

**py « Analyse par Système d'Information Géographique (SIG) d'inondation dans la ville de Gros-Morne en aval du ba
Rivière Mancelle, Haïti»**

Auteur : Fénéant, Dieubon

Promoteur(s) : Ozer, Pierre

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master de spécialisation en gestion des risques et des catastrophes

Année académique : 2019-2020

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/10083>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

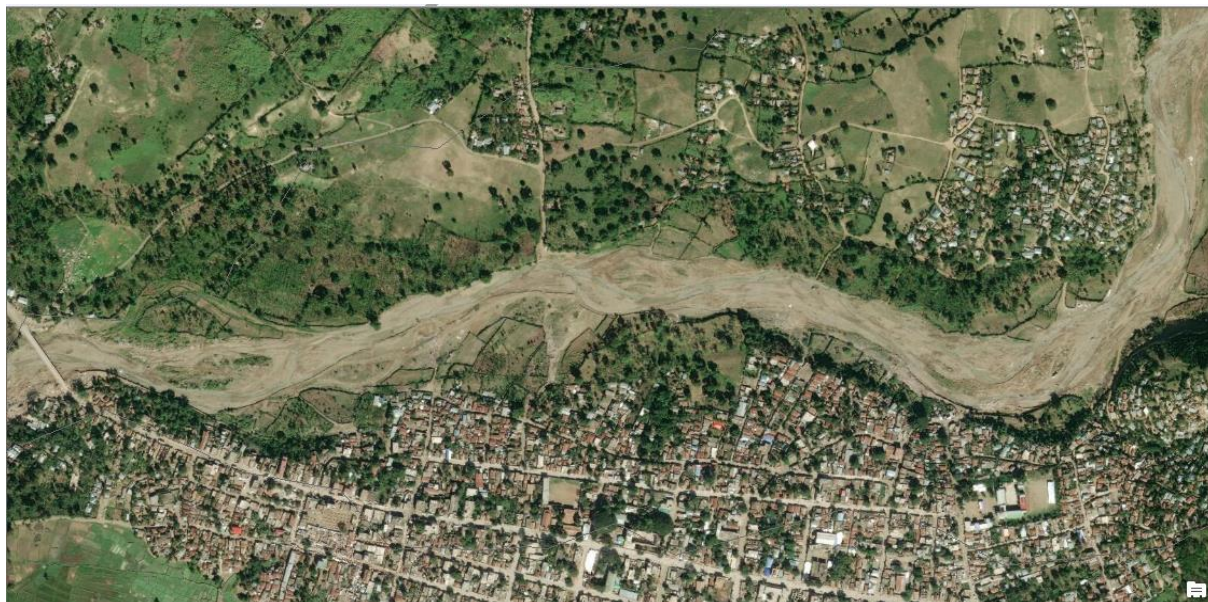
Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

ULiège - Faculté des Sciences - Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

UCLouvain - Faculté des bioingénieurs

Année académique : 2019-2020

« Analyse par Système d'Information Géographique (SIG) du risque d'inondation dans la ville de Gros-Morne en aval du bassin versant de la Rivière Mancelle, Haïti »



Rédigé par Dieubon **FÉNÉANT**

Sous la direction du Professeur Pierre **OZER**

En vue de l'obtention du diplôme de Master de Spécialisation en Gestion des Risques et des
Catastrophes

Comité de lecture :

- 1- Antoine **DENIS**
- 2- Roland **BILLEN**

© Copyright

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de l'Université de Liège et de l'Université Catholique de Louvain.

L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'Université de Liège et de l'Université Catholique de Louvain.

Le présent document n'engage que son auteur : Dieubon **FÉNÉANT**
feneantdieubon@yahoo.com

REMERCIEMENT

Si cette étude est d'une quelconque valeur, le mérite n'en revient pas à moi seul. Beaucoup de personnes, pour leur support physique, scientifique, moral et économique envers lesquelles je dois exprimer ma gratitude.

- ❖ Mes parents de n'avoir jamais failli à leur mission,
- ❖ Mon promoteur, Pierre **OZER** pour toutes ses suggestions combien importantes pour l'amélioration de ce travail.
- ❖ Mon professeur, Roland **BILLEN** d'avoir pris le soin de lire le document et de me faire parvenir ses meilleurs commentaires.
- ❖ Mes sincères remerciements à tous les autres membres du staff professoral de l'Université de Liège et de l'Université Catholique de Louvain, particulièrement ceux travaillant au sein du master de spécialisation en gestion des risques et des catastrophes.
- ❖ Toute l'équipe de l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES) pour ce programme de cours et de stages internationaux qu'elle lance tous les ans. C'est une opportunité en or, pour nous qui, venons des pays en développement, nous permettant d'acquérir de connaissance supplémentaire et d'intervenir par la suite dans les programmes de développement de nos pays respectifs.
- ❖ Monsieur Marc M. et son épouse Jeannette T. pour le chaleureux accueil qu'ils nous ont réservés ici en Belgique.
- ❖ Toute l'équipe du Programme de Mitigation des Désastres Naturels (PMDN) de m'avoir doté des différents documents qui ont rendu possible mon acceptation à ce programme. Sans aucune réserve, je dois remercier Ingénieur Nico F. H. de se soucier énormément de la réussite de mes projets.
- ❖ Tous mes camarades durant l'année académique 2019-2020, vous étiez formidables. Un remerciement spécial à tous mes frères haïtiens, en l'occurrence Miché B., Wilter E., Guerlency M. et Enrico I. pour votre convivialité.
- ❖ Tous mes camarades et amis de la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire de l'Université d'Etat d'Haïti pour leur message de support.
- ❖ Tous ceux qui, pendant l'évolution de la pandémie, ont eu du souci pour mon état de santé. Merci à vous, vous comptez beaucoup pour moi.

RESUME

Chef-lieu de l'arrondissement du même nom, la commune de Gros-Morne est située dans le département de l'Artibonite et relie le département du Nord-Ouest au reste du pays par la route nationale numéro 5. Elle s'étend sur 397 km² et compte 155 692 habitants (IHSI, 2015). Elle possède de ressources hydrologiques relativement abondantes, dont les Trois-Rivières qui viennent du département du Nord et la Rivière Mancelle qui prend sa source au niveau de la 2^e section communale portant le même nom. Ces deux rivières placent l'aire urbaine en sandwich et représentent par leurs débordements le risque majeur qui y plane. Par sa proximité à la ville, les dommages antérieurs et le risque qu'elle représente actuellement, la Rivière Mancelle a été retenue comme le sujet d'étude, laquelle est réalisée dans un objectif global de contribuer à la réduction des dommages associés aux débordements de cette rivière. Pour y arriver, nous avons fixé comme objectifs spécifiques de : i) Cartographier le risque d'inondation dans le bassin versant de la Rivière Mancelle ; ii) Analyser les interventions des autorités en vue de mitiger ce risque ; iii) Déduire et analyser les facteurs à l'origine de la susceptibilité des localités aux débordements de Mancelle et ceux à la base des sévères dommages qui y sont souvent associés ; iv) Faire des propositions pour une meilleure gestion de ce risque. Afin d'atteindre ces objectifs, nous utilisons les fonctionnalités d'un Système d'Information Géographique et la méthode de l'Analyse Hiérarchique des Procédés qui nous ont permis d'obtenir la carte de susceptibilité des zones par la combinaison de la pente, l'altitude, la lithologie, la distance euclidienne des zones par rapport aux cours d'eau et la carte d'occupation de sol du bassin, puis la carte des enjeux par la combinaison de la densité de population, le réseau routier et la carte d'occupation de sol en s'accentuant sur les habitats et les champs agricoles. La carte montre de l'amont vers l'aval du bassin que la susceptibilité devient de plus en plus sévère, ce résultat peut être expliqué par les contextes topographique, hydrographique et lithologique de la région qui sont très propices au ruissellement des eaux de pluie. A ces facteurs naturels s'ajoutent les facteurs anthropiques tels les pratiques agricoles sarclées et la coupe anarchique des arbres en amont du bassin, la fouille du lit de la rivière pour l'exploitation des sables et l'installation désordonnée de la population le long des berges. Face à l'intensification de ces facteurs anthropiques et la fréquence des événements climatiques, la communauté urbaine devient de plus en plus vulnérable à cette rivière. Pourtant, malgré le risque actuel et les dommages enregistrés lors des tempêtes tropicales de 2006, 2007 et 2008 la population ne se voit pas ailleurs, même lorsque les interventions des autorités compétentes dans l'objectif de mitiger ce risque restent très limitées.

Mots clés : SIG, bassin versant, risque d'inondation, Rivière Mancelle, Gros-Morne, Haïti.

ABSTRACT

Capital of the district of the same name, the commune of Gros-Morne is located in the department of Artibonite and connects the department of North-West to the rest of the country by the national road number 5. It covers 397 km² and has 155,692 inhabitants (IHSI, 2015). It has relatively abundant hydrological resources, including the Trois-Rivières, which come from the North Department, and the Mancelle River, which originates from the 2nd communal section of the same name. These two rivers sandwich the urban area and, through their overflows, represent the major risk to it. Because of its proximity to the city, past damage and the risk it currently represents, the Rivière Mancelle was chosen as the subject of the study, which is being carried out with the overall objective of contributing to the reduction of damage associated with the overflows of this river. To achieve this, we set the following specific objectives: i) Map the flood risk in the Rivière Mancelle watershed ; ii) Analyze the interventions of the authorities to mitigate this risk ; iii) Deduce and analyze the factors at the origin of the susceptibility of localities to Mancelle overflows and those at the base of the severe damages often associated with them ; iv) Make proposals for a better management of this risk. In order to achieve these objectives, we use the functionalities of a Geographic Information System and the method of Hierarchical Process Analysis which allowed us to obtain the map of the areas' susceptibility by combining the slope, altitude, lithology, Euclidean distance of the areas from the water necks and the land use map of the basin, then the map of the issues by combining the population density, the road network and the land use map with emphasis on habitats and agricultural fields. The map shows from upstream to downstream of the basin that the susceptibility becomes more and more severe. This result can be explained by the topographic, hydrographic and lithological contexts of the region, which are very conducive to rainwater runoff. In addition to these natural factors, there are anthropogenic factors such as weeded agricultural practices and the anarchic cutting of trees upstream of the basin, the excavation of the riverbed for sand mining and the disorderly settlement of the population along the banks. Faced with the intensification of these anthropogenic factors and the frequency of climatic events, the urban community is becoming increasingly vulnerable to the river. However, despite the current risk and the damage recorded during the tropical storms of 2006, 2007 and 2008, the population does not see itself elsewhere, even when the interventions of the competent authorities with the aim of mitigating this risk remain very limited.

Keywords: GIS, watershed, flood risk, Mancelle River, Gros Morne, Haiti.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT	III
RESUME.....	IV
ABSTRACT	V
TABLE DES MATIERES	VI
LISTE DES TABLEAUX	VIII
LISTE DES FIGURES.....	IX
LISTE DE SIGLES ET ACRONYMES.....	X
CHAPITRE 1. INTRODUCTION.....	1
1.1 GENERALITE	1
1.2 PROBLEMATIQUES	2
1.3 OBJECTIFS.....	4
1.3.1 <i>Objectif général</i>	4
1.3.2 <i>Objectifs spécifiques</i>	4
1.4 HYPOTHESE	4
1.5 INTERET DE L'ETUDE	4
1.6 LIMITE DE L'ETUDE	4
CHAPITRE 2. CADRE THEORIQUE DE L'ETUDE.....	5
2.1 LA NOTION DE BASSIN VERSANT	5
2.1.1 <i>Les bassins versants d'Haïti</i>	5
2.1.2 <i>Problématique et enjeu dans les bassins versants d'Haïti</i>	6
2.2 LE RISQUE ET SES COMPOSANTES	6
2.2.1 <i>Risque</i>	6
2.2.2 <i>Inondations</i>	6
2.2.3 <i>Risque d'inondation</i>	7
2.2.4 <i>Alea d'inondation</i>	7
2.2.5 <i>Vulnérabilité</i>	7
2.2.6 <i>Type de dommages</i>	7
2.2.7 <i>Gestion des risques d'inondation</i>	8
2.2.8 <i>Gestion des risques d'inondation, quelle est la contribution du SIG ?</i>	8
2.2.9 <i>Gestion des risques en Haïti</i>	9
2.2.10 <i>Perception du risque</i>	11
CHAPITRE 3. PRESENTATION DE LA COMMUNE DE GROS-MORNE.....	12
3.1 MILIEU PHYSIQUE.....	12
3.1.1 <i>Localisation de la commune de Gros-Morne</i>	12
3.1.2 <i>Climat de la commune de Gros-Morne</i>	13
3.1.3 <i>Climat de la section communale de Rivière Mancelle</i>	13
3.1.4 <i>Relief</i>	14
3.1.5 <i>Géologie</i>	15
3.1.6 <i>Hydrogéologie</i>	16
3.1.7 <i>Hydrologie</i>	16
3.2 MILIEU SOCIO-ECONOMIQUE	18
3.2.1 <i>Population</i>	18
3.2.2 <i>Economie de la commune</i>	18

CHAPITRE 4. METHODOLOGIE.....	20
4.1 MATERIELS ET OUTILS	20
4.2 METHODES.....	20
4.2.1 Recherche bibliographique	20
4.2.2 Enquête	20
4.3 DONNEES COLLECTEES.....	21
4.3.1 Les données provenant de l'enquête.....	21
4.3.2 Les données spatiales	21
4.4 TRAITEMENT DES DONNEES.....	22
4.5 PRESENTATION DES DONNEES	22
4.6 CARTOGRAPHIE DU RISQUE D'INONDATION DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE MANCELLE	22
4.6.1 Aléas	22
4.6.2 Eléments vulnérables / Enjeux.....	24
4.6.3 Méthode d'obtention de ces données.....	25
4.7 CHOIX D'OUTIL D'ANALYSE DECISIONNELLE A CRITERES MULTIPLES	26
4.7.1 C'est quoi AHP ?.....	27
4.7.2 Comment il fonctionne ?.....	27
4.7.3 Pondération des différentes classes d'aléas	30
4.7.4 Pondération des différentes classes d'enjeux.....	31
4.8 CALCUL DES INDICES D'ALEA, DE VULNERABILITE ET DU RISQUE.....	31
CHAPITRE 5. RESULTATS ET DISCUSSION	33
5.1 DELIMITATION ET PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE MANCELLE	33
5.1.1 Caractéristiques du bassin versant de la Rivière Mancelle	34
5.2 ALEA D'INONDATION DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE MANCELLE.....	35
5.3 VULNERABILITE AUX INONDATIONS DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE MANCELLE	36
5.4 RISQUE D'INONDATION DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE MANCELLE.....	37
5.5 FOCUS SUR QUELQUES DEBORDEMENTS DE LA RIVIERE.....	38
5.5.1 Les types de dommages enregistrés.....	40
5.6 ANALYSE DE LA GESTION DES RISQUES D'INONDATION LIES AUX DEBORDEMENTS DE LA RIVIERE MANCELLE.....	41
5.6.1 Prévention	42
5.6.2 Protection	44
5.6.3 Préparation	45
5.7 PRESENCE, COMPOSITION ET INTERVENTION DU SNGRD A GROS-MORNE.....	46
5.8 ANALYSE DES FACTEURS A L'ORIGINE DE LA SUSCEPTIBILITE DES LOCALITES AUX DEBORDEMENTS DE MANCELLE ET CEUX A LA BASE DES SEVERES DOMMAGES QUI Y SONT SOUVENT ASSOCIES	46
5.8.1 Les facteurs naturels.....	46
5.8.2 Les facteurs anthropiques.....	50
5.8.3 Facteurs institutionnels	53
5.9 CONNAISSANCE DE CE RISQUE PAR LA POPULATION	54
CHAPITRE 6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	56
6.1 PROPOSITION CARTOGRAPHIQUE D'UN PLAN D'OCCUPATION DES SOLS	59
BIBLIOGRAPHIE	XI
ANNEXES	XVII

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Superficie des 30 principaux bassins versant d'Haïti	6
Tableau 2. Typologie de dommages	8
Tableau 3. Typologie et caractérisation des couches téléchargées	22
Tableau 4. Echelle de comparaison de Saaty (1980).....	27
Tableau 5. Présentation de la Matrice de comparaison pour les cinq critères choisis	28
Tableau 6. Poids des facteurs influençant l'inondation	28
Tableau 7. Valeur de l'indice aléatoire (RI)d'après Saaty (2004).....	28
Tableau 8. Paramètres de calcul du ratio de consistance	29
Tableau 9. Rang des différences classes d'aléas.....	30
Tableau 10. Rang des différences classes d'enjeux	31
Tableau 11. Caractéristiques du bassin versant Mancelle	34

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Evolution des constructions par rapport au comportement de la Riviere Mancelle sur une section en aval de la ville de Gros-Morne	3
Figure 2. Répartition des 30 grands bassins versants d'Haïti	5
Figure 3. Localisation de la commune de Gros-Morne	12
Figure 4. Diagramme ombrothermique sur 30 ans dans la Gros-Morne (Source : CLIMATE_DATA.ORG)	13
Figure 5. Diagramme ombrothermique à la 2 ^e section Rivière Mancelle (Source : NOAA)	14
Figure 6. Topographie de la commune de Gros-Morne	14
Figure 7. Géologie de la commune de Gros-Morne	15
Figure 8. Carte hydrogéologique de la commune de Gros-Morne	16
Figure 9. Positionnement de la ville de Gros-Morne par rapport aux Trois Rivières et Mancelle.....	17
Figure 10. Répartition de la population Gros-Mornaise par section communale en 2015	18
Figure 11. Les couches utilisées comme données d'entrée pour étudier la susceptibilité aux inondations des localités.....	24
Figure 12. Éléments exposés aux inondations dans le bassin Mancelle.....	25
Figure 13. Procédure d'extraction du bassin Mancelle.....	26
Figure 14. Pourcentage d'influence(poids) des aléas.....	29
Figure 15. Vulnérabilité des éléments dans la rivière (CR=0.068<0.1, raisonnable).....	30
Figure 16. Résumé de la cartographie du risque à partir du model Builder	32
Figure 17. Localisation du bassin versant de la Rivière Mancelle	33
Figure 18. Une vue en 3D du bassin versant de la Rivière Mancelle sur Google Earth.....	34
Figure 19. Carte de susceptibilité des zones aux inondations dans le bassin Mancelle	35
Figure 20. Répartition du niveau de susceptibilité par pourcentage de superficie	35
Figure 21. Carte des enjeux dans le bassin Mancelle.....	36
Figure 22. Photos des enjeux en aval du bassin Mancelle. Source : Google Earth, mai 2020.	37
Figure 23. Risque d'inondation dans le bassin versant Mancelle	38
Figure 24. Situation de certaines maisons suite aux débordements d'août 2006 (Source : Alterpresse, 2006).....	39
Figure 25. La région la plus touchée par les débordements de 2007 et 2008 (Google Earth, mai 2009)	39
Figure 26. Perte de terres cultivables suite à l'élargissement de la rivière	40
Figure 27. Témoignage d'un passager bloqué par les crues de Mancelle avant la réalisation du pont en 20014 dans le journal « Le Nouvelliste »	41
Figure 28. Travail de protection des berges réalisé sur la rivière Mancelle	44
Figure 29. Répartition des paramètres topographique du bassin Mancelle [a] altitude b) pente]	47
Figure 30. Erosion des berges sous la pression de la rivière (Source : Ulysse, juin 2020)	48
Figure 31. Densité de drainage du bassin Mancelle (Stream order d'après Strahler)	49
Figure 32. Répartition de la précipitation moyenne annuelle dans le bassin Mancelle durant la période 1998-2010.....	50
Figure 33. Choix des cultures en fonction des classes de pente du bassin versant Mancelle d'après le code rural de François Duvalier	51
Figure 34. Prélèvement de sable dans la rivière (photos prises par Ulysse, juin 2020)	52
Figure 35. Exposition et susceptibilité de la population.....	52
Figure 36. Evolution de la population dans le bassin versant de la Rivière Mancelle	53
Figure 37. Localisation des habitations des répondants [Nan Bwadòm, Impasse Cadet (entre rue Fraicheur et Rue Hyppolite)].....	55
Figure 38. Proposition cartographique d'un plan d'occupation des sols dans le bassin Mancelle	59

LISTE DE SIGLES ET ACRONYMES

AHP	Analyse Hiérarchique des Procédés
BME	Bureau des Mines et de l'Energie
CASEC	Conseil d'Administration des Sections Communales
CIAT	Comité interministériel d'aménagement Territorial
CNBH	Code National du Bâtiment Haïtien
CNIGS	Centre National des Informations Géospatiales
CNM	Centre National Météorologique
COUC	Centre d'Opération d'Urgence Communal
DPC	Direction de la Protection Civile
ESRI	Environmental Systems Research Institute
FIRC	Fédération Internationale des Sociétés de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
IHSI	Institut Haïtien de Statistique et d'Informations
ISDR	International Strategy for Disaster Reduction
ITC	International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation
MARNDR	Ministère de l'Agriculture, des Ressources Natures et du Développement Rural
MICT	Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Territoriales
MNT	Modèle Numérique de Terrain
MTPTC	Ministère des Travaux Publics, Transports et Communication
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NATAHT	Analysis of Multiple Natural hazards in Haïti
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ONG	Organisation Non Gouvernementale
SAP	Système d'Alerte Précoce
SIG	Système d'Informations Géographiques
SNGRD	Système national de gestion des risques et des désastres
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
UHM	Unité hydro Météorologique
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transverse Mercator

Chapitre 1. INTRODUCTION

1.1 Généralité

Selon la Banque Mondiale/Nations-Unies (2010), l'inondation est réputée comme étant le risque naturel le plus courant. Dans la liste des risques les plus dommageables, elle occupe le troisième rang, juste après les tempêtes et les séismes. Jonkman (2005) cite que selon la base de données internationale sur les catastrophes OFDA/CRED, *les inondations ont tué environ 100 000 personnes et en touché plus de 1,4 milliards au cours de la dernière décennie du XXe siècle*. L'expansion urbaine à l'intérieur ou dans le périmètre rapproché des zones inondables est une activité anthropique qui influence sévèrement les impacts des inondations sur l'homme. Donc, *bien que l'inondation soit un phénomène naturel, le développement urbain amplifie les dommages qui lui sont associés, en accélérant le ruissellement et en compromettant du même coup un développement plus important* (Faber, 1996 ; Brody et al., 2007).

Géographiquement, Haïti est positionné sur la trajectoire des tempêtes tropicales et des ouragans entre l'océan atlantique et la mer des Antilles. D'après NATHAT (2012), les inondations souvent catastrophiques qui frappent le pays trouvent leur origine dans les fortes précipitations qui sont provoquées par l'activité atmosphérique lors des saisons pluvieuses d'avril-juin et octobre-novembre où s'interpose la période cyclonique de juin-novembre. Le traitement de la base de données EM-DAT (2020) montre que les perturbations atmosphériques sont très fréquentes en Haïti. De 1980-2020, au total 93 sont enregistrées, dont 36 sont de type météorologique [les cyclones (tempêtes tropicales et ouragans), les orages convectifs] et 57 de type hydrologique (les crues éclairées, les inondations fluviales). Ces événements ont causé beaucoup de pertes, tant en vies humaines qu'en bien au niveau des différents secteurs du pays. Gonomy (2012) avance que, chaque année les inondations ont engendré dans les villes et les villages situés sur la rive des cours d'eau des dégâts qui s'estiment à des milliards de dollars américains.

L'équipe de NATHAT (2012) explique que l'un des facteurs qui fait croître davantage la susceptibilité du pays aux événements de type hydrométéorologique est sa configuration topographique et hydrographique. Avec 80% de sa superficie constituée par des montagnes de plus de 100 m d'altitude, moins de 20% de plaine et de littoraux très minimes, les bassins versants sont d'allures très étroites et de pentes très marquées. D'après Smith et Hersey (2008), le degré de déforestation au niveau de ces bassins versants est la cause principale de la vulnérabilité de la population aux inondations et aux multiples dommages enregistrés lors des inondations.

En Haïti, le phénomène de déforestation n'est pas récent. Il commence à s'accélérer au moment de l'occupation française pendant laquelle de larges superficies de forêts ont été abattues pour la plantation de la canne-à-sucre et l'exportation de bois. Aussi, il faut actuellement mentionner les fortes demandes en bois par les dry cleanig, les activités de construction, l'ébénisterie et le charbon de bois dans les zones urbaines. Ainsi, les superficies, qui, dans le temps ont été très couvertes, sont en ce moment dépourvues d'arbres (Heinl, 1996 ; Diamond, 2005). D'après PNUE & PNUD (2013), chaque année 30 millions d'arbres sont coupées en vue de répondre aux besoins énergétiques de 70% de la population, en conséquence : la couverture végétale est tombée à 2% et tous les 30 grands bassins versants du pays sont déboisés.

Aux côtés de tous ces facteurs favorables à l'augmentation de la fréquence des inondations et des importants dommages, vient s'ajouter le phénomène du changement climatique qui, selon Morita (2015), sera probable de faire augmenter aussi les risques d'inondation, spécialement la fréquence et la gravité des tempêtes. Donc, à ce stade, il est impératif que les travaux de recherches sur la réduction des risques d'inondation soient au cœur des programmes dans des pays très vulnérables comme Haïti.

1.2 Problématiques

La ville de Gros-Morne se trouve coincée entre les Trois Rivières et la Rivière Mancelle. Cette dernière est un sous bassin versant des Trois Rivières et représente, avec 46,5 km², 5,2% de sa superficie. A l'image du pays, la déforestation et l'urbanisation ne s'arrêtent pas dans le bassin versant de la Rivière Mancelle. Malgré les dommages qu'elle a déjà causés dans le passé lors de ses débordements et les risques qu'elle fait planer actuellement sur les riverains, les constructions continuent. Les autorités ne prennent aucune mesure sérieuse en vue de freiner cette urbanisation ni des mesures de protection concrète de maîtrise des crues. *Le répertoire des images Google Earth peut être d'une grande utilité pour illustrer les risques récents* (Ozer, 2014). Dans notre zone d'intérêt, ces images Google Earth montrent des endroits qui dans le temps ont été sévèrement touchés par la rivière, mais ils sont de nouveau construits lorsque que la rivière s'est reculée un peu (*Fig. 1*).

De Bruijn (2004) soutient qu'il nous reste plein de choses à faire en termes de connaissance, de stratégies adéquates et de décisions en vue d'empêcher que les inondations des rivières de plaines soient transformées en catastrophe, car, pour lui, ces inondations sont des événements naturels qui ne s'arrêtent jamais de se produire. Dans cet ordre d'idée, une contribution dans la gestion des risques d'inondation dans les quartiers proches de la Rivière Mancelle au niveau de la ville de Gros-Morne se révèle très précieuse et inévitable. *Les Systèmes d'Information*

Géographique (SIG) sont de très bons outils qui donnent de très bons résultats dans les études visant à explorer les superficies inondables et inondées et également celles visant à bien interpréter les cartes d'inondation dans l'objectif de faire sortir des cartes d'estimation des dommages et des risques d'inondation (Wiles et Levine, 2002 ; Sole et al., 2007). Ainsi, dans ce travail, les Systèmes d'Information Géographique ont été utilisés pour cartographier le risque d'inondation qui plane sur la population évoluant à proximité de la Rivière Mancelle au niveau de la ville. Cette cartographie sera exposée non seulement à la population vulnérable, mais aussi aux autorités compétentes de la commune afin de les sensibiliser, de les contraindre à mettre en exergue les notions de gestion de risques d'inondations afin de réduire les pertes en vies humaines et en biens qui sont souvent occasionnées lors des épisodes de pluie au niveau de la commune.



