couvre la totalité du territoire haïtien.

Dans le cadre de la présente étude, l'identification et la cartographie des failles actives a été élaborée au 1/50 000^e sur l'ensemble du département de la Grand'Anse (**Error! Reference source not found.**) avec des précisions par endroits au 1/10 000^e voire à l'échelle d'affleurement.

La cartographie des failles actives a été réalisée sur la base des éléments suivants :

- Synthèse critique des études existantes (cartes, rapports, publications, thèses).
- Télédétection : analyse et interprétation des images aériennes (jusqu'à 1m de résolution) et satellitaires.
- Analyse morphologique et morpho-tectonique de cartes topographiques et MNT.
- Analyses et observations de terrain.

L'activité de failles relevées est argumentée et prouvée par :

- la concordance de la géométrie, la structure et la cinématique de ces failles avec le champ de contrainte actuel : approche tectonique active et géodynamique,
- La déformation/rupture de formations quaternaires à récentes par ces failles : approche stratigraphique et paléo-sismologique ;
- Morphologie récente de ces structures : approche morpho-tectonique.

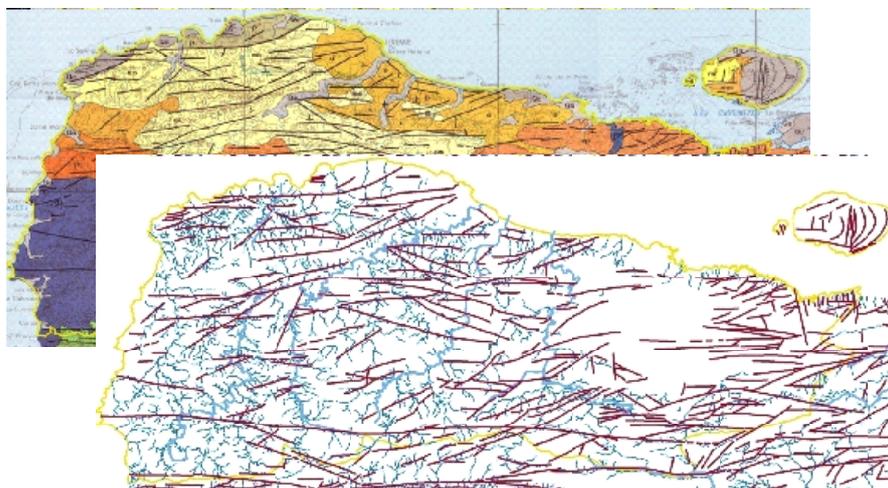


Figure 82 : Failles géologique d'après la Carte Géologique 1:250000

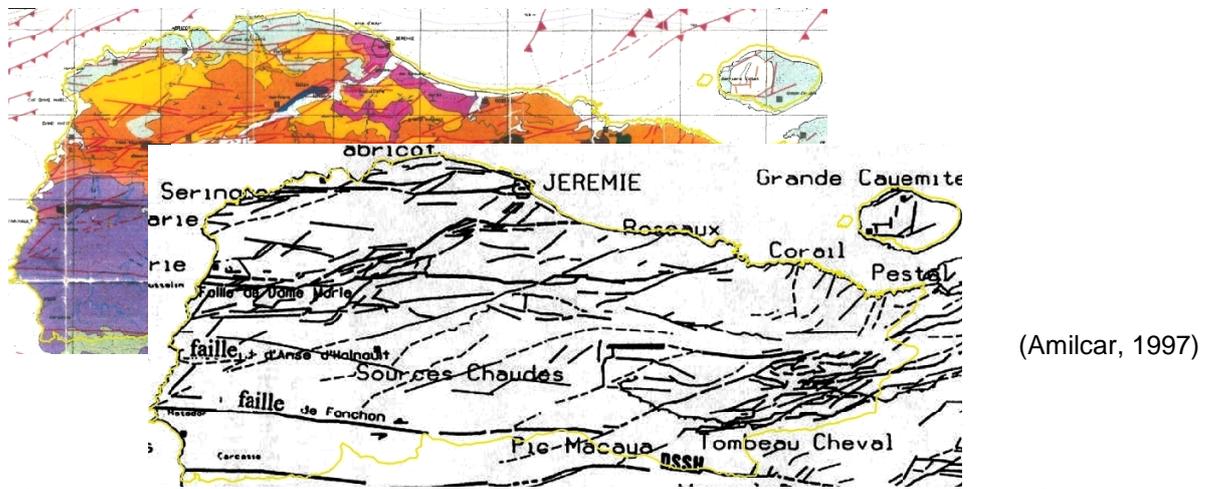


Figure 83 : Failles et fracturation géologique d'après la Carte Structurale de l'Ouest de la Presqu'île du Sud de 1:50 000

1. Faille active des Abricots

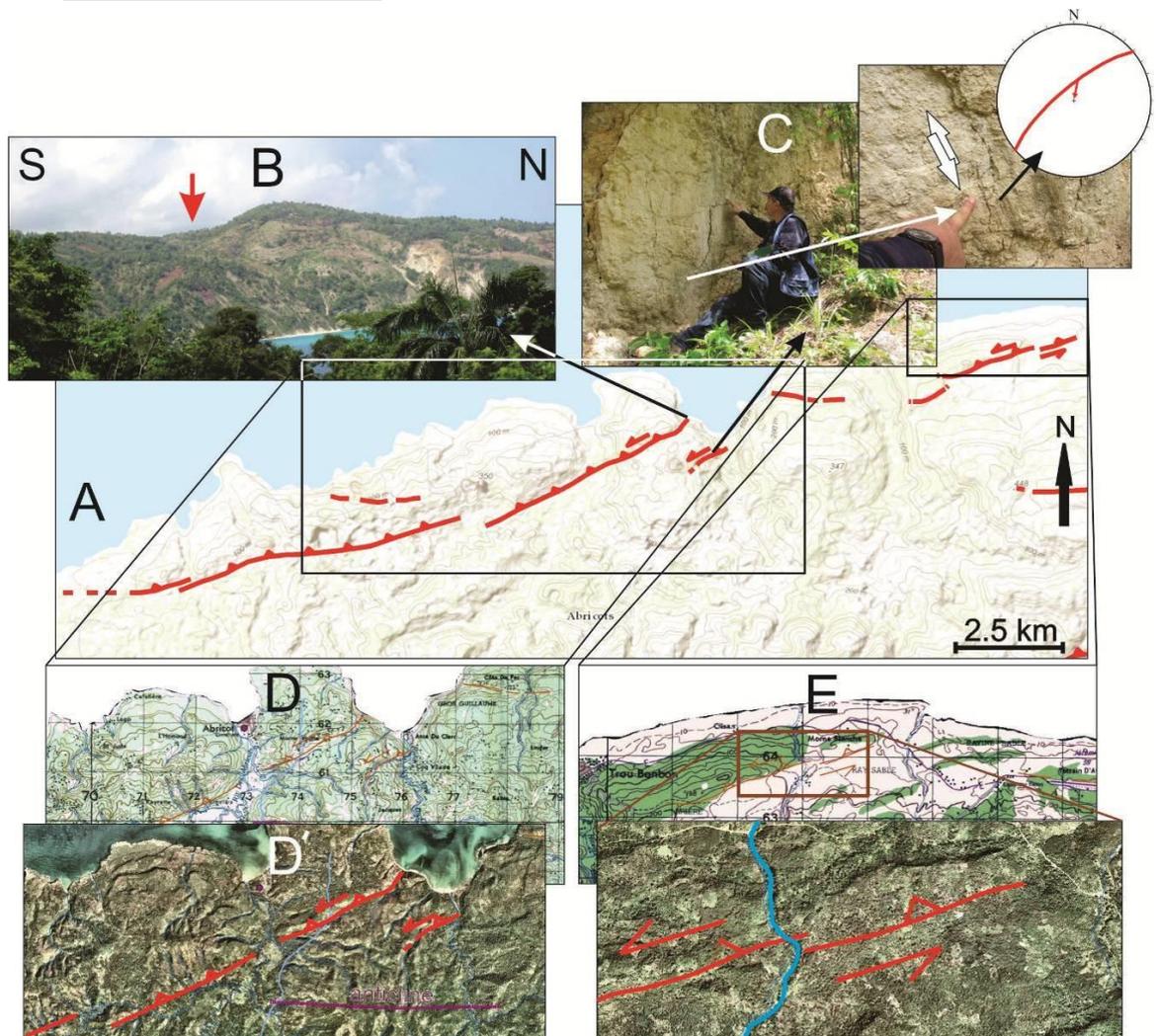


Figure 84 : Carte de la faille active des Abricots au 1:10 000

Elle se situe au NW du département au niveau de la commune des Abricots. Cette faille s'étend sur environ 24 km selon une direction N74. À l'instar de toutes les failles affectant la Grande Anse, cette structure est segmentée. Le segment le plus à l'Est de cette faille est bien marqué morphologiquement en photographie aérienne, MNT et sur le terrain (figure ci-dessus-B, D et D'). Le compartiment Nord est soulevé par rapport au compartiment Sud. Nous avons pu mettre en évidence la présence d'un anticlinal qui est nettement associé à cette faille. Un autre anticlinal a été identifié plus au Sud par Mann et al. (1995) (D'). Toutes ces observations indiquent que la faille a une cinématique compressive. Ceci a été confirmé par ailleurs, au niveau d'un affleurement situé à proximité du Hameau de Anse du Clerc (figure ci-dessus-C). On y distingue un miroir de faille d'orientation N050° à N053° avec un pendage de 75° vers le NW qui affecte des brèches calcaires d'âge Plio-Quaternaire. Les stries mécaniques mesurées sur ce plan de faille montrent un pitch de 72° indiquant un mouvement inverse avec une composante décrochante senestre (figure ci-dessus-C). D'un point de vue morphologique l'analyse des photographies aériennes montre un décalage senestre d'un cours d'eau avec un déplacement cumulé de 100 ± 10 m E (figure ci-dessus-E), sur le passage de cette structure.

2. Faille de Dame Marie

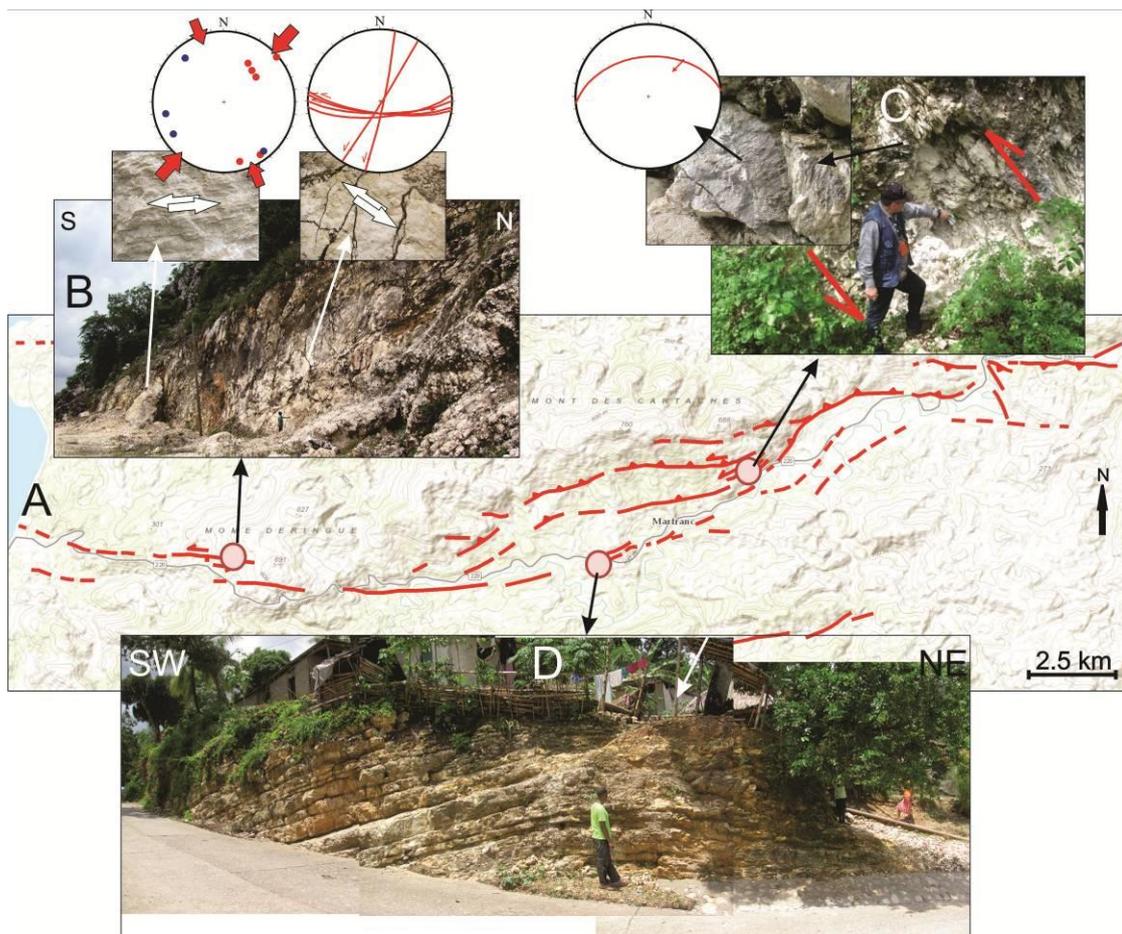


Figure 85 : Carte de la faille active de Dame Marie au 1:10 000

Cette structure d'environ 27 km de long est également bien marquée morphologiquement et bien segmentée (figure ci-dessus-A). Son orientation et sa cinématique est variable, ce qui nous a permis de distinguer trois segments : Deringue, Moron, et Cartaches.

- Le segment de Deringue est d'environ 15 km de long et d'orientation générale E-W (N 96°). Il se manifeste par une cinématique décrochante senestre, attestée au niveau d'un affleurement à proximité de Désormeaux (figure ci-dessus-B) qui a été décrit antérieurement par Amilcar (1997). D'après l'analyse des mesures microtectoniques effectuées dans le cadre de la présente étude, dans la partie Ouest du département de la Grande Anse, nous observons deux axes de compression, un principal de direction NE en accord avec le champ de contrainte régional et un secondaire et local, de direction N-S à NNW-SSE (figure ci-dessus-B). Ce dernier est attesté par l'existence de l'anticlinal de Monte de Cartaches, d'orientation E à NE, correspondant à un héritage tectonique. C'est également en accord avec la cinématique de la faille des Abricots ainsi que celles en mer plus au Nord. La direction de compression principale NE est en accord avec un pli observé au SW de Moron (figure ci-dessus-D) d'orientation générale NW à NNW. L'axe local résultant est par conséquent N-S à NNE.
- Le segment de Moron : d'orientation générale N 64° et de 9,5 km de long, il se caractérise par une segmentation de petite longueur. La faille affecte des formations marines d'âge Miocène (Amilcar, 1997) et affecte vraisemblablement également des terrasses alluviales Quaternaires. Les pendages de couche de cette terrasse composée de galets calcaire diminuent rapidement et passent de 17°N à 20°N près du village Gelée à proximité de la faille inverse à pendage sud de 4° à 5°NE au niveau de l'extrémité NE de la faille de Dame Marie (figure ci-dessus -A). L'activité de cette faille est attestée par une accentuation des méandres de la rivière au Sud. Le segment de Moron peut avoir une composante normale (une faille normale a été observée dans la terrasse alluviale, dont l'origine tectonique n'a pas été prouvée).
- Le segment de Cartaches : d'orientation générale N 71° et de 17 km de long, il indique un mécanisme en faille inverse (de direction N 85°, Pendage 44° vers le Nord et des stries mécaniques de 50°E Inverse-Senestre) à forte composante décrochant senestre (figure ci-dessus-C). Un affleurement situé au NE de Moron (figure ci-dessus-C), montre une zone de cisaillement de 5 à 6 m de large. Les couches calcaires d'âge Miocène présentent un pendage vers l'escarpement (So N100° 25N). La compression est attestée par une schistosité N80° et N110 à N115°.

3. Faïlle d'Anse d'Hainault

Cette structure est d'orientation générale E-W (N84°) et de 20 km de long. Elle affecte principalement le complexe volcanique holistique d'âge Crétacé et, à l'Ouest, la formation de la Rivière Glace d'âge Maastrichtien-Danien (figure suivante-A). Malgré sa taille limitée la faille est très segmentée. L'escarpement morphologique et tectonique s'observe au nord du village d'Anse d'Hainault (figure suivante-D). Des stries ont été observées sur le plan de cette faille. Elles indiquent une cinématique décrochant senestre (figure suivante-B). Le long de la faille on a pu mettre en évidence, un bassin fermé, situé à quelques dizaines de mètres au-dessus du lit de la rivière (figure suivante-C'). Plus à l'Est la faille recoupe le versant à proximité du sommet, créant ainsi une facette triangulaire (indiqué par flèche au niveau de C').

