



HAL
open science

Evaluation de la vulnérabilité urbaine face aux inondations induites par la mer : le cas de la commune de ort-Gentil (Gabon)

Louis Kadryl Yembi-Yembi

► To cite this version:

Louis Kadryl Yembi-Yembi. Evaluation de la vulnérabilité urbaine face aux inondations induites par la mer : le cas de la commune de ort-Gentil (Gabon). Géographie. Normandie Université, 2024. Français. NNT : 2024NORMC007 . tel-04773978

HAL Id: tel-04773978

<https://theses.hal.science/tel-04773978v1>

Submitted on 8 Nov 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE

Pour obtenir le diplôme de doctorat

Spécialité **GEOGRAPHIE**

Préparée au sein de l'**Université de Caen Normandie**

Evaluation de la vulnérabilité urbaine face aux inondations induites par la mer : le cas de la commune de Port-Gentil (Gabon)

Présentée et soutenue par
LOUIS KADRYL YEMBI-YEMBI

Thèse soutenue le 11/06/2024
devant le jury composé de :

M. STEPHANE COSTA	Professeur des universités - Université de Caen Normandie (UCN)	Directeur de thèse
M. EMMANUEL BONNET	Chargé de recherche HDR - INST DE RECH POUR LE DEVELOPPEMENT (IRD)	Co-directeur de thèse
MME AWA NIANG-FALL	Professeur - UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP SENEGAL	Membre du jury
MME MARJOLAINE OKANGA-GUAY	Maître de conférences - Université Omar Bongo	Membre du jury
MME MARION AMALRIC	Professeur des universités - Université de Tours	Rapporteur du jury
M. FREDERIC BERTRAND	Professeur des universités - Sorbonne Université	Rapporteur du jury

Thèse dirigée par **STEPHANE COSTA** (Identité et Différenciation des Espaces de l'Environnement et des Sociétés) et **EMMANUEL BONNET** (INST DE RECH POUR LE DEVELOPPEMENT (IRD))

THÈSE

Pour obtenir le diplôme de doctorat

Spécialité **GEOGRAPHIE**

Préparée au sein de l'Université de Caen Normandie

Évaluation de la vulnérabilité urbaine face aux inondations induites par la mer : le cas de la commune de Port-Gentil (Gabon)

Présentée et soutenue par

Louis Kadryl YEMBI-YEMBI

Thèse soutenue le 11/06/2024

devant le jury composé de :

Mme Marion AMALRIC	Maître de conférences HDR, Université de Tours	Rapporteuse du jury
M. Frédéric BERTRAND	Professeur des universités, Sorbonne Université	Rapporteur du jury
Mme Awa NIANG-FALL	Professeur - Université Cheikh Anta Diop	Membre du jury
Mme Marjolaine OKANGA-GUAY	Maître de conférences, Université Omar Bongo	Membre du jury
M. Stéphane COSTA	Professeur des universités, Université de Caen Normandie	Directeur de thèse
M. Emmanuel BONNET	Directeur de recherche, HDR, IRD, UMR 215 Prodig	Co-directeur de thèse

Thèse dirigée par Stéphane COSTA, laboratoire IDEES-Caen UMR 6554 CNRS
et Emmanuel BONNET, IRD, UMR 215 Prodig CNRS

Remerciements

Le chemin qui m'a conduit jusqu'à cette étape importante de ma vie a été semé d'embûches et de défis, mais grâce au soutien inestimable de nombreuses personnes, j'ai pu traverser cette forêt dense de la recherche et percer ses mystères.

Remercier n'est pas toujours une tâche aisée. La crainte de susciter des jalousies, de causer des regrets ou même d'omettre ceux qui ont contribué modestement, mais dont l'importance dépasse largement leur simple apport, est bien réelle. Cependant, il est nécessaire, voire essentiel, de se plonger dans cette démarche en fin de thèse, car sans l'aide et le soutien variés, la recherche n'aurait pas pu se concrétiser et aurait perdu tout son sens à nos yeux. En effet, se lancer dans un projet de recherche, en particulier une thèse, c'est comme s'aventurer dans une forêt dense, dont le sous-bois est si épais qu'il devient impossible de discerner l'horizon. C'est dans ces moments-là qu'il est prévoyant et judicieux de se faire guider par les anciens de la forêt, par les hommes et les femmes qui connaissent parfaitement les secrets de cette forêt, afin d'y avancer avec assurance et de lever le voile sur ses mystères les plus profonds. C'est pourquoi, au terme de ces années de recherche passionnantes et très longues, je souhaite adresser mes sincères remerciements à ceux qui m'ont accompagné avec dévouement et soutenu tout au long de ce parcours semé d'embûches.

Tout d'abord, je voudrais exprimer ma gratitude à **Stéphane COSTA**, qui a accepté de diriger mes travaux et m'a accordé sa confiance pendant ces années intenses. Je tiens à le remercier chaleureusement pour sa disponibilité sans faille, malgré ses multiples responsabilités. Sa sensibilité à mes difficultés, son écoute attentive et ses encouragements constants ont été d'une importance fondamentale pour moi « *Louis, il faut faire efficace !* ». Je suis également reconnaissant pour ses précieux conseils, toujours pertinents et concis, qui ont joué un rôle déterminant dans l'atteinte des objectifs fixés et dans la résolution des énigmes de cette forêt dense qu'est la thèse. Je lui adresse toute ma gratitude et mes remerciements les plus sincères.

J'aimerais également exprimer ma reconnaissance à Emmanuel **BONNET**, qui a cru en moi dès notre rencontre dans le cadre du Master GETEVU. Sa confiance et son soutien indéfectibles ont été une source d'inspiration constante. Malgré la distance qui nous séparait, jusqu'au Burkina, il a été présent à mes côtés et m'a prodigué un encadrement rigoureux et précieux. Je lui suis reconnaissant d'avoir cru en mon potentiel dès le début de cette thèse, même lorsque je ne disposais d'aucun financement. Son appui m'a donné la force et la motivation nécessaires pour me lancer et avancer.

Merci à **Olivier MAQUAIRE**, ancien directeur du laboratoire LETG-Caen GEOPHEN, pour son accueil chaleureux, son soutien administratif et mon intégration au sein du laboratoire.

Je souhaite remercier l'**Agence Nationale des Bourses du Gabon (ANBG)**, qui a financé cette thèse pendant ces années de recherche. Leur soutien financier a été indispensable pour mener à bien ce projet ambitieux, et je suis profondément reconnaissant de cette opportunité qui m'a été offerte.

Durant ces années de thèse, j'ai eu la chance de travailler dans un environnement exceptionnel au laboratoire LETG-Caen, qui par la suite est devenu IDEES-Caen. Je tiens pour cela à remercier l'ensemble des membres d'IDEES-Caen, notamment les chercheurs, les techniciens et le personnel administratif qui ont été une source précieuse de soutien et de collaboration. Je tiens à remercier spécialement **Daniel DELHAYE, Jean-Michel CADOR, Olivier CANTAT, Mohand MEDJIKANE, Candide LISSAK, Romain REULIER, Robert DAVIDSON** pour ses longues explications passionnantes sur la géodésie et la manipulation du DGPS, **Marie-Paule BATAILLE** pour leur accueil chaleureux et leur disponibilité. Leur contribution à mon travail a grandement enrichi mes recherches, et je leur suis profondément reconnaissant. Merci également à **Blandine PAREY**, l'assistante du laboratoire, pour son soutien précieux dans les démarches administratives, en particulier auprès de l'école doctorale. Son aide a facilité mes engagements et m'a permis de me concentrer pleinement sur ma recherche.

Merci à **David GAILLARD**, maître de conférences au laboratoire IDEES-Caen et mon ancien directeur de master 2 GETEVU, d'avoir accepté d'être dans mon comité de suivi individuel, et d'avoir veillé au bon déroulement de mon parcours doctoral avec sympathie et bienveillance.

Je tiens également à mes collègues doctorants (la bande), qui ont été des compagnons précieux tout au long de cette aventure académique. Mes remerciements vont à **Guillaume THIRARD** et **Thomas ROULLAND** (les hommes des glissements de terrain), à **Fanny LE GUILLOU** et **Mathilde GUILLEMOIS** (les femmes des haies), à **François BEAUVAIS** (le Cyclimatologue), à **Bastien PEUZIAT** (l'homme qui cherche le sable sur l'estran rocheux), à **Mohamed KOUAH** (l'homme des formules mathématiques), à **Bastien SANDBERG** (le droniste), à **El Hadji Ibrahima DIALLO** (le géopolitologue), à **Matthieu DAVID**, (l'homme refuge climatique), et à **NADA** (la dame des glissements de terrain marocain), à, sans oublier vos présences, nos échanges enrichissants et respectueuses de nos différents points de vue ont grandement contribué à mon développement académique et personnel. Je suis reconnaissant pour les moments partagés lors des pauses café, ainsi que pour nos soirées et nos randonnées, qui resteront des souvenirs précieux de fraternité et de partage.

Je tiens à remercier tous mes amis, dont la patience et le soutien ont été inestimables tout au long de cette période. Votre intérêt pour mon travail et nos longues discussions sur les projections futures après la thèse ont été une source d'inspiration et de motivation. Je tiens particulièrement à

remercier **Armel BIBOUTOU**, **Cédric MPIE SIMBA** et **Inès KOUMBA MOUGUEGUI** pour nos échanges approfondis sur mon sujet de recherche, qui ont permis de revoir certaines idées et d'enrichir ma réflexion. À **Christ Prospère OYOUMA**, **Éric François LIKOUAKA** et **Charles YEMBE**, mes associés de MultiRotorServices_Gabon (MRSG), qui m'ont accompagné sur le terrain pour la collecte de données topographiques et les prises de vue aériennes par drone à Port-Gentil. Je ne saurais oublier mes amis de l'**AKATSUKI**, dont le soutien et l'amitié m'ont été précieux tout au long de cette aventure.

Je souhaite également exprimer ma profonde gratitude envers les étudiants du Département des Sciences Géographiques, Environnementales et Marines de l'Université Omar Bongo de Libreville. En particulier, je remercie ceux du Master Dynamiques Spatiales Activités et Sociétés (DSAS) et de la Chaire CEMAC en Environnement pour leur soutien précieux lors de mes enquêtes sur le terrain. Votre collaboration et votre enthousiasme ont grandement contribué à la réussite de mon travail de recherche.

Enfin, je voudrais exprimer ma reconnaissance à ma famille pour son soutien indéfectible tout au long de ce parcours. À mes frères, sœurs, oncles et tantes dont le nombre est si grand qu'il est impossible de les citer tous ici, je suis reconnaissant pour votre soutien constant et vos encouragements. Je tiens également à remercier **Melody** pour son soutien inconditionnel, ainsi que **Feddy** et **Drocillia** pour les bons moments passés ensemble en plein Covid-19 et qui ont rendu ces années encore plus agréables. Bien évidemment, un merci tout spécial à mes enfants **Lyam** et **Myra**, dont la curiosité et le questionnement à chaque appel téléphonique et l'innocence ont été une source de motivation pour moi.

« La rivière est pleine de méandres parce qu'elle a voulu tracer son chemin seule »

Proverbe Punu traduit en français
(Ethnie du Sud-ouest du Gabon)

Ce travail est pour la ville de Port-Gentil et sa population.

Pour mes Mères : Thérèse **BISSAGOU MOUENZI**, épouse **YEMBI**

et

Marie Olga **SOUGOU**, épouse **MANFOUMBI**

Pour mes Pères : feu Louis **YEMBI YEMBI**,

et

Guy Joël **MANFOUMBI**

Sommaire

REMERCIEMENTS.....	3
SOMMAIRE.....	7
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	8
INTRODUCTION GENERALE	11
PREMIERE PARTIE : ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE LIEE AUX INONDATIONS PAR LA MER DANS UN CONTEXTE URBAIN AFRICAIN : CONCEPTS ET CONTEXTE	25
CHAPITRE 1 : REFLEXION AUTOUR DE LA VULNERABILITE URBAINE AUX INONDATIONS PAR LA MER : DEFINITIONS ET IMPLICATIONS PRATIQUES.....	29
CHAPITRE 2 : CONTEXTE SOCIO-ENVIRONNEMENTAL DU SITE D'ETUDE : UNE ILE PREDISPOSEE AUX INONDATIONS PAR LA MER.....	71
DEUXIEME PARTIE : APPROCHE TRANSVERSALE, EMPREINTE DE PLURIDISCIPLINARITE : ENTRE ALEA, EXPOSITION DES ENJEUX ET REPRESENTATION SOCIO-SPATIALE DU RISQUE A L'ECHELLE COMMUNALE	121
CHAPITRE 3 : ÉVALUATION DE L'ALEA : CARACTERISATION ET SPATIALISATION SELON PLUSIEURS SCENARIOS ET DIFFERENTES ECHELLES SPATIO-TEMPORELLES.....	125
CHAPITRE 4 : IDENTIFICATION, CARACTERISATION ET EVALUATION DE LA VULNERABILITE PHYSIQUE DES ENJEUX EN MILIEU URBAIN : APPROCHE PAR INDICES.....	181
CHAPITRE 5 : ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE SOCIALE A TRAVERS LES REPRESENTATIONS DU RISQUE A PORT-GENTIL : CADRE METHODOLOGIQUE	215
TROISIEME PARTIE : VERS UNE CONNAISSANCE OBJECTIVE DE LA VULNERABILITE DE LA COMMUNE DE PORT-GENTIL FACE AUX INONDATIONS PAR LA MER	253
CHAPITRE 6 : EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE PHYSIQUE DE PORT-GENTIL FACE AUX INONDATIONS PAR LA MER : UNE REALITE TERRITORIALE	255
CHAPITRE 7 : LES REPRESENTATIONS SOCIO-SPATIALES DU RISQUE D'INONDATION PAR LA MER : REVELATRICE D'UNE VULNERABILITE SOCIETALE	316
CHAPITRE 8 : LES FREINS ET LES LEVIERS DE LA GOUVERNANCE EFFICACE DU RISQUE D'INONDATION PAR LA MER AU GABON.....	362
CONCLUSION GENERALE	412
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	428
LISTE DES FIGURES.....	454
LISTE DES TABLEAUX.....	465
ANNEXES.....	467
TABLE DES MATIERES.....	500

