PROJET DE RECONSTRUCTION D'URGENCE DES OUVRAGES D'ART
ET DE RÉDUCTION DE LA VULNÉRABILITÉ (PROReV/P114292)

Don de l'Association Internationale de Développement
H-4320-HT

CONTRAT DE PRESTATIONS DE SERVICES n°1118

CARACTÉRISATION ET CARTOGRAPHIE DU RISQUE INONDATION ET DE SUBMERSION MARINE SUR L'AGGLOMERATION DU CAP-HAÏTIEN– Version mise à jour après analyse du MNT Lidar final



par

RICHARD GUILLANDE
SIGNALERT sarl
Rapport n° REP-CIAT-04.15.001V3

AVRIL 2015

Sommaire

1 Résumé 3
2 Introduction - rappel des objectifs 6
3 Méthodologie 8
4 exposition la ville du Cap Haïtien aux risques naturels 9
PARTIE 1 : ANALYSE DE L'EVOLUTION D'OCCUPATION DU SOL, CRUES HISTORIQUES, SUBMERSION MARINE 18
5 Analyse de l'évolution de l'occupation du sol 18
6 inondations majeures au Cap Haïtien depuis les années 90 27
7 autres risques d'inondation ou de submersion au cap haitien 39
8 causes anthropiques du risque inondation au Cap Haïtien. 49
PARTIE 2 : CARTOGRAPHIE D'ALEA - DIAGNOSTIC ET RECOMMANDATIONS 54
9 EXPOSITION AUX INONDATIONS DU Cap haitien 54
10 DEFINITION DE ZONES NON AEDIFICANDI 66
11 RECOMMaNDATIONS 78
ANNEXES 90
ANNEXE 1 : RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 90
ANNEXE 2 : LISTE DES FIGURES 91
ANNEXE 3 : LISTE DES TABLEAUX 91
ANNEXE 4 : LISTE DES PHOTOS 91
ANNEXE 5 : LISTE DES CARTES 92
ANNEXE 6 : ANALYSE DE DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES 94
ANNEXE 7 : CAUSES ANTHROPIQUES DES CRUES ET INONDATIONS, OBSERVATIONS DE TERRAIN ET CONSTATS 105
ANNEXE 8 : CARTOGRAPHIE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE ET DU RISQUE INONDATION ET DE SUBMERSION MARINE AU CAP HAÏTIEN. 131
ANNEXE 9 : ENQUÊTE DE TERRAIN 139

1 RÉSUMÉ

La présente étude a été réalisée pour le compte du CIAT. Elle a permis la réalisation d'une première carte détaillée d'exposition au risque d'inondation de l'agglomération du Cap haïtien. On trouvera en annexe le cahier des charges de l'étude.
Elle se divise en deux grandes parties :

PARTIE 1 : ANALYSE HISTORIQUE, ANALYSE DE DONNEES PLUIOMETRIQUE, EVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL, OBSERVATION DE TERRAIN SUR LES CAUSES ANTHROPIQUES DU RISQUE D'INONDATION

PARTIE 2 : CARTOGRAPHIE D'ALEA INONDATION, CARTOGRAPHIE DE ZONES NON AEDIFICANDI - DIAGNOSTIC ET RECOMMANDATIONS

La partie 1 a fait l'objet d'un premier rapport remis en novembre 2014 au CIAT. Ce rapport final incorpore les éléments de cette partie 1 avec quelques révisions et compléments et la seconde partie de cartographie de risque d'inondation et de recommandations.

L'essentiel des résultats apparait dans le corps de rapport (70 pages) et se réfère à des annexes où figurent des données et leur analyse (61 pages).

L'étude inclut une révision des connaissances sur les risques naturels auxquels est exposée la ville du Cap haïtien.
Une partie est consacrée à une première estimation de l'exposition au risque de submersion marine. Elle n'a cependant pas été développée car un autre programme mené par le PNUD et l'UNESCO doit également produire en 2015 une cartographie plus évoluée des risques induits pas les phénomènes tsunami et submersion marine à partir de techniques de modélisations plus sophistiquées.

Le travail a été réalisé en collaboration avec le CNIGS, en appliquant une approche hydrogéomorphologique couplant l'analyse historiques (photographies aériennes, bibliographie), l'analyse morphologique et une enquête de terrain auprès de la population.
Il n'existait aucune carte identifiée de l'exposition au risque d'inondation pour la ville du Cap haïtien, en dépit de l'importance de cette ville, seconde ville d'Haïti par sa population.

L'étude s'est articulée autour des composantes suivantes :

- Analyse historique à travers la presse, le web, la bibliographie.
- Analyse d'enregistrements pluviométriques pour caractérisation des principaux évènements passés.
- Analyse hydrogéomorphologique et comparaison d'occupation du sol entre 1978 et 2010.
- Enquêtes de terrain sur la phénoménologie, les intensités et impacts des inondations.
- Synthèse cartographique sur SIG.
- Recommandations.

L'analyse de la presse et des médias n'a permis que de faire peu progresser la connaissance des évènements passés.
Une analyse de données pluviométriques d'enregistrements de qualité montre que si la pluviométrie lors des inondations de novembre 2012 a été vraiment exceptionnelle, ce n'est pas le cas pour les crues survenues en novembre 2014, tout juste dans une moyenne annuelle.
Les investigations de terrain ont mis à jour un point important : dans de très nombreux cas, l'aléa et sa gravité sont créés par des actions humaines.

- Construction anarchique dans les mornes engendrant ruissellement et érosion.
- Constructions trop proches des lits des ravines, voire dans les lits des ravines.
- Comblement des ravines et lits de rivières par des déchets et gravats, bouchage d'ouvrages.

- Extension de la ville sur les rives de l'embouchure et dans les zones de mangroves et de marécages de la plaine en zones inondables avec des hauteurs de submersion dépassant souvent 1 m.
- Ouvrages de drainage insuffisants ou comportant des défauts de conception.
- Dégradation d'ouvrages existants ou absence d'entretien.
- Ravines ou talwegs sans ouvrage de captage ou de dérivation vers les zones habitées.
- Construction dans la plaine sur des remblais et insuffisance d'élévation des fondations.
- Etablissement de constructions en zone marine sur le rivage.
- Débordement de fossés et canaux anciens.
- Débordement de fossés et canaux anciens peu ou pas entretenus.
- Travaux de renforcement ou de profilage inadaptés.

Il en résulte que les phénomènes qualifiés d'inondation avec des impacts non négligeables peuvent résulter d'une convergence des dysfonctionnements plus que d'un phénomène naturel fort. La crue de novembre 2014 survenue pour un cumul de pluie non extrême sur une semaine va dans ce sens et montre une augmentation du nombre d'évènements impactant directement liés aux facteurs d'aggravation de l'exposition, de la vulnérabilité et de la création parfois pure d'un aléa (sur un ouvrage) liés à une inadaptation de l'action humaine.
De ce fait, l'approche de cartographie du risque est réalisée d'abord via une évaluation du niveau danger local en fonction de plusieurs critères, plutôt que par une approche séparant aléa, enjeux et vulnérabilité telle qu'elle est entreprise dans les Plans de Prévention des Risque Inondation (PPRI) en France. L'aléa est le plus souvent difficilement caractérisable.
L'échelle de gravité développée depuis 2009 avec le CNIGS, a été améliorée pour couvrir désormais toute la palette des phénomènes rencontrés en Haïti.
Cette approche permet de produire des cartes utiles à la fois pour l'aménagement du territoire, la réduction de vulnérabilité, la gestion de crise.
L'enquête par questionnaire a permis de collecter un semi de points de mesure qui ont servi à alimenter la première cartographie d'aléa sur l'agglomération du Cap Haïtien.
La phase de cartographie hydrogéomorphologique, après croisement avec les autres informations aboutit à la production de plusieurs cartes :

- Une carte de l'hydrogéomorphologie basée sur des photographies aériennes de 1978.
- Une cartographie d'occupation du sol comparative entre 1978 et 2013, montrant que la ville s'est étendue dans le lit même de la rivière du Haut du Cap, sur des zones inondables autour de la lagune, sur des zones littorale de mangrove.
- Une carte de dangers liés au risque d'inondation et de ruissellement sur la ville du Cap.
- Une carte de zone non aedificandi destinée à réduire les risques pour les personnes et à préserver les écoulements ou des zones tampon.

Deux types de zones non aedificandi sont proposées. Les critères de qualification en zone non aedificandi proposés sont basés sur :

Zone 1	Une zone située en front de mer correspondant à des zones de mangroves colonisées ou toujours présentes, qui font partie du domaine intertidal et est atteint par les grandes marées comme les marées normales.
Zone 2	Une zone située le long du cours d'eau principal et autour de la lagune en voie de colonisation. Elle correspond à des zones d'expansion de crues fréquentes (et non pas exceptionnelle) et s'apparente au lit actif visible sur l'imagerie aérienne de 1978.
Zone 3	Une zone située le long de couloirs d'écoulements torrentiels ou rapides sujette aux coulées boueuses, de fortes érosions ou dépôts et dont les flancs sont instables et génèrent des chutes de blocs, des glissements de terrain. Une seule zone de ce type a été représentée à l'ouest de la ville.

L'acquisition d'un MNT LIDAR sur l'agglomération du Cap Haïtien a permis de produire des cartes précises sur une partie de la ville mais pas dans sa totalité. L'analyse n'a pas été poussée jusque dans les zones de pentes fortes sujettes à des glissements de terrain et des éboulements.
Les cartes produites peuvent être exploitées au 1/25 000 jusqu'au 1/10 000. Néanmoins, les portions de ravines étroites dans la ville haute, requièrent une intervention complémentaire à l'aide de données LIDAR finales et de complément d'analyse de terrain ou une analyse au cas par cas, dans des zones très étroites où la cause du risque est liée à un ou plusieurs bâtiments installés dans le lit de la rivière ou de l'écoulement temporaire.
Les données exploitées étaient cependant provisoires et l'imagerie aérienne acquise avec le MNT LIDAR n'était pas disponible. Le présent travail devra être affiné et étendu dès disponibilité de ces données définitives.
Une large zone de la plaine est considérée comme à danger fort. Sur le piémont des mornes et dans les ravines, le danger reste plus concentré à proximité des zones naturelles d'écoulement torrentiel ou contraint par les habitations et les aménagements. Les cartes sont présentées dans le rapport et seront remises au CIAT sous forme de base de données SIG.
Des différents constats cumulés et croisés, on tire une série de recommandations sur les principaux axes qui permettrait de réduire l'exposition au risque d'inondation par débordement de cours d'eau et ruissellement. Ces axes principaux sont les suivants :

- AFFINAGE DE LA CONNAISSANCE DES ALEAS ET DES RISQUES
- GOUVERNANCE ET CONTEXTE REGLEMENTAIRE
- FACILITER L'ECOULEMENT DANS LA RIVIERE DU HAUT DU CAP
- DEGAGER L'ESTUAIRE ET DRAGUER SON LIT, REDUIRE L'APPORT EN SEDIMENTS
- FACILITER L'ECOULEMENT DANS LES RAVINES
- DECOLONISER LES BERGES, LES RIVAGE, LES FONDS DE RAVINCES POUR REDUIRE L'EXPOSITION
- REDUIRE LA VULNERABILITE DU BATI
- AMELIORER LA QUALITE DE CONCEPTION ET DE REALISATIONS DES OUVRAGES ET RENFORCER LES CAPACITE DU MTPTC
- PROGRAMMATION ET AMENAGEMENT DU TERRITOIRE INTEGRANT LES ALEAS

2 INTRODUCTION - RAPPEL DES OBJECTIFS

2.1 Objectifs de l'étude

Le CIAT a lancé une étude de cartographie des zones inondables sur la ville du Cap Haïtien, deuxième ville d'Haïti pour laquelle aucune cartographie précise des zones exposées n'existe pour l'instant.

Le Cap Haïtien a vocation à devenir le pôle économique principal du nord du pays et est déjà un pôle urbain majeur (Réf. 8 - P).
La ville subit cependant de fréquentes inondations qui affectent considérablement sa population, son économie, le transit commercial. Elle s'est considérablement étendue depuis les années 80 dans des zones de plaine exposées au risque d'inondation.

Il convenait donc de produire rapidement une première cartographie de cette exposition, des types de phénomènes, de comprendre leur origine afin d'intégrer cette compréhension dans la planification du développement de la ville.

L'inondation de novembre 2012 a montré la vulnérabilité de la ville à des pluies extrêmes. La ville est aussi très sensible aux inondations, débordements par ruissellement urbains voire des coulées boueuses lors de pluies de faible intensité en raison de dysfonctionnements multiples dans son système d'évacuation des eaux pluviales. Les crues de novembre 2014 l'ont montré.

La partie basse de la ville située dans une plaine marécageuse de mangrove, est également exposée aux risques provenant de l'océan (tsunamis, houles de tempêtes de cycloniques).

Une évaluation de ce niveau d'exposition a aussi été réalisée.

L'approche cartographique est une extension de celle développée depuis 2005 avec le CNIGS pour la cartographie de zones inondables en Haïti.

Les objectifs détaillés définis dans les TDR sont les suivants

I. Objectifs de la consultation

1. **Déterminer l'origine du risque inondation et les éléments à la base de la submersion marine ;**
2. **Déterminer les niveaux de danger en fonction des zones inondées au cours des dernières années ;**
3. **Déterminer les zones non aedificandi;**
4. **Fournir des indications pour une étude plus approfondie.**

II. Tâche de la firme/groupe d'experts :

Concrètement, la firme ou le groupe d'experts devra:

1. **Identifier les types d'événements hydrométéorologiques ayant affecté le Cap Haïtien et ses environs au cours des 20 dernières années;**
2. **Documenter l'évolution de la croissance urbaine par rapport à la vulnérabilité des milieux à l'inondation ;**

3. **Identifier les zones de danger prioritaires et non constructibles ;**
4. **Déterminer les hauteurs de submersion ;**
5. **Définir le programme de mesures topographiques complémentaires.**

La zone d'étude correspondra à la zone urbaine de Cap haïtien.

III. Extrants attendus

Il est attendu de cette consultation :

1. **Livrable 1 : Un rapport sur l'analyse des données hydrométéorologiques, les enquêtes de terrain, les circonstances et conclusions concernant l'évènement de novembre 2012, le zonage de danger, les compléments d'étude souhaitable.**
2. **Livrable 2 : Une cartographie hydrogéomorphologique du risque inondation de la rivière grise, de l'évolution des menaces d'inondation, une cartographie des hauteurs d'eau, des niveaux de dommages récents.**
3. **Livrable 3 : Une carte d'aléa et de danger synthétique. Cette cartographie inclura un dénombrement des enjeux concernés par les crues extrêmes et exposant les résidents à un danger de mort ou à la destruction du bâti destinées à être non aedificandi ou justifiant l'expropriation.**

L'étude n'a pas pour objectif d'analyser le fonctionnement des bassins versants et des cours d'eau sur les plans hydrologique ou hydraulique. Une telle étude peut être proposée après avoir identifié les phénomènes, leur localisation, les types de mécanismes, leurs effets sur le territoire et les données disponibles pour entreprendre une étude hydraulique.
Elle viserait alors à analyser le fonctionnement hydraulique de chaque bassin versant, déterminer le comportement des ouvrages existants lors des crues et proposer un dimensionnement et des mesures d'accompagnement adéquats. Ces objectifs ne pourront être atteints que dans un second temps.

Cependant, des analyses et des mesures de terrain ont été réalisées pour produire une carte d'exposition au risque d'inondation et une carte de danger.
Une proposition de zones non aedificandi est faite sur les zones qui doivent être dégagées pour favoriser l'écoulement ou évacuées en raison d'un niveau de danger lié à la submersion trop élevé et trop fréquent pour les riverains.

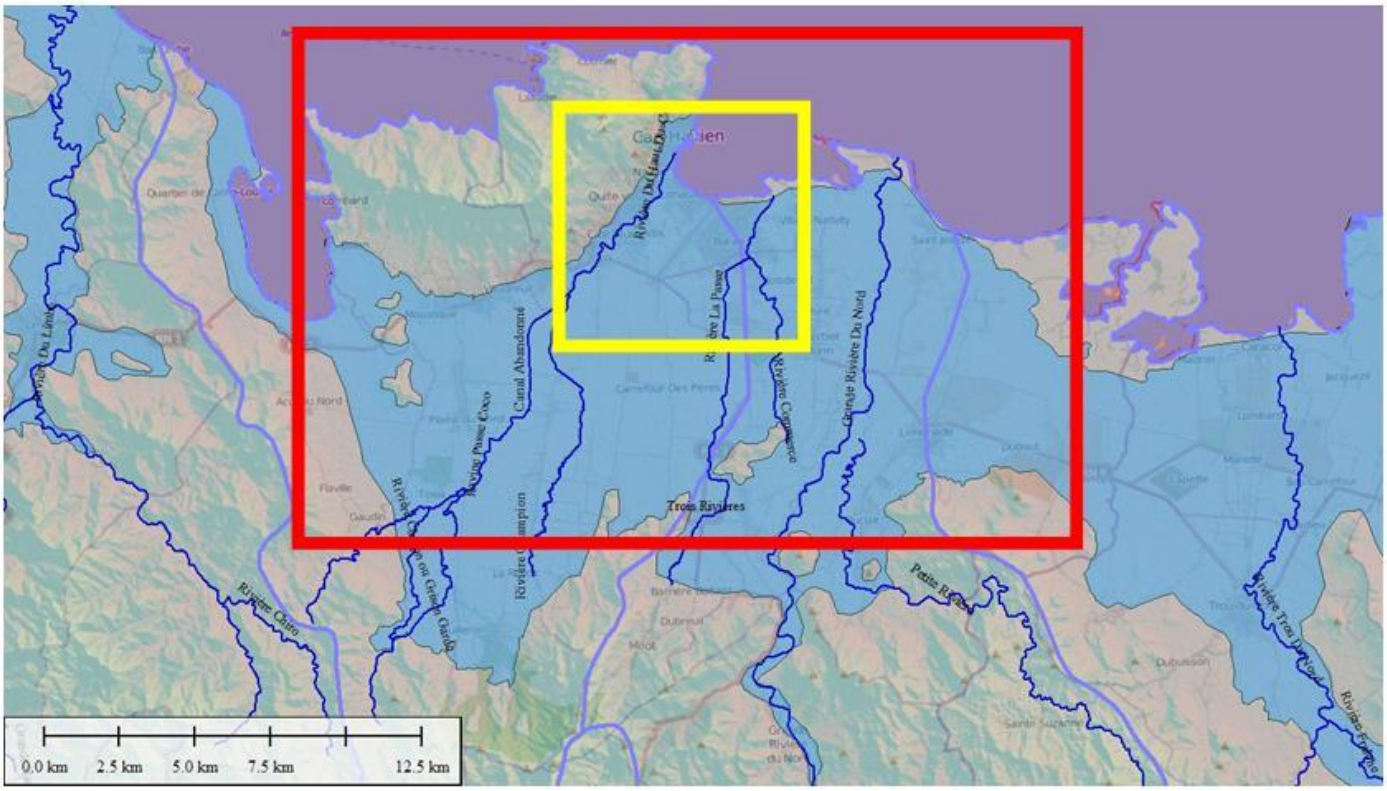
L'analyse de terrain par enquête auprès de riverains et observation des zones de débordement, a permis d'une part de produire la carte d'exposition et de danger face au risque de crue mais aussi d'identifier des causes purement anthropiques d'augmentation du niveau d'aléa, d'exposition, de vulnérabilité.

Des recommandations étaient exigées dans le cahier des charges et sont présentées en fin de document. Elles seront intégrées à une note additionnelle de synthèse reprenant les éléments essentiels et ces recommandations.

2.2 Zone d'étude

La zone d'étude est constituée par l'agglomération du Cap Haïtien et les secteurs amont de la plaine situés au sud. On a considéré les cours d'eau allant de la Grande rivière du Nord à l'ouest jusqu'à la rivière du Haut du Cap au pied des mornes où se développe la ville.

L'analyse hydrogéomorphologique et l'identification des zones "non aedificandi" détaillée portent sur la zone restreinte (zone jaune dans la carte ci-après).



Carte 1 : définition de la zone d'étude au Cap Haïtien. En rouge la zone d'analyse hydrogéomorphologique. En jaune la zone de cartographie d'aléa et danger inondation.

3 MÉTHODOLOGIE

3.1 Méthodologie et rendu de l'étude, équipe de travail

La méthodologie adoptée est basée sur les 5 composantes suivantes :

- Analyse historique à travers la presse, le web, la bibliographie.
- Analyse d'enregistrements pluviométriques.
- Analyse hydrogéomorphologique.
- Observation et expertise de terrain.
- Enquêtes de terrain sur la phénoménologie, les intensités et impacts des inondations auprès des habitants.
- Exploitation sur SIG et croisement pour production d'une carte de dangers liés aux inondations.

L'approche hydrogéomorphologique (HGM) adoptée est éprouvée en Haïti depuis 2005, l'exposition au risque d'inondation a pu être cartographiée sur de nombreuses communes par le CNIGS.

L'étude a été réalisée par M. Richard GUILLANDE, expert de SIGNALERT sarl, épaulé par le CNIGS qui a pris en charge la fourniture de données photographiques et cartographiques, la logistique sur le terrain et la réalisation d'enquêtes de terrain dans la ville du Cap. Monsieur Michael SAIMBERTIL, ingénieur géologue pris en charge l'étude du côté CNIGS.

4 EXPOSITION LA VILLE DU CAP HAÏTIEN AUX RISQUES NATURELS

4.1 Historique et développement de la ville

Située au nord de la République d'Haïti, la commune du Cap-Haïtien est enclavée entre l'Océan Atlantique et la grande plaine du Nord vers l'est et le Morne du Cap qui la domine à l'ouest. Le Cap-Haïtien est la deuxième ville du pays.
Elle a été fondée en 1670, bien avant Port-au-Prince, les Cayes, Jérémie ou Jacmel.
Elle mesurait alors près de 600 mètres de long et 300 mètres de large et avait en tout, 56 rues, îlots et carrés.
Au temps des flibustiers, la ville du Cap s'étalait au niveau des marais de la plage de Petite Anse. Comme les bateaux y accostaient difficilement et que la ville était toujours sujette aux inondations occasionnées par les marées, la ville a été transplantée dans les hauteurs des mornes du Haut du Cap. Le commerce maritime a continué à se développer au Bas du Cap, dans la Baie.
La ville a été détruite par le tremblement de terre et un tsunami le 7 mai 1842, qui a occasionné la mort de plus de la moitié de la population (environ 5 000 morts).
Le Cap-Haïtien se compose de trois sections communales qui s'étendent constamment depuis les années 80 et tendent à fusionner (Carte 6): · *Le Haut du Cap (au sud) :* Le centre de cette section se trouve au sud de la Ville du Cap, à près de 8 km, et comprend les grandes habitations suivantes : Breda, Haut du Cap, Morne Cabane et Sainte Philomène. Comme la ville du Cap, une partie de ses habitations longent l'embouchure de la rivière du Haut du Cap et une autre partie s'élève dans les mornes surplombant la commune.

· *La Petite Anse (au sud-est) :* Elle est localisée entièrement dans la plaine entre la rivière du Haut du Cap à l'ouest et la mer au nord-est. Elle comprend les grandes habitations suivantes : Fort St Michel, Shada, Baudin et Petite Anse

· *La Bande du Nord (à l'ouest) :* Elle comprend de grandes habitations, toutes situées dans les hauteurs des mornes du Cap : Fort Berly, Labady, D'Espagne, Vigie, Castrel, Martin et Goderas.

Ce sont les sections du Haut du Cap et de la Petite Anse qui concentrent la plus grande partie de la population comme le montre la Carte 3 sur laquelle apparaissent clairement les zones urbanisées.



Carte 2 : répartition des zones urbaines sur les sections communales du Haut du Cap (fond Google Maps).

La ville du Cap est située au pied de mornes d'où se déversent les eaux des principaux drainages pluviaux, égouts et ravines provenant des hauteurs. La ville grimpe désormais progressivement dans les mornes qui limitaient autrefois son extension vers l'Ouest, sur une zone de pente moyenne composée de colluvions érodés depuis les mornes. Elle s'est étendue depuis une quinzaine d'années sur les pentes fortes des mornes, faute d'espace.

Le versant Est du morne du Cap est sillonné de ravines qui déversent leurs eaux sur la ville : la ravine Belle Hôtesse près de la rue 24, la ravine « Zetriye » de la rue Bel air à la rue 0 et la ravine de Sainte Philomène. Ces dernières endiguées et canalisées de longue date dans la ville coloniale, ne l'étaient pas dans leur partie haute où sont désormais installées de nombreuses habitations, qui pour certaines sont dans le lit de la ravine même ou délimitent son lit.

La ville du Cap s'est développée sous la pression de l'exode rural, à des moments qu'il est important d'indiquer :

- Les années 1930 et 1940 : l'avancement sur la mer pour construire la rue A et plus tard le boulevard du Bord de Mer.
- Sous la Présidence d'Estimé, l'entrée du Cap qui passait par la route du Bel Air a été redessinée : on a construit sur des remblais en repoussant la mer pour aménager la route qui conduit à la Barrière Bouteille.
- En 1971, début des travaux du nouveau port.
- Dans les années 1978-79, les quartiers SHADA, CONASA ont été colonisés après la construction du Pont Neuf. A cette même époque, on a retracé la Fossette en fonction de la nouvelle rue conduisant au pont.
- Dans les années 82-83, construction de la zone dénommée « Cité Champin ».
- Dans les années 86-87, construction de la « Cité du peuple ».
- Après 1986, la route qui mène à l'aéroport (retracée dans les années 70) est colonisée : surgissent les quartiers de Bas Aviation, Fort St Michel, Fougerolles et Conasa.

Les grands travaux d'infrastructure réalisés dans ces différentes zones au cours de l'aménagement des routes n'avaient pas tenu compte de l'ampleur de l'expansion urbaine qui suivrait. Il était prévu, par exemple, que les drains se déverseraient dans des zones inhabitées aujourd'hui totalement urbanisés. Ces espaces colonisés aujourd'hui ne disposaient d'aucune infrastructure urbaine.
La partie basse de la ville (Petite Anse) est établie sur un ancien cordon dunaire qui formait une plage limitant une baie marécageuse qui sert d'estuaire à la rivière du Haut du Cap et à quelques autres ruisseaux et canaux d'irrigation anciens qui s'y déversent.
De nouvelles habitations apparaissent constamment dans les marécages ou dans la zone de mangrove littorale, repoussant progressivement les limites de la baie par des remblais mais augmentant également l'exposition aux aléas provenant de la terre comme de la mer.

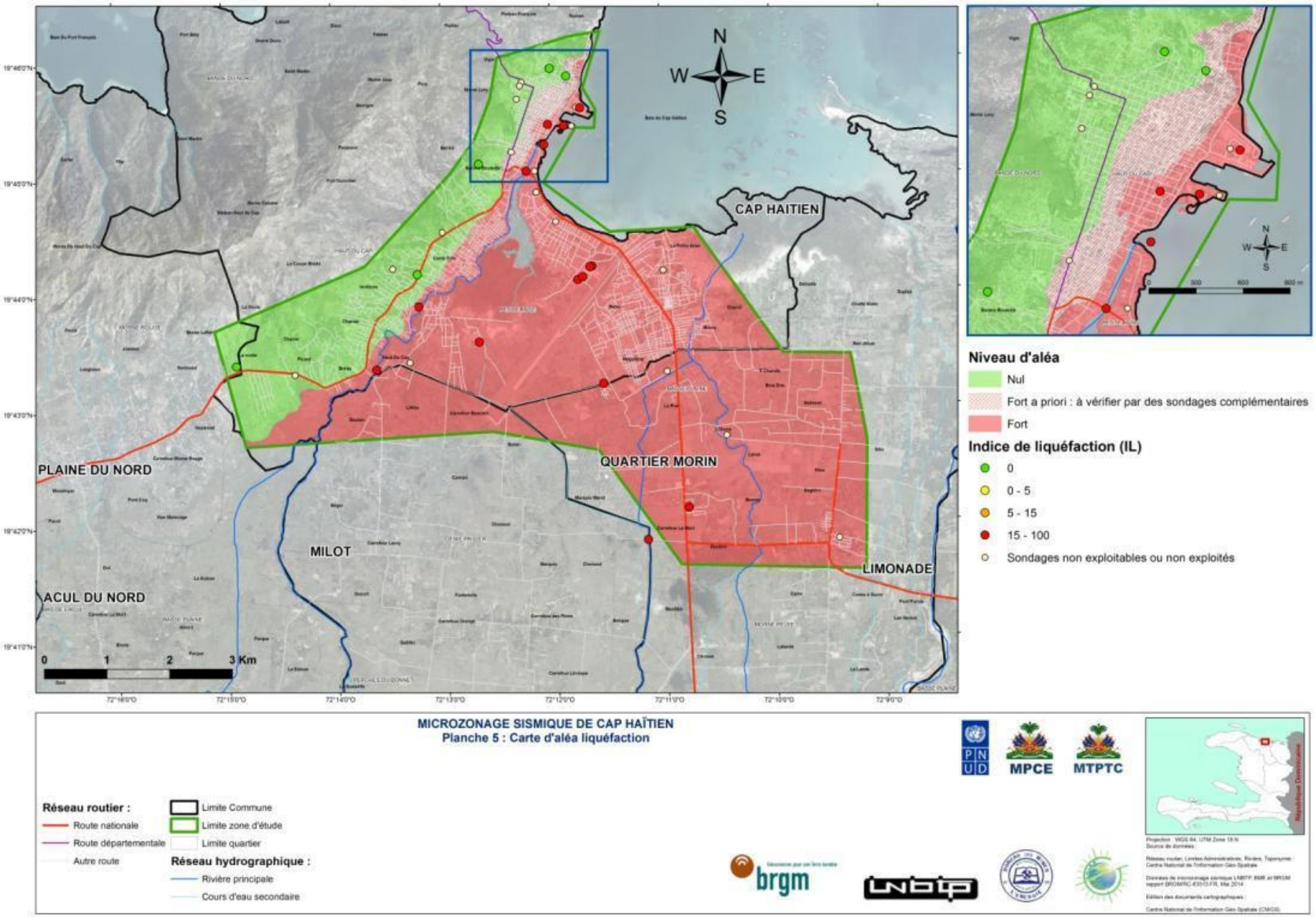
4.2 Exposition aux menaces d'origine naturelles

Le séisme de janvier 2010 à Port-au-Prince a déclenché une prise de conscience sur la méconnaissance de l'exposition aux risques naturels de la seconde ville du pays aux différentes menaces naturelles. Plusieurs programmes nationaux et internationaux ont été lancés depuis et ont permis de mieux appréhender les phénomènes auxquels est exposée la ville du Cap. Les premiers efforts ont porté sur le risque sismique.

La ville du cap est exposée à plusieurs types de menaces naturelles:

4.2.1 Le risque sismique

Le programme du PNUD, dédié à la zone nord, a entamé une analyse de l'aléa sismique et a abouti à un zonage sismique de la ville montrant qu'elle est pratiquement partout fortement exposée (Carte 3, Réf. 7) hormis dans les mornes qui en revanche, sont eux, exposés à des risques de mouvements de terrain (voir Carte 4).



Carte 3 : carte d'aléa liquéfaction en cas de séisme sur l'agglomération du Cap haïtien selon l'étude de microzonage sismique de la ville de 2014 (Réf. 7).

4.2.2 Le risque tsunami

Ce risque est avéré par l'historique de la ville et l'évènement de 1842. L'UNESCO mène un programme d'étude sur la région nord et la ville du Cap Haïtien intégrant la cartographie des zones exposées à partir de simulation de scénarii de tsunamis. Les résultats de ce programme ne sont pas accessibles ni publiés, les études ne se terminant que fin 2014. La partie haute de la ville a fait l'objet d'une campagne d'installation de panneaux de fléchage d'itinéraires d'évacuation en cas de tsunami. Il n'existe en revanche pas encore de système d'alerte à la population opérationnel. Afin de ne pas perturber ce programme UNESCO en cours, cet aléa de submersion par les tsunamis n'est pas inclus dans la présente étude. Les cartes d'exposition à cet aléa devraient être publiées en 2015.

4.2.3 Le risque de submersion marine par les houles cycloniques

Bien que la ville du Cap ait peu d'antécédents de submersion marine par des houles cycloniques, ce dernier phénomène a nécessairement déjà frappé la zone de l'estuaire (quartier petite Anse).
Les impacts anciens sont peu documentés mais la submersibilité fréquente connue de la zone de Petite Anse par grande marée laisse supposer une submersibilité importante en cas de houle et de surcote cyclonique, qui pourrait survenir lors d'une trajectoire inhabituelle de cyclone (orientée ouest ou sud-ouest). En effet, la côte sud d'Haïti est la plus exposée, la plupart des cyclones ayant une progression en général du sud/Sud-Est vers le Nord Nord-ouest. Cette exposition sera traitée plus loin dans le document. Il existe de nombreux cas récents de trajectoires inhabituelles de cyclones dans la région Caraïbes descendant vers le sud, le sud-ouest voire rebroussant temporairement chemin vers l'est. Ce type de trajectoire inhabituel qui pourrait mettre la côte nord d'Haïti sous l'exposition de très fortes houles et surcote de tempête.

4.2.4 Risque mouvement de terrain et coulées bouseuses

Le risque de mouvement de terrain est très présent au Cap haïtien dans la zone des mornes. Cet aléa a été cartographié dans le cadre du microzonage sismique du Cap Haïtien (Réf. 7) dont la carte correspondante est présentée à la Carte 4.
Trois types de phénomènes ont été identifiés :

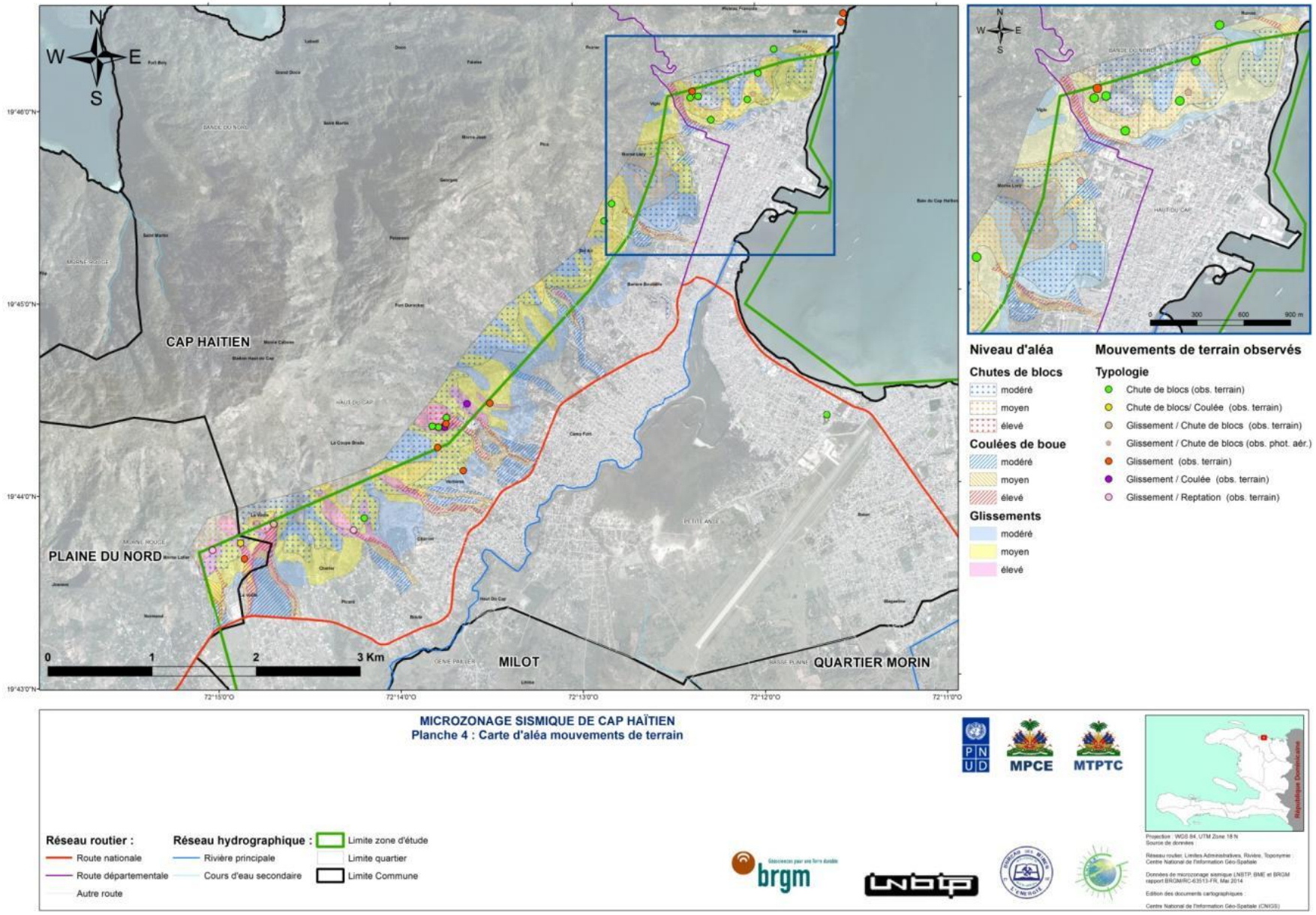
- Les glissements de masse.
- La chute de blocs.
- les coulées boueuses.

Aucun de ces phénomènes n'a été pour l'instant déclenché par un séisme. En revanche, chutes de blocs et coulées boueuses accompagnent fréquemment les épisodes de pluies intenses associés à des crues en faisant des victimes.

Ces phénomènes n'ont, cependant généré que peu de victimes (aucun évènement ancien), à l'époque où les flancs des mornes étaient inhabités et la ville limitée à la zone de colluvions de pente faible jusqu'à la mer.
Des victimes sont désormais comptées lors des forts épisodes pluvieux parmi les résidents des habitats précaires dans les zones situées sous les escarpements ou dans les segments les plus étroits et encaissés dans ravines en amont de la ville coloniale.
Le phénomène de coulées boueuses est connu sur quelques ravines prenant naissance en haut dans les mornes. Dans la partie basse de la ville, ces ravines sont relayées par des canaux débouchant soit sur la rivière du Haut du Cap, soit en mer.

Le temps de concentration des crues sur les petits bassins versants en amont de la ville est connu. Il est de l'ordre de 15 à 20 minutes.

Les ravines peuvent s'écouler sans débordement majeurs dans certaines portions lors de pluies continues mais déborder partout lors de pics de pluviosité intense sur des périodes courtes comme en novembre 2012.
Les débordements sont fréquents lors d'orages en raison de l'obstruction des ouvrages par des déchets ou des sédiments.



Carte 4 : carte d'aléa mouvement de terrain sur la ville du Cap Haïtien (Réf. 7).

4.2.5 Le risque inondation par débordement de cours d'eau.

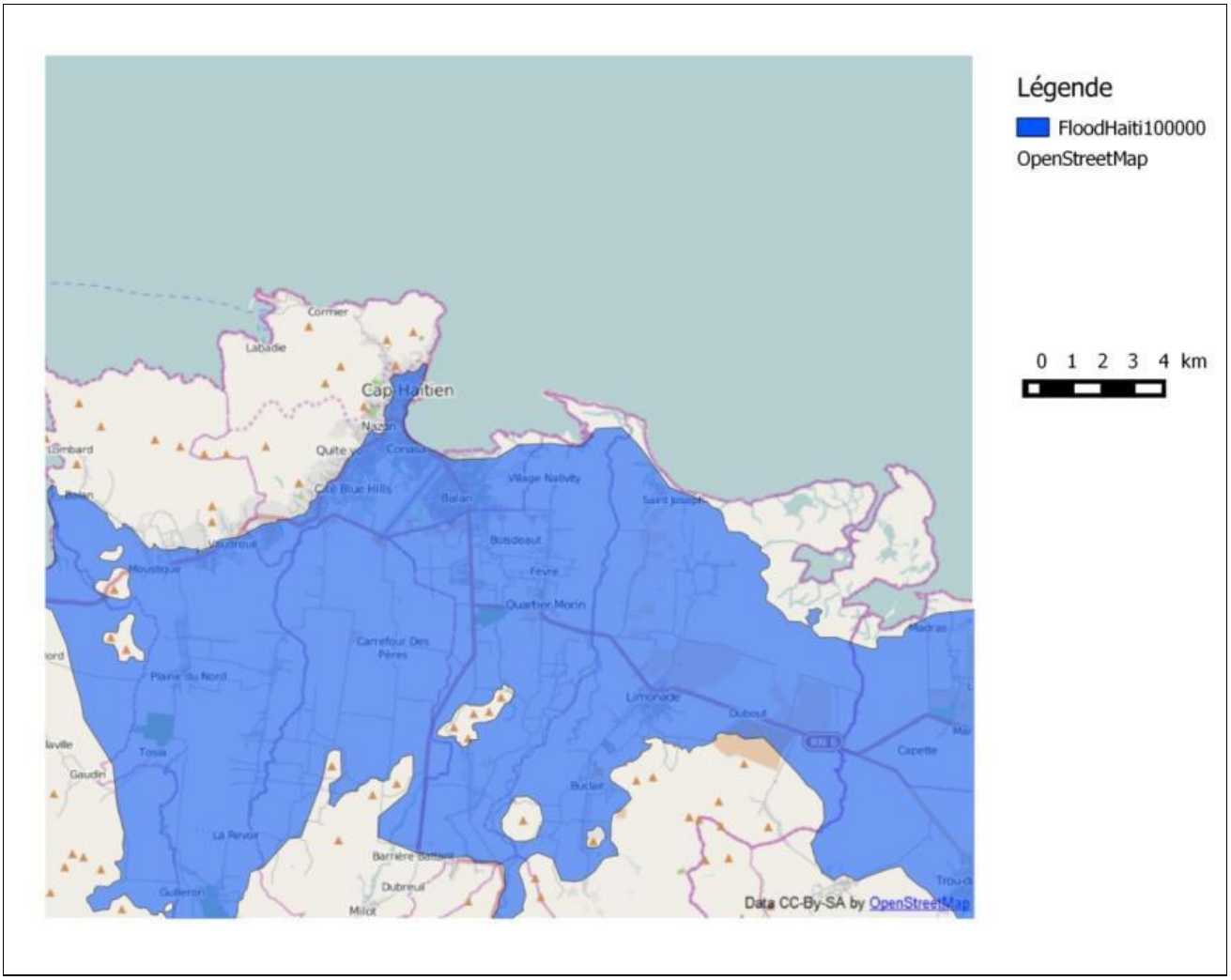
La ville basse est concernée par le débordement de plusieurs cours d'eau et en premier lieu **la rivière du Haut du Cap** qui passe au pied des mornes et délimite la zone de colluvions descendant de ces derniers. L'estuaire de cette rivière est désormais en pleine zone urbaine.
La plaine, située à l'ouest de la ville, est parcourue par plusieurs cours d'eau de tailles variées dont le plus grand est la **Grande Rivière du Nord** dont l'estuaire est situé à 7 km du centre-ville. Une série de petits ruisseaux partiellement canalisés, exploités depuis longtemps pour l'agriculture, draine une partie de cette plaine en direction du nord-ouest pour se déverser dans la lagune ou la rivière du Haut-de-Cap.

Ces écoulements plus ou moins canalisés, pour certains abandonnés et très dégradés, non entretenus sont méconnus, peu cartographiés. **Aucune carte récente des canaux et des chenaux anciens n'a pu être identifiée après interrogation du MARNDR et du MTPTC.**

La partie haute de la ville, sur les mornes et à leurs pieds est concernée par le ruissellement pluvial urbain et les coulées boueuses dans certaines ravines, qui venaient autrefois se déverser sur les éboulis et colluvions de pieds des Mornes directement dans la rivière du Haut du Cap ou en mer.

Les témoignages recueillis et les observations durant l'enquête de terrain, montrent que les flux provenant des ravines sont en grande partie dispersés hors des canaux d'écoulement dans le zone urbaines amonts, en raison de débordement de ces derniers et qu'une petite partie seulement des débits continue à transiter dans les canaux jusqu'à la rivière du haut de Cap. Ces constats sont développés plus loin et en annexe.

Aucune carte à grande échelle de l'inondabilité de la ville du Cap n'est disponible à ce jour. Le CNIGS a produit en 2009 une carte nationale des zones favorables au risque d'inondation sur la base de critères hydrogéomorphologiques dont l'échelle au 1/100 000 (Carte 5) ne permet pas une exploitation pour la planification urbaine et l'évaluation de danger.

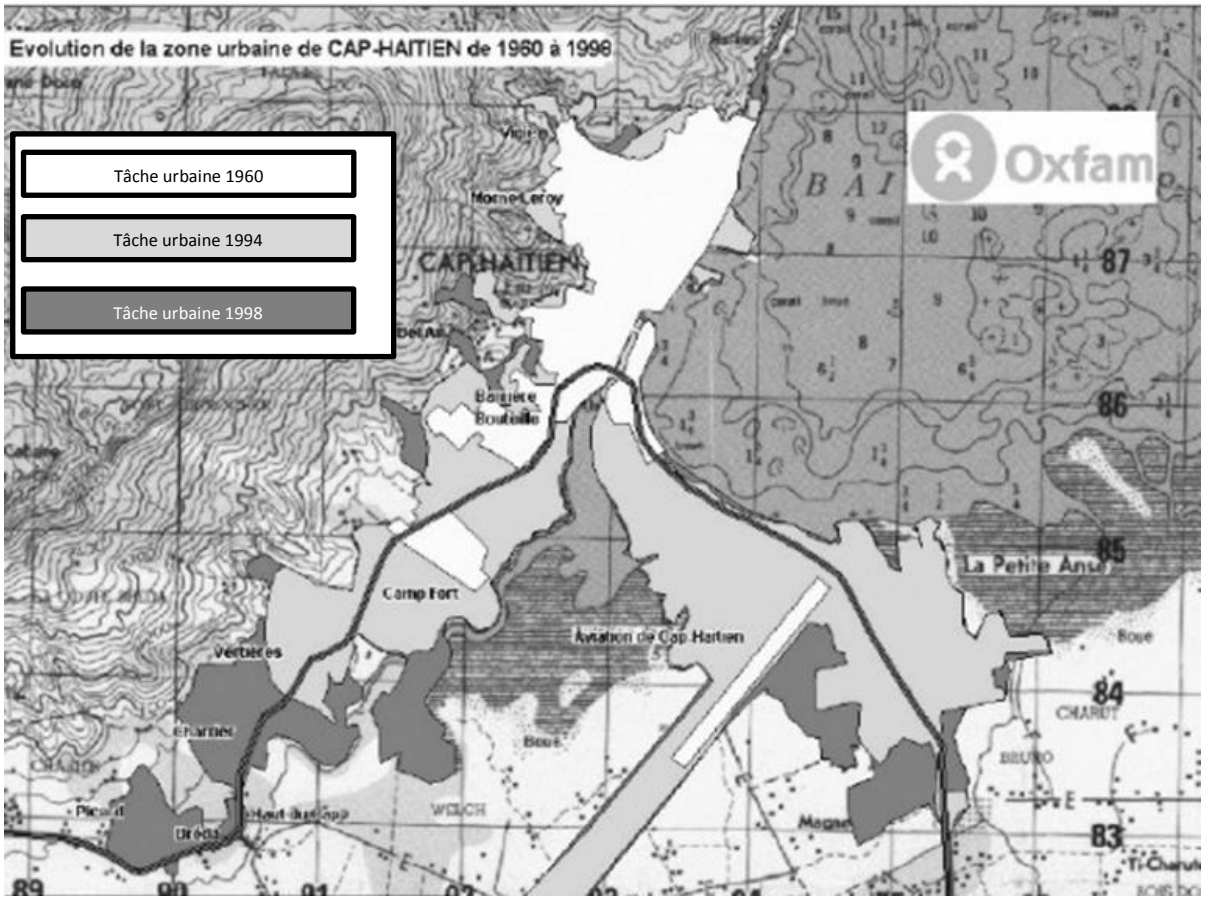


Carte 5 : extrait de la carte au 1/100 000 des zones favorables au risques d'inondation du CNIGS/R. Guillande (2009).

PARTIE 1 : ANALYSE DE L'EVOLUTION D'OCCUPATION DU SOL, CRUES HISTORIQUES, SUBMERSION MARINE

5 ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL

En 2002, une première étude d'OXFAM (Carte 6 Réf. 1) s'était intéressée aux risques naturels sur le Cap Haïtien et avait déjà identifié qu'une grande partie de l'extension de la ville depuis les années 60 s'était faite sur les zones de plaines inondables à l'Est (Carte 6, Réf. 1).
Aucune autre étude précisant les modalités ou analysant plus en détail cette expansion n'étant identifiée, une nouvelle analyse a été réalisée en cartographiant à partir de photographies aériennes de 1978 fournies par le CNIGS, l'hydrogéomorphologie initiale avant l'explosion urbaine de ces dernières décennies et la zone urbaine de l'époque.