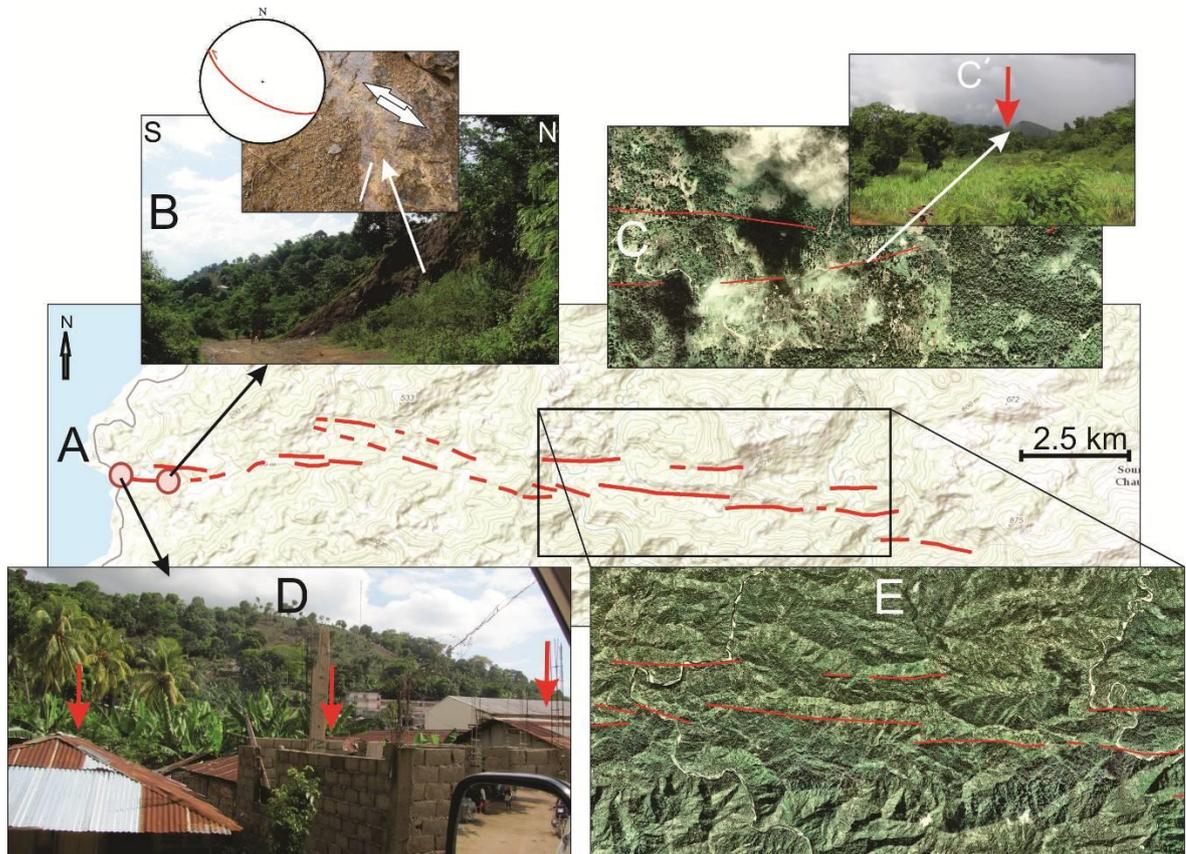


Figure 86 : Carte de la faille active d'Anse d'Hainault au 1:10 000

4. Faille de Jérémie

Cette structure d'orientation générale E-W ($N80^\circ$) et d'environ 10 km de long, affecte des formations d'âges Miocène et Oligocène (figure suivante-A). Cette faille est segmentée en nombreux segments dont l'orientation varie entre $N75^\circ$ et $N93^\circ$. La faille est bien marquée morphologiquement par des escarpements de quelques mètres à plus de 40 m par endroits (figure suivante-B et C). Nous n'avons pas pu observer de plans triés, mais en considérant la situation topographique et le pendage important (sub- vertical) de l'escarpement, nous suggérons que cette faille, de taille relativement petite, est normale et de peu de profondeur et est donc d'origine gravitaire.

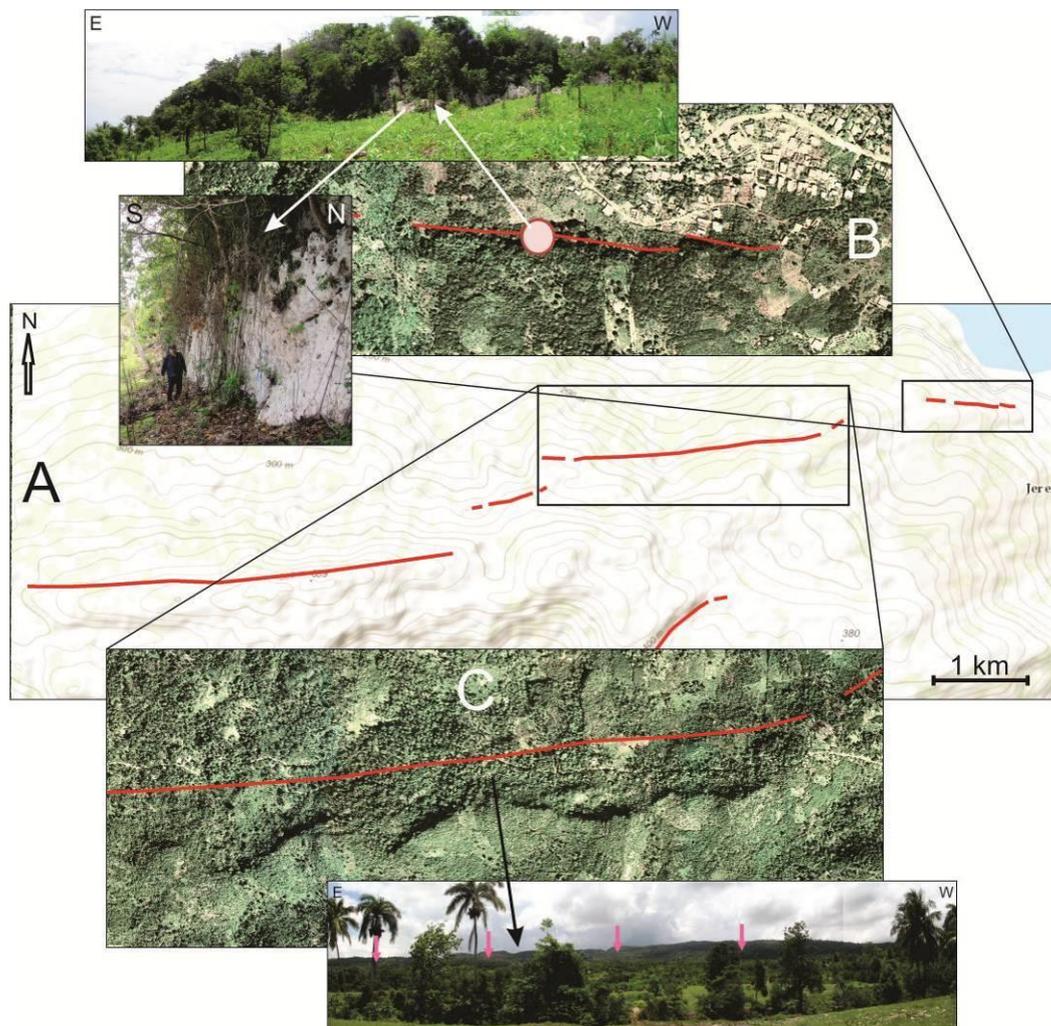


Figure 87 : Carte de la faille active de Jérémie au 1:10 000

5. Faïlle de Rimbeau

Cette structure d'orientation générale N86° et d'environ 7 km de long et de géométrie générale concave, est associée à un anticlinal, identifié par Mann et al. (1995) indiquant une cinématique inverse (figures A, B, C). La faille est bien exprimée morphologiquement par une pente très raide (figure D, E). Elle est soulignée, par ailleurs par un lac situé au pied d'escarpement, au fond d'un petit bassin fermé. Au NE de l'anticlinal, un autre escarpement s'observe dont l'origine n'est pas claire car il peut être associé au rivage marin.

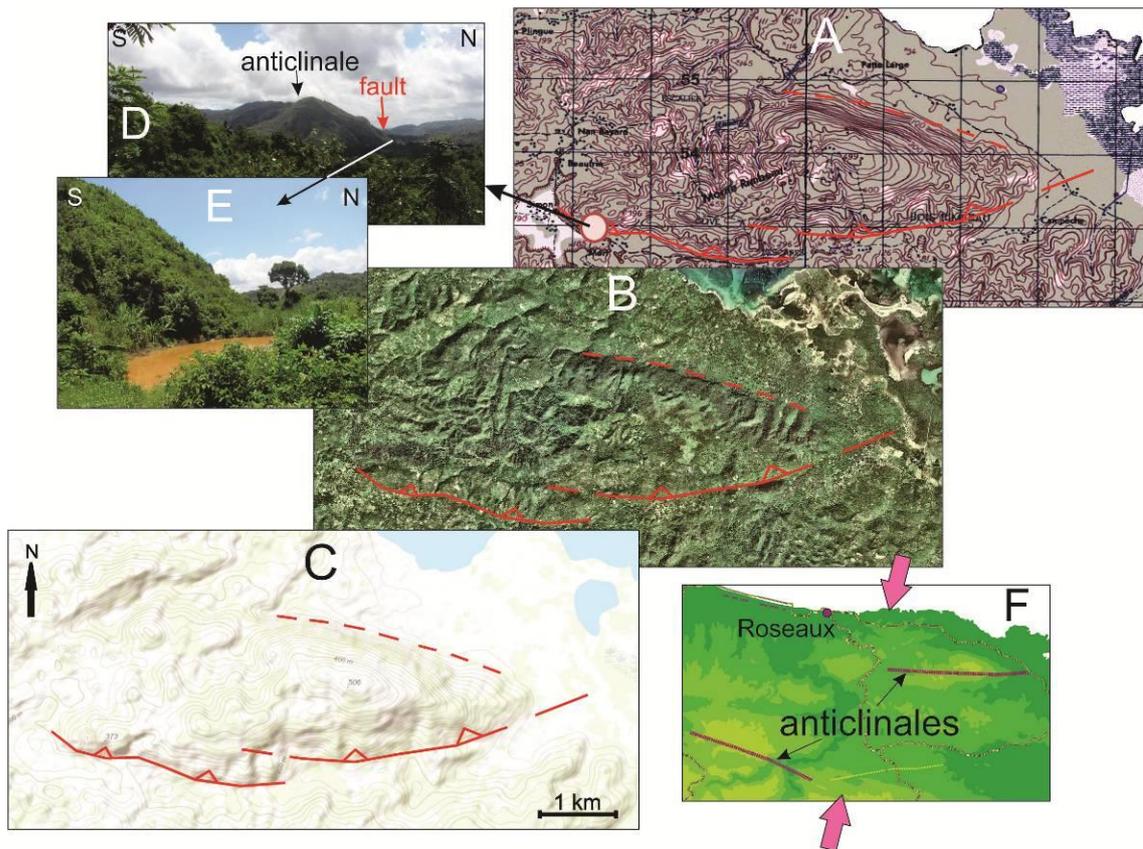


Figure 88 : Carte de la faille active de Rimbeau au 1:10 000

6. Faïlle de Beaumont

Dans la région de Beaumont, deux failles de cinématique inverse à composante senestre et d'orientation générale E-W ont été mises en évidence, l'une située au nord (Beaumont Nord) et l'autre au sud (Beaumont Sud) (figure ci-dessous). Les deux failles ont une géométrie concave, avec une courbure Nord pour celle de Beaumont Nord et une courbure Sud pour celle de Beaumont Sud.

La faille de Beaumont Nord de 12.6 km de long, se caractérise morphologiquement par une rupture brute et raide de la topographie. Elle est surlignée également par une zone de déformation intense. La stratification N165° 40°E des formations calcaires (détail C) s'estompe complètement par la schistosité, sous l'effet de la compression au passage de cette faille. Deux familles de schistosités ont pu être identifiées : S1N60° 90 et S2 N85° 74S (détail D). Nombreuses failles secondaires sont observables à proximité de la faille principale, dont l'une de fort pendage parallèle à la rupture de

pende : direction $N102^\circ$ et pendage $77S$ (détail E). L'ensemble de ces structures indique une compression horizontale N-S à faible composante décrochant.

La faille de Beaumont Sud d'orientation ENE et de même longueur (12,2 km) que la précédente est beaucoup plus segmentée. Dans sa partie Est, on observe des plans de failles bien striés ($N 55^\circ 51NW 30NE SI$; $N 65^\circ 87NW 70NE SI$) dont l'une de faible pendage et de cinématique senestre avec une composante inverse et l'autre à pendage plus raide à cinématique inverse avec une composante décrochant senestre (détails G, H). Dans sa partie centrale on distingue un petit bassin fermé à remplissage de terres blanchâtres, d'environ 1 km de long, 0,6km de large et dont la bordure Nord est limitée par la faille (détail F).

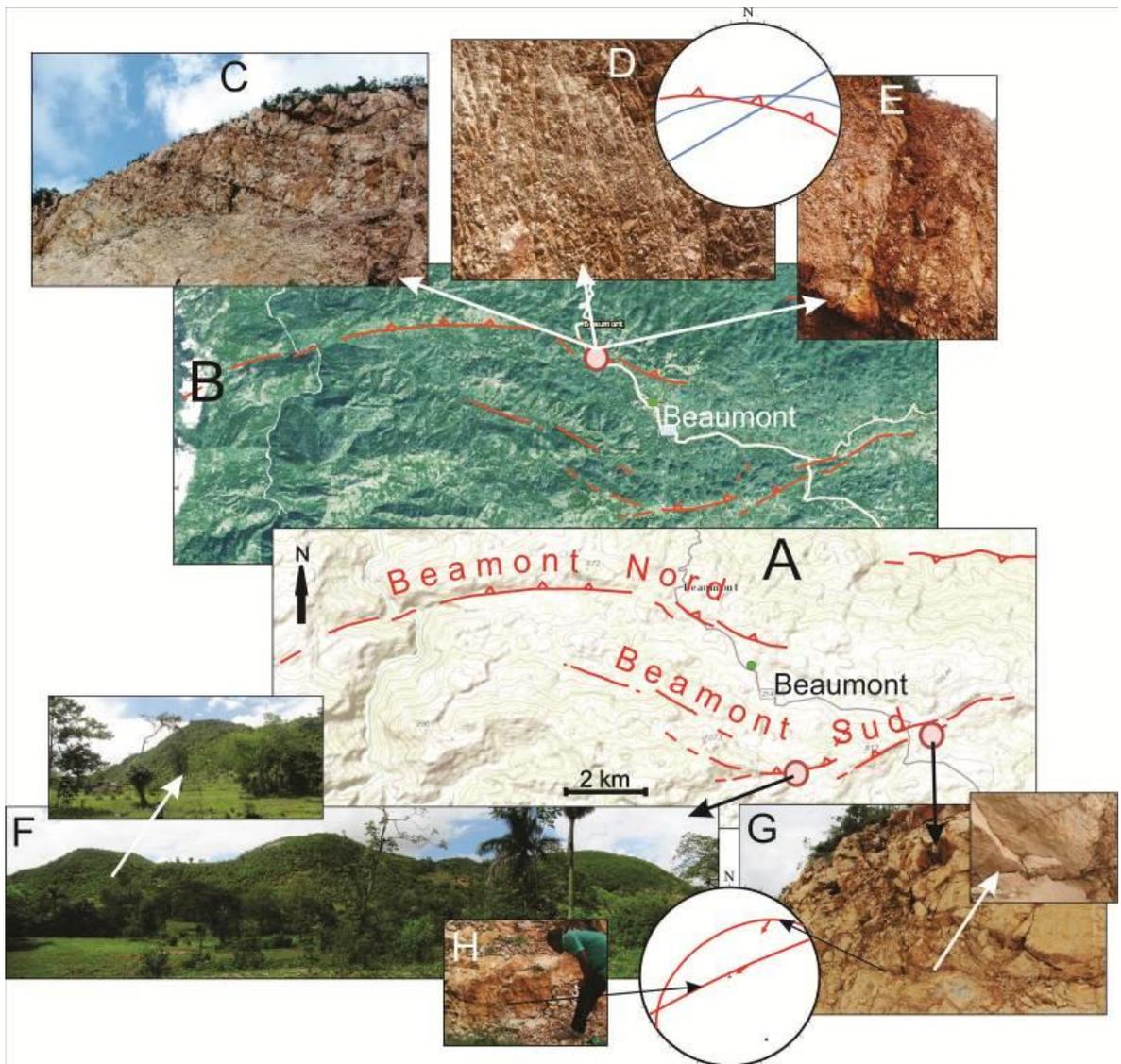
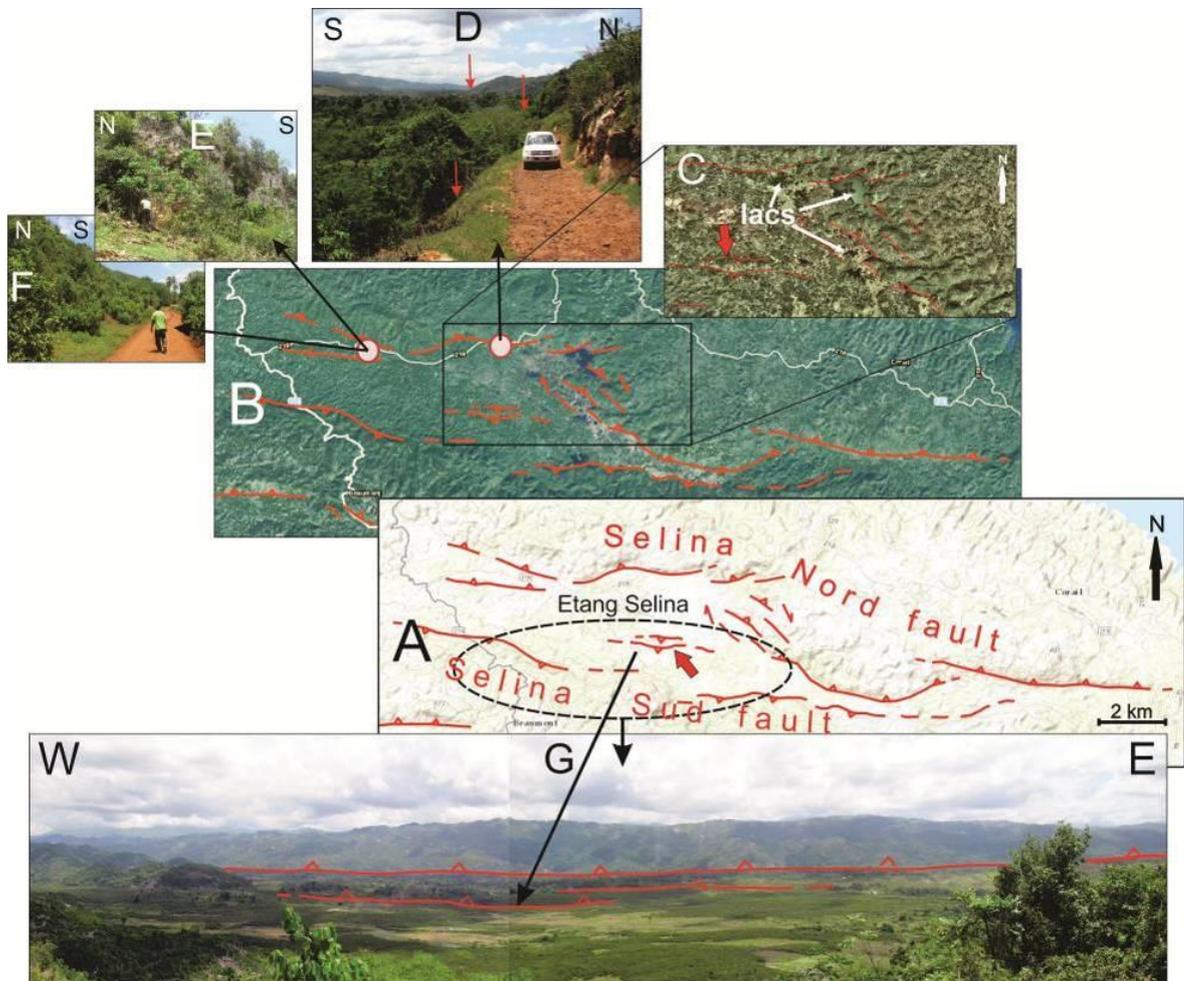


Figure 89 : Carte des failles actives de Beaumont Nord et Beaumont Sud au 1:10 000

7. Faille de Selina

Le système de failles actives de Selina (d'orientation générale E-W) borde le bassin d'environ 10 km long de l'Etang Selina. Dans sa partie la plus étendue, le bassin s'étend sur plus de 3 km de large. Ce bassin fermé est d'origine tectonique. En effet, ce bassin est bordé, au Nord, par les failles Selina Nord et, au Sud, par la faille de Selina Sud (figure ci-dessous). Le fond de ce bassin est souligné par la présence de plusieurs lacs qui peuvent se transformer, en période pluviale, en un grand lac de plusieurs mètres de profondeur (détail C).