Figure 1. Evolution des constructions par rapport au comportement de la Rivière Mancelle sur une section en aval de la ville de Gros-Morne

Cette situation nous amène à poser différentes questions :

- ❖ Pourquoi ces habitants sont-ils là ? Ne savent-ils pas qu'ils habitent dans le lit majeur de la rivière ?
- ❖ Ne savent-ils pas que les débordements de la rivière ont déjà produit des dommages dans ces endroits et que c'est une possibilité qu'ils s'y reproduiront dans le futur ?

1.3 Objectifs

La réalisation de cette étude vise des objectifs qui sont déclinés comme suit.

1.3.1 Objectif général

L'objectif général de ce travail c'est de contribuer à la réduction des dommages associés aux débordements de la Rivière Mancelle sur la ville de Gros-Morne.

1.3.2 Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques peuvent se résumer ainsi :

- Cartographier le risque d'inondation dans le bassin versant de la Rivière Mancelle,
- Analyser les interventions des autorités en vue de mitiger ce risque,
- Déduire et analyser les facteurs à l'origine de la susceptibilité des localités aux débordements de Mancelle et ceux à la base des sévères dommages qui y sont souvent associés,
- Faire des propositions pour une meilleure gestion de ce risque.

1.4 Hypothèse

Les données géographiques disponibles pour la région de Gros-Morne peuvent, au travers l'utilisation d'outils de SIG et d'analyse spatiale, permettre de poser un diagnostic dans la gestion des risques d'inondation liés à la Rivière Mancelle.

1.5 Intérêt de l'étude

L'intérêt de ce travail est d'exposer, aux autorités communales de Gros-Morne et à la population toute entière, le risque lié aux débordements de la Rivière Mancelle sur les localités environnantes, afin de les sensibiliser à prendre des décisions menant à la réduction de ce risque.

1.6 Limite de l'étude

La réalisation dans toute son ampleur du travail désiré est limitée par la durée allouée, vient ensuite la conjoncture actuelle marquée par la propagation du coronavirus, dont les mesures prises en vue de réduire les impacts ont annulé la phase de terrain qui serait d'une importance capitale pour compléter la collecte de données utiles. L'absence d'instrument de mesure de pluie et de débit dans le bassin versant en question constitue aussi de véritable barrière à une meilleure approche du travail. Il nous est donc impossible de simuler à partir d'un débit pour un temps de retour quelconque l'écoulement de l'eau dans le bassin pour apprécier sa hauteur et son étendue aux différents endroits.

Chapitre 2. CADRE THEORIQUE DE L'ETUDE

Ce chapitre constitue une revue bibliographique, à travers laquelle on tient à présenter et définir quelques concepts clés qui apparaissent dans la gestion des risques d'inondation.

2.1 La notion de bassin versant

Pour faire face aux inondations, une gestion intégrée des bassins fluviaux est nécessaire, car l'eau qui contribue à une situation d'inondation provient des zones en amont et engendre des problèmes dans les régions en aval. Alberto (2012) définit « un bassin versant comme un ensemble d'une région ayant un exutoire commun pour ses écoulements de surface ».

2.1.1 Les bassins versants d'Haïti

D'après les données du Centre d'Information Géospatiale (CNIGS, 2008), le pays comprend trente (30) bassins versants principaux, ils sont répartis ainsi à la figure 2 :

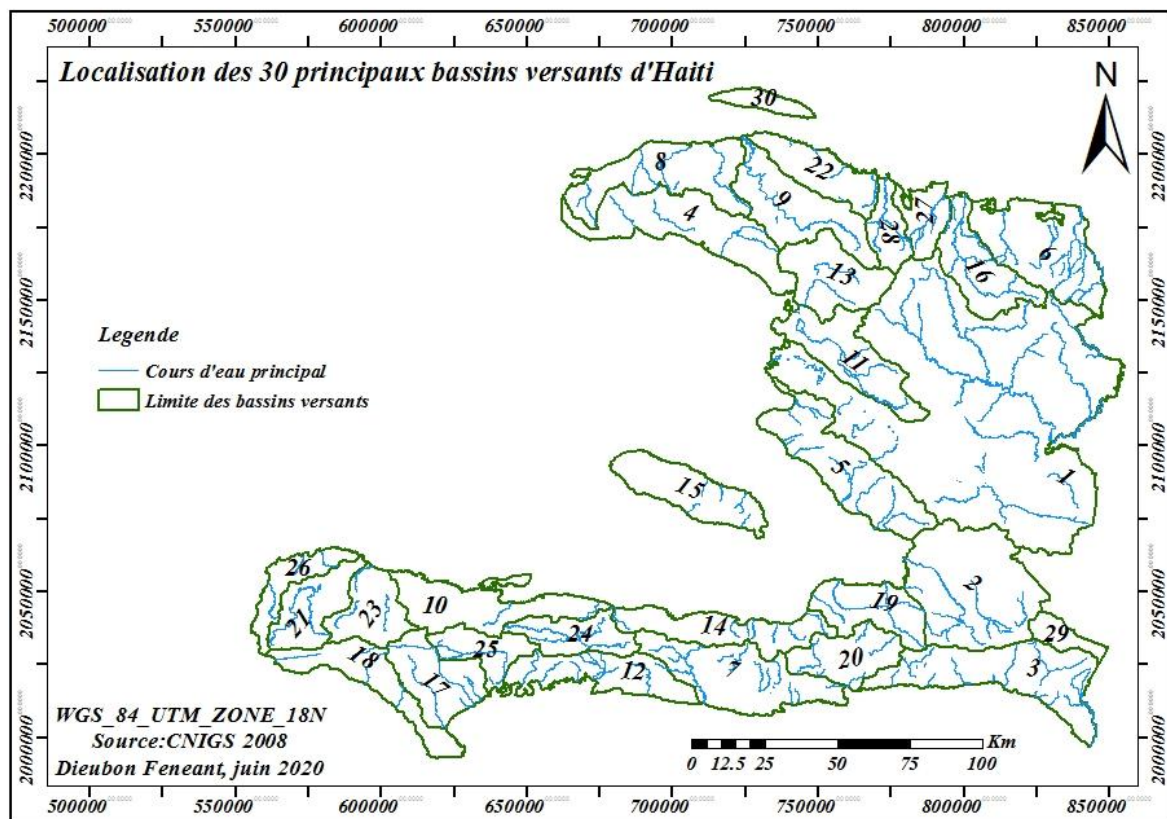


Figure 2. Répartition des 30 grands bassins versants d'Haïti

Ils sont drainés par une superficie moyenne de 895, 62 km², le plus étendu est celui du fleuve Artibonite avec 6335, 75 km² et ensemble ils représentent plus de 90% de la superficie totale du pays.

Tableau 1. Superficie des 30 principaux bassins versant d'Haïti

Numéro	Nom	Aire (km ²)	Numéro	Nom	Aire (km ²)
1	Artibonite	6335.7	16	G.de Rivière du Nord	680.3
2	Cul de Sac	1597.8	17	Les Cayes	660.8
3	Zone Sud-Est	1201.3	18	Tiburon - Port Salut	657.1
4	Versant sud	1129.5	19	Plaine de Léogane	597.9
5	Saint Marc - Arcahaie	1118.2	20	G.de Rivière de Jacmel	560.5
6	Nord-Est	1085.5	21	Grande Anse	554.1
7	Bainet - Cotes de fer	1063.9	22	Port de Paix - Port Margot	546.9
8	Versant nord	974.6	23	Voldrogue Roseaux	524.3
9	Trois Rivières	898.2	24	G.de Rivière de Nippes	464.6
10	Corail - Anse à Veau	849.4	25	Cavaillon	399.9
11	Estère	800.0	26	Les Irois - Jérémie	367.7
12	Aquin - St. Louis du Sud	713.5	27	Cap Haïtien	324.7
13	La Quinte	699.7	28	Limbé	312.6
14	Miragoâne - Petit Goâve - Grand Goâve	691.5	29	Fond Verrettes	188.8
15	La Gonâve	691.0	30	La Tortue	178.8

2.1.2 Problématique et enjeu dans les bassins versants d'Haïti

CIAT (2010) explique que les problèmes majeurs auxquels sont confrontés les bassins versants d'Haïti sont les pratiques culturales sarclées et la coupe anarchique des arbres dans des pentes raides où elles sont interdites. Cette situation est toutefois le résultat des mauvaises conditions sociales et de l'explosion démographique qu'engendre la pauvreté dans le pays et aussi la faiblesse des institutions régulatrices. D'après le MARNDR (2010), seulement 7700 km² sont exploitables dans le pays, mais la superficie qui est réellement exploitée est 11900 Km². Il en résulte que 85% des bassins versants sont dégradés ou en cours de dégradation, la couverture forestière tombe en dessous de 2 %, etc. Ces situations alarmantes au niveau des bassins versants ne font qu'augmenter la vulnérabilité des zones urbaines qui sont généralement positionnées à la limite des cours d'eau.

2.2 Le Risque et ses composantes

2.2.1 Risque

Il se définit comme le produit de la probabilité de survenance d'un aléa par la probabilité de ses conséquences (Brooks, 2003 ; GIEC, 2014).

2.2.2 Inondations

Les inondations sont considérées comme une élévation provisoire du niveau de l'eau au-dessus des terres suite à une fuite des eaux de surface hors de leur limite habituelle ou de précipitations intenses (Munich Re, 1997 ; Samuel, 2009)

2.2.3 Risque d'inondation

Le risque d'inondation peut se définir comme le produit de la probabilité d'occurrence d'une inondation par la conséquence des inondations sur les éléments exposés aux inondations (WBGU, 1999 ; ISDR, 2004). Selon les mêmes sources, le risque peut être vu comme la probabilité de conséquences négatives dues aux inondations et dépend de l'exposition des éléments à risque à un risque d'inondation.

2.2.4 Alea d'inondation

Il est défini comme la probabilité d'occurrence d'une inondation potentiellement dommageable sur une période de temps (ITC, 2004). Selon FLOODsite-Consortium (2005), on parle de potentiellement dommageable, car tous les éléments présents dans la zone inondable, pourraient, mais ne doivent pas inévitablement endommagés.

2.2.5 Vulnérabilité

La vulnérabilité est un concept dont les champs d'utilisation dans le domaine de la recherche sont très étendus (De Bruijn, 2005 ; Cutter et al., 2008 ; McDaniels et al., 2008), elle intervient dans des domaines comme : le social, l'économie et l'organisationnel (en s'impliquant au processus de zonage et dans le respect des normes de construction).

D'après Schanze (2006), c'est le paramètre duquel dépendent les dommages causés par les risques d'inondation sur les éléments exposés. D'où, d'après Samuel (2009), la vulnérabilité aux inondations est vue comme les conséquences prévisibles d'une inondation dommageable sur les éléments exposés. Dewals (2019) parle aussi de la susceptibilité aux inondations comme un concept qui détermine le niveau auquel l'enjeu peut subir des dommages en présence de l'eau, à titre d'exemple : dans une même zone inondable, une maison en terre est plus susceptible qu'une maison en béton, de même qu'une construction sur pilotis est moins susceptible que celle qui est au ras du sol.

2.2.6 Type de dommages

D'après James et Lee (1971), il existe deux grands types de dommages dans l'évaluation du risque d'inondation : les dommages tangibles et les dommages intangibles. Les dommages tangibles sont les dommages que l'on peut évaluer en unité monétaire, tandis que les dommages intangibles sont ceux que l'on ne peut pas monétariser (Kuiper, 1971). Selon Lekuthai et Vongvisessomjai (2001), les dommages tangibles peuvent être subdivisés en dommages directs et en dommages indirects. Les premiers sont dus par contact des éléments exposés avec l'eau tandis que les dommages indirects sont plutôt liés au temps, sans aucun contact.

Pour Dewals (2019), tangibles et intangibles, les deux sont subdivisés en dommages directs et dommages indirects.

Tableau 2. Typologie de dommages

Type de dommage	Direct	Indirect
Tangibles	Destruction de maison	Dysfonctionnement des réseaux d'énergie, de transport...
Intangibles	Perte de vie	Stress, bien-être, épidémie...

2.2.7 Gestion des risques d'inondation

D'après Plate (2002), dans un sens restreint, la gestion des risques d'inondation peut être vu comme le processus de gestion d'une situation de risque d'inondation existante, mais largement elle est plutôt considérée comme une chaîne de planification afin de mitiger les risques d'inondation. Schanze. (2006) explique que la gestion des risques d'inondation est tout un ensemble de processus, elle est basée sur une large gamme d'interrogations qui commence avec la prévision des risques d'inondation, en passant par leurs conséquences sociétales prévisibles pour aboutir aux mesures et aux instruments de réduction des risques. La définition donnée par Dewals (2019) à la gestion des risques d'inondation est très proche de celle de Schanze, il résume la gestion des risques d'inondation en 3 P, qui sont : Prévention, Protection et Préparation.

- ❖ La protection regroupe toutes les constructions réalisées en vue de réduire l'impact des inondations : construction des digues, des murs de soutènement, des canaux de dérivation, des barrages pour réguler les débits, etc...
- ❖ La préparation tourne surtout au niveau d'un système d'alerte précoce, elle comprend l'installation de réseau de mesure pluie et de débit sur les cours d'eau en vue de déclencher des alertes au bon moment.
- ❖ La prévention tourne autour des mesures d'interdiction prises par les autorités, les normes de construction imposées par rapport au travail de zonage effectué, etc...

2.2.8 Gestion des risques d'inondation, quelle est la contribution du SIG ?

En Haïti, les manifestations du changement climatique sont ajoutées à notre position sur la trajectoire des cyclones, notre mauvaise configuration géographique, la déforestation de façon anarchique de nos bassins versants et aux urbanisations grandissantes pour augmenter la vulnérabilité du territoire face aux risques d'inondations. Ainsi, il nous paraît indispensable de trouver des outils nous permettant de bien étudier les aléas et les éléments exposés afin de réduire les dommages.

Maheu (2012) montre dans son document d'étude deux façons dont les Systèmes d'Information Géographique (SIG) ont contribué dans la gestion des risques d'inondation. Tout d'abord, les SIG sont considérés comme des outils prescriptifs lorsqu'ils permettent à partir de hiérarchisation de trouver les zones les plus susceptibles aux inondations et du même coup d'identifier les endroits où les mesures de prévention des inondations sont recommandées. Cet outil prescriptif est devenu très puissant avec les modèles hydrodynamiques qui ont intégré dans les SIG pour cartographier la tendance des inondations (Pradhan et al., 2009 ; Vojinovic, 2009). Ensuite, les SIG sont considérés comme des outils de diagnostic, lorsqu'ils permettent de comprendre les causes de l'amplification observée dans les inondations par l'étude de l'occupation des sols (exemple : l'urbanisation des zones rurales qui augmentent le taux de ruissellement au détriment de l'infiltration)

2.2.9 Gestion des risques en Haïti

Le Système National de Gestion des Risques et des Désastres (SNGRD) est la structure organisationnelle de gestion des risques en Haïti. En absence d'un cadre juridique, son fonctionnement est rempli de lacunes et fait face à de sérieux problèmes. A travers l'analyse faite sur le Plan National de Gestion des Risques et des Désastres (PNGRD) qui a été élaboré en 2001 et mis à jour par Mora et al. (2009), *l'organisation de ce système se ressemble davantage à un plan d'intervention en cas d'urgence qu'un système complet, c'est-à-dire qui entreprend des activités de protection, de prévention et de préparation*. D'une façon hiérarchique, ce SNGRD est charpenté de neuf composantes qui commencent par le Conseil national de gestion du risque (CNGR), en passant par le Comité d'appui de la société civile (CASC), le Groupe d'appui de la coopération internationale (GACI), le Secrétariat permanent de gestion du risque (SPGR), les Comités thématiques institutionnels/sectoriels, le Centre d'opération d'urgence (COU), les Comités départementaux jusqu'aux Comités municipaux et locaux.

Le Secrétariat Permanent de Gestion du Risque (SPGR) coordonne et met en œuvre et à jour le Plan national de réponse aux urgences (PNRU). Il aura en plus pour tâche de communiquer la disponibilité opérationnelle locale et départementale au Comité National de Gestion du Risque (CNGR) qui, à son tour communiquera, au besoin, la disponibilité opérationnelle nationale au président de la République d'Haïti ou à son délégué dûment désigné. Le CNGR est l'organe politique et permanent du SNGRD chargé de l'élaboration de politiques en relation avec la gestion du risque et veille à leur mise en œuvre. Il est présidé par le Premier ministre, qui en

cas d'absence peut déléguer son autorité au Ministre de l'Intérieur et des collectivités territoriales l'exécution des activités routinières.

2.2.9.1 Les systèmes d'alertes précoces (SAP) et la cartographie des risques en Haïti

A) Les systèmes d'alertes précoces (SAP)

Dans la gestion des risques les Systèmes d'Alertes Précoces se révèlent indispensables, ils constituent les éléments essentiels de la phase dite de préparation. D'après FIRC (2015), Haïti détient trois SAP :

- i) Un SAP national pour les ouragans qui dépend des informations du Centre National Météorologique (CNM). Ce dernier émet les alertes d'ouragan sur la base d'une surveillance permanente des situations météorologiques dans l'océan atlantique et dans la mer des Antilles,
- ii) Un système naissant d'alertes précoces en cas de tsunamis,
- iii) Un système d'alerte plus ou moins poussé en cas d'inondations, ce système est globalement financé par la Banque Interaméricaine de Développement (BID) en partenariat avec le Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR). Il est géographiquement limité, dont seulement 13 des 30 bassins versants étendus sur un total de 35 communes du pays, ont été sélectionnés comme zones prioritaires en raison de leur haut niveau de risque. C'est un système technique qui est constitué de l'installation de stations météorologiques terrestres et de stations de mesure d'eau dans les rivières.

Toutefois, le rapport précise que, le système d'alerte précoce haïtien ainsi que le Système National de Gestion des Risques et des Désastres (SNGRD) sont en train d'affronter des problèmes multiples, les pires sont : l'absence de cadre juridique global, de règles et principes directeurs, ajoutées à la dépendance du soutien des bailleurs de fonds internationaux.

B) La cartographie des risques en Haïti

La cartographie du risque permet d'exposer le risque planant sur une zone à la connaissance de toute la population, elle aide dans ce cas les autorités à prendre des mesures en vue de réduire la vulnérabilité et directement les dommages lors des événements. Donc c'est un très bon outil de prévention. Pourtant il est sous mentionné dans la législation haïtienne, sa seule apparition est à travers l'article 149 du décret du 12 octobre 2005, cité par CIAT (2013), précisant que « *les zones à risque environnemental (climatique, sismique ou*

hydrologique) seront identifiées, cartographiées et feront l'objet de programmes d'information du public, à la charge du ministère de l'Environnement ». Toutefois, d'après l'étude réalisée par FIRC (2015), le ministère de l'environnement est failli dans cette mission, car aucune activité de cartographie de risque n'est supervisée par ce ministère et le pire c'est la passivité de la loi qui ne tente pas d'associer la coordination de cette tâche à d'autres partenaires comme la Direction des Protections Civiles (DPC) et le MARNDR. L'un des problèmes majeurs dans la gestion des risques est l'absence d'une connexion précise entre les SAP et la cartographie des risques par un dispositif juridique, politique ou institutionnel clair. En conséquence, les bailleurs de fonds à travers leur programme ils réalisent d'énormes cartes de risques mais très souvent elles ne sont pas disponibles pour la DPC (ibid).

2.2.10 Perception du risque

La perception du risque d'après Setbon et al. (2005) *traite de comment des personnes réagissent de manières cognitives et effectives face à une situation ou un évènement qui met en danger la vie, humaine ou animale*. Brunet et Schiffino (2012) détaillent tout un ensemble de facteurs qui peuvent expliquer le comportement des personnes face à un risque dans une région donnée, certaines personnes qui sous estiment le risque tandis que d'autres le surestiment. Parmi lesquels ce sont : le sentiment de maîtrise du risque, le caractère volontaire ou forcé d'une activité, la fréquence d'occurrence du risque qui le rend familier pour des personnes et ensuite la disponibilité des informations sur le risque.

Chapitre 3. *PRESENTATION DE LA COMMUNE DE GROS-MORNE*

A travers ce chapitre, nous tenons à présenter globalement la commune de Gros-Morne et très particulièrement la partie de la zone urbaine qui est incluse dans le bassin versant de la Rivière Mancelle. La géographie, le climat, le relief, les ressources naturelles, l'hydrographie et l'environnement socio-économique sont les paramètres sur lesquels on s'est accentué pour présenter la commune.

3.1 *Milieu physique*

3.1.1 Localisation de la commune de Gros-Morne

La commune de Gros Morne relève de l'arrondissement du même nom (Fig. 3). Elle est bornée au Nord par les communes de Saint Louis du Nord, de Borgne et de Bassin-Bleu ; au Sud par les communes des Gonaïves et de Terre-Neuve ; à l'Est par les communes de Pilate, de Borgne et des Gonaïves et à l'Ouest par les communes de Terre Neuve et de Bassin Bleu (IHSI, 2009). Elle se trouve entre les latitudes 19°38'11" et 19°42'43", et les longitudes 72°39'02" et 72°48'34" (Bien-Aimé, 2005). Elle est accessible par la route nationale numéro 5 reliant la capitale d'Haïti et le Nord-Ouest.

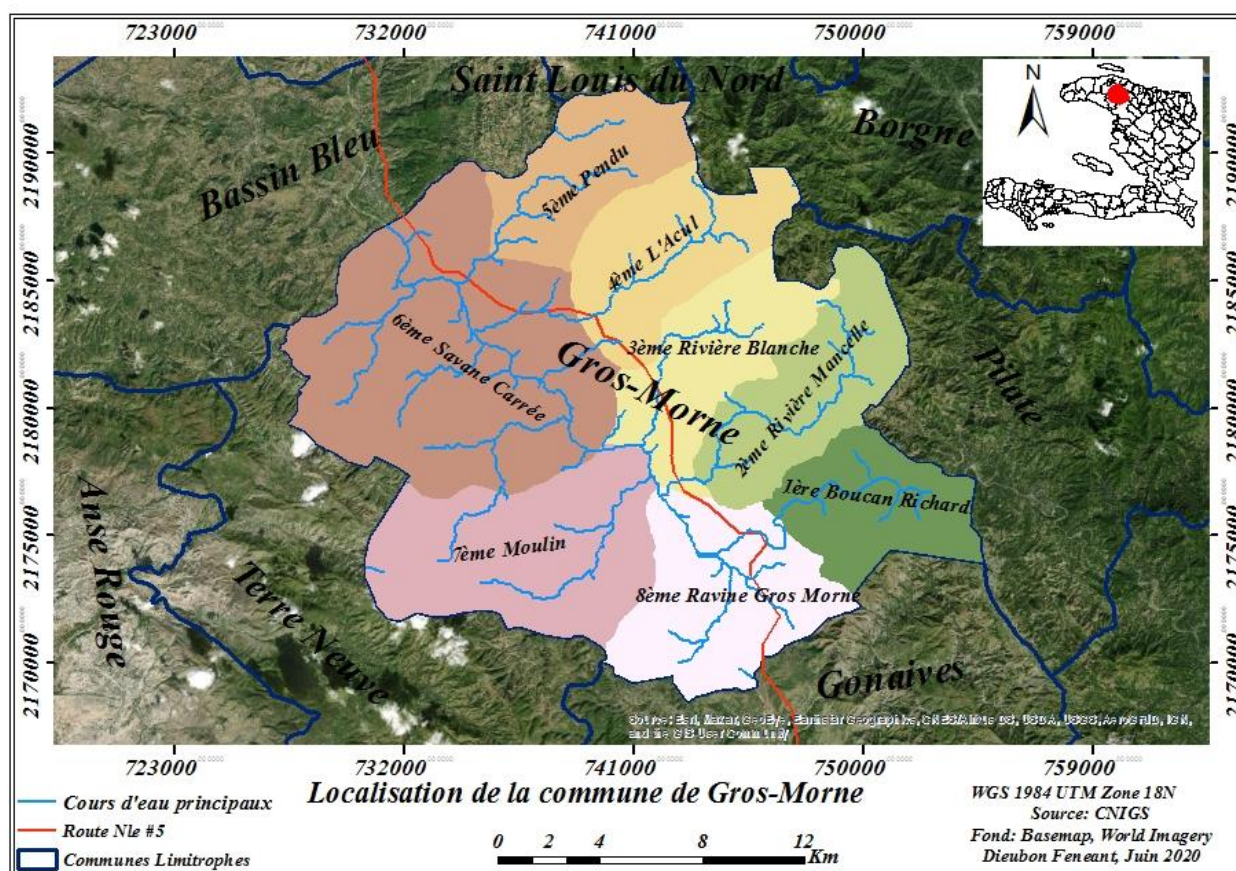


Figure 3. Localisation de la commune de Gros-Morne

3.1.2 Climat de la commune de Gros-Morne

Seulement deux des éléments du climat sont présentés dans cette étude : la pluviométrie et la température.

D'après la carte des caractéristiques climatiques d'Haïti (*Annexe 1a*) réalisée par le MARNDR (2012), le climat de la commune est d'une aridité moyenne. Les données fournies par « Climate Data (Fig. 4) » sur la commune montrent une pluviométrie moyenne annuelle de 1377 mm durant la période allant de 1982 à 2012. La saison pluvieuse s'étend d'avril à novembre, à l'intérieur de laquelle se trouve la saison cyclonique du pays qui s'étend du 1^{er} juin au 30 novembre. A partir de décembre c'est le début de la saison sèche qui va jusqu'à la fin de mars. Le mois le plus sec est le mois de janvier avec des valeurs moyennes de précipitation et de température qui sont respectivement égales à 38 mm et 22, 9 °C. A l'opposé, le mois de mai reste le plus humide avec une précipitation moyenne de 207 mm et une température moyenne de 25, 4 °C.

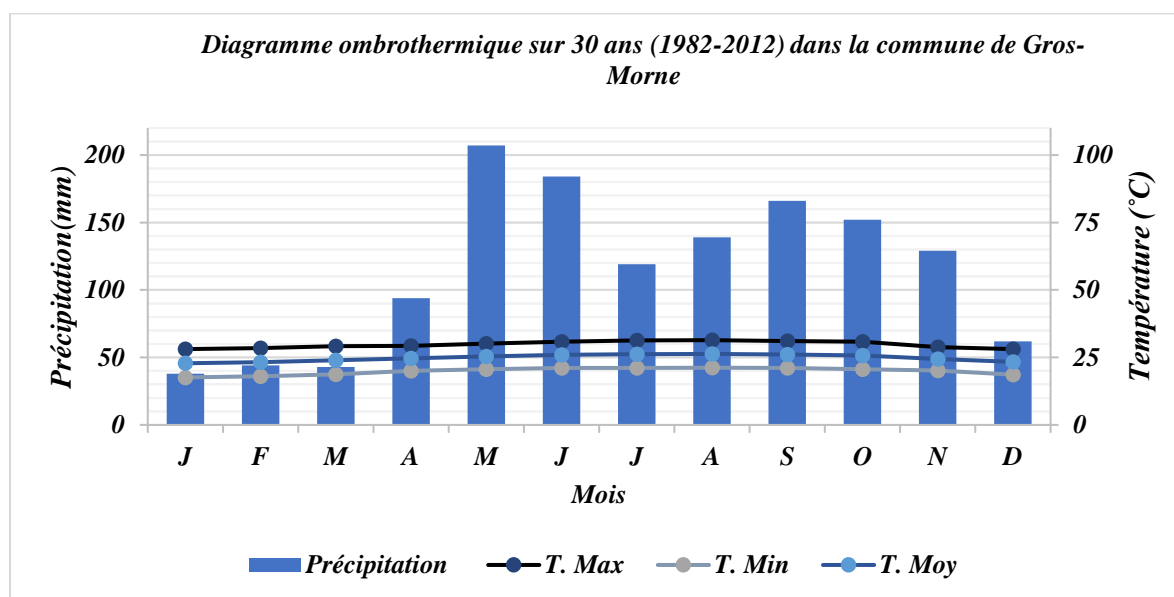


Figure 4. Diagramme ombrothermique sur 30 ans dans la Gros-Morne (Source : CLIMATE_DATA.ORG¹)

3.1.3 Climat² de la section communale de Rivière Mancelle

L'historique météorologique dans la 2^e section communale de Rivière Mancelle montre qu'annuellement la section reçoit en moyenne 786 mm de pluie. Avec une précipitation moyenne de 22, 2 mm, le mois décembre est le mois le plus sec, tandis que le mois septembre

¹ <https://en.climate-data.org/north-america/haiti/artibonite-department/gros-morne-766530/#climate-graph>

² Ces données proviennent de la NOAA, traitées par : https://planificateur.a-contresens.net/amerique-du-nord/haiti/ht_06/2e_riviere_mancelle/12123985.html

est considéré comme le mois le plus pluvieux avec une précipitation moyenne de 120, 2 mm. Le Diagramme ombrothermique (Fig. 5) permet de dire qu'il y a autant de mois secs qu'humides dans cette région. Les mois secs sont ceux situés en dessous de la courbe de température.