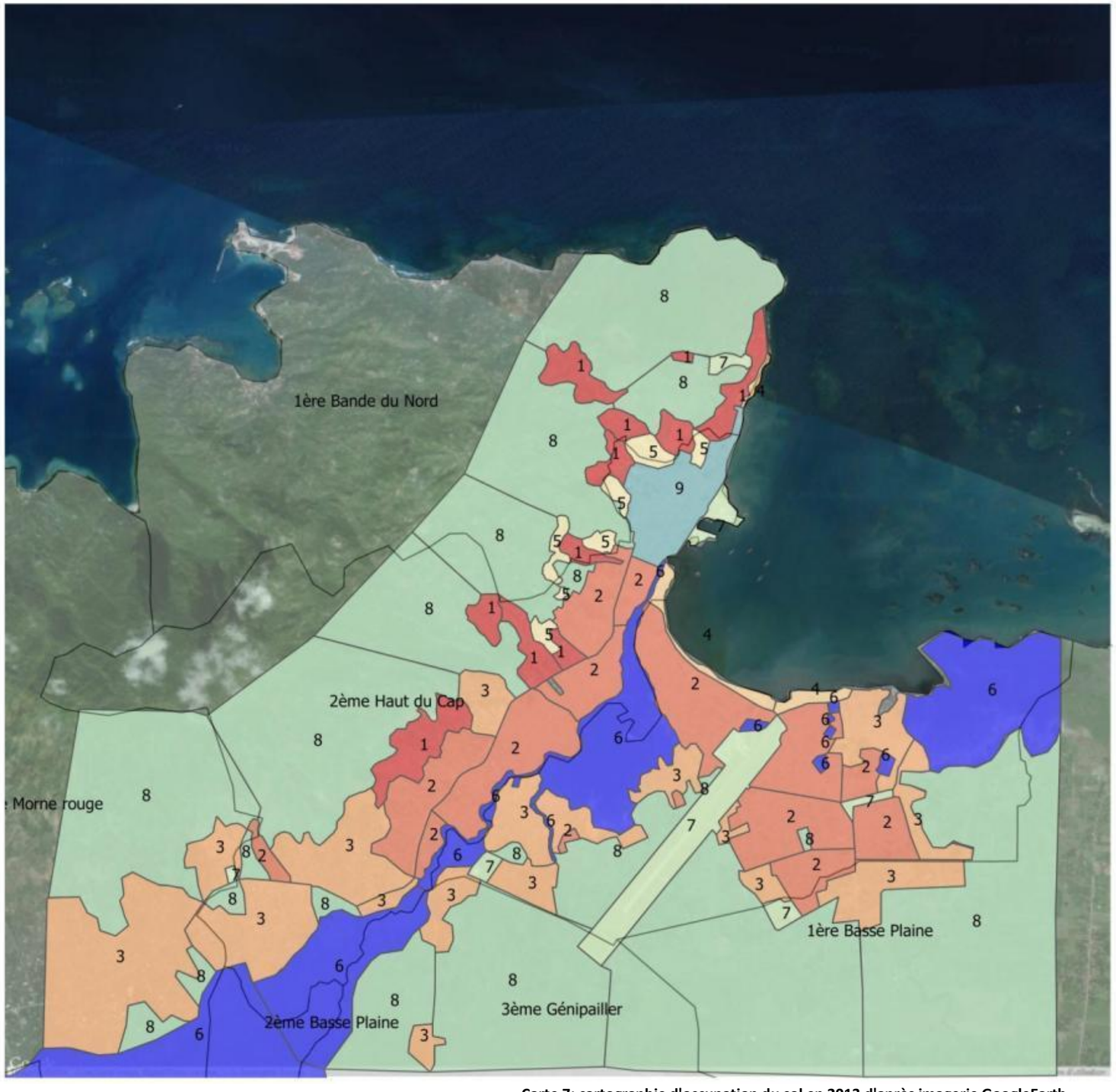
Carte 6 : extension de la zone urbaine du Cap Haïtien depuis les années 60 (Réf. 1).

5.1 Occupation du sol 2013

La cartographie d'occupation du sol récente a été réalisée sur de l'imagerie satellitaire haute résolution datant de 2010. 9 classes ont été définies (voir Carte 7).
Il est aisé de distinguer des zones de bâti ancien (antérieur à 1978, classe 9) et les zones de bâti récent postérieur (classes 1, 2, 3, 4 et 5), ainsi que les zones de progression de l'urbanisation (classe 3) vers les zones libres qui se densifient progressivement jusqu'à former un tissu urbain dense (classe 2) stable car saturé d'habitation.
Le processus de colonisation progressive de la zone de plaine inondable, des zones de mangrove littorale ou dans la lagune en amont de l'estuaire est parfaitement repérable avec un mitage progressif par étape :

1. délimitation de parcelles individuelles relativement espacées par pose de blocs de pierres, délimitant un rectangle.
2. remplissage de cette zone de remblai qui servira de fondation pour la future habitation.
3. construction des premières habitations dispersées.
4. densification avec apparition de nouvelles parcelles entre celles existantes, jusqu'à occupation complète des espaces libres.
5. apparition de voies de circulation ou de passage laissés libres sans planification apparente.
6. parfois apparition d'une voirie et d'ouvrages de drainage postérieurement à l'installation des habitations.

La comparaison avec la Carte 6 montre cependant que toutes les tâches urbaines en cours d'extension lors de l'étude en 2000 ont continué à s'étendre jusqu'en 2013, que ce soit sur les flancs des mornes, sur leur piémont vers le sud-ouest ou dans la plaine.



Légende

limite_sections_communales

couleur	Description	Code numérique sur la carte et dans la BD SIG
1	Urbanisation de morne peu dense	1
2	Urbanisation dense récente	2
3	Urbanisation peu dense ou démarrant	3
4	Urbanisation dense de bande littorale	4
5	Urbanisation informelle dense de morne	5
6	mangrove, lit mineur, zone estuarienne, lac, zone humide ou friche	6
7	zone d'activité, industrielle ou clôturée	7
8	zone verte non aménagée ou à dominante agricole	8
9	Urbanisation dense structurée ancienne (ville coloniale)	9

1 0 1 2 3 4 km

Carte 7: cartographie d'occupation du sol en 2013 d'après imagerie GoogleEarth.

5.2 Evolution de l'occupation du sol de 1978 à 2013.

La comparaison de l'occupation du sol de 1978 et de celle de 2013 permet de cartographier les évolutions de la zone urbaine relativement aux zones inondables de plaine mais aussi d'identifier certains mécanismes qui augmentent à la fois l'aléa et l'exposition.

Deux mécanismes sont détectables :

a) avancée de la zone urbanisée sur la mer par des remblais et colonisation de zones intertidales ou de mangroves.
b) empiètement et réduction de la largeur de l'estuaire de la rivière du Haut du Cap par remblais dans le lit mineur (déchets ou remblais de terre et de pierres).

Le couloir en eau de l'embouchure, qui mesure 1200 m de long est passé de 80 m de large au minimum en 1978 à moins de 30 m par endroit comme le montre la comparaison des Carte 8 et Carte 9 .
Les berges ont été remblayées, ont avancé dans la rivière puis ont été occupées par de nouvelles constructions sur toute la longueur du canal reliant la lagune à la mer.

Dans la zone amont, les constructions progressent très rapidement dans le lit mineur et finissent par le combler (voir chap. 0).
En aval, le même phénomène de réduction de la largeur du lit est aussi observé par l'apport constant de déchets et déblais et la progression dans le lit mineur des zones habitées.

Ces phénomènes d'origine humaine s'ajoutent à la quantité considérable de sédiments apportés dans le lit de la rivière du Haut du Cap par chaque crue. Il n'a pas été possible de vérifier si des dragages du lit ont été effectués mais cela parait peu probable.

Cette réduction et ce comblement progressif du lit ont pour effet de :

- rehausser le lit de la rivière.
- réduire la capacité des crues de la rivière du Haut du Cap à s'évacuer vers la mer.
- réduire la capacité des coulées et ruissellement torrentiels provenant des mornes à s'évacuer vers la rivière puis vers la mer.
- augmenter durée et hauteur de submersion par les inondations dans la zone amont de l'estuaire avec une influence sur toute la ville basse en période de forte pluie et de forte crue.

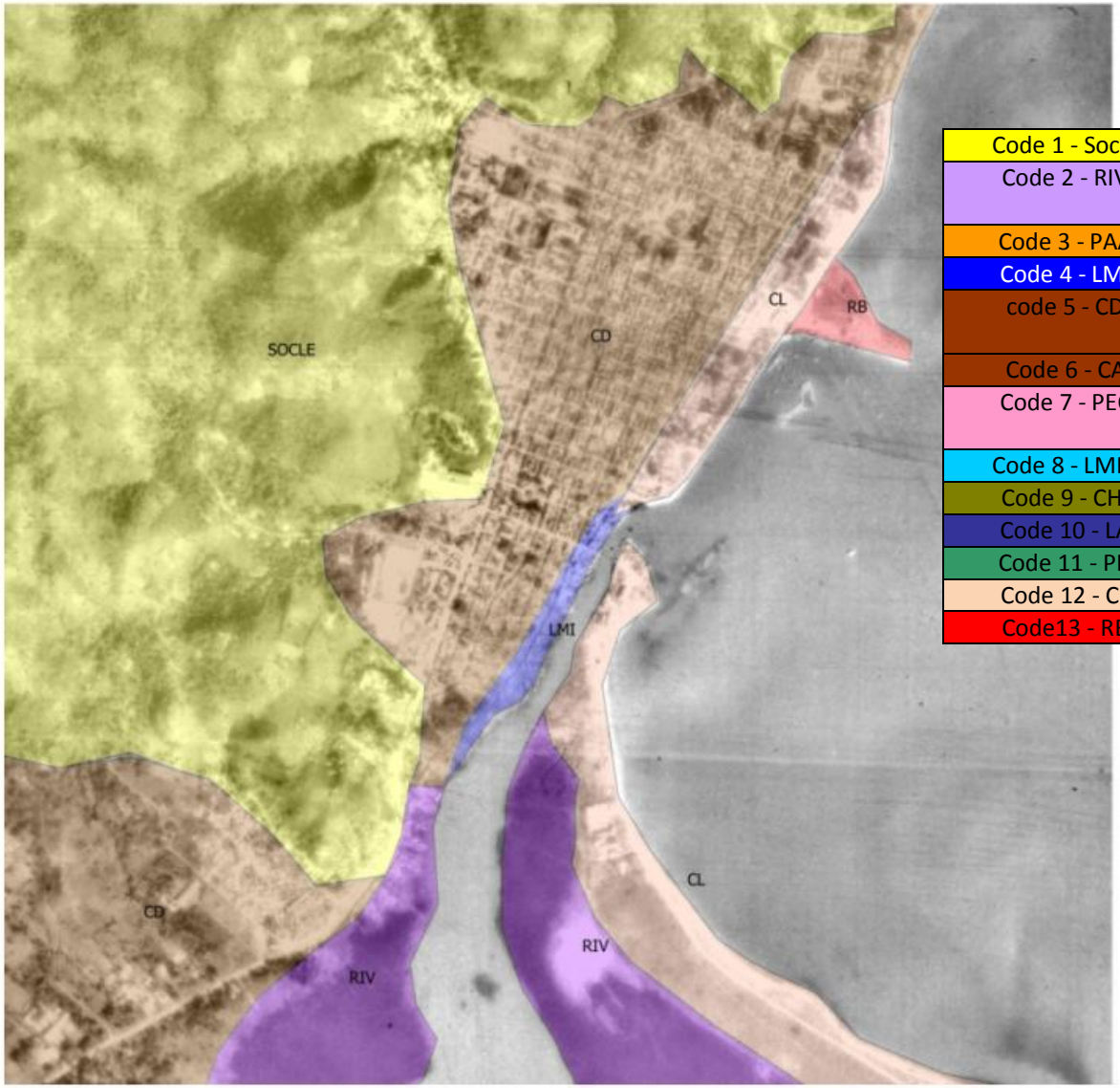
Le niveau de danger pour les foyers installés sur le lit mineur remblayé est extrême, ne fait qu'augmenter et ces constructions doivent être détruites pour redonner place aux écoulements et éliminer le risques pour leurs résidents

La légende détaillée des Carte 8 et Carte **9** est présentée en annexe au chapitre 11.7.4.

Code 1 - Socle	Socle ou substratum rocheux
Code 2 - RIV	Zone humide côtière (zone intertidale, mangrove, plages, salines)
Code 3 - PAA	Plaine alluviale ancienne
Code 4 - LMI	Lit mineur
code 5 - CD	Colluvions récents, cônes de déjection actifs, glacis récent
Code 6 - CA	Colluvions ou glacis anciens
Code 7 - PEC	Plaine alluviale récente ou plaine d'épandage de crue
Code 8 - LMM	Lit moyen ou lit majeur
Code 9 - CHI	Chenal d'écoulement intermittent
Code 10 - LA	Plans d'eau ou lacs (artificiels ou naturels)
Code 11 - PH	Plaine humide
Code 12 - CL	Cordon dunaire ou littoral, plages
Code13 - RB	Remblais artificiels

Tableau 1 : postes de légende de l'interprétation hydrogéomorphologique.

Carte 8: occupation du sol au niveau de l'estuaire de la rivière du Haut du Cap en 2013 (attention couleurs pleines altérées par la transparence)

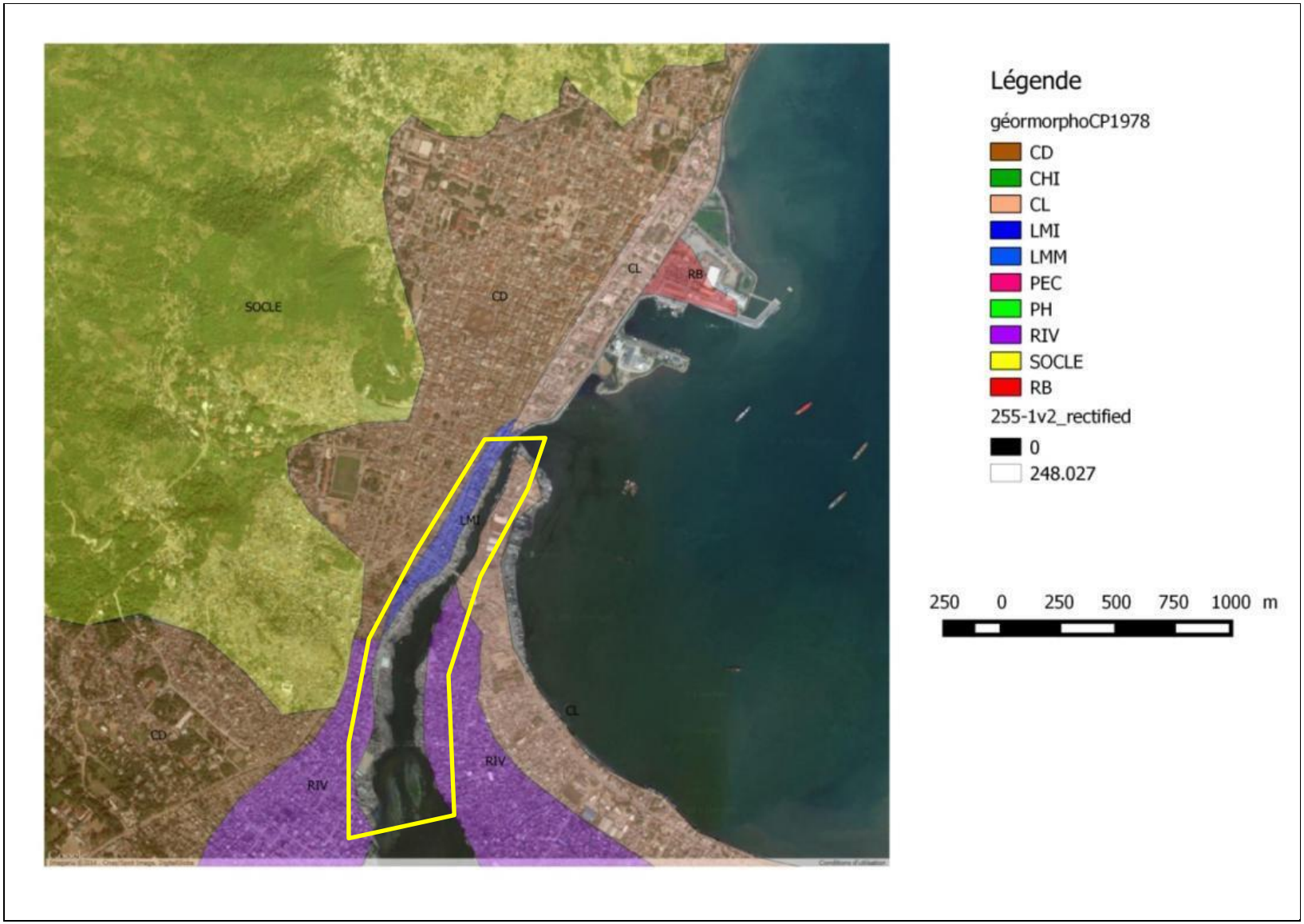


Légende

géormorphoCP1978

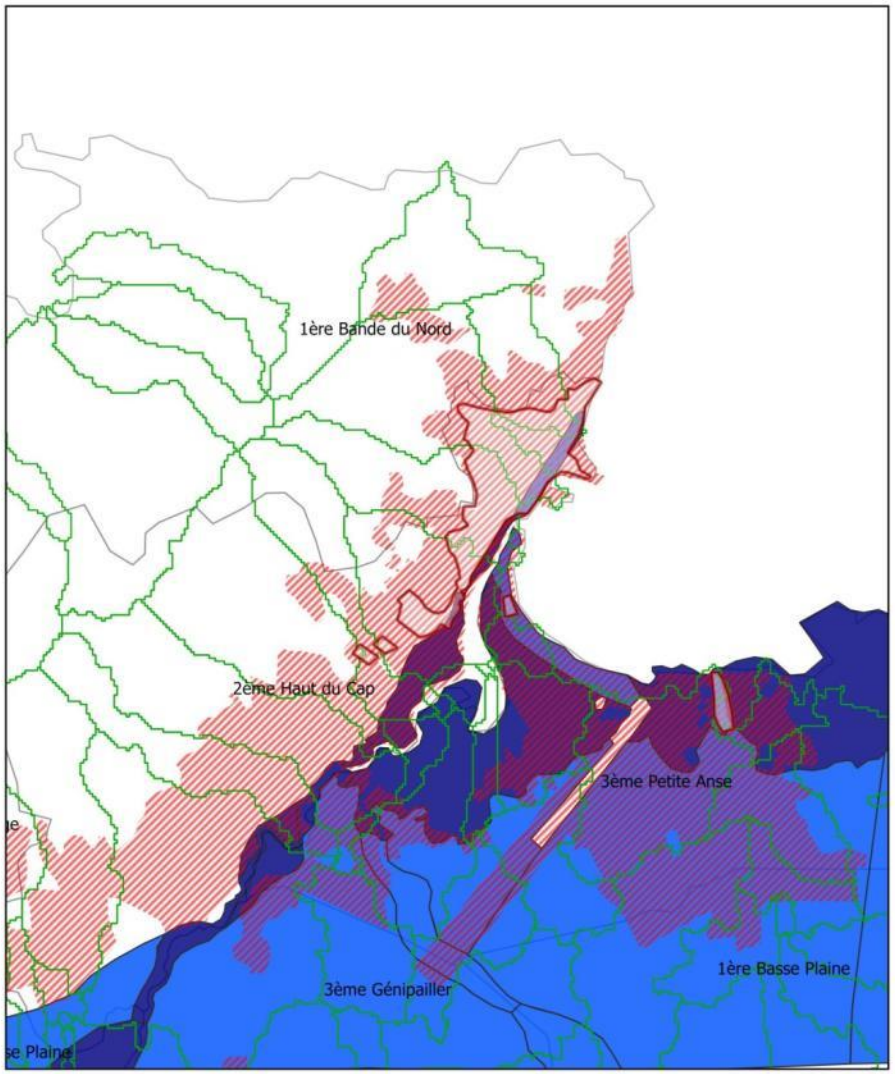
Code 1 - Socle	Socle ou substratum rocheux
Code 2 - RIV	Zone humide côtière (zone intertidale, mangrove, plages, salines)
Code 3 - PAA	Plaine alluviale ancienne
Code 4 - LMI	Lit mineur
code 5 - CD	Colluvions récents, cônes de déjection actifs, glacis récent
Code 6 - CA	Colluvions ou glacis anciens
Code 7 - PEC	Plaine alluviale récente ou plaine d'épandage de crue
Code 8 - LMM	Lit moyen ou lit majeur
Code 9 - CHI	Chenal d'écoulement intermittent
Code 10 - LA	Plans d'eau ou lacs (artificiels ou naturels)
Code 11 - PH	Plaine humide
Code 12 - CL	Cordon dunaire ou littoral, plages
Code13 - RB	Remblais artificiels

250 0 250 500 750 1000 m



Carte 9 : occupation du sol au niveau de l'estuaire de la rivière du Haut du Cap en 2013. Entouré en Jaune, le secteur de rétrécissement important de l'estuaire par remblais dans le lit de la rivière

Les zones urbaines exposées au risque de submersion par débordement des cours d'eau, de zones humides et principalement de la rivière du Haut du Cap sont exposées à la Carte 10. La totalité de la section de Petite Anse est une zone inondable.
Les zones concernées par le ruissellement pluvial et les coulées boueuses sur les flancs des mornes, demandent aussi des compléments d'analyse à partir des enquêtes de terrain et sont présentées dans la seconde partie de l'étude après exploitation de ces données d'enquête.



Carte 10 : comparaison des zones urbanisées en 1978 (trait rouge) aux zones urbanisées en 2013 (hachure rouge) en grande partie étendues dans la zone inondable par débordement de cours d'eau et de zones humides de la plaine.

6 INONDATIONS MAJEURES AU CAP HAÏTIEN DEPUIS LES ANNÉES 90

L'un des objectifs de l'étude est d'identifier les principales crues et inondations qui ont affecté la ville du Cap Haïtien depuis 25 ou 30 ans. L'identification de ces évènements a été entreprise en croisant 4 sources d'information :

- la presse nationale (Le Nouvelliste).
- la recherche sur sites web.
- la recherche sur données hydrométéorologiques disponibles.
- l'interrogation de riverains.

Dans certains cas, le croisement des sources a permis un calage des évènements parfois mal datés sur une seule source. La population ne garde en mémoire pratiquement que l'évènement extrême de novembre 2012, les inondations étant un phénomène désormais considéré comme «habituel» dans la ville.

6.1 Analyse de sources bibliographique et presse

L'approche d'identification des évènements inondations par débordement de cours d'eau ou par submersion marine depuis le début des années 90 a été réalisée à partir de plusieurs sources :

- presse (Le nouvelliste) de 1990 à 1998 puis de 2010 à 2013.
- site "Prevention web" et autres sites web.

Assez peu d'évènements antérieurs à celui de novembre 2012 ont été identifiés par ces sources de presse et internet.

6.2 Les principaux évènements inondation identifiés

6.2.1 Submersion par débordement de cours d'eau ou ruissellement pluvial ou submersion marine

La compilation des sources a permis de recenser plusieurs évènements majeurs présentés dans le Tableau 1. On notera que l'analyse de la presse locale n'a pas couvert la période 1999-2010 et présente donc des lacunes. En outre, la récurrence des inondations ou débordements dans la plaine et des ruissellements depuis les mornes, font que certains évènements avec débordements localisés ou limités dans le temps, très fréquents voir quasi systématiques à chaque forte pluie, ne sont pas identifiés comme inondation ou évènements notables, vu leur caractère habituel. A contrario, des évènements relatés par la presse avec victimes, ne correspondent à aucun évènement météorologique notable.

Il apparait néanmoins, qu'il n'y a pas d'évènements importants liés à la submersion marine avec submersion par la mer des quartiers littoraux, ce qui semble confirmer la faiblesse de ce risque ou pour le moins sa fréquence rare. En revanche, la submersion des quartiers littoraux de Petite Anse par les grandes marées est régulière et ne fait même plus l'objet de mention dans la presse.

On ne doit cependant pas exclure qu'une surélévation légère du niveau marin lors du passage d'une dépression ou d'un cyclone, puisse engendrer par marée haute, un blocage de la vidange de l'estuaire de la rivière du Haut-du-cap ainsi que des drains qui se déversent en mer à Petite-Anse, qui recueillent à la fois les eaux du cours d'eau mais aussi une partie du ruissellement des mornes et par conséquent une inondation par débordement dans la zone de mangrove et de marécage derrière le cordon littoral.

Le refoulement vers l'intérieur du courant sous la combinaison marée/onde de tempête est certain, puisqu'il se produit déjà par grande marée.
Ces effets ont donc de plus tendance à réduire la capacité de vidange de la lagune lors des périodes de fortes pluies qui accompagnent le passage des cyclones.

Des observations réalisées deux semaines après la crue de novembre 2014 montrent que les quartiers gagnés sur la mangrove au nord Est de Petite Anse, sont construits en zone maritime et donc en permanence inondés. On ne peut plus parler d'évènement extrême dans ce cas, les populations s'installant dans le domaine marin littoral. Il n'y a donc pas « d'évènements » à caractériser dans le cas d'une installation sur un terrain gagné sur la mer par remblais. La permanence de l'exposition sur ces zones littorales fait que rien n'est reporté dans les médias, ni même dans les rapports d'ONG ou de la DPC, tant que des victimes nombreuses ne sont pas enregistrées.

En l'absence de mesure marégraphique au Cap Haïtien, il n'est pas possible de savoir si certaines inondations dans la plaine ou la section communale de Petite Anse peuvent correspondre à une surcote marine combinée à un épisode de crue, ou associée à un évènement de type tempête ou cyclone seul.

C'est la ville basse qui semble payer le plus lourd tribut aux inondations, fait non surprenant si l'on considère qu'elle s'est développée dans une zone d'expansion de crue, très basse.

Il apparait que les évènements majeurs sont presque tous associés à de forts cumuls de pluies intenses ou à des pluies prolongées de plusieurs jours, pas nécessairement associées à des cyclones.

La combinaison de quelques jours de pluies continues peu intenses terminés par une journée de pluie intense est un scénario « classique » et prévisible de déclenchement de crues sur l'agglomération du Cap.

Les principales crues identifiées sont listées dans le Tableau 1 page suivante.

Date	Lieux	Mécanisme	Cause	Victimes
Inondations meurtrières en 1942 et 1943	Ville ancienne	Ruissellement	Pluies diluviennes	Non chiffré
14 novembre 1963	Grande Rivière du Nord faisant près de 500 victimes			
22 novembre 1968 au Cap-Haïtien				
29-30 mars 1993	Ville basse		Fortes pluies	6 morts
8 mai 1993	Ville basse		Pluies non cycloniques	
10 janvier 1996				8 victimes
1-2 Novembre 2000	Ville basse inondée			16 morts 26000 personnes affectées
21-22 décembre 2003	Ville basse inondée		1 semaine de pluie continue	4 morts, 34000 personnes affectées recensée, 300000 selon d'autres sources.
13 sept 2004	Pas de description précise		Tempête tropicale	
17 mars 2007	Région du Cap		1 semaine de pluies continue	
29 – 30 oct 2007	Pas de description précise			
10 novembre 2007	Quartier shadda, ville basse. Haut du Cap, Petite Anse et Village Historique complètement sous les eaux		Pas d'information	2 morts
7-8 novembre 2012	Ville entièrement inondée		Pluies extrêmement fortes et prolongées sur 2 jours. Pic à 282 mm le 8/11/12 Et 584 mensuel (record absolu selon données FIC) mm et 440 mm sur 4 j du 7 au 11/11/12	13 morts, 1 disparu, 2336 maisons inondées, 2350 familles sinistrées et 3496 personnes hébergées dans 25 abris
10 juillet 2013	Ville au pied des mornes Haut du Cap, dans les quartiers de cité du peuple, de Bas de Vertières, de Champin, de Blue Hills	Ruissellement et bouchage d'ouvrage à cause de déchet entreposés sur nationale 1 et débordement malgré la faiblesse de la pluie	Petite pluie de 20 mn	Débordement de canaux et de drains causés par des gravats et déchets non dégagés et retombés dans les canaux
1 au 4 novembre 2014	Région du Nord	Inondation accentuée dans la rivière du Haut du Cap par le barrage provisoire de construction d'un pont.	Pluie prolongée pendant 5 jours et pluie très forte le 3 novembre, de l'ordre de 120 mm sur la région.	2 morts dont un seul dû directement au ruissellement pluvial en zone urbaine et l'autre en raison d'un effondrement de bloc.

Tableau 1 : principaux évènements inondations identifiés.

Remarque : certains bilans comme ceux de la MINUSTAH ne font état que des personnes secourues et donc accessibles, soit, en général, une fraction seulement des personnes réellement inondées. En cas d'inondation de la ville basse, c'est plusieurs dizaines de milliers de personnes qui sont en réalité inondées et non recensées.

Il apparait que la ville du Cap -Haïtien est très fréquemment exposée à des inondations de septembre à mai chaque année et que des évènements de gravité faible à moyenne se produisent avec des pluies très faibles en raison des dysfonctionnements du réseau de drainage et de l'installation dans des terrains naturellement inondables.

Il y a donc une difficulté à distinguer les conséquences des évènements météorologiques extrêmes de celles dues aux dysfonctionnements des réseaux d'évacuation d'eaux pluviales ou des ouvrages de protection contre les inondations.

Hormis les récents rapports MINUSTAH sur les inondations de nov. 2012, les évènements sont le plus souvent insuffisamment documentés ou le sont seulement quant au nombre de victimes ou à l'impact. Les localisations restent imprécises pour les évènements anciens. Les bilans de maisons inondées paraissent souvent sous-évalués. Seul l'évènement de nov. 2012, de par son caractère généralisé sur l'ensemble de la ville est relativement bien documenté ou illustré.

La mission de terrain et les échanges avec plusieurs dizaines de riverains dans différents quartiers de la ville indiquent que certaines zones sont constamment inondées par débordement de ravines ou de canaux dès qu'il pleut plusieurs dizaine de minutes.

La zone basse dans la plaine souffre également de nombreuses inondations mineures et fréquentes rapportées par les populations, qui ne sont pas identifiées comme telles, car trop fréquentes ou trop localisées. **Les grandes marées sont souvent indiquées comme période d'inondation peu intense (faible submersion, faible durée) dans les zones proche du littoral dans la section de Petite Anse.**

Ces montées d'eau qui inondent les maisons construites dans des zones naturellement inondables ou à proximité de canaux non curés ne peuvent être considérées comme des évènements inondations, les riverains s'étant délibérément installés dans des zones humides ou dans le lit de la rivière dans certains cas où résident le long de canaux qui débordent faute d'entretien. Il n'y a le plus souvent pas de phénomène naturel fort ou extrême mais une conjonction de facteurs anthropiques de risque créant exposition, vulnérabilité, voire aléa lui-même.

De telles inondations ponctuelles se sont d'ailleurs produites durant la première mission de terrain. Pendant un orage et des pluies qui ont duré moins de 1 h en soirée, la route nationale a été coupée en ville au niveau du passage de canaux de drainage de ravines sous la route, qui ont débordé parce que complètement obstrués par des déchets.

6.2.2 Description de l'inondation 21-22 décembre 2003 (source OXFAM):

« Dans la nuit du 21 au 22 décembre 2003, une vingtaine de quartiers populaires situés en contrebas du Cap-Haïtien, ont été inondés. Des éboulements et effondrements de maisons dans les parties hautes ont causé la mort de quatre personnes. L'estimation rapide réalisée le 22 décembre 2003 a montré que 33,829 personnes ont dû être évacuées, dont 13,000 ont été déplacées dans des abris temporaires. **Plus de 140,000 personnes ont été affectées, mais n'ont pas évacué les zones inondées.**

Cette inondation est survenue après une semaine de fortes averses qui s'est abattue sur la ville du Cap-Haïtien entre le 14 et le 21 décembre 2003. Les pluies intermittentes ont causé le débordement des ravines et la crue des rivières, notamment celle du Haut du Cap en bordure de laquelle sont érigés plusieurs quartiers populaires.

Cette nouvelle catastrophe est venue aggraver les conditions de vie déjà très précaires des populations de ces quartiers, dont la plupart ne s'était pas encore remise de l'inondation de l'année 2000.

Trois semaines après, des eaux stagnantes aux couleurs verdâtres ou noirâtres croupissent toujours autour de nombreuses maisons, tandis que des familles ne peuvent pas encore regagner leur demeure. L'eau pour la boisson et pour les autres besoins (lessive, toilette, cuisson des aliments) fait défaut ou est complètement polluée. »

Aucune donnée pluviométrique n'est disponible pour cet évènement.



Photos 1 : vues de l'inondation de décembre 2003 (source OXFAM).

6.2.3 Description de l'inondation des 8 et 9 novembre 2012.

Cet évènement s'est concentré sur 4 jours avec un cumul de **442 mm entre le 7 et le 11 novembre 2012 et une pointe à 282,8 m sur la seule journée du 8 novembre** (donnée FIC quotidiennes) soit l'équivalent d'un mois de pluie en 1 jour.

Il n'a pas été possible d'obtenir de rapport officiel détaillé de la MINUSTAH ou de la DPC pour alimenter la description de l'évènement de novembre 2012. Les reports ci-dessous proviennent de plusieurs sources presse et web.

« En date du 12 novembre, la Direction de la Protection Civile comptait 13 morts, 1 disparu, 2336 maisons inondées, 2350 familles sinistrées et 3496 personnes hébergées dans 25 abris provisoires. Six communes des Nippes (Baradères, Fonds des Nègres, Miragoâne, Petit-Trou, Plaisance et L'Azile); 6 communes du Nord (Cap-Haïtien, Limonade, Quartier-Morin, Borgne, Bas-Limbé et Port-Margot), 4 communes du Nord-est (Caracol, Ferrier, Fort-Liberté- et Terrier Rouge) et une commune du Nord-ouest (Anse-à-Foleur) sont les plus touchées. L'habitat, les infrastructures et le secteur agricole sont particulièrement affectés.

Au Cap Haïtien même :
Au centre-ville, dans le quartier de Carénage, plus de 2000 familles sont sinistrées et 50 maisons inondées. En tout 700 maisons auraient été inondées et plusieurs se seraient effondrées. Ce bilan parait très sous-estimé. Le tronçon de route, reliant le centre-ville du Cap-Haïtien au bord de mer de Labadie, est coupé au niveau des localités de Ducroix et de Fort-Bourgeois. A la section communale de Bande du Nord, localité de Fort Bourgeois, en plus d'1 mort, on compte 90 personnes en abris provisoires, 6 maisons détruites et 20 inondées. A la deuxième section communale du Haut du Cap, 220 maisons sont inondées et 12 détruites. A Petite Anse, 3^{e} section communale du Cap-Haïtien, 570 maisons sont inondées.

Les communes de Bas-Limbé, de Borgne, de Port Margot et de La Plaine du Nord, l'Acul du Nord, Plaisance, entre autres, sont aussi inondées. Pour le moment, des activités d'assainissement sont en cours en vue de faciliter le passage des eaux ainsi que des habitants. La direction départementale du ministère des travaux publics, transports et communications (MTPTC) s'affaire aux environs de la rue 0 L (rue espagnole, en sortant de la cité Lescot) afin de déblayer la chaussée de la boue, des alluvions et d'autres débris. Des efforts de curage ont commencé dans la ravine dénommée *Zetriye* (étrier) - où ont été entrepris des travaux importants en 2010 - qui traverse la zone, depuis le haut du Bel Air à l'endroit dénommé "La violette" pour aboutir à la mer, près du boulevard. »



Photos 2 : déblaiement de la route nationale 1 au Cap Haïtien par la MINUSTAH après la pluie du 8 au 9 novembre 2012.

On notera que les articles de presse collectés, s'ils donnent des chiffres de victimes sont peu précis en terme quantificatifs.
Un seul rapport commun de la MINUSTAH et de la DPC établi dans les premières heures après le déluge est disponible et fournit des informations sur l'impact (Réf. 10 -), les suivants ne sont plus accessibles.
Il est donc difficile de se procurer des bilans officiels définitifs (s'ils existent ?)
Les premiers relevés de l'enquête de terrain révèlent que la presque totalité de la plaine a été inondée parfois de plusieurs mètres d'eau près de la lagune, parfois de quelques décimètres et pendant une durée courte.
Il est donc probable que la totalité des zones habitées de Petite Anse ait été inondée (plusieurs milliers de maisons).

6.2.4 Inondation du 3 au 6 novembre 2014.

L'évènement a été décrit par 2 membres de la DPC du Cap Haïtien, OXFAM GB et l'OFNAC, un résident.
Des valeurs de cumuls de pluies quotidiennes ont été obtenues de la part de plusieurs opérateurs et sont présentés dans les Tableau 2 à Tableau 4 page suivante.
Sur le plan la pluviométrie, cet évènement apparait "commun" au regard des statistiques (voir annexe et 6.3) pour la région du Cap avec un maximum survenu le 3/11/14 de l'ordre de 120 mm et un cumul du 28/10/14 au 07/11/14 de

l'ordre de 200 à 250 mm (Tableau 2, Tableau 4). Cette évènement est fort mais presque deux fois moindre en cumul de pluie que celui de novembre 2012.
On ne dispose malheureusement pas d'informations sur l'intensité de la pluie à un pas fin de l'ordre de la minute ou de l'heure, qui permettraient d'identifier des pics d'intensité sur cet épisode.

07/11/2014 22:30	0,14
05/11/2014 20:20	6,77
04/11/2014 23:50	30,69
03/11/2014 23:00	113,22
02/11/2014 23:20	10,6
01/11/2014 21:40	1,78
31/10/2014 22:20	47,31
29/10/2014 00:50	0,01
28/10/2014 02:30	0,1
total	210,62

Tableau 2 : pluies quotidiennes relevées du 28/10/14 au 07/11/14 à la station hydro climatique de Dondon du projet PNAP.

Date	Mois	mm	mm
26	Octobre	1,6	
27	Octobre	1	
28	Octobre	6,8	
29	Octobre	28,2	
30	Octobre	4,4	
31	Octobre	21,7	
1	Novembre	8,4	
2	Novembre	5,2	
3	Novembre	65	65
4	Novembre	177,2	177,2
5	Novembre	21,4	21,4
6	Novembre	0,7	
		341,6	263,6

Tableau 3 : enregistrement pluviométrique sur l'aéroport du Cap Haïtien.

Commune	Mm Pluie 1 Nov	Mm de pluie 2 nov	Mm de pluie 3 nov.	Mm de pluie 4 nov	Total
1. Ouanaminthe	6 mm	7 mm	41 mm	33 mm	87 mm
2.Terrier Rouge		25 mm	82 mm	13 mm	120 mm
3.Trou du Nord		92 mm	86 mm	50 mm	228 mm
4.Caracol		90,3 mm	120 mm	69 mm	279,3 mm
5. Ferrier		5 mm	22 mm	50,2 mm	77,2 mm
6. Fort Liberté		7 mm	85 mm	15 mm	107 mm

Tableau 4 : valeurs à différentes stations fournies par le MARNDR.

L'évènement s'est étendu dans la région sur 3 jours, laissant le temps aux grands bassins versants (Grande rivière du Nord, rivière du Haut du Cap) d'entamer une crue lente et de voir fusionner leurs débordements, tandis qu'est venu s'ajouter un ruissellement urbain dans la nuit du 3 au 4 novembre, période du pic le plus intense.

Si les valeurs sont fortes, on est très loin en cumul de pluies quotidiennes, des valeurs de l'évènement de novembre 2012. Le cumul mensuel est de l'ordre de 360 mm, soit nettement supérieur aux moyennes des dernières décennies pour le mois de novembre. 264 mm sont tombés en 2 jours à la station de l'aéroport du Cap, soit 180 mm de moins que sur l'épisode de 2012.

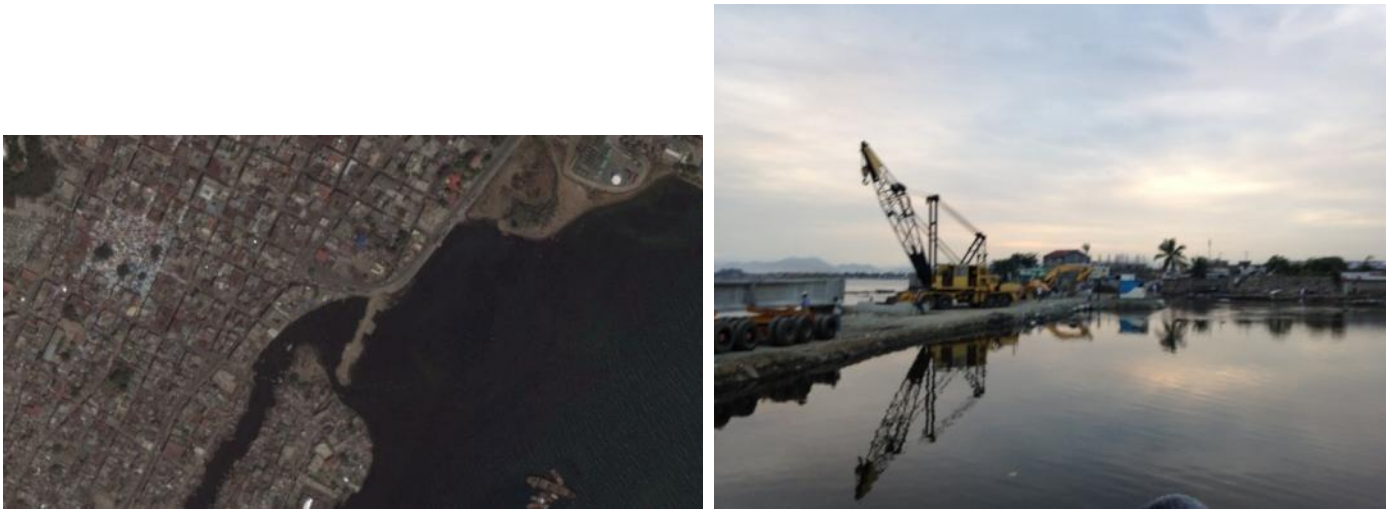
Dans certains quartiers (rue 5 près de l'embouchure de la rivière du Haut-de-Cap, à l'est de la piste de l'aéroport), les hauteurs d'eau ont néanmoins été supérieures à celles enregistrées durant l'évènement de novembre 2012.

En première analyse, on peut identifier des activités humaines qui ont fortement accrue l'impact important pour cet évènement fort mais non extrême. Les facteurs suivants sont identifiés :

- présence d'un barrage artificiel à l'embouchure pour la pose d'un pont (Photos 3). Les observations faites en septembre sur ce barrage montraient à l'évidence que les buses laissant passer l'eau de la rivière sous le barrage n'étaient dimensionnées que pour un débit d'étiage (déjà pleine en période sèche). On peut ici mettre en cause un dimensionnement et une conception inappropriée de l'ouvrage temporaire. Ce barrage explique des hauteurs d'eau supérieures à 50 cm dans la rue 5 alors qu'elles n'avaient été que de 20 cm à 30 cm en 2012. Ce barrage, qui a fini par céder, a aussi réduit la capacité de vidange de la lagune en amont et donc prolongé et augmenté probablement la hauteur de submersion loin en amont. Compte tenu des pentes très faibles, la surélévation de l'onde de crue due à la difficulté d'évacuation, a dû remonter très haut dans la lagune et affecter la plupart des exutoires d'affluents mineurs ou de canaux rejoignant cette lagune.

- L'aéroport du Cap a été en grande partie inondé lors de cette crue (voir Photos 4). Depuis 2012, l'extension vers le sud et le ceinturage de l'aéroport par un mur d'enceinte ont été réalisés. La partie sud de cette extension est traversée par un chenal d'écoulement qui rejoint la lagune vers le nord-ouest. L'ouvrage de passage sous le mur d'enceinte et le mur lui-même ont constitué des obstacles à l'écoulement du flot dont la direction générale est sud-est/nord-est (voir Carte 29). A l'inverse, l'eau écoulée ou tombée dans l'enceinte de l'aéroport a été retenue à l'intérieur par le mur. A l'est de l'aéroport l'eau est montée à une hauteur indéterminée et a créé une étendue inondée importante. Selon l'OFNAC les riverains auraient cassé le mur d'enceinte de l'aéroport pour augmenter l'écoulement et réduire la submersion à l'amont vers le sud-est. Ceci est difficilement vérifiable et on ne peut exclure que la puissance du flot ait mis en charge le mur qui a finalement rompu sur une petite surface. On peut là aussi suspecter un mauvais dimensionnement de l'ouvrage ou une sous-estimation des débits pouvant transiter par l'ouvrage de passage du chenal dans l'aéroport, ou un problème d'embâcle engendré par l'accumulation de débris sur la grille barrant le passage sous le mur.

Le plus inquiétant dans ce constat est qu'une pluie plus intense telle que de 2012 aurait pu affecter plus fortement l'aéroport et inonder la piste, ce qui n'a pas été le cas en novembre 2014.



Photos 3 : vues du barrage sur l'estuaire de la rivière du Haut du Cap (complètement fermé lors de la crue de novembre 2014).



Photos 4 : photo de l'aéroport du Cap le 4 novembre 2014 (source OFNAC).

Cette inondation s'est manifestée dans toute la plaine du nord faisant suite à une semaine de pluies modérées mais régulières. Bien que moins intense qu'en 2012, cet épisode était prévisible et la DPC a lancé un avis de vigilance les jours précédents.

Les constats présentés ici sont très partiels et ne dressent aucun portrait global des hauteurs d'eau et des dommages sur la ville du Cap pour cet évènement. Une nouvelle enquête de terrain serait nécessaire pour cela. Il est néanmoins possible d'affirmer, que hauteurs d'eau, durée et dommages ont été aggravés par les récents aménagements, sans qu'il soit possible de quantifier de combien cet impact aurait été moindre en l'absence de ces ouvrages.
La comparaison d'images satellites de 2012 et 2014 montre en outre, que la colonisation dans le lit de la rivière du Haut du Cap se poursuit et réduit encore la capacité d'évacuation des crues par l'estuaire.

Le phénomène naturel bien que fort voit une fois de plus son intensité aggravé par l'action anthropique.

6.3 Analyse des données hydrométéorologiques et hydrométriques disponibles

6.3.1 Objectifs

Un des objectifs de l'étude est d'identifier les principaux évènements pluvieux à l'origine des inondations majeures connues sur le Cap Haïtien depuis les années 80. Une recherche antérieure n'a pas été décidée vu les difficultés d'obtention de données hydrométriques fiables en Haïti.
Ce volet n'avait pas pour but de réaliser une analyse hydrométéorologique poussée sur les périodes de retour ou sur l'intensité des pluies des évènements, vu l'absence de données appropriées au démarrage de l'étude. Des données ont été recherchées et quelques mesures valables ont pu être trouvées (cumuls de pluies quotidiennes). Les meilleures données identifiées sont les mesures quotidiennes des FIC, disponibles en cumul mensuel sur les 50 dernières années et en cumul quotidien sur les années 2010 à 2013.
Des données sont également acquises par les réseaux du MARNDR et du CNSA et pourraient être mises en commun et analysées. Nous n'avons pas pu nous les procurer et une analyse pluviométrique poussée serait sortie du cadre de la présente étude.
On retrouvera le détail des données analysées et dans l'annexe 0.

6.3.2 En conclusion

Que peut-on déduire des analyses préliminaires de la pluviométrie ?

Bien que d'un niveau d'analyse simple et préliminaire, les données traitées montrent des tendances nettes sur une évolution des pluies dans la région du Cap Haïtien allant vers :

- Des cumuls mensuels de pluie plus forts d'octobre à décembre.
- Des évènements plus forts et plus intenses sur les mois habituels de pluie d'octobre à décembre.

Il n'y a pas de tendance évidente d'augmentation du nombre d'évènements forts ou intenses. En revanche, les évènements pluvieux sont plus intenses.

Cette tendance déjà observée dans une étude pour le PNUD en 2013, semble avoir son origine au début des années 90 (Réf. 9). Une analyse météorologique plus poussée est en tout état de cause nécessaire et possible avec les données désormais disponibles, qu'il s'agisse des données des FIC, des réseaux du PNAP ou du PITDD, du CNSA, du MARNDR et désormais les mesures de la station météorologique de l'aéroport du Cap.

Un certain nombre d'évènements inondations répertorié ne correspond pas à des périodes pluvieuses exceptionnelles en termes de cumul, mais peut-être à des pluies intenses et courtes. La description des crues en questions, le pas mensuel des mesures pluviométriques, le peu de mesures quotidiennes, l'unicité du point de mesure au Cap ne permettent pas d'en dire plus.

On peut néanmoins suspecter dans les analyses de description des crues dans les médias, la marque d'évènements très locaux, due à des pluies non exceptionnelles, des crues pas nécessairement fortes et généralisées et dont le report a surtout été dicté par les dommages ou les victimes. Ces impacts sont liés à une augmentation de l'exposition de nouveaux arrivants dans la ville, installés dans des zones fréquemment inondées et l'état des enregistrements historiques de pluies ne permet pas de qualifier l'intensité des évènements ayant engendré la plupart des crues anciennes. Par ailleurs, les descriptions des circonstances exactes des accidents avec victimes sont indisponibles et ne permettent pas de les lier directement à l'intensité des pluies.