La faille de Selina Nord est composée de deux segments : le segment de Selina Nord Ouest d'environ 10 km de long et celui de Selina Est d'environ 14 km de long. Plus au nord de la faille de Selina Sud, dans le bassin, un sub-segment qui semble morphologiquement le plus récent et affectant a été mis en évidence (flèche épaisse rouge en A et C).



8. Faille de Fonchon

Cette structure d'orientation générale E-W (N93°) est la plus longue et la plus marquée morphologiquement dans la Grand Anse. L'expression morphologique (détails C, D) de cette faille est équivalente à celle de la faille active de la Presqu'île du Sud (faille d'Enriquillo-Plantain Garden). Sa signature morphologique est caractéristique d'un système décrochant senestre. Sur une partie de son extension les segments de faille forment une échelonne gauche indiquant une composante inverse pour cette partie (détail D). Cette faille est composée de deux segments (Est et Ouest), l'un de 20 km de long et l'autre de 13km de long.

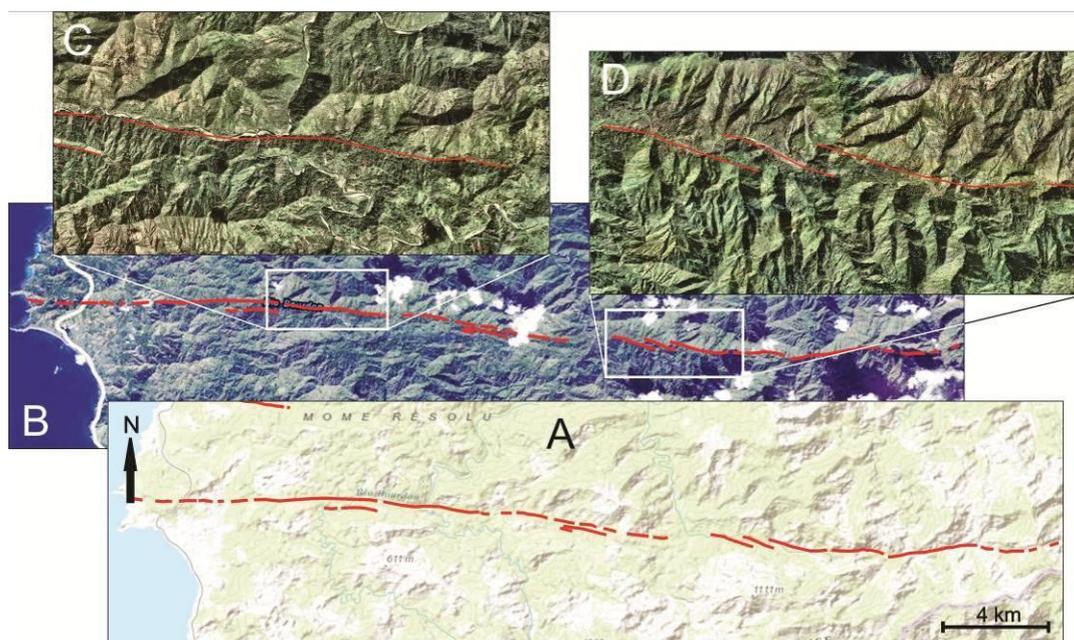


Figure 91 : Faille active de Fonchon au 1:10 000

A.16.4.3. Carte des principales failles actives de Grande Anse

L'ensemble des failles actives identifiées à l'occasion de la présente étude et décrites en détail précédemment, font l'objet des plans au 1/50 000^e de l'annexe xxx.

La carte de synthèse ci-après nous permet de dégager les éléments suivants :

- la déformation actuelle dans le département de Grande Anse est diffuse,
- elle s'exprime par des failles d'échelle locale très segmentées,
- les failles actives sont relativement très jeunes et en cours d'évolution,
- les failles actives ont un faible taux de déformation,
- le mécanisme de déformation d'une grande partie de ces failles actives est inverse décrochant,
- les magnitudes les plus importantes sont associées aux failles actives d'échelle régionale encadrant le département de la Grande Anse au Nord et au Sud.



Figure 92 : Carte de synthèse des failles active affectant le département de la Grande Anse

A.16.4.4. Evaluation des sources sismiques

À partir de la cartographie des failles actives et de leur segmentation, les moments magnitudes maximales ont été calculés par des lois empiriques Wells and Coppersmith (1994) et Coppersmith (1991). Pour les segments de moins de 20 km de longueur, nous avons calculé la longueur de rupture par la loi empirique de Slemmons 1982, ensuite nous avons appliqué les lois de calcul de Mmax.

Les résultats font l'objet des figures suivantes et d'un tableau récapitulatif.



Figure 93 : Magnitude des segments de la faille d'Enriquillo-Plantain Garden



Figure 94 : Magnitude des segments du système de faille Nord Grand'Anse-Nippe

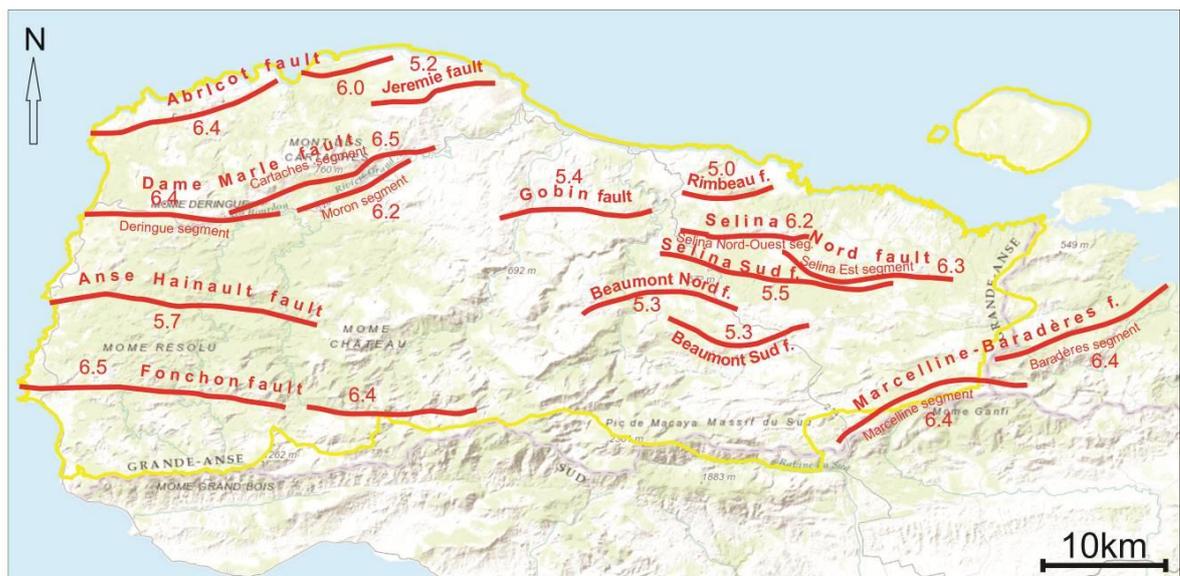


Tableau 9 : paramètres caractérisant les différentes sources sismiques pouvant affectés le département de la Grande Anse

Nom_F / long. total	Nom_Seg	Long. rupture calculé (Slemmons, 1982)	Long Segment (km)	Cinématique	Mw_max(Coppersmith-1991)	Sig.	Mw_max(Wells and Coppersmith-1994)	Sig.	Mw_max	Sig.
Failles actives du département de la Grande Anse										
Abricot / 24±4	Abricot Est	-	15±3	R+SS	6.41	0.09	6.43	0.1	6.43	0.1
	Abricot Ouest	-	7±1	R+SS	6.01	0.07	6.03	0.07	6.03	0.07
Jeremie / 10±0.5	-	1.6±0.06	-	N?	5.24	0.02	5.12	0.03	5.24	0.02
Dame Marie /	Deringue		15±2	SS	6.41	0.06	6.47	0.06	6.47	0.06

27±4	Moron		9.5±1	SS	6.17	0.05	6.25	0.05	6.25	0.05
	Cartaches		17±2	R+SS	6.47	0.06	6.5	0.06	6.5	0.06
Anse Hainault / 20±4	-	3.2±0.6	-	SS	5.6	0.09	5.72	0.08	5.72	0.08
Fonchon / 35±5	Fonchon Est	-	20.5±4	SS	6.57	0.01	6.62	0.01	6.57	0.01
	Fonchon Ouest	-	13±2	SS	6.33	0.08	6.4	0.07	6.4	0.07
Gobin / 13±2	-	2±0.1	-	-	5.42	0.03	5.49	0.03	5.49	0.03
Rimbeau / 7.2 ± 1	-	1.1±0.1	-	R	5.04	0.05	5.05	0.05	5.05	0.05
Beaumont Nord / 12,6 ±2	-	2.0±0.3	-	R	5.36	0.07	5.36	0.08	5.36	0.08
Beaumont Sud / 12 ±2	-	1.9±0.3	-	R	5.33	0.08	5.34	0.07	5.33	0.08

SelinaNord Ouest / 23 ± 4	Selina Nord	-	10±1	R	6.2	0.04	6.22	0.07	6.22	0.07
	Selina Est	-	14±2	R	6.37	0.04	6.39	0.07	6.39	0.07
Selina Sud / 19 ± 3		3.0±0.5		R	5.57	0.08	5.58	0.08	5.58	0.08
Marcelline- Baradères / 28±5	Marcelline		16± 3	-	6.44	0.11	6.47	0.09	6.47	0.09
	Baradères		14± 5	-	6.37	0.16	6.4	0.16	6.4	0.16
Faïlle active Enriquillo-Plantain Garden										
Enriquillo- Plantain Garden / 1100	Tiburón		58±5	SS	7.11	0.04	7.13	0.04	7.13	0.04
	Macaya		21±4	SS+R	6.58	0.09	6.64	0.08	6.64	0.08
	Cavillon		36±5	SS	6.86	0.07	6.9	0.06	6.9	0.06
Faïlles actives en Mer										
Nord Grande	Grande	70±10		R	7.21	0.08	7.25	0.07	7.25	0.07

Anse-Nippe	Anse									
	Nippe	37±6		R	6.88	0.08	6.91	0.08	6.91	0.08
Dame Maie- Jeremie	Est	12±3		R	6.29	0.12	6.31	0.12	6.31	0.12
	Ouest	28±5		R	6.73	0.09	6.76	0.09	6.76	0.09

A.16.5 DÉTERMINATION DE L'ALÉA SISMIQUE

A.16.5.1. Failles significatives retenues

Après concertation avec le Maître d'Ouvrage, il a été décidé que seule deux failles sont susceptibles d'avoir le plus grand impact et doivent être considérées dans le cadre du calcul de l'accélération. Il s'agit :

- de la faille de la Presqu'île du Sud
- de la faille Nord Grand'Anse-Nippe



Figure 96 : Localisation de la Faille de la Presqu'île du Sud (nommée Faille « Enriquillo-Plantain Garden » dans cette carte) et magnitudes maximales des segments du système de faille



Figure 95 : Localisation de la Faille Nord Grand'Anse-Nippe et magnitudes maximales des segments du système de faille

A.16.5.2. Période de retour de l'aléa sismique

Conformément au guide méthodologique de réduction des risques naturels en zone urbaine en Haïti, l'accélération maximale au sol (APS) doit être déterminée pour une période de retour de l'ordre de 2475 ans c'est à dire une probabilité de dépassement de l'ordre de 2% sur 50ans.

$$T_{\text{Annuelle}} = \frac{1}{1 - 0.98^{1/50}}$$

Nous avons également déterminé les accélérations pour une période de retour annuelle de 475 ans (probabilité de dépassement de 10% sur 50 ans).

A.16.5.3. Données préliminaires globales

Les éléments relatifs aux deux failles retenues sont rappelés dans le Tableau ci-après :

Nom_F / long. total	Nom_Seg	Long. rupture calculé (Slemmons, 1982)	Longueur du Segment (km)	Cinématique	Mw_max (Coppersmith-1991)	Sigma	Mw_max (Wells and Coppersmith-1994)	Sigma	Mw_max	Sigma
Faille de la Presqu'île du Sud (dite aussi Enriquillo-Plantain Garden)										
Enriquillo-Plantain Garden / 1100	Tiburon		58±5	SS	7.11	0.04	7.13	0.04	7.13	0.04
	Macaya		21±4	SS+R	6.58	0.09	6.64	0.08	6.64	0.08
	Cavailon		36±5	SS	6.86	0.07	6.9	0.06	6.9	0.06
Faille Nord Grande Anse-Nippe										
Nord Grande Anse-Nippe	Grande Anse	70±10		R	7.21	0.08	7.25	0.07	7.25	0.07
	Nippe	37±6		R	6.88	0.08	6.91	0.08	6.91	0.08

Tableau 10 : Paramètres caractérisant les différentes sources sismiques pouvant affecter le département de la Grande Anse

A.16.5.4. Paramètres sismologiques des failles

Les paramètres sismologiques nécessaires à la conduite des calculs de l'aléa sismiques sont indiqués dans le tableau ci-après.

Les relations de Wells et Coppersmith (1994) ont été prises en compte et appliquées par Frankel et al. (2010) pour respecter l'accord entre la vitesse de déplacement des failles, la longueur de rupture et la magnitude maximale.

Nom_de la Faille	Vitesse de déplacement (mm/an)	Magnitude maximale Mchar = Mmax	Magnitude minimale Mmin	Taux annuel des séismes de magnitude supérieurs à M6.5	Taux considéré annuel des séismes de magnitude supérieurs à M7.0	Facteur b de Gutenberg-Richter	Geometrie De la faille/pendage (degré)
Presqu'île du Sud (Enriquillo-Plantain Garden)	7	7.1	6.5	0.016	0.0053	0.75	90
Nord Grande Anse-Nippe	1	7.5	6.5	0.0034	0.0012	0.75	30 vers le Sud

Tableau 11 : Paramètres retenus pour l'évaluation de l'aléa sismique

Référence :

Frankel et al., 2010. « Documentation for initial seismic hazard maps for Haiti », USGS.

A.16.5.4.1. LOIS FRÉQUENCE-MAGNITUDE

Les lois Fréquence-Magnitude pour chacune des failles seront établies en accord avec les paramètres sismologiques du Tableau ci-dessus.

A.16.5.4.2. LOIS D'ATTÉNUATION

La loi de d'atténuation de Boore and Atkinson (2008) qui fait partie de la catégorie des lois dites de la nouvelle génération (NGA : Next Generation of Attenuation) a été appliquée.

Références :

Boore, D.M., and Atkinson, G.M., 2008, Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s: Earthquake Spectra, v. 24, p. 99 – 138.

A.16.5.5. Logiciel

Le calcul de l'aléa sismique est réalisé au moyen de la version 2015 du logiciel CRISIS (Capra, Mexique).

A.16.5.6. Résultats

Nous avons déterminé les accélérations en considérant trois situations distinctes de façon à comprendre le rôle de chacune des failles :

- Intégration des deux failles
- Faille Nord seule
- Faille Sud seule

Nous avons en premier lieu reporté les accélérations calculées selon un axe Sud-Nord passant par Jérémie.

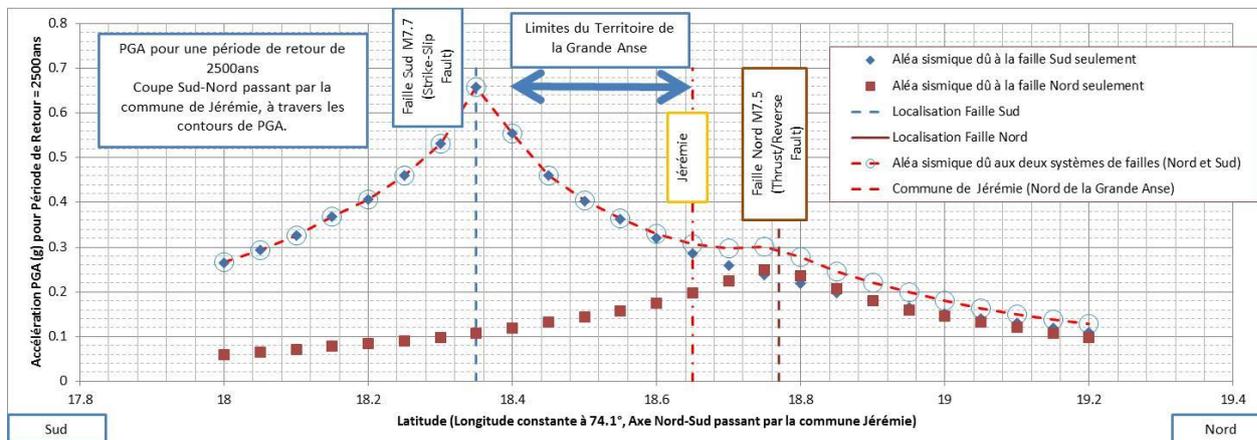


Figure 97 : PGA pour une période de retour de 2500 ans le long d'un axe Dus-Nord passant par Jérémie

On constate que le type de faille, ainsi que le taux d'activité des failles influence fortement la réponse.