Liste des sigles et abréviations

ANUTTC	Agence Nationale de l'Urbanisme, des Travaux Topographiques et du Cadastre
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CAH	Cadre d'Action de Hyogo
CCNUCC	Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CEEAC	Communauté Economique des Etats de l'Afrique Centrale
DMN	Direction de la Météorologie Nationale
FIT	Front InterTropical
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GIZC	Gestion Intégrée des Zones Côtières
GPM	Gabon Port Management
hPa	Hectopascal
IGN	Institut Géographique National
IGN	Institut National de Cartographie
LIDAR	Light Detection And Ranging
MEDDE	Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, et de l'Energie (France)
MHUDD	Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et du Développement Durable
MNE	Modèle Numérique d'Élévation
MNT	Modèle Numérique de Terrain
OIPC	Organisation Internationale de la Protection Civile
OMM	Organisation Météorologique Mondiale
ONG	Organisation Non Gouvernementale
PED	Pays en développement
PER	Plans d'Exposition aux Risques
PDU	Plan de Développement Urbain
PLU	Plan Local d'Urbanisme
PPRI	Plan de Prévention de Risque Inondation

RMSE	Root Mean Square (Erreur Quadratique Moyenne)
RRC	Réduction des Risques de Catastrophes
SDAU	Schéma Directeur d'Aménagement Urbain
SEEG	Société d'Energie et d'Eau du Gabon
SHOM	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
SIG	Système d'Information Géographique
SOGARA	Société Gabonaise de Raffinage
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UOB	Université Omar Bongo
USGS	United States Geological Survey (Service géologique des Etats-Unis)
ZCFE	Zone Côtière de Faible Élévation
ZCIT	Zone de Convergence Inter-Tropicale

Introduction générale



Façade maritime de la Baie du Cap Lopez. La prise de vue est orientée du sud-est vers le nord-ouest. Au premier plan, il est possible d'observer le parc à bois qui a joué un rôle essentiel dans la transformation de la ville de Port-Gentil en un centre économique majeur, contribuant ainsi à son développement. Au second plan se trouve le centre-ville historique dans son état d'origine, tel qu'il existait en 1958. Ensuite, à gauche, en arrière-plan, se situe le village africain, maintenant connu sous le nom de grand village et Balise. À droite s'étend une vaste zone marécageuse où seront construites les Cités Satom et celle de la Caisse. Source image : (<https://www.delcampe.net/fr/collections/>)

Contexte de la recherche

Selon l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM)¹, les catastrophes naturelles ont connu une augmentation significative au cours des cinquante dernières années. Entre 1970 et 2019, environ 11 000 catastrophes liées au climat, à la météo et à l'hydrologie ont été enregistrées. Selon le Bureau des Nations Unies pour la Réduction des Risques de Catastrophes (UNDRR), les inondations sont les phénomènes naturels qui touchent le plus grand nombre de personnes dans le monde, soit 82 millions (Figure 0-1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Globalement, bien que le nombre de décès ait diminué de deux tiers, les coûts économiques ont été multipliés par sept. Les pays en développement ont enregistré le plus grand nombre de catastrophes, soit 71 %, et également le plus grand nombre de décès, soit 91 %. Cependant, ce sont les pays développés qui ont subi les pertes économiques les plus importantes, représentant 59 % du total.



Figure 0-1 : Nombre annuel moyen de (millions) personnes affectées par type de désastre entre 2001 - 2020 (source : United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR)²)

L'augmentation des catastrophes naturelles peut s'expliquer par l'urbanisation massive, qui a entraîné une exposition accrue aux risques naturels à travers le monde. Actuellement, plus de la moitié de la population mondiale, soit 4,2 milliards de personnes, réside dans des zones urbaines (Chester *et al.*, 2000). Cette croissance démographique a un impact sur l'évolution spatiale des villes (Smith, 2013), poussant de plus en plus de personnes à s'installer dans les périphéries urbaines, souvent considérées comme exposées aux aléas naturels tels que les zones proches des marais, des cours d'eau et des mangroves dans les zones côtières. Ce phénomène est particulièrement visible

¹ <https://public.wmo.int/fr/medias/communiqu%C3%A9s-de-presse/les-al%C3%A9as-li%C3%A9s-%C3%A0-leau-en-t%C3%AAte-des-catastrophes-de-ces-50-derni%C3%A8res>

² https://www.preventionweb.net/understanding-disaster-risk/disaster-losses-and-statistics?_gl=1*1nh9kse*_ga*OTU5NDUxOTI1LjE2NzQ5MDc3MzY.*_ga_D8G5WXP6YM*MTY3NDkwNzcxNi4xLjEuMTY3NDkwOTgwNi4wLjAuMA..

dans les villes des pays en développement, notamment en Afrique subsaharienne (Véron, 2007; Adelekan, 2010).

Il est essentiel de souligner que les zones côtières sont les plus prisées pour l'implantation de villes et d'agglomérations (Liziard, 2013). L'urbanisation massive observée ces dernières décennies le long des littoraux conduit à une exposition croissante (Liziard, 2013). Environ 60 % de la population mondiale vit en zone côtière (Noin, 1999 ; Hénaff *et al.*, 2018 ; Le Duff, 2018). De plus, on estime que près de 896 millions de personnes vivent dans des centres urbains situés en basse altitude le long des côtes, ce qui représente plus de 11 % de la population mondiale (GIEC, 2022a). Par ailleurs, de nombreuses capitales régionales ou nationales se trouvent dans ces zones, notamment à l'embouchure de deltas et d'estuaires (Chester *et al.*, 2000). Alors que ces centres urbains concentrent une grande population, des biens, des services et des infrastructures d'importance nationale, ils sont en même temps très vulnérables aux aléas côtiers, notamment aux inondations dues à la mer (Sampath *et al.*, 2015). C'est le cas de villes telles que Manille (Philippines), Jakarta (Indonésie), Lima (Pérou) et de manière plus générale, Kiribati ou les Maldives. En Afrique également, en raison de leur position dans les Zones Côtières de Faible Élévation (ZCFE), plusieurs villes comme Lagos (Nigeria), Dakar (Sénégal), Libreville et Port-Gentil au Gabon sont exposées aux inondations par la mer (Figure 0-2 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

En raison de cette double pression convergente, d'une part, de la forte croissance urbaine, et d'autre part, de la montée du niveau moyen de la mer induite par le réchauffement climatique, les régions côtières sont particulièrement vulnérables aux risques côtiers (Hellequin *et al.*, 2013). Face à cette situation conflictuelle, la question de la proximité des activités anthropiques à la lisière du trait de côte pose aujourd'hui le problème de la gestion intégrée de ces territoires. Il semble plus urgent aujourd'hui de mettre en place des politiques d'évaluation permettant de comprendre le risque encouru, afin de prévoir leurs conséquences et d'anticiper les mesures à mettre en œuvre en vue d'une prévention/adaptation/mitigation adéquate.

Comme de nombreux territoires, le Gabon est soumis à de nombreux risques naturels : inondation pluviale, glissement de terrain, débordement de cours d'eau, érosion côtière, submersion marine (Menie Ovono, 2010 ; Menié Ovono et Pottier, 2019 ; Ndoulou Loubamono, 2000). Ce travail de recherche porte sur les inondations par la mer dans la commune de Port-Gentil. Cette zone est particulièrement pertinente en raison de son risque élevé d'exposition à cet aléa.

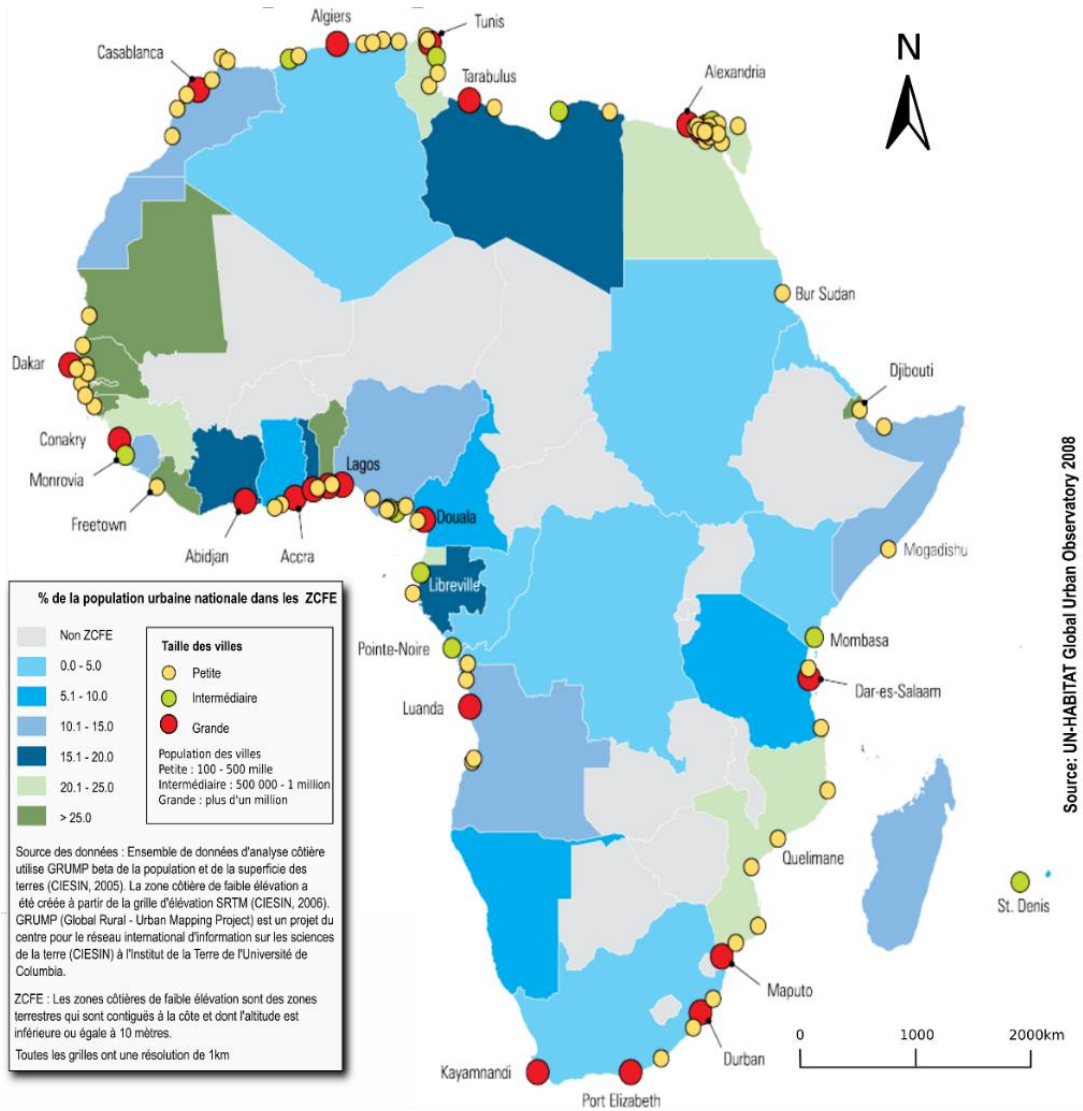


Figure 0-2 : Villes d'Afrique à risque face à l'élévation du niveau marin (Source : ReliefWeb tiré de www.PopulationData.net (Modifiée par L. YEMBI, 2022)

Avec ses 900 km de côte basse, en majorité d'accumulations la région côtière du Gabon est en effet vulnérable aux inondations par la mer et fait face à des problèmes de gestion. Plusieurs facteurs physiques et sociétaux (une faible topographie, une lithologie meuble d'accumulation, le contexte climatique régional favorable à une forte pluviométrie, l'artificialisation de plus en plus marquée des zones humides, une urbanisation galopante dans les zones basses soumise à des inondations pluviales et marines) sont responsables d'une vulnérabilité plus ou moins importante selon certains secteurs du territoire. La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** représente en bleu les zones c ôtières inférieures à 5 m d'altitude sur le bassin sédimentaire gabonais (Figure 0-3). On peut y voir l'ensemble des communes littorales localisées en partie ou en totalité dans ces zones.

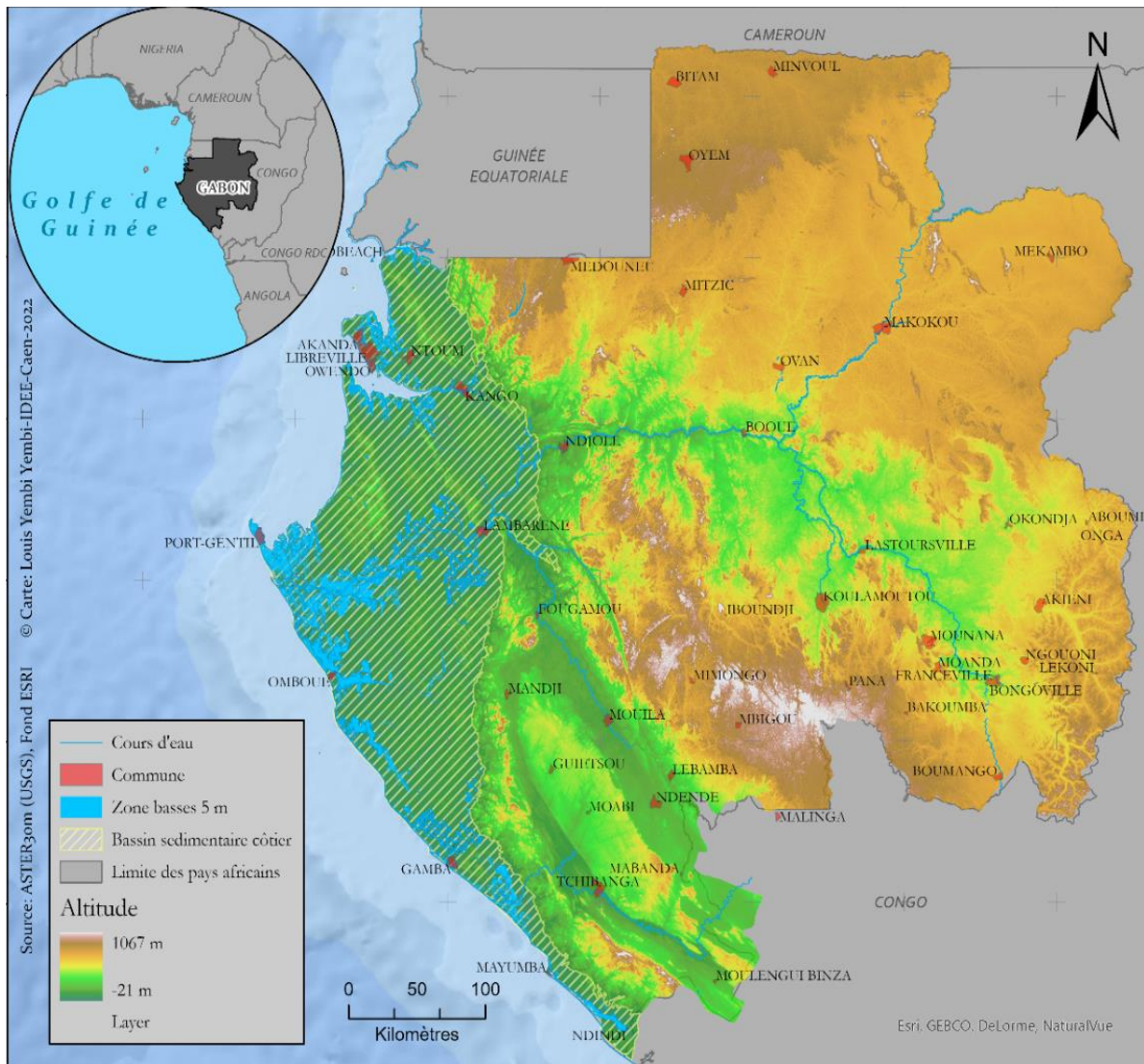


Figure 0-3 : Localisation des zones basses au Gabon (-5 mètres)

Avec la problématique du changement climatique et des conséquences liées à l'élévation du niveau des mers, il est plus que nécessaire d'appréhender la vulnérabilité de ces territoires par une meilleure connaissance des facteurs concourant à amplifier cette vulnérabilité. Cette recherche se concentre sur la vulnérabilité des villes potentiellement sujets aux inondations par la mer. Les inondations par la mer sont un problème majeur sur le littoral gabonais après les inondations pluviales et l'érosion, mais qui pourrait devenir la principale préoccupation à l'avenir.