Il arrive parfois que des murs ou des rochers s'effondrent simplement pour des circonstances très locales et répétitives qui finissent par engendrer une chute.

Le manque de données tant sur la pluviométrie que sur l'hydrométrie rend difficile toute analyse séparant la phénoménologie réelle et le report qui en est fait pas les médias, donc la compréhension globale de la genèse des différents types de crues possibles sur la ville.

L'évènement de novembre 2012 apparait cependant réellement exceptionnel en termes de cumul de pluie (420 mm), et probablement d'intensité, avec 2,5 fois la moyenne mensuelle de novembre tombée en 2 jours.

Un cumul de plus de 420 mm sur un mois de pluie n'a été dépassé que 8 fois depuis 1968. L'analyse de l'intensité à partir des pluies quotidiennes n'a pas pu être entreprise mais elle pourrait l'être car les mesures des FIC sont relevées quotidiennement et existent.

Aucune interprétation météorologique régionale et locale de l'épisode pluvieux du 7 au 9 novembre 2012 n'a été identifiée. On ne peut donc tirer aucune conclusion sur la situation météorologique liée à cet évènement vu dans son ensemble.

La notion d'intensité de pluie est traduite en hydrologie par des courbes durée/intensité/fréquence. Ces courbes sont inexistantes en Haïti et le pas de temps de la mesure quotidienne à la minute n'est disponible que sur les tous derniers réseaux pluviométriques tels que celui du Programme National d'Alerte Précoce (PNAP) ou du Programme d'Informations Territoriales pour le Développement Durable (PITDD)

Au pas de temps journalier, l'évènement de novembre 2012 a vraiment un caractère exceptionnel en termes d'intensité de la pluie pour les 35 dernières années. Ces pluies n'étaient pas induites par un phénomène cyclonique ou une tempête.

Compte tenu de la durée de plus de 48 heures de pluies fortes, tous les bassins versants qui concernent la ville du Cap ont été en crue prolongée. Les petits bassins versants au-dessus de la ville concentrent les crues en quelques minutes. Les cours d'eau de la plaine concentrent les crues en quelques heures à quelques jours.

La ville s'est donc retrouvée pendant plus de 24 h sous l'influence de crues multiples convergeant dans la ville basse et dans la plaine. La zone la plus exposée est celle située entre la route nationale 1 et la rivière du haut du Cap qui était sous l'influence des deux apports d'eau par ruissellement et par débordement.

Cette zone située entre la route nationale et la rivière du haut du Cap est celle de la convergence des deux sources d'inondation et celles où s'accumule la boue.

Les dernières inondations précédentes notables identifiées datent de mars et novembre 2007, années pour lesquelles on dispose de cumul mensuel non extrêmes (320 mm en mars 2007 et 266 mm en Novembre).

L'épisode de mars 2013 est censé s'être prolongé pendant une semaine et a donc certainement eu un impact plus important sur la rivière du Haut du Cap. L'épisode de novembre est peu renseigné.
Le pas de temps mensuel ne permet pas pour l'instant de caractériser les évènements antérieurs à 2010.

On ne dispose pas de données sur la distribution géographique fine des pluies qui influent également sur le régime des crues.
En effet, les crues de la rivière du haut du cap peuvent prendre naissance autant dans la zone amont que dans la plaine humide au sud de la ville. Cette plaine, saturée et à nappe phréatique affleurant en saison humide est une plaine inondable. En période de pluie prolongée, c'est toute la plaine qui sera sous les eaux et les crues de trois rivières qui se déversent dans la plaine y convergent aussi.

L'augmentation de fréquence et la multiplication des sites des débordements en ville, est associé à des dysfonctionnements du système de drainage des eaux pluviales (voir chapitre 0), pas à une augmentation du nombre d'évènements pluvieux. Un chapitre est consacré à ce point plus loin dans ce rapport.

La méconnaissance de la réalité de terrain, l'absence de caractérisation des petites comme des grosses crues dans la zone urbaine sur la plan physique, phénoménologique, géographique, climatologique, de bilan exhaustif des dommages, rend difficile l'établissement de zones de dangers bien définies. En cela la situation ne diffère pas de celle observée dans d'autres villes haïtiennes.

Une analyse hydrologique plus poussée est requise pour comprendre les fonctionnements des différentes bassins versant qui couvrent la ville du Cap mais ce n'est pas l'objet de la présente étude. .

Les zones de danger dues à des débordements de cours d'eau naturels dans la zone de plaine sont relativement faciles à caractériser. En zone urbaine au pied des mornes, exposée au ruissellement pluvial aux coulées boueuses, en présence de dysfonctionnement multiples du système de drainage, le danger peut évoluer selon le niveau d'entretien, de réparation, de modification des ouvrages. Il est plus difficile à cartographier.

En tout état de cause, la ville du Cap apparait exposée à des dangers forts liés aux crues dans certains quartiers, pour des cumuls de pluies peu élevés, mais qui restent à déterminer par une étude hydraulique plus précise utilisant des données quotidiennes disponibles et les intensités des pluies.
Les évènements pluvieux majeurs augmentent le niveau de danger et le généralise à presque toute la ville basse (Petite Anse) et à proximité de certains talwegs, ravines et canaux.

6.3.3 Recommandations

1. On notera que des enregistrements quotidiens existent sur au moins 2 décennies (peut-être 3) sous forme papier au bureau de la météorologie nationale de l'aéroport du Cap Haïtien. Ces données méritent d'être numérisées pour exploitation. Elles permettraient une meilleure identification des évènements marquants et de l'intensité des pluies. La désagrégation à l'échelle quotidienne des données disponibles sur les dernières décennies soit chez les FIC, soit à l'aéroport, permettra de créer

de nouvelles relations intensité/durée/fréquence nécessaires à l'analyse des phénomènes locaux. Ce pas de temps quotidien permettra d'identifier les vrais évènements intenses qui ne peuvent être caractérisés pour l'instant.

2. ll apparait indispensable de disposer d'un système de description et d'archivages de tous les débordements ou les inondations quelles que soient leur intensités, décrivant l'évènement pluvieux, la localisation et l'extension, les effets et dommages. Ce système sera utile pour une agglomération de la taille du Cap Haïtien dans sa programmation d'aménagement local comme global. Le présent travail constitue une première base à développer.

7 AUTRES RISQUES D'INONDATION OU DE SUBMERSION AU CAP HAITIEN

7.1 Submersion par un tsunami

La ville du Cap a été détruite en 1842 par un séisme et un tsunami. Les victimes du Séisme sont estimées à 5000 tandis que celles du tsunami seraient de l'ordre de 500. Les hauteurs d'inondation par ce tsunami (run-up) ne sont pas connues. Les sources potentielles du tsunami sur le Nord d'Haïti font l'objet de travaux scientifiques en cours et sont discutées dans le rapport du colloque tenu en 2013 à Port-au-Prince sur le risque tsunami en Haïti (Réf. 6 **I**).

La submersion par les tsunamis est traitée actuellement dans le cadre d'un projet piloté par l'UNESCO au profit du SEMANAH et de la DPC. Ce projet poursuit une action de l'IOC/UNESCO entamée depuis plusieurs années.
Une étude de modélisation de tsunami en cours n'a pas encore fourni de résultat diffusable basé sur un modèle numérique au pas de calcul insuffisant. Cette étude doit se poursuivre avec le MNT LIDAR acquis par la Banque Mondiale et aucun résultat n'est pour l'instant disponible, le prestataire n'ayant pas encore à sa disposition le MNT lidar. L'UNESCO n'a pas souhaité communiquer sur les résultats provisoires de la modélisation de tsunami.
La seule information avérée est qu'une cote d'altitude de 10m au-dessus du niveau marin est prise en compte pour la zone de sécurité. Les zones situées en dessous sont considérées à ce stade, comme potentiellement dangereuses, compte tenu des incertitudes sur la modélisation et les données topographiques.

7.2 Submersion par les houles cycloniques.

La situation géographique du Cap Haïtien rend la ville peu exposée aux effets du vent et des houles liées aux cyclones ou aux dépressions tropicales, dont la plupart des trajectoires du sud vers le nord, mettent la ville protégée sous le vent. Rien n'exclut qu'un futur cyclone puisse avoir une trajectoire inhabituelle et arriver en direction de la côté nord d'Haïti par la mer. Les exemples de trajectoires inhabituelles sont fréquents dans les Caraïbes.
Aucune donnée marégraphique concernant des submersions marines n'a été fournie par le SEMANAH car il semble qu'il n'y ait pas eu de marégraphe installé dans le port du Cap.
L'analyse des sources historiques et bibliographiques n'a pas permis d'identifier un évènement inondation qui soit venu uniquement de la mer lors d'un cyclone ou d'une tempête tropicale. En revanche, l'inondation de la plaine par la mer est avérée historiquement depuis longtemps.

En dépit de l'apparente faible influence de la mer, celle-ci n'est cependant pas sans action et il est certain que l'accumulation de fortes pluies, de débordements dans la plaine, couplée à une marée haute et à une légère surcote de tempête en cas de cyclone, engendreraient une accentuation du niveau de crue dans la plaine à l'arrière du cordon littoral en empêchant son évacuation en mer voire en envahissant la zone de lagune et en refoulant l'eau au niveau de l'estuaire de la petite rivière du Cap.
Rappelons que ce phénomène est arrivé non loin de là aux Gonaïves.

Les enquêtes de terrain sur le rivage de la mer ont néanmoins confirmé que la faible altitude la bande littorale, en générales inférieure à 1 m, et les canaux de drainage à pente très faible et dont le niveau de base est au niveau de marée haute, sont régulièrement à l'origine d'inondation par la mer des zones proches des rivages, et ce, pratiquement à chaque grand marée.

Afin de déterminer une zone potentiellement exposée aux phénomènes d'onde de cyclone et des vagues, nous nous sommes basés sur l'étude réalisée en 2000 (Réf. 3).

La Figure 1 explique le cumul de valeur de hauteur de vague, d'élévation du niveau marin moyen, de marée aboutissant à une élévation générale globale du niveau marin et à une pénétration à terre des vagues. La période de retour centennale a été considérée. Sur la région du Cap Haïtien les valeurs approximatives indiquées sont :

- vent d'environ 120 km/h (Figure 1 phénomène de cumul de différents effets à la côte aboutissant à une élévation importante du niveau marin (Réf.3))
- élévation du niveau marin (Storm surge) d'environ 1 m (Figure 3)
- vagues de l'ordre de 4m (Figure 4)

A cela s'ajoute un marnage de moins de 50 cm pour les grandes marées.

Le cumul de ces valeurs indiquerait une élévation de l'ordre de 5 m sur les plages. Une telle valeur n'a jamais été documentée ou relevée au Cap Haïtien mais ne peut être exclue sur le rivage. Compte tenu de l'amortissement rapide des vagues sur les zones terrestres inondées, nous retiendrons une valeur plus faible de 3 m d'inondation dans les terres par élévation du niveau marin.

Une représentation de la zone concernée par la submersion de 3 m d'élévation au-dessus du niveau marin moyen est proposée à la Carte 11. Elle a été réalisée par seuillage à l'altitude 3 m à partir d'une première version provisoire du MNT lidar acquis en 2014 sur la ville du Cap.

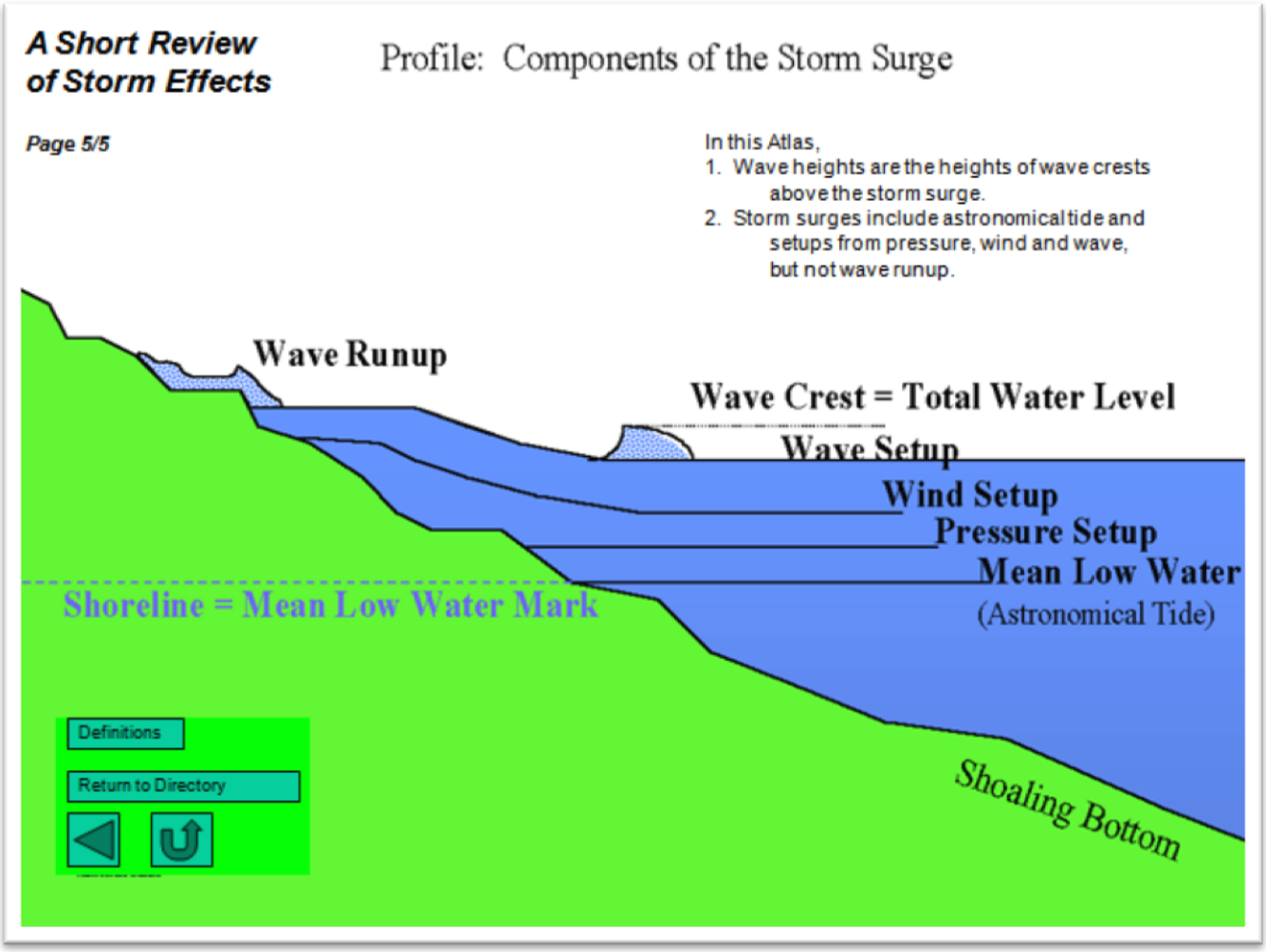


Figure 1 phénomène de cumul de différents effets à la côte aboutissant à une élévation importante du niveau marin (Réf.3)

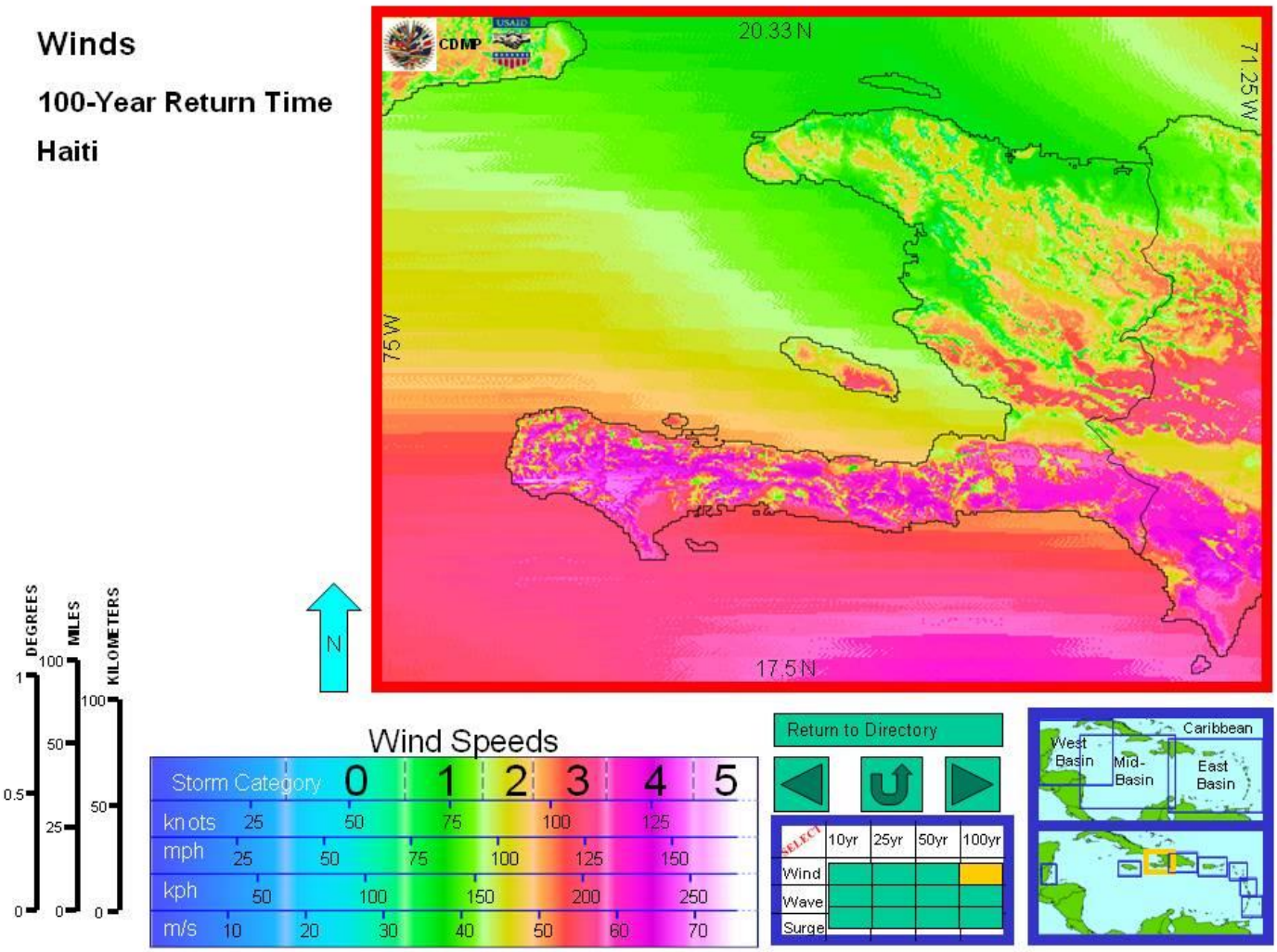


Figure 2: distribution des vitesses de vent moyen sur le pourtour haïtien pour une période de retour centennale (Réf. 3).

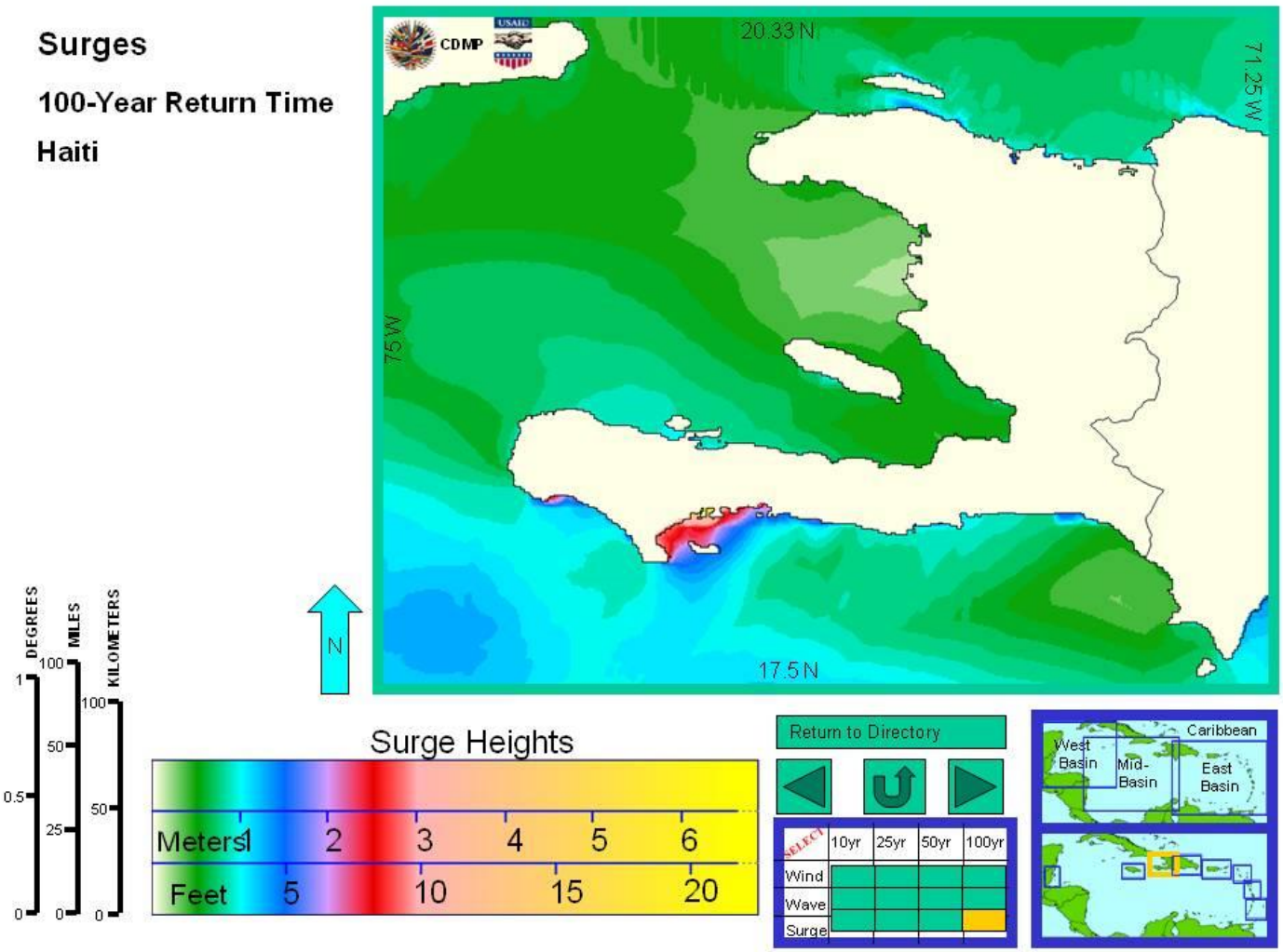


Figure 3 : distribution des élévations du niveau marin sur le pourtour haïtien pour une période de retour centennale (Réf. 3).

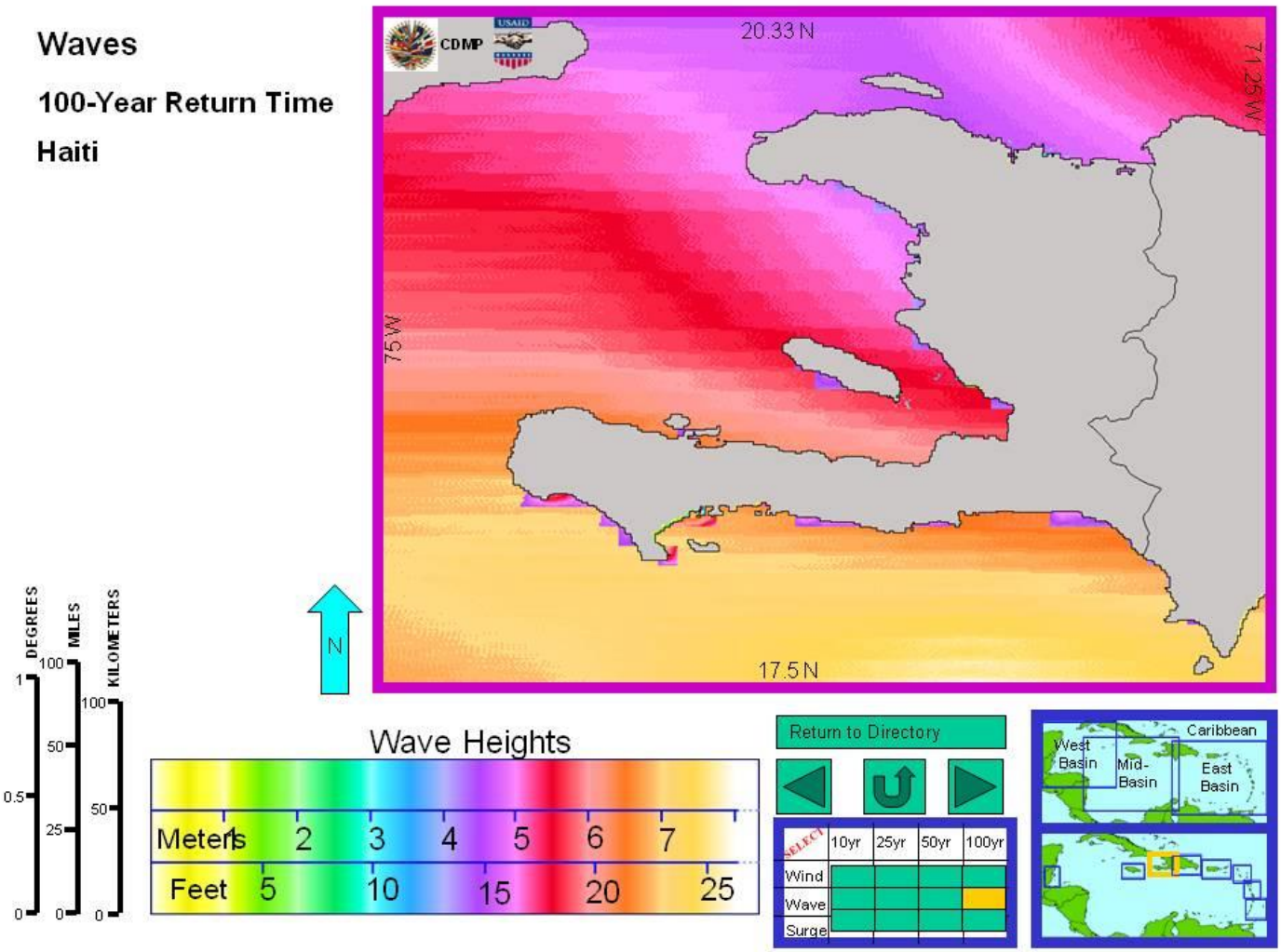
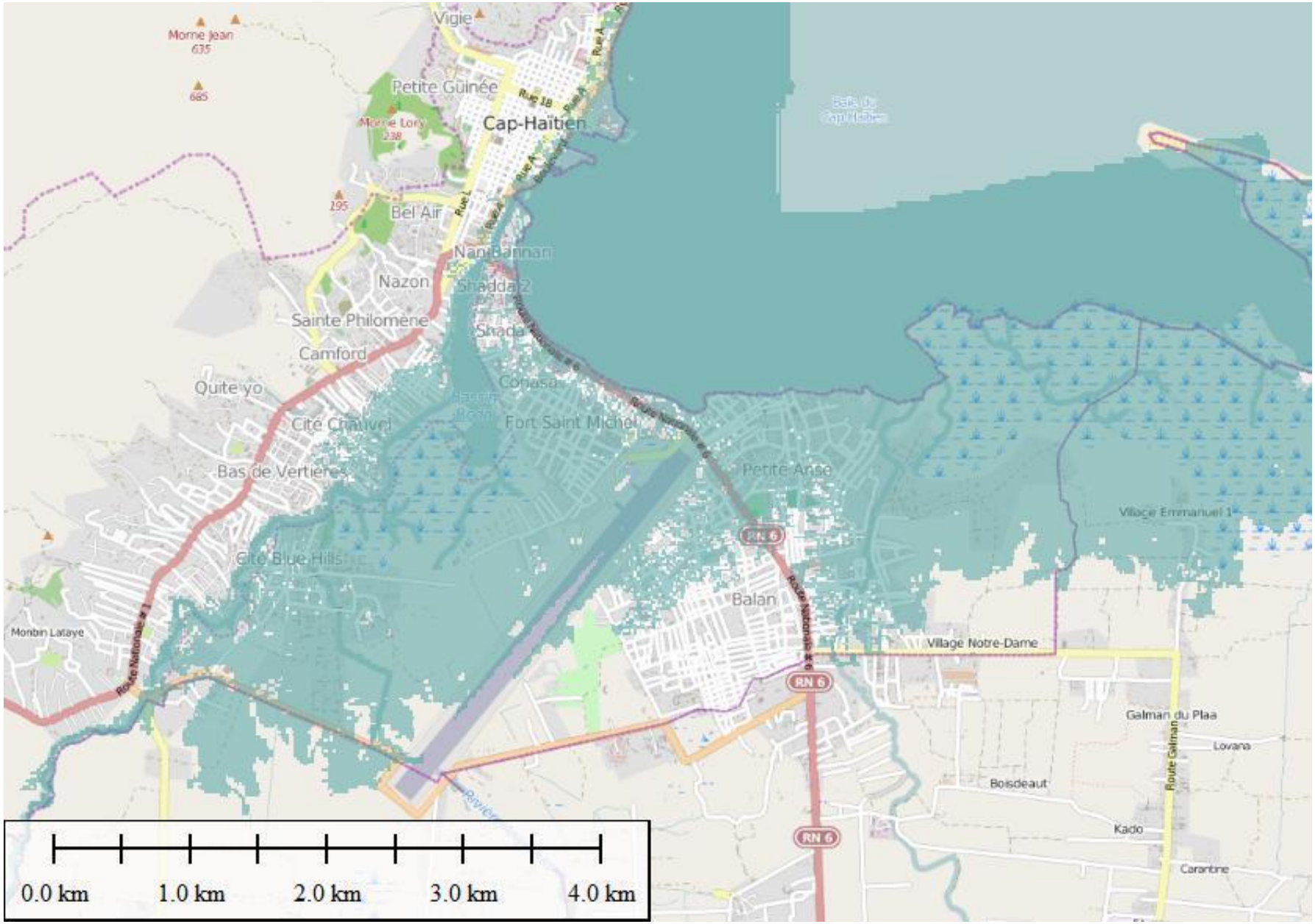


Figure 4 : distribution des hauteurs de vagues sur le pourtour haïtien pour une période de retour centennale (Réf. 3).



Carte 11 : étendue des zones potentiellement submersibles pour une élévation du niveau marin de 3 m sur fond OpenStreetmap.

Si l'on replace les zones urbaines actuelles sur la carte des zones potentiellement submersibles, on constate que les quartiers suivants seraient inondés :

- port et front de mer de la veille ville sur environ 200 m au plus profond.
- quartiers Shadda et Shadda 2.
- quartier Nan bannan, EPPLS, Cité du Peuple, Conasa, Fort Saint Michel, Petite Anse, Cité Chauvel, Cité Champin, Bas de Vertières, Cité Blue Hills, Aéroport, Balan.

Une très grande partie de la section de Petite Anse est submersible pour l'hypothèse retenue. Il n'y a peu, voire pas, de protection aménageable sur le front de mer compte tenu de l'implantation des habitations jusque sur les plages et sur le front de mer.
Les dégâts majeurs en cas de houle cyclonique surviennent en général sur une bande de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres depuis le rivage vers l'intérieur des terres. Il n'y a pas pour l'instant de précédent documenté récent sur un envahissement de la bande littorale par des vagues lors d'un cyclone, ce qui ne signifie pas que cela ne se produise pas.
La délimitation d'une bande littorale inconstructible peut être proposée. Est-elle réaliste dans l'immédiat, ni même efficace dans la mesure où tout le front de mer est construit voire même progresse en mer par l'avancée de remblais ?

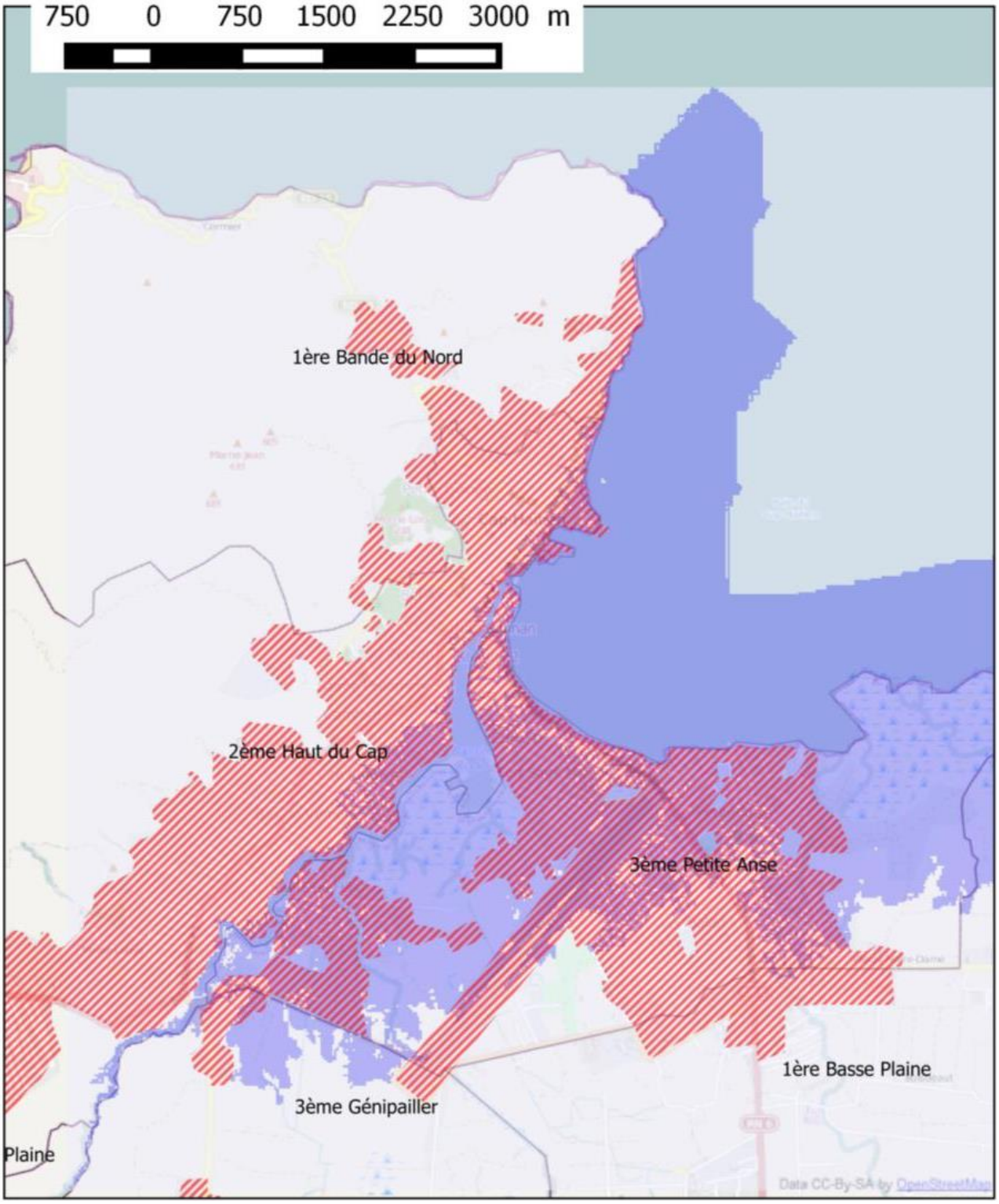
Aucune protection contre la houle n'existe sur le littoral de la section communale de Petite Anse. La section de Bande du nord n'est protégée que par des quais assez bas et submersibles dès que les vagues sont fortes.

Le bâti sur la zone littorale de Petite Anse est précaire et parfois à même le sol sans fondation, rarement avec étage et n'a aucune capacité à résister à une houle cyclonique. Quelques maisons sont en blocs et béton mais sans capacité de résistance prolongée à des assauts de houle de 3 m (Photos 5). La vulnérabilité de ce bâti et de ses résidents à des houles cycloniques est extrêmement élevée.
Certaines habitations disposent de RDC surélevés sur des dalles entre 20 et 50 cm au-dessus du niveau du sol qui peut les mettre à l'abri de l'envahissement de certaines grandes marées mais en aucun cas face à un cumul de surcote de tempête ou de cyclone et de grande marée.

Une évacuation massive est certainement à préconiser en cas d'alerte cyclonique affectant la côte. Il faut rentrer de près de 1000 m à l'intérieur des terres pour accéder à des zones urbaines a priori hors d'eau.
Cette action relève d'un autre programme en cours avec soutien de l'UNESCO.

	
Littoral au bout de la rue des Miracles	Littoral à 3ème petite anse
	
Littoral à 3ème petite anse	

Photos 5 : vues du littoral et du bâti du côté de Petite Anse.



Carte 12 : extension de la zone submersible en cas de surcote de 3 m (en bleu) relativement à la zone urbanisée actuelle (hachures rouges).

8 CAUSES ANTHROPIQUES DU RISQUE INONDATION AU CAP HAÏTIEN.

8.1 Introduction

Indépendamment de l'intensité des phénomènes naturels, des causes anthropiques sont à l'origine de l'augmentation du risque lié aux inondations en Haïti. Ce diagnostic est connu du gouvernement, des ONG, des Organismes internationaux (Réf. 1**,** Réf. 2).

Elles se traduisent souvent par une implantation dans des zones naturelles exposées, qui augmente le niveau d'exposition des foyers.

Parfois ces implantations modifient les écoulements lors des crues et en augmentent l'intensité en générant des ruissellements et une érosion plus intense dans les parties hautes des bassins versants.
Dans les zones de transit des crues, l'implantation de maisons ou clôtures en béton dans le lit même des cours d'eau intensifie hauteurs et vitesses du courant en réduisant la largeur de la zone d'écoulement.

Dans les parties basses, l'occupation des zones inondables naturelles de la plaine, réduit l'espace pour l'expansion des crues tout en mettant directement les habitations dans des zones exposées.

En Haïti, ces causes humaines sont courantes et ne peuvent pas être négligées parmi les causes d'augmentation du de l'aléa et du risque.

A intensité de pluie égale, toutes ces causes, souvent cumulées sur les bassins versants, font que les implantations humaines sont exposées à des crues dangereuses pour des pluies de plus en plus faibles, donc de plus en plus fréquemment et avec une intensité supérieure lors des évènements majeurs.

Il est crucial d'identifier, de localiser, de décrire et de remédier à la croissance de ces facteurs humains du risque d'inondation, quitte à heurter certaines fiertés ou intérêts locaux, voire impacter des populations nombreuses, si l'on veut s'attaquer à la réduction de ces causes anthropiques.

Ces comportements d'origine humaine sont à l'évidence le premier générateur du risque liés aux inondations, bien avant une possible augmentation de l'intensité des phénomènes pluvieux liée au changement climatique (Réf. 9 -).
Une analyse de l'occupation du sol proposée plus loin illustre le développement urbain dans les zones inondables, depuis la fin des années 70.

Il est alors aussi évident qu'un phénomène pluvieux exceptionnel comme celui de novembre 2012 a des conséquences encore plus aggravées que s'il était survenu sur un contexte où l'aléa n'est pas augmenté par les actions humaines.

Les missions de terrain ont été l'occasion d'identifier et d'observer un certain nombre d'évidences de facteurs d'origine humaine qui dans certains cas sont directement la cause de débordements et d'inondations, qui ne surviendraient pas sans eux.

8.2 Constats techniques sur les facteurs aggravant des inondations

Pour l'œil du spécialiste, au-delà de l'évidence du caractère inondable de la plaine et de la possibilité d'écoulements torrentiels provenant de mornes, la première évidence sautant aux yeux dans la ville du Cap-Haïtien est la présence de très nombreux facteurs d'augmentation du risque qui sont la conséquence directe de l'activité humaine et augmente voire crée l'aléa, crée l'exposition au risque d'inondation, augmente la vulnérabilité.

Les grands types de cause d'aggravation voire de création de l'aléa, de l'exposition identifiés sont :

- **Construction anarchique dans les mornes engendrant ruissellement, érosion torrentielles et coulées boueuses.**
- **Constructions trop proches des lits des ravines, voire dans les lits des ravines.**
- **Comblement des ravines et lits de rivières par des déchets et gravats, bouchage d'ouvrages.**
- **Extension des constructions et de la ville sur les rives de l'embouchure et dans les zones de mangroves et de marécages de la plaine.**
- **Ouvrages de drainage insuffisants ou à défaut de conception.**
- **Dégradation d'ouvrages existants ou absence d'entretien.**
- **Ravines ou talwegs sans ouvrage de captage ou de dérivation en zones habitées.**
- **Construction dans la plaine sur des remblais et insuffisance d'élévation des fondations.**
- **Etablissement de constructions en zone marine sur le rivage.**
- **Débordement de fossés et canaux anciens peu ou pas entretenus.**
- **Travaux de renforcement ou de profilage inadaptés.**

On trouvera en annexe 0 les localisations et illustrations argumentant les points ci-dessus.

La plupart des symptômes sur l'intervention humaine dans la création du risque observés au Cap-Haitien, sont identifiées depuis longtemps. Déjà en 2003, un rapport du Ministère de l'Environnement Haïtien, mettait en avant des cas très proches à Port-au-Prince et d'ans d'autres (Réf. 2). Des constats identiques étaient déjà identifiés en 2000 (Réf. 1) sur l'agglomération du Cap Haïtien mais pas encore qualifiés ni cartographiés à l'époque.

Ces causes s'accumulent et parfois s'enchainent, pour augmenter l'impact des évènements pluvieux même les plus brefs. On en arrive à l'occurrence de débordement et de dommages pour des évènements pluviométriques, hydrologiques, d'intensité modérée comme celui de novembre 2014.

La municipalité du Cap n'a pas les moyens ou ne s'est pas donné les moyens de faire face, ni à l'implantation sauvage de nouveaux résidents, ni aux nécessités d'entretien ou de réfection courante, d'aménagement de nouveaux ouvrages de drainage, du curage des réseaux ensablés ou bouchés.

Quelques aménagements nouveaux apparaissent parfois mais les interventions de curages sont le plus souvent réalisées après des épisodes de pluies ayant engendré des débordements massifs et un comblement quasi complet des drains.

Hormis le reboisement des hauts du Cap et la limitation d'implantation dans certaines zones, très peu semble avoir été entrepris à ce jour pour stopper les tendances déjà identifiées en 2000 dans l'étude OXFAM. On constate plutôt une accentuation et une aggravation des syndromes identifiés.

Les constats qui précèdent révèlent plus généralement une défaillance dans les missions incombant normalement au MTPTC en termes de suivi, de diagnostic, de réalisation, de maintenance, de programmation des ouvrages liés à l'évacuation des eaux pluviales. Les processus de maitrise d'œuvre comme de maitrise d'ouvrage semblent devoir être révisés et pour le moins être étayés par des critères et exigences techniques plus performants qu'ils ne le sont actuellement. Une analyse spécifique de ces processus de marchés publics mérite d'être réalisée rapidement afin de déterminer les causes des mauvaises réalisations, qui ne sont pas nécessairement dues à des coûts trop élevés de technique adaptées. Dans plusieurs des cas identifiés, les ouvrages ne sont pas bien dimensionnés. Il peut s'agir d'une conséquence de la faible connaissance sur le fonctionnement hydrologique des écoulements.

- **Qualification de l'aléa**

Du fait de la forte influence locale d'un aménagement inadapté, d'une absence d'aménagement et d'une implantation humaine non contrôlée et évoluant très rapidement, la qualification intrinsèque de l'aléa inondation comme phénomène purement naturel est rendue inopérante.
En effet, sur le fond des écoulements naturels et des débordements, les aménagements inappropriés et l'extension des zones habitées anarchiques sur les lits de rivières sont eux-mêmes non pas créateurs de la vulnérabilité et d'une évidente exposition mais parfois générateurs même de l'aléa, par la création de débordements locaux qui n'auraient pas lieu si le milieu était resté naturel, non habité ou non aménagé.
Cette création d'aléa évolue constamment, comme le montre la crue de novembre 2014 où l'activité humaine a engendré localement des débordements supérieurs à ceux de novembre 2012 en dépit de pluies nettement moins importantes.

Contrairement aux cartographies réalisées précédemment en Haïti en zones essentiellement rurales et à habitat peu dense, l'aléa inondation et les niveaux de danger dans la zone du Cap haïtien doivent grandement tenir compte de l'implantation humaine dans leur délimitation. **L'échelle de gravité des phénomènes développée avec le CNIGS pour cartographier l'aléa en Haïti a été adaptée à ce contexte pour s'attacher à mieux définir les niveaux de danger des phénomènes en milieu urbain et péri-urbain, quelles qu'en soient les causes. Elle ne qualifie qu'un phénomène naturel seul, d'ailleurs parfois non qualifiable par manque de données quantitatives.**

L'existence de toute ces causes anthropiques d'accentuation voire de création de l'aléa inondation impose un changement d'échelle et un diagnostic plus détaillé, ravine par ravine et mètre par mètre, sur les pentes des mornes, pour identifier les points d'intervention devant aboutir au rétablissement d'écoulements continus jusqu'à la rivière du Haut du Cap (aussi appelée Mapou).

- **Causes récurrentes en Haïti**

Les cartographies d'instabilités de terrain et de coulées de boueuses du BRGM indiquent que la presque totalité des têtes de ravines sont sujettes à la genèse de mouvements de masse, se traduisant par des chutes de blocs et des coulées boueuses en périodes de pluies intenses.
Le déboisement et l'usage agropastoral des zones situées en altitude (en moyenne au-dessus de l'altitude 100 m), sont en grande partie, causes de cette déstabilisation des pentes comme partout ailleurs en Haïti. Les visites de terrain et la comparaison avec les photographies aériennes de 1978, mettent en évidence l'apparition de ces zones dans les têtes de bassins versants.

Ces têtes de bassins versants doivent devenir des zones interdites et à reboiser. Elles le sont officiellement depuis un arrêté de mars 1947[1] classant les Mornes du Cap et interdisant les activités agricoles.
Les zones intermédiaires d'implantation récente d'habitat précaire, à mi- pente (en moyenne au-dessous de 100 m d'altitude) sont aussi les plus défrichées et érodées, et les sources d'une grande partie des apports solides dans les coulées boueuses. Ces zones doivent aussi être stabilisées.

- **Des actions à court terme à entreprendre**

Des interventions fermes doivent être entreprises dans les zones les plus exposées des ravines et des rivages à des dangers immédiats de mort pour les riverains.
Ces zones sont nombreuses et doivent être identifiées par un travail d'analyse systématique, ravine par ravine, en commençant par l'amont des ravines où toute nouvelle implantation devrait être interdite à une distance respectable d'au moins 50 m du fond des ravines et après analyse de la nature des terrains.
Les dispositions légales et règlementaires en vigueur doivent être analysées au regard de la diversité des situations afin de vérifier leur applicabilité.

- **Des actions à moyen et long terme**

Il est impératif de reconquérir le couloir de l'estuaire de la rivière du Cap, de faire stopper au plus vite et de déloger, les constructions établies dans le lit mineur de la rivière pour redonner à la rivière sa capacité à vidanger les crues.

Les zones d'actions à court et moyen terme concernées sont représentées dans la seconde partie de l'étude. Le dilemme auquel se trouve confronté la ville du Cap Haïtien est qu'elle est prise en étau entre :

1. Des mornes qu'il faut préserver de l'urbanisation sauvage ou aménager de manière ultra contrôlée en aménageant des ouvrages d'évacuation de ruissellement qui tirailleront des saignées dans la ville basse.

2. Une plaine inondable, déjà saturée qui sert de tampon pour les eaux de ruissellement et de la rivière du Haut du Cap, seule aire ou existent encore des terrains vierges. Ces terrains sont investis par des constructions illégales qui augmentent le risque.
3. Des points hauts pour développer la ville et implanter des logements peu nombreux, les zones les plus sûtes étant occupées depuis très longtemps, justement en raison de leur protection vis-à-vis des crues.

4. La mer et des rivages très bas, n'offrant pas de reliefs ou de pente pour une évacuation rapide des eaux en période de crue et présentant même un risque d'invasion par la mer en cas de surcote cyclonique.

Ces limites contraignent son développement, ce qui, couplé à l'absence de contrôle des nouvelles implantations, oriente principalement les nouvelles constructions dans les zones humides, de mangroves, les berges des cours d'eau encore inoccupées.
Une étude d'opportunité élargie sur l'environnement plus éloigné de l'agglomération capoise (10 ou 20 km) doit être réalisée afin d'identifier les zones les moins exposées aux risques naturels, vers lesquelles devraient être orienté son développement.