La faille SUD (Strike-Slip, M7.7, Pente de Gutenberg-Richter élevé : $a = 0.016$) gouverne l'aléa sismique, par rapport à la faille NORD (Thrust/Reverse fault, M7.5, $a=0.0034$).

Ceci tend à corroborer les résultats obtenus par Frankel & Al [2011].

Nous avons ensuite tracé les courbes d'iso-accélération liées à la considération des deux failles.

Les résultats font l'objet des figures suivantes.

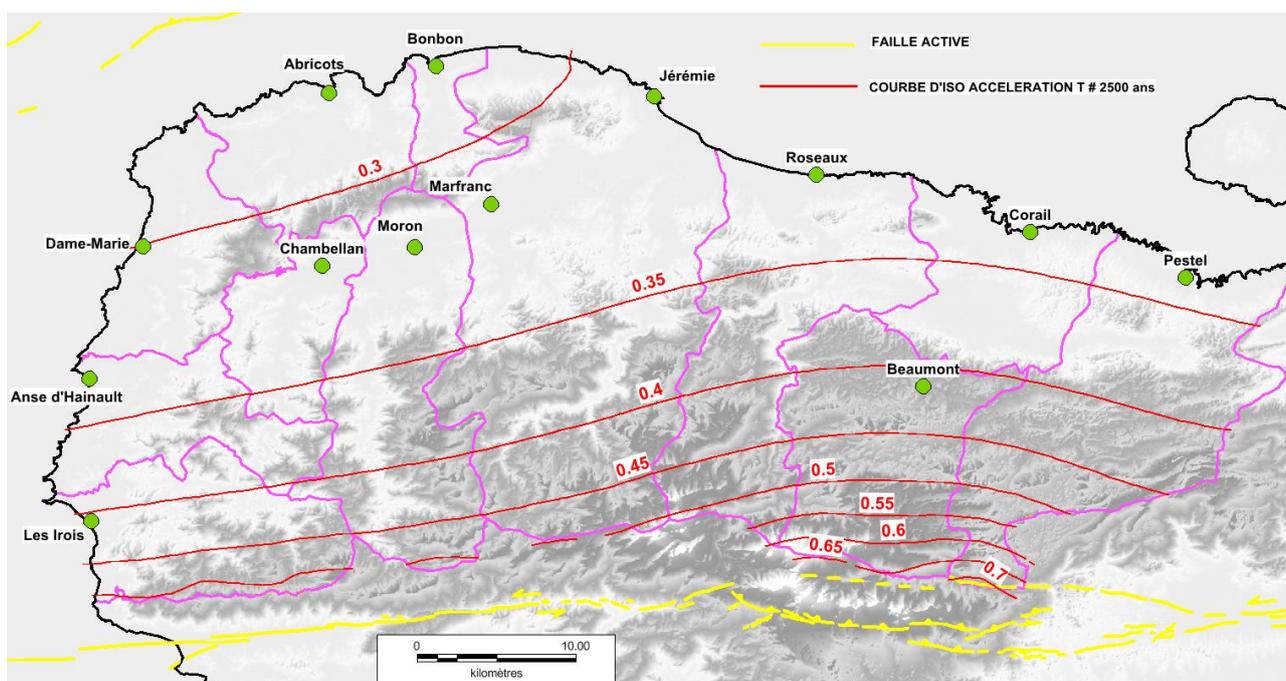


Figure 98 : Courbes d'iso-accélération sismique - T # 2500 ans

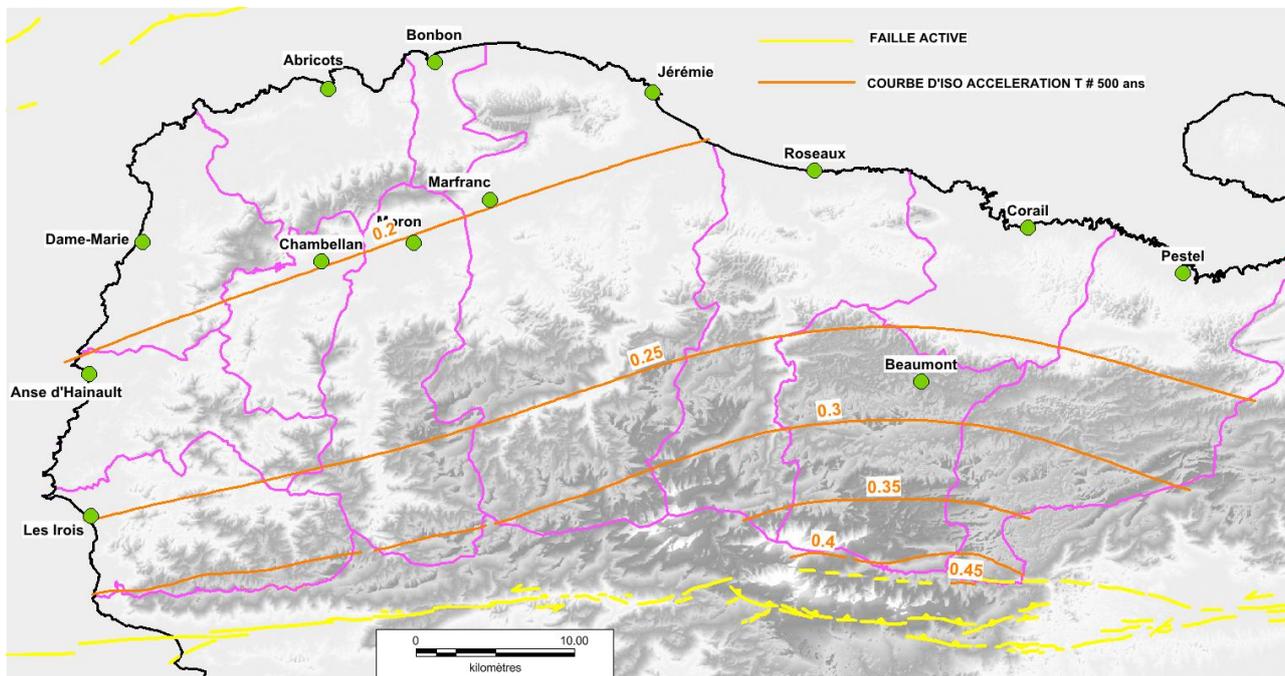
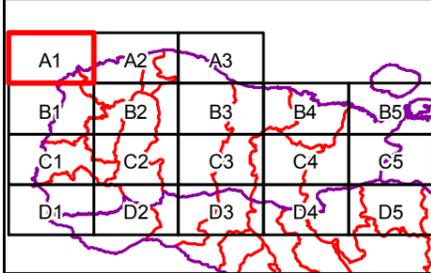
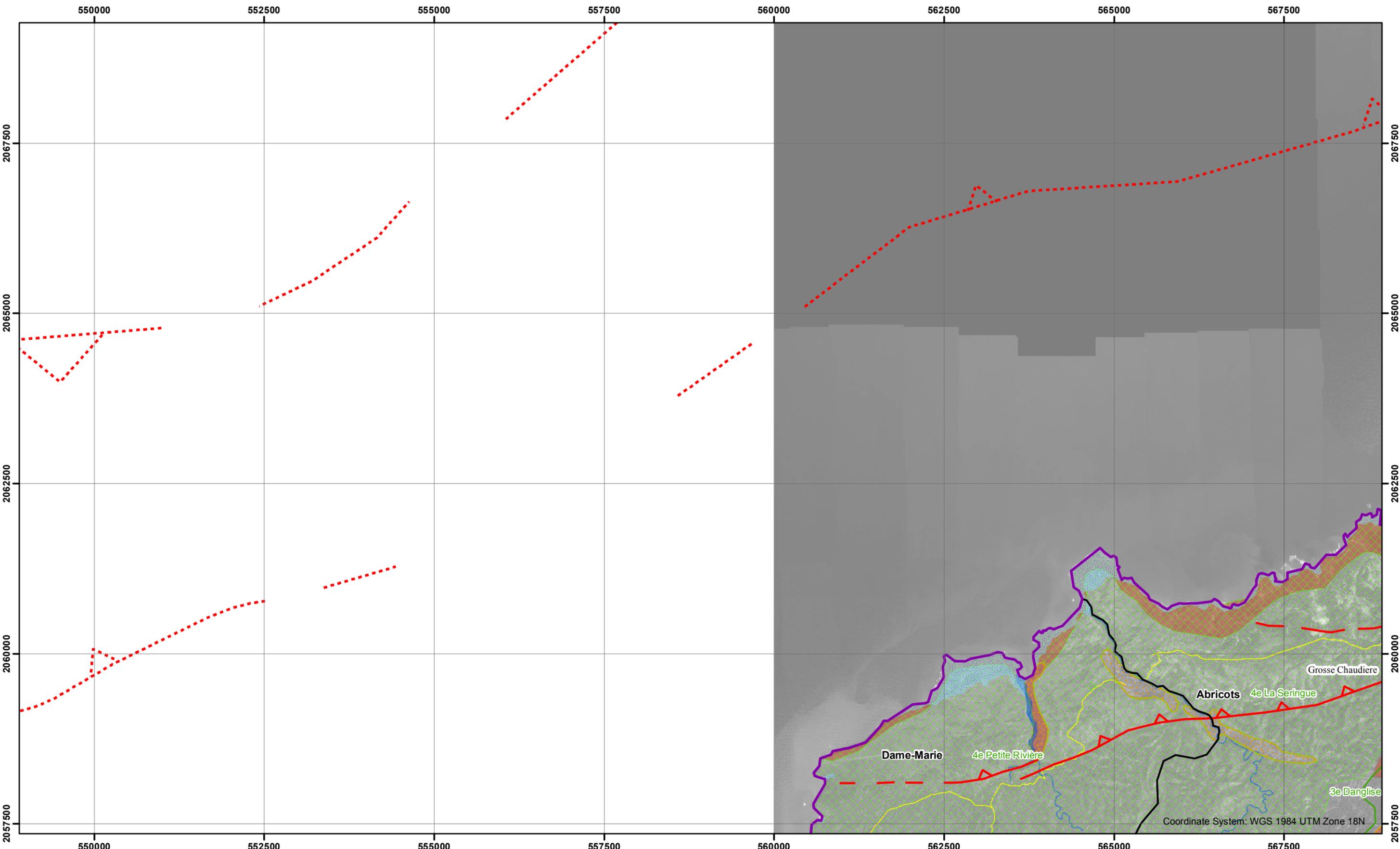


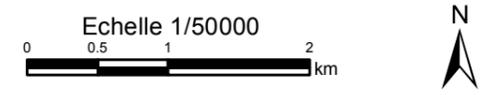
Figure 99 : Courbes d'iso-accélérations sismique - T # 500 ans

ANNEXE 4

**ATLAS : CARTOGRAPHIE MULTIRISQUE
DU DEPARTEMENT DE LA GRAND'ANSE**

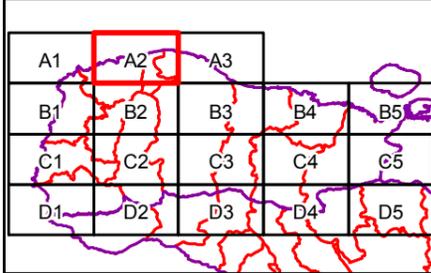
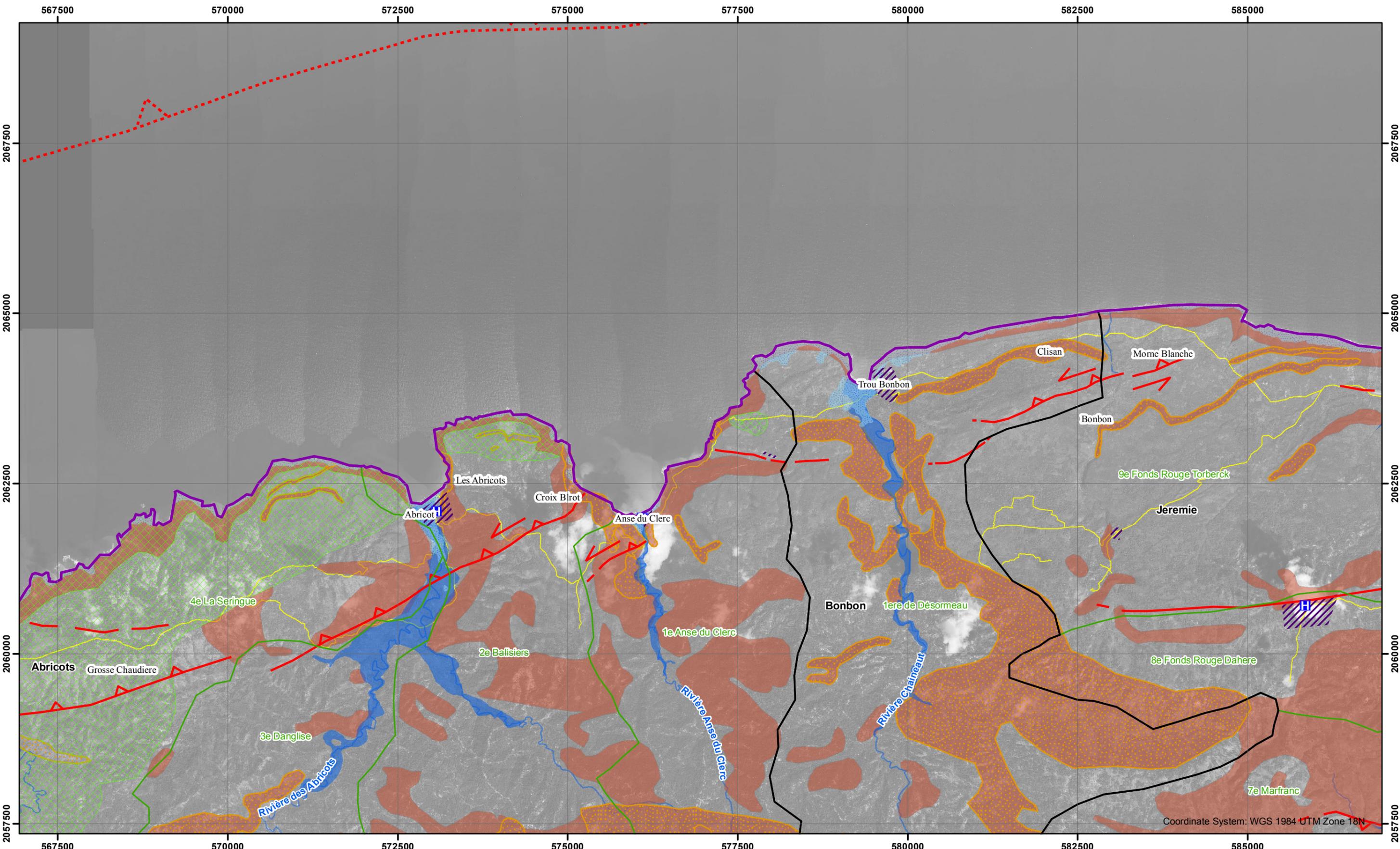


CARTE INFORMATIVE DES RISQUES SUR LE DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE
CARTOGRAPHIE DES RISQUES NATURELS
PAGE A1

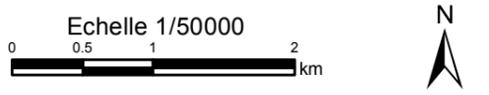


Risque inondation	Risque sismique	Risque de mouvements de terrain	Limites administratives	Divers
Zones soumises à la submersion marine	Faille active terre	Effondrement	Département	Routes principales
Zones inondables	Faille active mer	Chute de blocs	Communes	Zones urbaines
	Faille active Enriquillo	Glissement de terrain	Sections communales	Structure médicale





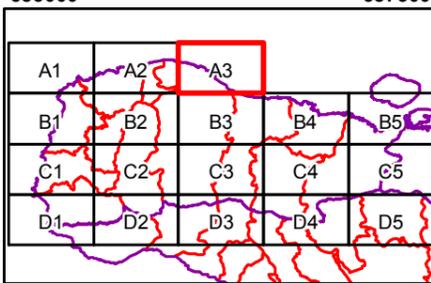
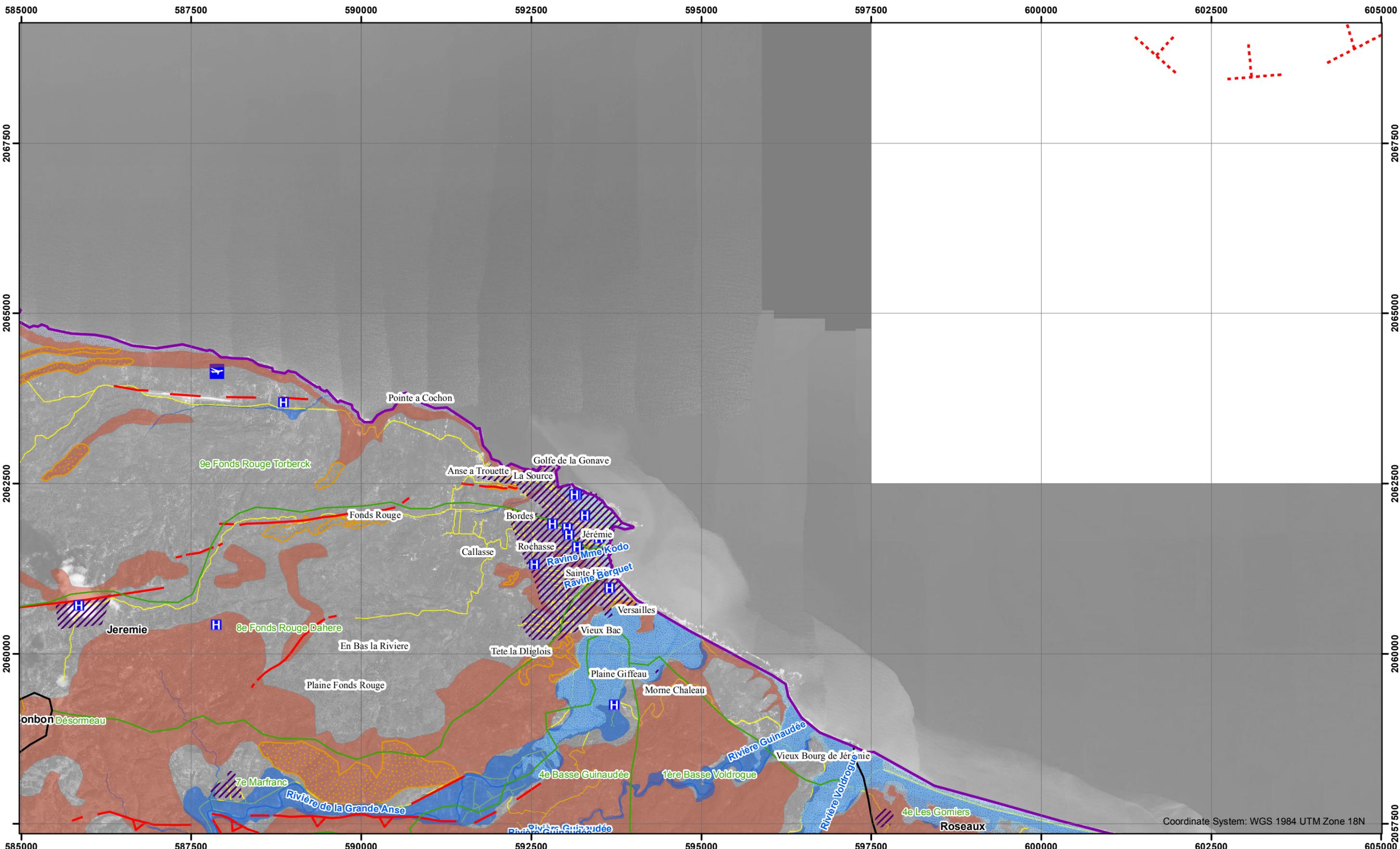
CARTE INFORMATIVE DES RISQUES SUR LE DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE
CARTOGRAPHIE DES RISQUES NATURELS
 PAGE A2