Pour évaluer la vulnérabilité du littoral gabonais aux effets du changement climatique, des études ont été menées en 2003, 2011 et 2018 dans le cadre de la stratégie nationale d'adaptation du littoral gabonais. Ces études ont donné à des communications nationales (MHUEDD, 2011; MEFPEPGDEDD, 2018) et ont mis en évidence les facteurs de vulnérabilité des différentes villes côtières du Gabon. Cependant, elles n'ont pas précisé une échelle opérationnelle le système de vulnérabilité de chaque localité. Elles indiquent que Port-Gentil serait la principale zone urbaine

susceptible d'être la plus impactée par les effets du changement climatique et notamment par les submersions marines.

Le présent travail s'intéresse au territoire de l'île Mandji, en particulier à la ville de Port-Gentil, qui est considérée comme la capitale économique du Gabon. Cette ville est reconnue pour être le poumon économique du Gabon, en raison de la concentration des multinationales de secteur pétrolier et de leurs activités d'exploration et de production sur l'ensemble du bassin sédimentaire côtier. La ville de Port-Gentil est également considérée comme ayant une importance nationale, régionale voir internationale. Cependant, il est également important de noter que la localisation de cette ville est problématique du point de vue topographique et pédologique. En effet, sa topographie est relativement faible par rapport à d'autres villes côtières du Gabon. Dans ce sens, il est particulièrement pertinent de s'interroger sur la vulnérabilité de cette ville face aux inondations par la mer.

Questionnement et objectifs de la thèse

Cette thèse s'inscrit dans la continuité des travaux réalisés dans le cadre de **la Stratégie nationale d'adaptation du littoral gabonais face aux effets des changements climatiques**. Ainsi, il est question ici de risque d'inondation par la mer actuel et futur, en raison du réchauffement climatique contemporain. Cette recherche privilégie une approche centrée sur l'échelle locale (l'espace urbain) afin d'identifier finement les poches de vulnérabilité intra-urbaine face aux inondations par la mer.

Il s'agit d'une problématique qui relève d'abord d'intérêts académiques, mais qui répond aussi aux préoccupations des gestionnaires des territoires côtiers (élus, administration étatique...). Ce travail s'appuie sur une **analyse holistique de la vulnérabilité territoriale** à travers ses différents **facteurs exogènes** (liés aux contraintes physiques du site) et **endogènes** (générés par la dégradation de l'environnement urbain, des conditions de vie des populations et des politiques de gestion peu ou pas efficaces). Cette thèse se fonde sur le postulat que **la vulnérabilité est un concept global et holistique** (Meur-Férec *et al.*, 2008). Autrement dit, qui englobe tous les aspects d'une situation, d'événement, d'une crise. Dans un tel contexte, le concept de « **vulnérabilité systémique** » tel que présenté par Meur-Férec *et al.* (2020) paraît être le plus pertinent, puisqu'il intègre des aspects physiques et sociétaux dans un même système (Hellequin *et al.*, 2013 ; Meur-Férec *et al.*, 2020), en l'occurrence le système urbain. Vu sous cet angle, la vulnérabilité est un concept composé de quatre composantes interreliées : **les aléas, les enjeux, la gestion et les représentations** (D'Ercole, 2014 ; Meur-Férec *et al.*, 2020). À partir de ce présupposé, notre approche est globale et tente d'évaluer ces quatre composantes ou sous-systèmes de la vulnérabilité.

Ainsi, après avoir exposé dans quel cadre théorique cette étude s'inscrit, un questionnement et des hypothèses émergent.

Question principale et hypothèse

Comment la ville de Port-Gentil est-elle affectée par les inondations d'origine marine et quels sont les éléments qui contribuent à sa vulnérabilité ? Autrement dit, comment le système de production de la vulnérabilité face aux inondations côtières est-il organisé dans la commune de Port-Gentil ?

La question principale de cette thèse suggère l'hypothèse selon laquelle **la vulnérabilité de Port-Gentil aux inondations par la mer, tant présentes que futures, est à la fois physique et sociale**. Nous présumons que **la vulnérabilité physique** est influencée par des facteurs tels que la localisation géographique, les caractéristiques topographiques, les conditions climatiques et le niveau d'importance des enjeux présents. Cette vulnérabilité est aggravée par la qualité des constructions, leur fonction et leur répartition spatiale (urbanisation anarchique, concentration des enjeux stratégique en un secteur), ce qui contribue à une différenciation spatiale de la vulnérabilité dans cette ville. En ce qui concerne **la vulnérabilité sociale**, nous supposons qu'elle est liée à l'absence d'une **culture du risque par les acteurs du territoire (population et autorités politico-administratives)**, à **l'insuffisance, voir l'inexistence de mesures préventives et d'une gestion des risques lacunaire, ainsi qu'une coordination des efforts entre les acteurs limités**.

Questions spécifiques

Afin de répondre à cette question principale et pour éprouver notre hypothèse, plusieurs questions spécifiques sont posées :

- Quels seraient **l'extension spatiale de la zone potentielle inondable et les niveaux d'eau** associée à divers scénarios ? (Qu'est-ce qui peut arriver ?)
- Quels sont **les enjeux potentiellement exposés** (occupation du sol, bâtis et Routes) et à quel **niveau de vulnérabilité** sont-ils soumis ? (Qu'est-ce qu'on peut perdre ?)
- Quelles **représentations les acteurs ont-ils du risque d'inondation par la mer ?** En d'autres termes **quelle est la place du risque d'inondation par la mer dans la conscience collective ?** (Que pense les gens du risque d'inondation par la mer et de sa gestion ?)

- Quels sont les **dispositifs** de lutte contre les inondations par la mer au niveau de la localité ? (Quels sont les moyens mis en œuvre pour lutter contre les inondations par la mer ?)

Objectifs de la thèse

La présente étude vise à analyser les facteurs qui contribuent à la vulnérabilité de la ville de Port-Gentil aux inondations par la mer. **L'objectif principal de cette thèse est de fournir des éléments de réponse sur la vulnérabilité d'une ville stratégique au niveau national qui semble manquer actuellement d'outils de gestion des risques et des données structurées pour mettre en place une stratégie de développement durable conciliant, urbanisation et risque côtier.**

Cinq objectifs de recherche spécifiques sont ainsi formulés. Les quatre premiers objectifs sont directement liés à notre questionnement et à notre hypothèse de recherche, tandis que le dernier objectif découle de la démonstration des quatre premiers.

Les objectifs de recherche spécifique sont :

- 1) **Identifier, caractériser et hiérarchiser les zones intra-urbaines potentiellement exposées aux inondations par la mer** à travers la détermination de l'extension de la zone potentiellement exposée à partir de divers scénarios.
- 2) **Identifier, caractériser le niveau de vulnérabilité physique des enjeux exposés** à partir d'une approche simple et reproductible, qui peut être reprise et adaptée à d'autres territoires par les institutions en charge de la gestion du risque au Gabon. L'évaluation de la vulnérabilité des enjeux sera basée sur la vulnérabilité directe des enjeux (bâtiments, occupation du sol dominant et réseau routier). Il faut noter que l'évaluation de la vulnérabilité humaine et des pertes économiques n'ont pas été considérées dans cette recherche.
- 3) **Identifier et analyser les facteurs de vulnérabilité sociale** en introduisant le concept de représentation du risque afin d'appréhender le niveau de connaissance de la population vis-à-vis de ce risque et leur intérêt pour la question des inondations par la mer.
- 4) **Évaluer les dispositifs politico-administratifs mis en œuvre pour réduire l'impact des inondations par la mer** à l'échelle nationale et surtout à l'échelle locale. Il s'agit d'identifier les forces et les faiblesses des différentes politiques publiques qui entravent la bonne gestion territoriale des risques liés aux inondations par la mer afin de proposer des pistes de solution adaptée à la ville.

- 5) **Mettre en place une base de données SIG** avec un ensemble de données spatiales pertinentes permettant d'avoir une représentation synoptique du niveau d'exposition à l'aléa inondation par la mer, des enjeux et la représentation spatiale des représentations à ce risque au niveau de la commune, ceci afin de **transmettre des connaissances et des outils de gestion des risques pertinents** aux acteurs locaux et nationaux en charge de la gestion des risques d'inondation par la mer.

Positionnement méthodologique

Dans cette thèse, nous allons explorer la vulnérabilité des espaces urbanisés en prenant en compte les facteurs environnementaux et sociaux qui y contribuent. Pour ce faire, nous adoptons une approche pluridisciplinaire et systémique afin d'intégrer autant que possible tous les éléments pertinents dans cette évaluation. Ce positionnement méthodologique pluri et/ou transdisciplinaire nous paraît idoine pour comprendre le fonctionnement complexe du système étudié qui prend en compte les dimensions physiques et sociales. Cette démarche comporte un risque, celui de ne pas totalement satisfaire les spécialistes d'un domaine en particulier. Nous pensons que cette approche peut constituer l'originalité de ce travail, mais elle est également un défi en termes de diversité des compétences, des outils, des approches méthodologiques à mobiliser.

Le choix d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité aux aléas naturels est souvent arbitraire, dépendant de la complexité du terrain d'étude, du type d'aléa, de la disponibilité des données et des objectifs. De ce fait, à chaque étape de l'évaluation, les méthodes seront adaptées aux contraintes spécifiques. Nous mènerons donc cette étude avec un double souci de prudence et de critique pour restituer une image précise de la vulnérabilité urbaine de Port-Gentil face aux inondations par la mer. Les résultats obtenus tiendront compte des défis liés à la complexité de la zone d'étude, à la qualité et à la fiabilité des données, notamment en ce qui concerne la spatialisation et la quantification de l'aléa inondation par la mer, la spatialisation et la caractérisation de la vulnérabilité des enjeux, ainsi que sur l'analyse des représentations du risque.

Structure de la thèse.

Le présent manuscrit est articulé en trois (3) parties, regroupant huit (8) chapitres qui visent à répondre aux questions de recherche posées. La présentation de la structure de la thèse est synthétisée dans le diagramme synoptique présenté à la fin de cette introduction générale (Figure 0-4 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Introduction générale

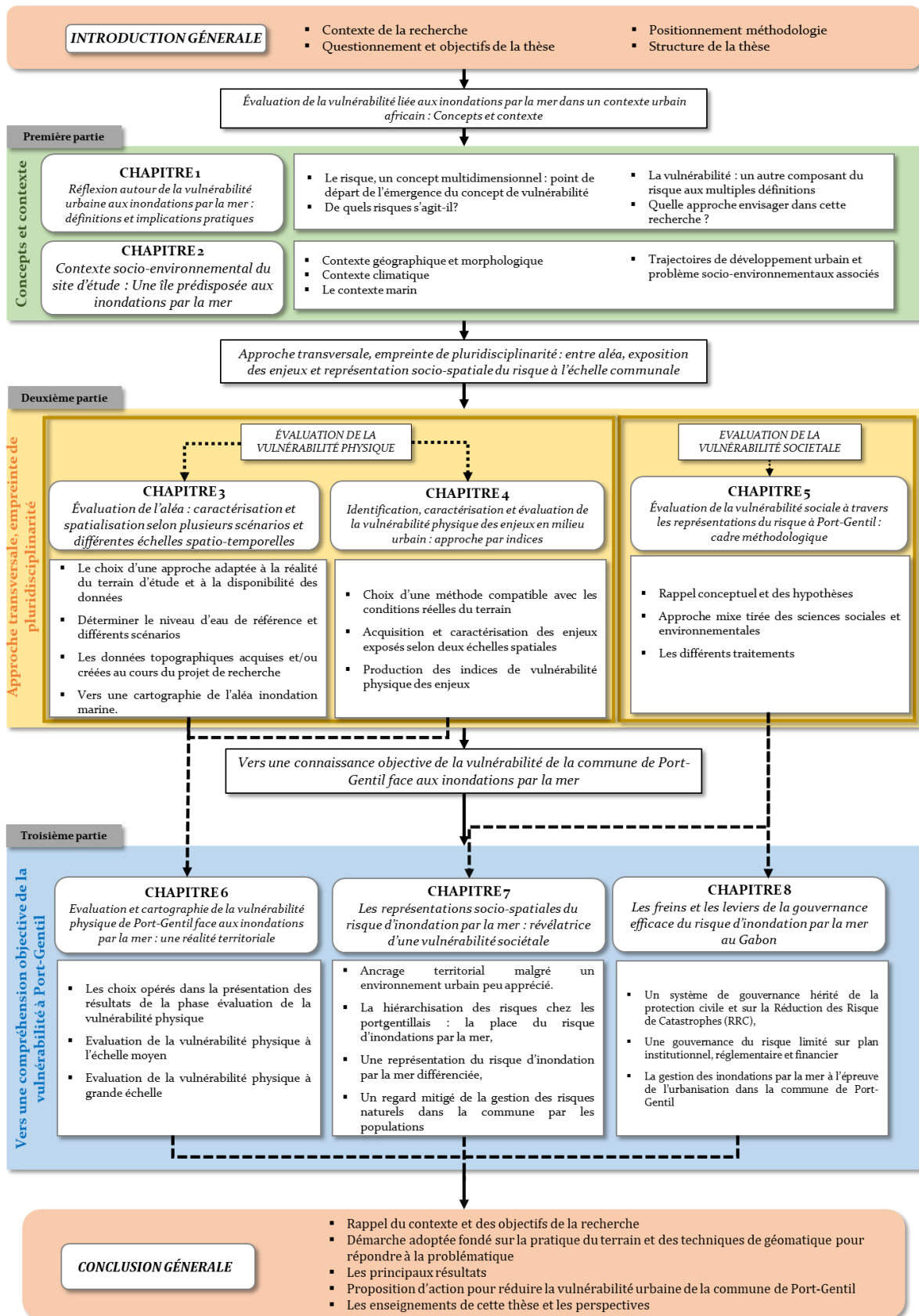


Figure 0-4 : Diagramme synoptique de la structure du manuscrit de thèse

La première partie, intitulée « **Évaluation de la vulnérabilité liée aux inondations par la mer dans un contexte urbain africain : concepts et contexte** », est composée de deux chapitres. Ces chapitres présentent les termes et concepts utilisés dans ce travail de thèse, ainsi que le contexte environnemental et sociétal de la zone d'étude.