[1] arrêté du 15 mars 1947 (moniteur n°24 du 20 mars 1947) http://www.foprobim.org/Documents/EnvironmentaLawsofHaiti%20pdf.pdf page 135

8.3 Constat global

Les missions de terrain en septembre et novembre 2014 ont permis de confirmer que ces tendances aggravantes des crues déjà constatées en 2000 n'ont fait que s'accentuer depuis. Ceci est illustré dans les analyses d'occupation du sol qui suivent.

L'occupation des zones d'écoulement des ravines, les lits de rivières par des habitations, induisent à la fois une augmentation de l'intensité des crues (les eaux ayant moins de place pour s'écouler montent plus haut et s'écoulent plus vite ou s'accumulent dans les zones bouchées) mais mettent aussi tous les habitants à proximité des ravines ou des points de débordements (trop nombreux pour être cartographiés) dans des situations de grand danger en cas de crue.

Le rejet de déchets dans les rivières, les ravines, les drains, les canaux présentent un fléau que la municipalité et les services du MTPTC, du ramassage d'ordure ne sont pas en mesure de surmonter en l'état actuel de leurs moyens.

Les implantations sauvages et délibérées en zones exposées aux écoulements torrentiels ou aux montées d'eau de la rivière du haut de Cap en comblant le lit mineur de la rivière mettent les nouveaux arrivants dans des situations de danger de plus en plus extrêmes qui justifieraient leur déplacement et leur relogement hors des zones inondables.

Une grande partie du risque lié aux inondations résulte de ces mauvaises pratiques d'occupation ou de laisser faire en matière de construction et sont donc d'origine humaine.

La réduction de vulnérabilité des habitations individuelles par construction sur un soubassement surélevé commencent à être adoptées par certaines constructions nouvelles proches de la rivière du Haut du Cap. Cette pratique réduit la vulnérabilité de l'habitation elle-même mais contribuent à l'augmentation de l'aléa (hauteur, vitesse, durée) en supprimant des volumes d'expansion de crue lorsqu'elles sont entreprises dans les zones inondables ou le lit mineur de la rivière du haut-de-Cap.

En matière de risques liés à la submersion marine, une grande partie de la section communale de Petite Anse apparait submersible pour des hypothèses raisonnables de surcote cyclonique. Une frange littorale non déterminée est déjà inondable très régulièrement lors de grandes marées. Les habitations commencent depuis 2010 à s'établir en zone purement maritime ou de mangrove, sans remblais digne de ce nom ou infrastructures pour se protéger hors d'eau. Ces zones doivent être dégagées de toute habitation, remises en espace naturel tampon entre la mer et les zones urbaines.

PARTIE 2 : CARTOGRAPHIE D'ALEA - DIAGNOSTIC ET RECOMMANDATIONS

9 EXPOSITION AUX INONDATIONS DU CAP HAITIEN

9.1 Mode opératoire, limites et portée de l'interprétation

Le mode opératoire est identique à celui utilisé dans les études réalisées pour le CNIGS et le PNUD, de 2005 à 2010, de cartographie de zones inondables sur une dizaine de villes haïtiennes.
Les particularités de la ville du Cap, non rencontrées lors des études précédentes, en particulier les profondes ravines en zone urbaine, à pente forte, ont imposé une adaptation de l'échelle servant à définir et cartographier les zones de danger.
La notion d'aléa n'apparait pas suffisante car elle ne peut être déclinée comme dans les Plans de prévention des risques d'inondation français en une série d'usages successifs en croisant l'intensité de l'aléa avec l'exposition et des niveaux de vulnérabilité, les enjeux. On ne dispose pas de ces bases de données pour cette étude. De plus, on a pris conscience dans les étapes précédentes de la relativité de la notion d'aléa qui ne peut être assimilée à une cause purement naturelle mais se trouve parfois être une création induite par l'occupation du sol non contrôlée de certaines zones.
La vocation des cartes produites par cette approche en Haïti et spécifiquement dans la présente étude est triple, puisqu'il doit permettre de :

- Identifier les zones d'inondation et de crue mais aussi les zones de dangers liés au ruissellement.
- Servir de base pour la définition de schéma d'aménagement urbain autant que pour la planification d'urgence et de secours.
- Permettre une définition de zones **non aedificandi**.

Cette mixité des objectifs a guidé la définition de l'échelle d'intensité des dangers qui suit.

9.2 Echelles des dangers/aléas.

L'échelle de danger utilisée est dérivée de celle utilisée par R. GUILLANDE dans ses travaux de cartographie du risque inondation pour le CNIGS et le PNUD depuis 2009 (Réf. 11).
L'approche de caractérisation de niveau d'intensité des zones peut être qualifiée de semi-quantitative puisqu'elle est basée sur :

- La nature hydrogéomorphologique du secteur (déterminée parfois des données d'avant la colonisation urbaine) ;
- Les hauteurs de submersion maximales;
- Les reports de dommages, de victimes ;
- L'occupation du sol récente;
- Les observations de terrain.

Tableau 5 : nouvelle échelle d'aléa et de danger adapté pour Haiti, dérivée de l'échelle utilisée avec le CNIGS.

Aléa	**Extrême 5**	**Fort à très fort 4**	**Moyen à fort 3**	**Faible à moyen en zone de pente**	**Faible à moyen en en plaine**	**Nul à très faible 1**
Nature hydrogéomorphologique	Lit mineur/lit moyen/lit majeur et plaine alluviale Berges et flancs instables dans les ravines	Lit mineur/lit moyen/lit majeur et plaine alluviale	Lit majeur et plaine alluviale Zones hors écoulement dynamique, lit majeur étroit encadré de berges élevées Cônes des affluents de versant	Zones de ruissellements et de coulées boueuses provenant des talwegs du massif rocheux au nord de la zone urbaine	Lit majeur étendu et plaine alluviale ancienne	Hors submersion ou lit de rivière, écoulement torrentiel
Hauteurs d'eau	Hauteurs supérieures à 2,5 m	Hauteurs importantes de 1 m à 2,5 m	Hauteurs moyennes De 0,5 à 1 m	Hauteurs faibles localement supérieures à 50 cm dans les fonds de ravines ou les zones d'écoulements torrentiels	Hauteurs faibles Inférieures à 0,5 m	Nulle à quelques centimètres en période de forts orages ou de pluie intense
Vitesse d'écoulement	Vitesses élevées Tous véhicules emportés Submersion du premier étage des habitations Effondrement de murs généralisés Forte érosion des chaussées, dépôts très épais en pied de pente Débit torrentiel très rapide dévastant tout sur son passage	Murs effondrés ou emportés, ouvrages, endommagement et érosion des berges. Destruction partielle ou totale des protections contre les débordements. Dommages sévères ou destruction des habitations légères. Vitesses très élevées et fort danger en bordure de ravine. En zone urbaine, risque de coulées boueuses.	Danger d'emportement pour les personnes, véhicules légers emportés. Dommages sévères aux habitations légères. Vitesses élevées dans les zones urbaines en pente avec apport de sédiments et de blocs. Création de ravinement dans les zones déboisées.	Vitesses élevées à très élevées en zone urbaine ou péri urbaine. Ecoulements diffus ou concentrés en zone rurale localement écoulement très rapide en zone rurale ou péri-urbaine dans les zones creusées. En zone urbaine, écoulement ne prenant qu'une partie de la chaussée sur quelques centimètres. Emportement de petits débris et de galets par endroit.	Vitesses faibles en plaine. Les habitations traditionnelles en torchis sont affectées par la durée de submersion, ne s'effondrent pas mais requièrent des réparations. Les personnes peuvent circuler ou se mettre en protection.	Vitesse faible, négligeable, et peu de transport de matière solide. Ruissellement en zone urbaine
Niveau de danger	**Risque extrême**	**Risque fort à très fort**	**Risque modéré à fort**	**Risque faible à modéré** **Localement fort près des ouvrages sou des ravines**	**Risque faible à modéré** **Localement fort près des ouvrages**	**Risque considéré comme nul (hors glissement de terrain)**
Description des types de danger ou de dommages	Zone à hauteur de submersion extrême interdisant le refuge sur les bâtiments de moins de 2 étages. Effondrement de murs et des maisons en blocs. Zone à risque de choc de gros objets flottants emportés par le courant (véhicule, légers, camions) avec dommages forts et accumulation de débris dans les rues interdisant l'accès en période post-crise. Zone d'érosion et de dépôt importante dans les ravines pentues. Zone de lave torrentielle et coulée boueuse rasant tout sur leur passage Forte instabilité des berges qui s'écroulent et recul des terrasses bordant les lits en crue. Déclenchement de glissements de terrain par sape du pied des pentes Sous l'effet de l'érosion	Emportement de la plupart des objets non arrimés (animaux, véhicules, bois, tanks, etc...). Refuge sur les toits dangereux. Déplacement impossibles. Risque de noyade certain. A proximité des lits mineurs, fort risque d'érosion et d'écroulement des berges et de surcreusement ou d'affouillement mettant en danger la stabilité de tout type d'édifice situé à proximité des berges. Les édifices en torchis ou moellons mal cimentés sont endommagés ou détruits. Accès des secours impossible. En zone à forte pente, éboulements, chutes de blocs et coulées boueuses. Déstabilisation et effondrement des maisons sur les flancs les plus raides.	Zone d'écoulement plus ou moins continue ou de submersion complète mais ne permettant plus de se déplacer. Les rez-de-chaussée des bâtiments sont généralement tous submergés et inutilisables. Refuge possible en étage ou sur les toits. Dangers plus élevés à proximité des berges submersibles en raison du courant. Accès des secours impossible. Dangers élevés dans les zones de ruissellement urbain avec fort risque d'emportement des personnes. Emportement possible de murs dans les zones à forte pente ou au niveau des embâcles d'ouvrages bouchés ou sous-dimensionnés.	Danger généralement diffus et faible ou concentré sur les fonds des ravines; les rebords et les zones d'érosion intense. Risque d'éboulement ou d'effondrement élevé à proximité des rebords de ravines ou zones d'écoulement, de ravinement et d'érosion. Epandage de dépôts et débris locaux dans les zones urbaines. Risques élevés possible à proximité d'ouvrages bouchés ou endommagés, non entretenus.	Zone d'écoulements discontinus ou de ruissellements. Le danger est situé sur ou à proximité des ravines, rigoles, canaux, caniveaux qui drainent les eaux de crues. La submersion ne dure que tant qu'il pleut. Les constructions faibles peuvent résister avec des dommages modérés. Refuge possible dans les habitations. Evacuation à pied mais traversée des zones d'écoulement dangereuse. La construction de bâti sur socle surélevé est possible. Danger pour les personnes à mobilité réduite ou les enfants dans les zones de ruissellement urbain.	Pas de danger lié aux crues mais n'exclue pas le glissement de terrain dans les zones à forte pente.

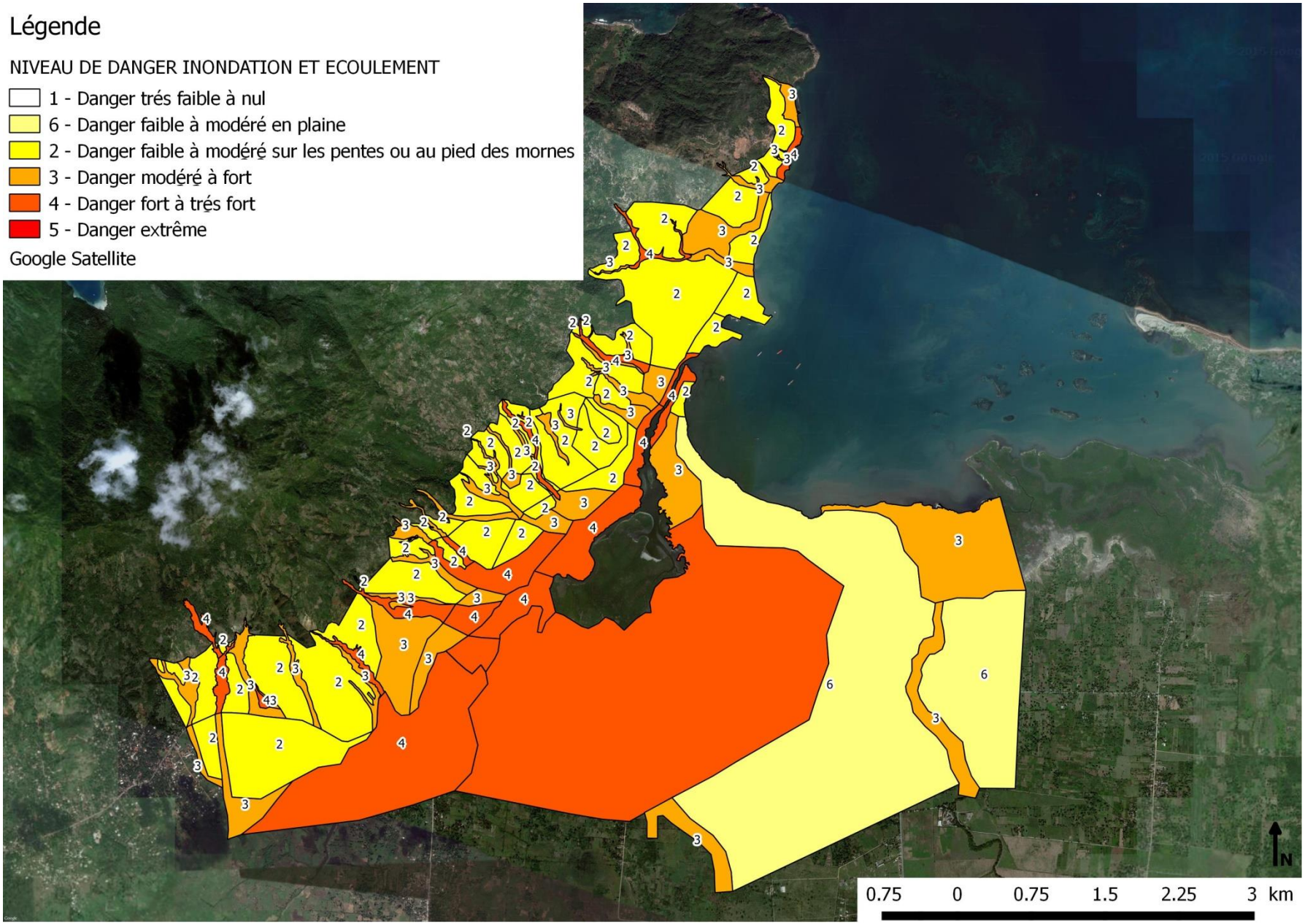
9.3 Résultats et limites

9.3.1 Carte des dangers

Les niveaux de dangers liés aux inondations sont proposés à la Carte 13.

Elle met en avant une grande zone de danger fort à très fort encadrant le lit de la rivière du Haut du Cap et la plaine entourant la lagune en raison des courants et de fortes hauteurs d'eau.

La zone autour de l'aéroport présente aussi un fort danger avec des hauteurs fréquemment de l'ordre de 1 m voire plus.
Le parcours des ravines est également considéré comme à danger fort en raison de la vitesse d'écoulement, des risques d'érosion et de glissements, de coulées boueuses, des embâcles et des fortes hauteurs d'eau localement autour de ces points de blocages des écoulements.
On note l'absence de zones à danger extrême (code 5 rouge) telles qu'on a pu en cartographier aux Gonaïves (Réf. 11).



Carte 13 : carte de dangers liés aux inondations et aux écoulements sur l'agglomération du Cap Haïtien (mise à jour à l'aide du MNT LIDAR et de l'orthophoto produite en 2014).

9.3.2 Limitation

L'échelle et la carte ci-avant se rapportent aux dangers liés aux inondations et aux écoulements torrentiels. Elles sont adaptées et valables en zones de plaines. Elles présentent des limites en zone de relief avec des pentes fortes.
Le nombre et l'étroitesse, l'inaccessibilité parfois des ravines, l'indisponibilité du MNT lidar définitif et de la photographie aérienne récente de 2014 associés, n'ont pas permis une cartographie détaillée des parties hautes et encaissées des ravines et cette cartographie devra être réalisée dans une prochaine étape.
Dans les portions de ravines les plus étroites, larges de quelques mètres, la cartographie à l'échelle de 1/10 000 se réduit à un trait de crayon. Dans ces secteurs, un pointage de chaque construction perturbant l'écoulement est nécessaire. Il ne pouvait être entrepris dans la présente étude.

L'étude BRGM de 2014 (Réf. 7) a montré l'existence de zones à risques de glissements de terrain, d'éboulements, de coulées boueuses sur les contreforts au-dessus de la ville basse et sur les pentes des ravines.
Le passage du phénomène d'érosion générateur des coulées boueuses au phénomène d'inondation est une transition souvent difficile à positionner sur une carte. Par ailleurs, les glissements de terrain sont observés sur les rebords de terrasses ou les flancs escarpés subissant une sape en pied de pente et une déstabilisation liée à l'érosion par les écoulements. Ces phénomènes sont intimement liés mais n'ont pas été cartographiés.

9.4 Amélioration et mise en concordance de cartes des phénomènes grâce au MNT LIDAR et l''ORTHOPHOTO de 2014.

En février 2015 a été livré au CNIGS un modèle numérique de terrain (MNT) LIDAR et une orthophoto acquise en 2014 sur l'agglomération capoise sur financement de la Banque Mondiale. Ces nouvelles données ont permis d'améliorer la qualité des interprétations les points suivants :

- Amélioration de la carte de danger lié au risque d'inondation en particulier dans les zones de ravines ;
- Amélioration de la carte de zonage de l'aléa coulées bouseuses produite dans le cadre du zonage sismique du cap haitien (Réf. 7) ;
- Comptage des bâtiments et des populations résidant dans les zones non aedificandi proposées. (voir chap. 10.2)

9.4.1 Amélioration du zonage de danger grâce au MNT LIDAR et à l'ORTHOPHOTO.

La première version de la carte de danger livrée en janvier 2015 a pu être améliorée sur différents points grâce aux nouvelles données. Les points d'amélioration ont porté sur :
La nouvelle carte de dangers liés au risque d'inondation (Carte 13) est désormais plus opérationnelle dans une optique d'aménagement et de planification.
Elle peut être exploitée à une échelle de l'ordre du 1/15000 ou 1/10000.
Les Figure 5 et Figure 6 montrent comment une réinterprétation géomorphologique a permis de mieux délimiter les séparations entre les niveaux de danger de la carte initiale.
On notera que la zone de lagune couverte de mangrove encore inhabitée derrière le cordon littoral étant non remblayée appartient au domaine fluvial et estuarien actif et n'est pas censé être habitée. Il relève néanmoins d'une zone de danger fort à très fort (code 4) à extrême (code5).

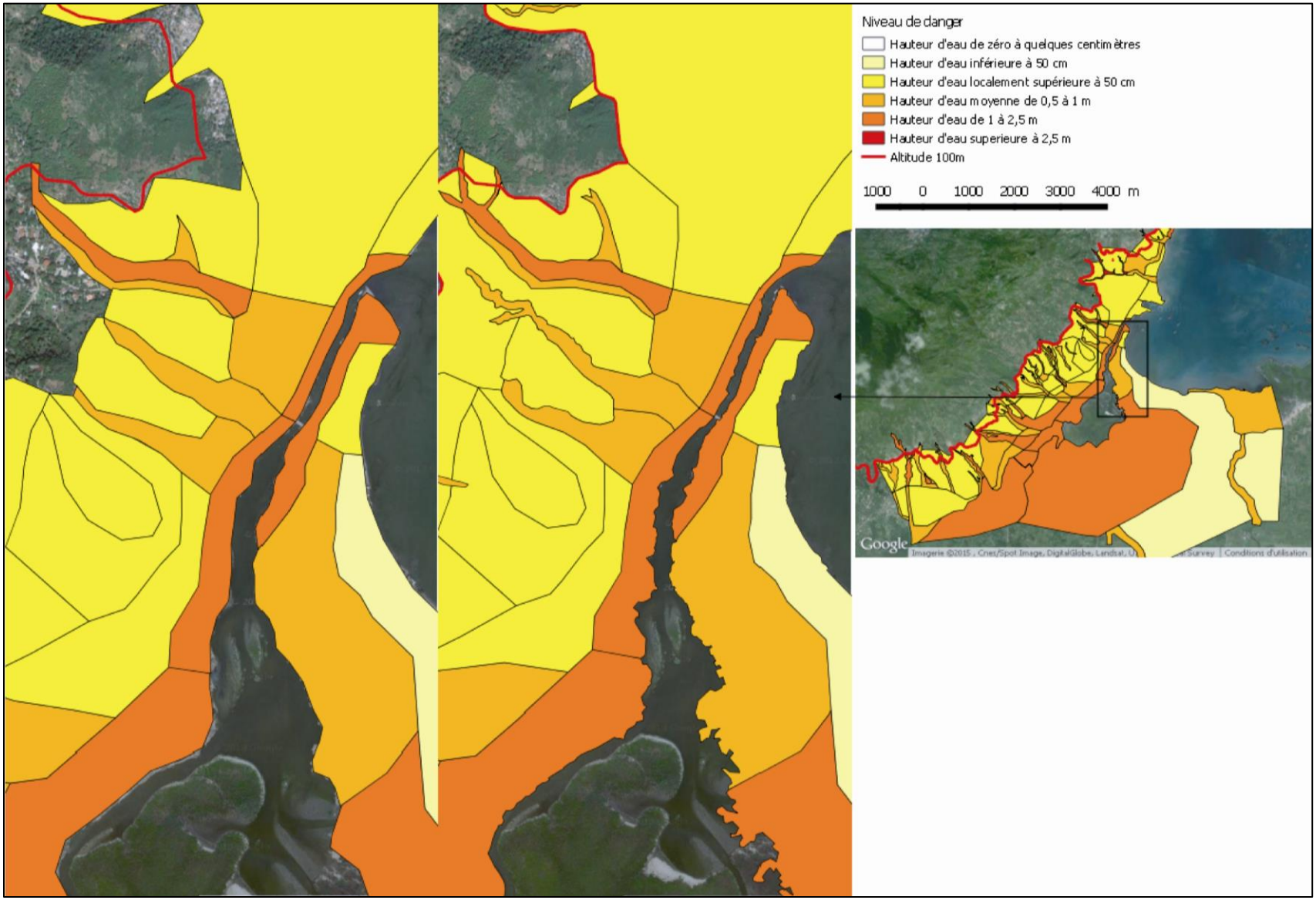


Figure 5 : amélioration des contours de la couche danger au niveau des berges du fleuve. (à gauche ancienne version, à droite version améliorée avec usage du LIDAR).

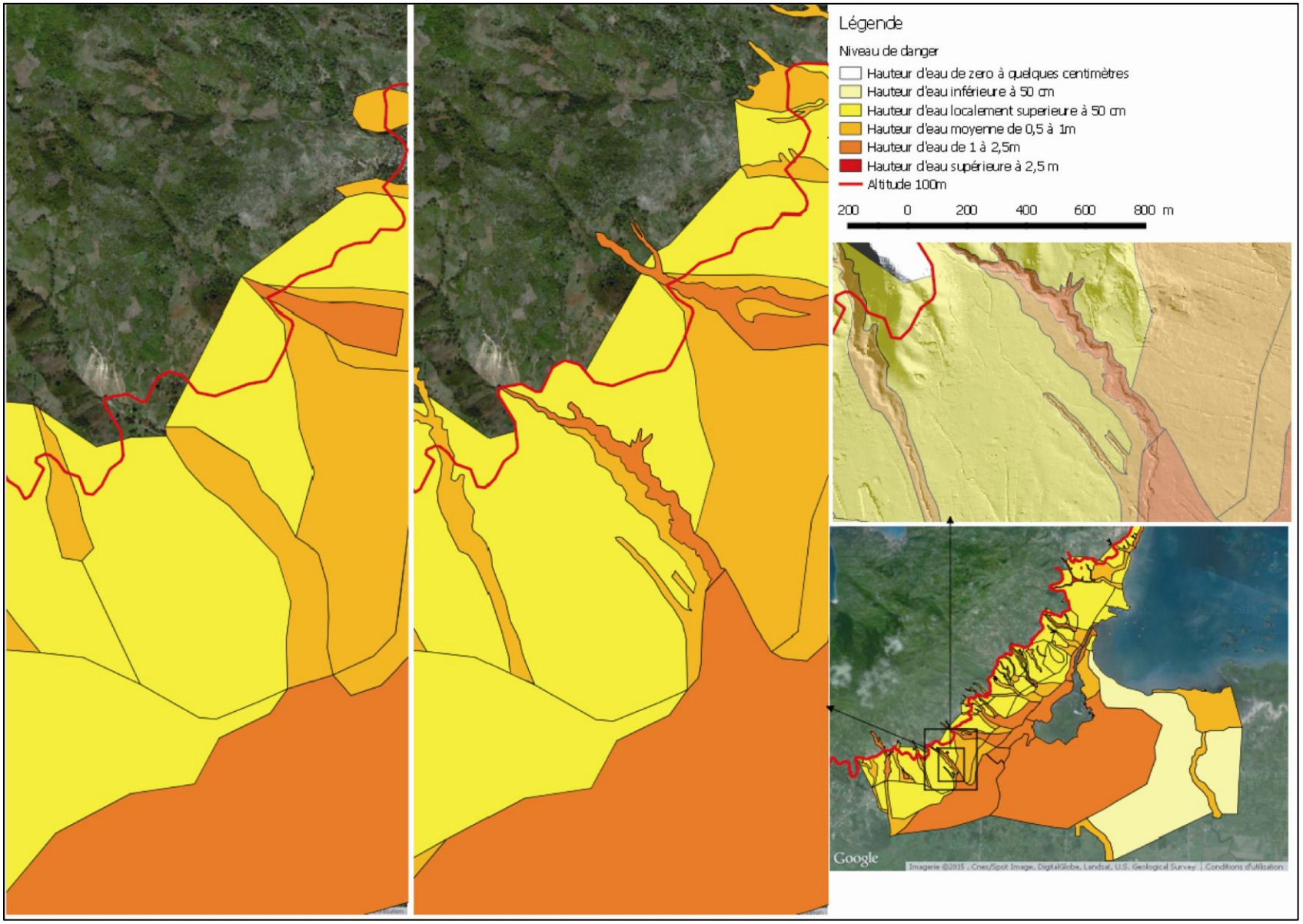


Figure 6 : amélioration des contours de la couche danger au niveau des ravines (à gauche ancienne version, à droite version améliorée avec usage du LIDAR).

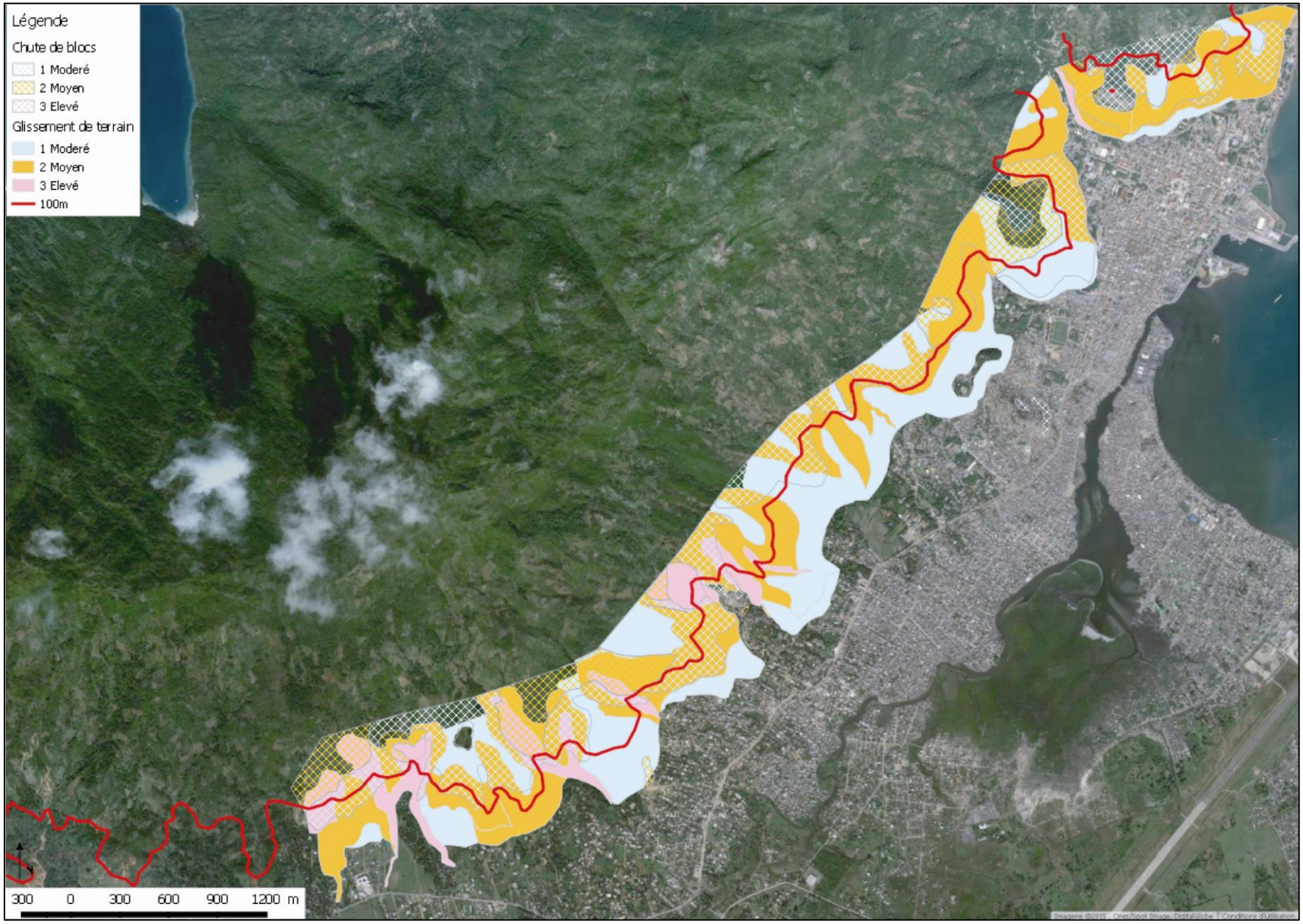
9.4.2 Croisement avec la carte des coulées boueuses réalisée dans le cadre du microzonage sismique du Cap Haïtien.

La disponibilité des données LIDAR et ORTHOPHOTO de 2014 permet d'améliorer les produits cartographiques existants tels que les cartes d'exposition aux risques de coulées boueuses produites dans le cadre du microzonage sismique du Cap Haïtien (Réf. 7).
Le zonage du risque de mouvement de terrain réalisé par le BRGM (**Carte 14**) n'a pas été traité dans la présente étude, les phénomènes étant très différenciés des inondations mais ce zonage peut être affiné grâce à la précision des nouvelles données.

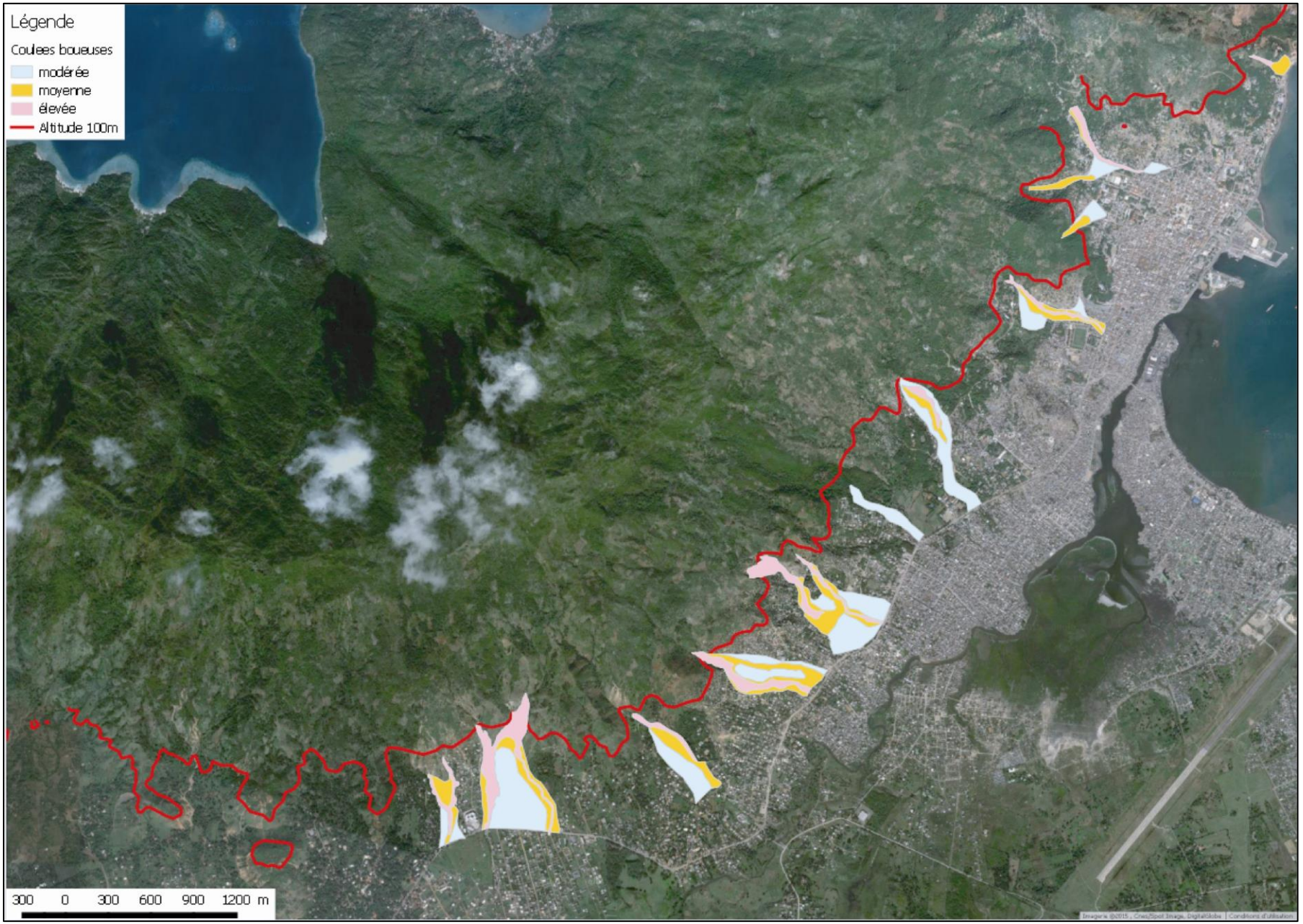
Le zonage d'aléa coulées boueuses (**Carte 15**) a en revanche été raccordé au zonage de danger de la présente étude. Les zones de genèse des coulées boueuses en trois niveaux d'aléa (modéré, moyen, élevé) ont été comparées au zonage de danger de la présente étude. Le zonage réalisé par le BRGM a été amélioré sur les points suivants :

- Meilleure calage géographique avec corrections de décalages dus au fond de carte exploité dans la zone de coulées boueuses.
- Corrections d'incohérences de position des limites de chaque niveau d'intensité dues à l'échelle des données topographiques exploitées.
- Amélioration de la finesse et de la précision des contours sur le piémont et dans les ravines au pied des mornes.

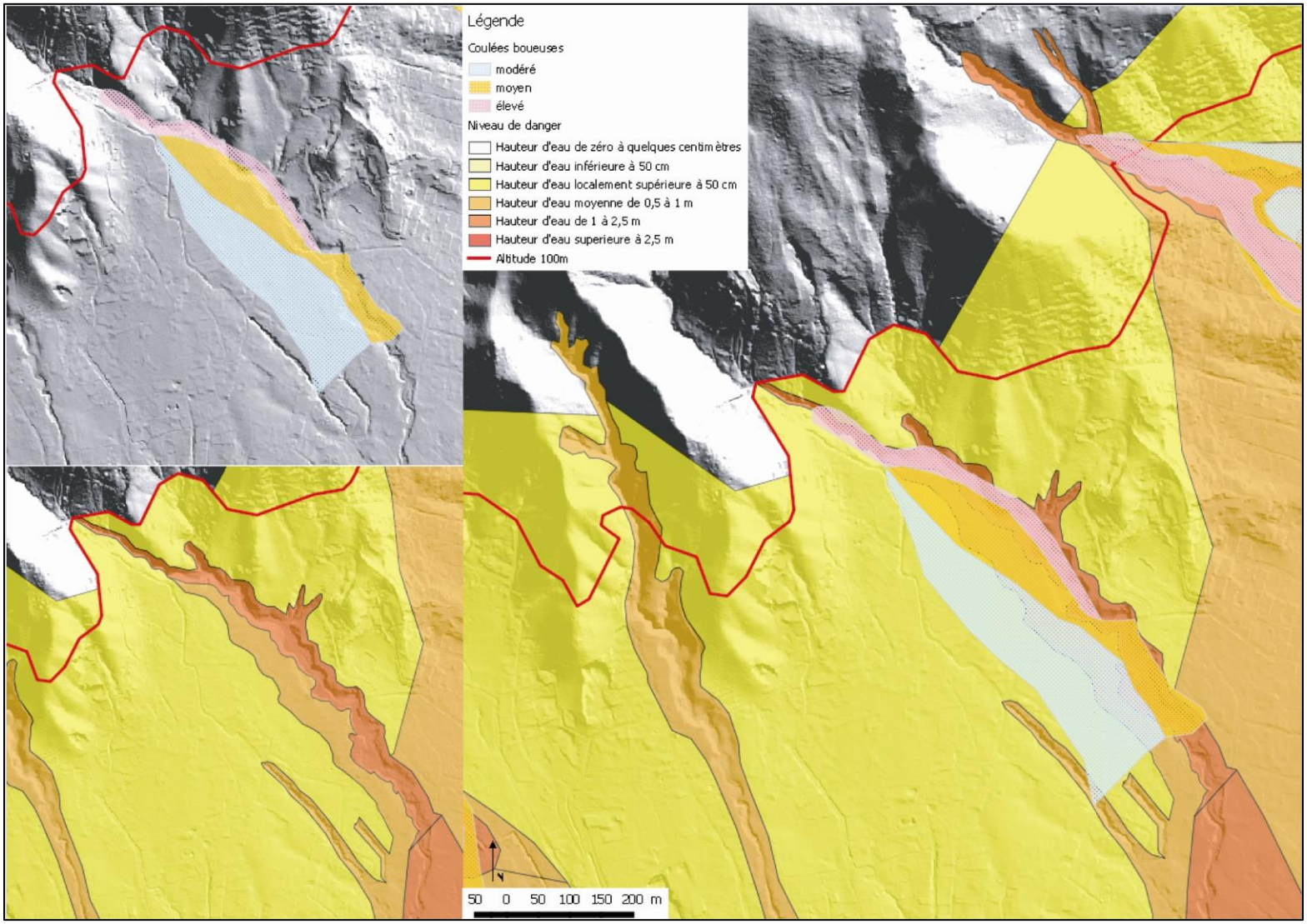
Les **Carte 16** et **Carte 17** illustrent les types de modifications apportées qui intègrent dans le zonage de danger les zones de genèse des coulées bouseuses du microzonage de 2014.



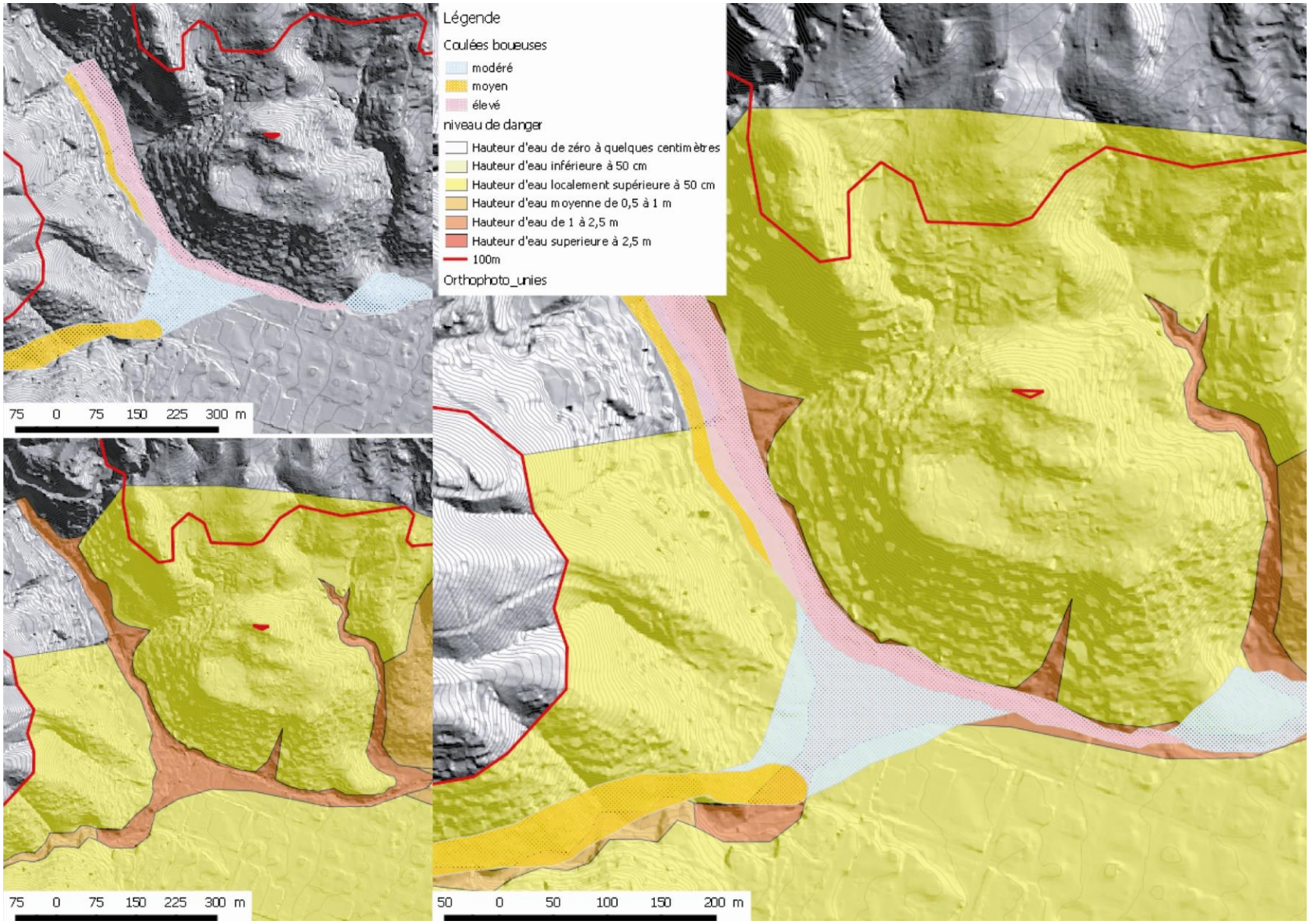
Carte 14 : Carte d'exposition à l'aléa chutes de blocs et glissements de terrain (Réf. 7 **).**



Carte 15 : carte de zonage de l'exposition à l'aléa coulées boueuses (Réf. 7 **).**



Carte 16 : Comparaison de la couche danger de la présente étude avec le zonage d'aléa "coulées boueuses" du BRGM (Réf. 7 **).**



Carte 17 : Comparaison de la couche danger de la présente étude avec le zonage d'aléa "coulées boueuses" du BRGM (Réf. 7 **).**

10 DEFINITION DE ZONES NON AEDIFICANDI

10.1 Critères de définitions des zones non aedificandi

Compte tenu de la récurrence des crues et des victimes fréquentes dans l'agglomération du Cap Haïtien, de l'évidente présence de nombreuses habitations dans les zones d'écoulements fréquents des cours d'eau ou des zones intertidales envahies par les marées, différentes zones présentent des dangers trop élevés pour qu'on y admette l'installation permanente de résidents ou d'activités.

Ces zones devraient être qualifiées comme « non aedificandi » et faire l'objet d'une interdiction d'installation et dans la mesure du possible d'une relocalisation des résidents qui s'y sont déjà installés.
A ce premier stade de définition, nous ne rentrons pas dans l'analyse du contexte légal et règlementaire sur l'occupation du sol ou sur les risques qui permettraient de procéder au gel de ces zones.

Différentes zones habitées ne devraient pas l'être pour différents motifs dans la ville du Cap :

- les zones remblayées dans le lit même de la rivière du Haut-du Cap qui, d'une part, sont des zones d'écoulements quasi permanents et les zones les plus inondables, avec un danger extrême en raison des hauteurs d'eau supérieures à 1 m et de la forte vitesse du courant à proximité du lit mineur. Les constructions dans le lit mineur sont aussi des obstacles à l'écoulement et à la vidange de la zone de lagune et de mangrove intérieure pendant les crues.
L'accentuation du peuplement dans le lit contribue à ralentir le transit des crues, à surélever le niveau d'eau à débit (pluie) égal et à augmenter le danger pour les résidents dans ces zones trop proches ou dans les écoulements permanents ou réguliers des cours d'eau.

Dans le cadre d'une approche **de prévention des risques** basée sur l'aménagement et l'urbanisme, ces zones devraient être libérées des habitations et laissées libres pour l'écoulement ou l'expansion des crues.

Une carte de ces zones a été établie sur la base de critères présentés au Tableau 6. Cette carte est basée sur des critères plus contraignants que ceux de la législation en matière d'urbanisme ou de protection des berges (qui doit également être réanalysée).

Les priorités pour la définition de zones non aedificandi sont les suivantes :

- **Zones maritimes relevant du domaine marin même avec remblais léger mettant hors d'eau pour les faibles marées.**
- **Zones fluviales correspondant à un lit majeur pouvant être défini sur le plan hydrogéomorphologique (de 1978) où l'écoulement en période de crue doit être préservé sans obstacle.**
- **Toute berge gagnée sur les cours d'eau dans le lit mineur de ce dernier défini selon des critères hydrogéomorphologiques (concerne la partie avale en zone urbaine).**
- **Zones de danger caractérisé comme élevé en bordure d'écoulement ou dans les ravines, du fait d'un risque lié à l'écoulement ou à la déstabilisation des berges ou des pentes bordant l'écoulement. Le danger s'entend autant pour les personnes que pour les bâtiments et installations permanentes (concerne plusieurs ravines).**

Ces critères sont une première proposition à valider pour une compatibilité avec le cadre règlementaire actuel. Dans les zones relevant de ces critères, toute installation ou bâtiment permanent est proscrit quel que soit son usage.