Risque inondation	Risque sismique	Risque de mouvements de terrain	Limites administratives	Divers
Zones soumises à la submersion marine	Faille active terre	Effondrement	Département	Routes principales
Zones inondables	Faille active mer	Chute de blocs	Communes	Zones urbaines
	Faille active Enriquillo	Glissement de terrain	Sections communales	Structure médicale



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18N

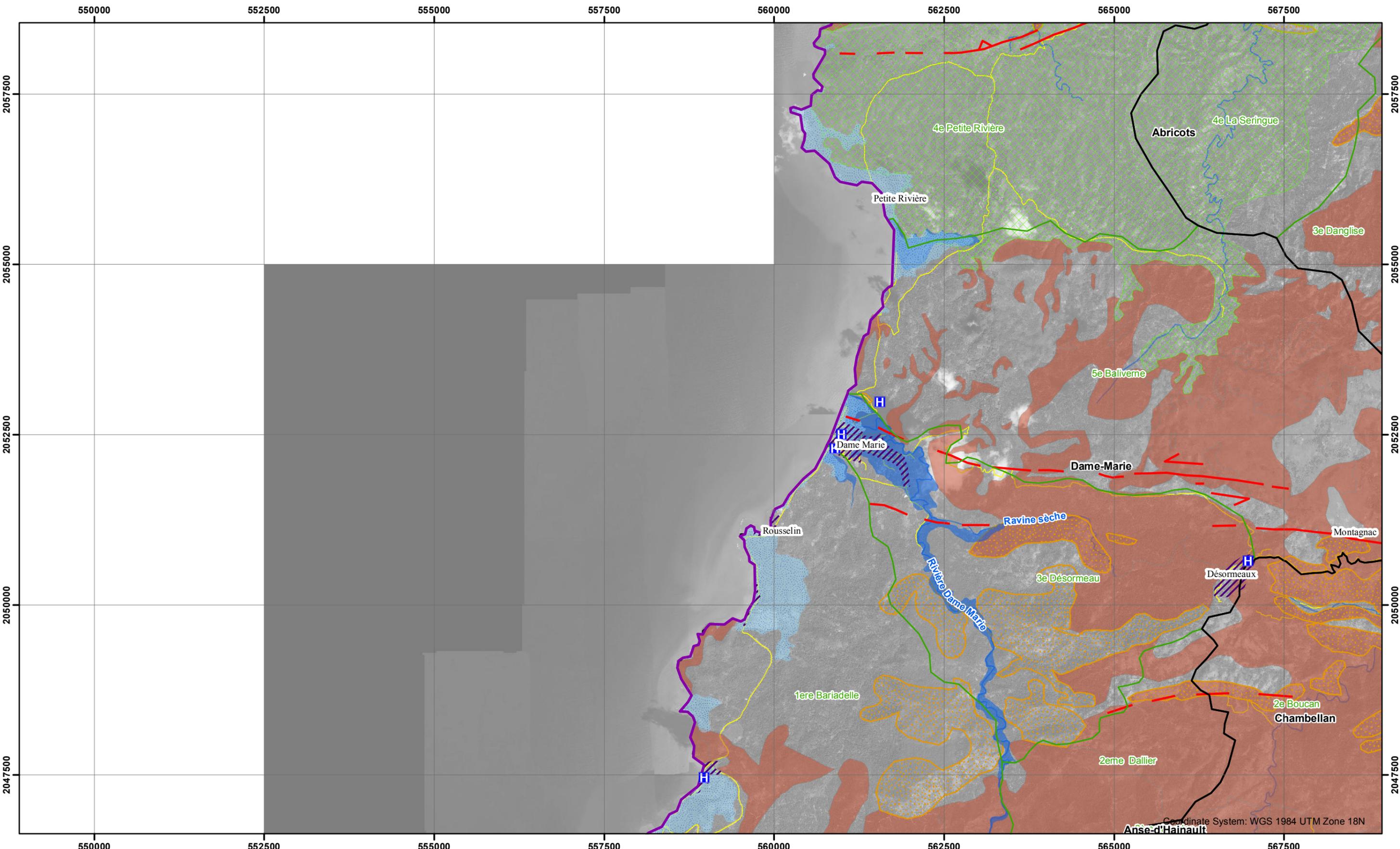


CARTE INFORMATIVE DES RISQUES SUR LE DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE
CARTOGRAPHIE DES RISQUES NATURELS
PAGE A3

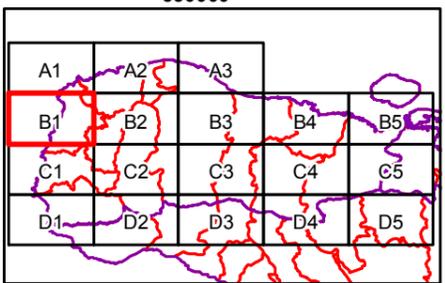
Risque inondation	Risque sismique	Risque de mouvements de terrain	Limites administratives	Divers
Zones soumises à la submersion marine	Faille active terre	Effondrement	Département	Routes principales
Zones inondables	Faille active mer	Chute de blocs	Communes	Zones urbaines
	Faille active Enriquillo	Glissement de terrain	Sections communales	Structure médicale



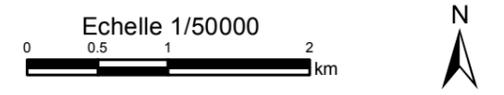
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18N

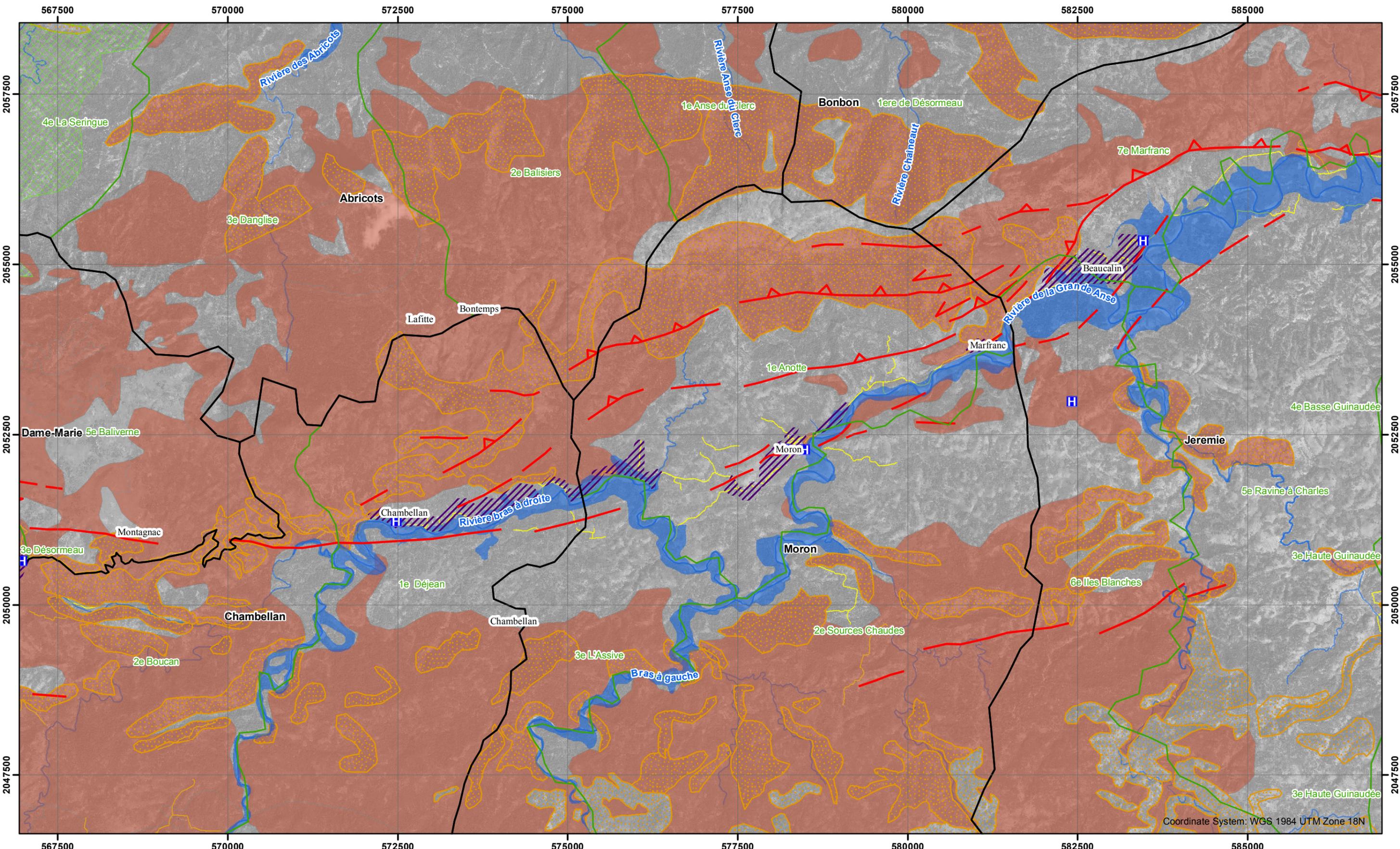


CARTE INFORMATIVE DES RISQUES SUR LE DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE
CARTOGRAPHIE DES RISQUES NATURELS
PAGE B1



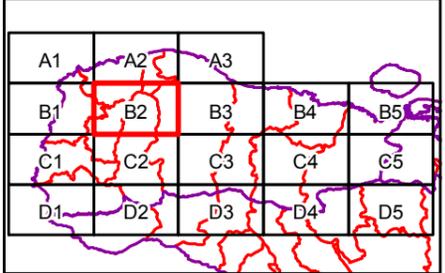
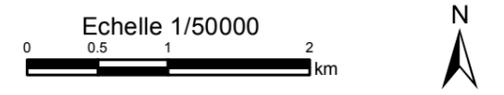
Risque inondation	Risque sismique	Risque de mouvements de terrain	Limites administratives	Divers
Zones soumises à la submersion marine	Faille active terre	Effondrement	Département	Routes principales
Zones inondables	Faille active mer	Chute de blocs	Communes	Zones urbaines
	Faille active Enriquillo	Glissement de terrain	Sections communales	Structure médicale





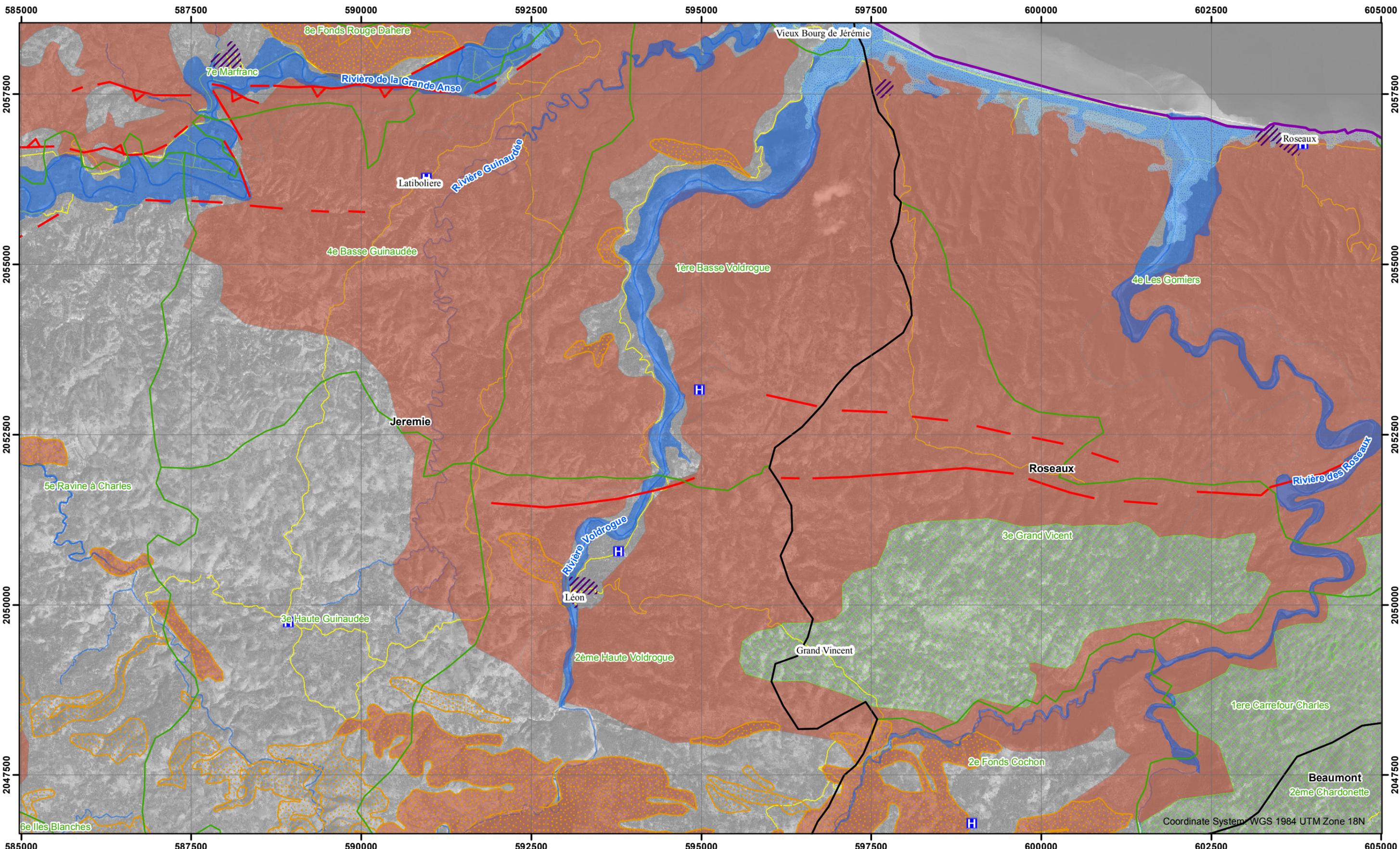
CARTE INFORMATIVE DES RISQUES SUR LE DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE
CARTOGRAPHIE DES RISQUES NATURELS

PAGE B2

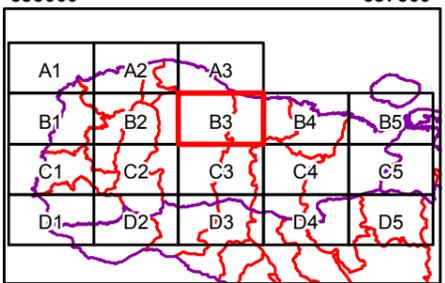


Risque inondation	Risque sismique	Risque de mouvements de terrain	Limites administratives	Divers
Zones soumises à la submersion marine	Faille active terre	Effondrement	Département	Routes principales
Zones inondables	Faille active mer	Chute de blocs	Communes	Zones urbaines
	Faille active Enriquillo	Glissement de terrain	Sections communales	Structure médicale