Le chapitre 1, intitulé « **Réflexion autour de la vulnérabilité urbaine aux inondations par la mer : définitions et implications pratiques** » rassemble les connaissances nécessaires à la compréhension des concepts de vulnérabilité urbaine et d'inondations par la mer. Il propose d'aborder la question du risque, dont celui de la vulnérabilité est désormais une composante essentielle. Une fois le concept de risque clarifié, ce chapitre s'attachera à préciser le concept de vulnérabilité, les notions associées et les différentes approches méthodologiques, ainsi que sa place en géographie.

Le chapitre 2 intitulé « **Contexte socio-environnemental du site d'étude : Une île prédisposée aux inondations par la mer** » présente en détail le cadre socio-environnemental de la ville de Port-Gentil. Après avoir détaillé les conditions météorologiques du cadre régional du Golfe de Guinée, une attention particulière sera portée sur les aspects morphologiques de cette zone d'étude, qui conditionnent l'ampleur actuelle et future des inondations par la mer. De même, la mise en place de la ville notamment dans son artificialisation et son évolution sera présentée afin de bien appréhender les conditions et les enjeux de sa vulnérabilité face à l'aléa considéré.

La deuxième partie de cette thèse, intitulée, « **Approche transversale, empreinte de pluridisciplinarité : entre aléa, exposition des enjeux et représentation socio-spatiale du risque à l'échelle communale** » met en application la méthodologie annoncée dans la première partie et qui sera utilisée dans cette étude à caractère pluridisciplinaire. Elle décrit la démarche suivie pour caractériser l'aléa, identifier les enjeux exposés ainsi que la démarche choisie pour identifier les vulnérabilités sociales.

Le chapitre 3 intitulé « **Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation de selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles** » décrit la méthodologie utilisée pour caractériser l'aléa spatialement et quantifier les hauteurs d'eau potentielles en fonction d'un certain nombre de scénarios. Ce chapitre présente également le processus d'inondation marine à l'échelle locale et examine le lien entre les conditions météorologiques et le contexte morphologique de l'île Mandji sur laquelle se trouve Port-Gentil. Tout au long de ce chapitre, il est rappelé la difficulté de travailler sur un territoire dépourvu de données pour une analyse détaillée.

Le chapitre 4, intitulé « Identification, caractérisation et évaluation de la vulnérabilité physique des enjeux en milieu urbain : approche par indices », porte sur les enjeux exposés au risque par les inondations par la mer dans la commune. Il décrit la démarche utilisée pour identifier les éléments structurants de l'environnement urbain exposés aux inondations par la mer et leur vulnérabilité potentielle à travers des indices synthétiques. La synthèse de ces indicateurs a permis d'élaborer des indices de vulnérabilité à travers un système d'information géographique (SIG).

Le chapitre 5 « Évaluation de la vulnérabilité sociale à travers les représentations du risque à Port-Gentil : cadre méthodologique » vise à explorer les thèmes liés à la vulnérabilité sociétale en considérant les populations comme acteur de leur propre vulnérabilité. Ce chapitre décrit la démarche d'enquête utilisée pour évaluer les représentations risque par les populations et les autorités politico-administratives locales. Il revient sur le concept de représentation et des hypothèses qui ont guidé cette partie de la thèse.

La troisième partie intitulée « Vers une connaissance objective de la vulnérabilité de la commune de Port-Gentil aux inondations par la mer », présente les principaux résultats et discute de leur pertinence sur le **système de production de la vulnérabilité** dans cette localité. Elle fournit également quelques propositions pour réduire la vulnérabilité urbaine de cette localité en énonçant en amont le système production de vulnérabilité identifiée sur ce territoire.

Le chapitre 6 intitulé « Évaluation et cartographie de la vulnérabilité physique de Port-Gentil face aux inondations par la mer : une réalité territoriale » présente, la vulnérabilité structurelle et fonctionnelle en se basant sur les résultats du niveau d'exposition et d'impact des enjeux en fonction des différents scénarios retenus (événement de référence, prise en compte du Wave Setup, scénarios du GIEC 2022, notamment le SSP1-1.9 et SSP5-8.5) et établit des indices de vulnérabilité selon une méthode d'agrégation adoptée et présentée au chapitre 4. Les limites de cette démarche sont également discutées. Ce chapitre se présente comme un mini-atlas offrant une vue d'ensemble des secteurs et des enjeux les plus vulnérables.

Le chapitre 7 intitulé « Les représentations socio-spatiales du risque d'inondation par la mer : révélatrice d'une vulnérabilité sociétale » aborde l'analyse et discute des résultats des différentes enquêtes. Nous examinons d'abord la place du risque d'inondation par la mer dans la conscience collective des populations en le confrontons aux autres risques potentiels présents dans la commune. Nous examinons également les questions relatives à L'inquiétude du risque, au sentiment d'exposition et aux facteurs socio-spatiaux

susceptibles de les amplifier ou les minimiser. En outre, nous examinons l'état de conscience et de connaissance du risque à travers des cartes mentales et les comparons avec les résultats du chapitre 6 sur les aléas. La position des habitants dans la gestion du risque, notamment dans les mesures à mettre en place pour la réduire, leurs volontés à participer à l'effort de réduction et sur le niveau de confiance accordé aux institutions en charge de sa gestion sont également examinées.

Le chapitre 8 « Les freins et les leviers d'une gouvernance efficace du risque d'inondation par la mer » est une réflexion sur l'efficacité des politiques de gestion actuelles du risque à l'échelle locale. L'objectif est de déterminer les freins et les leviers de cette gestion. Il s'agit de brosser un portrait des institutions en charge de la gestion des risques, des outils disponibles et de leur opérationnalité, en se basant sur les discours des acteurs enquêtés au niveau local, des textes de loi et des documents réglementaires. Les résultats obtenus serviront ensuite à présenter le système de production de la vulnérabilité dans cette commune.

Première partie

Évaluation de la vulnérabilité liée aux inondations par la mer dans un contexte urbain africain : Concepts et contexte



La photo du haut, vue oblique de Port-Gentil en 1959. Orientation nord-est vers sud-ouest. Au premier plan à droite les ateliers de la Société du Haut Ogooué aujourd'hui abritant les entrepôts et le magasin Super Gros, au second plan la zone marécageuse délimitant le quartier blanc commercial et le village africain aujourd'hui intégré dans les quartiers grands village et la balise. (<https://www.delcampe.net/fr/collections/>)

Introduction de la partie 1

Au cours des deux dernières décennies, les instances internationales ont privilégié deux orientations pour réduire la vulnérabilité des zones côtières face aux impacts du changement climatique : la gestion intégrée des zones côtières (IPCC, 2014; 2019) et l'adaptation des territoires littoraux à ces changements (GIEC, 2013, 2014b, 2021). À cet effet, plusieurs démarches visant à évaluer la vulnérabilité du littoral aux effets du changement climatique, et notamment aux inondations par la mer ont été réalisées dans plusieurs pays et à différentes échelles d'analyse (Balica *et al.*, 2012 ; Deldrève *et al.*, 2004 ; Perini *et al.*, 2016). L'évaluation de cette vulnérabilité des villes côtières constitue un enjeu majeur en matière de développement de connaissances sur le risque encouru, mais aussi sur le plan de la gestion intégrée et de l'élaboration de planifications durables des territoires côtiers.

La première partie de cette étude, intitulée « **Évaluation de la vulnérabilité liée aux inondations par la mer dans un contexte urbain africain : Concepts et *contexte*** » se compose de deux chapitres. **Le chapitre 1 « Réflexion autour de la vulnérabilité urbaine aux inondations par la mer : définitions et implications pratiques »** expose les fondements conceptuels et théoriques de ce sujet. Il cherche à définir la portée sémantique des différents concepts, les approches et la spécificité de l'approche géographique dans l'évaluation de la vulnérabilité urbaine. Trois questions importantes sont également abordées : **qu'entendons-nous par vulnérabilité urbaine ? Quelles sont les notions connexes permettant de cerner ce concept ? Et quelle est la meilleure approche pour l'évaluer ?**

Après avoir établi les bases conceptuelles de cette recherche et tenté de répondre aux questions susmentionnées, il devient essentiel de présenter et de justifier le choix du site d'étude. Ainsi, trois autres questions se posent : **en quoi le choix de Port-Gentil est-il justifié ? Quelle est sa situation socio-environnementale ? Quels sont les enjeux urbains en présence ?** Ainsi, le **chapitre 2 « Contexte socio-environnemental du site d'étude : Une île prédisposée aux inondations par la mer »** tente de clarifier ces questions. Il se penche notamment sur les conditions spécifiques du contexte physique de la zone d'étude qui la rendent particulièrement vulnérable par rapport aux villes côtières du reste du pays, ainsi que sur les trajectoires des dynamiques socio-spatiales à l'origine de la construction du fait urbain sur ce site.

Chapitre 1 : Réflexion autour de la vulnérabilité urbaine aux inondations par la mer : définitions et implications pratiques

Introduction du chapitre 1

Avant d'explorer la vulnérabilité urbaine de la commune de Port-Gentil, il est important d'analyser les multiples concepts et notions qui entourent ce sujet, notamment celui de la « Vulnérabilité » et sa place dans une évaluation portant sur un risque naturel en milieu urbain. Ce chapitre 1, intitulé « **Réflexion autour de la vulnérabilité urbaine aux inondations par la mer : définitions et implications pratiques** », a pour objectif de dresser un panorama complet des concepts, notions et termes utilisés, définis ou élaborés, ainsi que des problématiques abordées dans les publications scientifiques concernant la vulnérabilité des espaces urbains face aux inondations marines.

En outre, ce travail s'attache à indiquer les approches et les définitions des concepts qui seront adoptées dans le cadre de cette recherche doctorale. Cependant, nous sommes conscients des défis inhérents à la synthèse exhaustive de la littérature sur la vulnérabilité, étant donné le volume considérable de publications disponibles. Par exemple, Di Matteo *et al.*, (2018) ont examiné 8941 articles extraits de la base de données Scopus d'Elsevier³ couvrant la période 1996-2006 dans leur revue de littérature sur la vulnérabilité au changement climatique. De même, Kim *et al.*, (2021) dans la même démarche d'analyse bibliométrique pour la période 1999 et 2019 ont mis en lumière 8000 publications en saisissant le mot « vulnerability » dans la base de données Web of Sciences Core Collection⁴.

Par conséquent, dresser un panorama exhaustif de toutes les manières d'appréhender la vulnérabilité serait présomptueux. En lieu et place, **cette étude se concentre modestement sur certains éléments qui semblent les plus pertinents selon notre perspective, pour appréhender la manière dont le concept « vulnérabilité » est abordé dans la recherche, particulièrement en géographie.** L'objectif est de souligner la diversité et la complexité du concept de vulnérabilité, en prenant comme point de départ le concept de risque dans son élaboration.

L'objectif de ce chapitre ne consiste pas à remettre en question les concepts de risque, de vulnérabilité, d'aléa, d'enjeux, etc., mais plutôt à appréhender leur utilisation dans la recherche. Il s'agit principalement de comprendre l'évolution de ces concepts au fil du temps et dans quels contextes ils ont été appliqués, afin de les intégrer de manière pertinente dans notre positionnement théorique et méthodologique pour cette étude.

³ <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic>

⁴ <https://clarivate.com/webofsciencelibrary/solutions/web-of-science-core-collection/>

Dans la **première section 1.1** de ce chapitre, nous mettrons l'accent sur les différentes approches pour appréhender le risque et les notions qui le composent, telles que les enjeux et l'aléa. La **section deuxième 1.2** portera sur l'analyse du risque spécifique à cette étude, en mettant l'accent sur l'aléa impliqué. Par la suite, dans la **troisième section 1.3**, nous aborderons le concept de vulnérabilité, qui constitue une autre composante essentielle du risque. Enfin, dans la **quatrième section 1.4**, nous nous positionnerons et justifierons notre choix d'approche méthodologique.

1.1 Le risque, un concept multidimensionnel : point de départ de l'émergence du concept de vulnérabilité

Le risque occupe une place centrale dans les débats contemporains, suscitant un vif intérêt tant du grand public que de la communauté scientifique en raison de l'augmentation des catastrophes naturelles et de leurs impacts humains et matériels. Cependant, les raisons de cette augmentation des risques demeurent controversées parmi les chercheurs (Dauphiné, 2005). Elles peuvent être attribuées à une augmentation des phénomènes générateurs de dommages ou à des facteurs liés au développement humain, tels qu'une implantation inconsidérée dans des zones à risques.

Bien que l'utilisation du risque comme point de départ pour aborder la question de la vulnérabilité des territoires puisse sembler incongrue, il est important de noter que le risque est un concept composite (Dauphiné, 2005) et multidimensionnel (Morel *et al.*, 2006) dans lequel la vulnérabilité est intrinsèquement imbriquée. L'évaluation de la vulnérabilité est étroitement liée à l'étude du risque (D'Ercole, 1998 ; Veyret et Reghezza, 2005). Par conséquent, il est essentiel de définir d'abord le risque et les concepts qui lui sont associés avant d'examiner la vulnérabilité et les concepts qui lui sont également liés. Ainsi, cette section explorera les différentes dimensions du risque et leur interrelation avec le concept de vulnérabilité.

1.1.1 La notion de risque : des terminologies multiples

Le mot *Risque ou Risk* en anglais est de plus en plus utilisé ces dernières années, notamment dans les médias, sans être correctement défini (Bonnet, 2002 ; Defossez, 2009). Les risques ne sont pas des problèmes contemporains, ils ont toujours été présents dans les sociétés humaines (Dubois-Maury, 2005). Pendant longtemps, le terme était associé uniquement à des phénomènes naturels que l'homme ne pouvait pas maîtriser, mais aujourd'hui, il est également associé aux phénomènes anthropiques. Le risque fait partie intégrante des sociétés humaines, comme le souligne Bonnet (2002, p.6) : « *non vivons dans un monde plus risqué* ».