La Carte 18 a été établie selon les critères énoncés ci-dessus. Sa délimitation peut être affinée en tenant compte de critères règlementaires concernant les zones fluviales, côtières, maritimes, qui n'ont pas été intégrées dans ce premier projet de zones non aedificandi.
La base de données SIG comporte une couche appelée « NON AEDIFICANDI »

3 types de zones ont été définis sur la base des éléments exposés ci-dessus :

Tableau 6 : Critère d'établissement de zone non aedificandi

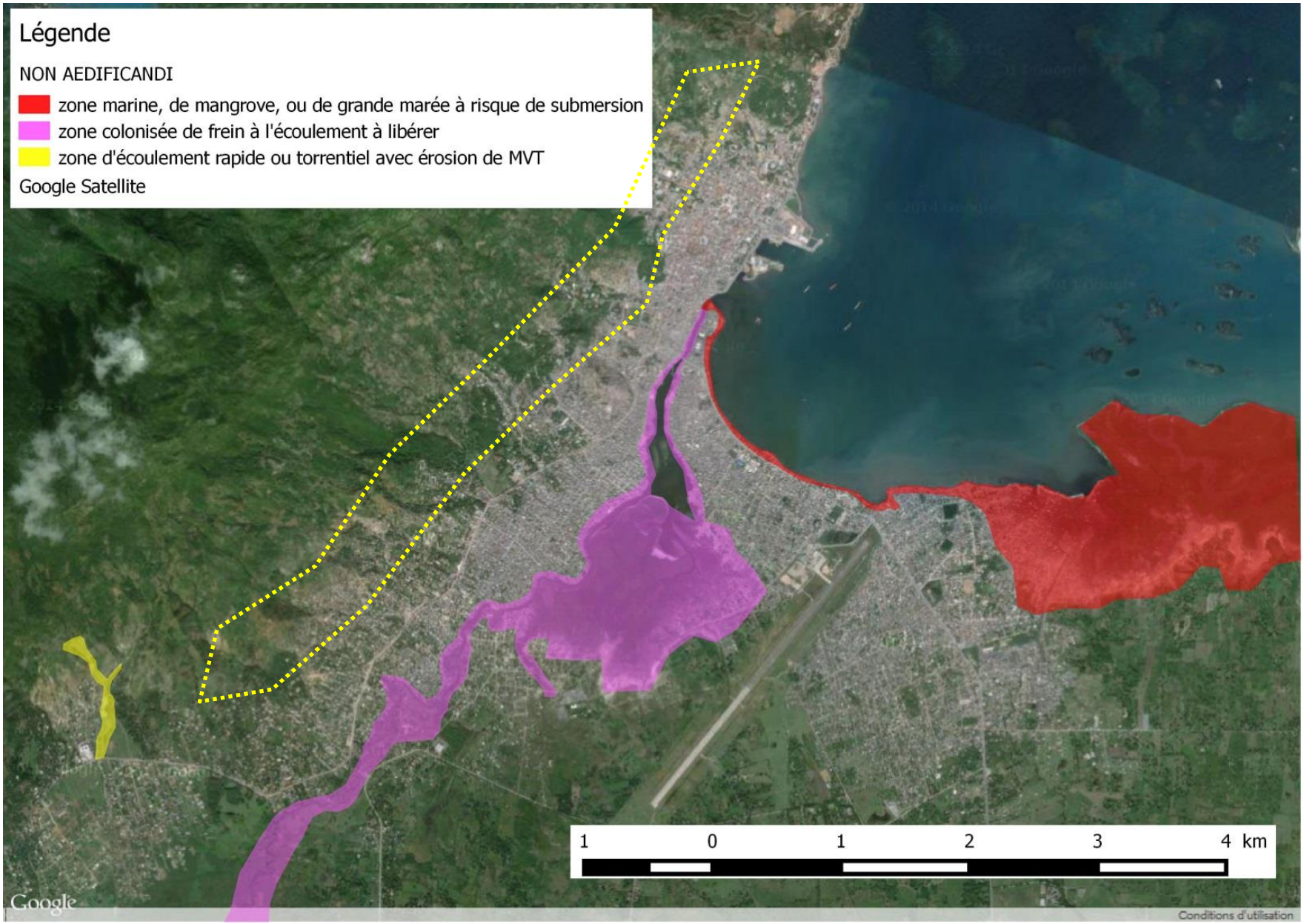
Zone 1	Une zone située en front de mer correspondant à des zones de mangroves colonisées ou toujours présentes, qui font partie du domaine intertidal et sont atteintes par les grandes marées comme les marées normales. Cette zone est aussi celle correspondant à un niveau d'élévation de 1m au-dessus du niveau marin de référence du MNT LIDAR (côte non connue pour l'instant). On a vu dans la première partie de l'étude que les zones situées en dessous d'une côte 3 m par rapport au niveau marin sont presque toutes colonisées et il en va de même pour la zone située à une côte de 2 m. Par défaut, la zone submersible à 1m au-dessus du niveau de référence du MNT a été retenue et elle correspond à la zone littorale représentée en rouge (Carte 18, Carte 19, Carte 20) (codes 1 et appelée « ZONE MARINE, DE MANGROVE OU DE GRANDES MAREE »).
Zone 2	Une zone située le long du cours d'eau principal et autour de la lagune en voie de colonisation. Elle correspond à des zones d'expansion de crue fréquente (et non pas exceptionnelle) et s'apparente au lit actif visible sur l'imagerie aérienne de 1978. Dans la zone de chenal entre embouchure et lagune, les habitations se sont installées dans le lit mineur et font obstacle à l'écoulement avec pour effet de ralentir la vidange en amont et rehausser la ligne d'eau de la crue. Ces zones doivent être libérées des constructions qui y sont installées. Cette zone est représentée en rose (Carte 18, Carte 19, Carte 20). Elle est codée 2 dans la couche SIG et est appelée « FREIN OU OBSTACLE À L'ÉCOULEMENT ».
Zone 3	Une zone située le long de couloirs d'écoulements torrentiels ou rapides sujette aux coulées boueuses, à de fortes érosions ou dépôts et dont les flancs sont instables et génèrent des chutes de blocs, des glissements de terrain. Une seule zone de ce type a été représentée à l'ouest de la ville. Plusieurs autres zones devront être ajoutées dans la plupart des ravines. Ce travail dépasse les possibilités de la présente étude car il requiert un travail de détail au 1/10 000 ou au 1/5 000 sur chaque ravine. Ce travail pourra être entrepris dès que sera disponible le jeu de données finales LIDAR + PHOTOGRAPHIES AERIENNES associées. Cette zone est cartographiée en jaune (Carte 18, Carte 19, Carte 20). Elle est codée 3 et appelée « écoulement rapide et érosion » dans la couche SIG correspondante. Les critères objectifs ou subjectifs d'expropriation éventuelle dans les ravines ou sur leurs flancs doivent affinés en fonction de la législation en vigueur ou adaptés à chaque cas par une étude plus détaillée à une échelle descendant au 1/5000 ou 1/10000. Localement, une ou deux propriétés seulement empiétant sur les lits de ravines doivent faire l'objet de destruction sur des tronçons très étroits. Ces cas doivent être identifiés un par un par une étude de détail de chaque ravine et pourront être intégrés dans une cartographie au 1/10 000 une fois identifiés.

Cette proposition est un projet qui doit faire l'objet d'une évaluation et d'un échange avec le CIAT et les acteurs concernés par le risque d'inondation en Haïti afin d'étayer au mieux les critères de décision et de délimitation, et d'évaluer la compatibilité avec les textes règlementaires existants en matière d'urbanisme et de construction exposés aux risques d'inondation ou de submersion marine.
Il pourra ensuite être exposé et discuté localement au Cap haïtien.

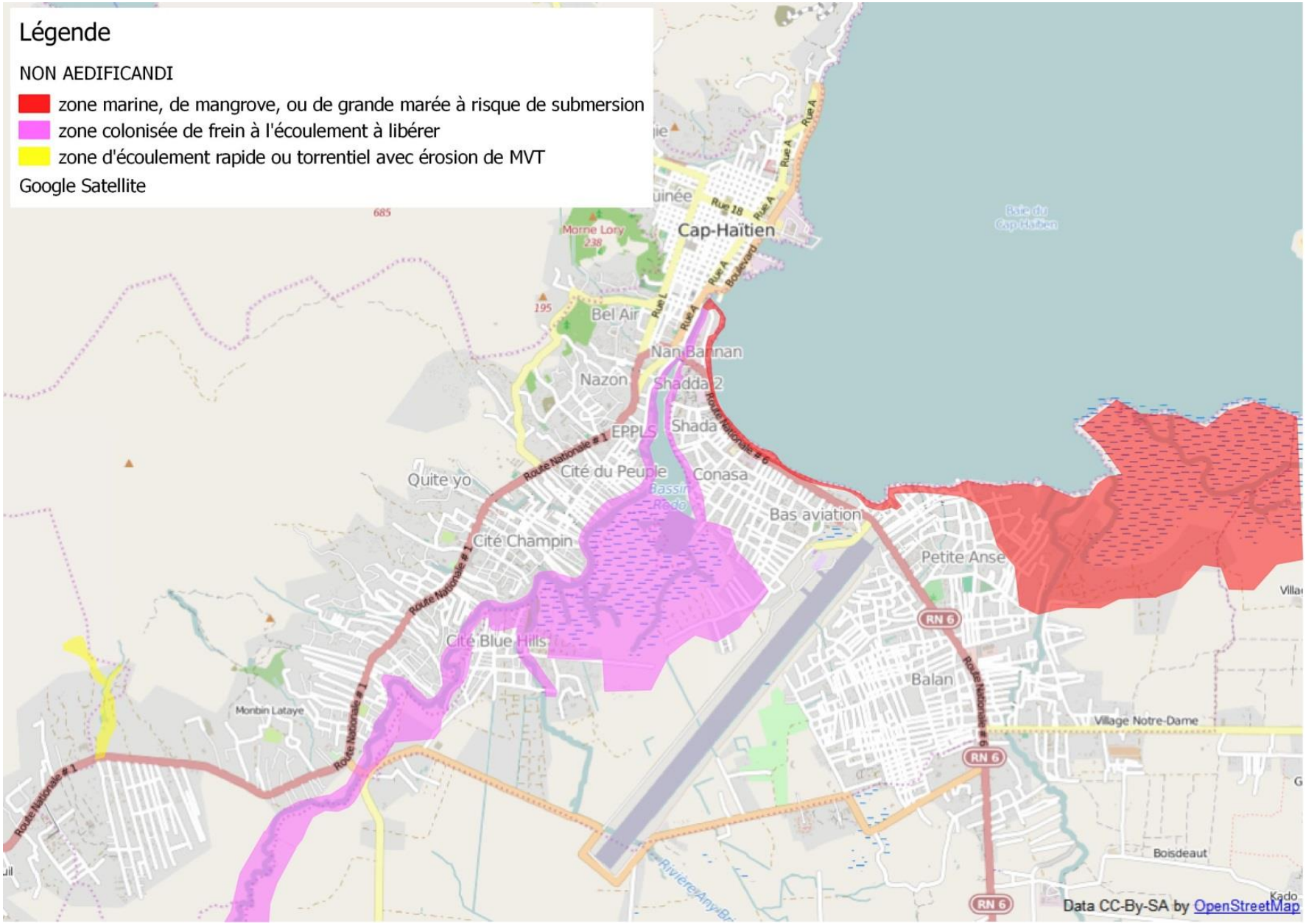
On pourra constater à la Carte 21 que la zone non aedificandi proposée ne correspond pas aux zones de danger les plus élevées du fait des 3 critères qui ont guidé son élaboration. Une extension à ces zones de danger les plus élevées s'avérerait de toute façon irréaliste du fait de la très forte implantation humaine dans les zones inondables qu'il est inenvisageable d'éliminer à ce stade. On verra au chapitre suivant que le comptage des populations dans les zones non aedificandi est déjà un défi majeur dans une optique de délocalisation. Il sera dans tous les cas indispensable d'initier un programme de réduction de vulnérabilité dans les zones de danger qui ne seront pas évacuées (voir chapitre 11 sur les recommandations).

A ce stade d'étude et en l'absence de base de données appropriée, il n'est pas possible de procéder à une évaluation de l'impact d'une démarche d'expropriation dans ces zones en terme de dénombrement de bâtiments et de populations inclus dans les zones « non aedificandi » proposées. En effet, aucune image satellite ni photographie aérienne postérieure à 2013 n'était disponible sauf sur Google Earth. Cette estimation de population concernée à déplacer et de nombre de bâtiments à détruire, peut être réalisée dès la disponibilité de la photographie aérienne acquise en même temps que le MNT lidar en 2014.

Dans les ravines étroites, les zones non aedificandi sont aussi très réduites de part et d'autre du fond de la ravine et cela ne peut être représenté à l'échelle des cartes produites. Elles ne sont pas représentées sur les cartes.
Un complément d'analyse cartographique systématique a été entrepris en mars 2015 après mise à disposition des données LIDAR et aériennes acquises en 2014. Elle est intégrée dans cette seconde version du rapport. La zone concernée est représentée par le pointillé jaune sur la Carte 18.



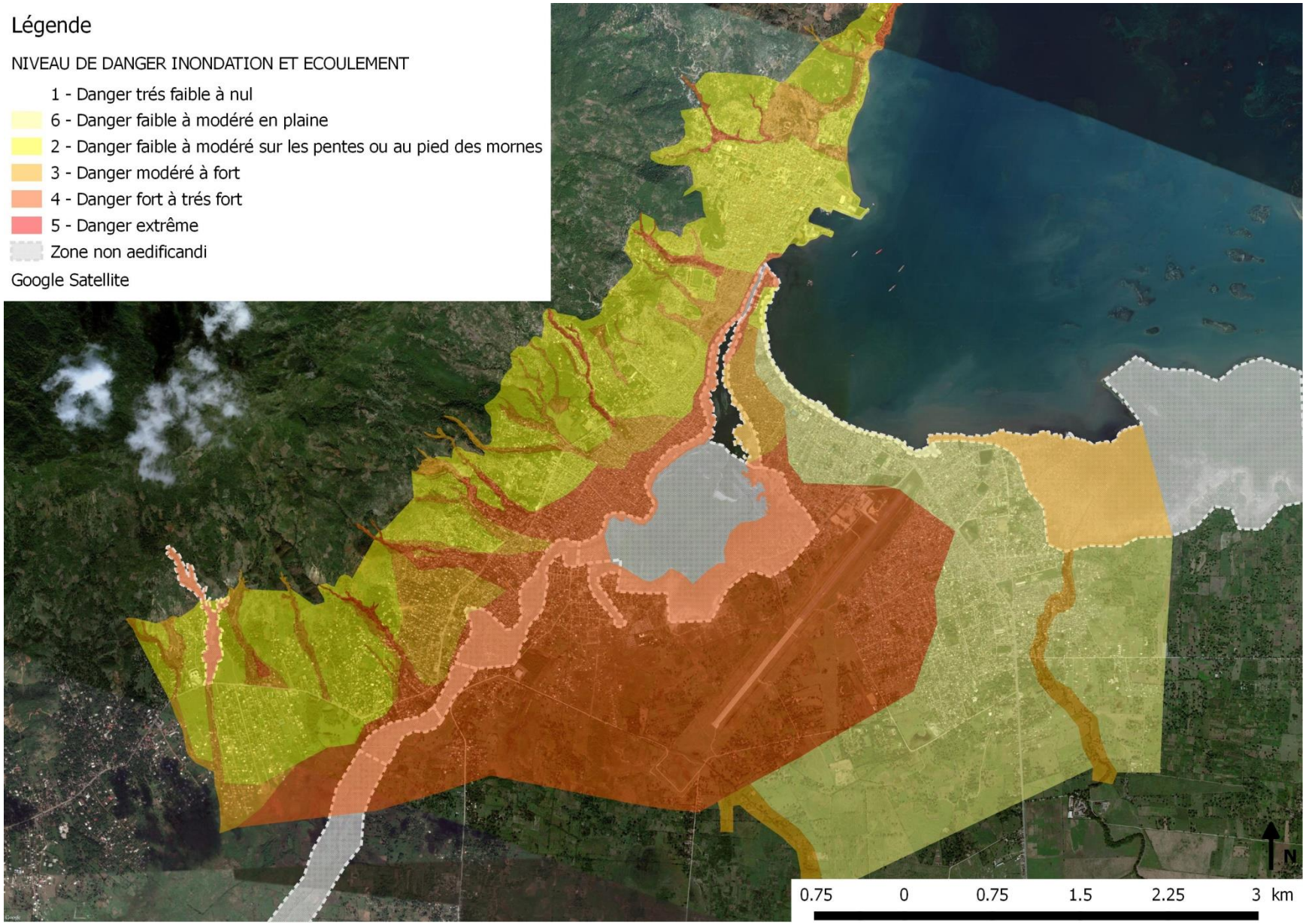
Carte 18 : vue globale des zones non aedificandi proposées. La zone en pointillé jaune doit faire l'objet d'une cartographie plus détaillée dans les fonds de ravine en changeant d'échelle une fois disponible les données lidar et photographie aérienne finales.



Carte 19 **:** vue globale de l'extension des 3 types de zones non aedificandi sur l'agglomération du Cap Haïtien (fond OpenStreetMap).



Carte 20 : distribution des zones non aedificandi dans la partie urbaine dense de la ville du Cap Haïtien (fond Google Earth).



Carte 21 : superposition de la zone non aedificandi proposée à la carte de danger liée aux inondations.

10.2 Estimation du nombre de bâtiments et des populations en zone non aedificandi

Les zones non aedificandi proposées concernent un nombre de bâtiments et une population qu'il faut estimer afin d'envisager la faisabilité, les moyens requis pour libérer ces terrain d'occupation humaine et élaborer les mesures d'accompagnement.
Un comptage est devenu possible après mise à disposition de la photographie aérienne acquise en 2014 dans le cadre du programme d'acquisition de MNT lidar financé par la Banque Mondiale. Elle a permis une estimation plus fine que les données disponibles durant la première phase d'étude en 2014, qui dataient de plusieurs années.

La méthode d'estimation est présentée à l'annexe 10 (11.8).

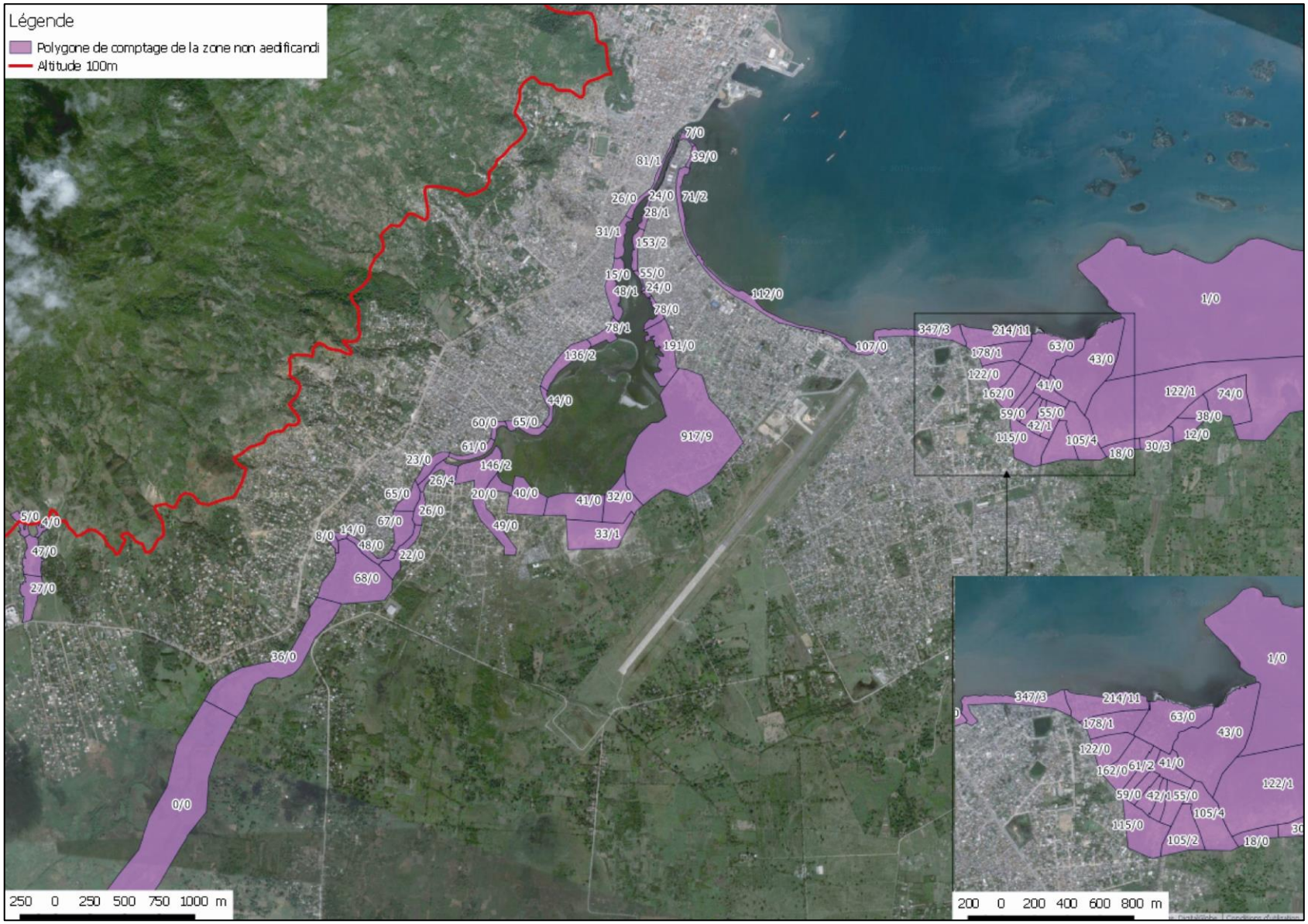
Une distinction a été faite entre bâtiments d'habitation ou supposés l'être et les autres types de bâtiments d'activité supposés de ne pas héberger en permanence des résidents (voir annexe 11.8).

Les résultats obtenus par photo-interprétation sont les suivants :

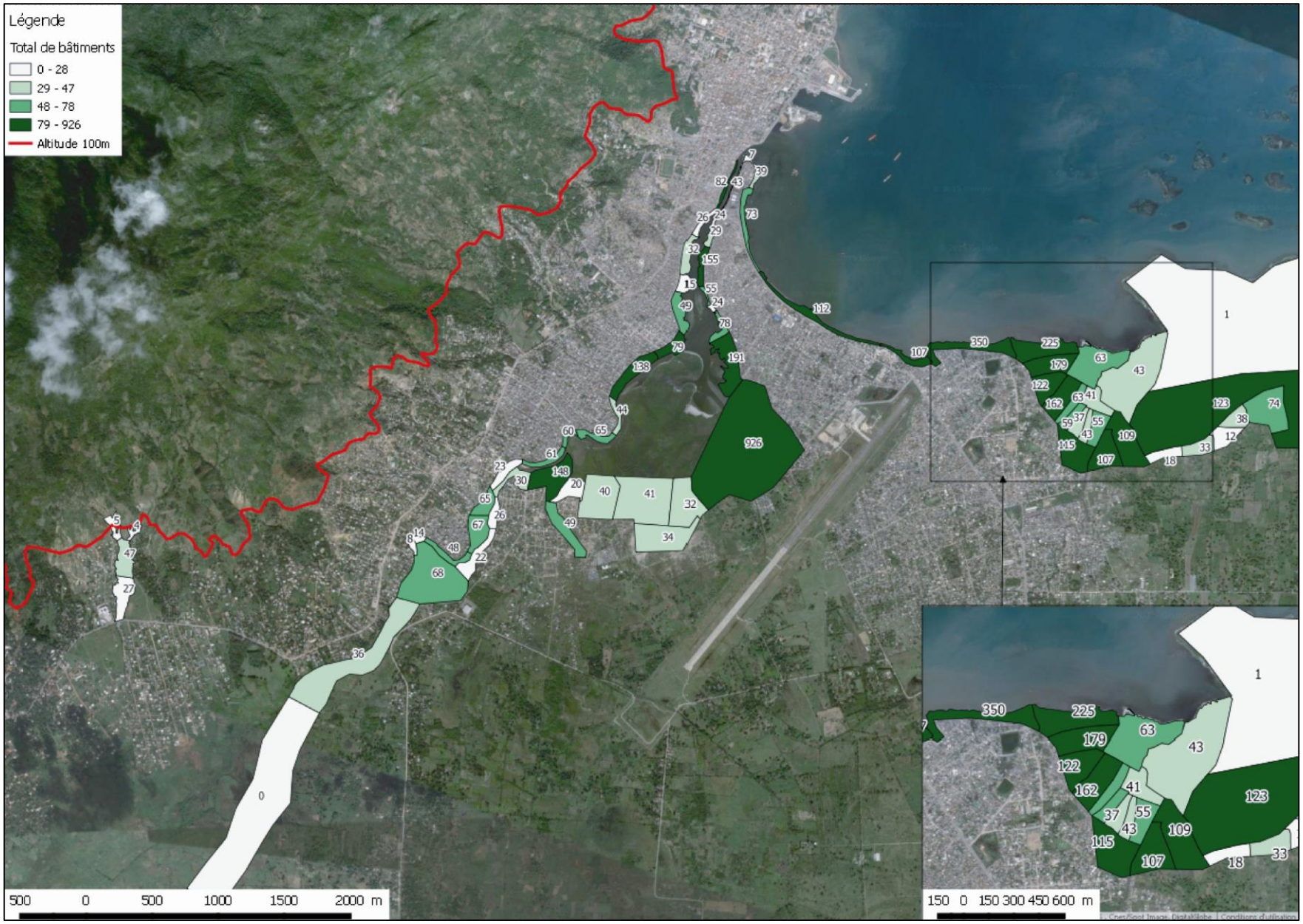
- Un total de 5380 bâtiments d'habitation et de 60 bâtiments autres qu'habitation ont été estimés, (**Carte 22**, **Carte 23** , **Tableau 7**)
- Une population de près de 32300 personnes sur une base de 6 personnes par foyer (Carte 27 , **Tableau 7**) par bâtiment d'habitation.

Ces chiffres donnent une approximation des populations les plus durement et régulièrement touchées par les inondations.

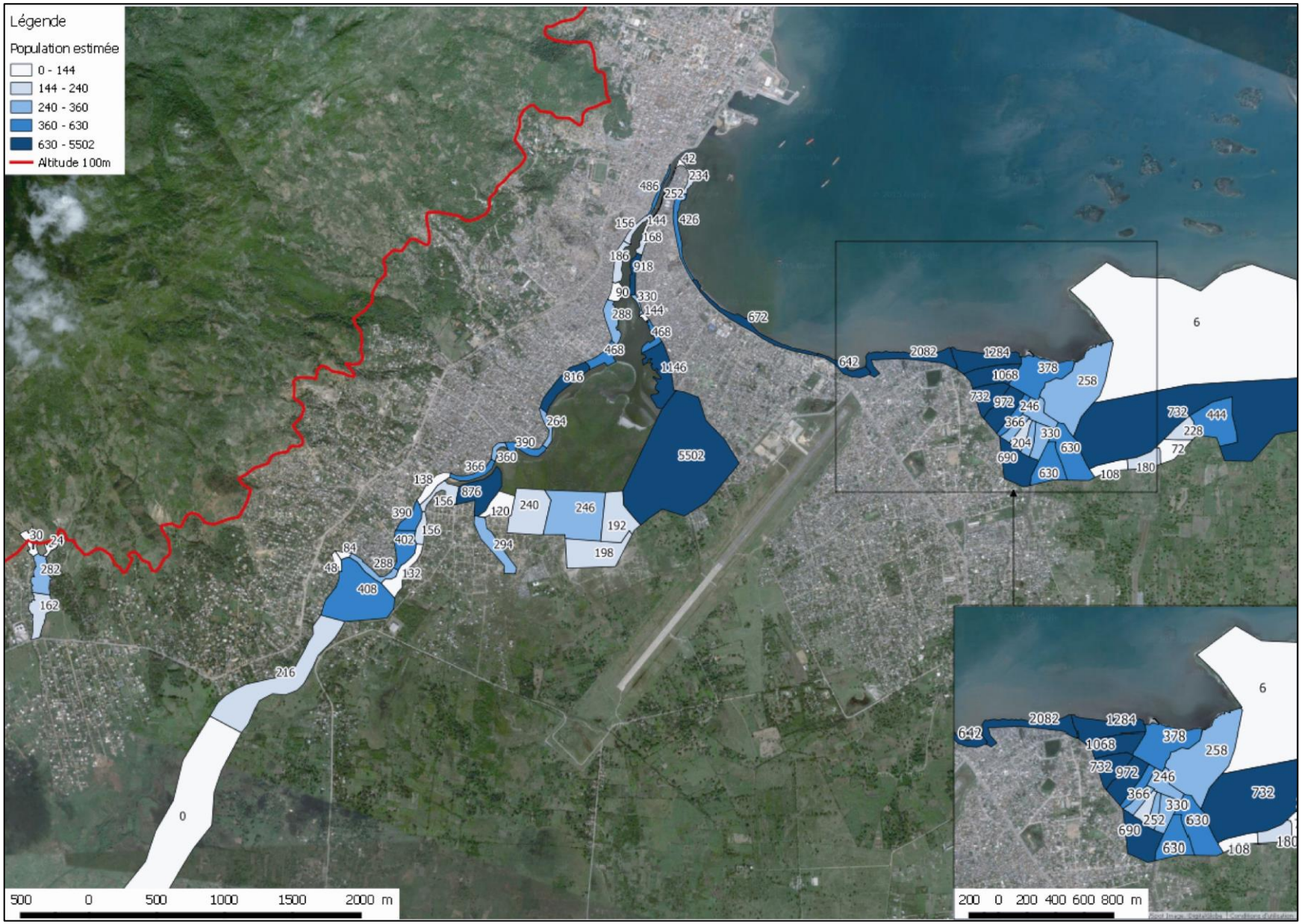
Attention ces résultats concernent la zone non aedificandi et pas les zones de danger fort ou modéré de la Carte 13. Les chiffres incorporent la zone littorale qui a pour partie été rasée de toute habitation en fin d'année 2014 donc postérieurement à la photographie aérienne exploitée. Selon notre estimation, cette bande littorale ne comportait qu'un peu plus d'un millier de résidents.



Carte 22 : Comptage des bâtiments (La première donnée indique le nombre de bâtiment de type logement et le second chiffre renseigne le nombre de bâtiment autre qu'habitation).



Carte 23 : Nombre total de bâtiment d'habitation par polygone de comptage.



Carte 24 : Estimation de la population concernée (sur la base d'une moyenne de six personnes par logement) par polygone de comptage.

Identifiant du polygone	Nombre de bâtiment type "logement"	Estimation de la population dans les logements (moyenne de 6 personnes par logement)	Nombre de bâtiment "autre"
1	24	144	0
2	28	168	1
3	81	486	1
4	26	156	0
5	31	186	1
6	15	90	0
7	48	288	1
8	78	468	1
9	153	918	2
10	55	330	0
11	24	144	0
12	78	468	0
13	191	1146	0
14	42	252	1
15	7	42	0
16	39	234	0
17	71	426	2
18	112	672	0
19	107	642	0
20	347	2082	3
21	214	1284	11
22	178	1068	1
23	63	378	0
24	122	732	0
25	162	972	0
26	61	366	2
27	41	246	0
28	115	690	0
29	55	330	0
30	59	354	0
31	34	204	3
32	42	252	1
33	105	630	2
34	105	630	4
35	43	258	0
36	1	6	0
38	18	108	0
37	122	732	1
39	30	180	3
40	12	72	0
41	38	228	0
42	74	444	0
44	136	816	2
45	44	264	0
46	65	390	0
47	60	360	0
48	61	366	0
49	23	138	0
50	65	390	0
51	67	402	0
53	14	84	0
52	48	288	0
54	8	48	0
55	68	408	0
56	36	216	0
57	0	0	0
58	22	132	0
59	26	156	0
60	26	156	4
61	146	876	2
62	49	294	0
63	40	240	0
64	20	120	0
65	41	246	0
66	33	198	1
67	32	192	0
69	917	5502	9
70	27	162	0
71	47	282	0
72	5	30	0
73	4	24	0
TOTAL	**5381**	**32286**	**59**

Tableau 7 : Résultats du comptage de bâtiments et de l'estimation de population

11 RECOMMANDATIONS

Classiquement, l'amélioration du bâti urbain face au risque d'inondation ou à la réduction de sa vulnérabilité peut passer par plusieurs voies:

1. La connaissance de l'aléa et des phénomènes, des scénarios passés et possibles, et sa vulgarisation.
2. La réduction de l'aléa par des travaux d'intérêt général et collectif visant à réduire les débordements, tels que les barrages et les digues, agissant sur le phénomène crue lui-même, soit en amont dans le bassin versant, soit au droit des zones inondables pour réduire les débordements.
3. Des mesures d'aménagement ou d'urbanisme visant à réduire l'implantation dans les zones les plus exposées ou à n'autoriser la construction que si elle n'aggrave pas le risque ou l'exposition à l'aléa.
4. Des mesures de réduction de vulnérabilité des constructions nouvelles. Il s'agit de mesures de conception sur les bâtiments mêmes qui tiennent compte du fait que le bas du bâtiment sera inondé et qui garantissent son intégrité en cas de crue même extrême et la sécurité de ses occupants, soit dans le bâtiment soit par l'évacuation.
5. Des mesures de réduction de la vulnérabilité des bâtiments déjà implantés dans les zones inondables. Il s'agit de mesure de transformation ou d'adaptation des bâtiments.
6. L'existence d'un système d'alerte permettant à la population exposée dans le bâti de se mettre en sécurité voir de protéger à temps les biens exposés soit dans le bâti lui-même en zone inondée, soit dans des secteurs hors d'eau.

Le cahier des charges de l'étude prévoit la production de recommandations sur la base de la cartographie d'aléa réalisée et des constats successifs.

L'étude réalisée relève du point 1 précédent mais elle permet de proposer des recommandations sur les points 3 et 4. Il n'est pas possible de traiter les autres points à ce stade, sans entreprendre des analyses complémentaires qui sortent du cahier des charges pour l'instant.

Ces recommandations sont de différents ordres et sont présentées dans les chapitres qui suivent. Elles sont reprises de manière synthétique dans une feuille de route séparée du présent rapport.

Les priorités suivantes ont été identifiées :

- AMELIORATION DE LA CONNAISSANCE DES ALEAS ET DES RISQUES
- GOUVERNANCE ET CONTEXTE REGLEMENTAIRE
- FACILITER L'ECOULEMENT DANS LA RIVIERE DU HAUT DU CAP
- DEGAGER L'ESTUAIRE ET DRAGUER SON LIT, REDUIRE L'APPORT EN SEDIMENTS
- FACILITER L'ECOULEMENT DANS LES RAVINES
- DECOLONISER LES BERGES DE LA RIVIERE DU HAUT DU CAP, LES FONDS DE RAVINES ET LE RIVAGE MARITIME
- REDUIRE LA VULNERABILITE DU BATI
- AMELIORER LA QUALITE DE CONCEPTION ET DE REALISATIONS DES OUVRAGES ET RENFORCER LES CAPACITE DU MTPTC
- PROGRAMMATION ET AMENAGEMENT DU TERRITOIRE INTEGRANT LES ALEAS
- ACTIONS PEDAGOGIQUES, EDUCATIVES ET D'ORDRE SOCIAL

Le détail est proposé dans les tableaux qui suivent.

11.1 AMELIORATION DE LA CONNAISSANCE DES ALEAS ET DES RISQUES

La disponibilité du MNT lidar en janvier 2015 permet d'atteindre un niveau de standard international en termes de qualité d'études des aléas. Les études entreprises ou en cours sur les autres aléas (sismique, maritimes) permettent d'engager une approche multi-aléa. Néanmoins, quelques compléments sont encore requis pour le risque inondation.

Numéro	ACTION COURT TERME	OBJECTIF	ECHEANCE
action 1	Affiner et intégrer la cartographie d'aléa inondation, coulées boueuses, et mouvements de terrain avec le MNT lidar, ainsi que sur les zones d'écoulement dans les ravines.	Disposer d'une cartographie au 1/5 000 ou 1/10 000 de l'exposition aux écoulements, aux éboulements, aux glissements de terrain, aux chutes de blocs et coulées bouseuses, aux ruissellements pour les zones de la ville haute à jour, et actualisable avec des méthodes simples, pour intégration dans les futurs approches de type PLAN DE PREVENTION DES RISQUES.	Réalisable en 6 mois à 1 an Sous-traitance externe
action 2	Affiner la définition et l'évaluation des enjeux situés en zones non aedificandi, réaliser une estimation du nombre de bâtiments et de personnes concernés.	Une fois les livrables complets et définitifs du MNT Lidar disponibles, un inventaire plus précis et un comptage des bâtiments, des résidents situés dans les zones non aedificandi peuvent être réalisés rapidement (avec CIAT et CNIGS) afin de disposer de données plus fiables pour une concertation avec les élus et responsables locaux concernés.	3 mois
action 3	Réaliser des études de fonctionnement et de dimensionnement des ouvrages de drainage et d'évacuation des eaux pluviales sur chacune des ravines descendant des mornes de l'ouest de la ville.	Disposer d'éléments quantifiés pour déterminer les travaux à réaliser pour faciliter l'écoulement torrentiel vers la rivière du haut du cap et programmer la campagne de levers topographiques et de travaux indispensables.	Réalisable en 1 an à 18 mois Sous-traitance externe internationale qualifiée.
action 4	Suivi et numérisation, diffusion en temps réel des données de pluviomètres installés sur l'aéroport international du Cap Haïtien. Celles-ci sont relevées mais non numérisées.	Les obligations liées au statut d'aéroport international du Cap obligent à une saisie détaillée de paramètres météorologiques. Disposer de données précises à un pas	Immédiat Exploitation possible à court terme sur en alerte précoce pour

Numéro	ACTION COURT TERME	OBJECTIF	ECHEANCE
		horaire des pluies sur la ville du Cap. Ces données peuvent être exploitées à la fois pour la détermination de seuils d'alerte pour la gestion de crise, mais aussi pour l'analyse climatologique et la modélisation des phénomènes sur la ville du Cap.	déterminer des seuils de vigilance, d'alerte, de crise.
	ACTION MOYEN ET LONG TERME	OBJECTIF	ECHEANCE
action 5	Etendre à un territoire plus vaste autour de la ville l'étude des aléas inondations, chutes de blocs, coulées boueuses, risques de liquéfaction, tsunamis, submersions marines.	Identifier les territoires d'expansion de la ville les moins contraignants d'un point de vue d'exposition aux risques naturels ou technologiques. Jusqu'à 10 voire 20 km du centre-ville ancien. Les nouveaux arrivants ou les personnes déplacées de zones non aedificandi doivent être installées sur des territoires périphériques sans exposition aux phénomènes ou à exposition réduite permettant d'adapter le bâti.	1 an à 18 mois
action 6	Intégrer les cartographies d'exposition aux aléas multiples qui menacent la ville du Cap Haïtien sur un SIG.	Disposer d'une base de données pour une planification urbaine (schéma directeur) tenant compte de l'ensemble des aléas caractérisés avec assez de détail.	À 1 an ou plus une fois disponibles les cartographies d'exposition aux autres aléas d'origine marine (submersion et tsunami).
action 7	Installation de station de mesure hydrométéorologiques l'entrée de la plaine pour la Grande rivière du Nord et la rivière du Haut du Cap.	Il manque pour l'instant des mesures hydrométriques pour ces deux grands cours d'eau qui arrosent la plaine du Cap. Des enregistrements permettraient de comprendre leur fonctionnement réel.	1 à 2 ans

11.2 GOUVERNANCE ET CONTEXTE REGLEMENTAIRE

Il n'a pas été réalisé d'analyse exhaustive du contexte règlementaire et législatif (hors cahier des charges), mais les constats s'ajoutent à ceux déjà réalisés par d'autres et aux observations faites depuis 10 ans par Richard Guillande en Haïti. L'analyse de cohérence, des acquis et des manques dans le corpus légal et réglementaire traitant (ou devant le traiter mais ne le traitant pas) du domaine des risques naturels

numéro	ACTION COURT TERME	OBJECTIF	ECHEANCE
action 8	Analyse du contexte législatif et règlementaire sur les zones inondables et le domaine fluvial.	Déterminer les points devant faire l'objet d'une amélioration des processus légaux et règlementaires liés aux risques naturels, à la gestion des cours d'eau et du domaine côtier, les normes et seuils de sécurité des règlements en rapport avec le risque d'inondation.	6 à 8 mois réalisable rapidement
action 9	Concertation avec élus et acteurs de l'aménagement au Cap sur les limites de zones de danger définies, et les zones non aedificandi.	Adapter les critères et limites exactes des zones non aedificandi et définir des zones de relocalisation de personnes déplacées.	Une fois disponibles les résultats validés de la présente étude
	ACTION LONG TERME		
action 10	Intégrer un aléa de référence à évaluer dans les règles de conception d'ouvrages.	Réduire le problème de mauvais dimensionnement souvent observé sur les ouvrages hydrauliques constatés en Haïti. Définir des seuils de protection règlementaires et introduire les modes d'évaluation associés.	Dépend de l'introduction d'un corpus règlementaire non seulement sur les risques mais aussi sur l'aménagement du territoire et les ouvrages de génie civil ou BTP. Une alternative pourrait être rapidement introduite à travers les règlements d'urbanisme d'un schéma d'aménagement.

11.3 FACILITER L'ECOULEMENT DANS LA RIVIERE DU HAUT DU CAP

L'écoulement du cours d'eau principal est fortement restreint pour plusieurs raisons déjà évoquées. L'amélioration des écoulements visant à réduire le nombre et le niveau des crues sur la partie finale de la rivière du Haut du Cap passe par plusieurs types d'actions présentées ci-après :

11.3.1 DECOLONISER LES BERGES LES RIVAGES, LES FONDS DE RAVINES POUR REDUIRE L'EXPOSITION

numéro	ACTION COURT TERME	OBJECTIF	ECHEANCE
action 11	Figer et interdire les constructions dans la zone maritime, intertidale ou de mangrove.	Mesure de précaution impérative compte tenu de l'inondabilité constante des zones non aedificandi littorales proposées, du niveau de danger pour les populations, de l'impossibilité de protéger ou construire un habitat sûr, de la nécessité de préserver des zones littorales tampon.	Des mesures de police et d'expropriation doivent être entreprises au plus vite
action 12	Eliminer les constructions situées dans le lit des ravines ou dont les jardins détournent le lit de celles-ci. Ces maisons doivent être identifiées une par une dans les zones amont des ravines par un ou des experts et leurs habitants relogés dans des zones non exposées.	Eliminer les édifices dans lesquels les personnes sont dans un risque extrême en cas de rupture de mur ou d'entrée d'une crue dans leur maison. Réduire les zones de goulet d'accélération du courant, de risque d'embâcle et de pénétration des crues dans les propriétés privées. Restaurer la largeur des ravines pour réduire la vitesse du courant, les zones d'embâcles.	1 an Une expertise nationale ou internationale est requise pour l'élaboration d'un plan de réaménagement de chaque ravine
	ACTION LONG TERME		
action 13	Expropriation et destruction des bâtiments présents dans le lit de la rivière du Haut du Cap, établis sur des remblais artificiels selon les zones non aedificandi proposées. L'action implique plusieurs centaines de bâtiments et plusieurs milliers de résidents et demande une bonne préparation pour que les personnes expropriées ne se réinstallent pas dans des zones	L'objectif est double : 1 - Permettre un écoulement des crues ou une dissipation des vagues dans une zone tampon naturelle aujourd'hui disparue 2 – réduire le nombre de personne exposée à des inondations fréquentes. Après affinage des critères de qualification	Compte tenu des enjeux humains, et de la nécessité de reloger les populations déplacées, des zones d'accueil doivent être trouvées, cette action s'étalera sur plus d'un an.

	exposées.	en zone non aedificandi, on s'appuiera sur les contours du lit de la rivière des années 70-80 identifiables sur photographies aériennes de cette époque. Une orthophoto devra être recomposée à partir de ces clichés.	
action 14	Reboiser les parties hautes de ravines.	Le reboisement des parties hautes de bassins versants réduire l'apport de matériaux solides dans le ruissellement cause majeure de comblement et de débordements dans les zones encaissées des ravines et de dysfonctionnement des ouvrages.	Plusieurs années

11.3.2 DEGAGER L'ESTUAIRE, DRAGUER SON LIT ET REDUIRE L'APPORT DE SEDIMENTS

La partie finale de la rivière du Haut du Cap entre le vieux pont colonial français et l'embouchure, a vu depuis 30 ans s'accumuler des quantités considérables de déchets, de sédiments apportés par le fleuve lui-même mais aussi par les ravines qui s'y déversent, de plus en plus déboisées en amont. Outre l'élimination des constructions qui sont venues coloniser le lit mineur, il faut procéder à un dragage de la rivière sur toute cette section pour augmenter la capacité d'écoulement.

numéro	ACTION COURT TERME	OBJECTIF	ECHEANCE
action 15	Dégagement des berges et zones définies comme non aedificandi afin de préparer la mise en œuvre du dragage.	Préparer le dragage des berges.	Décision municipale
action 16	Préparation de zones de stockages des déblais retirés des berges et de du fond de l'estuaire de la rivière du Haut du Cap.	Préparer le dragage des berges de la rivière et l'accueil des déblais dragués.	Décision municipale ou départementale selon localisation de la zone d'accueil des déblais.
	ACTION LONG TERME		
action 17	Dragage du lit de la rivière entre Breda et l'embouchure. Le remplissage progressif du lit rehausse la ligne d'eau et rend les débordements plus fréquents.	Augmenter la capacité d'écoulement de la rivière, réduction de la ligne d'eau (hauteur de crue) pour tous les pics de débit.	Cette opération peut intervenir immédiatement mais elle doit préférentiellement être effectuée après libération des berges et élargissement du lit pour le ramener à son état des années 80.

11.4 REDUIRE LA VULNERABILITE DU BATI

La réduction de vulnérabilité du bâti peut être entreprise autant sur le bâti ancien que nouveau. Les techniques existent, sont multiples et relèvent de différentes approches (voir introduction de ce chapitre). Il n'est pas possible de les développer ici. Une étude spécifique doit être entreprise.

Une partie importante de la ville basse dans la plaine est déjà construite en zone inondable et rien ne pourra y être changé. Localement, en particulier près des berges de la rivière du Haut du Cap, certaines constructions postérieures à la crue de novembre 2012, dans des zones qui devraient devenir non aedificandi, ont été établies sur des fondations surélevées de 1 m voir plus (Photos 19, Photos 20). Cette démarche spontanée doit être encadrée et généralisée par des textes et des recommandations techniques. **Ces techniques sont à réserver à des zones déjà construites pour les nouvelles habitations mais ne doivent pas devenir un motif pour continuer à construire sur les berges ou dans le lit du fleuve.** De plus, les types de fondations, observés sont peu compatibles avec la nature des sols, tant en situation normale (sol peu porteurs, meubles avec affaissement lents des constructions) qu'en situation de risque de liquéfaction important en cas de séismes dans les zones de plaines et les zones humides. **Une analyse des types de constructions (dont fondations) compatibles à la fois avec la réduction de vulnérabilité face au risque sismique et au risque de submersion doit être entreprise pour en tirer un cahier de recommandations voire un règlement qui sera associé au schéma d'aménagement urbain. Le nouveau règlement parasismique haïtien n'intègre pas suffisamment l'exposition à de multiples aléas.**

numéro	ACTION COURT TERME	OBJECTIF	ECHEANCE
action 18	Analyse des méthodes et approches de constructions d'habitations en zone exposées à la fois au risque sismique et au risque d'inondation et détermination des compatibilités/incompatibilités.	Produire un guide de recommandation technique pour les zones exposées à la fois au risque sismique et au risque inondation, qui concerne des parts importantes de plusieurs grandes villes haïtiennes comme Cap Haïtien ou Port-au-Prince.	6 mois à 1 an
	ACTION LONG TERME		
action 19	Introduction d'un cahier de recommandations sous forme de règlement associé aux schémas d'aménagement urbain, applicable.	Intégrer des règlementations dérivées du guide de recommandations.	2 à 3 ans

11.5 AMELIORER LA QUALITE DE CONCEPTION ET DE REALISATIONS, DE CONTRÔLE DES NOUVEAUX OUVRAGES ET RENFORCER LES CAPACITES DU MTPTC

De nombreux constats présentés dans ce rapport mais aussi issus d'étude antérieures réalisées par l'auteur, indiquent que les ouvrages sont dans de nombreux cas, mal ou sous-dimensionnés, parfois mal réalisés.

numéro	ACTION COURT TERME	OBJECTIF	ECHEANCE
action 20	Analyser les processus de maitrise d'œuvre et d'ouvrage pour les travaux d'aménagement hydraulique et zone urbaine et péri-urbaine, réalisés par le MTPTC ou les mairies afin dépister les causes de sous-dimensionnement ou de malfaçons.	La centralisation des prises de décisions à Port au Prince, le manque de moyens ou de compétences locales sont parmi des causes probables. Les textes légaux, les règlements et les modes de passation de marchés publics peuvent aussi en être la cause, comme un problème de compétence au niveau de la maitrise d'œuvre comme de la maitrise d'ouvrage. Une étude de fonctionnement du secteur des Travaux publiques doit pointer les acquis et les points à améliorer.	Réalisable en 1 an Enquête auprès des acteurs par des experts en travaux publiques et génie civil Par un prestataire international sans lien avec des agents haïtiens de la construction.
	ACTION LONG TERME		
action 21	Formation des cadres et équipements du bureau du MTPCT au Cap.	Développer les capacités techniques déconcentrées du MTPTC pour lui donner plus d'autonomie et de pouvoir de décision.	Effets dans plusieurs années en démarrant tout de suite. Nécessité d'une coopération internationale.

11.6 PROGRAMMATION ET AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

On disposera à court terme d'une cartographie et d'une connaissance fine des risques associés aux phénomènes naturels sur la ville du Cap Haïtien. Il est donc d'ores et déjà possible d'intégrer des composantes sous forme de contraintes ou servitudes dans la planification de l'occupation du sol. Un référentiel doit être créé et rendu disponible pour tous les acteurs de l'aménagement et de la construction sur le territoire de la ville du Cap et de ses alentours, pour un meilleur contrôle et une meilleure orientation de la croissance urbaine.

L'exposition aux différents risques doit devenir la contrainte, la servitude principale de cadrage du développement de la ville et des aménagements.