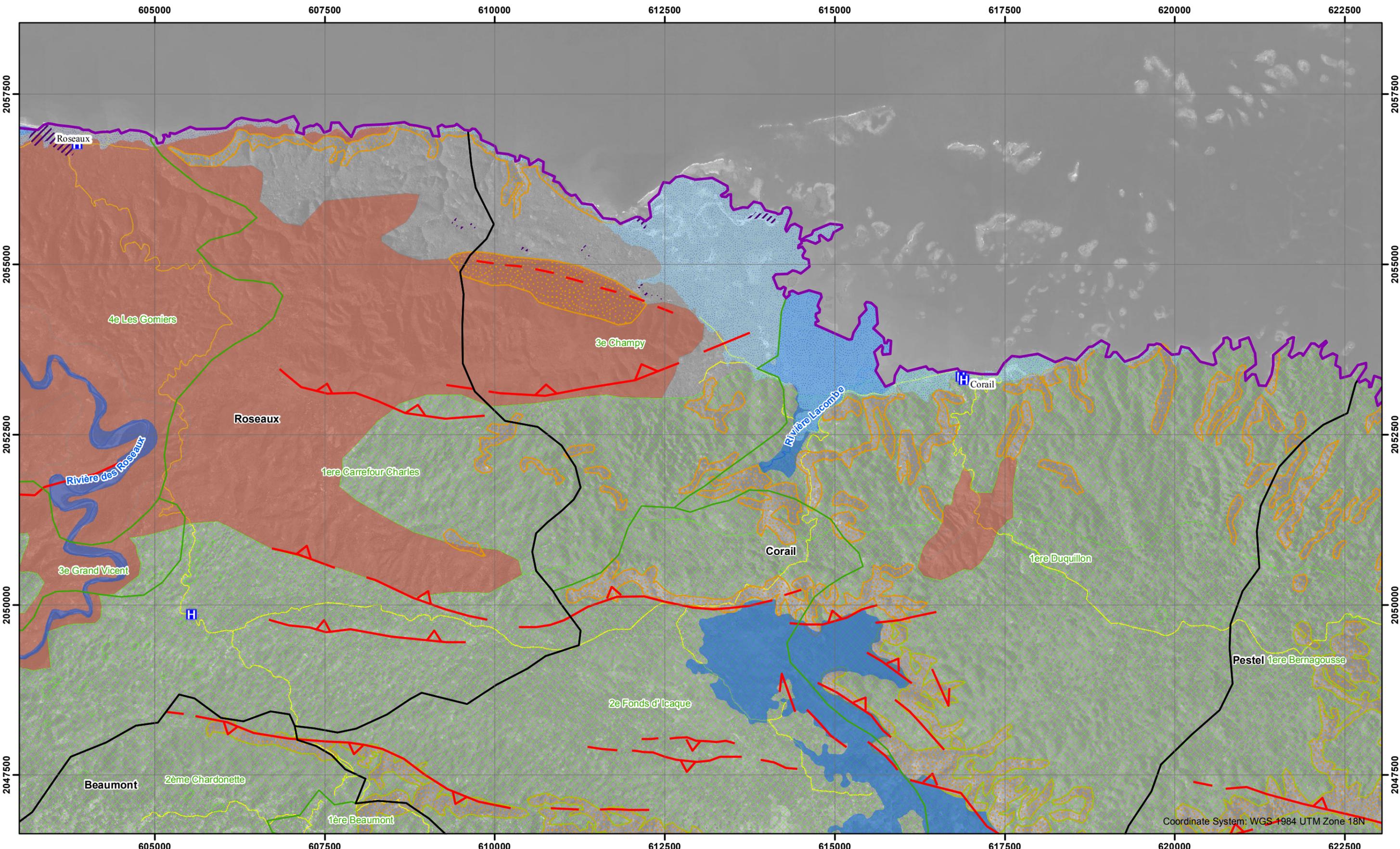


CARTE INFORMATIVE DES RISQUES SUR LE DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE
CARTOGRAPHIE DES RISQUES NATURELS
 PAGE B3

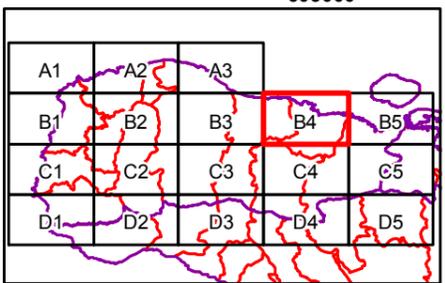


Risque inondation	Risque sismique	Risque de mouvements de terrain	Limites administratives	Divers
Zones soumises à la submersion marine	Faille active terre	Effondrement	Département	Routes principales
Zones inondables	Faille active mer	Chute de blocs	Communes	Zones urbaines
	Faille active Enriquillo	Glissement de terrain	Sections communales	Structure médicale

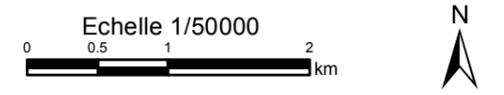




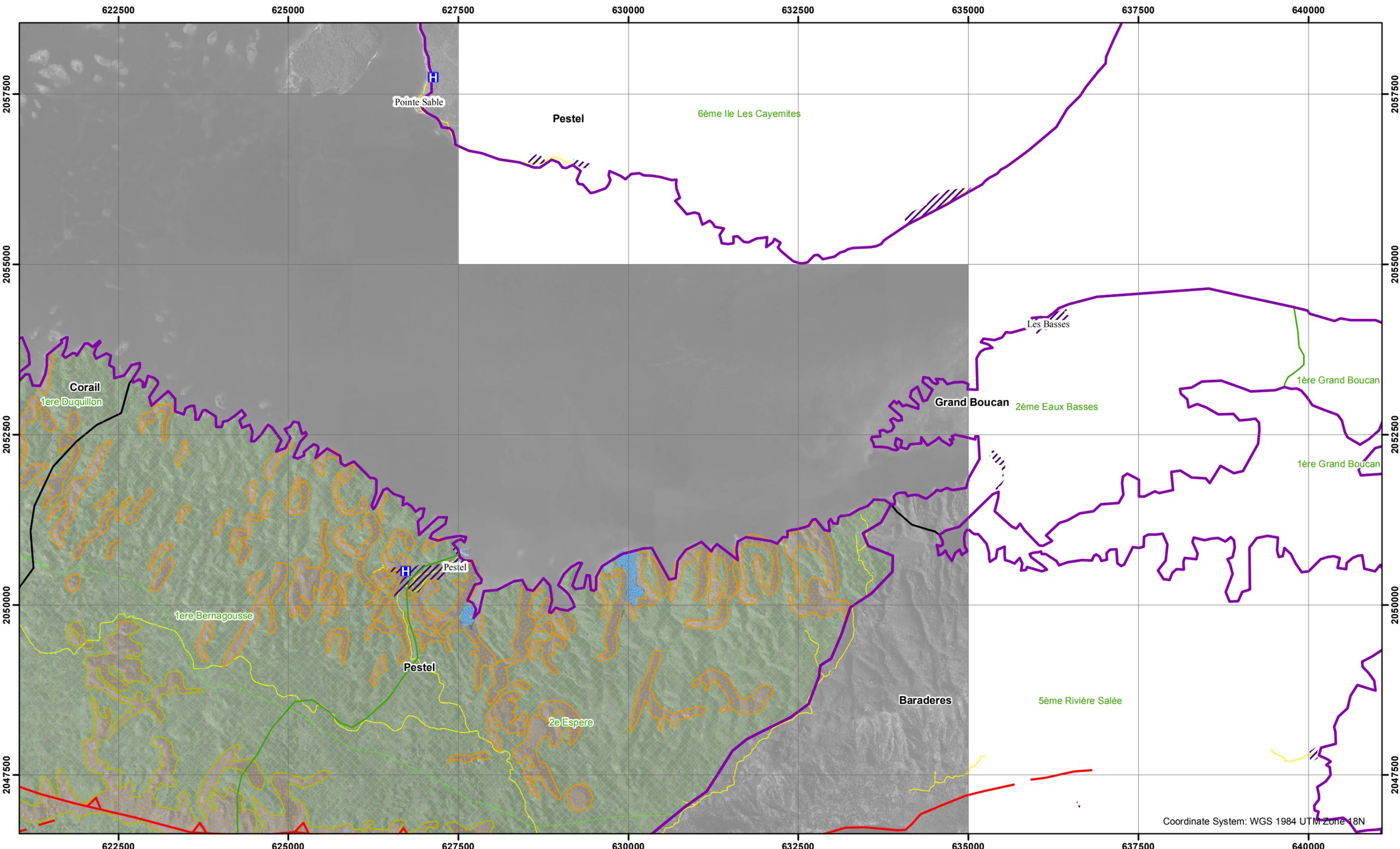
CARTE INFORMATIVE DES RISQUES SUR LE DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE
CARTOGRAPHIE DES RISQUES NATURELS
PAGE B4



Risque inondation	Risque sismique	Risque de mouvements de terrain	Limites administratives	Divers
Zones soumises à la submersion marine	Faille active terre	Effondrement	Département	Routes principales
Zones inondables	Faille active mer	Chute de blocs	Communes	Zones urbaines
	Faille active Enriquillo	Glissement de terrain	Sections communales	Structure médicale



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18N

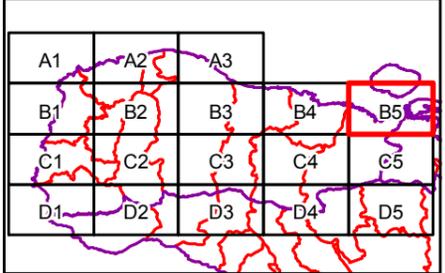


Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18N

Echelle 1/50000

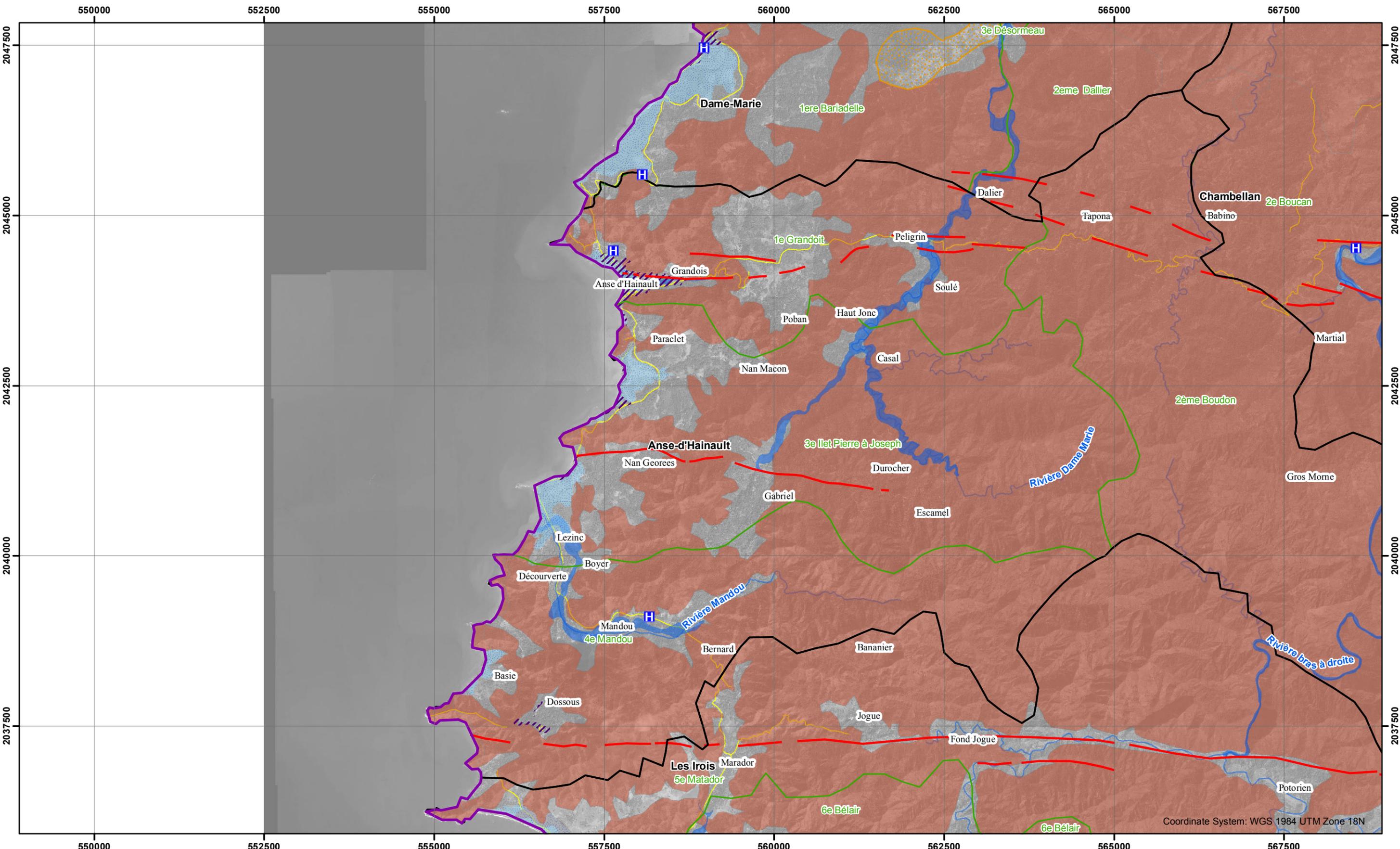
0 0.5 1 2 km

CARTE INFORMATIVE DES RISQUES SUR LE DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE
CARTOGRAPHIE DES RISQUES NATURELS
PAGE B5

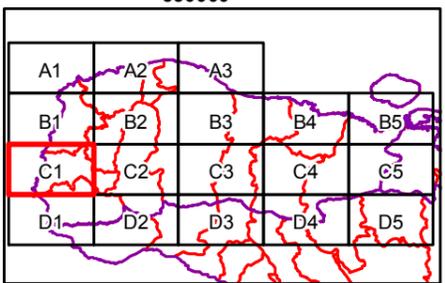
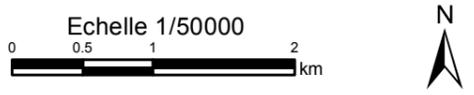


Risque inondation	Risque sismique	Risque de mouvements de terrain	Limites administratives	Divers
Zones soumises à la submersion marine	Faille active terre	Effondrement	Département	Routes principales
Zones inondables	Faille active mer	Chute de blocs	Communes	Zones urbaines
	Faille active Enriquillo	Glissement de terrain	Sections communales	Structure médicale





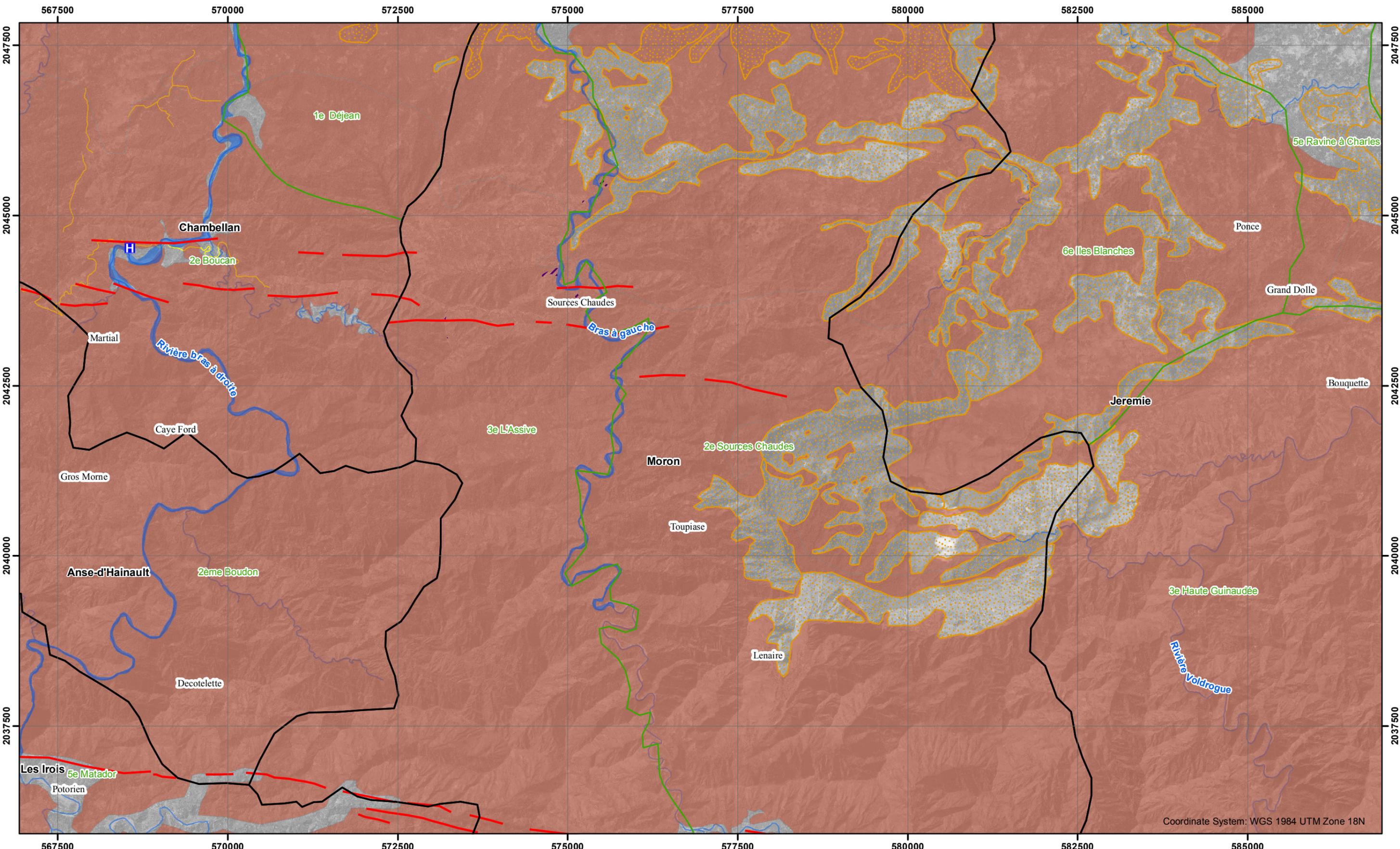
CARTE INFORMATIVE DES RISQUES SUR LE DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE
CARTOGRAPHIE DES RISQUES NATURELS
PAGE C1



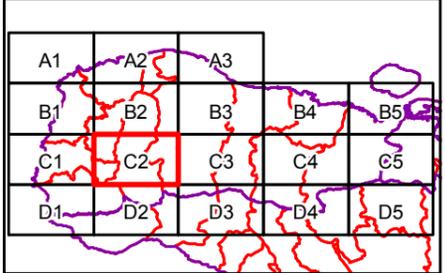
Risque inondation	Risque sismique	Risque de mouvements de terrain	Limites administratives	Divers
Zones soumises à la submersion marine	Faille active terre	Effondrement	Département	Routes principales
Zones inondables	Faille active mer	Chute de blocs	Communes	Zones urbaines
	Faille active Enriquillo	Glissement de terrain	Sections communales	Structure médicale



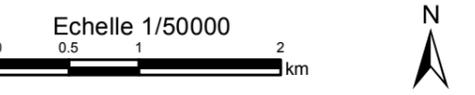
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18N