Le risque fait l'objet d'un débat constant sur ses fondements conceptuels, théoriques, méthodologiques et même épistémologiques depuis 1980. Il est perçu comme un concept

complexe et flou (Bonnet, 2002). En milieu urbain, le risque s'est progressivement « démocratisé » et trouve son origine dans le fonctionnement et le développement des villes (Dubois-Maury, 1988). Le recours intempestif à ce terme dans la littérature et les médias pour expliquer certaines expériences de la population et certains phénomènes naturels ou anthropiques a entraîné une grande confusion sémantique qui s'est graduellement imposée, conduisant à des amalgames entre la manifestation de la catastrophe (le risque) et la manifestation du risque (la catastrophe) (November, 2006).

Le risque est un thème à la mode dans de nombreux domaines (politique, économique, psychologique, sociologique, géographique, médicale, etc.), ce qui rend difficile son appropriation clairement. Les amalgames observés dans de nombreux domaines de recherche scientifique confirment la difficulté à saisir ce terme, qui est parfois utilisé pour exprimer soit le **danger**, soit la **catastrophe**. Selon le domaine et même au sein d'un même domaine scientifique, selon l'approche adoptée, l'aspect du risque traité (risque naturel, risque technologique, risque sanitaire, etc), la définition du risque peut varier de manière significative (Morel *et al.*, 2006). À ce jour, il n'existe pas de véritable consensus sur la définition du risque. Nonobstant la difficulté de définir le risque, il est clair qu'au sein de toutes ces disciplines, et donc au sein de toutes les définitions que peut prendre le risque, les notions d'aléa, d'enjeu et de vulnérabilité sont à la base de ces définitions.

1.1.1.1 La confrontation Aléa avec les enjeux

Aujourd'hui, la définition de risque semble faire consensus, notamment dans le domaine des risques naturels. Dans plusieurs publications, y compris celles des instances gouvernementales en France, il n'est pas rare de constater que le risque est défini comme la **confrontation de l'aléa avec les enjeux**. La notion de « confrontation » n'est pas précisée, mais elle semble renvoyer à l'idée de conflit, dont l'aléa est naturellement porteur. Ainsi, sur le site du ministère français⁵ de la Transition écologique et solidaire, à la rubrique risque majeur, il est indiqué que : « *un événement potentiellement dangereux Aléa n'est un Risque que s'il s'applique à une zone où des Enjeux humains, économiques ou environnementaux sont en présence* », en présentant la Figure 1-1 ci-dessous à titre d'exemple.

⁵<https://www.georisques.gouv.fr/articles/definition-generale-du-risque-majeur>



Figure 1-1 : Aléa plus enjeux, égale au risque (<https://www.georisques.gouv.fr/articles/definition-generale-du-risque-majeur>)

L'acte de colloque d'Orléans du 24, 25 et 26 septembre 2003, intitulé « Espaces tropicaux et Risque : du local au global » présente dans la première section de cet ouvrage consacré aux risques naturels, un titre très révélateur de la définition du risque lorsque celui-ci est en lien avec un aléa naturel : « *Les risques naturels : de l'aléa aux enjeux* » (David, 2004). Ce titre⁶ fait une distinction entre l'aléa et les enjeux, dont la relation conduit à une situation de risque. Dès lors, le risque est appréhendé du point de vue physique, c'est-à-dire du point de vue de l'impact de l'aléa sur les enjeux. L'aléa est l'élément principal de la production du risque sur lequel il est nécessaire d'agir pour limiter l'impact. Les enjeux (Populations et biens) sont considérés comme des éléments subissant l'impact de l'aléa naturel. Ainsi, la compréhension approfondie des mécanismes de déclenchement de l'aléa constituera longtemps le cœur même de l'analyse des risques « analyse aléa-centrée » (Metzger et D'Ercole, 2008). C'est à travers cette approche centrée sur l'aléa que les géographes français, notamment, ont commencé à analyser le risque (November, 2006 ; Veyret, 2004). Plusieurs définitions dans la littérature vont dans ce sens, avec une prédominance pour l'analyse des processus physiques à l'origine d'un phénomène dommageable dont l'événement reste aléatoire, qui est principalement l'apanage des géographes physiciens, plus précisément des géomorphologues et des climatologues du début du XXe siècle, dont les figures emblématiques sont Vidal de la Blache⁷ et Emmanuel de Martonne⁸. Ce n'est que dans les années 1960 que l'on a commencé à établir un lien entre les processus physiques et la société et que la notion de risque a commencé à être conceptualisée, notamment avec les courants de la nouvelle géographie⁹.

⁶ « Le risque naturel est la confrontation de l'aléa avec les enjeux »

⁷ Paul Vidal de la Blache est considéré comme l'un des fondateurs de la géographie française moderne et a été le premier directeur de l'Institut de Géographie de l'Université de Paris. Il a développé une approche de la géographie qui mettait l'accent sur l'étude des relations entre les phénomènes naturels et les activités humaines.

⁸ Emmanuel de Martonne est un géographe français important du début du XXe siècle, qui a fait des contributions importantes à l'étude des climats et des zones climatiques. Il est également connu pour avoir développé un indice de chaleur, qui est encore utilisé aujourd'hui dans l'étude des climats.

⁹ <http://www.geographie-sociale.org/epistemo-geographie-sociale.htm>

1.1.1.2 La confrontation aléa avec la vulnérabilité

Dans une géographie où le risque a souvent été au centre des analyses de l'aléa et où le risque est souvent présenté comme la confrontation de l'aléa avec les enjeux, il semble que cette définition du risque plus générale encadre des définitions plus précises qui reposent désormais sur **la confrontation de l'aléa avec la vulnérabilité** (Adger, 2006 ; Alexander, 2002 ; Cutter *et al.*, 2003 ; D'Ercole, 2014 ; D'Ercole et Pigeon, 1999 ; Veyret et Reghezza, 2006). L'aléa reste toujours ce phénomène naturel ou anthropique ayant une incidence spatiale et obéissant à des lois physiques et statistiques, sans lequel il n'y a pas de risque. La vulnérabilité, quant à elle, caractérise l'état des enjeux. Ce qui signifie que l'aléa se produit dans un espace à la base vulnérable qui engendre le risque (Figure 1-2). Ce paradigme implique de considérer le risque sur deux facettes. D'une part, sur la facette de l'exposition, c'est-à-dire en tant qu'exposition des enjeux. D'autre part, en tant que condition sociétale préexistante à l'aléa (vulnérabilité). Selon Metzger (2017), cette confrontation entre l'exposition (**aléa**) et la condition des enjeux (**vulnérabilité**) est à l'origine de la contradiction et des effets divergents sur la notion de risque, avec une approche centrée sur l'impact de l'aléa sur les enjeux, et une autre mettant l'accent sur les causes socio-économiques et sociopolitiques à l'origine du risque (Vinet *et al.*, 2012). Cette dernière approche donne à la société un rôle d'acteur dans la production du risque, plutôt que de la considérer comme simple spectateur à la production du risque. C'est cette dernière composante qui est au cœur de notre recherche.

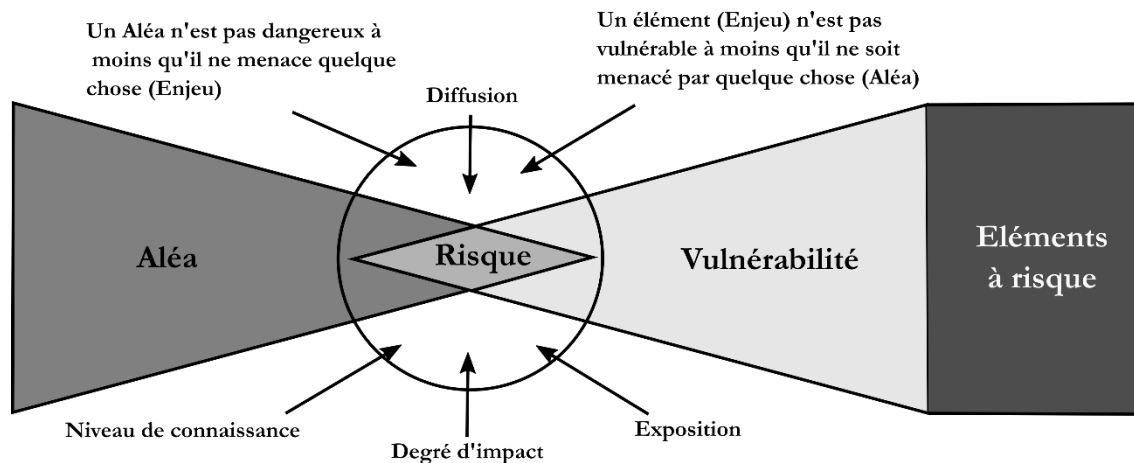


Figure 1-2 : Confrontation entre l'aléa et la vulnérabilité (modifiée et traduit d'Alexander, 2002)

1.1.1.3 Deux visions complémentaires

Les deux visions précédentes présentent le concept de risque comme la probabilité que des dommages se produisent en présence d'un aléa d'une certaine magnitude, compte tenu du degré de vulnérabilité et du niveau d'exposition des enjeux (personnes, infrastructure, de biens ou d'activité, territoire...). Cette définition intègre les trois composantes : l'aléa, la vulnérabilité et l'exposition

des enjeux, qui peuvent varier en termes d'intensité de l'aléa, le niveau de vulnérabilité et de degré d'exposition des enjeux. L'équation mathématique ci-dessous résume cette vision qui met en relation ces trois composantes :

$$R = f(A, V, E) \quad [1.1]$$

Où : R est le risque, f est la fonction mettant en relation A (l'aléa), V (la vulnérabilité) et E (l'exposition des enjeux).

Cette manière de présenter le risque, au carrefour de deux visions plutôt complémentaires, montre aussi que le risque peut être abordé de différente manière, notamment dans son évaluation et surtout dans sa réduction. Dans ce cas, la réduction du risque peut se faire premièrement en réduisant l'aléa, bien que très difficile dans certains aléas naturels (Wahlstrom, 2017). Deuxièmement, en réduisant la vulnérabilité à travers des mesures structurelles (construction des barrages, des digues, rechargement des plages) et/ou non structurelles (mise en place des politiques de gestion basée sur l'évitement) et troisièmement en réduisant l'exposition (Relocalisation, construction des maisons sur pilotis ou parasismique). Il faut noter que dans cette configuration, si une variable prend une valeur nulle, le risque sera nul, quelle que soit la valeur des deux autres variables.

La définition du risque, tel qu'elle s'est imposée, correspond à plusieurs attentes, c'est en cela que cette dernière définition du risque est désormais largement plébiscitée par les chercheurs et les organismes internationaux (GIEC, 2022a) et nationaux en charge de la gestion du risque, car elle intègre en son sein plusieurs dimensions sans être en rupture avec les deux précédentes approches classiques tendant à confronter l'aléa avec la vulnérabilité et les enjeux (Figure 1-3).



Figure 1-3 : La composition complexe du risque (GIEC, 2022a).

1.1.2 Définir les éléments constitutifs du risque

Avant de poursuivre, il paraît important de définir les deux notions fondamentales qui composent le risque, à savoir : **enjeux** et **aléa**. Il est important de noter que ces deux notions varient en fonction du type d'aléa considéré. Par exemple, les enjeux liés à une inondation seront différents de ceux liés à un séisme, et les aléas liés à un séisme auront des caractéristiques différentes de ceux liés à une tempête. Il sera surtout question de les contextualiser en fonction du type d'aléa dont il est question dans cette thèse.

1.1.2.1 Les enjeux au cœur de la définition du risque

Les enjeux sont une composante du risque dont il est nécessaire d'identifier et d'évaluer. Ils correspondent à l'ensemble des éléments potentiellement exposés qui peuvent être perdus en raison de l'impact de l'aléa sur ces derniers. Dans la définition du risque, les enjeux sont centraux, car il ne peut y avoir de risque sans la présence d'un ou de plusieurs enjeux dans un espace potentiellement exposé à un aléa. Leur nombre, leurs natures, leurs valeurs monétaires ou non, détermine leurs importances.

Les enjeux peuvent être regroupés en deux catégories : les **enjeux humains** et les **enjeux matériels**.

- **Les enjeux humains** correspondent aux individus, susceptibles d’être mis en danger. Dans l’ordre des enjeux, ils sont considérés comme prioritaires (Hénaff et Philippe, 2014). L’enjeu humain permet d’identifier les individus vulnérables en fonction de l’aléa. Par exemple, les personnes âgées seront considérées comme population à risque lors d’une canicule, tandis que les enfants seront considérés plus vulnérables que les personnes âgées dans le cadre des inondations. Ainsi, à l’intérieur même de l’enjeu humain, il peut y avoir une catégorisation.
- **Les enjeux matériels** correspondent à l’ensemble des constructions pour lesquelles on peut avoir des pertes tangibles, mesurables soit monétairement lorsque l’on dispose de l’information, ou par le recours à des **indicateurs d’endommagement** (Tarbotton *et al.*, 2012 ; Papathoma-Köhle *et al.*, 2017), mais également des pertes intangibles telles que les écosystèmes (mangrove, zone récréative, etc.). Dans ces enjeux matériels, on y trouve des **enjeux opérationnels et stratégiques**. Les enjeux opérationnels comme les bâtiments abritant des administrations ou des services de gestion de crise, les sites refuges, service de secours. Les enjeux stratégiques, raffinerie, usine de traitement d’eau potable, centrale électrique, etc., dont l’impact peut engendrer des perturbations et donc aggraver le risque d’autres enjeux. On parle dans ce cas d’effet domino.

De manière globale, huit types d’enjeux peuvent être distingués (Hénaff et Philippe, 2014) en fonction de leur échelle d’analyse (Tableau 1-1).