La mise en place des recommandations ne peut être envisagée sans un renforcement des pouvoirs de surveillance, de police et de sanction de la mairie et de la justice.

numéro	ACTION COURT TERME	OBJECTIF	ECHEANCE
action 22	DÉFINIR DES ZONES PROTÉGÉES DANS LES ZONES AMONT DES RAVINES ET Y ASSURER UN CONTRÔLE DE POLICE POUR LES PRESERVER. Il existe déjà des programmes de limitation de l'implantation, de reboisement. Ces programmes doivent être inventoriés et complétés.	Réduire l'érosion et les coulées boueuses et mieux contrôler les écoulements dans les ravines. Disposer de cartes d'interdiction de bâtir (ou à aménagement contrôlé) et des zones protégées dans les têtes de bassins versants au-dessus de la ville à intégrer dans un schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme. Une nouvelle définition des zones de protection absolue dans les têtes de bassins versants qui deviendront non aedificandi doit être réalisée.	Estimé à 1 an
action 23	INDENTIFIER DES ZONES DE RELOCALISATION NON EXPOSEES AUX RISQUES D'INONDATION POUR LES FUTURES EXPROPRIATIONS.	Sur la base d'une cartographie étendue d'exposition aux risques d'inondations, définir et préparer les zones où seront relocalisées les familles expropriées dans les zones récupérées sur les rivières.	1 an
	ACTION LONG TERME		

action 24	PROTEGER ET REBOISER LES AIRES AMONTS DES RAVINES en interdisant l'installation dans les zones hautes de bassins versants (approximativement au-dessous de l'altitude 100 m, à moduler par bassin.	Reboisement des zones amont des ravines ou naissent les coulées boueuses.	Démarrage immédiat possible mais quelques années pour retour sur investissement.
action 25	DEFINIR LES ZONES D'EXPANSION DE LA VILLE EN FONCTION DU NIVEAU D'EXPOSITION AU RISQUES (SCHEMA D'AMENAGEMENT ET DE DEVELOPPEMENT).	Utiliser la cartographie d'exposition aux différents risques pour planifier l'expansion de la ville du Cap prioritairement vers des zones à risque d'inondation faible, réduit ou gérable par des mesures constructives sur le bâti.	Nécessite que les cartographies d'exposition aux différents aléas à échelle au du 1/25 000 ou 1/15 000 soient finalisées sur une large zone autour de la ville du Cap, jusqu'à au moins 20 km du centre-ville

11.7 ACTIONS PEDAGOGIQUES, EDUCATIVES ET D'ORDRE SOCIAL

Le problème de l'insuffisance du ramassage d'ordure et du réflexe de rejet d'ordure en proximité dans les lits de rivières est profond et très ancré dans tout le pays. La quantité de déchets solide emportée par les ravines et bloqués au niveau d'ouvrages inappropriés est une des causes majeures de débordements mineurs récurrents ou permanents. Cette quantité de déchets doit être réduite à la fois en modifiant le comportement des résidents par la pédagogie et l'éducation mais aussi en développement les actions de collecte et entreposage puis élimination par les communautés avec l'appui des autorités ou d'ONG.

En dépit des programmes existants, il faut néanmoins accentuer les efforts tant au niveau éducatif qu'au niveau des moyens logistiques pour réduire l'impact des ordures épandues n'importe où, qui, on le sait, à un impact qui est loin de se limiter à l'augmentation des débordements de cours d'eau ou de chenaux et canalisations.

numéro	ACTION COURT TERME	OBJECTIF	ECHEANCE
action 26	ACTIONS ÉDUCATIVES ET PÉDAGOGIQUES POUR RÉDUIRE LE REJET D'ORDURE DANS LES RIVIÈRES ET CANAUX ET LA CRÉATION DE CIRCUITS CE COLLECTE ET D'ÉLIMINATION COMMUNAUTAIRES.	Réduire les comportements inappropriés de rejet d'ordures dans les lits des rivières.	A mettre en place avec le système éducatif et les ONG
	ACTION LONG TERME		
action 27	MISE EN PLACE DE SITE DE DÉPÔT ET DU RAMASSAGE D'ORDURE DANS LES ZONES AMONTS DES RAVINES.	Réduire la quantité de déchets charriés par les cours d'eau, les canaux, souvent utilisés par les plus pauvres pour créer les remblais de futures habitations en zone inondables.	Programme d'appui de grande ampleur auprès de la mairie du Cap.
action 28	DÉFINITION DES ZONES DE RELOCALISATION HORS DE DANGER DES RESIDENTS EN ZONES NON AEDIFICANDI.	Relogement des personnes expropriées dans des zones à exposition nulle ou minimale aux risques naturels.	Plus de 1 an une fois réalisée une étude étendue sur la région du Cap Haïtien.

ANNEXES

ANNEXE 1 : RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Réf. 1 - Cartes et étude de risques, de la vulnérabilité et des capacités de réponse en Haïti; Philippe Mathieu, Jean Arsène Constant, Josué Noël, Bobby Piard, OXFAM, 2002.

Réf. 2 - Présentation synthétique des Études de Vulnérabilité et d'Adaptation Aux Conditions Climatiques Extrêmes en Haïti et dans la Caraïbe - Régine LOUIS, Consultante, Décembre 2003, MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT - PROGRAMME DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES, Sous-Programme du Plan National d'Adaptation (PANA), Coopération Technique GEF / PNUE / GF / 2724-03-4654.

Réf. 3 - Atlas of Probable Storm Effects in the Caribbean Sea, Caribbean Disaster Mitigation Project, Model ls and data output by Watson Technical Consulting, Inc., Editing and presentation by Ross Wagenseil, Ph.D., March 2000.

Réf. 4 - L'évaluation des ressources en eau d'Haïti – US corp of Engineers, août 1999.

Réf. 5 - Développement et gestion des ressources en eau, Disponibilité et adéquation aux besoins – République d'Haïti, PNUD, projet HAI/86/003 – volumes I à VI.

Réf. 6 Intergovernmental Oceanographic Commission. 2013. ***Earthquake and tsunami hazard in***
Northern Haiti: Historical events and potential sources (Meeting of experts). Paris, UNESCO,
pp.29 (IOC/2013/WR/255)

Réf. 7 - Microzonage sismique de Cap-Haïtien (Haïti) : rapport de synthèse Rapport final, BRGM/RC-63513-F, Mai 2014.

Réf. 8 - PLAN D'AMÉNAGEMENT DU NORD / NORD-EST - COULOIR CAP - OUANAMINTHE, CIAT Comité Interministériel d'Aménagement du Territoire, RÉPUBLIQUE D'HAÏTI, PRIMATURE, Décembre 2012

Réf. 9 - Analyse de la vulnérabilité du secteur de l'eau au changement climatique en Haïti. Rapport Principal. R. Guillande,. Contrat d'assistance PNUD HAITI au MDE, avril 2013

Réf. 10 - INONDATIONS DANS LE S DEPARTEMENTS DU NORD, DU NORD-EST ET DES NIPPES, RAPPORT DE SITUATION # 1 - MICTDN- DPC, 9 novembre 2012, 9h.

Réf. 11 - APPUI TECHNIQUE A LA REALISATION DE CARTOGRAPHIES DE RISQUE D'INONDATION SUR DES ZONES D'HAITI. Volet cartographie d'aléa et zonage de danger de type Plan de Prévention des Risques Inondation – Rapport de la troisième mission (septembre 2009), Cartographie d'aléa sur les zones de Cabaret, Léogane et Les Cayes, par R. GUILLANDE, GEOSCIENCES CONSULTANTS sarl, Paris, France, Rapport n° REP-CNIGS- CARTOALEA-09090032, septembre 2009 pour le CNIGS.

Réf. 12 - Description topographique, physique, civile, politique et historique de la partir française de l'Isle de Saint-Domingue. Moreau de Saint-Méry. Tome 1, 1797.

Réf. 13 - Description topographique, physique, civile, politique et historique de la partir française de l'Isle de Saint-Domingue. Moreau de Saint-Méry. Tome 2, 1797.

ANNEXE 2 : LISTE DES FIGURES

Figure 1 phénomène de cumul de différents effets à la côte aboutissant à une élévation importante du niveau marin (Réf.3) 41
Figure 2: distribution des vitesses de vent moyen sur le pourtour haïtien pour une période de retour centennale (Réf. 3). 42
Figure 3 : distribution des élévations du niveau marin sur le pourtour haïtien pour une période de retour centennale (Réf. 3). 43
Figure 4 : distribution des hauteurs de vagues sur le pourtour haïtien pour une période de retour centennale (Réf. 3). 44
Figure 5 : amélioration des contours de la couche danger au niveau des berges du fleuve. (à gauche ancienne version, à droite version améliorée avec usage du LIDAR). 59
Figure 6 : amélioration des contours de la couche danger au niveau des ravines (à gauche ancienne version, à droite version améliorée avec usage du LIDAR). 60
Figure 7 : évolution des moyennes mensuelles de pluviométrie par décennies depuis les années 70. 99
Figure 8 : comparaison de la zone d'extension de l'aéroport international du Cap haïtien entre janvier 2010 en haut et février 2014 en bas. 116
Figure 9 : profil topographique Ouest-Est à travers la ville (altitudes à partir du MNT lidar) 133
Figure 10 : profils topographiques Ouest-est à travers la ville (altitudes à partir du MNT lidar). 133
Figure 11 : détail de l'identification de chaque bâtiment à partir de l'orthophoto de 2014. 152

ANNEXE 3 : LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : principaux évènements inondations identifiés. 29
Tableau 2 : pluies quotidiennes relevées du 28/10/14 au 07/11/14 à la station hydro climatique de Dondon du projet PNAP. 33
Tableau 3 : enregistrement pluviométrique sur l'aéroport du Cap Haïtien. 33
Tableau 4 : valeurs à différentes stations fournies par le MARNDR. 33
Tableau 5 : nouvelle échelle d'aléa et de danger adapté pour Haiti, dérivée de l'échelle utilisée avec le CNIGS. 55
Tableau 6 : Critère d'établissement de zone non aedificandi 67
Tableau 7 : Résultats du comptage de bâtiments et de l'estimation de population 77
Tableau 8 : valeurs moyennes, minimales et maximales de pluies mensuelles de 1970 à 2013 95
Tableau 9 : valeur de cumul mensuel de pluies mesurés à la station FIC du Cap Haïtien depuis 1968 (source donnée SNRE, CNIGS, CNSA). Les cellules encadrées en noir sont celles des évènements répertoriés par recherche bibliographique. 97
Tableau 10 : mesures quotidiennes des FIC au Cap Haïtien pour l'année 2009. 100
Tableau 11 : mesures quotidiennes des FIC au Cap Haïtien pour l'année 2010. 101
Tableau 12 : mesures quotidiennes des FIC au Cap Haïtien pour l'année 2011. 102
Tableau 13 : mesures quotidiennes des FIC au Cap Haïtien pour l'année 2012. 103
Tableau 14 : mesures quotidiennes des FIC au Cap Haïtien pour l'année 2013. 104
Tableau 15 : légende de la carte d'analyse hydrogéomorphologique du Cap haïtien (Carte 27) 132

ANNEXE 4 : LISTE DES PHOTOS

Photos 1 : vues de l'inondation de décembre 2003 (source OXFAM). 31

Photos 2 : déblaiement de la route nationale 1 au Cap Haïtien par la MINUSTAH après la pluie du 8 au 9 novembre 2012. 32
Photos 3 : vues du barrage sur l'estuaire de la rivière du Haut du Cap (complètement fermé lors de la crue de novembre 2014). 35
Photos 4 : photo de l'aéroport du Cap le 4 novembre 2014 (source OFNAC). 35
Photos 5 : vues du littoral et du bâti du côté de Petite Anse. 47
Photos 6 : exemples de zones à érosion et fort apport terrigène dans le haut de la ravine du point 4 (Carte 25) 106
Photos 7 : exemples de construction empiétant voir détournant le lit de ravines dans les zones de pentes fortes des mornes. 107
Photos 8 : exemples de bouchage ou comblement de drains et ouvrages par accumulation de déchets. 109
Photos 9 : exemples de construction gagnant sur le lit mineur de la rivière du haut d Cap, installées sur de nouveau remblais 110
Photos 10 : comblement quasi complet d'un ouvrage datant de l'époque coloniale sur un chenal ancien en grande partie comblé par les détritus (point 2 sur Carte 25). 111
Photos 11 : panorama pris du nouveau pont sur la rivière du Haut du Cap (amont en haut, aval en bas). 112
Photos 12 : rétrécissement du lit mineur de la rivière du Haut du Cap par comblement du lit mineur et construction de maisons dans le lit mineur au niveau du nouveau pont en amont de la lagune. 113
Photos 13 : exemples d'ouvrages à dimensionnement insuffisant. 115
Photos 14 : ouvrage récent assez bien conçu à la confluence de 2 ravines, mais déjà largement comblé de sédiment à 200 m en aval au passage de la route nationale 1. 115
Photos 15 : dégradation d'ouvrages récents ou anciens. 117
Photos 16 : terminaison de talweg provenant des mornes sans prolongation par des canaux ou des drains jusqu'à la rivière du haut du cap dans la partie ouest de la ville en cours de densification. 118
Photos 17 : succession de vues de la ravine en cours de colonisation (sur les 3 pages suivantes, indices de A à T).... 119
Photos 18 : exutoire d'un drain vers la mer à Petite Anse. Le niveau du fond du canal entre les murets est quasiment le même que celui du sol ou est bâti la maison. 124
Photos 19 : construction dans le lit morphologique de la rivière sur remblais artificiel récent. 125
Photos 20 : nouvelles maison à fondation plein en rive gauche de la rivière du Haut du Cap (point 6 sur Carte 25). 126
Photos 21 : zone maritime en cours de remblaiement par apparition ponctuelle de maisons sur le rivage du quartier de Petite Anse (photo Rose-May GUIGNARD, CIAT). 127
Photos 22 : ancien canal non entretenu (droite) relayé par un nouveau canal (gauche) à l'ouest du bout de la piste de l'aéroport. 128
Photos 23 : localisation du site de ravine renforcé avec des sacs de gravier. 129

ANNEXE 5 : LISTE DES CARTES

Carte 1 : définition de la zone d'étude au Cap Haïtien. En rouge la zone d'analyse hydrogéomorphologique. En jaune la zone de cartographie d'aléa et danger inondation. 8
Carte 2 : répartition des zones urbaines sur les sections communales du Haut du Cap (fond Google Maps). 10
Carte 3 : carte d'aléa liquéfaction en cas de séisme sur l'agglomération du Cap haïtien selon l'étude de microzonage sismique de la ville de 2014 (Réf. 7). 12
Carte 4 : carte d'aléa mouvement de terrain sur la ville du Cap Haïtien (Réf. 7). 15
Carte 5 : extrait de la carte au 1/100 000 des zones favorables au risques d'inondation du CNIGS/R. Guillande (2009). 17
Carte 6 : extension de la zone urbaine du Cap Haïtien depuis les années 60 (Réf. 1). 18
Carte 7: cartographie d'occupation du sol en 2013 d'après imagerie GoogleEarth. 20

Carte 8: occupation du sol au niveau de l'estuaire de la rivière du Haut du Cap en 2013 (attention couleurs pleines altérées par la transparence) 23
Carte 9 : occupation du sol au niveau de l'estuaire de la rivière du Haut du Cap en 2013. Entouré en Jaune, le secteur de rétrécissement important de l'estuaire par remblais dans le lit de la rivière 24
Carte 10 : comparaison des zones urbanisées en 1978 (trait rouge) aux zones urbanisées en 2013 (hachure rouge) en grande partie étendues dans la zone inondable par débordement de cours d'eau et de zones humides de la plaine.. 26
Carte 11 : étendue des zones potentiellement submersibles pour une élévation du niveau marin de 3 m sur fond OpenStreetmap. 45
Carte 12 : extension de la zone submersible en cas de surcote de 3 m (en bleu) relativement à la zone urbanisée actuelle (hachures rouges). 48
Carte 13 : carte de dangers liés aux inondations et aux écoulements sur l'agglomération du Cap Haïtien (mise à jour à l'aide du MNT LIDAR et de l'orthophoto produite en 2014). 57
Carte 14 : Carte d'exposition à l'aléa chutes de blocs et glissements de terrain (Réf. 7 **).** 62
Carte 15 : carte de zonage de l'exposition à l'aléa coulées boueuses (Réf. 7 **).** 63
Carte 16 : Comparaison de la couche danger de la présente étude avec le zonage d'aléa "coulées boueuses" du BRGM (Réf. 7 **).** 64
Carte 17 : Comparaison de la couche danger de la présente étude avec le zonage d'aléa "coulées boueuses" du BRGM (Réf. 7 **).** 65
Carte 18 : vue globale des zones non aedificandi proposées. La zone en pointillé jaune doit faire l'objet d'une cartographie plus détaillée dans les fonds de ravine en changeant d'échelle une fois disponible les données lidar et photographie aérienne finales. 69
Carte 19 **:** vue globale de l'extension des 3 types de zones non aedificandi sur l'agglomération du Cap Haïtien (fond OpenStreetMap). 70
Carte 20 : distribution des zones non aedificandi dans la partie urbaine dense de la ville du Cap Haïtien (fond Google Earth). 71
Carte 21 : superposition de la zone non aedificandi proposée à la carte de danger liée aux inondations. 72
Carte 22 : Comptage des bâtiments (La première donnée indique le nombre de bâtiment de type logement et le second chiffre renseigne le nombre de bâtiment autre qu'habitation). 74
Carte 23 : Nombre total de bâtiment d'habitation par polygone de comptage. 75
Carte 24 : Estimation de la population concernée (sur la base d'une moyenne de six personnes par logement) par polygone de comptage. 76
Carte 32 : localisation des observations présentées dans les pages précédentes. Les numéros sont mentionnés dans les paragraphes ci-dessus. 130
Carte 33 : photographie aériennes de 1978 fournies par le CNIGS utilisées pour l'analyse hydrogéomorphologique. Cette carte d'assemblage n'apporte rien à l'exposé, à mettre en annexe pour la traçabilité. 133
Carte 27 : interprétation hydrogéomorphologique de la zone du Cap Haïtien. 134
Carte 35 : distribution des zones urbanisées de 1978 relativement aux zones de plaine inondables. 135
Carte 29 : sens de drainage général des eaux dans les environs du Cap haïtien. 136
Carte 37: mesure de hauteurs de submersion maximale (environ 150 points exploitable) sur fond OSM + zone à risques mouvements de terrain et coulées boueuses (en bleu clair, source BRGM) et zonage de plaine inondables (bleu foncé et violet). 142
Carte 38: distribution des points de mesure pour la durée de submersion. 144
Carte 39 : point de relevés pour la durée de submersion. 146
Carte 40 : distribution des niveaux de dommages sur les enjeux bâtis (essentiellement habitation individuelles de vulnérabilités variées). 148
Carte 41 : distribution des points avec victimes (chiffre rouges) mentionnées durant la crue de 2012. Certaines concentrations correspondent à des doublons. 150

ANNEXE 6 : ANALYSE DE DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES

Sources de données

L'exploitation de données hydrométriques fiables est tout aussi difficile au Cap Haïtien qu'ailleurs dans le pays. Les organismes concernés par les données hydrométéorologiques suivants ont été consultés :

organismes	Données disponibles	Exploitation
SNRE		Données FIC exploitable
CNM (direction PaP et bureau du Cap à l'aéroport)	Données pluviométriques quotidiennes irrégulière et sur papier stockée à l'aéroport du Cap	Non exploitable
CNIGS - stations du projet PITDD	Stations proche à Limonade mais enregistrement démarrés en 2013	Pas d'utilité
projet PNAP de la DPC	Pas de station proche du Cap	Pas de station à proximité du Cap Haïtien
Base de données LGL	Pluie, débits, analyse de besoins en eau et de consommation	Pratiquement rien sur le Cap, quelques données sur Grande rivière du nord

Aucune source de données hydrométriques (débits, hauteurs d'eau en rivière) sur les principales rivières inondant la plaine du Cap-Haïtien n'a été identifiée hormis quelques informations sur la Grande rivière du Nord, qui n'a qu'une influence indirecte sur les inondations dans la plaine en amont de Quartier Morin.
Etrangement, aucun des programmes de suivi hydrométéorologique récemment entrepris en Haïti n'a établi de station sur a ville du Cap.

Il existe des données sur la Grande Rivière du Nord qui se déverse en mer à 7 km à l'Est du Cap Haïtien. Cette dernière a une influence certaine sur les crues dans la plaine à l'Est du Cap mais l'essentiel des inondations par débordement de cours d'eau sur la ville provient des deux autres cours d'eau passant au Cap : la rivière du haut du cap et les deux petits cours d'eau rivière Commerce et rivière La Passe. Aucune information hydrologique ou hydrométrique n'est disponible pour ces cours d'eau.
On ne dispose pas de données hydrométriques récentes et exploitables sur les rivières les plus proches du Cap en particulier la rivière du Haut du Cap. Aucun débit n'est disponible, ni aucune chronique pour évaluer les conditions et d'étiage, de débit de crue lors de différentes inondation récentes. Il en va de même pour les petits bassins versants situés au-dessus de la ville à l'ouest dont les ravines travers la ville basse pour se déverser dans la rivière du haut du Cap. Une analyse hydrologique ou hydrométrique ne sera possible qu'avec de gros efforts de collecte et d'organisation des données existantes et l'installation d'une ou plusieurs stations sur l'agglomération.

On remarquera néanmoins, que tout indique sur le plan morphologique, que la rivière du haut du Cap déborde très en amont de la ville et inonde une grande partie de la plaine. Une mesure de débit au sortir de la vallée au sud n'aurait que peu d'intérêt pour une connaissance des conditions d'inondation au Cap car à l'arrivée dans les faubourgs, la rivière a, en cas de crue importante, déjà mêlé ses eaux à celles d'autres petits cours d'eau.

Les aménagements récents modifient également sensiblement les conditions de débordement. Ainsi, une digue récente (postérieure à 2012) canalise l'écoulement de la rivière en amont du vieux pont colonial. Cette digue aurait été construite par la MINUSTAH. Aucune donnée sur cet ouvrage n'a été obtenue.

Une seule source de données longue durée sur la ville du Cap a été identifiée. Il s'agit des mesures quotidiennes réalisées dans les Ecoles des Frères de l'Instruction Chrétienne (FIC). Des chroniques fiables fournissant des cumuls mensuels ont été identifiées depuis la fin des années 60 jusqu'à aujourd'hui.
Les données quotidiennes seraient très utiles. Elles n'ont été obtenues du SNRE que pour la période 2009 - 2013, ce qui couvre néanmoins, l'évènement de novembre 2012. Il semble que des données existent également au pas de temps quotidien grâce à des stations du MARNDR et du CNSA.

Aucune analyse hydrologique poussée n'a été entreprise car ce n'était pas l'objet de l'étude. Une collecte plus systématique et élargie devrait être réalisée pour cela. Nous avons cependant cherché à identifier les évènements pluvieux les plus marquants afin de les décrire et de les corréler aux inondations les plus notables.

11.7.1 Analyse des pluviométries mensuelles et annuelles

L'analyse a été réalisée sur les Séries FIC agrégées en cumul mensuel depuis 1968 et sur les mesures quotidiennes FIC de 2009 à 2013, seule source de mesures détaillées à notre disposition.

Le Tableau 1 présente une analyse des pluviométries mensuelles sur le Cap haïtien depuis 1970

	annuel	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Moy 70-04	1368,3	142,1	110,2	122,7	116,0	143,2	72,1	35,4	55,7	112,0	161,2	174,5	123,2
Min 70-04	745,2	2,0	3,3	2,9	5,2	4,0	2,5	2,4	1,5	10,7	40,4	13,2	7,7
Max 70-04	2132,1	426,1	388,4	434,4	501,9	421,8	276,8	142,5	152,6	379,1	359,3	**583,2**	329,7

Tableau 8 : valeurs moyennes, minimales et maximales de pluies mensuelles de 1970 à 2013

La première observation est l'extrême variabilité avec un facteur 4 entre le cumul annuel le plus faible et le plus fort sur les 34 années analysées.

Le mois novembre 2012 apparait comme le plus fort cumul mensuel de la série avec 583 mm de pluie. La seconde valeur est de 501 mm en avril 1987. Ces cumuls supérieurs à 500 mm ne se sont produit que 2 fois depuis 1968.
En revanche, des cumuls de plus de 400 mm mensuels se sont produits 6 fois mais une seule occurrence en 1968 est semble-t-il corrélée à une inondation notable (rappelons que la période 1999 - 2010 n'a pas été analysée dans la presse nationale).
Plusieurs inondations importantes avec victimes (mars 1993, janvier 1996, novembre 2000) ne correspondent pas à des cumuls mensuels notables.

On notera cependant une évolution qui demanderait une analyse statistique plus poussée :

- Il n'y a eu aucun mois avec un cumul mensuel dépassant 400 mm de 1994 à 2013 hormis l'évènement novembre 2012, alors qu'il y en a eu 6 de 1969 à 1994.

- Le nombre de cumuls mensuels dépassant les 300 mm/mois a en revanche doublé sur la décennie 2000 par rapport aux 2 décennies antérieures car on est passé de 3 à 5 évènements par décennie à 8.

Il semble donc y avoir des évolutions sur la rythmicité et probablement sur l'intensité des pluies.

L'évolution annuelle de la pluviométrie a été analysée sur la base des données FIC.

La Figure 7 semble indiquer que la différence entre les saisons persiste avec un creux de pluviométrie en juillet et un pic en novembre. La première moitié de l'année ne montre pas de tendance claire. En revanche, la seconde moitié montre une croissance continue des cumuls de pluies mensuelles qui passent de moins de 150 mm dans les années 70 à plus de 250 mm mensuelles depuis 4 ans pour le mois de novembre.
Le pas mensuel de cumuls de pluie, et non pas quotidien, rend l'interprétation plus poussée non fiable mais il apparait quoiqu'il en soit, que les pluies de novembre 2012 sont le plus fort cumul mensuel enregistré sur la période avec une valeur plus de 3 fois supérieure à la moyenne sur ces 35 dernières années.
Le niveau d'analyse proposée ne permet pas de trancher sur les tendances réelles d'évolution climatique mais le régime des pluies semble en évolution.
La corrélation aux inondations répertoriées au Cap est peu significative car le recueil à travers la presse ne semble pas exhaustif et les descriptions des phénomènes restent trop peu précises dans les sources pour réellement les caractériser. Il apparait en négatif de ce constat que des inondations répertoriées surviennent lors de mois pluviosité non extrême voire moyenne et même faible peut être lors d'épisodes courts mais très intenses, qui n'ont pas encore été caractérisés sur le plan pluviométriques mais pourraient l'être avec les réseaux de mesures fonctionnels.

Tableau 9 : valeur de cumul mensuel de pluies mesurés à la station FIC du Cap Haïtien depuis 1968 (source donnée SNRE, CNIGS, CNSA). Les cellules encadrées en noir sont celles des évènements répertoriés par recherche bibliographique.

Année	Total	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1968	1 522,8	124	117	0		0	138	13	45	159,7	93,7	478,1	354,3
1969	1 390,9	152,8	99,2	22,1	108,5	200,5	90,9	81	29	55,7	101,3	221,3	228,6
		138,4	108,1	11,05	108,5	100,25	114,5	47	37	107,7	97,5	349,7	291,45
1970	1 095,2	177,1	179,4	97,5	36,3	136,8	49,1	20,8	76,7	111,1	50,0	129,3	31,1
1071	1 022,5	45,0	102,5	132,1	344,2	42,3	8,9	9,8	55,2	0,0	93,5	181,3	7,7
1972	1 147,3	113,4	48,1	112,5	172,2	88,7	147,5	75,8	50,4	95,5	140,3	22,6	80,3
1973	1 260,7	157,0	108,5	31,5	59,2	187,9	45	78,5	95,6	128,9	80,9	148,6	139,1
1974	1 377,7	2,0	283,1	81,9	32,9	146,8	29,6	51,7	50,5	13,3	250,9	224,2	210,8
1975	1 008,3	13,1	12,2	76,2	14,8	58,5	109,0	34,9	18,4	121,3	84,6	316,3	149,0
1976	815,5	15,4	21,3	2,9	165,1	15,8	84,8	30,3	40,2	162,8	98,0	106,0	72,9
1977	1 576,2	109,0	280,0	45,8	119,8	359,2	2,5	0,0	109,0	61,2	150,3	176,4	163,0
1978	1 393,5	189,1	192,6	151,5	245,0	57,0	72,2	11,6	11,9	109,1	232,6	88,5	32,4
1979	1 896,5	21,0	153,1	434,4	118,5	120,1	63,2	142,5	152,6	195,4	353,1	30,2	112,4
moyenne 70		84,2	138,1	116,6	130,8	121,3	61,2	45,6	66,1	99,9	153,4	142,3	99,9
1980	1 256,4	177,1	171,1	45,9	95,1	157,9	71,7	16,6	60,7	80,5	48,1	67,4	264,3
1981	2 016,8	133,1	139,8	175,6	98,7	195,9	95,7	58,7	72,6	197,0	197,0	437,1	215,6
1982	1 466,6	304,0	27,5	42,6	53,8	421,8	117,0	19,3	13,0	31,2	205,3	167,5	63,6
1983	1 389,7	180,7	81,0	102,0	189,9	269,7	156,1	15,5	14,7	119,0	67,3	63,2	130,6
1984	1 217,8	109,1	173,4	49,8	190,0	24,5	122,2	32,3	26,0	139,0	115,0	184,1	52,4
1985	1 301,6	175,8	203,9	261,0	140,7	46,8	38,4	84,2	54,3	104,6	80,2	94,2	17,5
1986	863,3	155,7	18,0	136,5	168,5	112,8	26,8	4,5	40,5	20,2	148,5	13,2	18,1
1987	2 132,1	233,2	49,1	202,5	501,9	241,9	43,8	17,1	73,3	79,5	289,3	153,0	247,5
1988	1 068,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	276,8	62,3	48,4	243,0	40,4	68,0	329,7
1989	989,2	35,5	207,7	62,2	48,0	108,2	24,4	19,3	13,7	57,9	167,7	45,6	199,0
moyenne 80		150,4	107,2	107,8	148,7	158,0	97,3	33,0	41,7	107,2	135,9	129,3	153,8
1990	1 246,0	13,0	84,3	79,5	25,0	4,0	129,7	27,8	25,2	32,5	359,3	282,0	183,7
1991	745,2	3,6	53,7	131,4	29,8	69,3	0,0	20,0	13,2	124,1	154,3	145,8	0,0
1992	1 509,0	160,7	59,0	123,4	157,8	408,0	32,1	21,0	1,5	62,3	110,3	201,8	171,1
1993	1 234,0	170,2	35,6	190,4	183,5	255,7	0,0	2,4	10,9	10,7	64,9	174,9	134,8

Année	Total	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1994	1 340,3	426,1	47,7	155,9	49,2	192,8	10,3	23,4	46,4	21,2	153,4	80,2	133,7
1995	1 523,4	68,3	341,1	119,2	69,9	157,3	72,1	37,8	86,4	130,5	97,9	250,1	92,8
1996	1 424,5	148,4	189,1	250,6	75,9	119,8	86,3	31,1	36,5	157,2	80,1	201,8	47,7
1997	1 000,8	81,0	6,9	19,4	13,6	41,7	70,2	10,2	144,0	34,0	270,4	229,8	79,6
1998	1 804,2	295,4	13,6	349,8	91,2	56,3	84,9	39,5	106,8	264,3	265,5	193,7	43,2
1999	1 723,2	214,0	143,4	210,6	5,2	311,2	106,5	60,4	27,4	67,8	175,6	348,0	53,1
moyenne 90		158,1	97,4	163,0	70,1	161,6	59,2	27,4	49,8	90,5	173,2	210,8	94,0
2000	1 036,2	90,6	43,7	9,0	6,5	87,3	12,7	24,4	53,3	112,9	323,5	78,8	193,5
2001	1 829,3	174,8	5,5	105,5	105,6	412,4	13,3	2,5	82,5	176,2	138,5	316,0	296,5
2002	1 168,2	191,0	15,5	32,2	97,5	122,0	70,0	4,5	53,5	223,0	77,5	156,5	125,0
2003	1 739,8	355,5	44,5	31,0	274,0	41,0	119,1	58,8	30,7	79,4	210,0	190,6	305,2
2004	1 971,6	217,4	123,0	269,4	163,8	85,9	110,9	120,0	62,5	103,4	253,0	167,3	295,0
2005	1 450,8	131,3	27,6	80,0	222,4	195,7	91,8	94,4	79,6	41,2	310,8	136,0	40,0
2006	1 191,0	107,5	128,4	38,5	79,3	65,9	96,2	32,0	33	126,6	248,7	144,4	90,5
2007	1 531,5	22,1	136,7	320,7	78,8	240,3	74,0	9,3	56,7	85,5	148,9	266,0	92,5
2008	1 486,7	64,9	3,3	33,2	238,4	96,4	53,2	36,6	100,3	379,1	129,1	307,4	44,8
2009	877,6	202,9	246,2	217,6	52,8	95,7	62,4	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
moyenne 2000		150,6	58,7	102,2	140,7	149,7	71,2	42,5	61,3	147,5	204,4	195,9	164,8
2010	1 975,7	381,4	388,4	163,6	34,2	84,1	69,2	59,5	107,1	97,5	175,2	249,6	165,9
2011	1 626,7	186,5	157,7	25,0	27,9	187,2	92,9	23,6	132,3	312,7	201,7	182,7	96,5
2012	1 491,6	87,7	53,4	79,0	176,8	68,4	5,0	9,5	73,9	28,0	141,3	583,2	185,4
2013	981,7	113,2	48,4	121,4	48,6	111,2	123,8	22,8	8,4	185,6	110,1	75,4	12,8
moyen 2010-2013		192,2	162,0	97,3	71,9	112,7	72,7	28,9	80,4	156,0	157,1	272,7	115,2

Source: MARNDR / DGA-PSECE / DEAP / Service de Statistiques Agricoles.

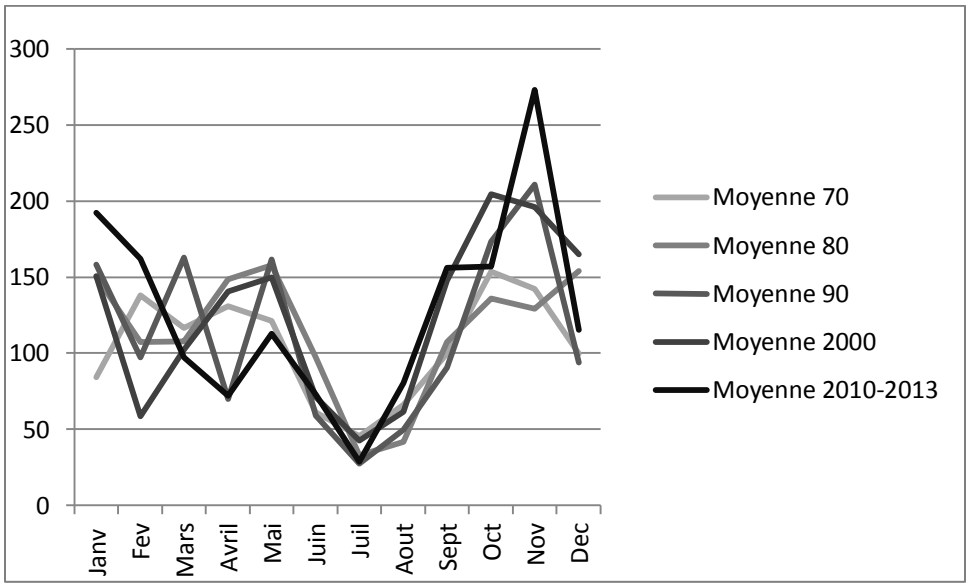


Figure 7 : évolution des moyennes mensuelles de pluviométrie par décennies depuis les années 70.

Les données de 2014 n'ont pas été intégrées mais la valeur de 300 mm mensuels est à coup sûr dépassée sur ce mois puisque 277 m sont tombés entre le 1 et le 7 novembre. La tendance d'augmentation forte de la moyenne mensuelle sur novembre est donc encore confirmée.

11.7.2 Analyse des pluies quotidiennes de 2009 à 2013 (données FIC)

Les données quotidiennes disponibles sont présentées dans les tableaux qui suivent. Elles sont également d'origine FIC et couvrent les années 2009 à 2013. L'épisode du 8 et 9 novembre 2012 apparait véritablement comme **exceptionnel** avec près de 423 mm tombés en 2 jours, soit près de 2 fois la moyenne mensuelle des années 2000 à 2014. Il avait plu la veille, et 5 jours durant les 7 qui ont précédé. La journée du 8/11/12 à elle seule aurait cumulé 282,8 mm.
Le cumul le plus fort sur une courte période se situe en janvier 2010 avec 273 mm tombés en 5 jours. Une valeur de 167 mm a également été notée le 7 févier 2010 mais n'a pas fait l'objet d'une crue répertoriée dans les sources analysées. Ces valeurs restent éloignées des pics connus pour les inondations de nov. 2012 et nov. 2014.

Tableau 10 : mesures quotidiennes des FIC au Cap Haïtien pour l'année 2009.

	janv-09	févr-09	mars-09	avr-09	mai-09	juin-09	juil-09	août-09	sept-09	oct-09	nov-09	déc-09
1		7	10,5									
2			14,4					3		0,5		
3		0,3	35,2									
4		6,2	10,5	5,8				32				
5		16,8	4,3		9,5							0,8
6		84,4		39,5		7,2			5,7			
7		16,5				3,3					0,8	
8		35				1,2					1,2	
9		16,3									4,4	
10		18,2				42,3				10,1		
11		2				0,4				0,5		
12												
13								1,8				
14								2,8			14	
15								0,6	26,5	3,9		
16	1					3						
17	3,8	10,5	11,2		17,5						15,2	
18	1		1,5	7,5	36						0,4	
19					7,2						1,3	
20	62,5	1,2	4,7		0,3					29,3	6,8	8,2
21	20,5		106,5							1,6	1,2	22,1
22	45,2		4,8		22							32,9
23	43,5		12			5			2,8	9		8,6
24	18,2	15,3							40,2			9,4
25		8,2	2		1				5,2			
26		4,3			2,2			31,5	15			
27		4										
28											15	17
29											5,5	19,3
30												
31	7,2							54,5		5,2		
total	202,9	246,2	217,6	52,8	95,7	62,4	0	126,2	95,4	60,1	65,8	118,3
nbr de jour	8	16	12	3	8	7	0	6	6	8	11	8
moyenne	6,76	8,21	7,25	1,76	3,19	2,08	0,00	4,21	3,18	2,00	2,19	3,94
min	1	0,3	1,5	5,8	0,3	0,4	0	0,6	2,8	0,5	0,4	0,8
max	62,5	84,4	106,5	39,5	36	42,3	0	54,5	40,2	29,3	15,2	32,9

Tableau 11 : mesures quotidiennes des FIC au Cap Haïtien pour l'année 2010.

	janv-10	févr-10	mars-10	avr-10	mai-10	juin-10	juil-10	août-10	sept-10	oct-10	nov-10	déc-10
1				2,8		39,8				1,2		0,8
2	3,6					1						
3	37	3,2	1,6			3,4						3
4	21,4	1,2	13,6								4,6	53
5	30,6	0,3	7,8	2,2				14			24,8	
6	6		4,6	2			3,4	1,2			4,5	
7	7,9	157,2				1,2	34,6	9			0,6	0,5
8		3,8								32,8	59,5	2
9										34,5	81,2	0,8
10	79,8				2					16,5	33,7	11,4
11	56,4	5,8		2,3	0,8		0,6		1		6,2	
12	104,6			4,4				3	0,6			1,6
13	30	3,4							35,5			17,6
14	2,5	71,6	5,4	14,2			0,8					23,4
15	0,6	44,8	0,8	5				14,4				5,6
16		35,8	4,5		0,6		1,8			0,6		0,8
17	0,4	25,4	1,4			2			7,8	16,4		
18		9	23,6							9		
19			52								1	2,6
20			9,8		44,8		1,4		0,8	41,2	10,8	3,2
21									6,3		4,1	25
22	0,3				31,5		14,7				18,6	
23		6,1	5,5				2,2					
24			0,8			13,8						1
25		19,4										
26		0,6							2,2			
27					2,2				28,2	1,8		12,4
28		0,8	1,2		1,8				10,5	21,2		1,2
29				1,3		7,2						
30			20,6		0,4	0,8			4,6			
31	0,3		10,4					65,5				
total	381,4	388,4	163,6	34,2	84,1	69,2	59,5	107,1	97,5	175,2	249,6	165,9
nbr de jour	15	16	16	8	8	8	8	10	10	10	12	18
moyenne	12,71	12,95	5,45	1,14	2,80	2,31	1,98	3,57	3,25	5,84	8,32	5,53
Min	0,3	0,3	0,8	1,3	0,4	0,8	0,6	1,2	0,6	0,6	0,6	0,5
Max	104,6	157,2	52	14,2	44,8	39,8	34,6	65,5	35,5	41,2	81,2	53

Tableau 12 : mesures quotidiennes des FIC au Cap Haïtien pour l'année 2011.

	janv-11	févr-11	mars-11	avr-11	mai-11	juin-11	juil-11	août-11	sept-11	oct-11	nov-11	déc-11
1	3,5				0,4	4,2		1,9		33,2	41,4	
2						1					0,2	13,4
3		0,8	1,4	3,4		1,4	0,6					8,4
4			6,4		18	4,5		5,2			36,8	6,4
5						1,4					65,2	3,8
6						40,4					3	
7						10,7			7,6	39,8	0,2	13,2
8	1,2					0,8			22,2	7,8		11,8
9	1,6		1,5			4,7						
10												
11				1,4					1,6	9,6	2,4	1,4
12												5,1
13	7,5	24,6	4,4				23			1,2		13,4
14		19,6	1,9	9					44,8	24,9		8,4
15	2	18,8			1,4				46,2			0,8
16		19	5		1,4						0,2	
17		30,4	4,2		1,2							
18		31,9								63		4,2
19		11,4	0,2	7,7								6,2
20		1,2		4	13,2	14		3,6	86,5			
21				2,4		9,4		4	2	0,8		
22					29,2	0,4		26,2	4,2	19,2		
23	36,3							49,2	0,2	0,4		
24	0,7				7,8			0,2		1,6		
25					104						0,8	
26					3			17	39,8	0,2	6,4	
27					1,3				10,8		22,8	
28	6,7							25				
29	127								46,8		3,3	
30					3							
31					3,3							
total	186,5	157,7	25	27,9	187,2	92,9	23,6	132,3	312,7	201,7	182,7	96,5
nbr de jour	9	9	8	6	13	12	2	9	12	12	12	13
moyenne	6,22	5,26	0,83	0,93	6,24	3,10	0,79	4,41	10,42	6,72	6,09	3,22
min	0,7	0,8	0,2	1,4	0,4	0,4	0,6	0,2	0,2	0,2	0,2	0,8
max	127	31,9	6,4	9	104	40,4	23	49,2	86,5	63	65,2	13,4

Tableau 13 : mesures quotidiennes des FIC au Cap Haïtien pour l'année 2012.

	janv-12	févr-12	mars-12	avr-12	mai-12	juin-12	juil-12	août-12	sept-12	oct-12	nov-12	déc-12
1					21,6						8,4	43,2
2											12	82,2
3	1,4				1,6						6,2	10,8
4	10										4,6	0,3
5	16			23,6			0,6					
6	5,2			0,2								
7	10,6										16,3	
8	21			66,6				10,2		0,8	282,8	
9	3,4			10,5						18,8	140,2	
10			36,6								18,2	
11			1,2	2,4							4,1	
12		29,2		3,4		0,4						
13		22,9		2,2			4,4			6,4		
14				0,3				0,4		26,8		
15		0,2								4,8	4,7	
16	9,2	1,1	1,2			2,4	4	11	14,6	21,8	2,9	
17	1,3			1,2								
18	1,2									9,7	9,8	
19	0,9				42,8						22,3	
20					0,6						12,3	
21					1,8	2,2						14,4
22			1				0,5		3,6		1,9	25,5
23				12,8				31,7				8,6
24				36,6				7,8		21,4		
25			1,6	1,2				12,8		11,8	0,4	
26			1,4	1,2					2		18,8	
27			30,4									
28			5,6							1,6	1	
29									7,8		16,3	
30	7,2			14,6								0,4
31	0,3									17,4		
total	87,7	53,4	79	176,8	68,4	5	9,5	73,9	28	141,3	583,2	185,4
nbr de jour	13	4	8	14	5	3	4	6	4	11	19	8
moyenne	2,92	1,78	2,63	5,89	2,28	0,17	0,32	2,46	0,93	4,71	19,44	6,18
min	0,3	0,2	1	0,2	0,6	0,4	0,5	0,4	2	0,8	0,4	0,3
max	21	29,2	36,6	66,6	42,8	2,4	4,4	31,7	14,6	26,8	282,8	82,2

Tableau 14 : mesures quotidiennes des FIC au Cap Haïtien pour l'année 2013.

	janv-13	févr-13	mars-13	avr-14	mai-13	juin-13	juil-13	août-13	sept-13	oct-13	nov-13	déc-13
1	2,6					31,6						
2			13,8			48,7					21,6	0,6
3			30,4	8	0,9	4					8,8	4,4
4	4		10,9			7,9					7,2	
5			0,3	6	0,2	9			6,6	1,4	6,2	
6			0,6	20,4	8,2				1	12,8	1,2	
7					1,4				9			
8						6,8	9		47,8	4,6		
9		1		5								
10		2		0,1			4					
11		1								2,3		
12						7,6			51,4			
13					1					3,6		
14					4,2	2,6			0,2			
15			24,8		0,4					6,6		
16						4,8			5	4,6	10,2	
17		15									10,8	
18		29,4								0,2		
19												
20												
21				3,8								1,4
22					33			4,6	1	1,6		
23	92,4			0,5								
24	9,2										9,4	1,6
25				4,8				1,8				
26	3				12				2,4	22,4		
27					9,5			2	59,4	33,8		4,8
28			31		25							
29	2		9,6		15,4		9,8		1,8	13		
30						0,8				3,2		
31												
total	113,2	48,4	121,4	48,6	111,2	123,8	22,8	8,4	185,6	110,1	75,4	12,8
nbr de jour	6	5	8	8	12	10	4	3	11	13	8	5
moyenne	3,77	1,61	4,05	1,62	3,71	4,13	0,76	0,28	6,19	3,67	2,51	0,43
min	2	1	0,3	0,1	0,2	0,8	4	1,8	0,2	0,2	1,2	0,6
max	92,4	29,4	31	20,4	33	48,7	9,8	4,6	59,4	33,8	21,6	4,8

ANNEXE 7 : CAUSES ANTHROPIQUES DES CRUES ET INONDATIONS, OBSERVATIONS DE TERRAIN ET CONSTATS

Comme l'ont déjà souligné dans les années 2000 (Réf. 1**,** Réf. 2), les aménagements de la ville, en particulier ceux de drainage d'eaux pluviales et d'eaux usées sont notoirement insuffisants et les nouveaux arrivants s'installent dans des zones exposées au risque d'inondation.

Les facteurs de risque d'origine anthropique induisant une augmentation de l'aléa, de l'exposition, de la vulnérabilité sont identifiés mais peu ou pas quantifiés ni localisés.

Ces études datant de plus de 10 ans (Réf. 1) ont déjà identifié certains phénomènes générateurs d'une aggravation de l'exposition et de la vulnérabilité au risque d'inondation au Cap Haïtien. Elles ne montraient pas en revanche, que les dérives de l'époque sont aussi à l'origine d'une augmentation de l'aléa inondation.

Nous proposons une liste détaillée de ces facteurs argumentés par des illustrations de terrain.
S'agissant de phénomène généralisés, très répandus, il n'est pas envisageable dans l'étude présente, d'en faire une cartographie exhaustive à l'échelle de l'agglomération du Cap. En revanche, lors d'une planification ou d'un réaménagement de quartier, ces pratiques peuvent et doivent être identifiées en détail.

1. **Construction anarchique dans les mornes engendrant ruissellement, érosions torrentielles et coulées boueuses.**

Outre les zones agricoles et terrains naturels défrichés dans les partie hautes des ravines, lieu de genèse de coulées bouseuse et de glissements de terrain (Réf. 7, Carte 4), les zones de constructions anarchiques dans les pentes des mornes et des ravines dénudent de grandes surfaces très instables et érodables.
Cela engendre ruissellement et érosion dans les quartiers bas de la ville ancienne et dans les nouvelles citées en rive gauche de la rivière du Haut du Cap, à l'aval des ravines.

Ce fait est ancien et bien connu. Il est difficilement contrôlable par les autorités, même si des programmes de stabilisation et de reboisement de pentes ont eu lieu et préservent certains secteurs.
Les parties intermédiaires des bassins versants sont les zones de genèses de coulées boueuses. Le microzonage sismique en fournit une première cartographie (Réf. 7).

Ce défrichement est essentiellement à l'origine de déstabilisation de pentes, de glissement de terrain et d'une érosion plus intense des inondations, et par conséquent en aval d'un comblement plus rapide des ouvrages par les apports terrigènes, que les moyens de la ville et du MTPTC ne suffisent pas à évacuer.
Ce phénomène est et restera une des causes majeures de dysfonctionnement des ouvrages.
La tendance constatée à l'augmentation d'évènements pluvieux forts et intenses tend également à rendre les ouvrages anciens totalement sous-dimensionnés par rapport aux débits de crues possibles actuellement.
Il contribue également à combler plus rapidement le lit de la rivière du haut du Cap, ce qui a pour effet de réduire sa capacité à absorber et amortir des crues, ce lit n'étant jamais dragué.

La Photos 6 illustre les phénomènes en cours :

- Renforcement par sac de sable au niveau de ravinements en cours entre des maisons installées sur des pentes trop fortes en bord de ravine.
- Accumulation de dépôts terrigènes au niveau des ouvrages qui diminuent leur capacité à laisser par les crues.

s 	
Accumulation de dépôts terrigènes à la sortie d'un ouvrage qui a été curé. Les dépôts déplacés n'ont pas été complètement déblayés et gênent l'écoulement en cas de crue.	Creusement par érosion et tentative de stabilisation par sac de sable dans une allée entre des maisons installées sur une pente trop forte après déboisement.