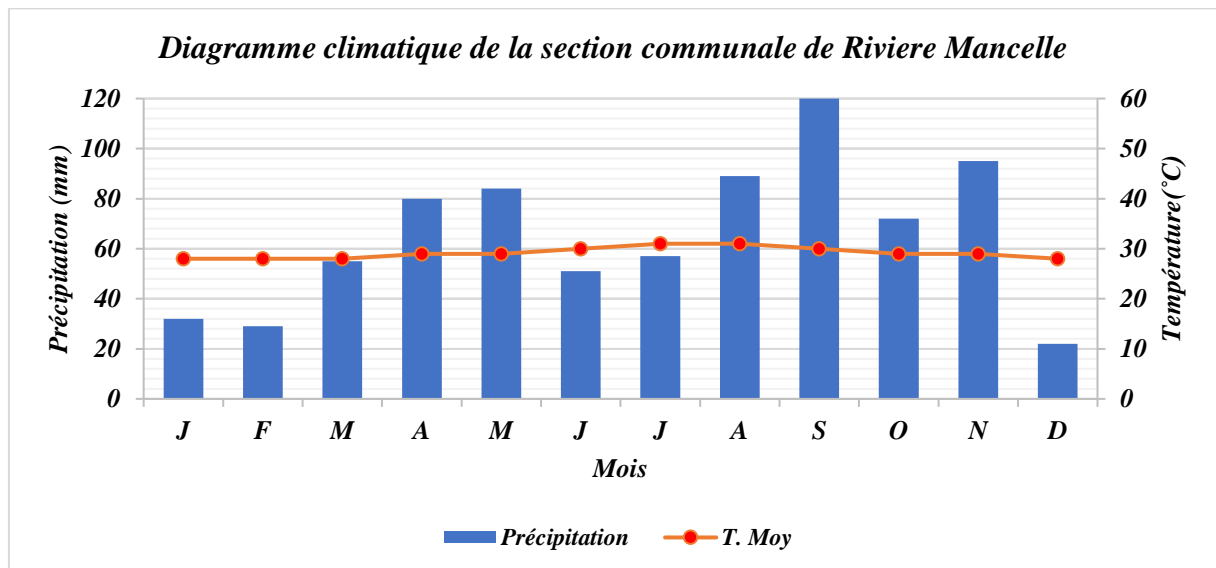


Figure 5. Diagramme ombrothermique à la 2^e section Rivière Mancelle (Source : NOAA)

3.1.4 Relief

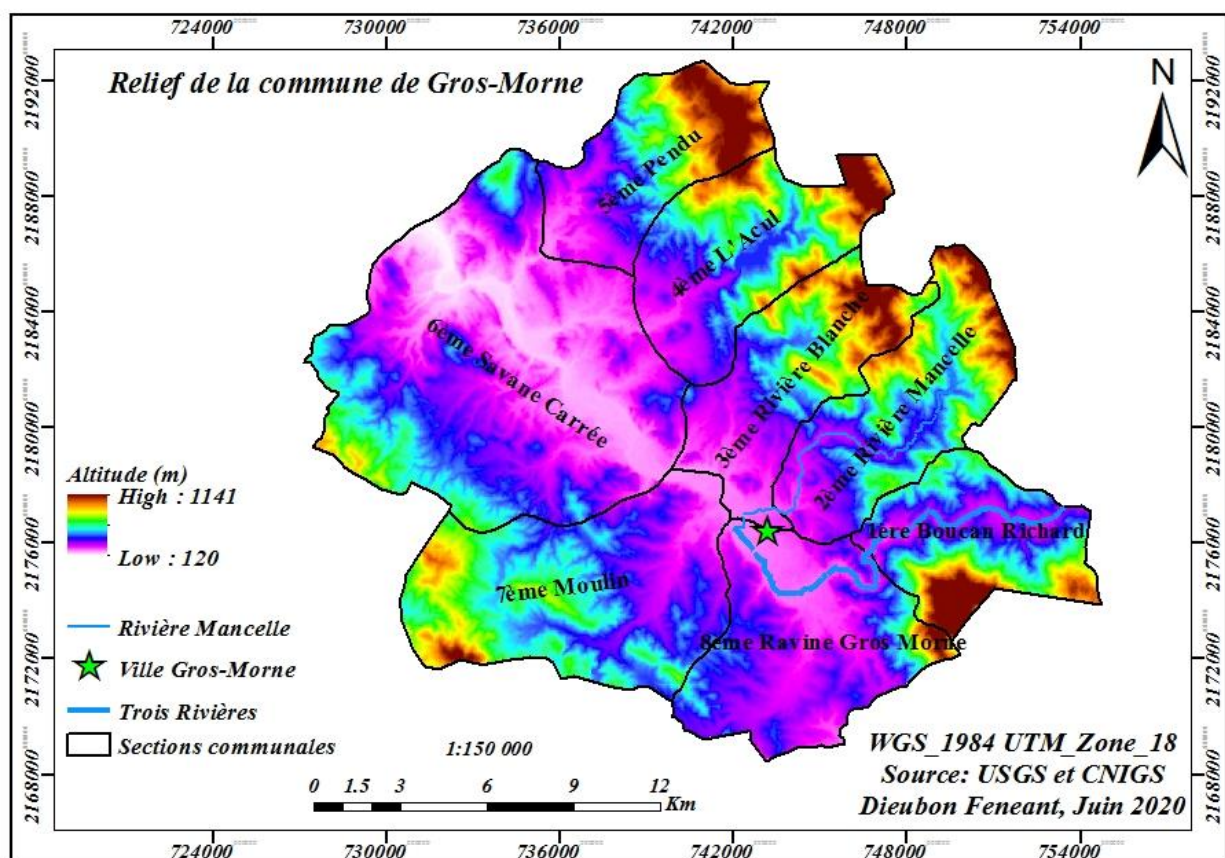


Figure 6. Topographie de la commune de Gros-Morne

Par son nom, Gros-Morne est une commune constituée presque essentiellement de mornes, sa hauteur au-dessus du niveau de la mer varie de 120 m à 1141 m (Fig. 6). Les sections communales comme Acul, Rivière Blanche, Boucan Richard, Pendu et Rivière Mancelle sont les parties les plus montagneuses de la commune. Les parties les plus planes de la commune avec des pentes inférieures à 12% se retrouvent dans les sections de Savane Carrée (6^e) et Ravine Gros-Morne (8^e).

3.1.5 Géologie

Le bassin versant de la région est occupé par plusieurs types de matériaux géologiques (Fig. 7). Il est constitué d'une abondance de calcaire (plus de 70% de la superficie de la commune) en aval, de basaltes (3%) et des andésites (11%) en amont. Les sols de plaines sont alluvionnaires (8%) tandis que ceux des montagnes subissent pour la plupart diverses formes d'érosion (MARNDR, 2003 ; CNIGS, 2005). En résumé les roches sont de deux types, magmatiques (andésites et rhyodacites) et sédimentaires (tous les autres matériaux géologiques)

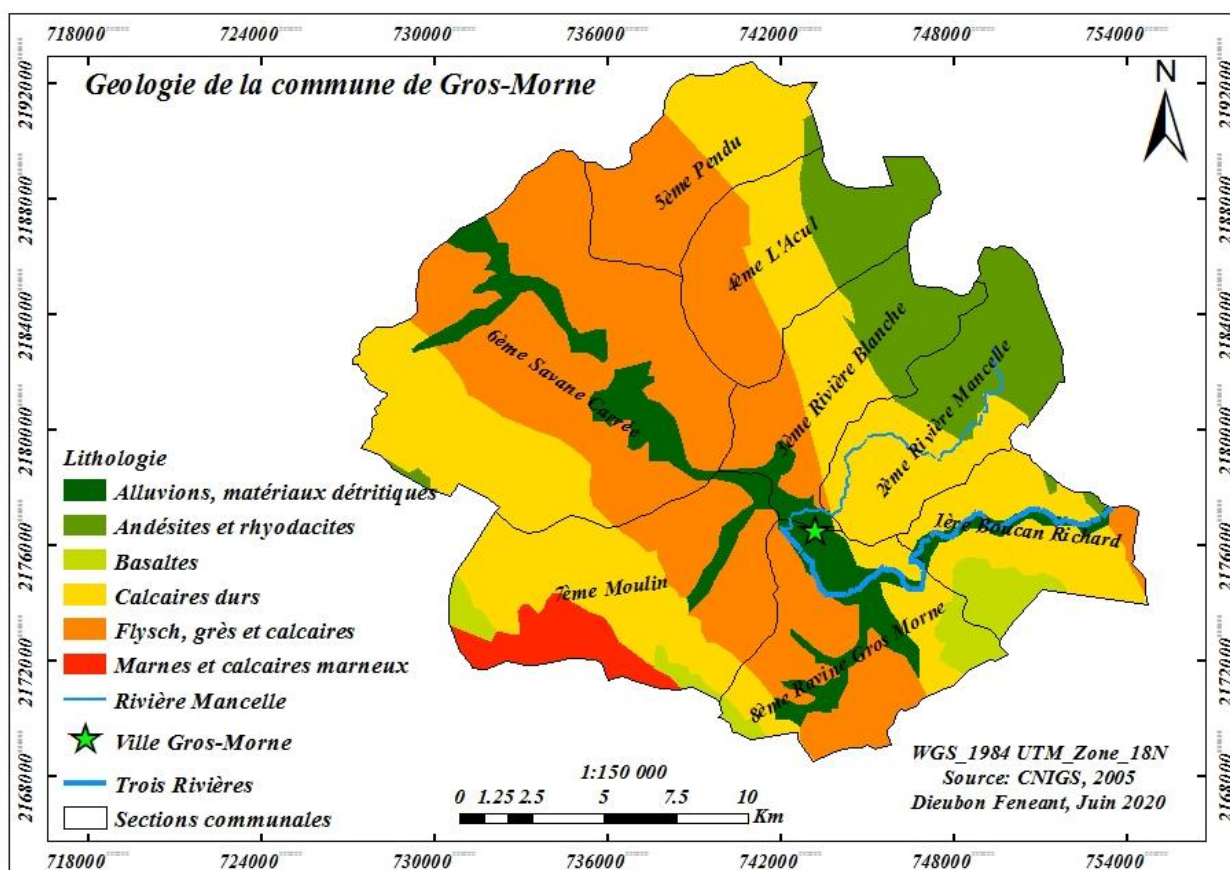


Figure 7. Géologie de la commune de Gros-Morne

3.1.6 Hydrogéologie

Du point de vue hydrogéologique (Fig. 8), la commune est située sur cinq types d'aquifères qui sont :

Les aquifères alluviaux à nappe libre, les aquifères carbonatés et marneux, les aquifères carbonatés et fissurés, les aquifères karstiques et enfin des formations cristallines qui ont été illustrées dans la figure qui vient. Quant à la ville, elle est entièrement située sur des aquifères alluviaux à nappe libre. L'exploitation des eaux souterraines se fait via des puits et des forages réalisés par des institutions multiples dans des divers coins de la ville en vue de satisfaire les énormes besoins en eau de la population.

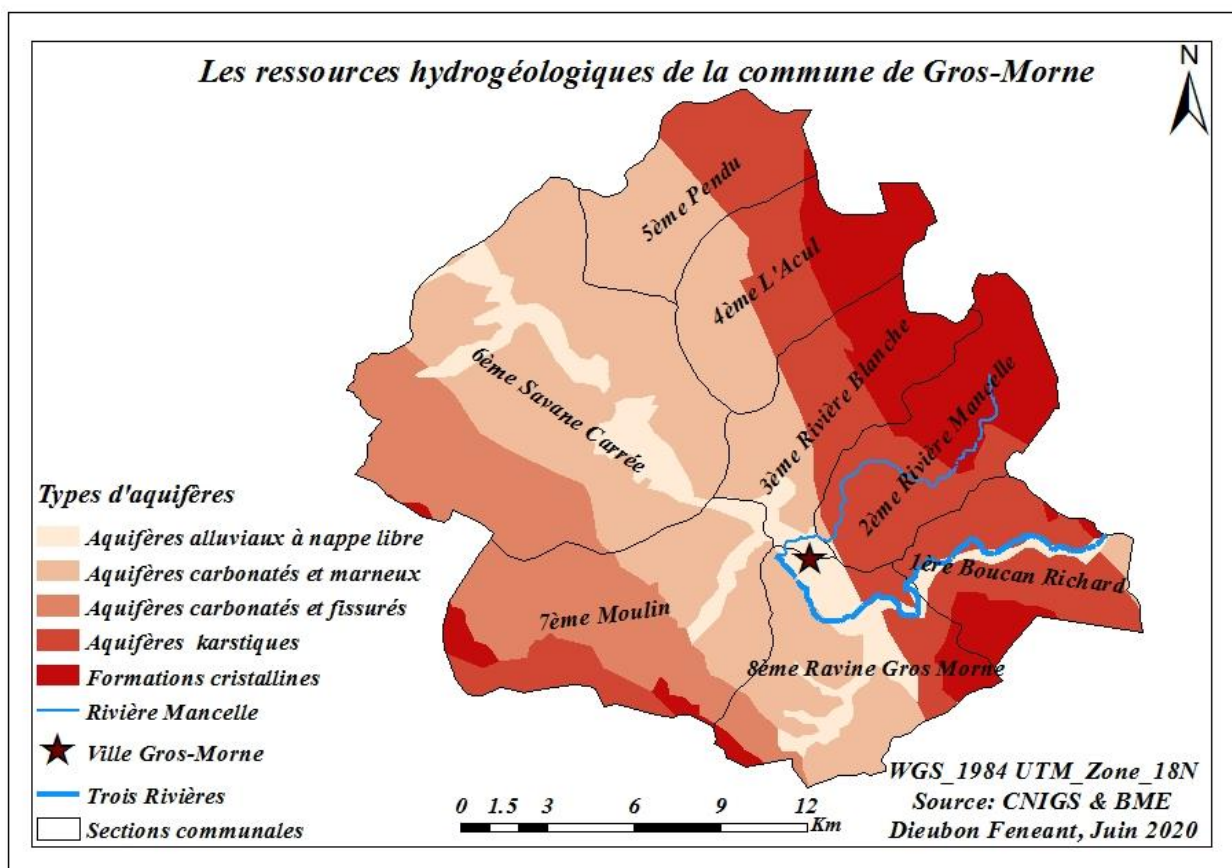


Figure 8. Carte hydrogéologique de la commune de Gros-Morne

3.1.7 Hydrologie

La commune de Gros-Morne dispose des ressources hydriques relativement abondantes. En effet, elle est traversée par « les Trois Rivières », son principal cours d'eau, dont les principaux affluents sont les rivières Pendu, l'Acul, Blanche, Moulin et Mancelle.

3.1.7.1 Courte présentation du bassin versant des Trois Rivières

Le bassin versant des Trois Rivières est l'un des trente grands bassins versants du pays, il a une superficie de 898 km² et un indice de risque d'érosion qui est égal à 70 d'après l'étude réalisée

par Smith (2008) sur la vulnérabilité des bassins versants en Haïti. Selon Chéry (1999), cette rivière a un débit moyen de 6, 5 m³ et un coefficient d'écoulement qui est égal à 18, 6%. Il s'étend sur trois départements, sa principale rivière prend sa source à Plaisance dans le département du Nord, en traversant Pilate qui est également dans le Nord, Gros-Morne dans l'Artibonite, puis le Nord-Ouest où elle traverse Bassin Bleu, Chansolme jusqu'à Port-de-Paix où elle se jette dans l'atlantique.

3.1.7.2 Localisation de la Ville de Gros-Morne par rapport aux Trois Rivières et la Rivière Mancelle

La ville est coincée entre les Trois-Rivières au Sud et à l'Ouest, puis par la Rivière Mancelle au Nord (Fig. 9). Le travail a été concentré sur la Rivière Mancelle à cause du plus grand nombre d'habitant qui logent le long de ses rives. Comme tous les autres bassins du pays, les campagnes de reboisement ne sont pas entreprises au rythme que la coupe anarchique des arbres s'accélère, ainsi les débordements des Trois-Rivières et surtout ceux de la Rivière Mancelle sont devenus de plus en plus menaçants pour la communauté urbaine.

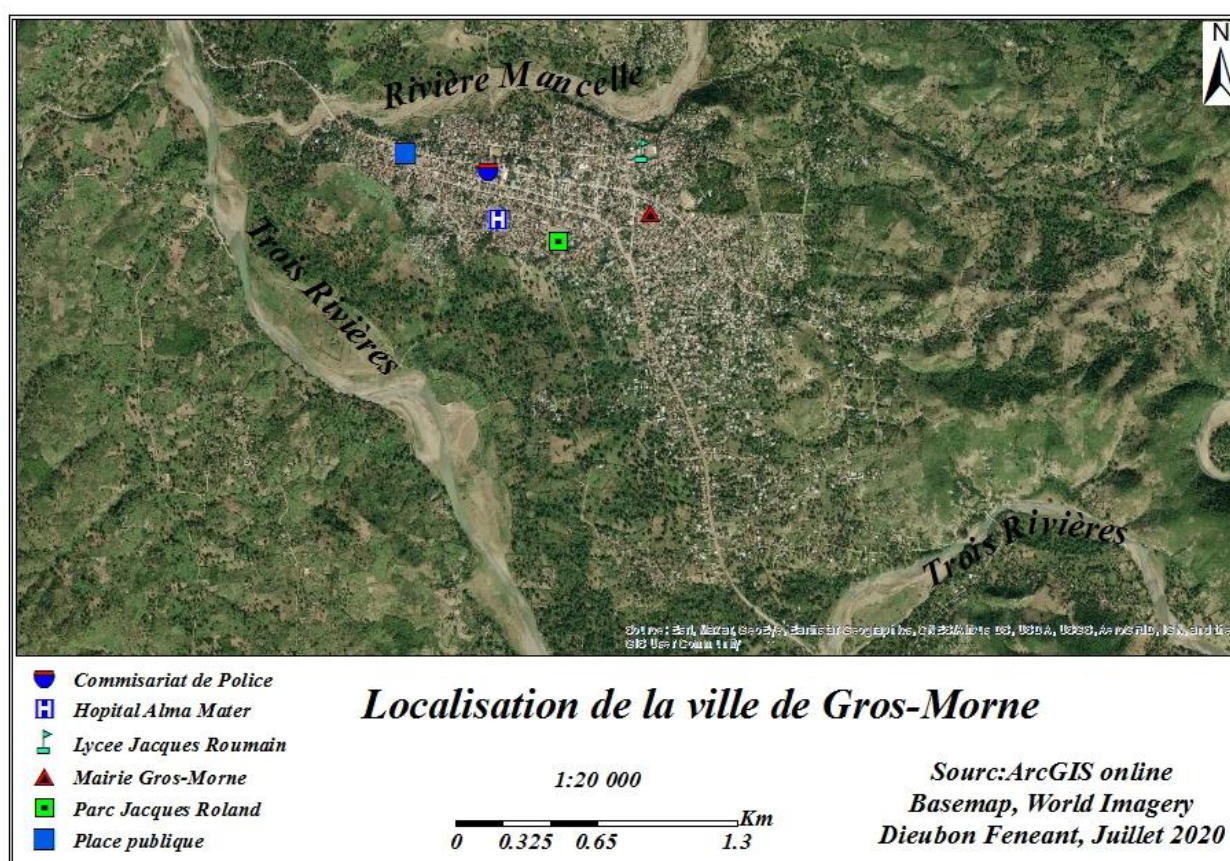


Figure 9. Positionnement de la ville de Gros-Morne par rapport aux Trois Rivières et Mancelle.

3.2 Milieu socio-économique

Nous présentons dans ce cas la population du milieu d'étude, les activités génératrices de revenus, etc...

3.2.1 Population

Selon IHSI (2015), la commune de Gros-Morne compte 155 692 habitants. Avec une superficie de 397 km², cela donne une densité de 392 habitants par km². La répartition de ces habitants suivant les huit (8) sections de la commune se fait selon la figure ci-après.

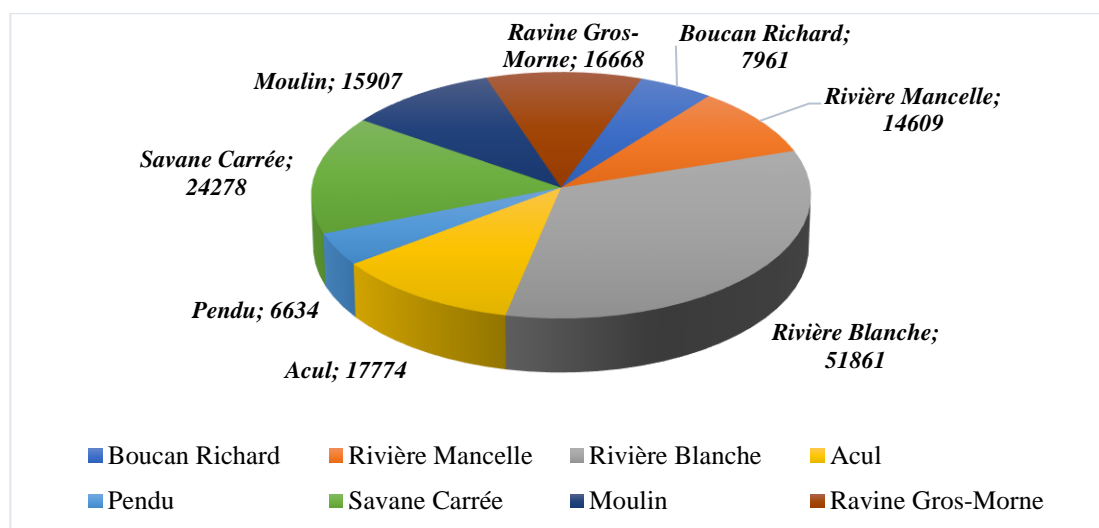


Figure 10. Répartition de la population Gros-Mornaise par section communale en 2015

3.2.1.1 Evolution de la population dans la 2^e section communale de Rivière Mancelle.

La section communale de Rivière Mancelle, au niveau de laquelle prend naissance la rivière Mancelle, est parmi les sections les moins peuplées de la commune. Sa population passe de 13 104 en 2009 à 14609 en 2015 (IHSI, 2009, 2015)

3.2.2 Economie de la commune

L'économie de la commune repose sur l'agriculture, dont la mangue francisque. Elle est la principale culture de rente de la région, elle contribue à 40% au revenu des producteurs et productrices (ITECA, 2018). Depuis 1999, la mangue devient le produit agricole d'exportation principal du pays, dont la commune de Gros-Morne à elle seule en produit près de (75%)³. Durant la période 2000-2009, grâce à la mangue, plus de 72 millions dollars ont été rapportés au pays contre seulement 42 millions pour le café qui cède sa première place à la mangue (KNFP, 2010).

Dans le bassin versant de la Rivière Mancelle, l'économie repose principalement sur la mangue francisque. *Mais pour satisfaire les besoins les plus pressants, les habitants de ce bassin versant*

³ <https://ccfd-terresolidaire.org/nos-publications/rapports/rapport-annuel-2012/la-mangue-francisque-le-4220>

qui vivent dans des conditions économiques très difficiles, s'adonnent à la culture des plantes à cycles courts (haricot, maïs, arachides) et l'exploitation anarchique des arbres dans des pentes où ces pratiques sont interdites pour faire du charbon, de l'ébénisterie et autres (Dorleon et al., 2012).

Chapitre 4. METHODOLOGIE

Dans le but d'atteindre les objectifs fixés et de vérifier l'hypothèse posée, il est important de respecter l'ordre et la séquence des activités à entreprendre tant dans les phases de collecte, dans le traitement des données que dans la rédaction du document final. Ce chapitre explique les différentes démarches entreprises pour avoir les données utilisées, comment et avec quoi les traiter, comment les présenter.

4.1 Matériels et outils

De la collecte des données à la rédaction du document final en passant par le traitement des données, tout un ensemble de matériels et outils ont été exploités.

- Google Earth Pro : Pour visualiser des images historiques sur l'évolution du lit de la rivière par rapport à la ville et aussi l'évolution des habitats aux abords de la rivière,
- ENVI 5.0 : Particulièrement la version classique pour classifier les images Landsat
- ArcGIS 10.7.1 : Pour analyser, traiter les données géospatiales et aussi réaliser toutes les cartes présentées dans l'étude,
- Excel : Pour le calcul du poids des critères d'après l'outil AHP et le traitement des informations recueillies de l'entretien,
- Word : Pour la rédaction du document final.

4.2 Méthodes

A travers ce point, nous tenons à présenter les démarches entamées pour avoir les données que l'on utilise dans ce travail.

4.2.1 Recherche bibliographique

Tout d'abord, nous avons commencé par se documenter à travers des recherches bibliographiques se basant sur des travaux similaires qui ont été réalisés par des auteurs divers dans de régions multiples du monde, ce qui nous a permis de mieux saisir les données nécessaires, mieux formuler et mieux aborder notre travail.

4.2.2 Enquête

Les diverses formes de données collectées via les sites en lignes ne sont pas suffisantes pour la réalisation d'un tel travail, il a fallu les compléter par des mesures et toutes les autres informations possibles dans la zone d'étude. Pour cela, un entretien a été planifié non seulement avec les riverains, mais aussi avec les autorités compétentes de la commune en vue de saisir des points géographiques permettant de valider le travail, recueillir des informations sur les débordements de la rivière à savoir, son étendue, sa profondeur dans les différentes zones, les dommages qu'elle a causés dans le passé, la perception de la population et les interventions

entreprises par les autorités dans l'idée de mitiger le risque dans le futur. Dans l'impossibilité de se rendre sur le terrain en raison de l'évolution de la pandémie, le formulaire a été confié à une personne qu'on juge avoir les compétences nécessaires pour le remplir. Par mesure de prévention, elle a été interrompue à cause de la montée en puissance des cas confirmés COVID-19 en Haïti avant même d'accomplir sa tâche dans toute son intégralité. L'entretien a été continué en ligne par l'auteur mais avec un échantillon restreint de personnes habitant les zones jugées vulnérables.

4.2.2.1 Échantillonnage

Les riverains entendus ont été sélectionnés sur plusieurs bases. Par Facebook et WhatsApp nous avons contacté des personnes dont on sait vraiment qu'elles habitent à proximité de la Rivière Mancelle et qui peuvent nous mettre du même coup en contact avec d'autres personnes de leurs voisinages. Ces nouvelles personnes sont entendues, elles nous fournissent d'autres personnes et ainsi de suite. Au total, notre échantillon est composé de 46 personnes.

4.3 Données collectées

Les différentes méthodes adoptées nous ont permis de compiler d'importantes données pour la réalisation de ce travail. On peut les résumer en deux grands groupes en fonction de leurs origines : le résultat de l'entretien et les données spatiales.