Types d’enjeux	Échelle
Enjeux humains	Communale (population totale), zonale (population des zones exposées aux aléas), individuelle (profil des individus, structure des ménages)
Bâti	Zonale (occupation du sol, îlot), individuelle (bâtiment)
Activités, Usages	Zonale (occupation du sol), individuelle (entreprise, site)
Infrastructures et équipements	Individuelle (établissement recevant du public, sites dangereux, de production d’énergie, stockage de matériaux, d’hydrocarbures ou de déchets)
Réseaux essentiels	Linéaire (voies routières, ferroviaires, réseau électrique, eau potable, télécommunications, assainissement)
Équipements stratégiques	Individuelle (centres de secours, poste de police/gendarmerie, caserne de pompier, centraux téléphoniques, hébergement d’urgence, ouvrages de protection)
Milieux naturels	Zonale (protections réglementaires et foncières, inventaires, milieux et habitats sensibles)
Milieux patrimoniaux	Individuelle (sites archéologiques, monuments classés, musées, petit patrimoine)

Tableau 1-1 : Synthèse des enjeux évaluer dans les études portant sur le risque (Hénaff et Philippe, 2014)

Dans les études sur les risques, la disponibilité des données sur les enjeux est un sujet de préoccupation pour les chercheurs. Alors que dans les pays du Nord, cette question peut sembler secondaire, elle constitue une réelle préoccupation lorsque l'on travaille dans les pays en développement (Rakotoarisoa, 2017). Le manque de données sur les enjeux peut affecter l'échelle d'analyse du risque, comme illustré dans le Tableau 1-1. Cela peut nécessiter une collecte de données sur le terrain, ce qui peut être chronophage et nécessiter un temps important dans la réalisation des études. De plus, lorsque ces données existent, il n'est pas rare d'observer une description partielle de ces dernières, ce qui nécessite encore une présence sur le terrain (Da, 2021).

1.1.2.2 L'aléa

Dans la définition du risque, quelle que soit la formulation, l'aléa reste au centre de cette définition, au point que le risque et l'aléa semblent être des termes synonymes, entraînant ainsi une confusion définitionnelle. Au premier abord, la définition de l'aléa peut sembler une notion élémentaire (Dauphiné, 2005). Emprunté du langage des probabilités (Dubois-Maury, 2005), il désigne un « *Événement menaçant ou probabilité d'occurrence dans une région et au cours d'une période donnée d'un phénomène pouvant engendrer des dommages* » (United Nations, 1992). La définition de Beck (2006) est intéressante, car elle souligne le caractère destructeur de l'aléa dont il est important de quantifier « *phénomène destructeur observé, que l'on cherche à quantifier* ». L'aléa est un événement potentiellement prévisible, caractérisé par son amplitude, qui peut être à l'origine d'une catastrophe. Ainsi, la manifestation d'un phénomène naturel, tel qu'une tempête de sable dans le désert, acquiert la terminologie d'aléa s'il est susceptible d'impacter négativement les enjeux. Le type d'impact sur les enjeux détermine le type de risque en présence. La question posée à la sous-section 1.2 aurait pu être : « **de quel aléa s'agit-il ?** », car il s'agit de caractériser l'aléa qui entre en collision avec les enjeux. Implicitement, cette question sous-entend qu'il y a plusieurs aléas ou types d'aléas. Ils peuvent être naturels (Érosion, séisme, submersion marine, éruption volcanique...) ou d'origine anthropique (explosion de pipe, nucléaire...) et produire des risques différents.

Pour bien des auteurs tels que Veyret (2004), l'aléa dit naturel comme composante du risque doit être connu pour entrevoir le risque. Sa connaissance fait appel à de multiples disciplines scientifiques telles que la géographie, l'hydrologie, la géologie, climatologie, etc., et nécessite des expérimentations en laboratoire ou des modélisations informatiques. L'aléa, du moins l'aléa naturel tel que les inondations, est un phénomène physique dont l'analyse dépend de son **origine** (pluviale, marine, etc.) de sa **fréquence**, de sa **gravité** (Figure 1-4) et pour les géographes, la caractérisation de l'aléa passe également par l'évaluation de ses altérités spatiales, de sa **dimension spatiale** (Harding *et al.*, 2001 ; Veyret, 2004).

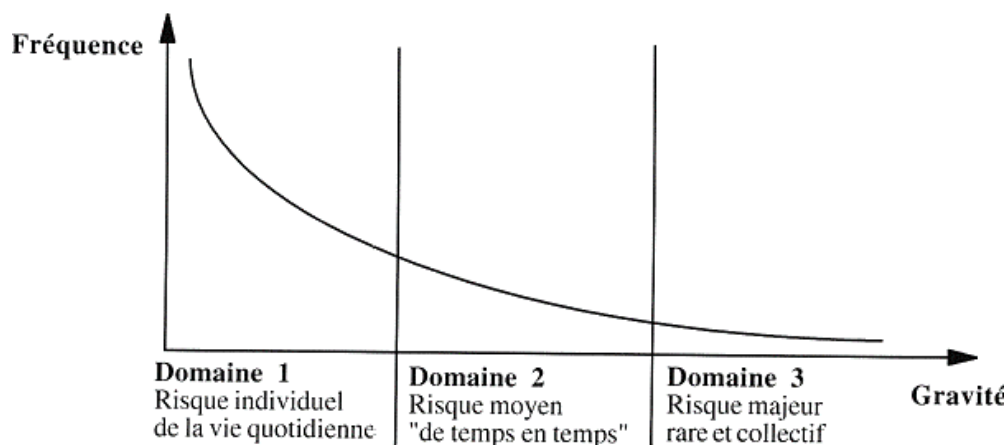


Figure 1-4 : Courbe de Farmer, montrant le lien entre la fréquence et la gravité (Glatron, 1999)

Mais du fait d'un nombre important de paramètres à prendre en compte dans son calcul, des incertitudes subsistent toujours, peu importe le type de modélisation mis en place pour le spatialiser et le quantifier. La connaissance de sa spécificité dynamique dépend fortement de la qualité des données collectées. Il est difficile de connaître précisément les caractéristiques spécifiques d'un événement, en raison de l'imprécision des données collectées. Cela est d'autant plus vrai pour les événements anciens, pour lesquels le manque de données d'observation peut compromettre la reconstitution objective et précise de l'événement. Ainsi, pour pallier ce problème, il est souvent recommandé de se référer à divers documents d'archives (journaux, photographie aérienne, témoignage, carte mentale).

Il est également important de tenir compte de la **probabilité de retour** de l'aléa. Pour les phénomènes d'inondations, cette probabilité peut être évaluée en des données historiques. Des analyses statistiques rétrospectives sur les événements passés peuvent être effectuées sur des séries statistiques. Pour arriver à cette caractérisation fine de l'aléa du point de vue spatial et temporel, des données à la fois qualitatives et quantitatives parfois sur des temps longs peuvent être nécessaires.

Ainsi, l'aléa hydrographique de type inondation varie d'un lieu à l'autre, en raison de l'hétérogénéité des facteurs à l'origine de sa mise en place et de la morphologie du site d'étude. Plusieurs facteurs peuvent se produire en même temps et le jeu de concomitance peut induire des conséquences différentes d'un site à l'autre. C'est pourquoi dans la section 1.2, il sera question de définir le type d'aléa dont il est question dans cette recherche afin de mieux comprendre les résultats et les interprétations de ces résultats. La précision de la caractérisation de l'aléa dépend fortement aussi de **l'échelle spatiale d'analyse**. En fonction de la disponibilité des données, de la qualité et la puissance des calculs des logiciels, un aléa aura plus ou moins une grande précision sur sa représentation spatiale.

Chapitre 1 : Réflexion autour de la vulnérabilité urbaine aux inondations par la mer : définitions et implications pratiques

Dans les caractéristiques de l'aléa, telles que les inondations, la **hauteur de submersion** est un paramètre essentiel pour apprécier l'intensité de l'inondation. Elle est une variable prépondérante dans l'estimation des dommages potentiels. Ainsi, la vulnérabilité des enjeux dépend fortement de celle des hauteurs du niveau d'eau. Bien qu'il soit essentiel de spatialiser l'aléa, il est tout aussi important de quantifier les hauteurs d'eau à tout point de la zone inondée en fonction de l'événement de référence. Bien évidemment, comme la spatialisation de l'aléa, la quantification des hauteurs d'inondation dépend fortement des données d'entrée du modèle, en particulier la précision de la topographie et du système de modélisation utilisé. Le niveau de dommage est fortement lié à cette hauteur d'eau (Figure 1-5).

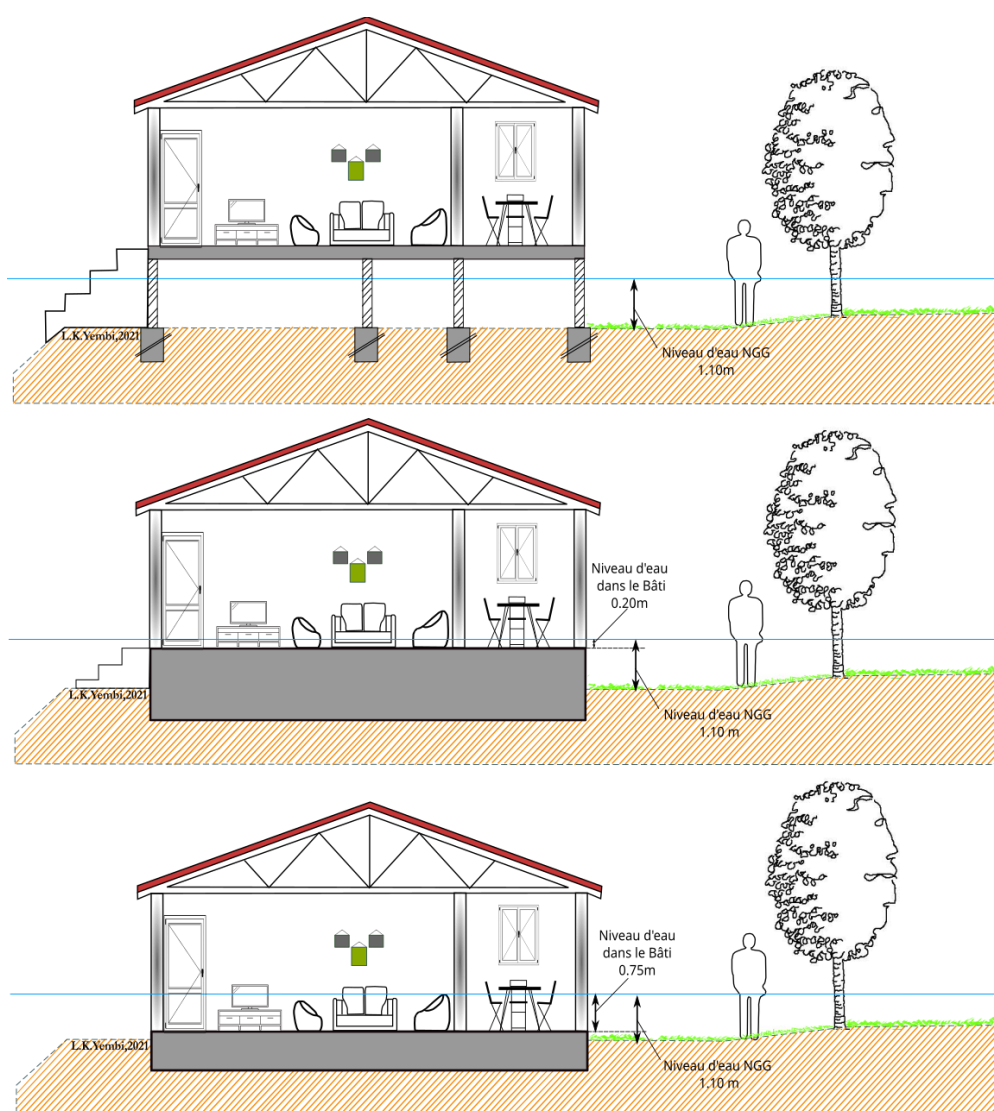


Figure 1-5 : Hauteur d'eau impactant le bâti (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Par exemple sur un bâtiment, bien que le niveau d'eau n'ait pas atteint l'intérieur du bâtiment, il peut arriver que la hauteur d'eau à l'extérieur du bâtiment puisse ralentir l'intervention des secouristes (Mengual, 2008). A contrario lorsque l'eau a atteint l'intérieur du bâtiment, l'intensité

Chapitre 1 : Réflexion autour de la vulnérabilité urbaine aux inondations par la mer : définitions et implications pratiques

des dommages peuvent être conditionnés par le niveau d'eau à l'intérieur du bâtiment. Cette hauteur d'eau impactant le bâtiment dépend également de la hauteur hors sol des fondations (Figure 1-5). Pour ce qui est des véhicules on considère qu'au-delà de 70 cm le niveau d'eau peut soulever une voiture et atteindre l'intérieur d'une voiture, ainsi que les blocs moteurs pouvant engendrer des risques de calage du moteur (Mengual, 2008).

Dans le cadre des inondations marines, la prise en compte de la **vitesse d'écoulement** est indispensable pour mesurer l'intensité de l'aléa. La détermination précise de la vitesse d'écoulement dépend de la nature du sol et de la pente, donc de la, précision de la topographie. Ce qui montre l'importance qui doit être apportée aux données topographies dans la caractérisation de l'aléa. Outre la topographie, la présence de bâtiments notamment en zone urbaine peut être un accélérateur ou un obstacle à la vitesse d'écoulement.

La vitesse d'écoulement est un paramètre clé pour distinguer la vulnérabilité des enjeux (bâtiments et personne). En effet, une vitesse d'écoulement élevée peut poser des difficultés de déplacement pour la personne et même les entrainer si la force d'écoulement est supérieure au poids de la personne. La vitesse d'écoulement est souvent associée à la hauteur du niveau d'eau. Une hauteur d'eau de 50 cm correspond à un niveau d'eau au niveau des genoux d'un adulte (Figure 1-6). Pour les submersions marines, il est intéressant de noter que la vitesse d'écoulement est un paramètre qui est généralement peu pris en compte (Breilh, 2014). Par contre, le guide français de Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) recommande de l'intégrer à la modélisation de l'aléa inondation marine (MEDDE, 2014).