Photos 6 : exemples de zones à érosion et fort apport terrigène dans le haut de la ravine du point 4 (Carte 25)

2. Constructions trop proches des lits des ravines, voire dans les lits des ravines

Le point 1 (voir Carte 25) illustré ci-dessous est situé dans la partie haute de Grand Ravin, sur la portion longeant la rue 21.

Sur une grande partie du segment vers l'aval, la ravine est délimitée par des murs de propriétés qui ont empiété sur le lit mineur, à tel point qu'ils l'ont réduit parfois de moitié et que la nature a repris ses droits en détruisant une partie des constructions.

Ces goulets artificiels sont à éliminer en expropriant ou détruisant la construction mal placée.

Le déboisement à l'amont et l'instabilité des terrains peu consolidés, engendrent un fort apport sédimentaire lors des crues qui comblent les sections de ravine subsistant entre les murs de propriété. Le fond du ruisseau s'élève donc sans cesse.

Les talwegs étant secs la plupart du temps, les nouveaux arrivants pensent pouvoir s'y installer sans danger. Dans certaines sections, le lit actuel des ravines est situé au même niveau voir plus haut que le sol des cours et des RDC.

Sur la Photos 7A, le lit de la ravine réduit à moins de 3 m de large est le fond est situé à une hauteur supérieure que le sol de la cour de la maison située derrière le mur à sa gauche.

Ces habitations sont en danger très élevés à court terme, d'être emportées ou ensevelies par un débordement. Certaines maisons installées dans le lit des ravines doivent être détruites.

 **A**	 **B**
Ravine délimitée à droite par une habitation et sa cours dont le niveau est plus bas que celui du lit.	Habitation empiétant dans le lit de la ravine, partiellement détruite durant une crue.
 **C**	 **D**
Réduction du lit de la ravine par une extension de maison qui a de fortes chances d'être détruite lors d'une prochaine crue.	Maison construite dans une ravine détournant son cours.

Photos 7 : exemples de construction empiétant voir détournant le lit de ravines dans les zones de pentes fortes des mornes.

3. Comblement des ravines et lits de rivières par des déchets et gravats, bouchage d'ouvrages.

Le rejet de déchets dans les ravines et les cours d'eau est une pratique courante en Haïti. Cette pratique aboutit localement au remplissage partiel voire complet dans certains cas de ravines, de drains et du bouchage d'ouvrages aux niveaux desquels s'accumulent les déchets pour former des embâcles et provoquer des débordements.

Dans les hauts de la ville, les quartiers informels et illégaux sont implantés dans des zones où n'a lieu aucun ramassage d'ordure. Les déchets jetés dans les parties hautes descendent et viennent obturer les ouvrages de la partie basse de la ville.

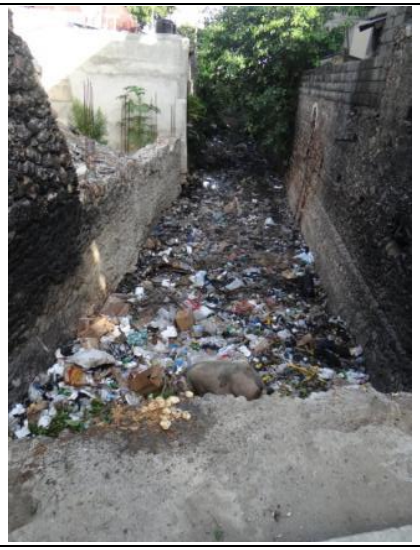
Les grilles disposées en certains points à proximité des routes ou à la confluence avec la grande rivière du Cap ne font que créer des bouchons qui empêchent les déchets de sortir des canaux déjà presque obstrués. Elles aggravent et accélèrent les embâcles.

En période de fortes crues, les zones de déchets accumulés sont aussi des zones d'accumulation terrigènes qui vont rester au niveau des bouchons (grilles ou ouvrages sous-dimensionnés) et combler les canaux et drains.

En l'occurrence, le comportement des riverains qui jettent les déchets dans les drains devant chez eux est directement responsable de dysfonctionnement et de débordement en aval lors de simples orages.

La municipalité n'est pas en mesure de curer et récupérer les déchets jetés dans les ravines, les canaux et les drains bien que des opérations de curage soient entreprises périodiquement.

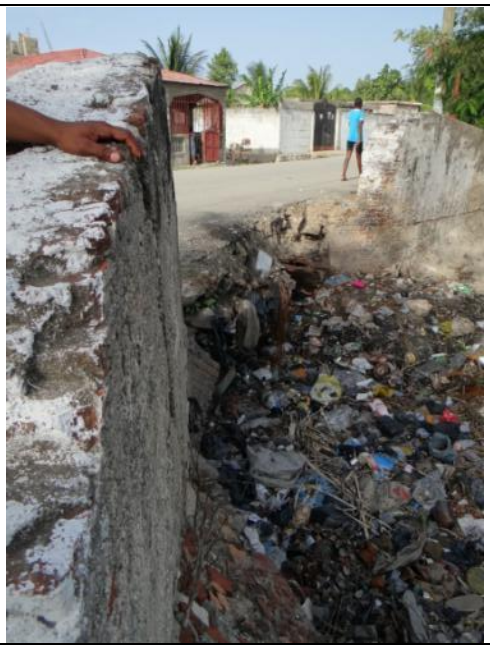
Des nouvelles habitations précaires s'installent sur les nouveaux remblais dans le lit même de la rivière (Photos 9) et sont exposées à être submergées dès que l'eau monte et à être emportées en cas de crues. Ces habitations doivent être déplacées.

	
Forte accumulation de déchets dans la grande ravine (Zetryie) traversant la ville ancienne.	Exutoire de drain dans la rivière du haut du cap complètement comblé par des déchets.
	
Exutoire vers la rivière du haut du cap partiellement comblé de déchets	Ouvrages passant sous la nationale 1 avec fort rétrecissement et accummulation de déchets pouvant causer un bouchon et un débordement.

Photos 8 : exemples de bouchage ou comblement de drains et ouvrages par accumulation de déchets.

	
Dépot de déchet en rive gauche de la rivière du haut du Cap comblant progressivement le lit.	Dépot de déchets en rive gauche de la rivière du haut du Cap comblant progressivement le lit et nouvelles implantations sur ces remblais de déchets
	
Construction sur déblais récent et progression de remblais pas dépot de déchets dans le lit mineur de la rivière.	Couloir d'accés à la mer de la rivière du Haut du cap réduit à 3 m de large.

Photos 9 : exemples de construction gagnant sur le lit mineur de la rivière du haut d Cap, installées sur de nouveau remblais





Photos 10 : comblement quasi complet d'un ouvrage datant de l'époque coloniale sur un chenal ancien en grande partie comblé par les détritus (point 2 sur Carte 25).

4. Extension des constructions et de la ville sur les rives de l'embouchure et dans les zones de mangroves et de marécages de la plaine, en zones inondables avec des hauteurs de submersion dépassant souvent 1 m.

L'embouchure de la rivière du Haut du Cap est un couloir de 1200 m de long, large de 30 m au plus étroit et de 100 m au plus large, qui relie la mer à la lagune où se déverse la rivière du haut du cap. Cette lagune reçoit également les eaux de ruissellement provenant des mornes.
La comparaison de photographies aériennes de 1978 et 2013 a montré que le lit mineur actif a été considérablement réduit en largeur et que les remblais et les constructions s'y sont installés (voirCarte 8, Carte **9**).
Ce phénomène est constaté partout où la rivière n'est pas bordée d'ouvrages maçonnés ou de quais. En amont de la lagune, un nouveau pont vient d'être mis en service. De part et d'autres de ce dernier, des constructions en blocs maçonnés s'y sont installés sur des remblais récents (Photos 11, Photos 12).
A certains endroits, le lit mineur qui mesurait environ 80 m en 1978 est réduit à une vingtaine de mètres entre les premières habitations.
Ce rétrécissement du lit mineur a pour conséquences :

Sur le plan physique

- une réduction de la capacité de la rivière et de la lagune à servir de tampon et à se vidanger lors des crues.
- A volume d'eau constant, une augmentation du niveau, de la vitesse, de la durée des crues.
- Une augmentation de la quantité de terre ou de sédiments déposés en amont.
- Une augmentation de la quantité de matériaux de construction emportés lors de crues et du risque d'embâcle en aval.

Sur le plan humain

- une augmentation de l'exposition et du danger pour les populations les plus proches du lit mineur.
- une augmentation du risque de pertes humaines et économiques.



Photos 11 : panorama pris du nouveau pont sur la rivière du Haut du Cap (amont en haut, aval en bas).

	
Construction de remblais par accumulation de déchets et construction informelles dans le lit de la rivière	Construction de fondations par apport de blocs dans la zone du lit mineur à quelques mètres de la berge
	
Constructions nouvelles sur remblais récent empiétant sur le lit mineur en rive droite du nouveau pont.	Constructions nouvelles sur remblais récent empiétant sur le lit mineur en rive gauche du nouveau pont.

Photos 12 : rétrécissement du lit mineur de la rivière du Haut du Cap par comblement du lit mineur et construction de maisons dans le lit mineur au niveau du nouveau pont en amont de la lagune.

5. **Ouvrages de drainage insuffisants ou à défaut de conception.**

De multiples ouvrages de drainages ont été construits après installation des populations afin de remédier à l'absence d'infrastructures.
Ils sont incapables de drainer les eaux en cas de fortes pluies voire permettent à la mer de remonter dans les zones habitées lors des grands marées. Ils sont parfois sous-dimensionnés ou établis là où subsistait de la place entre les habitations déjà présentes avant la construction de l'ouvrage.
Dans d'autres cas, les ouvrages ont pu être construits dans des lits encore larges mais ils sont parfois mal conçus.

On a pu observer dans les hauts du Cap des ouvrages datant de pratiquement de l'époque coloniale, qui ont été réparés plutôt que remplacés.

Ainsi, on observe des renforcements sous des ponts par la pose de buses, qui, si elles évitent l'effondrement du pont, réduisent considérablement le débit qui peut passer dessous. Les débits les plus forts sont bloqués, l'ouvrage est mis en charge et l'eau montant à l'amont finit par déborder par-dessus l'ouvrage ou sur ces côtés.

En plusieurs endroits, le renforcement de berges par les gabions (préférentiellement aux berges en béton armé plus chers) est réalisé au détriment de la largeur du lit mineur. La réduction de la section hydraulique efficace aboutit à un rehaussement de la ligne d'eau en cas de crue (Photos 13B).

 A	 B
Construction d'un nouveau pont au-dessus d'un pont datant de l'époque coloniale dont la section efficace est extrêmement réduite	Gabionnage le long d'une ravine qui réduit la section hydraulique. le lit a été recreuse mais à quelques mètre en amont le lit reste complètement comblé

	probablement par inaccessibilité des pelleteuses.
 C	 D
Exutoire d'un canal d'évacuation en mer. la marée montante refoule dans le canal et parfois déborde du canal par grande marée selon les riverains.	Grille obturant un canal à sec qui retient les déchets et crée des bouchons et débordement au niveau de l'ouvrage

Photos 13 : exemples d'ouvrages à dimensionnement insuffisant.

On note néanmoins, que des ouvrages récents en zone urbaine, sont fabriqués en béton armé (Photos 15) et présentent une bonne solidité. Ces ouvrages bien que plus couteux sont souvent plus résistants et de longévité plus grande que les parois de gabions.




Photos 14 : ouvrage récent assez bien conçu à la confluence de 2 ravines, mais déjà largement comblé de sédiment à 200 m en aval au passage de la route nationale 1.

Un dimensionnement inapproprié pourrait également exister au niveau du nouveau mur d'enceinte de l'aéroport dans sa partie sud récemment étendue pour la mise aux normes internationales, comme semble l'attester le débordement survenu lors des inondations de novembre 2014 (voir Photos 4).

Le cours d'eau qui passait au sud de l'ancienne piste (Figure 8) passe désormais à travers l'extension de cette dernière.
Le mur d'enceinte crée certainement une rétention sur son versant sud-est, ce qui limite l'inondabilité à l'intérieur du périmètre de l'aéroport mais augmente certainement la hauteur de crue et l'étendue inonde dans la zone amont du cours d'eau au sud-est de l'aéroport.



Figure 8 : comparaison de la zone d'extension de l'aéroport international du Cap haïtien entre janvier 2010 en haut et février 2014 en bas.

6. Dégradation d'ouvrages existants ou absence d'entretien

La dégradation d'ouvrages existants qui perdent leur efficacité est fréquente et observable partout en Haïti. Ici une digue en terre vieille de quelques années est percée en rive droite à l'amont du vieux pont colonial en face de Breda.





Photos 15 : dégradation d'ouvrages récents ou anciens.

Brèche volontaire dans une digue en terre en rive gauche amont d'un ancien pont colonial (en haut). En bas, ouvrage de ralentissement du flot par gabions totalement bouché et inefficace car comblé.

7. Ravines ou talwegs sans ouvrage de captage ou de dérivation en zones habitées

Dans l'ouest de la ville se développent de nouveaux quartiers encore peu densément peuplés sur les pentes basses des mornes, au pied de petits bassins versants aboutissant dans la zone de pente faible jusqu'à la plaine. Sur ces zones récemment habitées, le talweg peut voir s'écouler un cours d'eau temporaire qui se perd entre les limites de propriétés pour totalement disparaitre et n'avoir plus de jonction jusqu'à la rivière du Haut du Cap.
Les images de 1978 indiquent que certains de ces écoulements étaient reliés à la plaine basse par de petit ruisseaux ou chenaux avant urbanisation.

Dans un proche avenir, après densification du bâti et multiplication des débordements dans les propriétés installées dans les champs d'expansion de crue, la municipalité va se trouver contrainte de réaliser des travaux sous la pression des résidents.
L'aménagement d'un ouvrage risquera d'être mal conçu et mal dimensionné car il sera contraint d'évoluer entre les limites et murs de propriétés déjà établis, à moins qu'une préemption voire une délocalisation des riverains situés sur le trajet optimal de l'ouvrage ne soit entreprise.

Au moins 4 talwegs de ravines à écoulement permanent ou temporaire présentant de type de contexte ont été identifiées (Photos 16).



Photos 16 : terminaison de talweg provenant des mornes sans prolongation par des canaux ou des drains jusqu'à la rivière du haut du cap dans la partie ouest de la ville en cours de densification.

Les ravines dont les terminaisons sont entourées en rouge à la Photos 16 ont été parcourues du secteur amont purement naturel jusqu'à son déversement dans la rivière du Haut du Cap.

Les observations suivantes ont été faites :

- jusqu'à la route nationale aucun ouvrage ne définit ou n'endigue le lit naturel.
- le lit naturel a été délimité et détourné, rétrécit ou élargit au gré des constructions de murs de propriétés privées.
- des habitations précaires se sont implantées entre les berges artificielles et ont été à l'origine de nombreux morts en novembre 2012.
- d'après les riverains, il n'y aurait pas d'intervention de l'autorité publique pour régir les berges et certains des murs délimitant le lit artificiel délimitent des territoires appartenant à des organismes publics.

- des habitations précaires subsistent dans certaines zones non murées et sont exposées à un risque d'emportement à court terme sous l'effet de l'érosion des berges.
- le talweg naturel a été découpé et la rivière coule sur un lit délimité par des murs dont le niveau est plus élevé par endroit que le terrain derrière les murs de propriétés, d'où un risque probable effondrement de ces murs à court terme.
- **A l'aval de la nationale et jusqu'à la rivière, une allée habitée qui sert de rue, est aussi le seul drain aux écoulements arrivant de l'amont (Photos 17** : succession de vues de la ravine en cours de colonisation (sur les 3 pages suivantes, indices de A à T)**., vues P à S).**
- la gestion de ce talweg semble ne pas faire l'objet d'aucune intervention publique.

Photos 17 : succession de vues de la ravine en cours de colonisation (sur les 3 pages suivantes, indices de A à T).


A


B


C


D



E



F



G



H



I



J



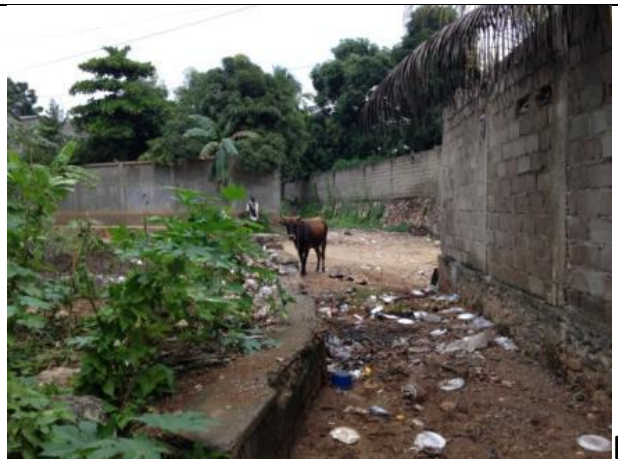
K



L



M



N



O



P


Q


R


S


T

Le constat est donc que cette zone en mutation se transforme depuis une vingtaine d'année d'un environnement purement rural à un environnement urbain, en absence totale de préparation par des aménagements appropriés.
Elle reproduit probablement fidèlement ce qui s'est passé dans les 3 dernières décennies sur les pieds de mornes avec une colonisation progressive.
La ravine présentée à la Photos 17 : succession de vues de la ravine en cours de colonisation (sur les 3 pages suivantes, indices de A à T). **Error! Reference source not found.** est progressivement encadrée, contrainte, voire barrée et détournée par les murs et délimitations de parcelles privées. Des habitations précaires s'établissent parfois entre ces limites, aboutissant à la mise en danger de mort des résidents lors des crues. 11 morts ont été recensés en novembre 2012 dans les habitations construites dans le lit de la ravine sur sa portion encadrée de murs de propriétés. **Dans la partie aval, les riverains vivent dans une allée qui n'est autre que le lit de la rivière à sec la plupart du temps mais seul exutoire en période de crue.**
Hormis, l'ouvrage de passage sous la nationale, aucun ouvrage hydraulique n'a été installé par les autorités municipales ou le MTPTC pour viabiliser et sécuriser ces quartiers en voie de peuplement;

En amont comme en aval de la nationale, les habitations qu'elles soient précaires ou en dur pour les classes moyennes, sont installées sur le parcours naturel d'une rivière qui n'est pas délimitée et évolue rapidement avec dépôt et érosion. Ces terrains ne posaient pas de problèmes à l'époque où ils étaient en marge de la ville et de nature agricole. Leur mutation progressive en zone urbaine n'a pas été préparée et n'est pas suivie.

On voit ici se révéler un problème de gouvernance sur la gestion du territoire avec des questions multiples en suspens :

- où est la limite entre domaine privé et domaine fluvial public.
- comment sont délivrés les titres de propriété (lorsqu'il y en a) et par qui.
- de qui relève la délivrance des autorisations d'ériger des murs le long de la ravine.
- qui surveille l'extension des parcelles privées.
- qui aurait la responsabilité de réaliser des aménagements de drainage sur ce territoire en mutation.

La lancinante question du cadastre absent et de la délimitation, de la maitrise du domaine public en Haïti est tapie derrière toutes ces interrogations.

L'absence de planification sous la forme d'un schéma d'aménagement établissant clairement le statut présent du territoire et son devenir, crée probablement un vide et un conflit sur la gestion de territoire et l'aménagement du secteur qui dépendraient du MARNR s'ils étaient purement ruraux ou agricoles ou du MTPTC s'ils étaient purement urbains.

Ces territoires en mutation ne sont ni l'un ni l'autre et deviennent des zones peu ou pas gérées que personne n'administre véritablement sur le plan des aménagements, ce qui n'empêche pas que des transactions immobilières aient lieu en grand nombre sur ces sites.

L'absence de contrôle des ravines entrainera à terme l'impossibilité pour la puissance publique de pouvoir procéder à des travaux de drainage.

La solution relève en grande partie du domaine de la gouvernance et du contexte légal et règlementaire, ce qui dépasse le cadre de la présente étude.

8. **Construction dans la plaine sur des remblais et insuffisance d'élévation des fondations.**

Les constructions établies en bord de mer comme en retrait près de la zone de lagune sont souvent trop basses voire construites sans remblais ou sans surélévation du Rez-de-chaussée et subissent des inondations ou stagnation permanente de l'eau, et pénétration de la mer par marée haute.



Photos 18 : exutoire d'un drain vers la mer à Petite Anse. Le niveau du fond du canal entre les murets est quasiment le même que celui du sol ou est bâti la maison.

Dans l'intérieur des terres, de nombreuses maisons en zones inondables ont été construites depuis 2 décennies dans le lit remblayé de la rivière du haut du cap. Les plus anciennes, construites sur des fondations peu élevées sont souvent inondées (Photos 19) ou ont subi des dommages structurels en raison de la mauvaise assisse que constitue le terrain marécageux lorsque les fondations sont insuffisantes (voir maison affaissée à la Photos 19 B).
Les maisons les plus récentes qu'on suppose postérieures à la crue de novembre 2012, sont désormais construites en bord de rivière sur une dalle surélevée de 1,2 m.

Cette solution réduit la vulnérabilité de l'habitation face à la plupart des crues. Il n'a pas été possible d'interroger de constructeur d'une de ces nouvelles habitations afin de savoir sur quel critère avait été choisie l'élévation du RDC. Il est donc supposé qu'il s'agit d'une hauteur supérieure à celle de la crue de novembre 2012.

Si cette solution de RDC surélevés sur fondation réduit la vulnérabilité elle induit une augmentation de l'aléa. En effet, les fondations pleines telles que celles visibles dans le quartier visité (point 6 sur Carte 25) sont autant d'espace que ne peut occuper l'eau. Par cette pratique, On réduit la capacité d'expansion des crues. Chaque volume enlevé à cette zone d'expansion de crue par de telles fondations contribue à augmenter le niveau des crues à débit équivalent.
En d'autres termes ces fondations réduisent la vulnérabilité mais aggravent l'aléa.
La solution rationnelle de remplacement serait de construire sur fondations creuses ou transparentes laissant s'écouler l'eau, ou sur pilotis dans la zone submersible.

	
A - Maisons récentes construites avec RDC non surélevés ou peu surélevés.	B - Maison ancienne à sol situé plus bas que la chaussée aujourd'hui abandonnées
	
C - Fondations d'une future maison sur élévation d'environ 1,2 m	C - Fondations de la nouvelle maison la plus proche du lit mineur avec RDC surélevé d'environ 1,2 m

Photos 19 : construction dans le lit morphologique de la rivière sur remblais artificiel récent.

En haut maison anciennes en rive gauche sans remblais ou surélévation du RDC. En bas, dans la même rue à proximité de la berge du la rivière du Haut-du-Cap, fondations d'une maison récente et d'une maison en construction, surélevées de plus de 1 m pour tenir compte des niveaux de crue connus.



Photos 20 : nouvelles maison à fondation plein en rive gauche de la rivière du Haut du Cap (point 6 sur Carte 25).

9. Etablissement de constructions en zone marine sur le rivage

La ville du Cap s'est considérablement étendue depuis les années 80 en gagnant sur la zone humide côtière, les zones intertidales et les étendues de mangroves (voirCarte 8, Carte **9**).
Ce grignotage des zones maritimes se fait par remblaiement progressif de parcelles et de fondations de nouvelles maisons. Les allées ou voies entre les maisons sont parfois comblées et remblayées bien après l'arrivée des maisons.
En l'absence de gestion de ce territoire maritime, on en arrive à une progression des nouvelles habitations pratiquement en mer.

Les quartiers progressent donc dans des zones de plus en plus basses et soumises à l'influence des marées, des tempêtes des inondations.

Photos 21La Photos 21 : zone maritime en cours de remblaiement par apparition ponctuelle de maisons sur le rivage du quartier de Petite Anse (photo Rose-May GUIGNARD, CIAT).a été prise le 11 décembre 2014, soit 5 semaines après les inondations de début novembre où l'on voit les zones en cours de colonisations sont encore submergées. **Ces habitations sont établies dans une zone de nature maritime, sans remblais approprié. Il s'agit d'une zone estuarienne en évolution constante sous l'effet des apports par les inondations, des courants marins, des tempêtes.**
Ces zones ne peuvent être raisonnablement aménagées sauf à y construire des remblais de grande taille. **Le niveau d'exposition tant aux aléas d'origine maritimes que fluviaux, impose d'interdire et détruire les habitations présentes dans cette zone.**



Photos 21 : zone maritime en cours de remblaiement par apparition ponctuelle de maisons sur le rivage du quartier de Petite Anse (photo Rose-May GUIGNARD, CIAT).

10. **Débordement de fossés et canaux anciens peu ou pas entretenus**

La plaine située au sud et à l'Est du Cap haïtien est une plaine agricole exploitée depuis très longtemps. L'imagerie aérienne de 1978 permet de localiser de nombreux canaux d'irrigations de petites tailles, relayant parfois des portions de cours d'eau naturels ou installés dans leurs lits majeurs. Des portions de ces canaux sont encore visibles sur le terrain. Certains sont encore actifs ou ont été modifiés et d'autres ont pratiquement disparus, nivelés par l'érosion et enfouis sous la végétation, interrompus par des constructions, des murs, des routes récentes. Des illustrations seront présentées plus loin.

Il existe donc des portions de réseau de drainage anciens, non localisés et souvent enfouis et difficilement repérables sous une importante végétation, dont il n'est pas possible de dresser une carte mais qui cependant drainent encore localement les écoulements en période de crue.

Ces portions de canaux jouent encore un rôle de drainage en période de crue qu'il n'est pas possible de déterminer actuellement.

L'imagerie satellitaire montre des traces de ces canaux qui drainaient et canalisaient des écoulements natures et zones humides allant du Sud-est vers le nord-est.

Ces portions de canaux anciens peuvent déverser des eaux venant de l'amont de la plaine (en gros du sud-est vers le Nord-ouest, voir Carte 29).

Le MTPTC (ou la mairie) a aménagé certains nouveaux canaux dans le prolongement de ces anciennes portions (Photos 22) sur des zones en cours d'urbanisation. Néanmoins, si les canaux paraissent adaptés à un drainage, les ouvrages de passage sous la voirie semblent souvent de faible section et propices à des bouchages ou des embâcles et donc des débordements.



Photos 22 : ancien canal non entretenu (droite) relayé par un nouveau canal (gauche) à l'ouest du bout de la piste de l'aéroport.

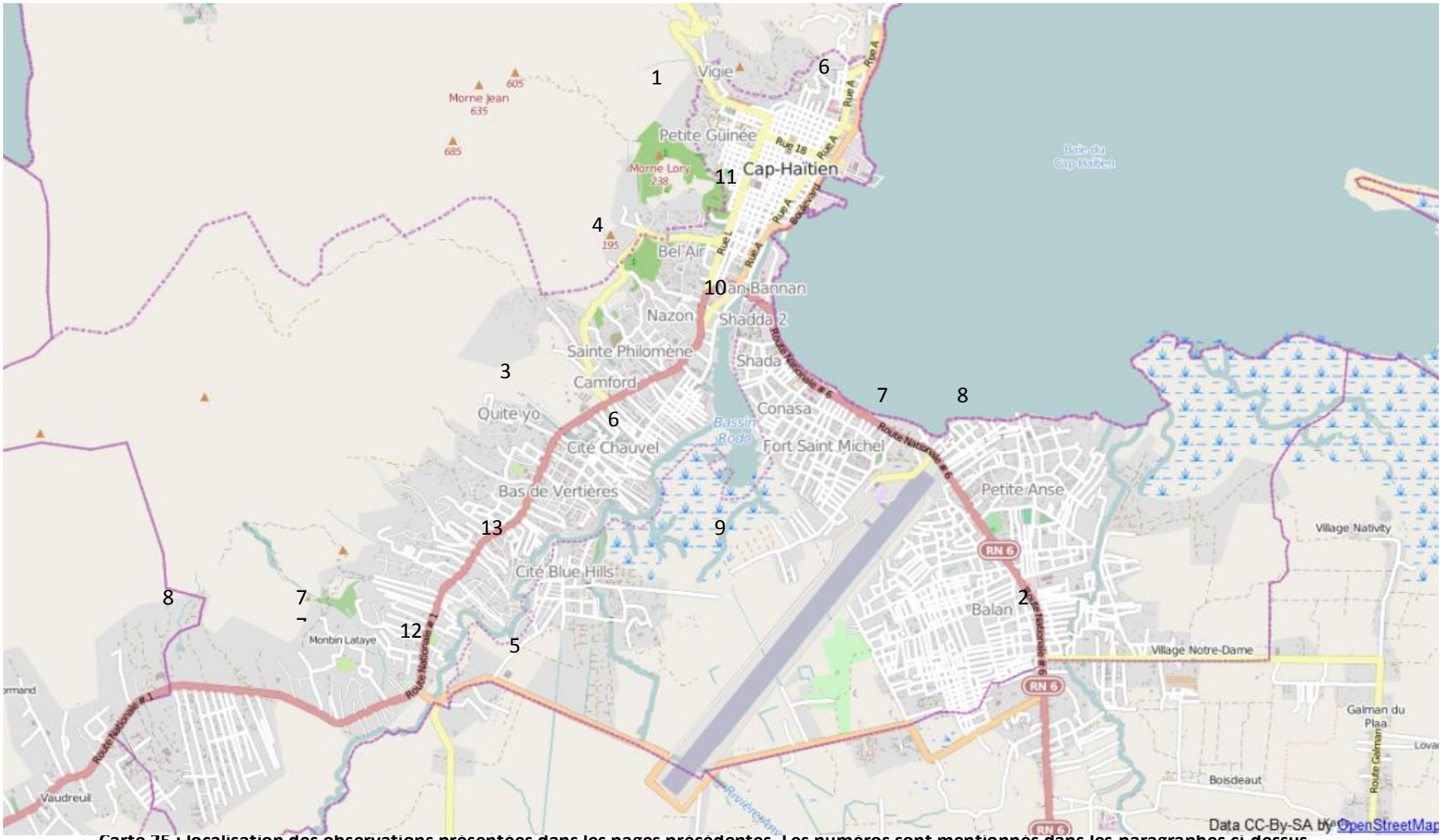
11. Travaux de renforcement ou de profilage inadaptés

Au nord de la ville part une route qui longe le littoral marqué par des pentes abruptes. La première plage après la fin de la route goudronnée est totalement occupée par des habitations et aucun exutoire ne passe pour évacuer les eaux de la ravine située en amont (Photos 23).
Cette ravine donne de nombreuses coulées boueuses et a fait l'objet d'un programme de reprofilage et de renforcement par une ONG dont la nature est aberrante. Des sacs de graviers ont été installés par paliers pour limiter l'érosion du lit et ralentir la vitesse d'écoulement. Ces sacs sont très fragiles et ne résistent que très peu de temps au passage de crues (estimé à 3 mois par les riverains). Une fois crevés, ils se répandent, recouvrent le lit, les matériaux descendent progressivement vers l'aval en alimentant un débit solide encore plus érosif pour les sols. **Cette pratique finit par avoir au bout de quelques mois l'effet inverse de celui attendu, en aggravant le remaniement du fond de la ravine et en le rehaussant. Elle ne devrait pas être employée dans un contexte de ravine pentue et courte de ce type.**

Plus bas sur cette même ravine, les écoulements empruntent une piste et traversent une propriété privée avant d'atteindre la piste côtière et de traverser la rangée de maisons par les escaliers pour finir en mer.



Photos 23 : localisation du site de ravine renforcé avec des sacs de gravier.



Carte 25 : localisation des observations presentees dans les pages precedentes. Les numeros sont mentionnés dans les paragraphes ci-dessus.

ANNEXE 8 : CARTOGRAPHIE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE ET DU RISQUE INONDATION ET DE SUBMERSION MARINE AU CAP HAÏTIEN.

11.7.3 Analyse hydrogéomorphologique

Elle a été réalisée à partir d'un jeu de photographies aériennes de 1978 fournies par le CNIGS (voir Carte 26). L'analyse stéréoscopique et la faible extension de la zone urbanisée de l'époque ont permis d'identifier les principaux domaines géomorphologiques avant l'urbanisation.

L'exploitation des photos aériennes de 1978 a été complétée par l'analyse des modèles numériques de terrain disponibles (SRTM, LIDAR 2014), de fichiers vectoriels fournis par le CNIGS, des observations de terrain ainsi que d'imagerie récente sur Google Earth.

La typologie d'occupation du sol retenue est identique à celle déjà employée avec le CNIGS depuis 2009 sur d'autres villes du pays. L'analyse n'a cependant pas été poussée aussi loin pour les ouvrages hydrauliques car aucune photographie aérienne stéréoscopique récente n'était disponible, et la zone urbaine, très étendue ne permettait pas une visite extensive des centaines d'ouvrages existants. La ville et le MTPTC n'ont pas été sollicités pour fournir des bases de données sur les ouvrages car ils n'en disposent pas.

Cette première interprétation indique que la zone du Cap est dominée par 3 grands domaines :

1. un domaine de mornes à pentes fortes (Socle).
2. un domaine de piémont et glacis ou colluvions, sur lequel est établie la ville en 1978 (CA, CD).
3. un domaine de fluvial, de zones humide ou de plaine inondable vers l'Est, pratiquement inhabité en 1978 (tous les autres postes de légende).

La ville de 1978 est pratiquement uniquement établie sur la zone de colluvion en pente douce au pied des mornes, traversée par quelques chenaux de ravines.
Les profils verticaux de la Figure 10 mettent en évidence les zones à pentes faibles des colluvions en pied de mornes sur lesquels se sont établies prioritairement les zones habitées.

Hors des zones humides, des lits de rivière, on observe de très nombreux canaux ou petits cours d'eau se relayant dans une trame complexe et non cartographiable sur l'imagerie. De nombreuses dépressions, lacs, marécages, zones humides plus ou moins en permanence, des chenaux anciens, sont aussi visibles de part et d'autres des zones de chenaux actuels ou apparence actifs dans la plaine.
On considère donc que l'ensemble de la plaine est une zone inondable. L'analyse des enquêtes de terrain qui suit permettra de mieux identifier le niveau et le type de submersion.

Cette plaine a été progressivement colonisée par l'activité agricole qui s'accommodait de la présence de nombreux méandres ou écoulements temporaires de rivière, de lagunes et marécages, débordant en saison pluvieuse, grâce au réseau de canaux et la limitation des zones habitées aux points hauts ou remblayés peu ou pas inondables, encore visibles en 1978 sur les photographies aériennes.

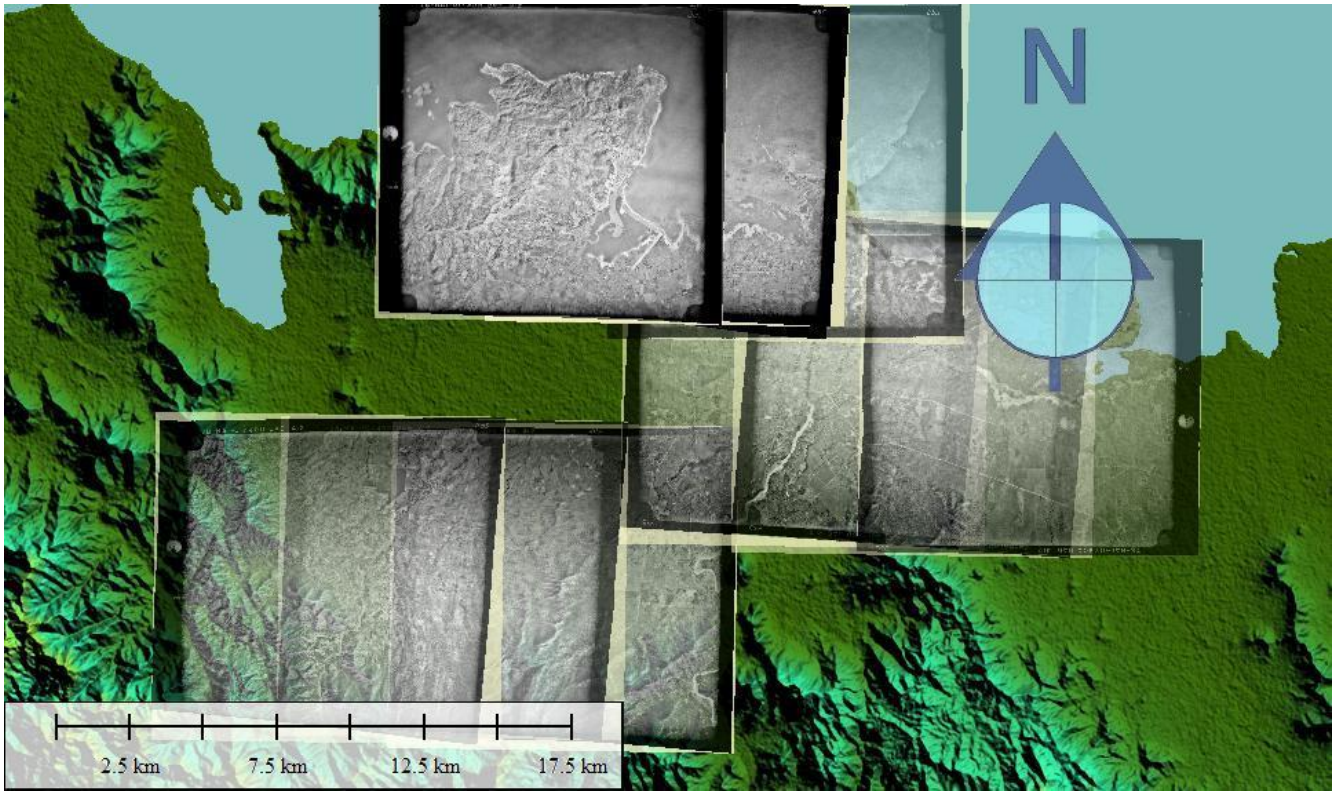
Cet ancien réseau est en grande partie abandonné et la ville gagne à grande vitesse sur ces zones humides et agricoles, seules terres vierges constructibles rapidement avec ou sans remblais.

La plaine est délimitée vers l'ouest par la rivière du Haut du Cap qui s'écoule au pied des colluvions des pentes de mornes. Vers l'est de la rivière, toutes les altitudes sont entre 0 et 5 m du rivage jusqu'au sud de la piste d'atterrissage de l'aéroport à 3 km de la mer (Figure 10). Les pentes sont très faibles et les écoulements donc lents.

Les postes de légende suivants ont été utilisés pour la carte de la Carte 27.

Tableau 15 : légende de la carte d'analyse hydrogéomorphologique du Cap haïtien (Carte 27)

LMI	Lit mineur
LMM	Lit moyen ou lit majeur
PEC	Plaine alluviale récente ou plaine d'épandage de crue
CHI	Chenal d'écoulement intermittent
CD	Colluvions récents, cônes de déjection actifs, glacis récent
CA	Colluvions ou glacis anciens
PAA	Plaine alluviale ancienne
Socle	Socle ou substratum rocheux
RIV	Zone humide côtière (zone intertidale, mangrove, plages, salines)
PH	Plaine humide
LA	Plans d'eau ou lacs (artificiels ou naturels)
RB	Remblais artificiels
CL	Cordon dunaire ou littoral, plages



Carte 26 : photographie aériennes de 1978 fournies par le CNIGS utilisées pour l'analyse hydrogéomorphologique. Cette carte d'assemblage n'apporte rien à l'exposé, à mettre en annexe pour la traçabilité

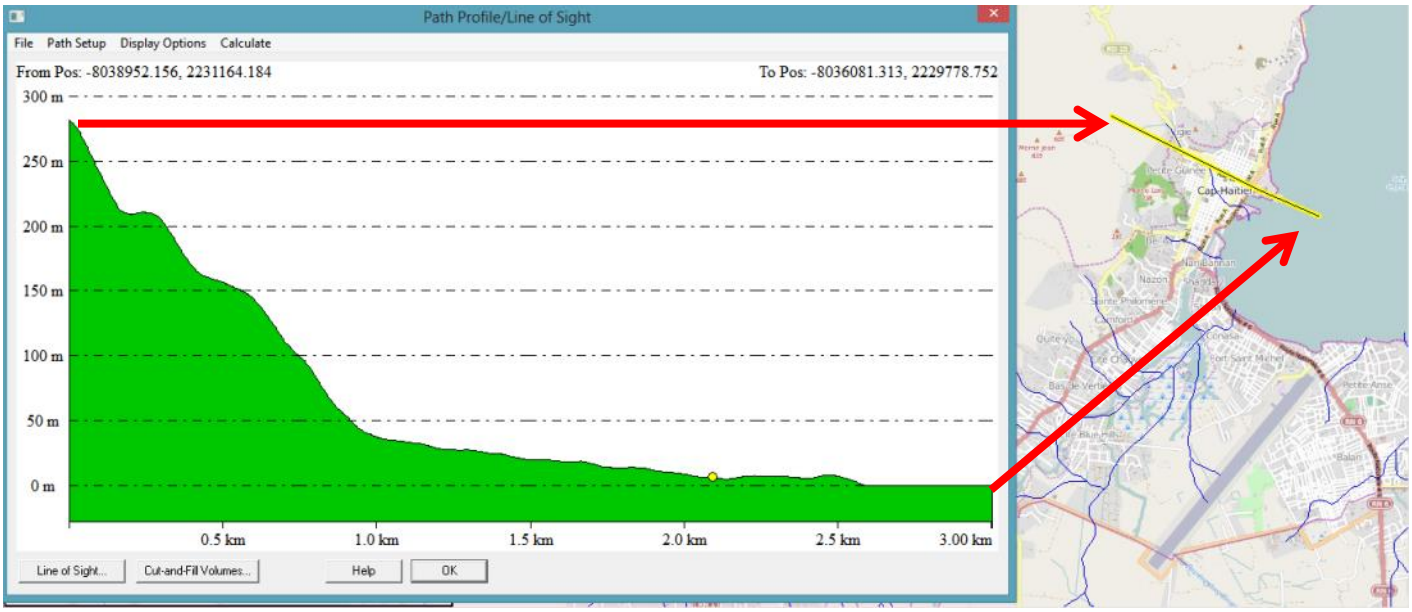


Figure 9 : profil topographique Ouest-Est à travers la ville (altitudes à partir du MNT lidar)

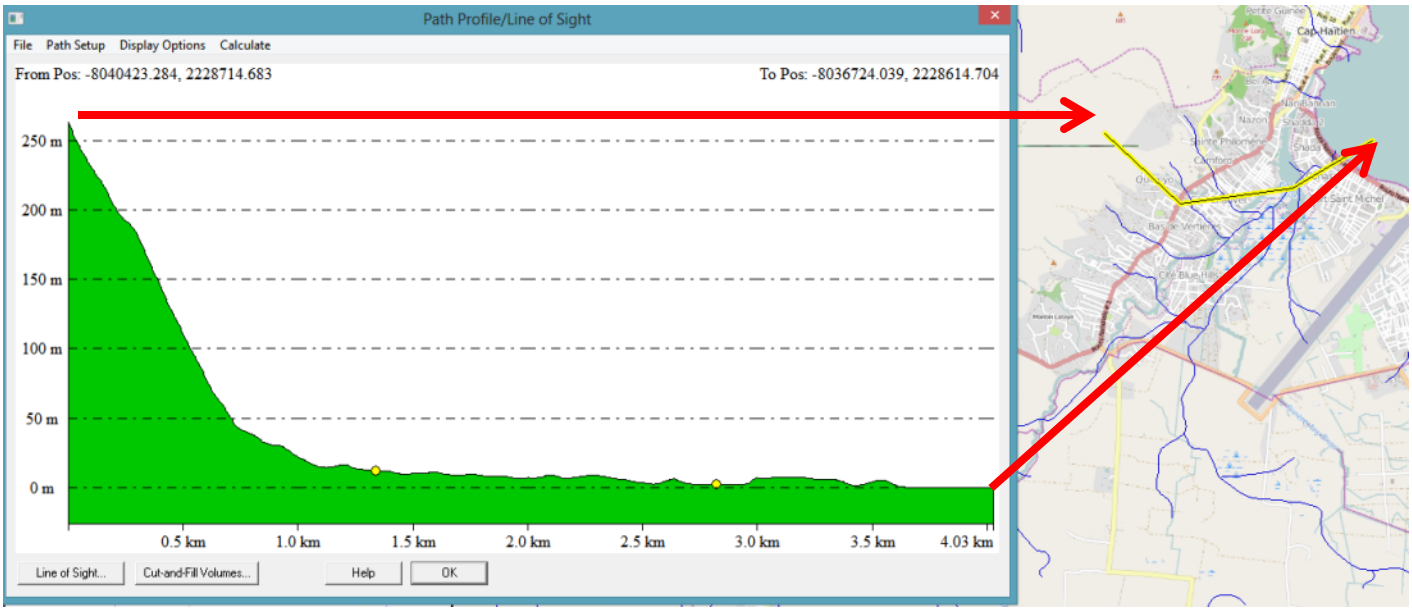
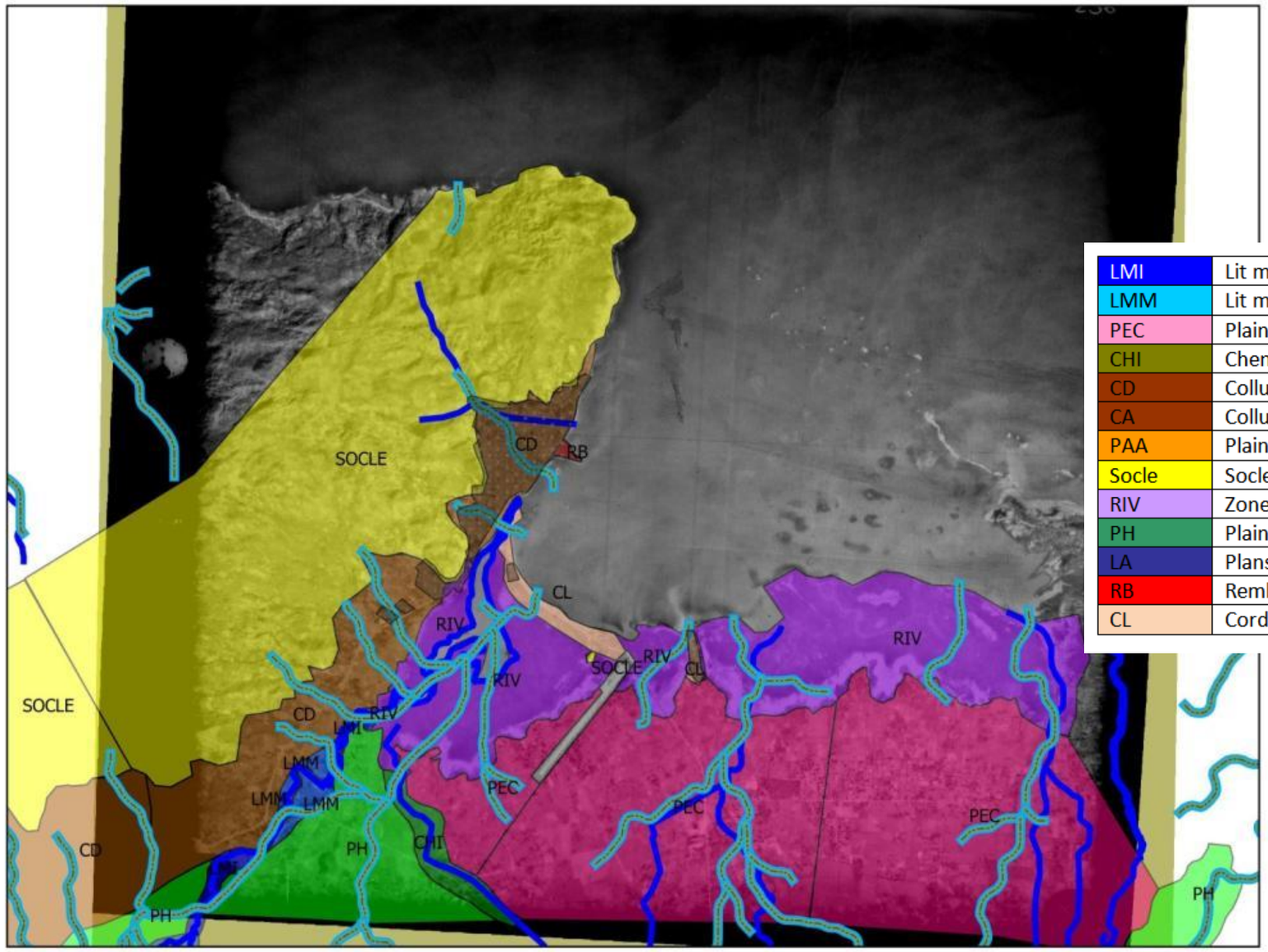


Figure 10 : profils topographiques Ouest-est à travers la ville (altitudes à partir du MNT lidar).