4.3.1 Les données provenant de l'enquête

En raison de la situation, les données utilisées dans ce travail provenant de l'enquête de terrain sont très restreintes. Elles regroupent quelques photos qui ont été prises le long de la rivière par l'enquêteur (Ulysse) et les données sur la perception du risque recueillies lors de l'entretien réalisé en ligne.

4.3.2 Les données spatiales

Ces données sont de diverses catégories et ont été collectées dans des sources multiples. Voyons brièvement le résumé dans le tableau qui suit.

Tableau 3. Typologie et caractérisation des couches téléchargées

Type de données	Caractéristiques/Résolutions	Format	Source
MNT (SRTM) Acquis en février 2000 Publié en septembre 2014	1-ARC	Géotif	USGS Earth Explorer
Landsat 8 2020	Spatiale : 30m*30m Radiométrique : 16 bits Spectrale : 11 bandes	Géotif	USGS Earth Explorer
Couche géologique		Shapefile	CNIGS
Précipitation (TRMM)	Spatiale : 100m * 100m	Géotif	CNIGS
Densité de population	Spatiale : 90m*90m	Géotif	WorldPop
Les images Google Earth		JPEG	...
Limites administratives, routes		Shapefile	CNIGS

CNIGS : <http://haitidata.org/> , USGS Earth Explorer : <https://earthexplorer.usgs.gov/>

4.4 Traitement des données

Les données brutes ont été traitées à l'aide de différents outils avant d'être exploitées dans l'étude. L'importation du Modèle Numérique de Terrain (MNT) dans ArcGIS nous a permis grâce à l'extension dénommée spatial analyst Tools d'extraire le bassin versant de la rivière et du même coup d'effectuer tous les autres calculs afin d'obtenir les couches indispensables à cette étude.

4.5 Présentation des données

Elles sont présentées sous des formes variées, telles que : texte, tableau, histogramme, cartes, photos, etc...

4.6 Cartographie du risque d'inondation dans le bassin versant de la Rivière Mancelle

D'après De Roo et al. (2003), *la gestion intégrée des bassins versants est indispensable dans un processus de réduction de risque d'inondation dans une région donnée, car l'inondation des zones en aval est induite par l'eau provenant d'une zone de plus haute altitude*. C'est dans cette optique que le bassin versant de la Rivière Mancelle a été extraite du MNT, tous les calculs et les démarches que l'on présente dans ce titre sont en rapport direct avec ce bassin versant.

Comme il est défini, le risque est le produit de l'aléa par la vulnérabilité. Quels sont les aléas d'inondation dans le bassin versant de la Rivière Mancelle et quels sont les éléments vulnérables ?

4.6.1 Aléas

A travers les recherches bibliographiques, nous avons fait face à toute une large gamme de facteurs pouvant influencer le phénomène d'inondation dans une région donnée. En raison de

leur degré d'implication et l'inaccessibilité à certains, ce travail n'a pris en compte que cinq d'entre eux, ce sont :

- ✓ **Pente (figure 11c) :** *La pente est le résultat de l'angle formé par une zone de terre avec le relief horizontal* (Gayen et al. 2013). La pente d'une zone joue un rôle déterminant dans le calcul de son risque d'inondation. Ouma et Tateishi (2014) expliquent que la pente a une empreinte significative sur la vitesse, la direction et le débit de l'écoulement de surface et aussi la durée de l'infiltration. L'eau se dirige généralement des endroits de forte pente vers ceux de faibles pentes, dans les zones très pentues elle coule à une vitesse plus élevée puis a tendance à se stagner dans les zones de plaines.
- ✓ **Altitude/ Elévation (figure 11a) :** Selon Stieglitz et al. (1997), *la vitesse de l'écoulement, l'étendue et la profondeur de l'eau dans une région donnée sont extrêmement conditionnées par son altitude*. Les régions de plaines sont plus sujettes aux inondations en raison de leurs faibles altitudes qui réduisent leur capacité à redistribuer l'eau de grande vitesse venant des montagnes. Selon Botzen et al. (2013), il est un événement incertain de trouver une inondation en haute altitude.
- ✓ **L'occupation du sol (figure 11) :** L'évaluation des risques d'inondation, l'aménagement urbain et la mitigation des catastrophes sont devenus difficiles en raison des processus d'infiltration, de drainage et de débit des eaux de pluie au niveau des décharges qui sont impactés par l'occupation des sols (Gupta et Nair, 2010). Pour Wheeler et Evans (2009), l'une des façons que l'on peut expliquer les conséquences des occupations du sol sur la maîtrise de l'eau est à travers l'expansion urbaine. A ce stade, les zones en aval et aux abords des rivières sont devenues plus sujettes aux inondations suite à la coupe des arbres qui rendent plus importante le processus et le débit de ruissellement contrairement à l'infiltration qui tend à chuter.
- ✓ **La lithologie (figure 11d) :** La lithologie et le type de sol dans une région sont des éléments essentiels à prendre en compte dans un travail visant l'étude des inondations. Mojaddadi et al. (2017) *montrent que les propriétés du sol telles que sa composition et sa structure influent largement sur l'écoulement de l'eau tant en surface qu'en profondeur*. Lithologiquement, notre zone d'étude est répartie en quatre secteurs et la partie la plus importante pour nous est située entièrement sur des alluvions et des matériaux détritiques.
- ✓ **Distance par rapport au cours d'eau (figure 11e) :** *La distance séparant une localité d'une rivière est l'un des facteurs piliers définissant son exposition par rapport aux débordements de cette rivière* (Heryanti et Kingma, 2012). Glenn et al. (2012), montrent à travers leur étude

que cette distance conditionne la vitesse de l'eau et l'aire mouillée par une rivière en crue. Donc, les populations les plus proches des berges sont plus enclines à subir des dommages que celles les plus éloignées.

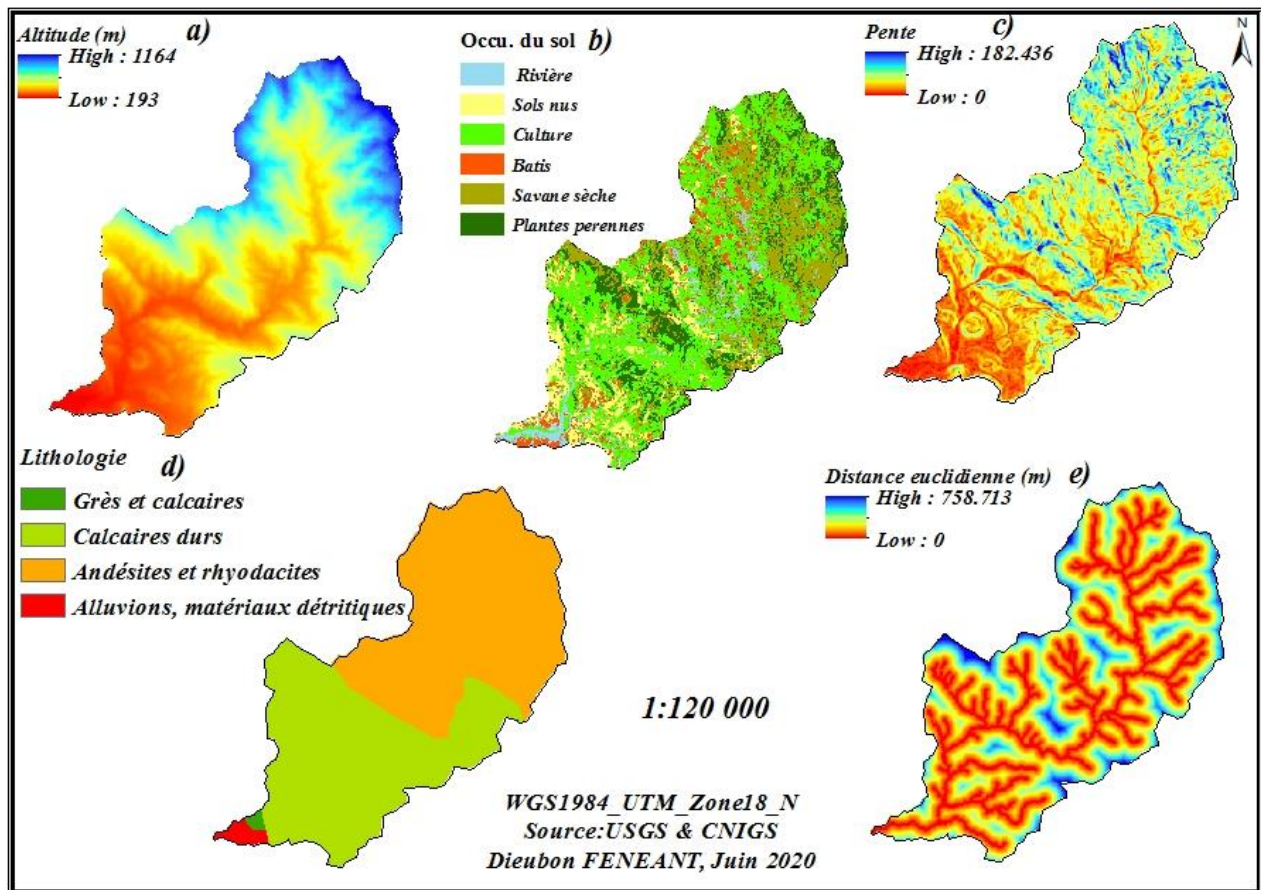


Figure 11. Les couches utilisées comme données d'entrée pour étudier la susceptibilité aux inondations des localités.

4.6.2 Eléments vulnérables / Enjeux

Dans tout le bassin versant en question, les éléments qui sont exposés à la violence de la rivière sont très nombreux, parmi lesquels il y a les cultures, les plantations de mangue francisque, les infrastructures agricoles, les réseaux d'adduction d'eau potable, les habitations, les routes et la population. Toutefois, en raison d'un manque de données disponibles dans le pays et plus précisément dans notre zone d'étude, la réalisation de cette étude a été centrée sur trois éléments importants, qui sont : la densité de population, le réseau routier et l'occupation de sol, précisément les habitations et les cultures.

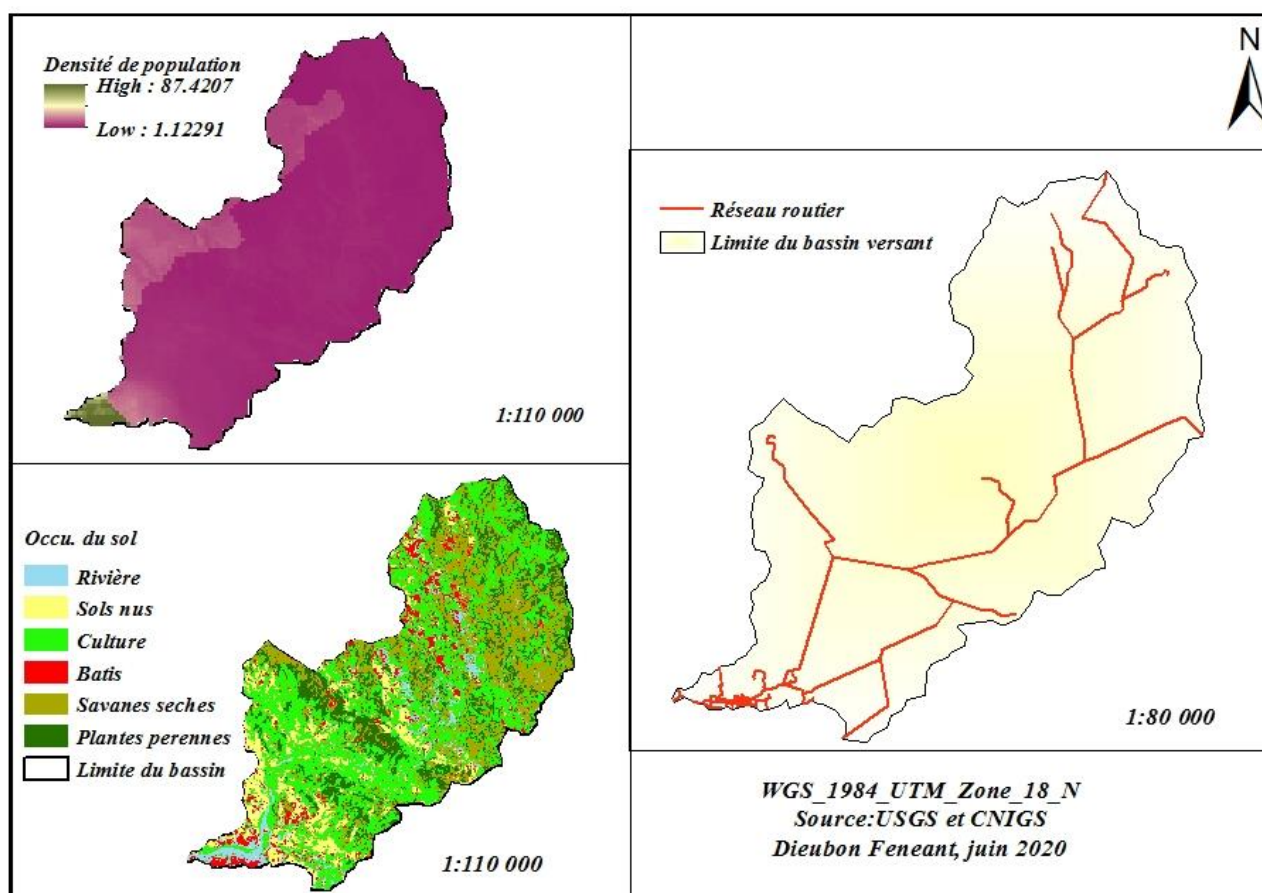


Figure 12. Éléments exposés aux inondations dans le bassin Mancelle

4.6.3 Méthode d'obtention de ces données

Les données utilisées dans le cadre de ce travail ont des provenances multiples :

- La pente, l'altitude et la distance par rapport aux cours d'eau ont été tous extraits à partir du MNT dont les caractéristiques sont décrites dans le paragraphe 4.3.
- L'occupation du sol été obtenue par classification supervisée dans ENVI d'une image Landsat 8 prise le 1^{er} juin 2020 par le capteur OLI_TIRS.
- La couche lithologique a été téléchargée depuis le site du CNIGS

La figure suivante représente un résumé des opérations effectuées sur le MNT afin d'extraire le bassin versant et certaines couches nécessaires dans l'étude.

4.7.1 C'est quoi AHP ?

L'Analyse Hiérarchique des Procédés (AHP) est un outil qui a été élaboré par Saaty en 1980. Il rend possible la définition des priorités en réalisant des analyses comparatives deux à deux (Saaty, 1980, 1986, 2003). C'est un outil qui est utilisé dans une large gamme de domaine où la nécessité de prise de décision se fait sentir. D'après Saaty (2008), son outil a déjà été utilisé et a donné de très bons résultats dans l'administration publique, dans le sport, dans l'admission des étudiants, promotion des militaires, dans les compagnies de moteur, etc. D'après Thinh et Vogel (2007), cette méthode offre des avantages multiples dans ses utilisations, telles : spécialistes et associés peuvent tous participer au moment de l'analyse, elle est facilement utilisable, elle permet de décortiquer le problème en des entités qu'elle classe en rang. Vu tous ces avantages, pour la réalisation de ce travail cet outil a été sélectionné parmi les différents outils d'Analyse Décisionnelle à Critères Multiples et utilisé en couplant aux systèmes d'information géographique en vue de pondérer nos différents critères.

4.7.2 Comment il fonctionne ?

D'après Saaty (2008), produire des priorités de façons organisées à partir de décisions prises nécessite que ces décisions soient scindées en plusieurs séquences ou étapes.

- i. Bien cerner le problème et bien identifier les données attendues
- ii. Organisation de la hiérarchie ou la pyramide des décisions
- iii. Création des matrices de comparaison ou les éléments à tous les niveaux seront comparées deux à deux

La comparaison se fait suivant une échelle de valeur précisant combien de fois un critère est plus important qu'un autre. L'échelle proposée par Saaty se présente comme suit :

Tableau 4. Echelle de comparaison de Saaty (1980)

<i>Degré d'importance</i>	<i>Définition d'importance</i>
1	Egale
2	Légère ou faible
3	Modérée
4	Modérée plus
5	Forte
6	Plus forte
7	Très forte
8	Très très forte
9	Extrême forte

Tableau 5. Présentation de la Matrice de comparaison pour les cinq critères choisis

Critères	Pente	Altitude	Occupation du sol	Distance aux Cours d'eau	Lithologie
Pente	1	2	3	2 1/2	5
Alt	1/2	1	2 1/2	2	4 1/2
OS	1/3	2/5	1	2 1/2	3 1/2
DCE	2/5	1/2	2/5	1	4
Lithologie	1/5	2/9	2/7	1/4	1
Total	2 3/7	4 1/8	7 1/5	8 1/4	18

Avec : Alt : Altitude, DCE : Distance aux cours d'eau, OS : Occupation de sol

- iv) Déterminer le poids de chaque priorité : Ce calcul se fait en plusieurs temps :
- En calculant la somme de chaque colonne de la matrice de comparaison (comme c'est déjà fait dans la matrice précédente),
 - En normalisant la matrice de comparaison, c'est-à-dire en créant une nouvelle matrice contenant comme éléments le quotient de chaque élément de la matrice de comparaison par la somme de leur colonne respective,
 - En dernier lieu en calculant la moyenne de chaque ligne de la matrice normalisée et les classer en ordre. (b et c se font dans le tableau qui suit)

Tableau 6. Poids des facteurs influençant l'inondation

Critères	Pente	Altitude	Occupation du sol	Distance aux Cours d'eau	Lithologie	Somme ligne	Poids
Pente	0.411	0.485	0.417	0.303	0.278	1.894	0.379
ALT	0.205	0.243	0.348	0.242	0.250	1.288	0.258
OS	0.137	0.097	0.139	0.303	0.194	0.871	0.174
DCE	0.164	0.121	0.056	0.121	0.222	0.685	0.137
Lithologie	0.082	0.054	0.040	0.030	0.056	0.262	0.052

- v) Evaluation du ratio de consistance (CR)

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1) \quad CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (2) \quad \gamma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{ci}{Pi} \quad (3)$$

Avec CR : ratio de consistance, CI : l'indice de consistance, λ : le vecteur de consistance, n : le nombre de critères sous étude, Pi : le poids de chaque critère et RI : l'indice aléatoire dont la valeur a été choisie à l'aide du tableau suivant :

Tableau 7. Valeur de l'indice aléatoire (RI)d'après Saaty (2004)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.4	1.45	1.49

Comme on a cinq critères, dans notre cas n=5 et RI=1.11

Ainsi, les valeurs des « ci » sont calculés : $A \cdot P = c$, la matrice A est déduite de la matrice de comparaison en y appliquant la formule qui suit :

$$\begin{array}{cccccc} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} & p_1 & c_1 \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} & p_2 & c_2 \\ \dots & & 1 & & a_{3n} & p_3 & c_3 \\ \dots & & & 1 & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & \dots & 1 & p_n & c_n \end{array} \quad X \quad =$$

D'où l'on arrive à la matrice qui suit

Tableau 8. Paramètres de calcul du ratio de consistance

A						Pi	A*Pi=ci	ci/pi
Critères	Pente	Altitude	Occupation du sol	Distance aux Cours d'eau	Lithologie			
Pente	1	2	3	2 1/2	5	0.379	2.021	5.333
Alt	1/2	1	2 1/2	2	4 1/2	0.258	1.392	5.402
OS	1/3	2/5	1	2 1/2	3 1/2	0.174	0.929	5.336
DCE	2/5	1/2	2/5	1	4	0.137	0.696	5.085
Lithologie	1/5	2/9	2/7	1/4	1	0.052	0.269	5.146

En revenant aux différentes équations, on obtient : (3) $\gamma = 5.26$, (2) $CI = 0.065$ et (1) notre fameux $CR = 0.059 < 0.1$, donc les poids de nos critères sont raisonnables

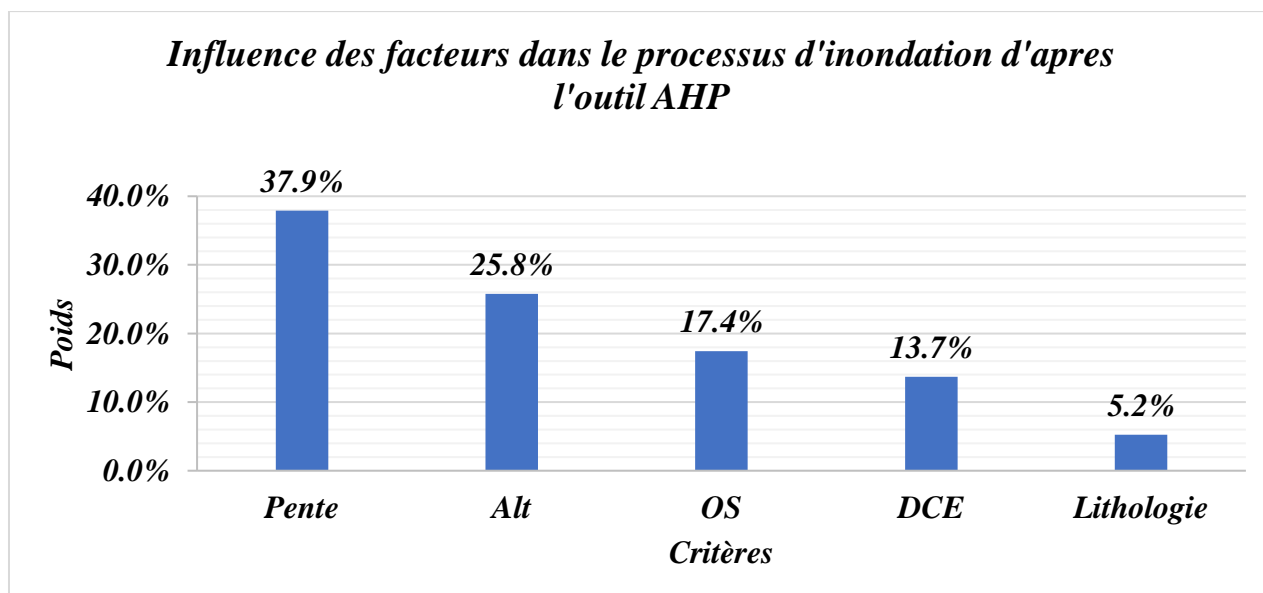


Figure 14. Pourcentage d'influence(poids) des aléas

En utilisant le même outil AHP, on est parvenu à calculer le poids des trois critères considérés comme éléments exposés(enjeux) aux inondations dans le bassin versant, ainsi ils sont repartis d'après l'histogramme ci-après.

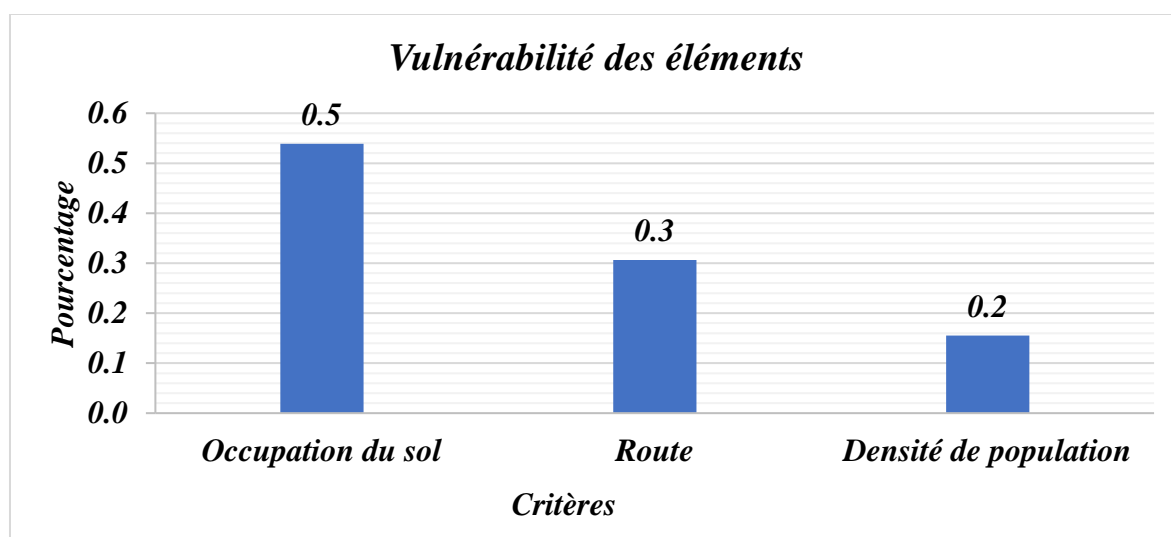


Figure 15. Vulnérabilité des éléments dans la rivière ($CR=0.068 < 0.1$, raisonnable)

4.7.3 Pondération des différentes classes d'aléas

A chaque classe, nous avons assigné un rang (1-9) en fonction de l'importance de son implication dans le processus de l'inondation dans une région donnée. A titre d'exemple, pour la pente et l'altitude, plus elles sont élevées, moins la zone est susceptible à l'inondation. Dans ce cas, elles se sont assignées d'un rang moins important. De même, plus la zone est proche des cours d'eau, plus elle est susceptible à l'inondation, donc les rangs assignés aux classes de ce facteur sont inversement proportionnels à leur valeur.

Tableau 9. Rang des différences classes d'aléas

Aléas d'inondation	Pondération	Classe	r
Pente (%)	0.379	0-10	9
		10-20	7
		20-25	5
		25-30	3
		30-182.4	1
Altitude(m)	0.258	193-205	9
		205-217	7
		217-229	5
		229-241	3
		241-1164	1
Occ. Sol	0.174	Rivière	1
		Culture et Sols nus	5
		Bâtis	6
		Savanes sèches et Arbres pérennes	2

DCE	0.137	0-50	9
		50-100	7
		100-150	5
		150-200	3
		200-758.7	1
Lithologie	0.052	Grès et calcaires	3
		Calcaires dures	2
		Andésites et rhyodacites	1
		Alluvions, matériaux détritiques	7

4.7.4 Pondération des différentes classes d'enjeux

Pour les enjeux, ils sont aussi assignés d'un rang allant de 1-9 en fonction de leur densité et leur proximité qui amplifie le niveau de dommage qu'il peut subir lors d'un débordement. Les zones où la densité de population est plus élevée sont assignées d'un rang plus élevé que là où elle est plus faible.

Tableau 10. Rang des différences classes d'enjeux

Criteres	Pondération	Classe	Rang
Occupation des sols	0.5	Rivière, sols nus, savanes sèches	1
		Arbres pérennes	2
		Cultures	7
		Bâtis	8
Distance aux routes(m)	0.3	<25	9
		25-50	7
		50-75	5
		75-100	3
		>100	1
Densité de population	0.2	1.12 - 7	1
		7-14	3
		14 - 28	5
		28 - 50	7
		50 – 87.4	9

4.8 Calcul des indices d'aléa, de vulnérabilité et du risque

Ce calcul a été en utilisant les poids des critères qui ont été déterminés à partir de l'AHP

➤ Soit IA l'indice d'aléa

$$IA = 0.379 * \text{Pente} + 0.258 * \text{Alt} + 0.174 * \text{OS} + 0.137 * \text{DCE} + 0.052 * \text{Lithologie}$$

➤ Soit IE l'indice de vulnérabilité

$$IE = 0.30 * \text{Route} + 0.20 * \text{Densité de population} + 0.50 * \text{Occupation du sol}$$

Après avoir déterminé l'aléa et les enjeux, on peut revenir au risque qui est obtenu par la superposition de la carte d'aléa et celle des enjeux. Les démarches permettant d'aboutir à cette carte se résument à travers le modèle suivant.