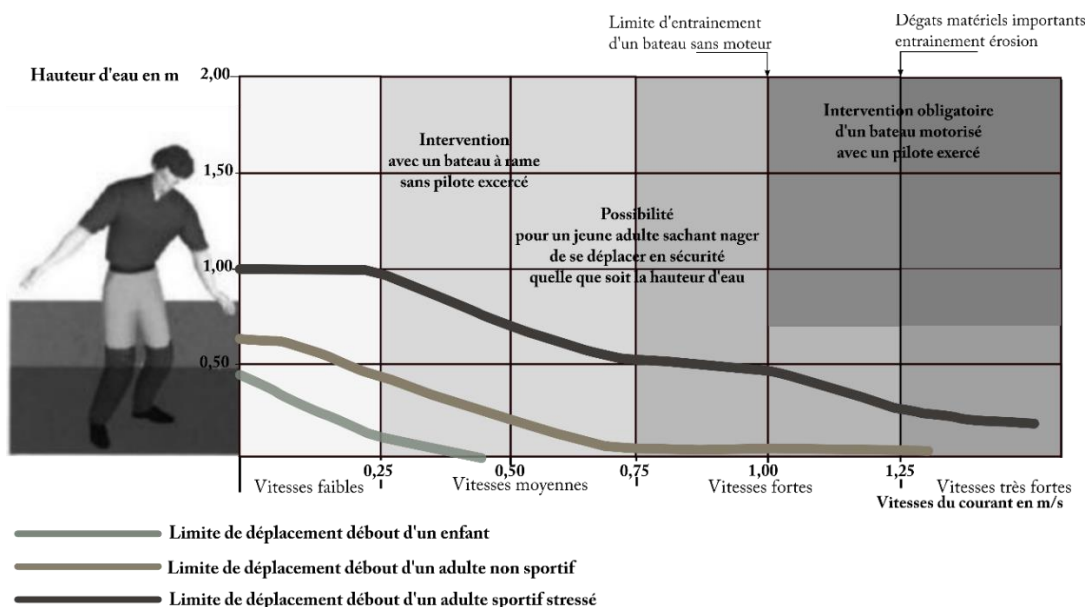


Figure 1-6 : Rapport hauteur d'eau et vitesse d'écoulement dans le déplacement des personnes (source : Direction départementale de l'Équipement du Vaucluse)

Chapitre 1 : Réflexion autour de la vulnérabilité urbaine aux inondations par la mer : définitions et implications pratiques

La **durée** est un paramètre à prendre en compte lors de l'évaluation de l'aléa inondation. Elle correspond dans le cas des inondations par la mer, au temps écoulé entre le moment où le niveau d'eau dépasse ou franchit les éléments de protections (digue, dune, etc.), la stagnation des eaux et le retrait à un lieu donné. Elle dépend fortement de la nature de la submersion (tsunami, ouragan, cyclone, tempête, etc.). Elles peuvent durer de quelques heures à plusieurs jours. À ce niveau également la morphologie du terrain (cuvette), mais également la nature du sol (battance, saturation du sol) au moment de l'impact de l'aléa peuvent également jouer un rôle important dans la durée des inondations. Dans certains cas, la durée de l'événement peut conditionner la capacité d'intervention des secours et aggraver des dommages potentiels sur les enjeux.

Afin de déterminer le niveau d'impact des inondations, Scarwell et Laganier (2017) ont classifié l'aléa inondation en fonction de la hauteur d'eau, de la vitesse d'écoulement et de la durée de l'inondation (Tableau 1-2), afin de déterminer le niveau d'impact.

Durée\Hauteur	<0,5 m	De 0,5 à 1 m	De 1 à 1,5 m	>1,5 m
< 48 h	Faible	Faible si $V_s < 1,5$ m/s	Moyen	Fort
		Moyen si $V_s > 1,5$ m/s		
De 2 à 8 jours	Faible	Moyen	Moyen si $V_s > 0,5$ m/s	Fort si $V_s < 1,5$ m/s
			Fort si $V_s > 0,5$ m/s	Très fort si $V_s > 1,25$ m/s
De 8 à 15 Jours	Faible si $V_s < 1,5$ m/s	Moyen	Fort	Très fort
	Moyen si $V_s > 1,5$ m/s			
> 15 jours	Moyen	Moyen si $V_s > 0,5$ m/s	Fort si $V_s < 1,5$ m/s	Très fort
		Fort si $V_s > 0,5$ m/s	Très fort si $V_s > 1,25$ m/s	

Tableau 1-2 : Critère de classification de l'aléa d'après les caractéristiques Durée, hauteur, Vitesse. (Source : Scarwell et Laganier, 2017)

La complexité des caractéristiques de l'aléa, notamment pour les inondations par la mer, **fréquence, intensité, la probabilité de retour, la hauteur de submersion, vitesse d'écoulement, la durée** signifie que tous les territoires ne sont pas exposés de la même manière à l'aléa inondation marine. Du fait de ces nombreuses caractéristiques, l'aléa est une composante qui est difficile à quantifier (Dauphiné, 2005). Il est donc important de prendre en compte ces différentes caractéristiques pour une évaluation précise de l'aléa d'inondation par la mer.

1.2 De quels risques s'agit-il ?

Il n'existe pas un risque en particulier, mais des risques. En fonction de la nature de l'aléa, le risque peut revêtir plusieurs aspects, regroupé en deux grands groupes : les **risques dits naturels** et les risques dits **anthropiques**.

Les risques d'origine naturelle occupent la troisième place parmi les risques sur terre (Dauphiné, 2005). Ils sont indissociables des phénomènes liés aux trois principaux milieux physiques de la sphère terrestre : la lithosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère. Pour la lithosphère, il s'agit principalement des séismes, les glissements gravitaires des terrains, les éruptions volcaniques, etc. Pour l'hydrosphère, il s'agit principalement des inondations marines ou continentales sous toutes leurs formes. Pour les risques en lien avec l'atmosphère, il s'agit des tempêtes et les vagues de froid telles que ceux de février 2021 en Amérique du Nord, des vagues de chaleur notamment en été, qui depuis une vingtaine d'années devient un problème de sécurité sanitaire particulièrement en Europe (Bouchama, 2004). Il est également important de mentionner que d'autres risques peuvent résulter de la combinaison des trois grands milieux de la sphère terrestre, tels les tsunamis et l'érosion des sols. Bien que certains soient accélérés par les activités humaines, il est généralement considéré que ces différents phénomènes sont en grande partie le résultat de facteurs d'origine naturelle.

En plus des risques dits naturels, l'homme est également à l'origine de nombreux risques identifiés comme anthropiques. Ces risques regroupent ceux dont le déclenchement ou la manifestation potentielle relève de la responsabilité de l'homme. Les plus connus et les plus médiatisés sont les risques technologiques ou industriels (Kasperson *et al.*, 1988 ; Turner *et al.*, 2003), dont l'origine est liée à une activité industrielle, nucléaire ou au transport de produits dangereux, quel qu'en soit le vecteur. Les risques sociopolitiques tels que les conflits armés d'origine politique, économique ou religieuse, la pauvreté, la ségrégation et l'injustice sociale (Gates *et al.*, 2012). Les risques sanitaires tels que la pollution, les épidémies (Covid-19), etc. sont également considérés comme des risques anthropiques.

De même que pour certains risques d'origine naturels, les risques d'origine anthropique peuvent également résulter de la combinaison de facteurs anthropiques. Par exemple, les conflits armés entraînent souvent la pauvreté et la précarité des populations dans les lieux de conflit et peuvent avoir des effets indirects néfastes sur le plan socio-économique pour les populations autrefois dépendant du lieu de conflit. Le conflit en guerre en Ukraine en est une parfaite illustration.

Il est important de noter que la segmentation des risques en deux groupes est une forme de simplification de la réalité. En effet, tout comme il existe des combinaisons au sein de chaque catégorie de risque, il semble que les risques tendent également à combiner leurs effets entre les deux catégories. Ainsi, il existe des risques qui sont le résultat à la fois des risques dits naturels et des risques d'origine anthropiques. Des risques au préalable naturels peuvent engendrer des risques anthropiques. Par exemple, la catastrophe nucléaire de Fukushima qui a eu lieu le 11 mars 2011, dont l'origine était naturelle, principalement du domaine lithosphérique a engendré un tremblement

de terre, qui par la suite a engendré l'arrêt des réacteurs, causant l'arrêt des réactions de fission. Après la catastrophe de Tchernobyl en 1986, il s'agit de la deuxième catastrophe nucléaire en termes de gravité, en raison du volume des rejets radioactifs dans l'océan Pacifique.

Cette ambivalence dans la clarification des catégories des risques se retrouve également dans la question des risques liés au changement climatique. C'est le cas du risque de canicule et d'élévation du niveau de la mer, dont l'origine, quoique l'on puisse dire sont d'abord naturelle. En revanche, en raison des activités humaines qui accélèrent le phénomène du changement climatique, ces risques ont également une dimension anthropique. De ce fait, il est très difficile de les cantonner à une catégorie de risque bien spécifique.

1.2.1 Les inondations d'origine marine : aléas aux multiples facettes

Le phénomène d'inondation marine ou submersion marine est défini comme une **inondation temporaire** des terres par la mer dans des conditions météorologiques et océaniques exceptionnelles telle que les basses pressions atmosphériques et fort vent d'afflux important (par exemple lors d'une marée de pleine mer de vive-eau). Ces inondations peuvent durer de **quelques heures à quelques jours** » (Letortu *et al.*, 2012 ; Perherin *et al.*, 2012). Cette définition est similaire à celle partagée par d'autres auteurs au paravent (Costa, 1997 ; Anselme *et al.*, 2008) et précisent les conditions nécessaires à la formation de ces inondations, ainsi que les différentes déclinaisons qu'elles peuvent prendre (par exemple, débordement, brèche, paquet de mer) (Anselme *et al.*, 2008, 2011 ; Caspar *et al.*, 2010).

Dans ces définitions on remarque bien l'importance de la **temporalité** (inondation temporaire, élévation temporaire du niveau marine, quelques heures ou quelques jours), des **conditions météorologiques** (fort vent d'afflux, dépression atmosphérique, Houle, forts coefficients armés), de la **brutalité de l'événement** et des différentes **modalités de franchissement** (paquet de mer, débordement, brèche)

Dans ce travail, nous nous intéresserons aux inondations par la mer. Étant dans une région « **acyclonique** »¹⁰, il est question des inondations d'origine météo-marine et climatiques. Dans ce cas, nous considérerons les **inondations par la mer** comme des inondations temporaires, ou permanentes de la zone côtière par des eaux d'origine marine. Il s'agit à la fois des submersions

¹⁰ En météorologie, le terme acyclonique est utilisé pour décrire une situation où il n'y a pas de système de basses pressions en développement, contrairement à une situation cyclonique où il y a un système dépressionnaire en développement. En d'autres termes, un temps acyclonique est généralement associé à une pression atmosphérique stable et à des conditions météorologiques calmes, alors qu'un temps cyclonique est associé à des conditions instables et à des perturbations météorologiques. Ainsi, une région acyclonique est une région dans laquelle les cyclones ne prennent pas naissance et ne sont pas affectés par eux.

marines *stricto sensu*, mais également les inondations permanentes dues à l'élévation du niveau marin relative au changement climatique. Ainsi, dans ce travail, nous considérons non seulement des conditions météo-marines, mais également le processus d'élévation du niveau de la mer comme facteur à l'origine des inondations marine. Ce dernier paramètre a souvent été pris en compte dans les modélisations prospectives des inondations en plus des submersions marines, mais il semble que très peu qualifient l'élévation du niveau de la mer dû au changement climatique comme un événement d'inondation par la mer ou une submersion à cinématique lente (Krien et Michel-Guillou, 2014).

1.2.1.1 Inondation marine directe

Selon Habel et al., (2020), l'ensemble des définitions apporté à l'inondation par la mer est considéré comme des inondations directes de la mer. Ces inondations se produisent par une connexion surfacique directe entre les eaux marines et la partie continentale. Dans les études de cartographie de l'exposition aux inondations marines telles que les cartes des Plans de Prévention des Risques d'Inondation Marine (PPRIM) en France, l'inondation marine directe est souvent caractérisée par l'identification des zones présentant une topographie inférieure à la hauteur du niveau d'eau donné, dans lesquels les eaux marines peuvent franchir les éléments de protection (dune ou digue) et se propager sans entrave sur la partie terrestre (Cariolet, 2011a ; Letortu *et al.*, 2012 ; Breilh, 2014).

1.2.1.2 Inondation marine indirecte (concomitance)

Les inondations induites par la mer sont généralement considérées uniquement comme prévenant des sources directes de la mer. Telles que les tempêtes et les marées exceptionnelles. Cependant, il est important de prendre en compte les phénomènes concomitants tels que le blocage des écoulements des eaux pluviales lors des fortes marées (Habel *et al.*, 2020b). En particulier, dans les zones tropicales, il est fréquent que des pluies diluviennes tropicales surviennent simultanément à des marées de haut niveau, ce qui peut entraîner des inondations par blocage des écoulements des eaux pluviales vers la mer. Cette interaction entre les marées et les précipitations est souvent négligée dans les études sur les inondations côtières (Ngo, 2014), mais elle est déterminante pour comprendre et prévenir les inondations dans ces régions .

1.2.2 Les différentes formes d'inondation marine

Le littoral peut être impacté par les inondations par la mer de différentes manières. On en dénote trois modes de submersion marine (Cariolet, 2011a ; Cariolet et Suanez, 2009 ; Letortu *et al.*, 2012 ; Perherin *et al.*, 2012). Ainsi, une zone basse peut être affectée par la mer par une inondation en lien avec un débordement, une rupture d'ouvrage et un franchissement, d'un élément de protection naturel ou anthropique (Figure 1-7). Les éléments de production naturels peuvent être des cordons

dunaires et de galet et les éléments de protection anthropique sont l'ensemble des ouvrages tels que les digues.

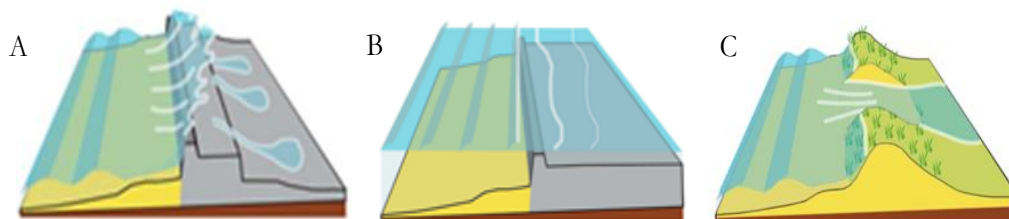


Figure 1-7 : Représentations schématiques des différents modes de submersions marines générées par des tempêtes de surcote. Avec une submersion marine par franchissement de paquets de mer à gauche, submersion marine par débordement au centre et submersion par ouverture d'une brèche sur un cordon dunaire à droite (Cariolet, 2011a)

- **Le franchissement par paquet de mer (A)**, correspond à un franchissement des ouvrages de protections par le déferlement des vagues. Il correspond à une propulsion de l'eau par-dessus les ouvrages de protection. Il n'est pas nécessaire ici que le niveau d'eau soit supérieur à la côte ou aux ouvrages de protection. Le franchissement est amplifié par une houle importante et le déferlement de vagues vers la côte, influencée par la direction et la force du vent.
- **Le débordement (B)**, correspond à une submersion des zones habituellement basses due à une élévation du plan d'eau au-dessus de la côte maximale de la topographie du terrain d'étude. Ce genre de submersion est rare, car il exige une hauteur d'eau exceptionnelle. C'est probablement le plus dangereux, car après la descente de la marée l'eau qui a franchi la digue ou le cordon dunaire reste bloquée dans les zones basses en arrière des ouvrages de protection.
- **La rupture (C)** d'ouvrages et/ou de cordons naturels liés à un mauvais entretien ou une érosion continue du cordon induit par les deux premières modes de submersion (débordement et franchissement), entraînant ainsi l'ouverture d'une brèche permettant une inondation de la zone située derrière l'ouvrage.