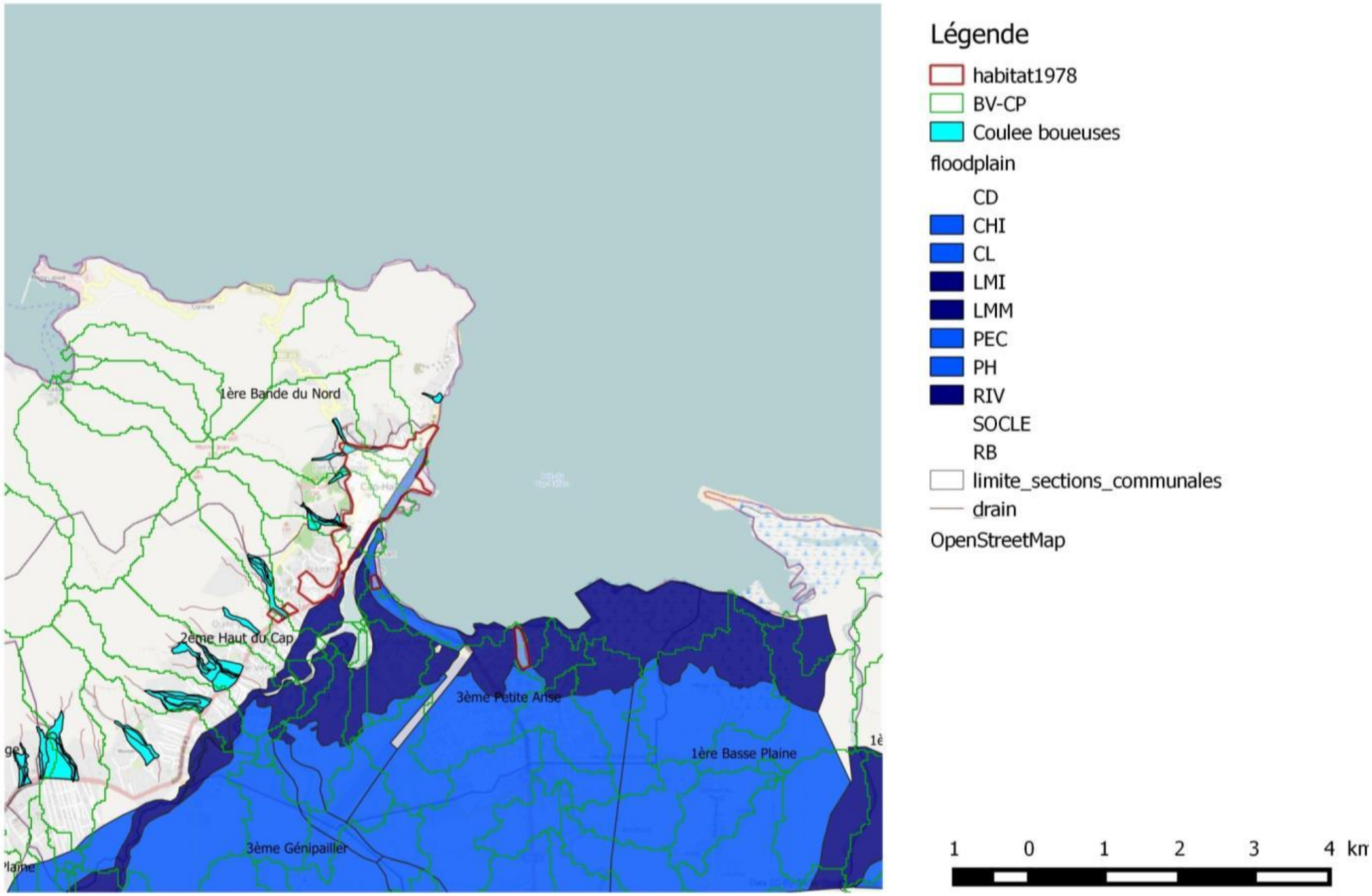
Légende

habitat1978
drainage-CP
hydrography
géormorphoCP1978

LMI	Lit mineur
LMM	Lit moyen ou lit majeur
PEC	Plaine alluviale récente ou plaine d'épandage de crue
CHI	Chenal d'écoulement intermittent
CD	Colluvions récents, cônes de déjection actifs, glacis récent
CA	Colluvions ou glacis anciens
PAA	Plaine alluviale ancienne
Socle	Socle ou substratum rocheux
RIV	Zone humide côtière (zone intertidale, mangrove, plages, salines)
PH	Plaine humide
LA	Plans d'eau ou lacs (artificiels ou naturels)
RB	Remblais artificiels
CL	Cordon dunaire ou littoral, plages

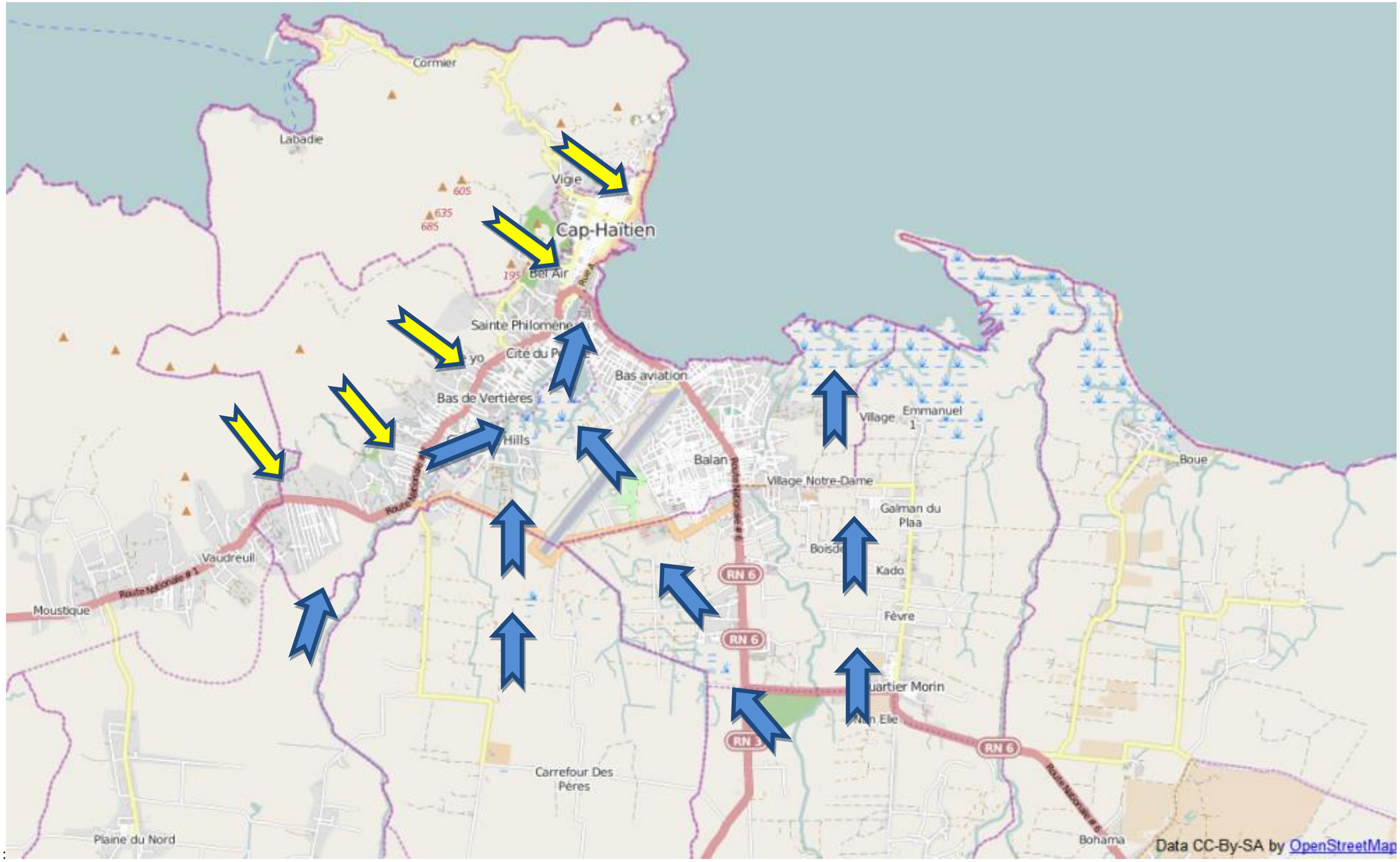
Carte 27 : interprétation hydrogéomorphologique de la zone du Cap Haïtien.

D'après photographies aériennes stéréoscopiques de 1978. Deux drainages ont été superposés : le drainage fournis par le CNIGS en bleu foncé, et le drainage extrait à partir du MNT SRTM.



Carte 28 : distribution des zones urbanisées de 1978 relativement aux zones de plaine inondables.

En bleu foncé les zones naturellement humides, en bleu plus clair les zones inondables par crue ou submersion marine) et aux petits bassins versants des morne (en vert, ne pas en tenir compte dans la plaine). En bleu ciel, les zones exposées au risque de coulées boueuses (source : microzonage sismique du Cap Haïtien (Réf. 7)



Carte 29 : sens de drainage général des eaux dans les environs du Cap haïtien.

11.7.4 Légende la carte hydrogéomorphologique

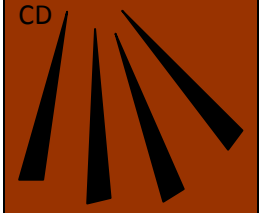
Les thèmes de la carte hydrogéomorphologique sont décrits dans les tableaux qui suivent.

Cette légende n'a été que très légèrement modifiée par rapports aux travaux de 2009 avec l'introduction d'un ou deux poste de légende pour les cordons de plages ou de dunes littoraux et les zones de remblais artificiels.

Eléments surfaciques

Ils sont identiques à ceux élaborés pour les Gonaïves. Les valeurs numériques en colonne de gauche correspondent à un code propre à chaque thème dans la base de données SIG.

Code 4 LMI	Lit mineur	Lit mineur actif. Le cours d'eau peut y être très réduit en saison sèche. En saison humide, le débit peut transiter sur toute la largeur et sur différents chenaux à l'intérieur de ce lit.
Code 8 LMM	Lit moyen ou lit majeur	Ce lit est généralement en terrasses surélevées et séparées du lit mineur par des escarpements plus ou moins marqués. Ce lit se différencie par la présence de cultures et d'habitations rares ou isolées. Des haies d'arbres longent souvent le lit mineur. On distingue en général un lit majeur en plus du lit mineur. Ce lit majeur atteint le pied des zones de relief ou s'arrête sur des cônes détritiques au pied des talwegs entaillant les versants.
Code 7 PEC	Plaine alluviale récente ou plaine d'épandage de crue	Cette unité est typique du régime hydrologique haïtien qui présente de très fortes variations de débit. Elle correspond à des plaines alluviales en cours de formation, recevant annuellement d'importante quantité de sédiments lors des crues mais fonctionnant de manière intermittente. Elles peuvent être complètement sèches en période sèche avec un écoulement permanent limité à un fin lit mineur voire aucun écoulement en surface. Ainsi certains cours d'eau pérennes en zone montagneuse avec une vallée marquée se perdent et s'assèchent dans de telles plaines. L'écoulement et la dispersion des dépôts sédimentaires peuvent reprendre un cheminement et une position différente d'une année sur l'autre selon l'intensité des crues et les remodelages des années précédentes. On peut trouver de telles surfaces alluviales dans le prolongement des terrasses ou des lits mineurs et moyens.

Code 9 CHI	Chenal d'écoulement intermittent	Il s'agit de chenaux d'écoulements préférentiels intermittents, secs la plupart du temps mais pouvant canaliser des écoulements en période de crue avec des courants et des hauteurs d'eau importants.
code 5 CD 	Colluvions récents, cônes de déjection actifs, glacis récent	Ces formations sont situées aux débouchés des talwegs ou des petits bassins perchés sur les flancs de montagne dans les formations géologiques en place. Ils remontent parfois assez haut sur le flanc des montagnes et présentent des pentes fortes. L'ensemble de la surface de ces cônes peut être le lieu de ruissellement, de coulées de boues et de blocs localisés dans des gouttières ou sur l'ensemble de la formation
Code 6 CA	Colluvions ou glacis anciens	Des glacis de pente faible sont parfois entaillés d'un réseau fin de talwegs ou par des talwegs profonds ou de grand chenaux d'écoulement intermittents.
Code 3 PAA	Plaine alluviale ancienne	Unité de plaine alluviale. Ces plaines sont inondables uniquement pendant les évènements cycloniques extrêmes. Elles peuvent être atteintes par les débordements sur l'ensemble de leur largeur pendant les crues exceptionnelles comme celles de 2008. elles sont affectées par l'érosion et les atterrissements près du lit mineur dans la plaine des Gonaïves ou ne se distingue plus de lit moyen ou de lit majeur. Longitudinalement, le lit majeur de la rivière peut passer en plaine alluviale large là ou disparaissent les escarpements et différences de niveau entre les éléments morphologiques.
Code 1 Socle	Socle ou substratum rocheux	Il s'agit des formations géologiques principales du substratum rocheux hors des lits majeurs des cours d'eau. Elles n'ont pas été différenciées. Ces formations sont à l'origine de ruissellement, de coulées de boues ou de blocs, de glissements de terrain affectant les bords des. L'urbanisation gagne parfois ces zones pentues mais protégées des crues ou leur piémont formé de cônes détritiques au débouché des ravines. Ces unités du substratum rocheux n'ont pas été différenciées et ne sont pas propices au risque d'inondation sauf le long des ravines ou des talwegs qui les entaillent.
Code 2 RIV	Zone humide côtière (zone intertidale, mangrove, plages, salines)	Rivages et littoraux occupés par des mangroves, des salines, des estuaires, plages et zone intertidales. elles fréquemment submersibles par la mer lors des cyclones ou par les ondes de crue provenant des plaines alluviales. Il 'agit de la zone d'interface entre les écoulements des crues et la mer.
Code 11 PH	Plaine humide	Basse plaine littorale, plaine humide à activité rizicole, zone à nappe phréatique superficielle ou subaffleurante. Ces plaines

		sont parfois rizicoles ou occupées par des salines selon le degré d'envahissement par la mer.
Code 10 LA	Plans d'eau ou lacs (artificiels ou naturels)	Lac pérenne ou non pérenne, de niveau variable, comprend notamment la Savane à Jonc.
Code13 RB	Remblais artificiels	Zones remblayés pour l'habitation, les activités, l'agriculture sur zones maritime, lacustre ou fluviales.
Code 12 CL	Cordon dunaire ou littoral, plages	Zone littorale de plage cordon dunaire,

ANNEXE 9 : ENQUÊTE DE TERRAIN

11.7.5 Objectifs

La production de la carte d'aléa inondation passe par une analyse croisée de sources multiples, les deux principales étant l'interprétation hydrogéomorphologique (HGM) et l'enquête de terrain.

En l'absence de mesures, de jaugeages, d'observations quantifiées sur les phénomènes inondations au Cap Haïtien, une enquête élargie auprès des résidents de communes et communautés, des riverains des cours d'eau qui débordent est entreprise afin de caractériser du mieux possible le ou les phénomènes inondations qui surviennent. Elle est réalisée simultanément avec la campagne de terrain pour confirmer l'interprétation HGM.

On tente dans la mesure du possible de recueillir les caractéristiques de l'évènement le plus fort récemment enregistré mais sans pour autant pouvoir nécessairement le corréler à des valeurs caractéristiques hydrologiques ou hydrauliques précises. Dans certains cas, c'est la fréquence forte des inondations qui sera la plus marquante et dans d'autres l'évènement décrit peut être simplement le dernier sans qu'il s'agisse du plus fort connu sur les dernières années.
De plus, les influences anthropiques créent localement des pointes d'intensité du phénomène qui ne traduisent qu'un accroissement local du niveau de danger et pas un marqueur de l'intensité globale du phénomène.
L'approche est donc semi quantitative et permet de produire une carte hydride qui n'est pas une carte d'aléa maximale, bien qu'on tente de s'en approcher.

Les valeurs, paramètres, description collectés concernent :

- localisation exacte (point GPS)
- le type de crue
- leur fréquence
- la durée de submersion
- la hauteur de submersion maximale
- le niveau de dommage aux enjeux
- description des dégâts physiques, des victimes
- la localisation du lieu d'interview relativement au cours d'eau qui a débordé.
- la présence d'ouvrages hydrauliques à proximité et les dommages éventuels qu'ils ont subis.

Le principal paramètre recherché est la hauteur de submersion maximale connue dans un endroit donné.
D'autres paramètres sont également collectés, en relation avec le nombre de victimes, le niveau d'intensité des dégâts et la nature des dommages, la vulnérabilité du bâti. Ces éléments relatifs aux enjeux sont exploités dans un second temps pour traduire la carte d'aléa en carte de danger.

On a procédé par interview à l'aide d'un questionnaire développé depuis 2009 avec le CNIGS, adapté et amélioré au fur et à mesure des expériences acquises.
Les résultats d'enquête sont codés dans une base de données SIG pour y être exploités.

11.7.6 Déroulement de l'enquête et difficultés de mise en œuvre : qualité et biais sur les réponses, résultats

Mise en œuvre de l'enquête

L'enquête a été réalisée par le CNIGS avec l'appui d'enquêteurs recrutés au Cap. Une douzaine d'enquêteurs ont formé 4 équipes qui ont été réparties sur le terrain après 2 jours de formation sur le terrain. L'enquête s'est prolongée sur une dizaine de jours. Près de 400 points ont ainsi été levés.
Les fiches papiers ont été saisies informatiquement sur Excel puis géocodées au format Shapefile pour ArcGis afin de former une base de données exploitée sous QGIS.
Un contrôle qualité par échantillonnage ou systématique a été pratiqué afin d'isoler les résultats douteux, visiblement faux ou incohérents et inexploitables.
Environ 80% des relevés contenaient des données exploitables, formant au total de l'ordre de 300 points fiables par critère ou paramètre. Les données exploitables ne sont pas toujours les mêmes sur chaque fiche, ce qui réduit un peu la quantité réelle de points traités.

Apport et limites de l'étude

Les premiers jours d'enquêtes ont révélé certaines contraintes ou biais qui ont rapidement été corrigés :

- Propos des riverains faussés par le fait même de l'enquête sur le thème de l'inondation qui peut inquiéter un riverain et le pousser à nier l'inondabilité de sa propriété ou à la minimiser, par crainte d'une expropriation.
- Report faussés par inexpériences des enquêteurs ou explications mauvaises ou confuses des riverains.

Après intégration sur SIG des fiches d'enquêtes, un premier niveau d'analyse sur SIG a révélé des incohérences telles que l'existence de hauteur d'inondation nulle en plaine au milieu d'autres enregistrements montrant des profondeurs d'inondation importantes (< 1 m) lors de la crue de novembre 2012. Ces valeurs ont alors été figées. Il n'en va pas de même sur le piémont des mornes et dans les ravines ou la morphologie très complexe induit des changements d'altitudes très brutaux qui peuvent mettre à l'abri une habitation d'un écoulement torrentiel à seulement 1 mètre de son lit.
Un grand nombre de fiches n'est que partiellement rempli.
La densité de points levés dans ces zones de ravines n'a fait que révéler la complexité des écoulements qui passent de zones naturelles encaissées et se diffusent parfois dans des zones construites faute d'ouvrage pour se canaliser.

Il apparait qu'un travail encore plus détaillé de cartographie sur les zones exposées devra être entrepris dans les ravines les plus étroite et raides, pour distinguer les zones exposées de celles qui ne le sont pas. Ce travail devra se faire simultanément avec l'identification des zones exposées aux instabilités de terrain et aux coulées boueuses.

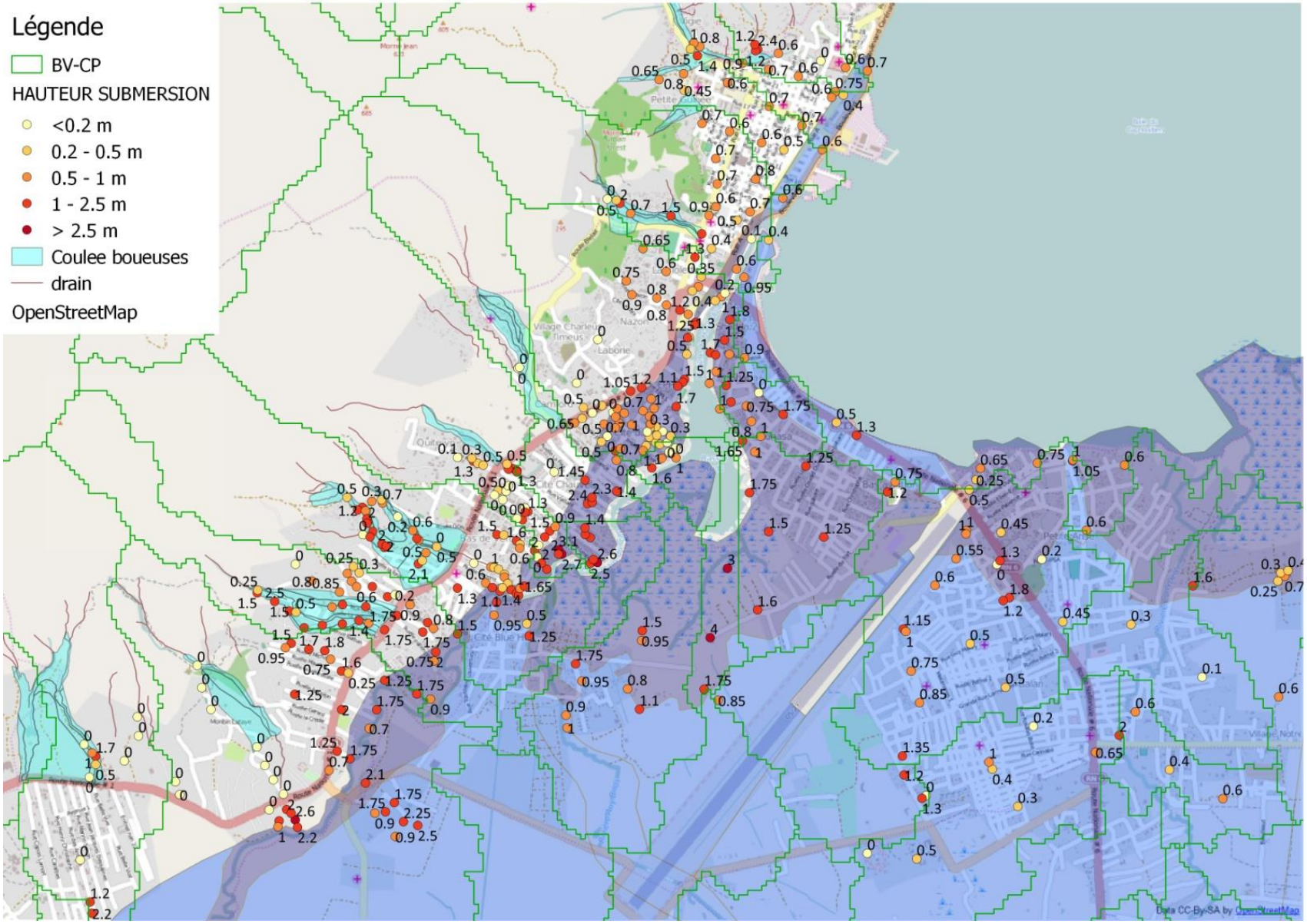
Certains secteurs manquant de points ou non visités ont fait l'objet d'un complément d'étude sur le terrain lors de la seconde mission en décembre 2014.
Il est à noter que pratiquement partout c'est l'évènement de novembre 2012 qui fait référence en termes d'intensités maximales. L'enquête a été réalisée avant la crue de novembre 2014.

11.7.7 Résultats et interprétation

La totalité des informations recueillies n'a pas été exploitée et ne le nécessitait pas forcément. Certaines des réponses trop partielles ou floues ne pourront peut-être pas être exploitées.
Les pages suivantes présentent les résultats des principaux critères exploités pour la production de la carte de danger.

Hauteurs de submersion maximale

Le principal critère de danger dans notre approche est la hauteur maximale de submersion connue sur le site, qui apparait très pertinent en zone de plaine mais l'est moins sur le piémont des mornes ou dans les ravines où la hauteur de submersion varie longitudinalement et latéralement très vite. La vitesse d'écoulement, aussi pertinente que la hauteur de submersion dans le domaine soumis aux écoulements des ravines, n'est pas récupérable via le processus d'enquête auprès des riverains. Les points exploités sont représentés à la Carte 30.
On observe peu ou pas de zone avec danger extrême correspondant à plus 2,5 m de submersion comme cela est parfois observé aux Gonaïves.

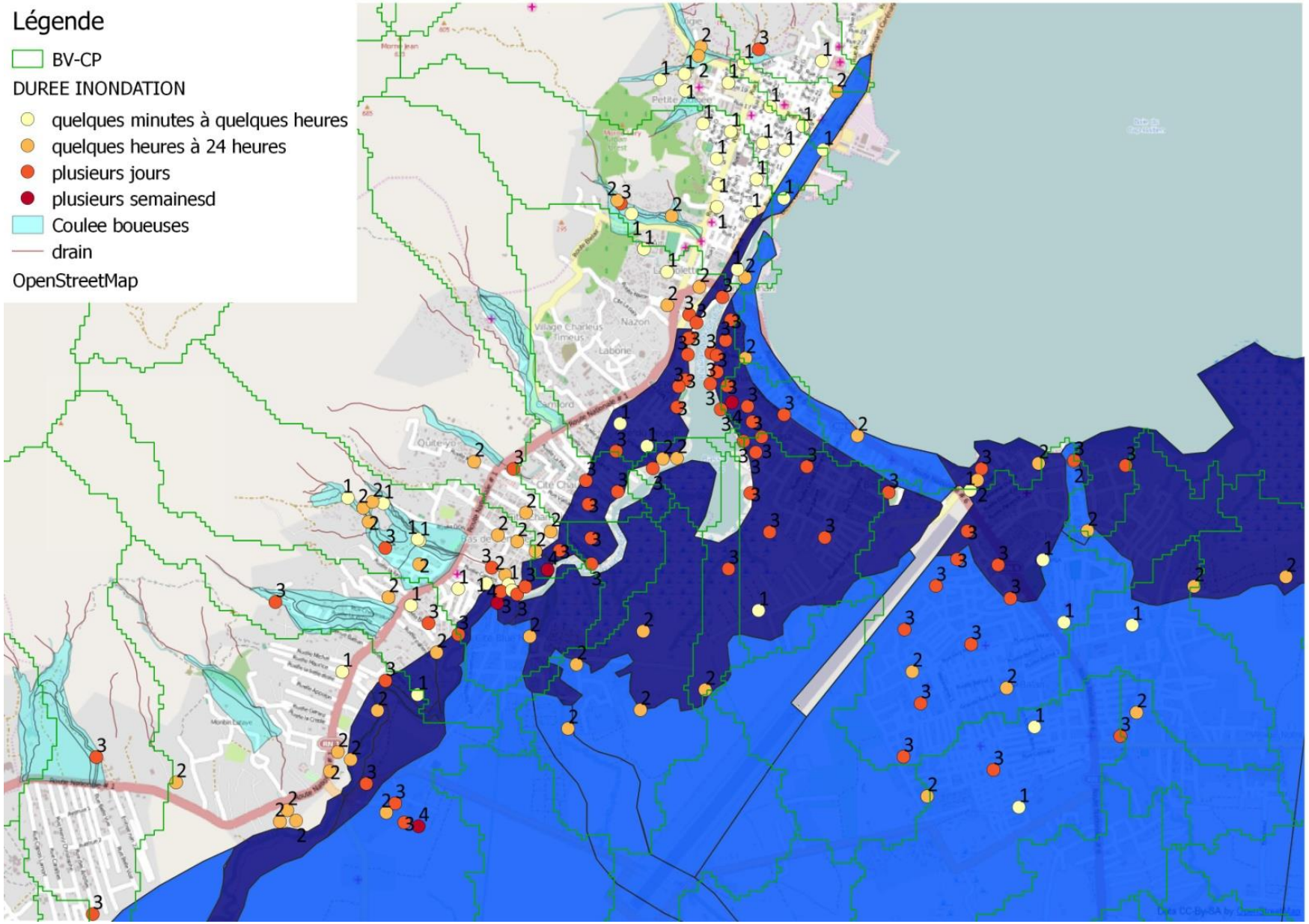


Carte 30: mesure de hauteurs de submersion maximale (environ 150 points exploitable) sur fond OSM + zone à risques mouvements de terrain et coulées boueuses (en bleu clair, source BRGM) et zonage de plaine inondables (bleu foncé et violet).

11.7.8 Durée de submersion

La durée de submersion maximale est représentée à la Carte 23.

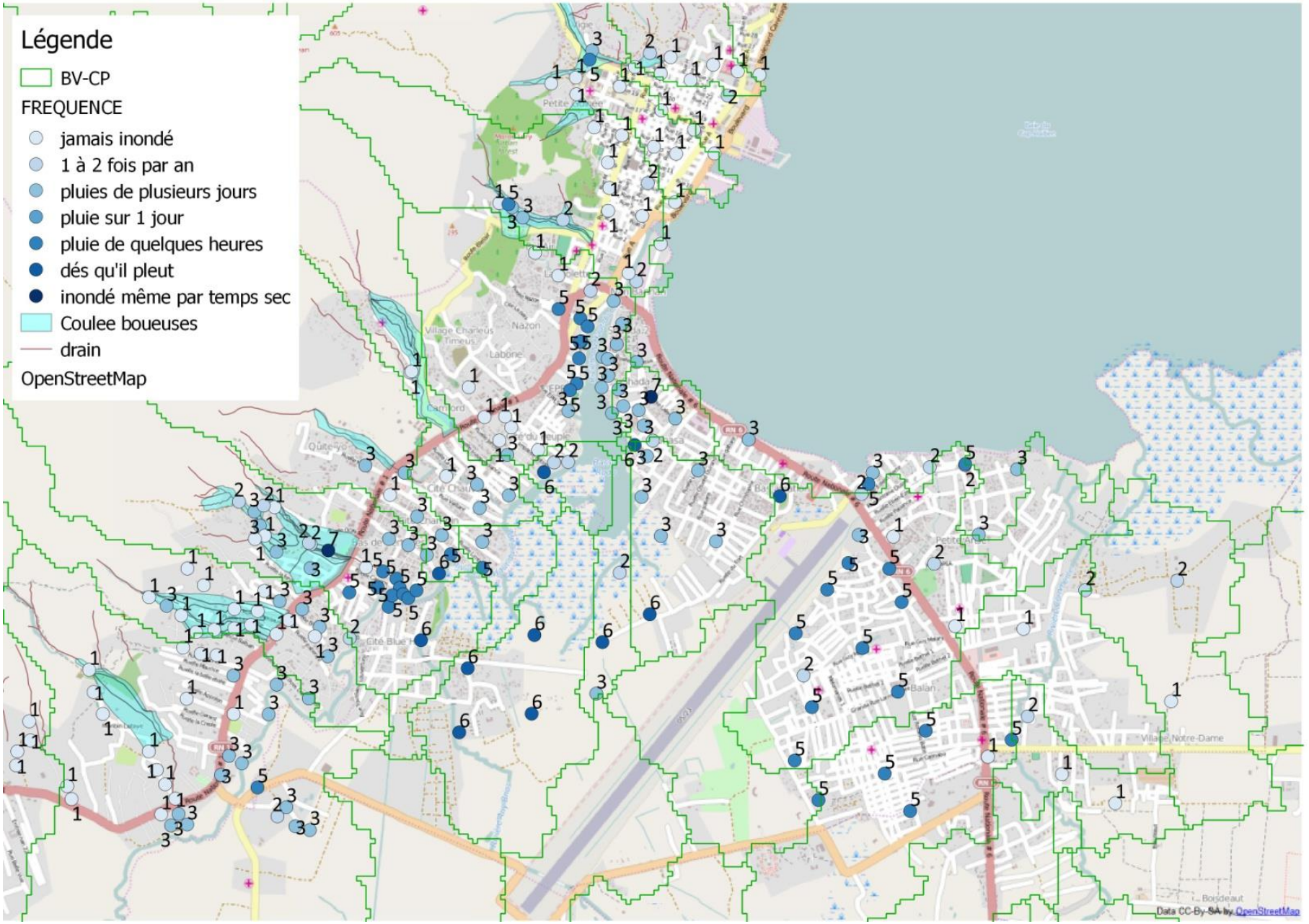
Conformément aux descriptions diverses étudiées, les pics pluviométriques n'engendrent des écoulements torrentiels dans les ravines ou aux pieds des mornes que pendant quelques minutes quelques heures selon la durée de l'épisode pluvieux.
En revanche dans les plaines inondables et à proximité de la rivière du haut-de-Cap, la submersion et la stagnation peuvent durer plusieurs jours à plusieurs semaines.



Carte 31: distribution des points de mesure pour la durée de submersion.

11.7.9 Fréquence d'inondation

La fréquence d'inondation représentée à la Carte 32 traduit bien le caractère inondable de la plaine et des zones basses qui sont fréquemment inondées y compris à des distances élevées des cours d'eau. Certains parcours de ravines sont également indiqués comme très systématiquement inondés mais cela traduit parfois la présence au milieu d'une zone d'écoulement de l'habitation de la personne interrogée.

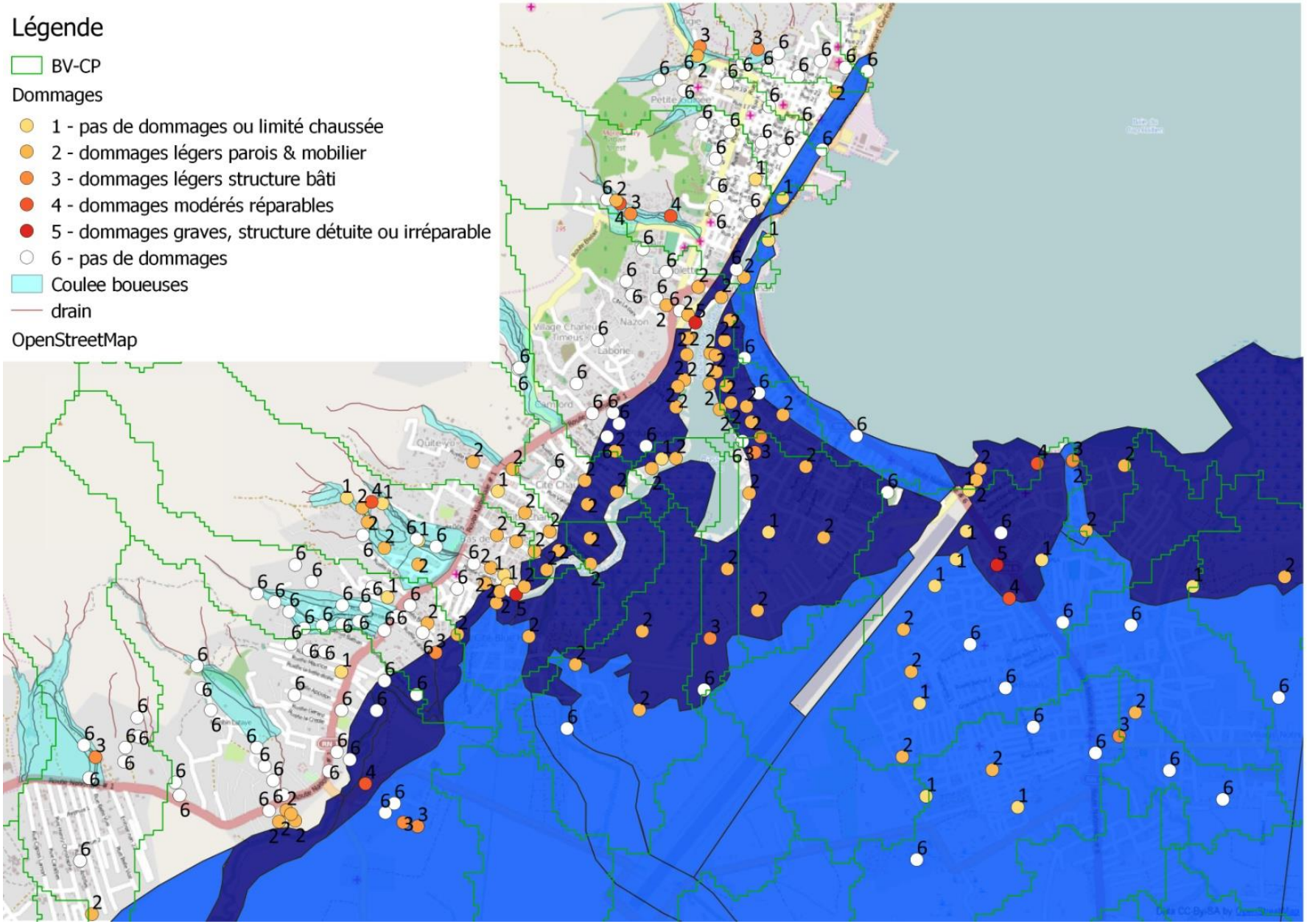


Carte 32 : point de relevés pour la durée de submersion.

11.7.10 Distribution des niveaux de dommages

Les niveaux de dommages représentés à la Carte 33 sont peu exploitables directement en l'état car ils ne tiennent pas compte des types de bâtis et de leurs vulnérabilités respectives. Ces données font partie des données collectées sur les fiches qui n'ont pas été traitées. Ce niveau d'analyse sort du cadre de la présente étude mais les données disponibles permettraient de procéder à une analyse de ce type.

On observe cependant une forte concentration de dommages légers à modérés au bâti et au mobilier dans le lit majeur de la rivière du haut-de-Cap, ce qui peut se comprendre pour la majeure partie des maisons individuelles en ossature béton et blocs.
Les dommages les plus graves sont constatés sur le bâti précaire fragile en zone de plaine et sur tout type de bâti dans le lit ou sur les berges des ravines.

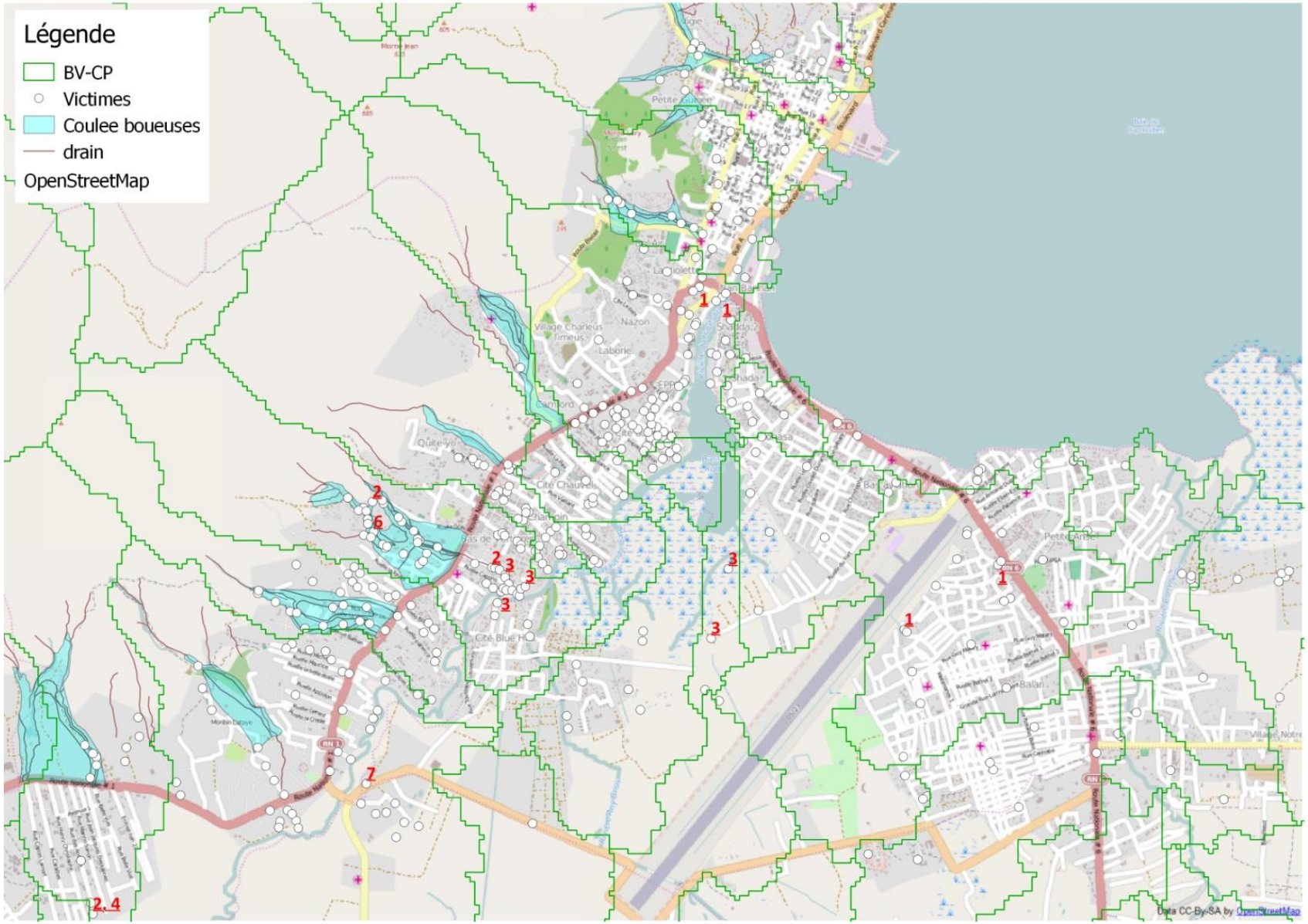


Carte 33 : distribution des niveaux de dommages sur les enjeux bâtis (essentiellement habitation individuelles de vulnérabilités variées).

11.7.11 Distribution des victimes lors de la crue de 2012.

La distribution des victimes (Carte 34) est sujette à caution car basée sur des témoignages qui peuvent être redondants et se rapporter à une même victime.
On constate que les victimes sont distribuées autant à proximité des ravines, du lit mineur de la rivière principale que dans la plaine inondable et aucune spécificité liée à la phénoménologie ne peut être déduite.

Il n'a pas été possible d'analyser des descriptions de chaque cas de victime pour l'évènement de 2012 qui permettrait d'identifier des facteurs de vulnérabilités spécifiques.
On constate néanmoins à lecture de la presse présentée en première partie que femmes, enfants et personnes âgées ou à mobilité réduite sont fortement représentés dans les totaux de victimes. Les comportements imprudents ou inconscients de jeunes qui se mettent en danger en rentrant dans les écoulements de crue sont aussi très souvent cités.



Carte 34 : distribution des points avec victimes (chiffre rouges) mentionnées durant la crue de 2012. Certaines concentrations correspondent à des doublons.

11.7.12 Exploitation

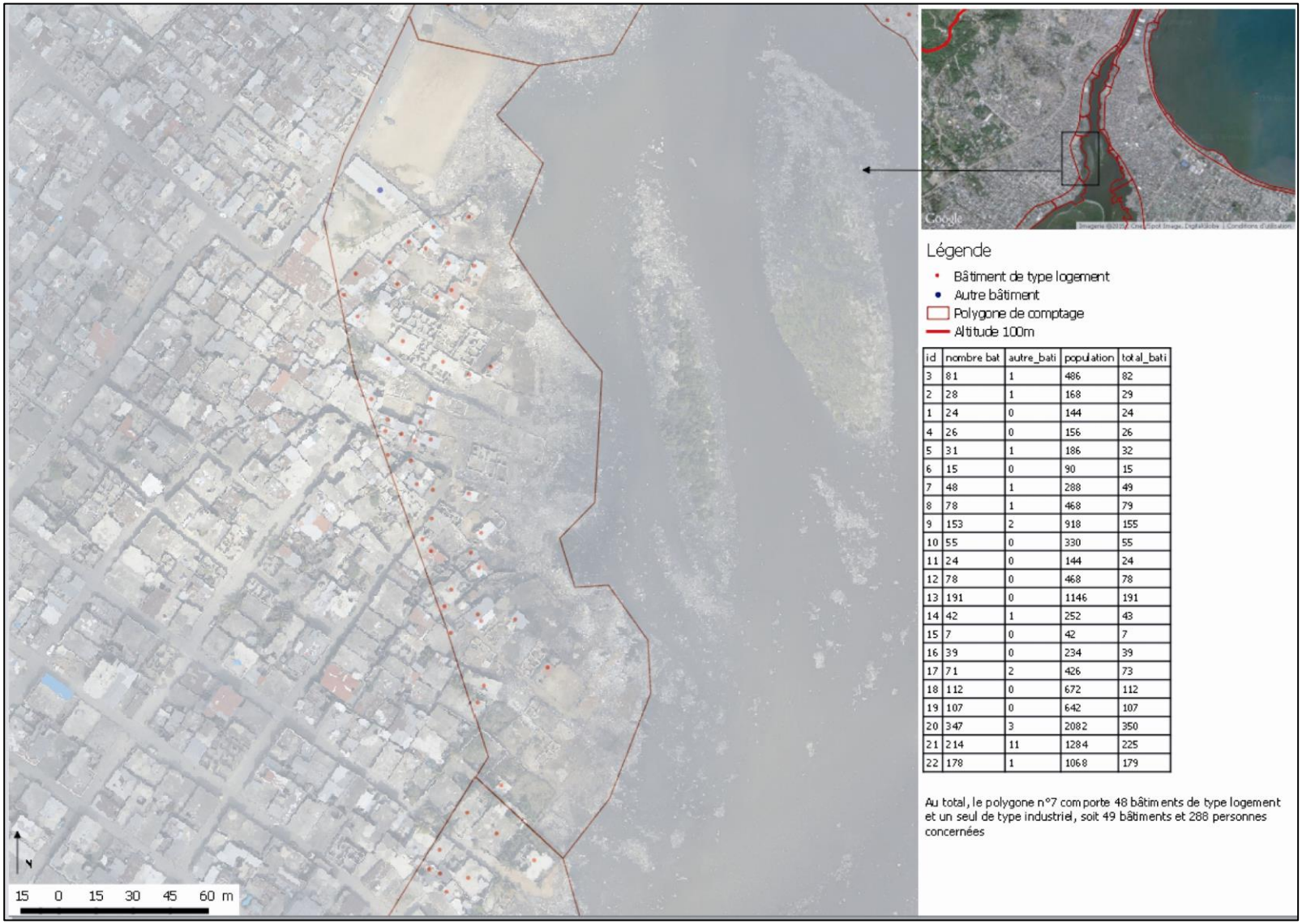
On a compris dans les paragraphes précédents que l'aléa inondation ne pouvait être considéré sur une unique base de hauteurs d'eau ou de vitesse de courant (inaccessible). Les enquêtes de terrain ont permis de collecter des informations complémentaires révélant des niveaux d'impacts et de dangers liés à certaines positions hydrogéomorphologiques.
Dans le détail, on a aussi constaté précédemment que les aménagements (ou absence d'aménagement) liés aux drainages ou aux écoulements pouvaient être des causes locales de danger à proximité de d'ouvrages bouchés, de ravinement non canalisés dans des zones aujourd'hui complètement canalisées.

Poursuivant l'approche engagée avec le CNIGS depuis 2009, la carte de danger présentée plus haut (Carte 13) est donc une synthèse des informations collectées lors des enquêtes de terrain et de l'analyse hydrogéomorphologique, supportées par le travail de terrain.
Il apparait que l'analyse reste insuffisante dans les zones de ravines au pied des mornes où la complexité géomorphologique, la densité de l'habitat nécessiterait d'autres techniques et des enquêtes plus complètes et sophistiquées pour délimiter les zones de danger à une échelle du 1/5 000 qui apparait appropriée dans les zones les plus encaissées et les plus densément habitées.

L'échelle de danger a été adaptée au contexte locale de la ville du Cap-Haïtien ont et permet maintenant pratiquement tout type de configuration présent en Haïti. Cette nouvelle échelle et la carte de danger résultante sont présentées au Tableau 5.

11.8 Annexe 10 : Méthodologie d'estimation des enjeux situés en zone non aedificandi.

Le comptage a été réalisé par photo-interprétation en comptant un par un les bâtiments visibles à l'intérieur de la zone non aedificandi. On a distingué les bâtiments d'habitation probables ou certains des édifices visiblement dédiés à des activités autres que l'habitation. Aucun contrôle de terrain n'a été effectué.
Un ratio de 6 personnes par habitation a été retenu pour estimer la population concernée.



id	nombre bat	autre_bati	population	total_bati
3	81	1	486	82
2	28	1	168	29
1	24	0	144	24
4	26	0	156	26
5	31	1	186	32
6	15	0	90	15
7	48	1	288	49
8	78	1	468	79
9	153	2	918	155
10	55	0	330	55
11	24	0	144	24
12	78	0	468	78
13	191	0	1146	191
14	42	1	252	43
15	7	0	42	7
16	39	0	234	39
17	71	2	426	73
18	112	0	672	112
19	107	0	642	107
20	347	3	2082	350
21	214	11	1284	225
22	178	1	1068	179

Au total, le polygone n°7 comporte 48 bâtiments de type logement et un seul de type industriel, soit 49 bâtiments et 288 personnes concernées

Figure 11 : détail de l'identification de chaque bâtiment à partir de l'orthophoto de 2014.