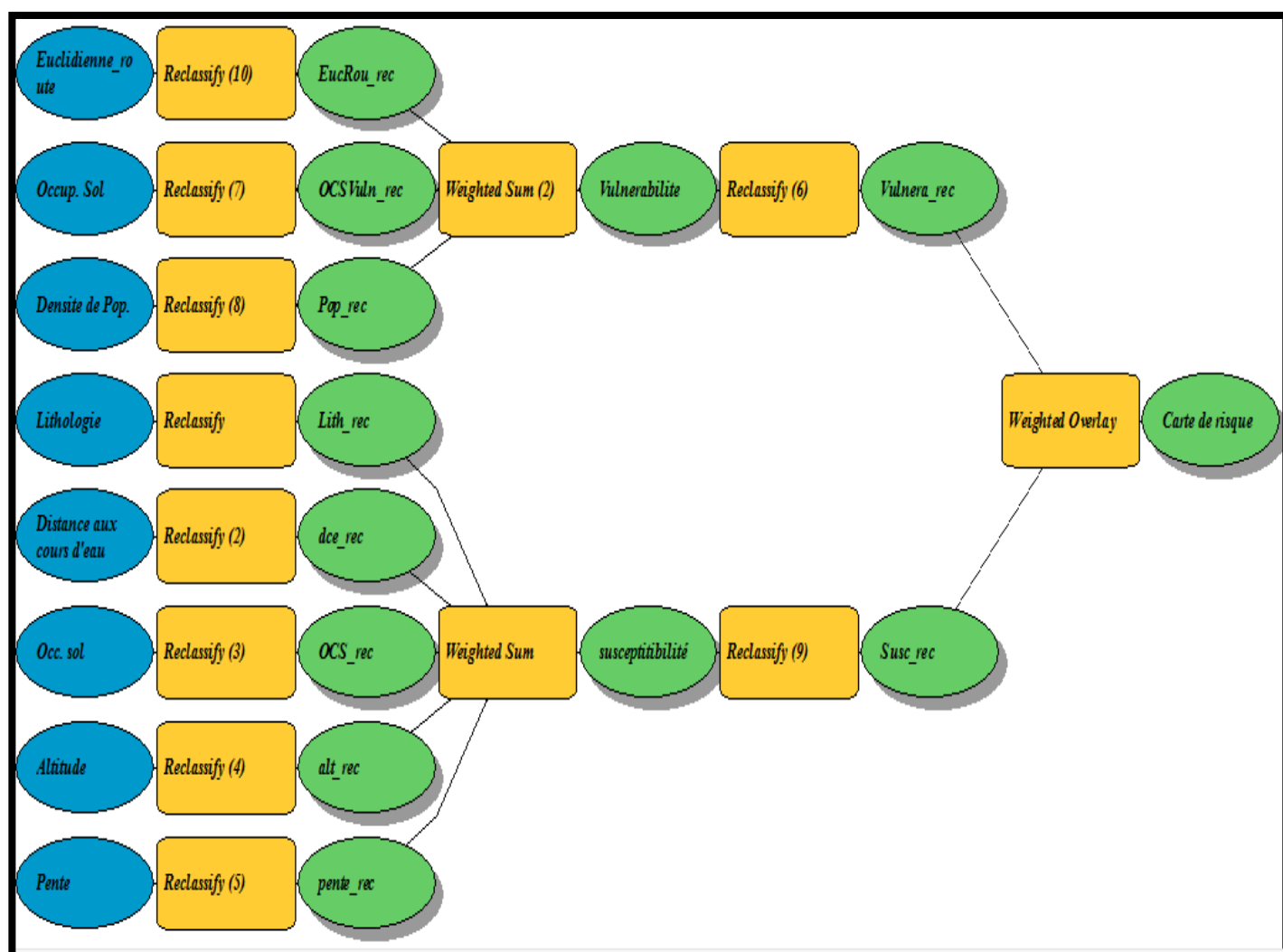


Figure 16. Résumé de la cartographie du risque à partir du model Builder

Chapitre 5. *RESULTATS ET DISCUSSION*

Les résultats de l'étude sont présentés à travers des textes, des cartes, des photos, des tableaux et des histogrammes qui sont mis en discussion étape par étape en s'appuyant sur le cadre théorique du travail.

5.1 *Délimitation et présentation du bassin versant de la Rivière Mancelle*

Le bassin versant de la Rivière Mancelle (Fig. 17), notre priorité dans le cadre de cette étude, est un des sous bassins des Trois-Rivières. Son principal cours d'eau prend sa source au Nord de la commune au niveau de la deuxième section communale qui s'appelle Rivière Mancelle et porte du même coup son nom. Ses lignes de crête en amont constituent les zones de délimitations entre les administrations communales de Gros-Morne et de Pilate. Il a une superficie de 46, 5 km² et est constitué de 264 cours d'eau pour une longueur totale de 80, 15 km, dont 118 d'ordre 1, 66 d'ordre 2, 27 d'ordre 3 et 53 d'ordre 4 d'après la classification de Strahler.

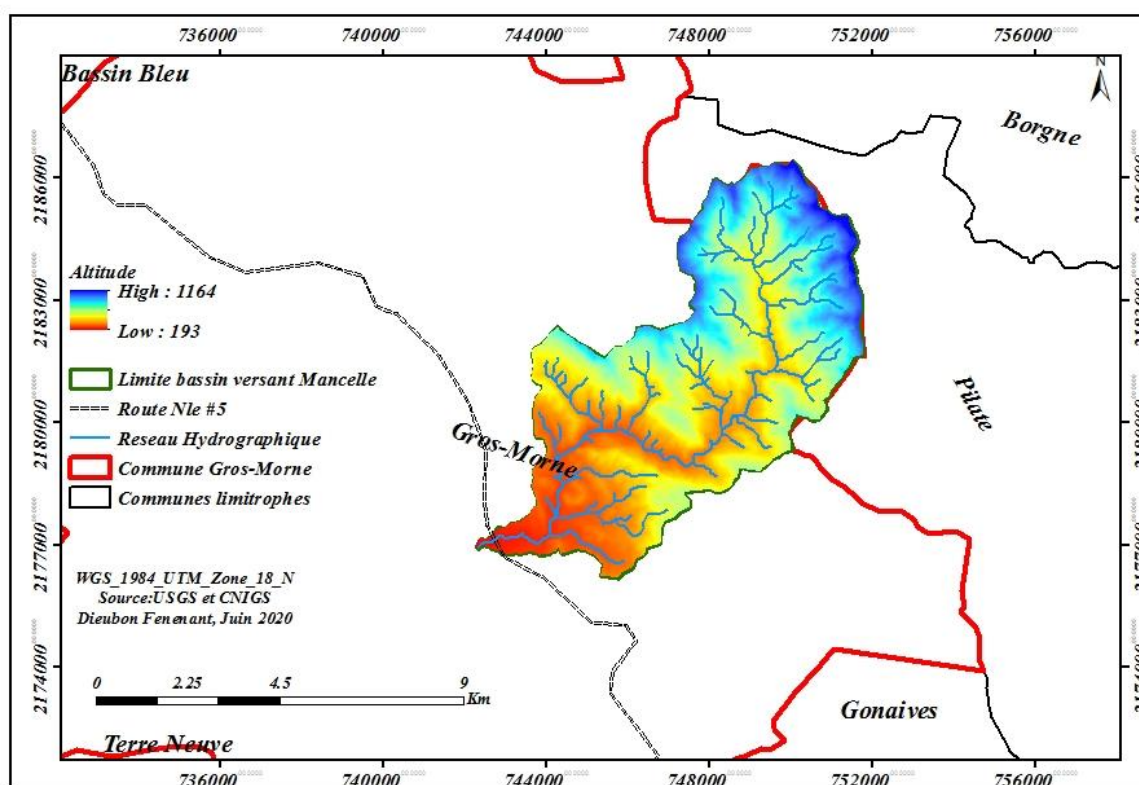


Figure 17. Localisation du bassin versant de la Rivière Mancelle

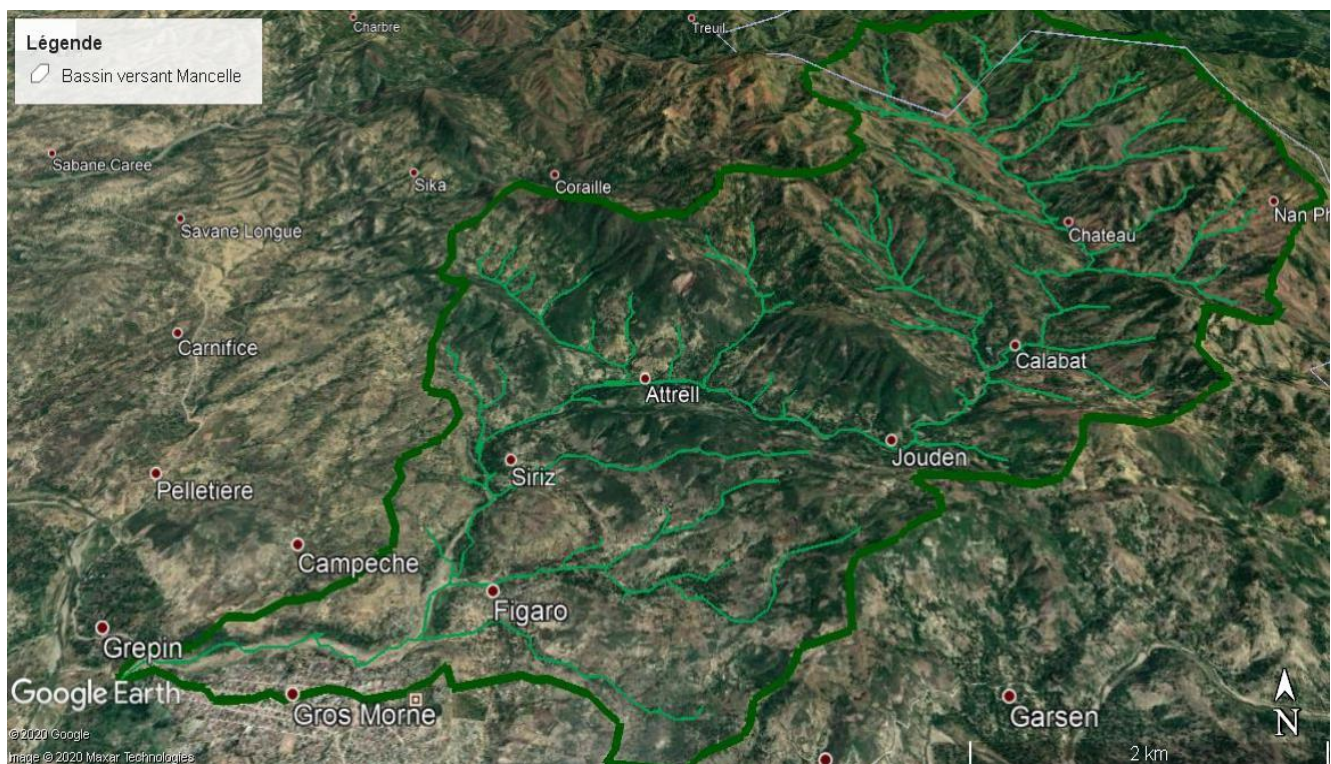


Figure 18. Une vue en 3D du bassin versant de la Rivière Mancelle sur Google Earth

5.1.1 Caractéristiques du bassin versant de la Rivière Mancelle

A l'aide de l'ArcGIS, certains paramètres définissant un bassin versants ont été calculés et présentés dans le tableau ci-dessous

Tableau 11. Caractéristiques du bassin versant Mancelle

Paramètres	Formule	Valeurs
Périmètre (m)	---	37.81
Superficie (km ²)	---	46.50
Altitude minimale(m)	---	193
Altitude maximale(m)	---	1164
Classe de pente (%)		0-182
Densité de drainage (km ⁻¹)	$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$	1.72
Densité hydrographique	$F = \frac{\sum N_i}{A}$	5.68
Indice de compacité de Gravélius	$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} \approx 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$	1.55

Source : Ces paramètres ont été calculés à l'aide du MNT téléchargé depuis le site de l'USGS

Avec Li : Longueur d'un cours d'eau, Ni : Nombre de cours d'eau

5.2 Aléa d'inondation dans le bassin versant de la rivière Mancelle

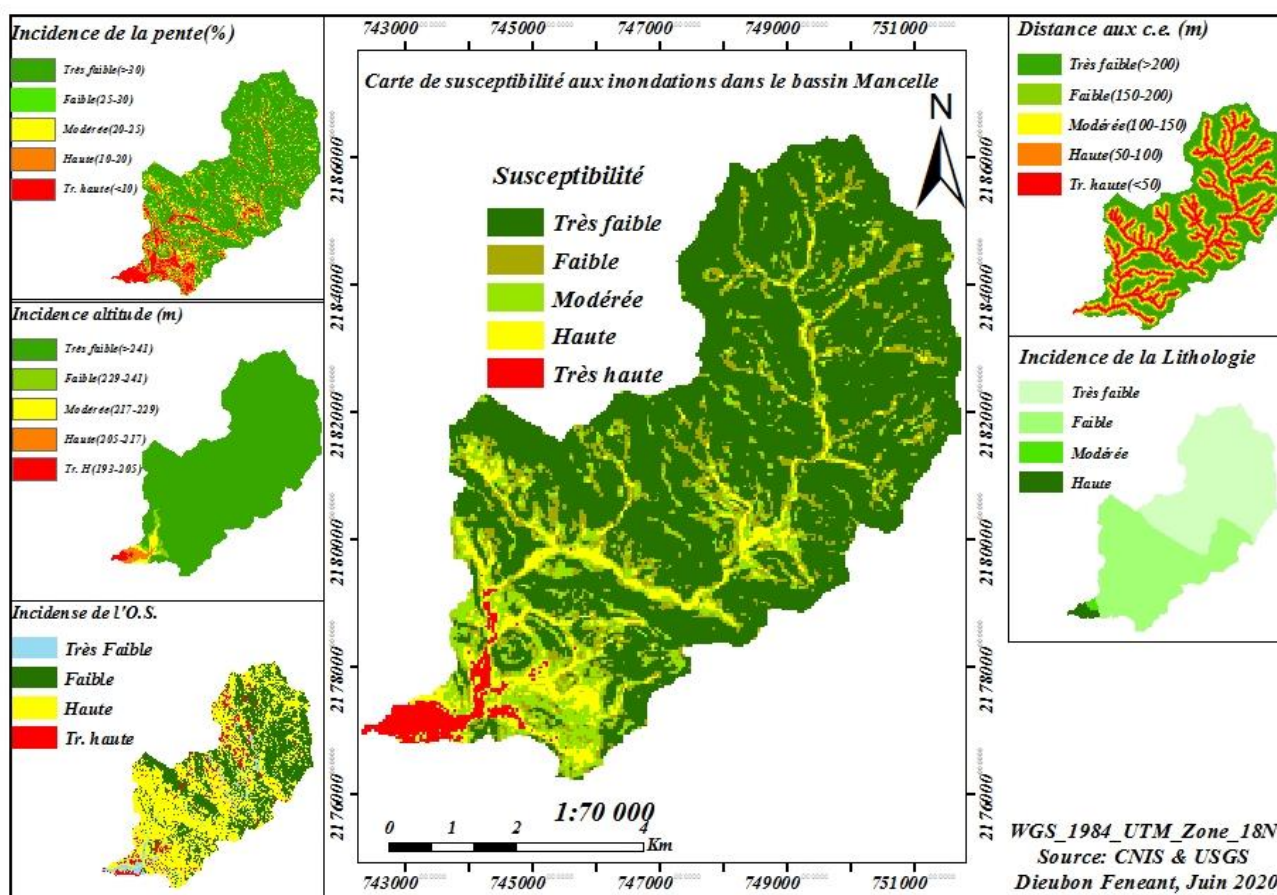


Figure 19. Carte de susceptibilité des zones aux inondations dans le bassin Mancelle

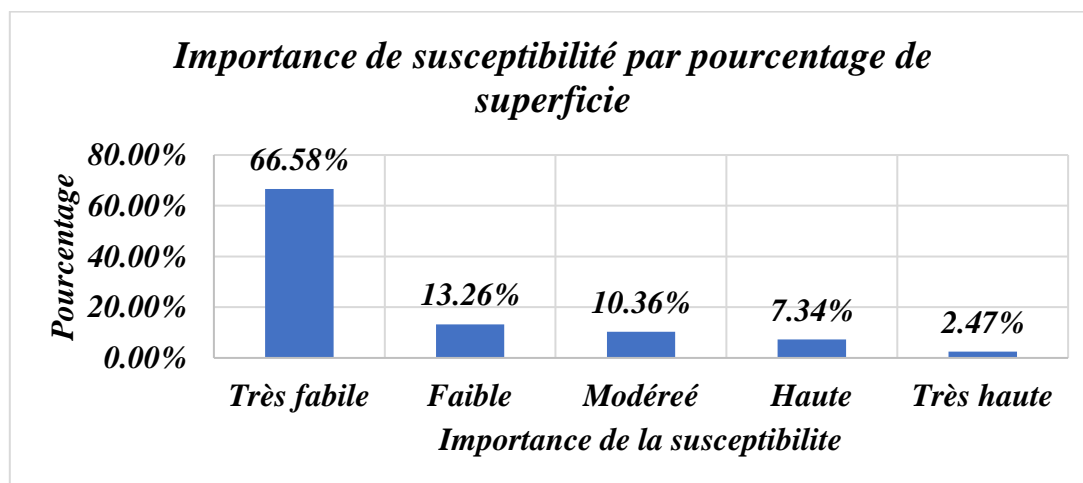


Figure 20. Répartition du niveau de susceptibilité par pourcentage de superficie

La somme pondérée de ces cinq couches, à savoir la pente, l'altitude, la distance par rapport aux cours d'eau, la lithologie et l'occupation des sols nous a permis d'apprécier l'importance de la susceptibilité (Fig. 19) aux inondations dans les différentes localités du bassin Mancelle. Cette susceptibilité a été calculée à partir d'un indice variant de 1 à 8, 4. Ce dernier a été reclassifié en cinq classes baptisées en très haute, haute, modérée, faible et très faible qui

s'étendent sur une superficie représentant respectivement 2.47%, 7.34%, 10.36%, 13.26 % et 66.58% du bassin versant.

Toutefois, la validation de cette carte a été contrariée par l'impossibilité de saisir des points GPS sur le terrain. Cette phase de terrain nous aurait permis de nous entretenir avec les riverains afin d'enregistrer des informations sur l'étendue des débordements et la hauteur d'eau en différents points. De fait, nous nous sommes basés seulement sur des images Google Earth, des photos prises peu de temps après les débordements de 2006, 2007 et 2008 et des articles rédigés par « Alterpresse » et « Le Nouvelliste » pour conclure qu'il existe une bonne corrélation entre notre carte de susceptibilité et les localités qui sont souvent touchées lors des débordements de Mancelle.

5.3 Vulnérabilité aux inondations dans le bassin versant de la rivière Mancelle

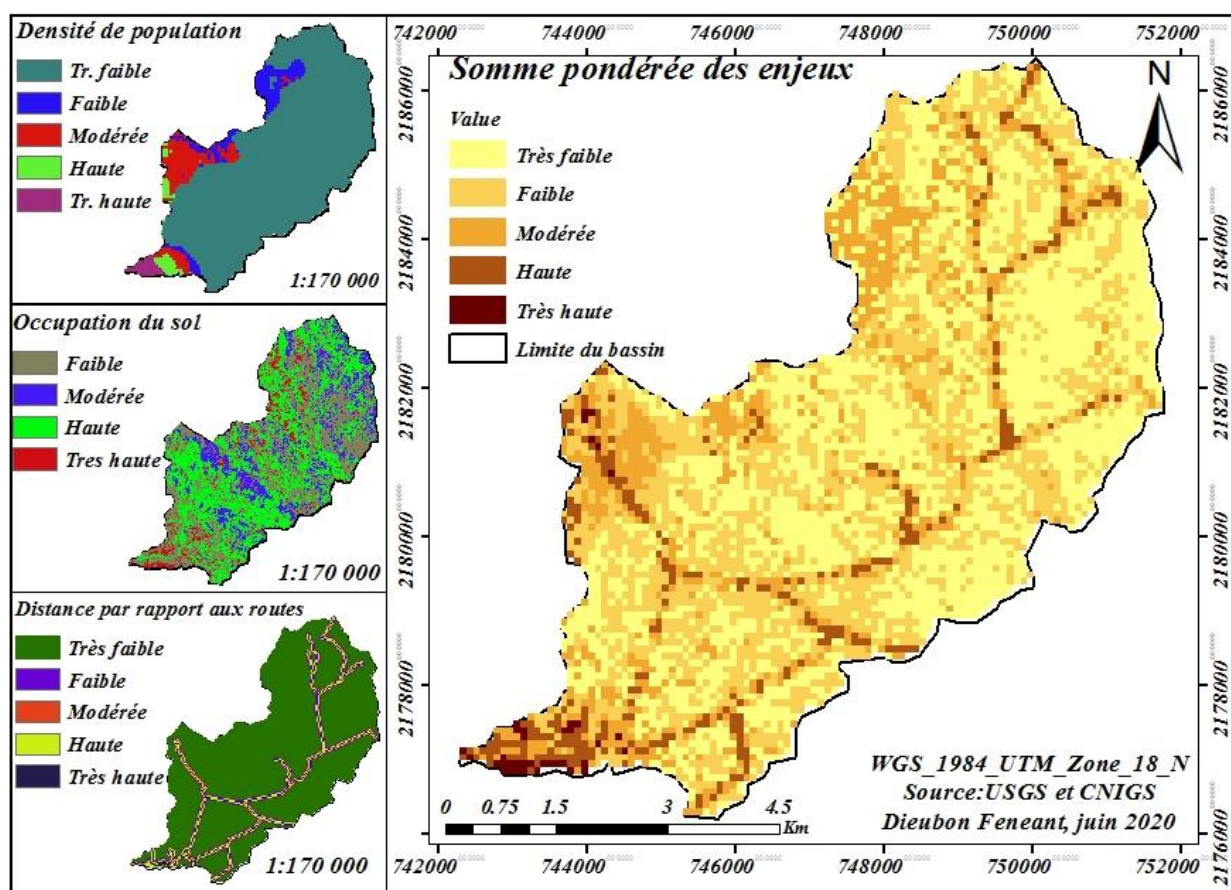


Figure 21. Carte des enjeux dans le bassin Mancelle

La carte des enjeux présente les éléments qui peuvent potentiellement subir des dommages lors d'un éventuel débordement dans le bassin Mancelle. Nous avons mis l'accent sur la densité de population, le réseau routier et l'occupation des sols, précisément les bâtis et les cultures. En amont du bassin versant se logent les localités où l'indice de vulnérabilité est beaucoup plus

faible, car c'est le milieu rural dans lequel les densités d'habitats et d'habitants sont aussi beaucoup plus faibles. Cet indice varie de 1 dans le milieu rural à 8, 65 dans le milieu urbain. Cette carte des enjeux est le reflet presque parfait de la réalité exposée par la figure 22 tirée de Google Earth qui a été prise un mois avant l'image Landsat utilisée pour la classification des sols.



Figure 22. Photos des enjeux en aval du bassin Mancelle. Source : Google Earth, mai 2020.

5.4 Risque d'inondation dans le bassin versant de la rivière Mancelle

Cette carte (Fig. 23) résulte de la superposition de la carte des enjeux sur celle de susceptibilité des zones aux aléas d'inondations dans le bassin Mancelle. Elle présente le risque actuel lié au débordement de la Rivière Mancelle qui plane sur certaines localités de la ville de Gros-Morne. Ce risque a été reclassifié en cinq classes dont leurs importances vont de très faible à très élevée, les deux classes qui représentent vraiment les zones à risques couvrent seulement 5,5% du bassin. Le constat est plus ou moins clair qu'à mesure qu'on se rapproche de l'exutoire du bassin que le risque s'élève davantage. Ce résultat peut être expliqué par l'installation de la population urbaine sur les localités là où la susceptibilité aux débordements de la rivière est beaucoup plus élevée.

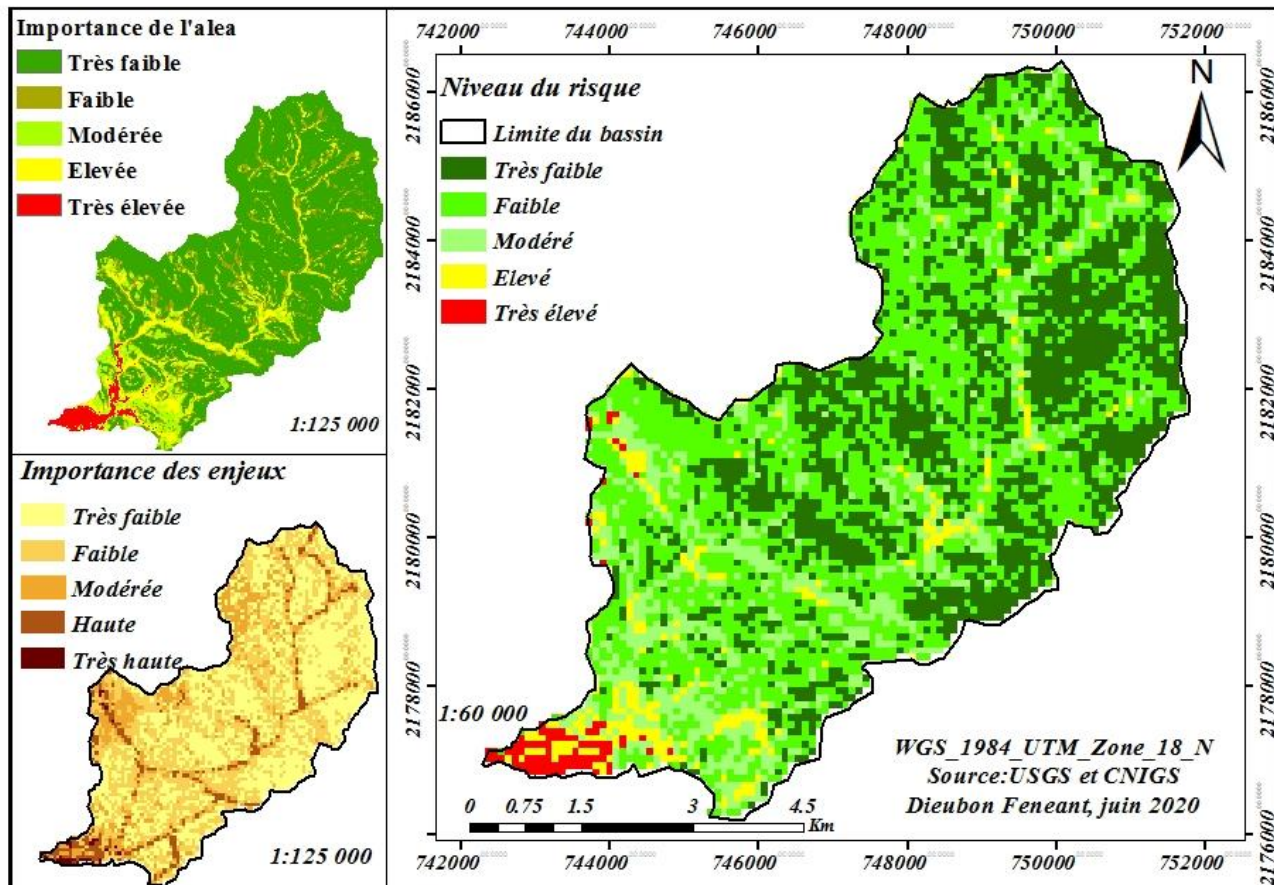


Figure 23. Risque d'inondation dans le bassin versant Mancelle

5.5 Focus sur quelques débordements de la rivière

A notre connaissance, étant qu'habitant dans les quartiers proches de la Rivière Mancelle depuis ma naissance, les crues de cette rivière sont souvent accompagnées de débordements sur de très larges étendues et sont responsables d'énormes dégâts surtout durant les saisons cycloniques, mais malheureusement les bilans écrits n'existent presque nulle part. Les résultats de l'enquête sur les fortes pluies du 24 au 26 octobre 2006 dans le bassin versant de la rivière Mancelle qui ont été publiées dans « **Alterpresse**⁵ » ont fait le bilan de lourds dommages. Le débordement s'était répandu sur la rue Hyppolite située à plus de 200 m du lit mineur de la rivière. Au total, 2 personnes ont disparu et plus d'une centaine ont été contraintes à s'évacuer. Six maisons ont été emportées et 34 autres étaient sur le point de s'effondrer comme illustrent les images la figure 24.