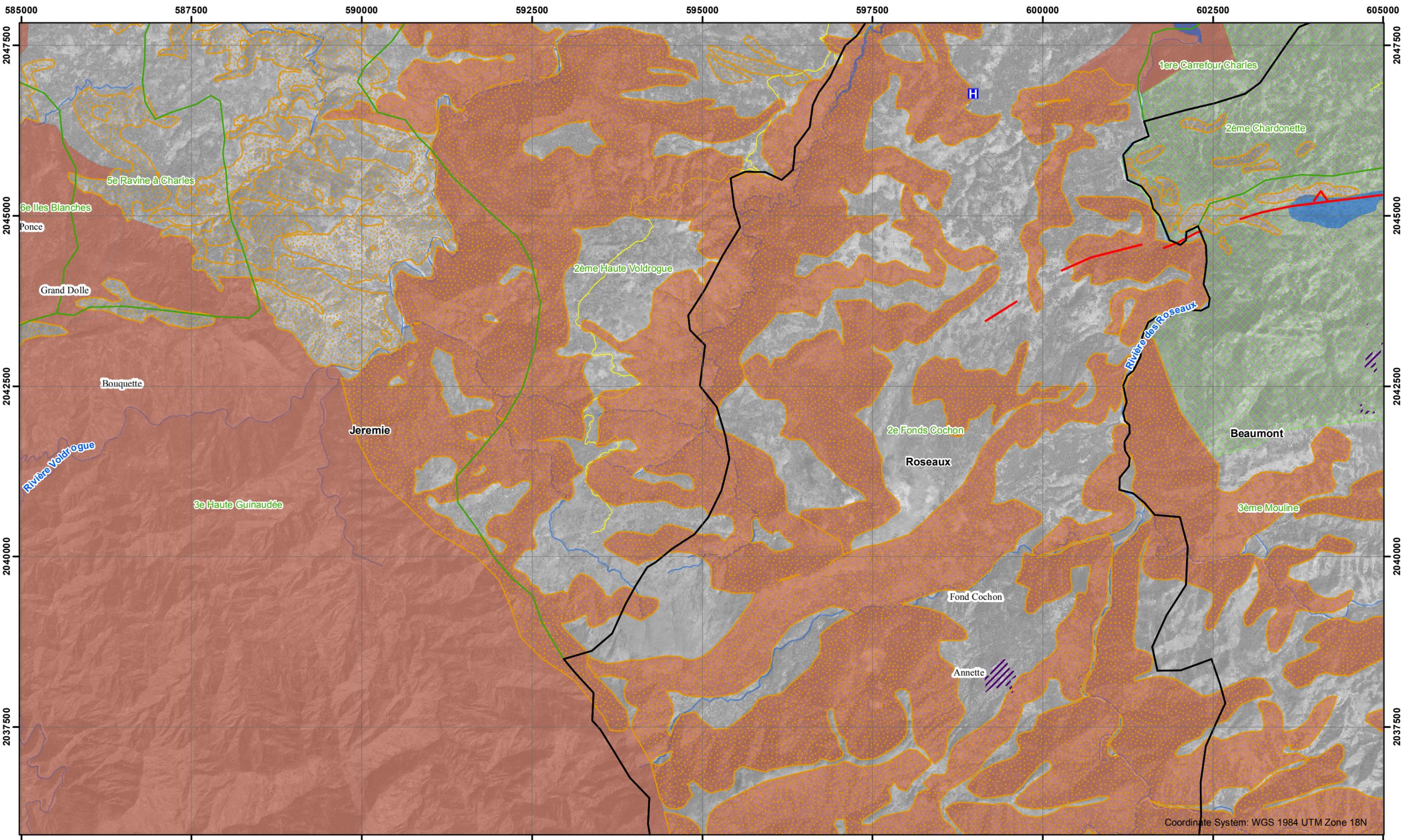
CARTE INFORMATIVE DES RISQUES SUR LE DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE
CARTOGRAPHIE DES RISQUES NATURELS
PAGE C2



Risque inondation	Risque sismique	Risque de mouvements de terrain	Limites administratives	Divers
Zones soumises à la submersion marine	Faille active terre	Effondrement	Département	Routes principales
Zones inondables	Faille active mer	Chute de blocs	Communes	Zones urbaines
	Faille active Enriquillo	Glissement de terrain	Sections communales	Structure médicale



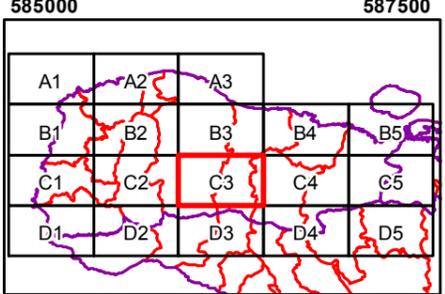
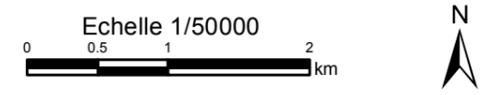
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18N



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18N

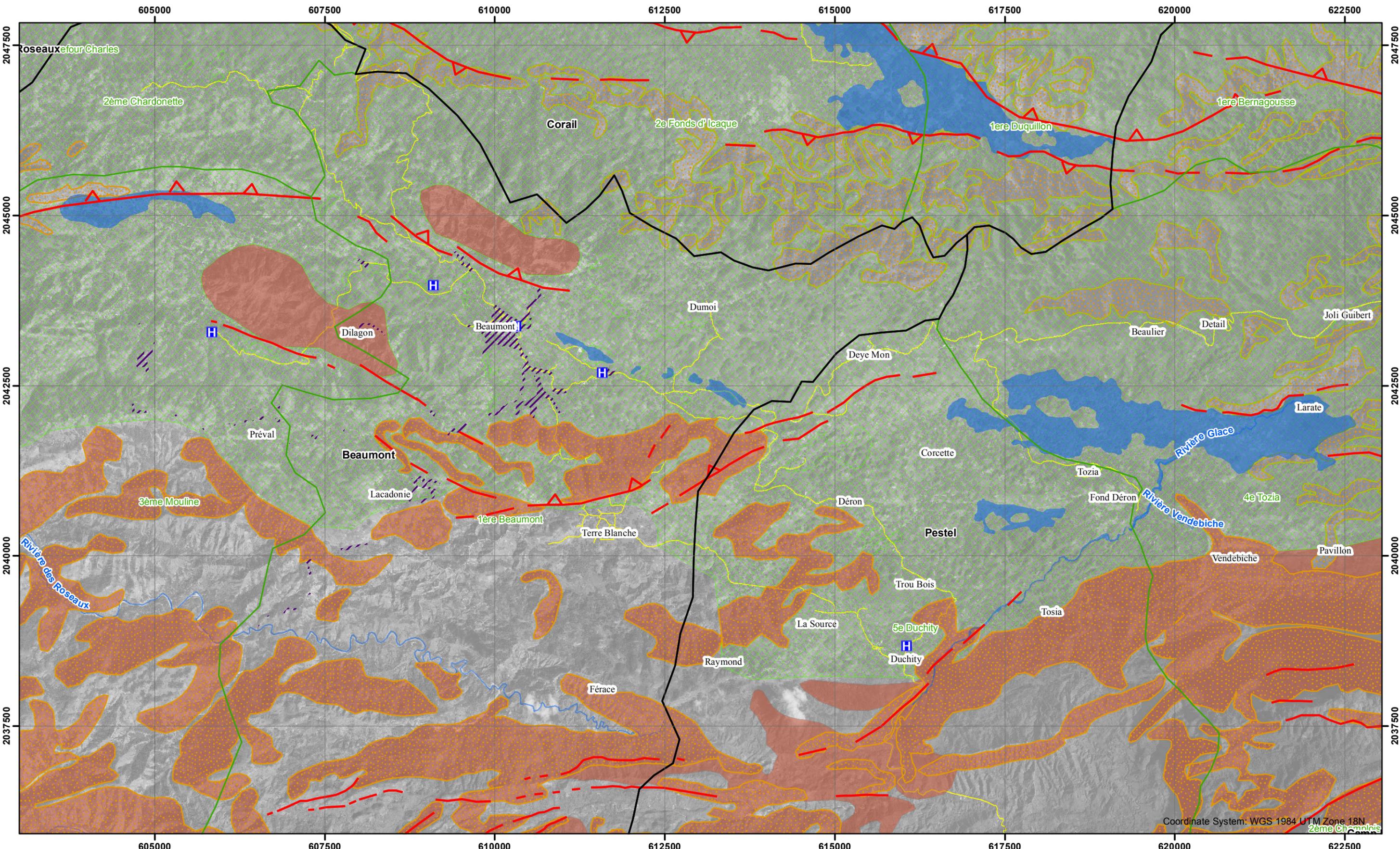
CARTE INFORMATIVE DES RISQUES SUR LE DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE
CARTOGRAPHIE DES RISQUES NATURELS

PAGE C3



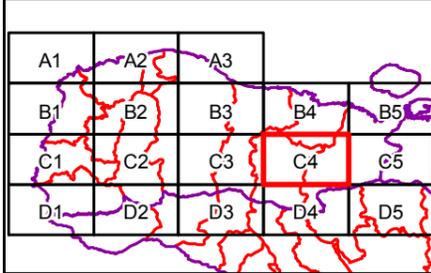
Risque inondation	Risque sismique	Risque de mouvements de terrain	Limites administratives	Divers
Zones soumises à la submersion marine	Faille active terre	Effondrement	Département	Routes principales
Zones inondables	Faille active mer	Chute de blocs	Communes	Zones urbaines
	Faille active Enriquillo	Glissement de terrain	Sections communales	Structure médicale



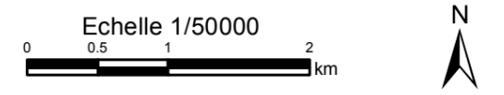


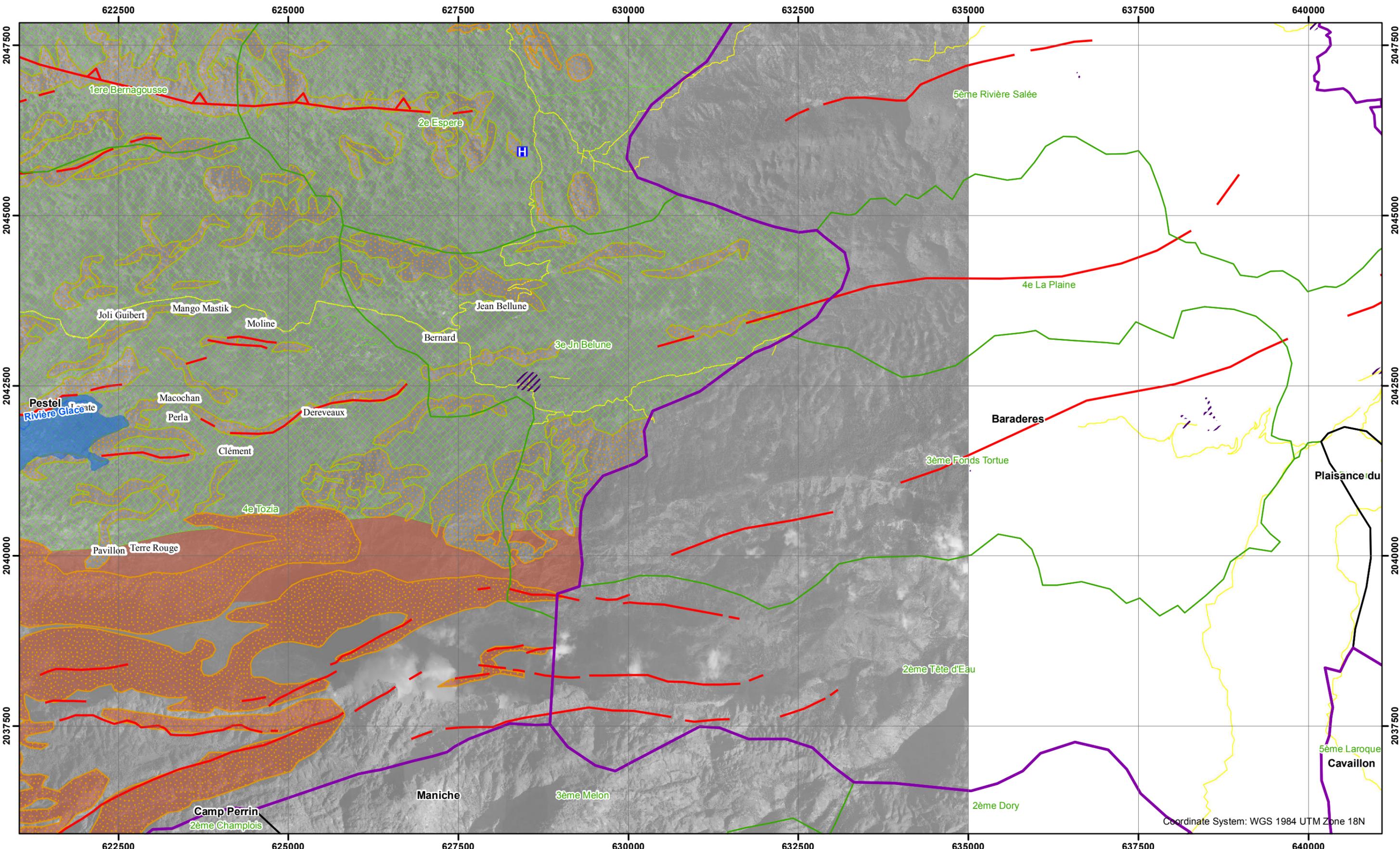
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18N

CARTE INFORMATIVE DES RISQUES SUR LE DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE
CARTOGRAPHIE DES RISQUES NATURELS
 PAGE C4



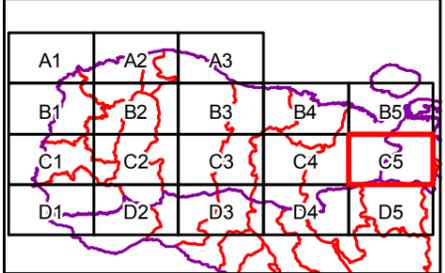
Risque inondation	Risque sismique	Risque de mouvements de terrain	Limites administratives	Divers
Zones soumises à la submersion marine	Faille active terre	Effondrement	Département	Routes principales
Zones inondables	Faille active mer	Chute de blocs	Communes	Zones urbaines
	Faille active Enriquillo	Glissement de terrain	Sections communales	Structure médicale





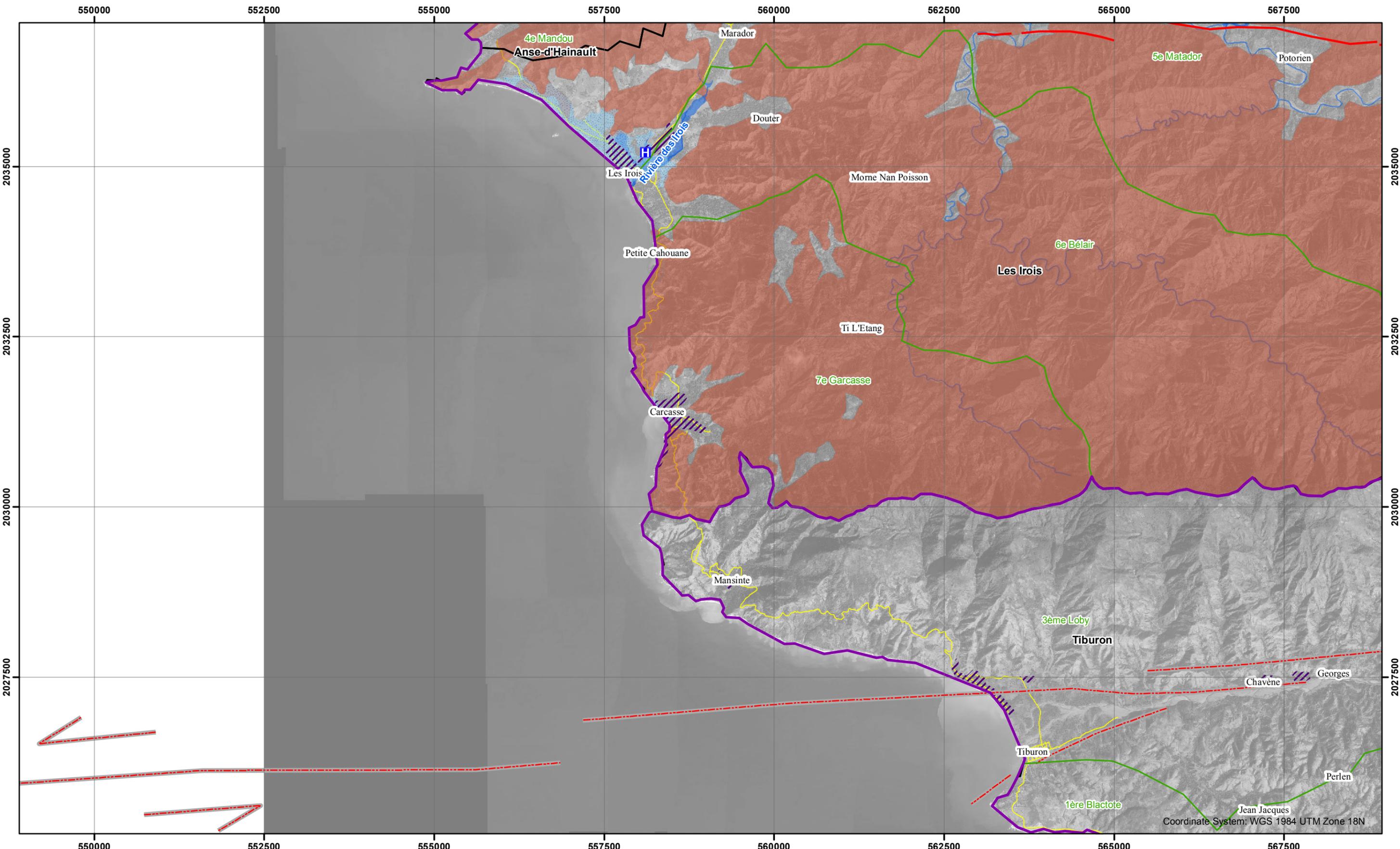
CARTE INFORMATIVE DES RISQUES SUR LE DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE
CARTOGRAPHIE DES RISQUES NATURELS
PAGE C5

Echelle 1/50000
 0 0.5 1 2 km

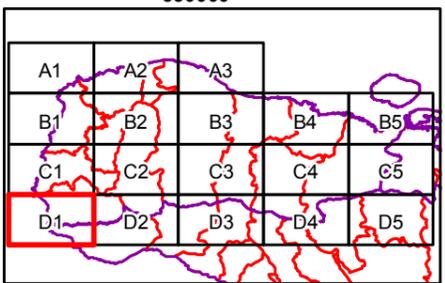


Risque inondation	Risque sismique	Risque de mouvements de terrain	Limites administratives	Divers
Zones soumises à la submersion marine	Faille active terre	Effondrement	Département	Routes principales
Zones inondables	Faille active mer	Chute de blocs	Communes	Zones urbaines
	Faille active Enriquillo	Glissement de terrain	Sections communales	Structure médicale