⁵ *Alterpresse, mercredi 8 novembre 2006. Haïti : Les victimes de graves inondations à Gros Morne interpellent les autorités* (à coller dans google pour toute vérification, car le lien ne marche pas)



Figure 24. Situation de certaines maisons suite aux débordements d'août 2006 (Source : Alterpresse, 2006)

Aussi, les tempêtes tropicales successives qui ont touché le pays en 2007 et 2008 ont provoqué de violentes pluies qui intensifient le débordement de la rivière. En conséquence, une large partie des personnes habitant au bord de la rivière était contrainte de se déplacer et bon nombre de maisons ont été détruites. La région qui a connu le plus grand nombre de victimes est identifiée dans la figure 25, elle répond au nom de « Nan Bwadòm » et est située à une centaine de mètres de l'exutoire principal du bassin versant. Selon Dorleon et al. (2012), *les crues débordantes qui sont survenues lors de la tempête Hanna en 2008 avaient complètement endommagé et emporté toutes les infrastructures physiques du périmètre irrigué d'Artrelle* (une localité de la 2^e section).

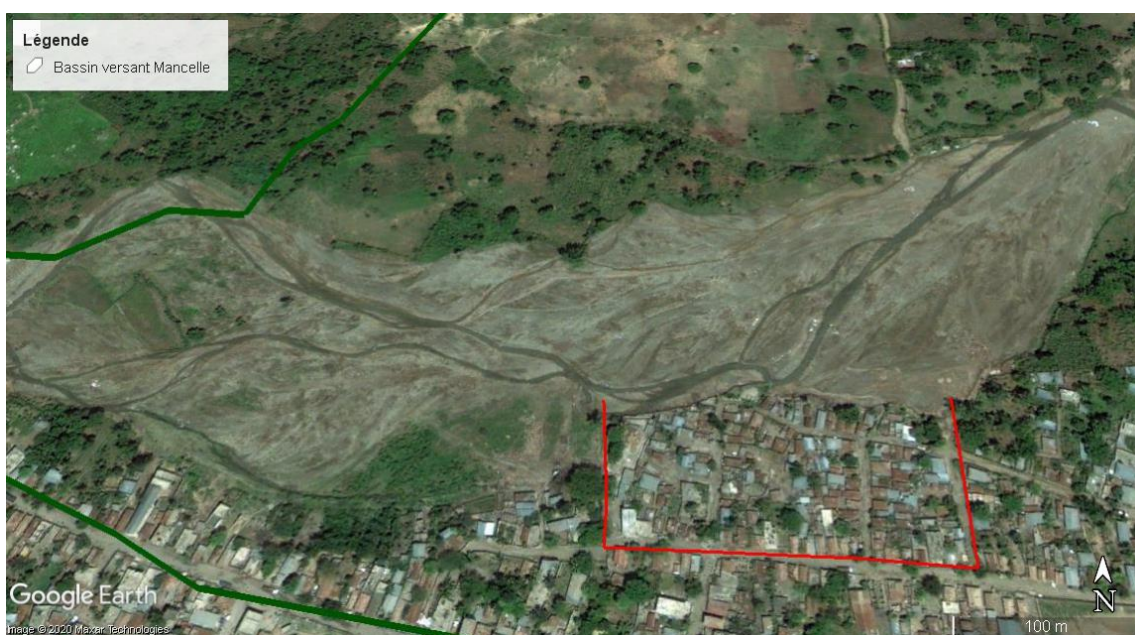


Figure 25. La région la plus touchée par les débordements de 2007 et 2008 (Google Earth, mai 2009)

A travers la figure 25 qui vient, on peut observer l'extension du lit de la rivière sur une partie de la ville et aussi avoir une idée sur le rythme d'évolution des bâtis sur cette période. De 2003 à 2020, pour un même tronçon, sa largeur est passée de 42 m à 153 m, une situation qui a provoqué la perte d'une large parcelle agricole sur les deux rives.



Figure 26. Perte de terres cultivables suite à l'élargissement de la rivière

5.5.1 Les types de dommages enregistrés

Les dommages associés aux débordements de cette rivière au niveau de la ville et en amont sont multiples, ils peuvent être regroupés en deux classes : dommages directs et dommages indirects.

- a) Directs : Elle emporte des maisons, des cultures, des infrastructures agricoles, des conduites d'adduction d'eau potable, des bétails et des vies humaines.
- b) Indirects : Elles paralysent le bon fonctionnement du marché communal, des écoles et du système de transport. Les écoles secondaires et le marché principal se situent au centre-ville, or les habitants de cinq (2^e, 3^e, 4^e, 5^e, et 6^e) des huit sections communales doivent inévitablement traverser cette rivière pour rentrer en ville. La communication du département du Nord-Ouest via la route nationale numéro 5 aux autres départements du pays est totalement rompue en période de crue, car elle se fait en traversant également cette rivière. Mais, suite à la réalisation en 2014 d'un pont⁶ sur cette rivière, le système

⁶ <https://lenouvelliste.com/article/131019/les-prealables-a-la-route-menant-a-port-de-paix-realises>

transport a été épargné de ses crues. Par contre, le déplacement en ville des habitants de la 2^e section (Rivière Mancelle) et une partie de la 3^e (Rivière Blanche) est jusqu'à présent limité en période pluvieuse car leur route principale se situe dans le lit même de la rivière.

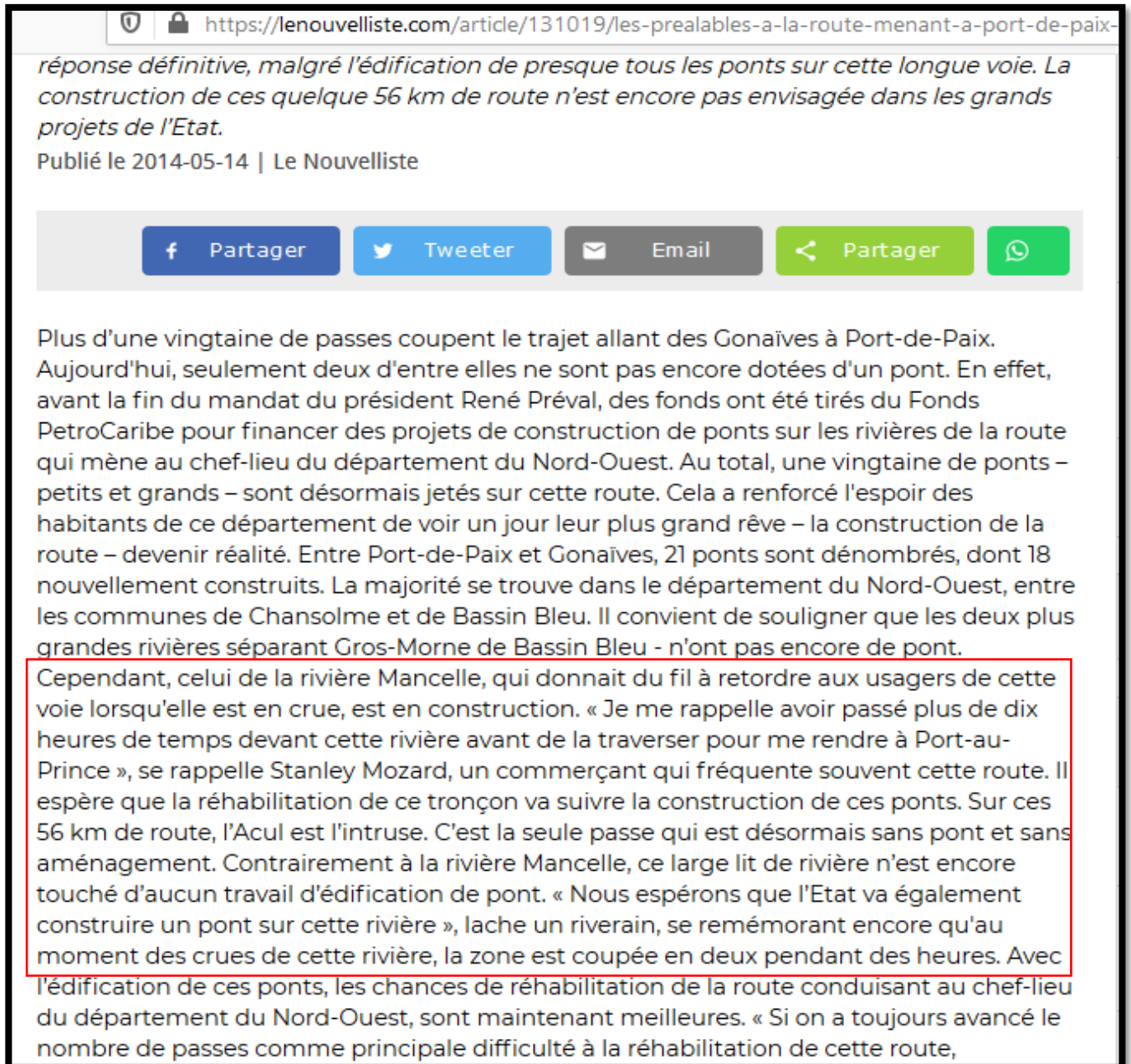


Figure 27. Témoignage d'un passager bloqué par les crues de Mancelle avant la réalisation du pont en 20014 dans le journal « Le Nouvelliste »

5.6 Analyse de la gestion des risques d'inondation liés aux débordements de la rivière Mancelle

Cette analyse se porte sur les interventions faites en termes de protection, prévention et préparation en vue de réduire les risques liés aux débordements de Mancelle :

5.6.1 Prévention

Dans le pays, les mesures préventives des risques d'inondations sont multiples, le problème se situe précisément dans leur mise en application. Ainsi, en raison de l'exode rural et la croissance de la population, l'expansion des villes se fait même dans les zones inondables. Elles sont des décrets, des textes de loi et un code rural traitant de la protection des bassins versants et les normes d'urbanisme par rapport aux zones à risque. Parmi lesquelles, on peut citer :

A) **Loi du 29 mai 1963 relatif au permis de construire**

Article 30 : « Aucune construction nouvelle, aucune modification de construction existante, ne pourront être entreprises sans une demande d'autorisation de l'administration locale et transmis pour avis au service compétent de la Direction Générale des Travaux Public. Cette demande sera accompagnée du plan d'arpentage de la propriété signée par le constructeur précisant la localisation de la construction projetée. En outre, le projet comportera en duplicata les dessins cotés tels que le plan, coupe, élévation et épure à une échelle d'au moins un centimètre par mètre ».

Article 31 « Les plans susdits dûment visés par la direction générale des Travaux Publics seront acheminés à l'administration locale qui délivrera l'autorisation ci-dessus prescrite »

Article 34 « L'administration locale ou les services compétents de la direction générale des Travaux Publics auront le pouvoir de fermer tout chantier trouvé en violation des dispositions des articles qui précèdent. Si besoin est, la police leur prêterait main forte pour l'exécution des présentes ».

A) **Code National du Bâtiment d'Haïti (CNBH)**

Non seulement tous ces articles de la loi du 29 mai 1963 ont été repris de telle sorte dans le nouveau Code du Bâtiment d'Haïti (CNBH), réalisé à la suite du tremblement de terre du 12 janvier 2010 par (MTPTC, 2013), mais ce code avance que :

Article 1.4.2.1.6 « sont déclarées zones à risques et à éviter, les zones inondables (50 m du bord de la mer, moins de 25 m du centre des ravines ou moins de 10 m du bord des ravines non canalisées) »

Article 1.4.9.2. « Les autres phénomènes extrêmes associés aux cyclones (ouragans) et qui peuvent endommager, et même détruire, une construction, tels les inondations, les crues, les débris transportés par les rivières, les glissements de terrain et les ondes de tempête près des côtes, sont difficilement maîtrisables par les technologies de construction courantes et doivent

être contournés par la mise en place d'un plan de zonage qui interdit les constructions dans des zones susceptibles d'être affectées par ces phénomènes dévastateurs »

Article 1.4.10.1 *« La construction de bâtiments résidentiels est interdite dans les zones inondables. Ces zones sont normalement identifiées sur des cartes disponibles auprès des municipalités ».*

B) Code rural 1962 de François Duvalier

Article 69. *« Les cultures saisonnières, annuelles et semi-permanentes (bananiers, pois congo, cotonnier, sisal) sont interdites, sauf sur autorisation spéciale du Département de l'Agriculture ou de tout autre organisme compétent, sur les terres présentant une déclivité supérieure à 25 degrés dans les zones pluvieuses. Ils pourront cependant se faire, sans autorisation, sur toute terre à déclivité inférieure aux limites précédemment fixées, moyennant que les travaux de protection de sol y soient exécutés, tels que : terrasses, murs secs, canaux de rétention, lorsque la pente du terrain est supérieure à 10 degrés ».*

Article 76. *« Les propriétaires, fermiers ou occupants de terrains riverains, d'un fleuve, d'une rivière ou d'une source, devront y planter des bambous, ou toute autre essence appropriée, sur une largeur de 5 à 15 mètres, selon l'importance du cours d'eau, à partir de la berge du fleuve, de la rivière ou de la source. Cette plantation devra se faire sur les deux rives et tout autour' de la source »*

C) Constitution de 1987

Article 36.5: *« Le droit de propriété ne s'étend pas au littoral, aux sources, rivières, cours d'eau, mines et carrières. Ils font partie du domaine public de l'Etat ».*

En observant l'installation massive de la population urbaine tout le long de la rivière à travers les différentes images Google Earth et la carte d'occupation de sol présentées dans le travail, on peut vite conclure que ces mesures n'existent que de manière théorique.

Pour CIAT (2013), organisme principal de l'aménagement du territoire en Haïti, les raisons qui expliquent la sous-exploitation de ces mesures tant par la population que par les autorités sont d'ordre divers: « i) Absence d'une loi-cadre déterminant les principes fondamentaux de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire définissant le mode de fonctionnement et d'imbrication des institutions à tous les niveaux ; ii) Des textes de loi contradictoires ; iii) Manque de mise à jour de textes de loi ; iv) Défaut de connaissance des lois en vigueur ; v) Procédure de délivrance de permis d'intervenir sur l'aménagement sans contrôle de conformité systématique avec les normes d'urbanisme en vigueur ; vi) Rareté de manuels opérationnels pour les acteurs de l'aménagement »

5.6.2 Protection

En termes de protection, il est important de construire des structures permettant de réduire la puissance de l'eau dans les zones vulnérables. Pour stabiliser les berges et protéger les zones vulnérables face au débordement de Mancelle, un travail de gabionnage a été réalisé depuis l'année 2000 en aval de la ville sur une longueur d'environ 250 m de la rive gauche de la rivière. Pour répéter Aimable « ce mur a été érigé sur une infirme partie de la longueur des berges, en conséquence certaines localités sont jusqu'à date très exposées à la rivière lors des périodes pluviales, le cas de **Nan Bwadòm** qui a enregistré pas mal de dégâts lors des cyclones tropicaux de 2006, 2007 et 2008 ».

Aussi, il faut mentionner la réalisation en 2014 de ce pont à l'endroit où la rivière est traversée par la route nationale numéro # 5 reliant les 3^e, 4^e, 5^e et 6^e sections communales à la ville de Gros-Morne et aussi le département du Nord-Ouest à la capitale du pays. Ce n'est pas une structure de protection proprement dite, mais elle régularise le système de transport qui a été souvent paralysé lors des crues.

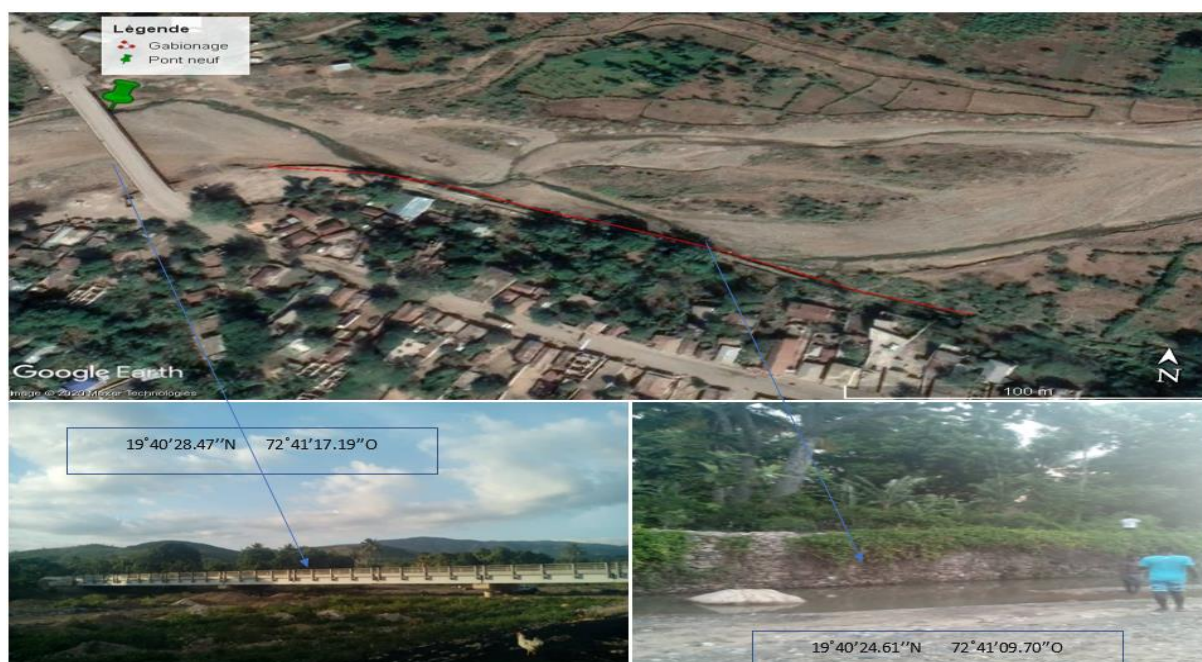


Figure 28. Travail de protection des berges réalisé sur la rivière Mancelle

Source : Google Earth (2014) et l'enquêteur (Ulysse, juin 2020)

5.6.2.1 Aménagement des bassins versants dans la commune de Gros-Morne, qui intervient directement ?

De nombreuses organisations interviennent dans des activités d'aménagement de bassin versant au niveau de la commune de Gros-Morne. Toutefois, malgré les dommages que la rivière

Mancelle a déjà fait subir à la population urbaine et les risques qu'elle représente actuellement, son bassin versant reste cependant très négligé. L'un des plus anciens est le SOS Enfant Sans Frontière qui, depuis 2006 intervient au niveau des bassins de la commune, s'investit dans le reboisement, la réalisation des seuils, des gabions et des micro-retenues. Tous ces travaux sont exécutés au niveau de la 1^{ère}, 6^e et 8^e section communale d'après la cartographie des sites d'activités analysée dans le rapport de Michel (2008), mais aucune intervention n'est répertoriée au niveau de la 2^e (Rivière Mancelle) qui constitue la potentielle menace pour la population urbaine.

Il faut aussi mentionner la présence d'une organisation locale très active depuis février 2000, son nom c'est AJGR : Association des Jeunes de Gros-Morne pour le Reboisement. Comme son nom le précise, elle appuie le développement communautaire par le reboisement, sensibilise et forme les jeunes sur les problèmes environnementaux. Concrètement, elle organise presque tous les ans des campagnes de reboisement au sein de la commune et également des séances de nettoyage du lit de la rivière qui est généralement pris pour dépotoir par la population urbaine. Mais malgré tout, en parcourant leurs zones d'interventions à travers leur site⁷, aucune activité de protection de sol n'est recensée dans le bassin Mancelle.

5.6.3 Préparation

Comme il a été précisé dans le chapitre 2, seulement 13 des 30 grands bassins versants d'Haïti sont munis d'un SAP. La population du bassin versant Mancelle dépend des alertes nationales lancées par le Centre National de Météorologie (CNM). Donc, c'est une population qui est toujours en manque de préparation et de formation et du coup loin d'avoir une bonne aptitude à réagir lors des tels événements. C'est comme à l'image du pays, la gestion des inondations fonctionne en modes réponses et secours. Les documents consultés sont plutôt accentués sur des interventions d'urgence à entreprendre par les différentes composantes du SNGRD suite à une catastrophe que celles visant à alerter et protéger la population face à une éventuelle catastrophe. Ces interventions débutent toujours par la conception d'un plan de contingence à l'arrivée des saisons cycloniques s'étendant du 1^{er} juin au 30 novembre dans la région atlantique. L'objectif de ce plan est de *« s'assurer que les capacités organisationnelles et opérationnelles des différentes entités étatiques et non étatiques du SNGRD soient coordonnées et efficaces afin d'améliorer la gestion de la réponse aux urgences à impacts critique et catastrophique, ainsi que la gestion de l'après-crise découlant des aléas »*

⁷ Site web de l'AJGR <http://terredesjeunes.org/grosmorne>

hydrométéorologiques, en portant une attention particulière aux personnes considérées comme les plus vulnérables de la population (MICT, 2011) ».

5.7 *Présence, composition et intervention du SNGRD a Gros-Morne*

D'après le plan de contingence 2011, en temps de crise, particulièrement à l'annonce de la saison cyclonique, le SNGRD se transforme en Centre d'Opérations d'Urgence (COU). Le postulat général de la gestion des urgences en Haïti insiste que la gestion des désastres doive autant que possible se faire au niveau local. Ainsi, la gestion d'une crise revient en tout premier lieu aux Centres d'Opérations d'Urgence Communaux (COUC). Dépendamment de la gravité, l'étendue du désastre et la capacité des COUC à gérer la crise, les niveaux supérieurs tels les COUD au niveau départemental et le COUN au niveau national peuvent être progressivement activés.

Gros-Morne, étant commune, la gestion des urgences se fait par un COUC qui est composé des structures de la protection civile, des brigades de la Croix-Rouge et l'administration communale.

5.8 *Analyse des facteurs à l'origine de la susceptibilité des localités aux débordements de Mancelle et ceux à la base des sévères dommages qui y sont souvent associés*

Se basant sur la carte d'aléa d'inondation dans le bassin Mancelle, la vulnérabilité de la population, la faiblesse du Système de gestion des Risques d'inondation en Haïti et particulièrement à Gros-Morne, on se retrouve sur la bonne piste pour expliquer les facteurs à l'origine de la susceptibilité des localités aux débordements de Mancelle et ceux à la base des sévères dommages qui y sont souvent associés. Ces facteurs peuvent être classés en trois catégories : les facteurs naturels, les facteurs anthropiques et les facteurs institutionnels :

5.8.1 Les facteurs naturels

La carte d'aléa montre qu'en partant du sommet du bassin versant vers son exutoire, la susceptibilité aux inondations des différentes zones devient de plus en plus importante, ce résultat peut être argumenté à partir des explications multiples sur les couches combinées qui ont été abordées dans la méthodologie :

- La configuration topographique (pente et altitude) du bassin : Son altitude varie de 193-1164 m, l'histogramme (29a) permet d'observer qu'environ 87% de la superficie du bassin se trouve dans une altitude séparée de 100 m d'écart de l'altitude la plus basse. Ce qui donne naissance à de pentes très abruptes variant de 0 à 182 %. En effet 74 % de la superficie du bassin Mancelle se trouve dans une pente qui est supérieure à 25%, les pentes supérieures à 60 % s'étendent sur 15, 4 % du bassin et là où se trouve l'aire urbaine la pente est en dessous de 10%. Dans une telle topographie, le phénomène de

ruissellement est plus important en amont par rapport à l'infiltration et la stagnation des eaux pluviales, les pertes de sol par lessivage et la réduction de la capacité productive des sols en amont sont quasi inévitables. Donc, c'est un fait naturel que la ville de Gros-Morne par sa position à proximité de Mancelle et sa configuration topographique soit la zone cible de collecte des eaux de toute altitude provenant de ce bassin versant.

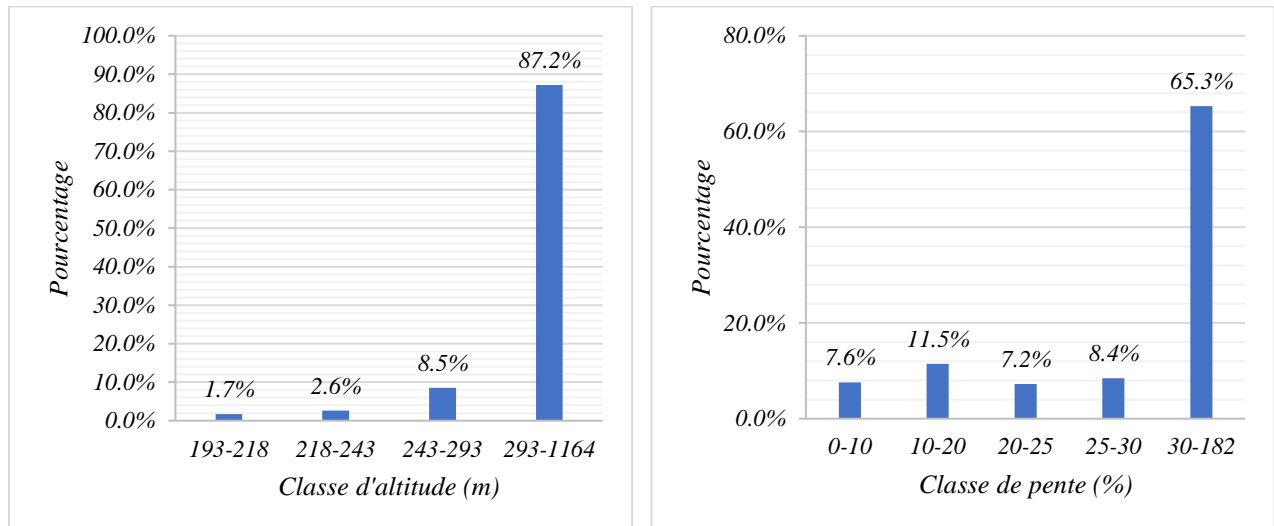


Figure 29. Répartition des paramètres topographiques du bassin Mancelle [a) altitude b) pente]

- La lithologie⁸ : l'amont du bassin versant est constitué de matériaux durs, des andésites et des rhyodacites qui sont des roches magmatiques du crétacé représentant 53% de la superficie totale sous étude, ils réduisent l'infiltration en amont et accélèrent parallèlement le phénomène de ruissellement. Tandis que l'aval où se trouve la ville est une zone d'accumulation de sédiments qui sont responsable de la hausse du niveau de l'eau au-dessus des berges, c'est une zone alluvionnaire dans laquelle les berges sur lesquelles se trouvent les habitations sont très peu résistantes sous la pression de l'eau. Ces formations géologiques et le contexte topographique sont les facteurs à la base des grandes sinuosités observées dans le profil du cours d'eau principal. Les images de la *figure 24* et celles ci-après sont des preuves tangibles montrant que les sols en aval du bassin Mancelle sont irrésistibles sous la pression de la rivière.

⁸ Ces informations sont tirées de la table attributaire de la couche géologique du pays qui est disponible depuis le portail du CNIGS.

http://haitidata.org/layers/geonode:hti_geology_geology_polygon_082005/metadata_detail



Figure 30. Erosion des berges sous la pression de la rivière (Source : Ulysse, juin 2020)

- Le réseau hydrographique

D'autres paramètres comme la densité hydrographique, la densité de drainage, l'ordre des cours d'eau et la forme d'un bassin versant ont une grande influence au niveau du temps de concentration. Horton (1945) définit la densité de drainage comme le quotient de la longueur totale du réseau hydrographique d'un bassin versant par sa superficie. Pour exposer l'influence de la densité drainage sur le risque d'inondation dans un bassin versant, l'un des arguments de Pallard et al. (2009) *était basé sur le temps que prennent les eaux pour arriver à l'exutoire et le débit qui y passe. Ils expliquent que lorsque la densité de drainage est énorme, l'eau coule rapidement vers l'exutoire et une très faible quantité s'infiltre. A l'opposé quand cette densité est faible l'eau prend beaucoup plus de temps pour passer à l'exutoire, ce qui facilite l'infiltration d'une bonne partie pendant son parcours, ce qui contribue à la réduction du débit de pointe.*

Comme il est résumé dans le *tableau 11*, les calculs effectués via ArcGIS, le bassin versant Mancelle a une superficie de 46, 5 km², un périmètre de 37,81 km et compte 264 cours d'eau pour une longueur totale de 80,15 km. Ces valeurs ont permis de déterminer sa densité hydrographique, sa densité de drainage et son indice de Gravélius qui sont respectivement évalués à 5, 68 cours d'eau / km², 1,72 km/km² et 1, 55. Cet indice de Gravélius (1, 55>1) permet de valider la forme allongée de ce bassin versant. En analysant la figure 31, on peut constater que le milieu urbain se positionne exactement à bord du collecteur principal, proche de l'exutoire où tous les cours d'eau se convergent en un seul, celui d'ordre 4. Il est clair que le débit qui passe à ce point soit plus important qu'à n'importe quel autre endroit du bassin. Donc, c'est une évidence que la susceptibilité soit beaucoup plus forte à proximité de l'exutoire qu'en amont. L'absence des structures de protection et l'installation de la population dans cette zone

de forte susceptibilité sont des facteurs à l'origine des dommages majeurs enregistrés au cours des débordements du passé.

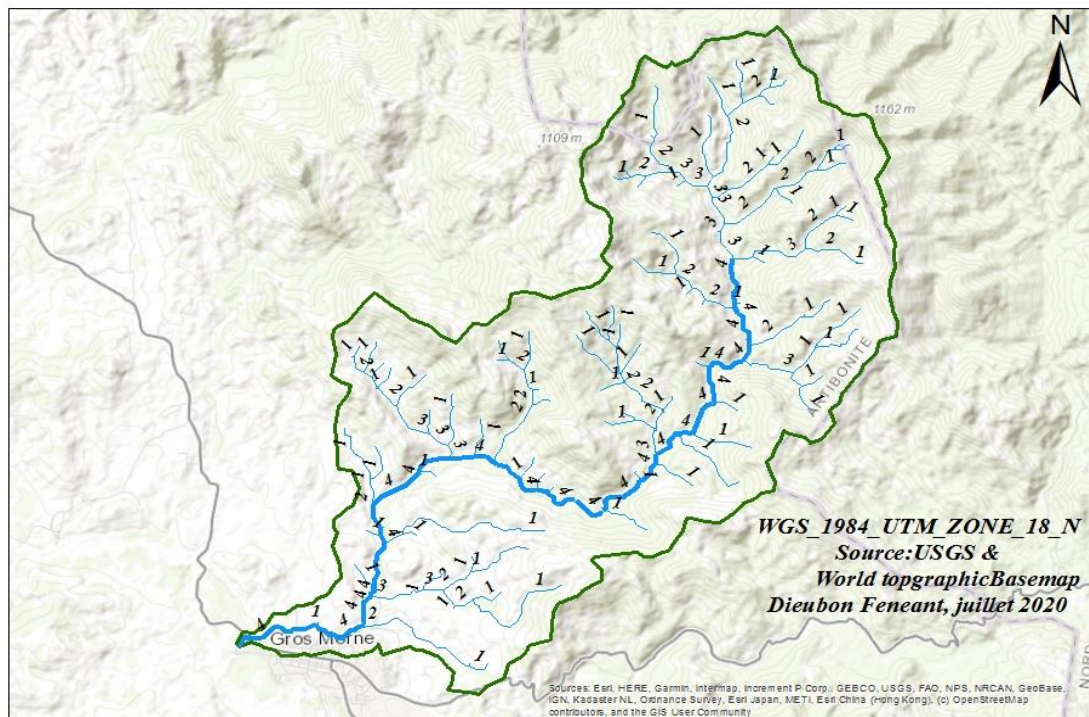


Figure 31. Densité de drainage du bassin Mancelle (Stream order d'après Strahler)

- Les précipitations intenses

Les crues de cette rivière sont survenues à tout mois de l'année. Mais quant aux débordements, ils sont généralement induits par les fortes variations de la précipitation enregistrées lors des saisons cycloniques du pays qui s'étalent du 1^{er} juin au 30 novembre. A titre d'exemple on peut citer : le débordement catastrophique provoqué par l'accumulation des fortes pluies du 24 au 26 octobre 2006, le débordement⁹ d'octobre 2007 et celui de septembre 2008 qui a été engendré par la tempête Hanna. Ces débordements sont aussi corrélés à la montée de la saison pluvieuse dans le bassin Mancelle (voir histogramme de pluviométrie du BV Mancelle, figure 5). Cette carte (Fig. 32), réalisée à partir des données TRMM, présente la répartition spatiale de la précipitation moyenne annuelle sur une période de 12 ans (1998-2010) dans le bassin Mancelle. La hauteur de cette précipitation s'élève en moyenne de 818 mm à 935 mm de l'amont du bassin à son exutoire. Les zones cartographiées les plus susceptibles aux

⁹ Alterpresse, mercredi 10 octobre 2007. Haïti : Plusieurs victimes et des dégâts importants lors de persistantes intempéries (à coller dans Google pour toute vérification, le lien ne marche pas)

débordements de cette rivière sont par coïncidence celles ayant enregistré la plus haute précipitation et le plus grand nombre de dommages durant cette période.

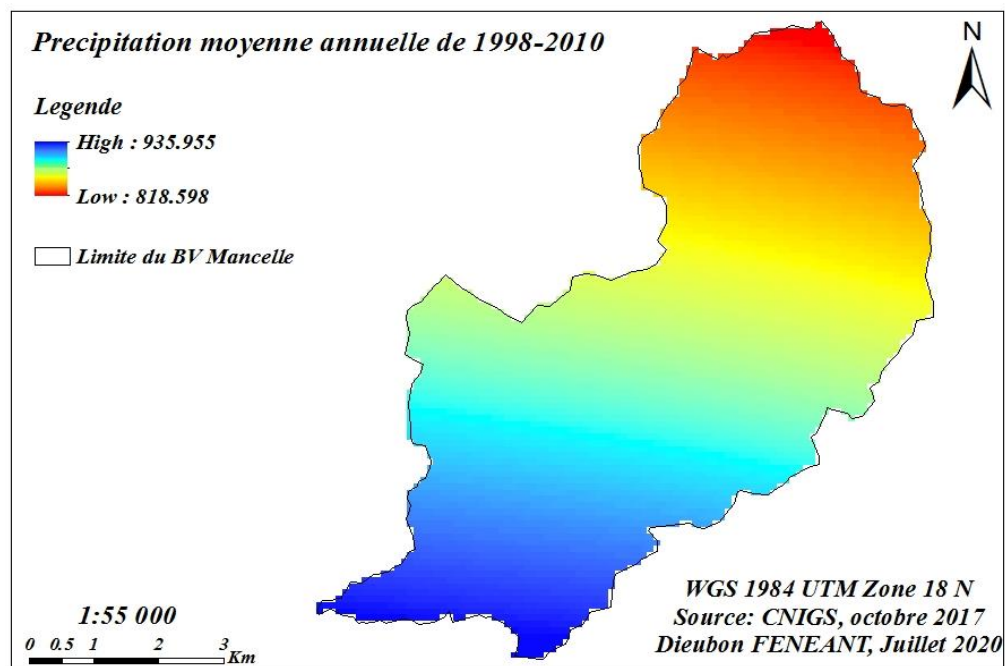


Figure 32. Répartition de la précipitation moyenne annuelle dans le bassin Mancelle durant la période 1998-2010

5.8.2 Les facteurs anthropiques

Ce sont les différentes activités de l'homme qui tendent à augmenter le risque d'inondation au niveau du bassin Mancelle :

- Les pratiques agricoles et la coupe anarchique des arbres : les cultures sarclées et le déboisement dans les pentes raides sont des activités amplifiant la dégradation des bassins versants. Au respect de l'article 69 du code rural haïtien relatif à la protection des sols qui est résumé dans la figure 33, seulement les pentes inférieures à 10°, soit 16 % de la superficie du bassin versant Mancelle, seraient favorables aux cultures saisonnières sans aucun travail de protection de sol. Ces cultures ne sont pas interdites dans les pentes allant de 10°-25° qui couvrent 50% de Mancelle, mais à la condition que des travaux de protection de sols soient d'abord effectués. Dans le cas des classes de pentes supérieures à 25° qui couvrent 34% du bassin, les cultures saisonnières devraient être formellement interdites. Selon la carte des zones agroécologiques tirée de l'atlas agricole d'Haïti (annexe 2), le bassin Mancelle est entièrement situé dans une zone d'agriculture de montagne humide, donc c'est une zone qui est hautement exploitée du point de vue agricole même si sa configuration topographique n'y est pas adaptée. Face à la pauvreté qui sévit dans le pays et, la dépendance du monde rural haïtien à

l'agriculture, il paraît difficile que le choix de cultures soit approprié aux classes de pentes. Donc, dans une section communale comme celle de Rivière Mancelle où, selon le MARNDR¹⁰, 75% des ménages vivent directement de l'agriculture et plus de 65 % de la superficie sont cultivées, ces mesures seules sont incapables de freiner la dégradation des bassins versants sans la proposition d'autres alternatives prenant en compte la situation socio-économique de la population rurale.

L'observation de la carte (Fig.33) permet de comprendre que les pentes favorables aux cultures à cycle court sont en majorité occupées par le milieu urbain en aval et les cours d'eau, donc c'est une évidence que les pentes les plus élevées soient exploitées par les riverains pour combler leurs besoins.

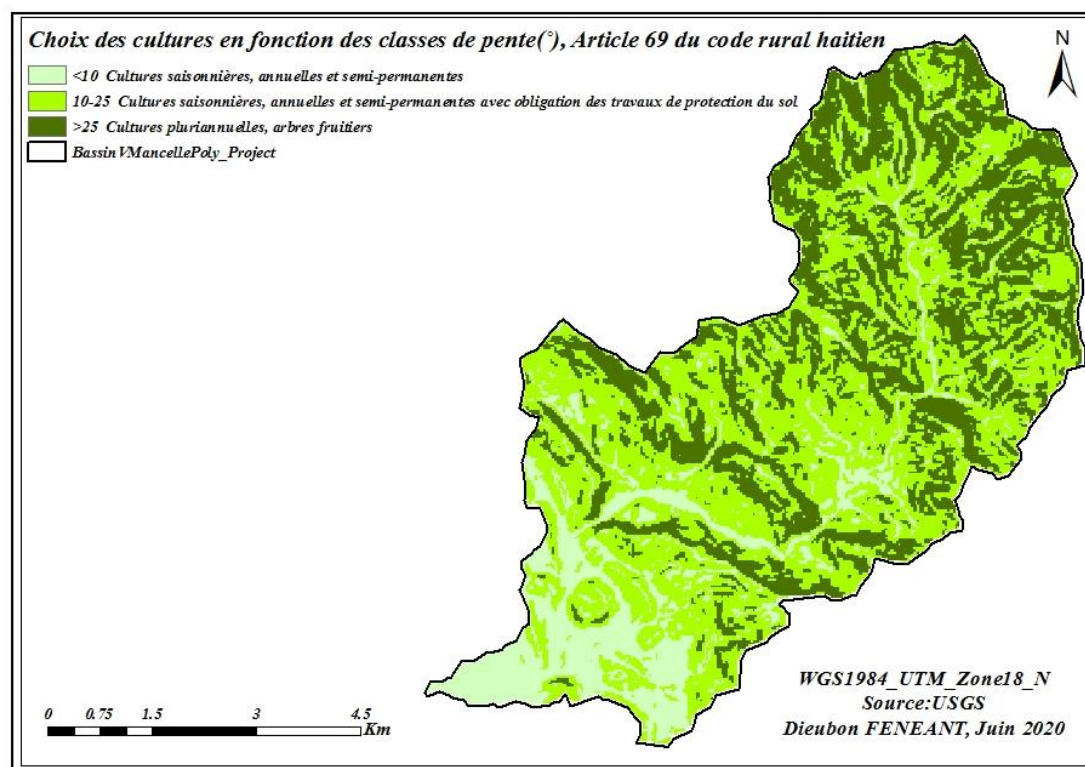


Figure 33. Choix des cultures en fonction des classes de pente du bassin versant Mancelle d'après le code rural de François Duvalier

- L'exploitation du lit de la rivière : Les crues des rivières font quand même du bien à un groupe particulier. L'unique impact engendré par les crues de la rivière qu'on peut qualifier de positif est l'apport de sable, de gravier et de roches. L'exploitation des matériaux de construction au niveau de la rivière est une activité créatrice d'emplois et

¹⁰ http://agriculture.gouv.ht/statistiques_agricoles/EnqueteCommunautaire/documents/052102.html consulté le 05/08/2020

de revenus dans la commune, ainsi les longues périodes de sécheresse entraînent des raretés importantes qui paralysent considérablement ce secteur. Toutefois, il a aussi des impacts négatifs. Des riverains affirment que l'exploitation de la rivière est une pratique qui déstabilise les berges et est à la base de l'intensification de l'érosion des berges lors des crues.



Figure 34. Prélèvement de sable dans la rivière (photos prises par Ulysse, juin 2020)

- L'installation de la population urbaine de manière désordonnée à proximité du cours d'eau principal et en aval du bassin versant Mancelle qui définit leur vulnérabilité vis-à-vis du débordement de cette rivière. Cette vulnérabilité peut être expliquée non seulement par l'exposition des habitations dans le lit majeur de la rivière principale, mais aussi par la nature et l'ancienneté de la majorité qui déterminent leur susceptibilité à subir des dommages en présence des débordements.



Figure 35. Exposition et susceptibilité de la population

En analysant la figure 36, bien que les images ne présentent pas de manière explicite de grande variation temporelle de la population au sein du bassin Mancelle, les chiffres parlent. De 2000 à 2015, la population évolue sur toute la superficie du bassin, mais avec une plus grande vitesse dans le milieu urbain où la densité est estimée à 34, 7 ; 44, 8 ; 52, 8 et 102, 8 habitants par km² respectivement en 2000, 2005, 2010 et 2015. Cette croissance fait aussi des pressions sur la couverture végétale, les zones agricoles et intensifie la vulnérabilité de la population par leur installation dans les zones à risque.

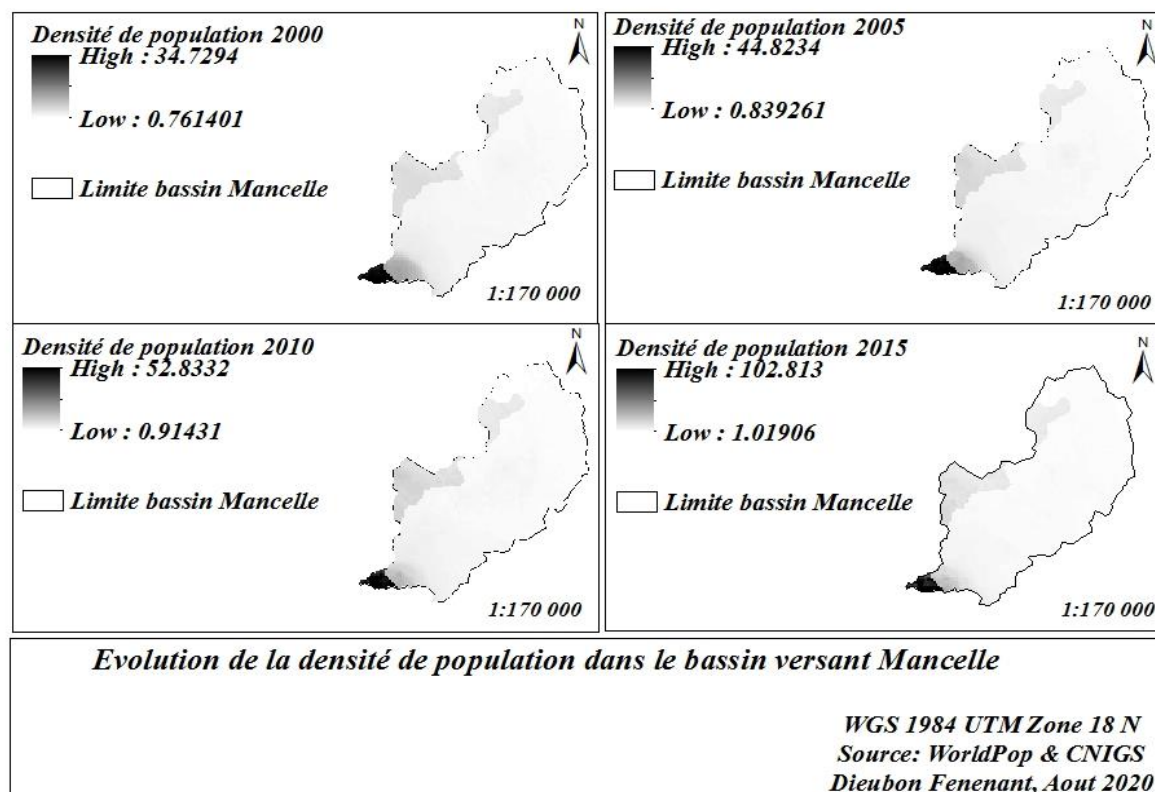


Figure 36. Evolution de la population dans le bassin versant de la Rivière Mancelle

5.8.3 Facteurs institutionnels

Ils concernent surtout la passivité des institutions compétentes vis-à-vis de la mise en pratique des notions permettant de réduire les risques d'inondation dans le bassin Mancelle. Malgré les sévères dommages causés par la rivière dans le passé, aucune leçon n'est tirée en vue de renforcer les structures de protection permettant de maîtriser les crues, d'interdire des nouvelles constructions, de statuer sur le respect des normes de construction dans les zones inondables ou de déplacer si possible les plus vulnérables.

5.9 Connaissance de ce risque par la population

L'entretien a été déroulé durant la période allant de 13 au 25 juillet 2020, pendant laquelle 46 personnes habitant sur les rives de Mancelle ont été entendues. Les réponses fournies à nos différentes questions peuvent être résumées ainsi :

- Depuis quand vous habitez dans la localité ?

Quatre classes de périodes ont été recensées : avant 1980, 1980-2000, 2000-2010 et 2010 à date dans lesquelles se trouvent respectivement 43, 5%, 30, 4%, 17, 4% et 8, 7% des répondants.

- Avez-vous sollicité l'autorisation des autorités communales avant de construire dans cette zone

Seulement 3 personnes, soit 7 % de la population enquêtée, ont répondu avoir sollicité le permis de construire auprès de la DGI. Une d'entre elle, Monsieur Dorcely ajoute que son permis lui était délivré plus de 6 mois après la demande, juste quelques jours avant qu'il investisse son nouvel habitat.

- Votre espace a-t-il déjà été inondé dans le passé par le débordement de Mancelle ?

A cette question, 60.9% de la population ont répondu « oui », contre 39.1% qui ont répondu négativement. Cette réponse a été surtout influencée par la position de l'habitat du répondant et la période à partir de laquelle il s'est installé dans la localité. Les répondants habitants à **Nan Bwadòm** ont tous répondu oui, bien que 2 d'entre eux soient arrivés après 2010 mais ils confirment avoir été au courant.

- Connaissez-vous des personnes qui ont déménagé par craintes d'être endommagées ou qui sont déjà endommagées par le débordement de cette rivière ?

Malgré les impacts énormes qui sont souvent enregistrés lors des différents débordements de cette rivière dans le milieu urbain, seulement 10, 9% des répondants avouent avoir connu des personnes qui quittent définitivement leur localité. *« Après la période cyclonique de 2006, certains riverains ont été évacués vers des abris provisoires en raison des dommages qu'ont subis leurs maisons ou la susceptibilité de ces maisons à être emportée par la rivière. Peu de temps après ils sont revenus les réparer et s'y installer de nouveau »*, a déclaré monsieur Alexandre.

- Comptez-vous déménager un jour pour la même raison, si non pour quoi ?

Cette question a été adressée spécialement aux personnes (28) qui ont été au moins une fois victime du débordement de la rivière, parmi lesquelles 82% ne souhaitent pas aller vivre ailleurs. Elles sont attirées par l'accès facile à l'eau, l'accès rapide au marché principal et en majorité ce sont des personnes qui jouissent des héritages de leurs parents. Etienne soutient que « nous, à **Nan Bwadòm**, qui avons été victimes en 2006, 2007 et 2008, tenons à culpabiliser les autorités étatiques qui n'ont rien fait pour ériger des gabions afin de maîtriser les crues de la rivière ». Il avance qu'aujourd'hui, « nous sommes encore exposés au même sort, mais si les autorités étendent le travail de gabionnage sur toute la berge de la rivière au niveau de la ville, tout le monde peut dormir les yeux fermés au moment des périodes cycloniques ».

Parmi les 5 répondants qui souhaitent partir un jour, 4 habitent à **Nan Bwadòm**, ils ont des héritages et propriétés de l'autre côté de la rivière (Campeche et Ti Jardin) qu'elles avaient dû abandonner à cause des crues qui pouvaient à tout moment ralentir leur activité en ville. Mais actuellement avec le nouveau pont, ils sont tous prêts à laisser cette localité si les débordements de la rivière continuent à les impacter.

A travers les réponses fournies par les riverains, nous avons saisi que tous les habitants des localités qui ont déjà été inondées n'ignorent pas qu'ils puissent subir des dommages du débordement de la rivière dans le futur, mais ils sont toutefois persuadés que les autorités vont finir par entendre leur cri et intervenir dans la zone en érigeant des structures de protection.



Figure 37. Localisation des habitations des répondants [Nan Bwadòm, Impasse Cadet (entre rue Fraicheur et Rue Hyppolite)]

Chapitre 6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'étude de la susceptibilité d'une zone aux inondations implique l'utilisation de nombreuses méthodes et d'une grande variété d'outils. Dans notre cas, nous avons eu recours au Système d'Information Géographique qui a été couplé à l'outil Analyse Hiérarchique des Procédés afin de procéder à la pondération des différentes couches que nous avons utilisées comme données d'entrée. En raison d'une insuffisance de données et de l'inaccessibilité aux mesures de terrain, cinq facteurs seulement ont été pris en compte, il s'agit de la pente, l'altitude, l'occupation de sol, la distance par rapport aux cours d'eau et en fin la lithologie du bassin sous étude. Bien qu'elle ne soit pas parfaite, la carte issue de ces combinaisons donne une idée très proche de la réalité du terrain. Elle répartit les zones susceptibles aux débordements de la Rivière Mancelle que nous avons reclassifiées en cinq classes nommées très faible, faible, modérée, haute et très haute. Elles occupent respectivement 66.58%, 13.26 %, 10.36%, 7.34% et 2.47% de la superficie du bassin versant Mancelle. L'endroit où cette susceptibilité est beaucoup plus élevée correspond à l'aval du bassin là où se loge la communauté urbaine qui, lors des tempêtes tropicales de 2006, 2007 et 2008, a subi le plus grand nombre de dommage par le débordement de cette rivière.

Cette forte susceptibilité de la ville par rapport aux crues de cette rivière est liée à sa position géographique en aval du bassin versant en question. Ce dernier est drainé par une superficie de 46,5 km² comptant 264 cours d'eau pour une longueur totale de 80,15 km. Avec une altitude variant de 193 m à 1164 m, 74% de sa superficie se trouve sur une pente supérieure à 25 % et en amont il est entièrement constitué par des andésites et des rhyodacites qui sont des formations dures représentant 53 % de sa superficie totale. Ce sont toutes des caractéristiques topographique, hydrographique et lithologique qui sont très propices au ruissellement intense. La fraction de l'aire urbaine située dans la partie aval du bassin versant est logée dans des pentes inférieures à 10 % et sur des formations lithologiques de types alluvionnaires, cette position fait donc de lui une zone d'accumulation des eaux et des sédiments provenant de tout l'amont du bassin.

La combinaison du réseau routier, de la densité de population et de l'occupation des sols nous donne une carte des enjeux qui a été ensuite superposée à la carte d'alea qui nous a permis d'apprécier à partir d'une carte de risque les éléments qui sont actuellement exposés au débordement de Mancelle. Dans cette carte, il a été démontré aussi que l'indice de risque est plus élevé dans les localités se situant en aval du bassin Mancelle, ce qui est dû à la forte installation désordonnée de la population urbaine aux abords du cours d'eau principal.

A travers le répertoire de Google Earth, nous avons pu observer l'élargissement du lit de la rivière dans certains endroits aux alentours de la ville passant de 42,5 m à 153 m sur une période 17 ans, de 2003-2020 (*figure 26*). Cet élargissement est dû à des crues intenses qui ont dévasté des infrastructures agricoles, des habitations, des routes et des champs agricoles spécialement lors des périodes cycloniques. Pourtant aujourd'hui, avec l'extension urbaine, des images ont montré que de nouvelles constructions se multiplient dans ces lieux qui ont enregistré de sérieux dommages dans le passé. En écoutant certains riverains, on a fini par comprendre qu'ils sont conscients du risque qui plane sur leurs localisations, mais ils s'adaptent tout en espérant qu'un jour des murs de protections seront érigés le long des berges de la rivière par les autorités compétentes. Vu le contexte du changement climatique actuel, la déforestation incessante, l'extension de la ville le long de la rivière et l'absence des travaux d'aménagement, les risques associés aux débordements de Mancelle sur la communauté urbaine s'intensifient jour après jour.

Tenant compte des résultats obtenus à travers cette étude, nous sommes arrivés à confirmer et maintenir partiellement l'hypothèse que nous avons posée au départ : « les données géographiques disponibles pour la région de Gros-Morne ont permis de poser un diagnostic sur les risques d'inondation liés au débordement de la rivière Mancelle ». Partiellement, car certaines données comme l'historique des pluies journalières dans ce bassin versant, les débits à l'exutoire, l'étendue et la profondeur des inondations antérieures n'étaient pas disponibles. Ainsi, avec l'apport de ces données il serait possible d'affiner les résultats

Dans l'objectif de réduire le risque actuel et futur, il est donc indispensable de se concentrer sur ce diagnostic afin d'intervenir sur comment réduire la vulnérabilité de la population urbaine aux abords de Mancelle, vu que la susceptibilité est quasi-totalement naturelle. Du fait, nos recommandations sont adressées directement aux autorités compétentes de la commune et visent les trois points forts de la gestion du risque d'inondation :

❖ Prévention

Dans l'idée de prévenir les risques futurs, il est conseillé que les autorités prennent de sérieuses mesures et veillent de très près à leur application. Ces mesures doivent être échelonnées depuis le sommet du bassin versant jusqu'à son exutoire en indexant :

- La coupe anarchique des arbres et le choix des cultures en fonction des classes de pente. Ces mesures doivent prendre en compte le niveau socio-économique des paysans en développant dans la zone des activités extra-agricoles génératrices de revenus afin de

contrecarrer la pratique de cette agriculture dans les pentes interdites qui ne fait qu'augmenter le risque d'érosion au niveau du bassin Mancelle.

- La planification de l'aménagement du territoire en utilisant cette carte de susceptibilité des zones aux débordements de Mancelle pour mieux orienter les nouvelles constructions, c'est-à-dire en exigeant la sollicitation des permis de construire, l'application de certaines normes de construction en fonction de l'ampleur du niveau de risque dans la zone, le respect des règlements imposés par la loi de 29 mai 1963, du code rural haïtien et du Code National du Bâtiment haïtien sur les principes de construction dans les zones à risques d'inondation.
- La relocalisation des personnes les plus vulnérables, car les débits qui ont engendré les sévères débordements dans le passé sont associés à un temps de retour pour lequel il y a une probabilité que la rivière reprenne son chemin.