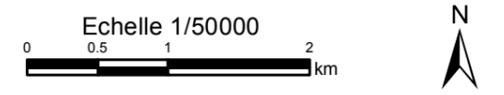




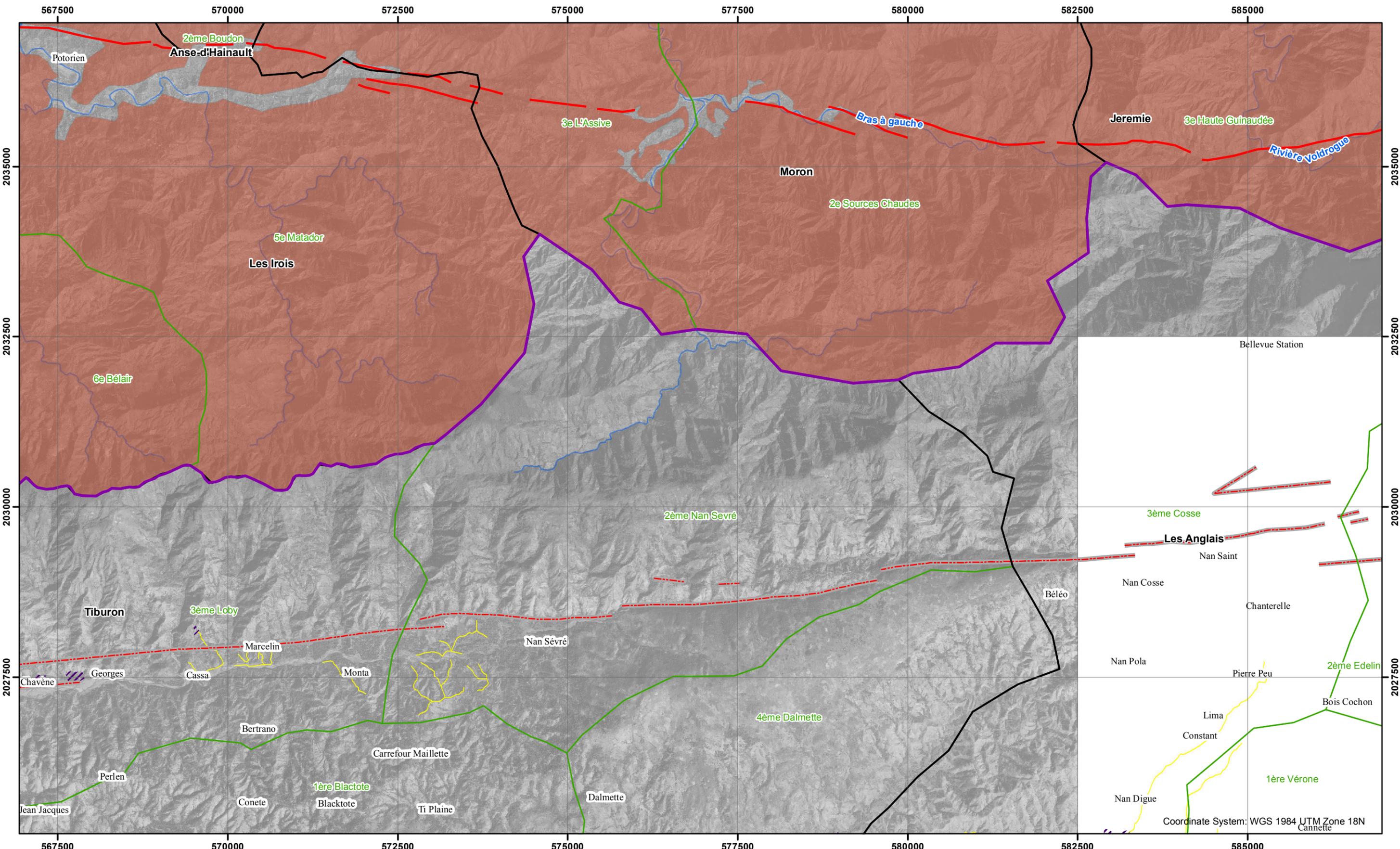
CARTE INFORMATIVE DES RISQUES SUR LE DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE
CARTOGRAPHIE DES RISQUES NATURELS
PAGE D1



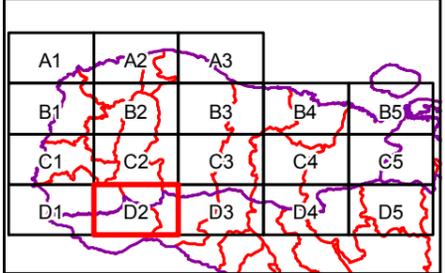
Risque inondation	Risque sismique	Risque de mouvements de terrain	Limites administratives	Divers
Zones soumises à la submersion marine	Faille active terre	Effondrement	Département	Routes principales
Zones inondables	Faille active mer	Chute de blocs	Communes	Zones urbaines
	Faille active Enriquillo	Glissement de terrain	Sections communales	Structure médicale



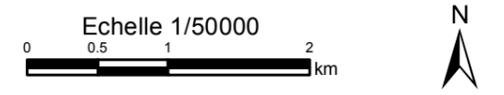
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18N



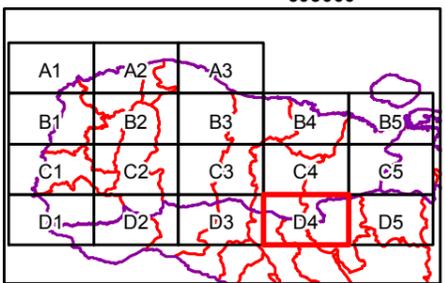
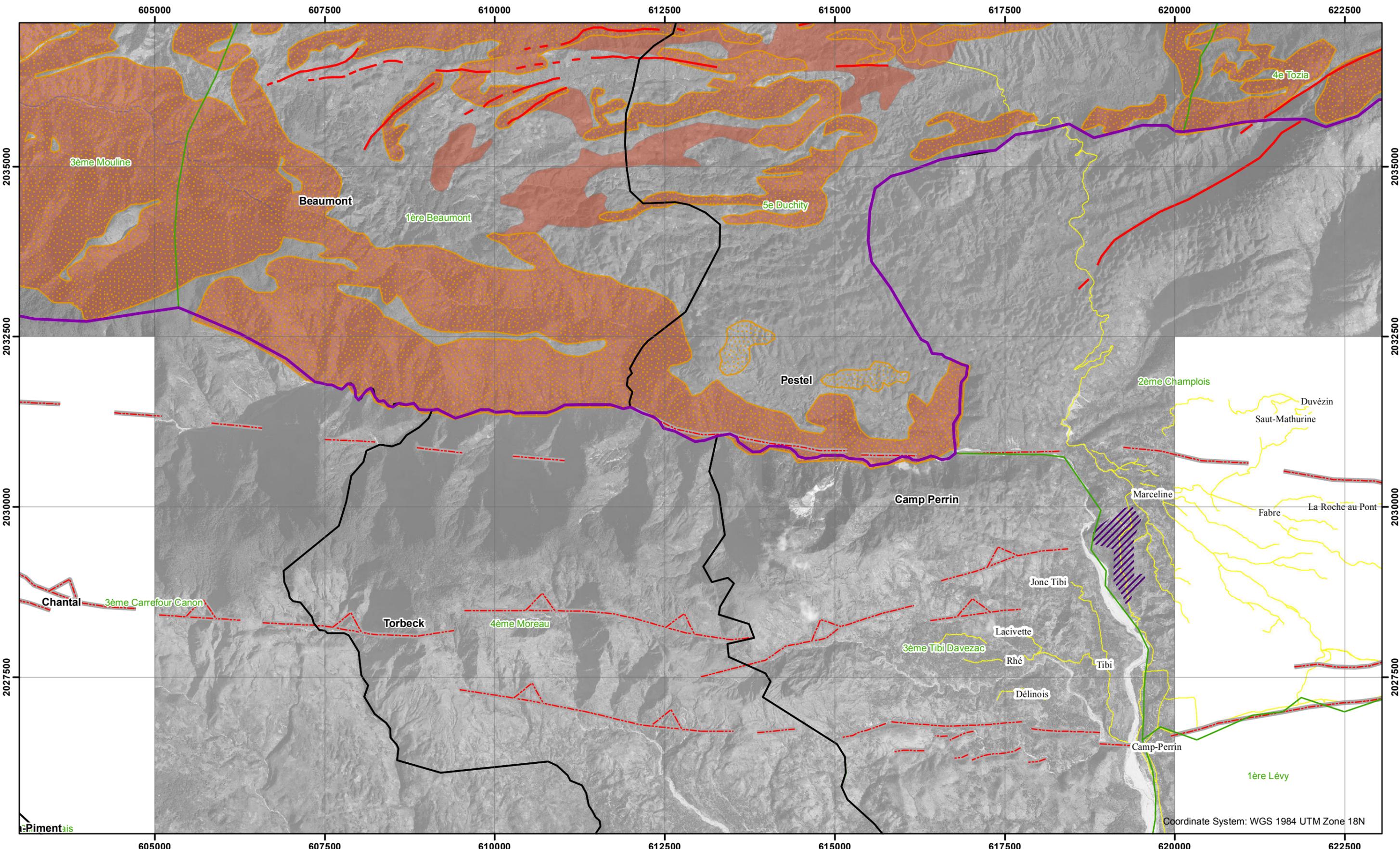
CARTE INFORMATIVE DES RISQUES SUR LE DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE
CARTOGRAPHIE DES RISQUES NATURELS
 PAGE D2



Risque inondation	Risque sismique	Risque de mouvements de terrain	Limites administratives	Divers
Zones soumises à la submersion marine	Faille active terre	Effondrement	Département	Routes principales
Zones inondables	Faille active mer	Chute de blocs	Communes	Zones urbaines
	Faille active Enriquillo	Glissement de terrain	Sections communales	Structure médicale

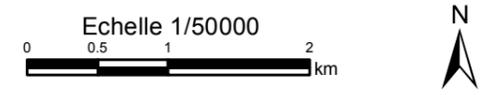


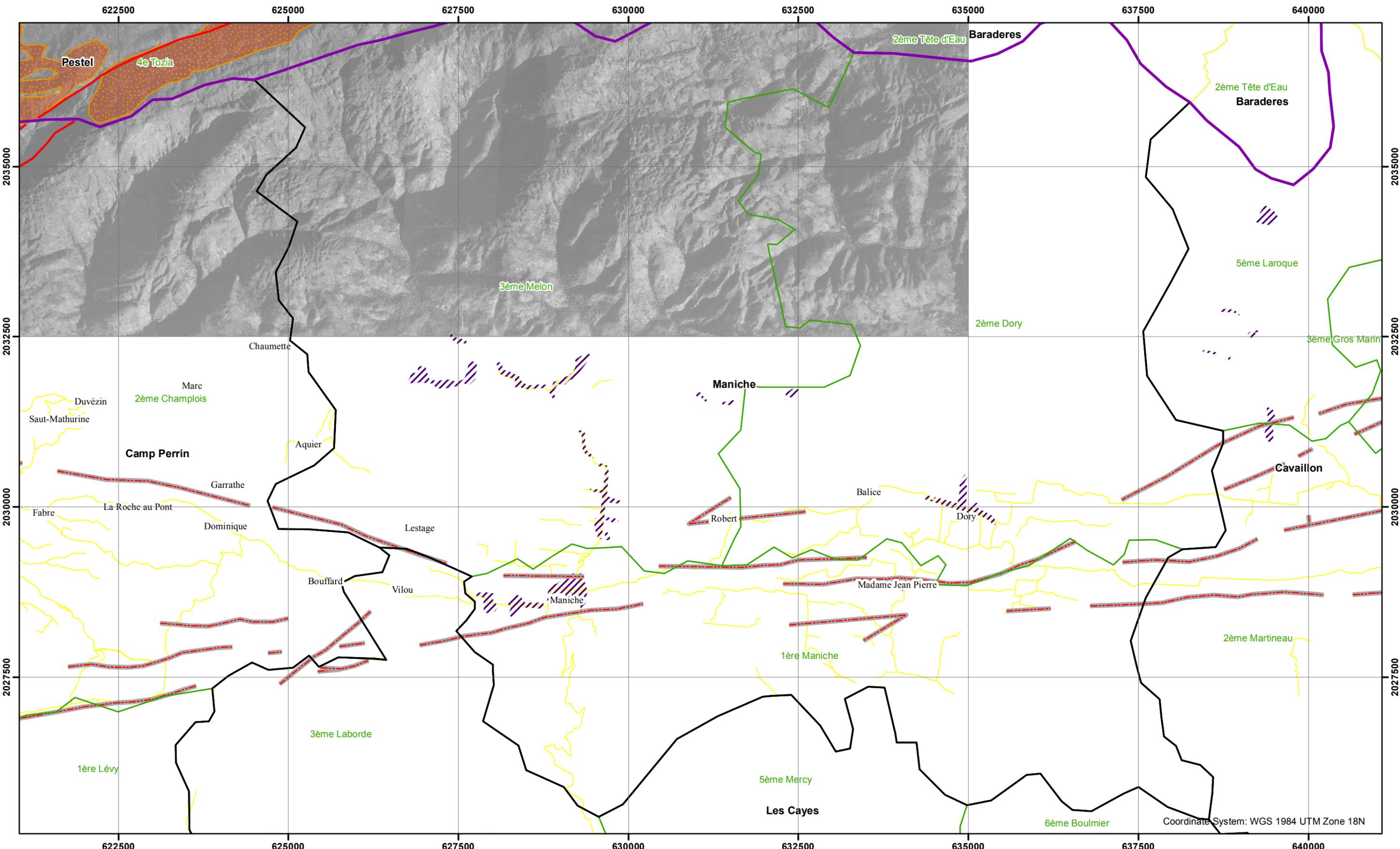
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18N
Cannette



CARTE INFORMATIVE DES RISQUES SUR LE DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE
CARTOGRAPHIE DES RISQUES NATURELS
 PAGE D4

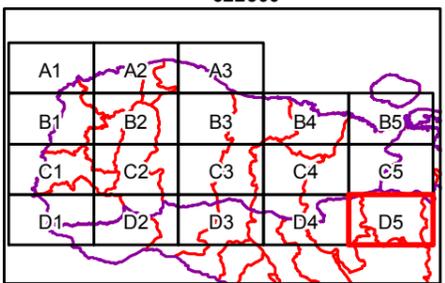
Risque inondation	Risque sismique	Risque de mouvements de terrain	Limites administratives	Divers
Zones soumises à la submersion marine	Faille active terre	Effondrement	Département	Routes principales
Zones inondables	Faille active mer	Chute de blocs	Communes	Zones urbaines
	Faille active Enriquillo	Glissement de terrain	Sections communales	Structure médicale





CARTE INFORMATIVE DES RISQUES SUR LE DÉPARTEMENT DE LA GRANDE ANSE
CARTOGRAPHIE DES RISQUES NATURELS
PAGE D5

Echelle 1/50000
 0 0.5 1 2 km



Risque inondation	Risque sismique	Risque de mouvements de terrain	Limites administratives	Divers
Zones soumises à la submersion marine	Faille active terre	Effondrement	Département	Routes principales
Zones inondables	Faille active mer	Chute de blocs	Communes	Zones urbaines
	Faille active Enriquillo	Glissement de terrain	Sections communales	Structure médicale





Empowered lives
Resilient nations

La réduction des risques naturels constitue un véritable défi pour Haïti, notamment dans les zones à forte densité de population et particulièrement le long des côtes, à proximité des rivières, sur les versants des mornes. Tous les experts s'accordent à dire que le bilan funeste du séisme de 2010 est principalement lié au mode de construction et aux modalités d'aménagement urbain. Le cyclone Mathieu, nous rappelle aussi que les effets dévastateurs des catastrophes naturelles sont à la fois une cause et une conséquence de la pauvreté.

C'est pourquoi, le PNUD, avec le soutien de ses partenaires, appuie le Gouvernement et les institutions haïtiennes à améliorer la connaissance des risques en Haïti et leur intégration dans la préparation à la réponse aux désastres, l'aménagement urbain et le développement du territoire.

Cet effort a notamment conduit à l'élaboration et à la publication par l'État haïtien avec le soutien financier de l'Union européenne, à travers ECHO, et du Gouvernement britannique, à travers DFID, d'un guide méthodologique de réduction des risques naturels en zones urbaines. Son application dans la Grand'Anse a permis l'élaboration d'une cartographie multirisques sur tout le département.

L'objectif principal de cette étude approfondie sur les causalités des phénomènes à risques (crues torrentielles et inondations, glissements de terrain, chutes de blocs, effondrements et ravinements, séismes et tsunami) est d'établir des cartographies multirisques qui serviront pour la gestion et la prévention des risques naturels qui soient facilement compréhensibles et utilisables par des ingénieurs et architectes, aménageurs et urbanistes, collectivités territoriales et la protection civile, décideurs et bailleurs.

Ces cartographies ont été mises en place avec le concours de représentants des autorités locales ainsi que les institutions nationales et locales concernées par les risques naturels, leur prévention, et leur prise en compte dans l'aménagement du territoire et l'urbanisme. Pour cela, les collectivités locales ainsi que les services de l'Etat ont été associés aux différentes phases de réalisation et notamment par la valorisation et la prise en compte de leurs connaissances des phénomènes.

Ce mode de réalisation a permis une bonne appropriation des cartographies multirisques par les acteurs locaux et de faire de ce produit un outil de référence qui permet d'informer, d'orienter les projets et de fournir les éléments nécessaires à la programmation des actions de prévention d'une part, et de donner aux services décentralisés de l'état, une bonne connaissance et une prise de conscience des risques auxquels ils sont soumis et des moyens de s'en prémunir.

Le cyclone Mathieu a permis aux autorités locale dont une mise en application concrète de ces acquis, leurs permettant ainsi de sauver nombreuses vie humaines.



Document disponible sur:

www.mpce.gouv.ht -
www.ht.undp.org -
www.mict.gouv.ht

INFORMER ET SENSIBILISER POUR MIEUX PRENDRE EN COMPTE LES RISQUES NATURELS