❖ Préparation

Cette préparation doit passer par :

- L'installation des instruments de mesure de pluie et de débit dans le bassin versant afin de pouvoir collecter toutes les variations possibles permettant d'alerter à temps la population en aval sur les débordements probables de la rivière et de planifier l'évacuation en urgence de ces localités exposées.
- L'activation des organismes représentant du SNGRD au sein de la commune en vue de pouvoir intervenir à temps dans les situations d'urgence, surtout durant les saisons cycloniques.

❖ Protection

Elle est pour nous l'étape clé dans la gestion des risques de débordement de Mancelle. Si on prend l'exemple de la faible distance des habitations et des infrastructures routières par rapport à la Meuse ici à Liège, on peut vite déduire que les structures de protection jouent un rôle prépondérant dans la gestion des risques d'inondation des zones urbaines à proximité des rivières.

La protection doit être effectuée tant en amont du bassin Mancelle qu'en aval :

- En amont, en envisageant des projets d'aménagement qui ciblent la reforestation des pentes dénudées, le traitement des ravines par la réalisation des seuils et d'autres ouvrages de rétention permettant de mitiger le risque en aval.
- Dans les zones les plus proches de la ville, la continuité des travaux de gabionnage ciblant la stabilisation des berges et la maîtrise des crues.

6.1 Proposition cartographique d'un plan d'occupation des sols

- ✓ Tenant compte de l'article 69 du code rural haïtien.
- ✓ Tenant compte du débordement d'octobre 2006 qui s'était étendu sur environ 200 m au-delà du lit mineur de la rivière vers la rue Hyppolite d'après l'article d'Alterpresse.
- ✓ Tenant compte de la pente de la frange urbaine à l'intérieur du bassin Mancelle qui est inférieure à 10 %.

Nous sommes parvenus à proposer cette carte (Fig. 38) d'occupation de sol pour une meilleure gestion des risques liés aux débordements de Mancelle.

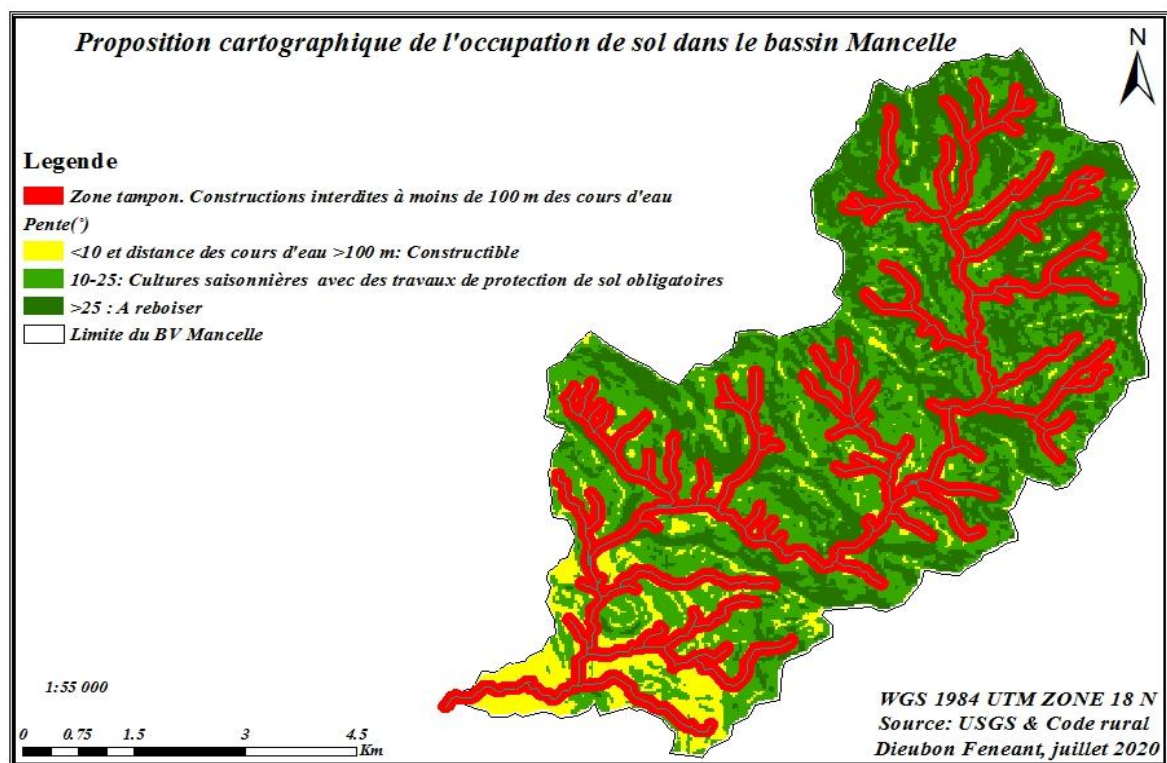


Figure 38. Proposition cartographique d'un plan d'occupation des sols dans le bassin Mancelle

Etant donné que la section communale de Rivière Mancelle est une zone rurale, nous sommes appuyé sur l'article 69 du code rural haïtien pour orienter les prises de décision dans un contexte de réduction de risque au niveau de ce bassin versant.

Mais, vu que les pentes recommandées par cet article pour les cultures saisonnières sont déjà occupées par les habitations du milieu urbain et le réseau hydrographique du bassin, nous sommes tenus à allouer cette classe de pente aux zones constructibles tout en excluant toutes les localités dont les distances par rapport aux cours d'eau sont inférieures à 100 m. Cette proposition n'exclut nulle part les travaux de protection le long des berges de la rivière. Au contraire en cas de l'absence de ces travaux sur une plus longue période, la zone tampon peut aller jusqu'à 200 m de chaque côté des cours d'eau en vue d'éviter des dommages comme ceux d'octobre 2006.

BIBLIOGRAPHIE

- i. Alberto B. 2012. Guide référence sur les pratiques de prévention et de lutte contre l'érosion dans le département Sud d'Haïti.
- ii. Bien-Aimé K. (2005). *Diagnostic de quelques micro-périmètres situés sur le bassin versant de la rivière Mancelle. Mémoire de licence. FAMV. Port-au-Prince. Haiti. 65p.*
- iii. Botzen, W. J. W., Aerts, J. C. J. H., & Van den Bergh, J. C. J. M. (2013). Individual preferences for reducing flood risk to near zero through elevation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(2), 229-244.
- iv. Brunet, S., & Schiffino, N. (2012). La diversité des notions de risques. *Articuler risques, planification d'urgence et gestion de crise*, 101-114.
- v. Brody SD, Zahran S, Maghelal P, Grover H, Highfield WE (2007) The rising cost of floods: examining the impact of planning and development decisions on property damage in Florida. *J Am Plann As* 73: 330–345
- vi. Brooks, Nick. 2003. "Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework." Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper 38:1-16.
- vii. CARE. (2012). *Plan communal de développement de Gros-Morne. Port-au-Prince. Haïti. 45p.*
- viii. Chery Y. (1999). *Etude de la vulnérabilité des ressources en eau en Haïti. Port-au-Prince. Haiti. 25p.*
- ix. CIAT_ Comité Interministériel d'Aménagement du territoire. LOIS D'URBANISMES. 2013. Synthèse des Textes Législatifs et Règlementaires de l'Urbanisme en Vigueur en Haïti
- x. Code rural Dr Francois Duvalier. 1962. Disponible en pdf sur : https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi4iYLY7IbqAhUlsaQKHWPtCYcQFjAAegQIBhAB&url=http%3A%2F%2Fwww.agriculture.gouv.ht%2Fview%2F01%2FIMG%2Fpdf%2FCode_Rural_1984.pdf&usg=AOvVaw2oiPLWo8x83l5WRovXIQzL
- xi. Constitution de la République d'Haïti 1987 amendée. Disponible en pdf sur : https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwigysbt6IbqAhUswQIHU1BANoQFjAAegQIARAB&url=http%3A%2F%2Fwww.oas.org%2Fjuridico%2FPDFs%2Fmesicic4_hti_const.pdf&usg=AOvVaw2-twh_2x994CY3ad8FRA6K

- xii. Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., and Webb, J.: A place-based model for understanding community resilience to natural disasters, *Global Environmental Change*, 18, 598–606, 2008.
- xiii. De Bruijn, K. M. (2004). Resilience and flood risk management. *Water Policy*, 6(1), 53-66.
- xiv. De Roo, A., Schmuck, G., Perdigao, V., & Thielen, J. (2003). The influence of historic land use changes and future planned land use scenarios on floods in the Oder catchment. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 28(33-36), 1291-1300.
- xv. Dewals B. Cours de risque naturel au campus d’Arlon. 2019
- xvi. De Bruijn, K. M. (2005). Resilience and flood risk management: a systems approach applied to lowland rivers.
- xvii. Diamond, Jared. 2005. *Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed* New York: Viking. ISBN 0-670-03337-5.
- xviii. DORLEON G., GUILLAUMME C., CELESTIN C., TOUSSAINT E. 2012. Rapport Diagnostic du périmètre irrigué d’Artrelle (2e section communale Rivière Mancelle, Commune de Gros-Morne, département de l’Artibonite)
- xix. Emergency Events Database (EM-DAT). EM-DAT, CRED / UCLouvain, Brussels, Belgium www.emdat.be (D. Guha-Sapir). Version : 2020-06-01
- xx. Faber S (1996) *On borrowed land: Public policies for floodplains*. Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge
- xxi. FICR. Fédération internationale des Sociétés de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge, Genève, 2015. Comment la loi et la réglementation contribuent à la réduction des risques de catastrophe. Haïti : rapport d’étude de cas
- xxii. FLOODsite-Consortium (2005) Language of Flood Risk. www.floodsite.net.
- xxiii. Gayen, S., Bhunia, G. S., & Shit, P. K. (2013). Morphometric analysis of Kangshabati-Darkeswar Interfluvies area in West Bengal, India using ASTER DEM and GIS techniques. *J Geol Geosci*, 2(4), 1-10.
- xxiv. Glenn, E. P., Morino, K., Nagler, P. L., Murray, R. S., Pearlstein, S., & Hultine, K. R. (2012). Roles of saltcedar (*Tamarix* spp.) and capillary rise in salinizing a non-flooding terrace on a flow-regulated desert river. *Journal of arid environments*, 79, 56-65.
- xxv. Gonomy N. (2012) — *Projet d’études et élaboration de plans d’aménagement de trois bassins versants dans le cadre du programme de mitigation des désastres naturels en Haïti*. Study report (in French).

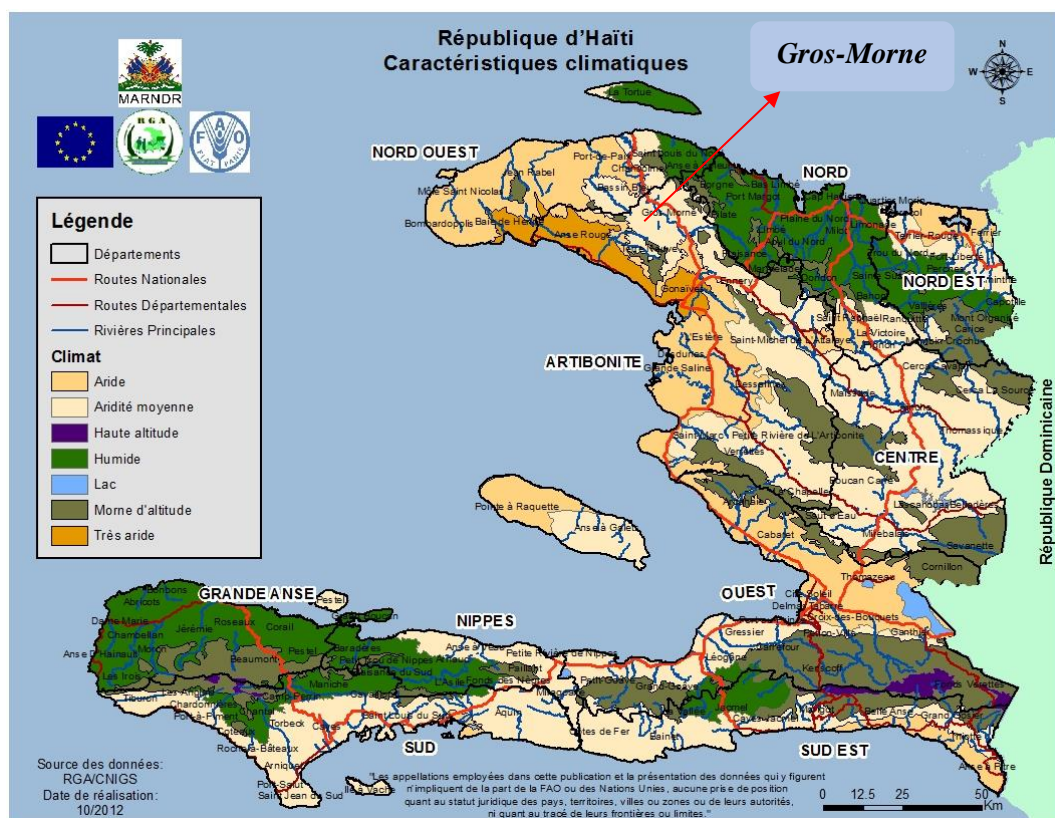
- xxvi. Gupta, A. K., & Nair, S. S. (2010). Flood risk and context of land-uses: Chennai city case. *Journal of Geography and Regional Planning*, 3(12), 365.
- xxvii. Heinl, R., & Heinl, N. G. (1996). Written in blood: the history of the Haitian people.
- xxviii. Heryanti, D. N., & Kingma, N. C. (2012). Community Based Approach to Assess Flood Risk Perception Along Code River. *Indonesian Journal of Geography*, 44(2).
- xxix. Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological society of America bulletin*, 56(3), 275-370.
- xxx. IHSI. (2009). *Population totale, population de 18 ans et plus. Ménages et densités estimés en 2009*. Port-au-Prince.
- xxxi. IHSI. (2015). *Population totale, population de 18 ans et plus. Ménages et densités estimés en 2015*. p86. Port-au-Prince.
- xxxii. IPCC. 2014. Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- xxxiii. International Strategy for Disaster Reduction (2004) Terminology: Basic terms of disaster risk reduction. <http://www.unisdr.org/eng/library/lib-terminologyeng%20home.htm> (17.06.04).
- xxxiv. ITC - International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (2004) Application 1. <http://www.itc.nl/ilwis/applications/application01.asp>.
- xxxv. James, L. D., & Lee, R. R. (1971). Economics of water resources planning. *Economics of water resources planning*.
- xxxvi. Jean-Baptiste M. A. 2013. Rapport national de suivi sur la mise en œuvre du Cadre d'action de Hyogo (2011-2013)
- xxxvii. Jonkman, S. N. (2005). Global perspectives on loss of human life caused by floods. *Natural hazards*, 34(2), 151-175.
- xxxviii. KNFP (2010), Filières agricoles à Gros-Morne : Diagnostic et analyse de la situation des producteurs agricoles.
- xxxix. Kuiper, E. (1971). Water resources project economics.
- xl. Lekuthai, A., & Vongvisessomjai, S. (2001). Intangible flood damage quantification. *Water Resources Management*, 15(5), 343-362
- xli. Le Moniteur, Journal officiel de la République d'Haïti. La loi du 29 mai 1963.

- xlii. Maheu, A. (2012). Urbanization and flood vulnerability in a peri-urban neighborhood of Dakar, Senegal: how can participatory GIS contribute to flood management? In *Climate Change and the Sustainable Use of Water Resources* (pp. 185-207). Springer, Berlin, Heidelberg.
- xlili. MICHEL G. et Charles L. (2008). *Projet de Développement Agricole Durable. Gros Morne – Haïti. CARTOGRAPHIE DES BASSINS VERSANTS EN COURS D’AMENAGEMENT. Correction de ravines - Construction de seuils – Végétalisation dans la 1ère section de Boucan Richard, la 8ème section Ravine Gros-Morne et la 6ème section de Savane Carrée.*
- xliv. Ministère de l’Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR, 2003). *Projet HAI/86/003*
- xliv. Ministère de l’Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR, 2010). *Plan national d’investissement agricole*
- xlvi. Ministère de l’Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR, 2012). *Atlas Agricole d’Haïti*
http://agriculture.gouv.ht/statistiques_agricoles/Atlas/thematique_generale.html
- xlvi. Ministère de l’Intérieur et des Collectivités Territoriales. *Plan de contingence 2011.*
- xlvi. McDaniels, T., Chang, S., Cole, D., Mikawoz, J., & Longstaff, H. (2008). Fostering resilience to extreme events within infrastructure systems: Characterizing decision contexts for mitigation and adaptation. *Global Environmental Change*, 18(2), 310-318
- xlix. Mojaddadi, H., Pradhan, B., Nampak, H., Ahmad, N., & Ghazali, A. H. B. (2017). Ensemble machine-learning-based geospatial approach for flood risk assessment using multi-sensor remote-sensing data and GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1080-1102.
- 1. Mora S. C., Marcello M., Janvier B. Pierre-Michel B. et Suréna Y. *SYSTÈME NATIONAL DE GESTION DU RISQUE. Plan national de réponse aux urgences (PNRU). Décembre 2001 (Mise à niveau : Septembre 2009)*
- li. Morita, M. (2014). Flood risk impact factor for comparatively evaluating the main causes that contribute to flood risk in urban drainage areas. *Water*, 6(2), 253-270.
- lii. MTPTC. 2013.- Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications. *Code National du Bâtiment d’Haïti.*
- liii. Munich Re (1997) *Flooding and insurance.* Munich.

- liv. NATHAT, Analyse des menaces naturelles multiples (multimenhas-2). Etape 2 : reconstruction des quartiers. Volume 1 étude régionale sur les menaces naturelles en Haïti. 2012
- lv. Ouma, Y. O., & Tateishi, R. (2014). Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. *Water*, 6(6), 1515-1545.
- lvi. Ozer, P. (2014). Catastrophes naturelles et aménagement du territoire : de l'intérêt des images *Google Earth* dans les pays en développement. *Geo-Eco-Trop*, 38(1), 209-220.
- lvii. Pallard, B., Castellarin, A., & Montanari, A. (2009). A look at the links between drainage density and flood statistics. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(7), 1019.
- lviii. Plate, E. J. (2002). Flood risk and flood management. *Journal of Hydrology*, 267(1-2), 2-11.
- lix. PNUE / PNUD (2013). Haïti - République dominicaine. - Défis environnementaux dans la zone frontalière. Panamá- New York : PNUE / PNUD.
- lx. Pradhan B, Shafiee M, Pirasteh S (2009) Maximum flood prone area mapping using RADARSAT images and GIS: kelantan river basin. *Int J Geoinformatics* 5(2):11–23
- lxi. Samuels, P. (2009). Language of risk: project definitions. *T32-04-01*.
- lxii. Saaty, T. L. "The Analytic Hierarchy Process McGraw Hill, New York." *AGRICULTURAL ECONOMICS REVIEW* 70 (1980).
- lxiii. Saaty, T.L., 1986. Axiomatic foundations of the analytic hierarchy process. *Management Science* 32 (7), 841–855.
- lxiv. Saaty, T. L. (2003). Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European journal of operational research*, 145(1), 85-91.
- lxv. Saaty, T. L. (2004). Decision making—the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). *Journal of systems science and systems engineering*, 13(1), 1-35.
- lxvi. Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- lxvii. Schanze, J. (2006). Flood risk management—a basic framework. In *Flood risk management: hazards, vulnerability and mitigation measures* (pp. 1-20). Springer, Dordrecht.
- lxviii. Setbon, M., Raude, J., Fischler, C., & Flahault, A. (2005). Risk perception of the “mad cow disease” in France: determinants and consequences. *Risk Analysis: An International Journal*, 25(4), 813-826.

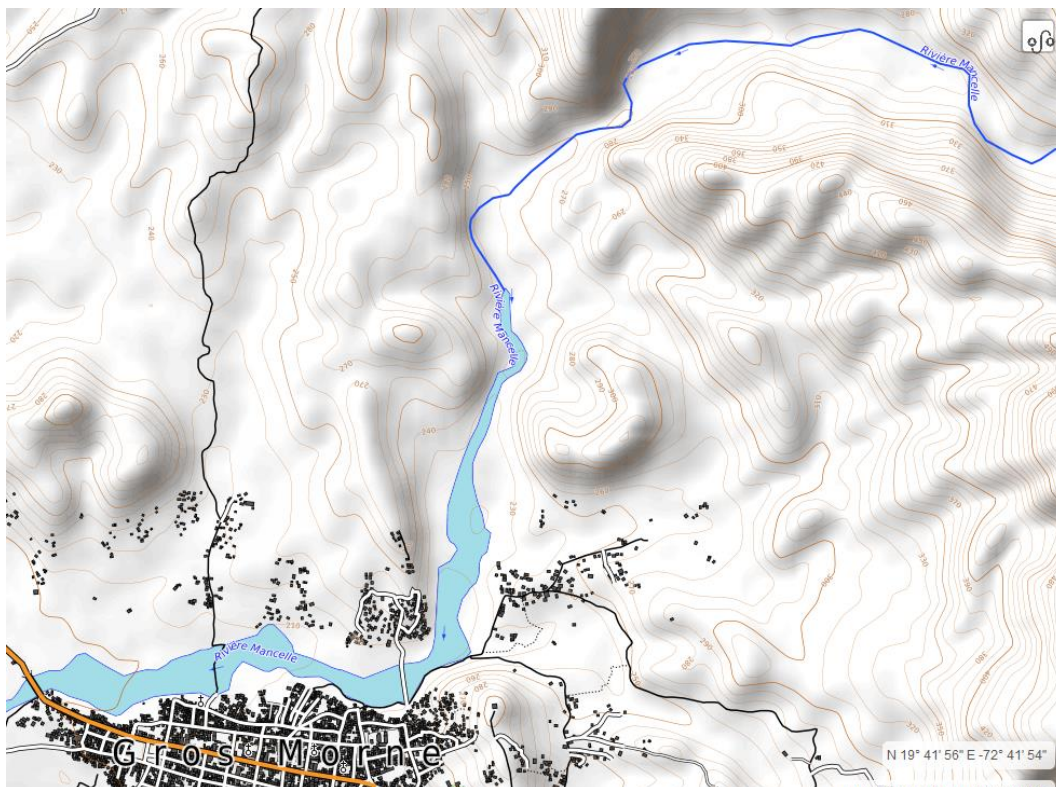
- lxix. Smith, S., & Hersey, D. (2008). Analysis of watershed vulnerability to flooding in Haiti. *World Applied Sciences Journal*, 4(6), 869-85
- lxx. Sole, A., Giosa, L., & Copertino, V. (2007). Risk flood areas, a study case: Basilicata Region. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 104, 213-228.
- lxxi. Souissi, D., Zouhri, L., Hammami, S., Msaddek, M. H., Zghibi, A., & Dlala, M. (2019). GIS-based MCDM–AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia. *Geocarto International*, 1-27.
- lxxii. Stieglitz, M., Rind, D., Famiglietti, J., & Rosenzweig, C. (1997). An efficient approach to modeling the topographic control of surface hydrology for regional and global climate modeling. *Journal of Climate*, 10(1), 118-137.
- lxxiii. Thinh, N. X., & Vogel, R. (2007). Application of the Analytic Hierarchy Process in the Multiple Criteria Decision Analysis of Retention Areas for Flood Risk Management. In *EnviroInfo (1)* (pp. 675-682).
- lxxiv. WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen (1999) *Welt im Wandel – Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken* (World in change – Strategies for dealing with global environmental risks). Jahresgutachten 1998, Springer, Berlin and others.
- lxxv. Vojinovic Z (2009) Supporting flood disaster management with numerical modelling and spatial mapping tools. *Int J Geoinformatics* 5(4) :33–40
- lxxvi. Wheeler, H., & Evans, E. (2009). Land use, water management and future flood risk. *Land use policy*, 26, S251-S264.
- lxxvii. Wiles, J. J., & Levine, N. S. (2002). A combined GIS and HEC model for the analysis of the effect of urbanization on flooding; the Swan Creek watershed, Ohio. *Environmental and Engineering Geoscience*, 8(1), 47-61.
- lxxviii. World Bank/United Nations (2010) *Natural Hazards, UnNatural Disasters. The Economics of Effective Prevention*. Washington, DC: World Bank.

ANNEXES



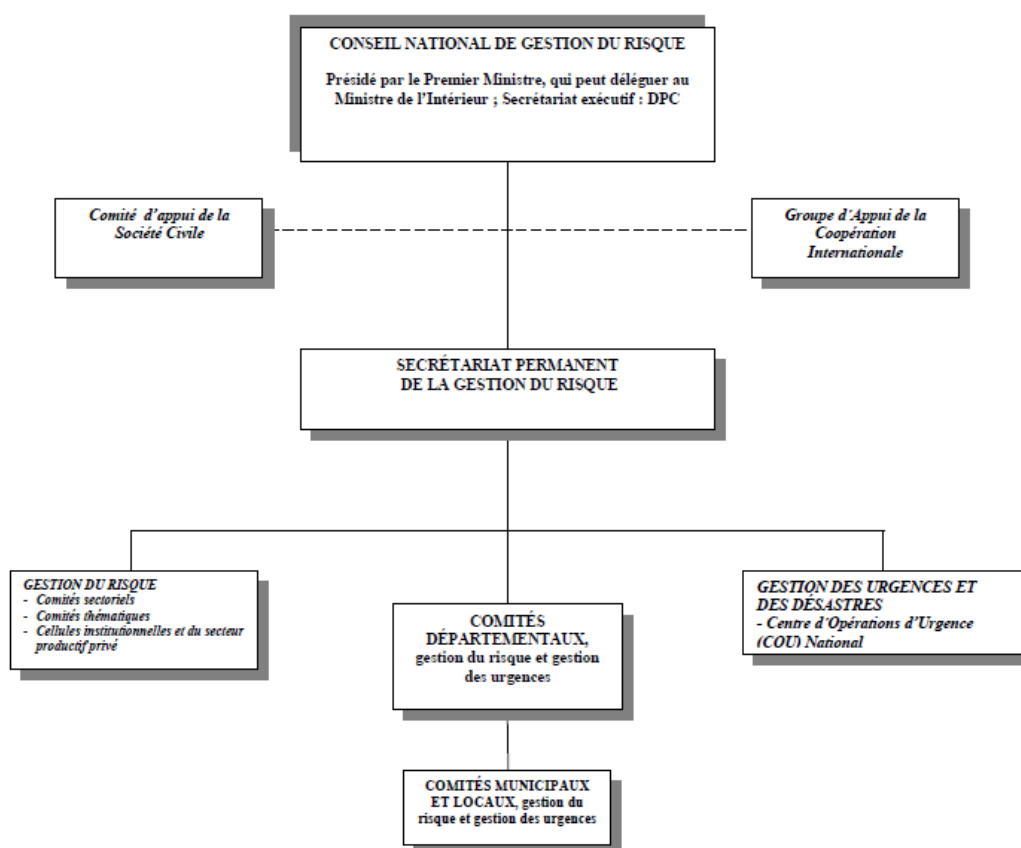
Annexe 1. Cartes des caractéristiques climatiques(a) et des zones agroécologiques(b) d'Haïti

Source : Atlas Agricole d'Haïti, MARNDR, 2012.



Annexe 2. Carte d'élévation des localités de la rivière Mancelle

Source : <https://elevationmap.net/corail-riviere-mancelle-gros-morne-ht-1011241324>



Annexe 3. Organigramme du conseil national de gestion du risque et des catastrophes (CNGRD) en Haïti