1.2.2.1 Les forçages à l'origine de l'élévation du plan d'eau

1.2.2.2 Les forçages météo-marin

Comme mentionné dans les différentes définitions, les inondations marines ou submersions sont associées à des conditions météo-marine extrême voir exceptionnelle. Ces conditions sont à l'origine d'une surcote marine pouvant engendrer des inondations dans les zones basses. La surcote d'inondation est la différence, à un instant t , entre la hauteur d'eau observée et la hauteur d'eau prédite (Figure 1-8). La surcote découle de plusieurs phénomènes météorologiques.

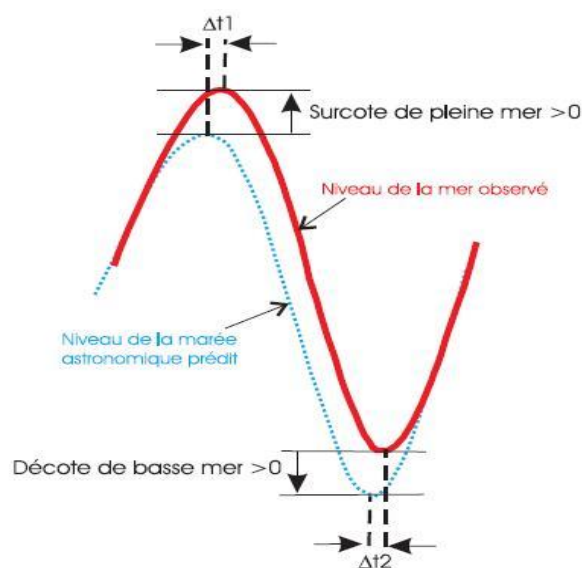


Figure 1-8 : Surcote (Source : http://refmar.shom.fr/fr/applications_maregraphiques/niveaux-extremes)

Surcote anémométrique, généré par l'action du vent est un paramètre important dans la détermination de la surcote. Le vent génère le mouvement de la masse d'eau en surface et la poussant vers le sens du vent dominant notamment vers la côte dans certains cas (Vents d'afflux) (Costa, 1998). Lorsque cette masse d'eau arrive proche des côtes à faible profondeur, l'effet compensatoire de la circulation en profondeur n'agit plus sur la masse d'eau en mouvement en surface (Cariolet et Suanez, 2013), ce qui entraîne une accumulation de la masse d'eau à la côte (Wind set up des Anglo-Saxons). Pour ainsi dire, la surcote générée par le vent dépend non seulement de sa force, mais également de la morphologie des fonds marins à proximité de la côte.

Surcote barométrique se produit lors du passage d'une tempête, la chute de pression atmosphérique entraîne une réduction du poids de la colonne d'air sur la mer, entraînant par la suite une élévation du plan d'eau. La pression barométrique est due à un passage dépressionnaire (tempête). Ce phénomène appelé effet barométrique inversé entraîne une élévation du niveau d'eau de 1 cm/hPa.

1.2.2.3 Les forçages climatiques

Le changement climatique et ses conséquences sont actuellement pris en compte dans les politiques de gestion du risque d'inondation par la mer (Fisson et Lemoine, 2016). Plusieurs projets de recherche ont été menés pour identifier les effets du changement climatique sur l'élévation du niveau de la mer. L'un des projets les plus importants est celui du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) qui fournit des évaluations scientifiques et techniques sur les causes et les conséquences du changement climatique, en particulier sur l'élévation du niveau de la mer (GIEC, 2022a). Puis, le programme des Nations Unies pour

l'environnement (PNUE) qui a pour objectif de surveiller l'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale et de publier des rapports sur les tendances et les impacts.

Les agences spatiales jouent également un rôle important dans la surveillance de l'élévation du niveau de la mer. Le projet de surveillance du niveau de la mer de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) avec le projet Copernicus utilise des satellites pour mesurer l'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale et fournir des données précises sur les tendances et les variations. Enfin, l'observatoire du niveau de la mer de la NASA utilise une variété d'outils, tels que des altimètres satellites, des radars et des modèles numériques pour comprendre les tendances et les variations de l'élévation du niveau de la mer à l'échelle globale.

En fonction des avancées technologiques, deux périodes d'évaluation du niveau moyen de la mer sont présentées par le GIEC.

Période pré-satellite : Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC), pour le rapport spécial sur l'océan et la cryosphère dans un climat en évolution, a examiné le développement de nouvelles méthodes statistiques pour mesurer le niveau moyen de la mer globale au 20^e siècle en utilisant les données des marégraphes. Selon les reconstructions des marégraphes, le SROCC a estimé un taux moyen d'élévation du niveau moyen des mers de 1,38 mm/an entre 1901 et 1990. L'évaluation du SROCC a montré une accélération de l'élévation du niveau moyen de la mer au 20^e siècle, ce qui est confirmé par de nouvelles méthodes de reconstructions à travers les données satellites (GIEC, 2022b).

L'ère de l'altimétrie par satellite : Le SROCC a conclu que la hausse du niveau global de la mer a augmenté à un taux de 3,16 mm/an entre 1993 et 2015 et à un taux de 3,58 mm/an entre 2006 et 2015. Cette accélération est estimée à 0,075 mm/an pour 1971 à 2018 et à 0,094 mm/an pour 1993 à 2018. Cette augmentation serait due selon ce rapport (GIEC, 2022b) à la perte de glacier terrestre (glaciers et calottes glaciaires). Cette dernière a été le plus grand contributeur à l'augmentation de l'élévation du niveau de la mer entre 2006 et 2018 (GIEC, 2022b). Par exemple les observations du niveau moyen mondial de la mer à travers le projet Copernicus de l'Union européenne, a permis de confirmer cette tendance à l'augmentation. On observe avec ce programme taux de 3,5 de 1993 à 2021 soit $\sim 0,4$ m/an (Figure 1-9).

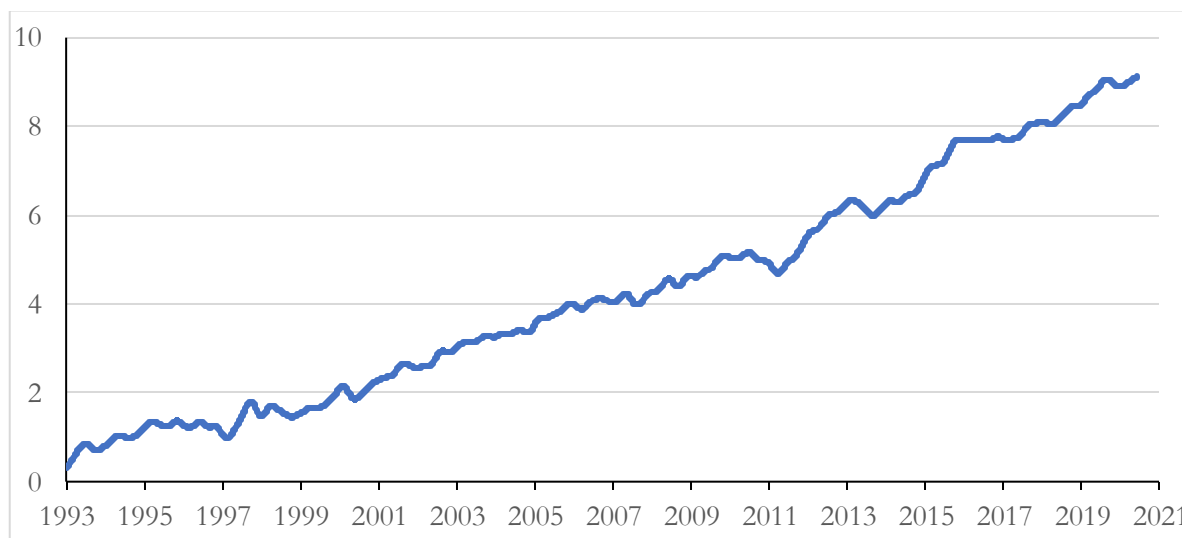


Figure 1-9 : Changements observés du niveau moyen mondial de la mer depuis 1993. Les données proviennent des enregistrements altimétriques par satellite du projet européen Copernicus Marine Service Information (<https://marine.copernicus.eu/access-data/ocean-monitoring-indicators/time-series-mean-sea-level-trends-over-global-ocean>)

Le réchauffement climatique accentué par les activités anthropiques est l'un des principaux facteurs expliquant l'accélération de l'élévation du niveau de la mer observée depuis la fin du XXe siècle. Ce réchauffement a un impact direct sur l'océan, entraînant une dilatation de celui-ci en raison de son réchauffement. De plus, le réchauffement climatique est à l'origine de la fonte accélérée des glaciers de montagne et des calottes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland (GIEC, 2022a, 2022b). Les projections du GIEC, prévoient plusieurs scénarios d'élévation du niveau de la mer sur plusieurs années (Figure 1-10), en tenant compte des contributions des différentes composantes telles que la dilatation de l'océan, fonte des glaciers ou la combinaison des deux. Le rapport du GIEC de 2022 prévoit une élévation du niveau de la mer comprise entre 40 cm pour le scénario SSP1-1.9 et 1 m pour le scénario SSP5-8.5 d'ici 2100. Il est donc clair que le réchauffement climatique a un impact important sur l'élévation du niveau de la mer.

Chapitre 1 : Réflexion autour de la vulnérabilité urbaine aux inondations par la mer : définitions et implications pratiques

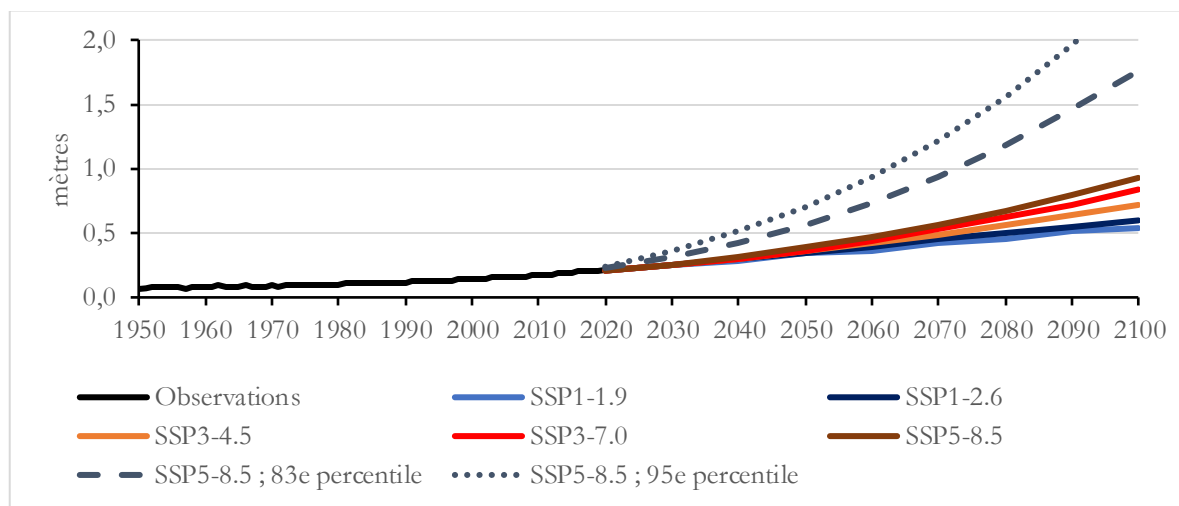


Figure 1-10 : Projection du niveau marin à l'horizon 2100 selon les différents scénarios SSP (GIEC, 2021)

D'autre part, l'élévation du niveau de la mer n'est pas uniforme à la surface de la terre (GIEC, 2021 ; Stammer *et al.*, 2013). Elle dépend premièrement de la différenciation du réchauffement de la surface des océans, mais également du comportement de la croûte continentale (ajustement isostatique) (Becker *et al.*, 2020 ; Tamisiea et Mitrovica, 2011). Ainsi, le niveau d'eau peut être défini par l'élévation du niveau de la mer à la côte et par le mouvement du niveau du sol. Dans cette situation, trois cas de figure se présentent (Figure 1-11).

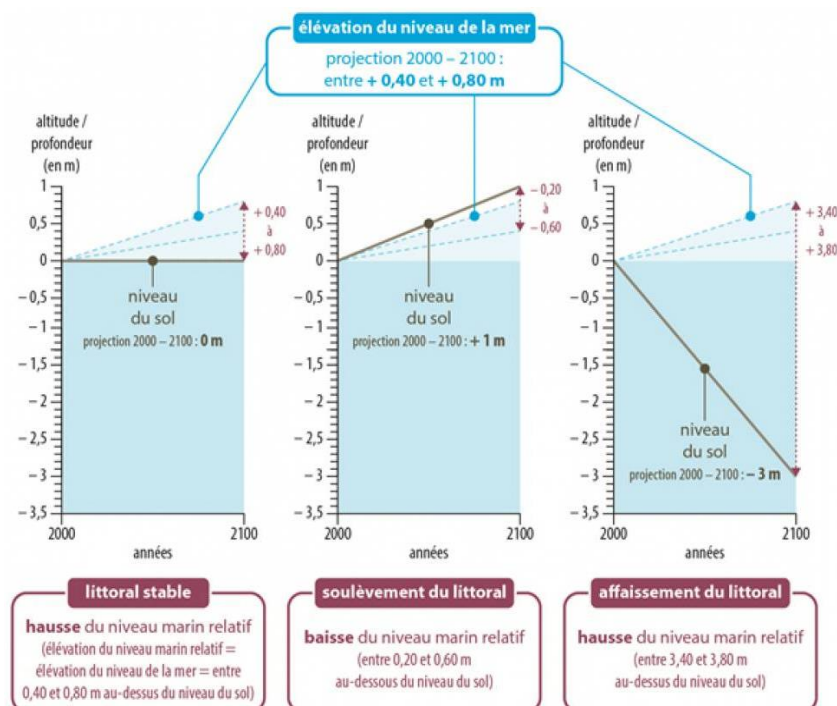


Figure 1-11 : Exemple d'évolution du niveau de la mer relatif entré 2000 et 2100 en considérant l'élévation du niveau de la mer et le mouvement isostatique du sol ¹¹

¹¹ [Toute l'actualité maritime | Mer et Marine](#)

- **Le premier cas** correspond à une élévation du niveau de la mer dans un secteur sans mouvement du sol (Stabilité). Dans ce cas, seule la hauteur d'eau est considérée.
- **Le deuxième cas** de figure est une élévation du niveau de la mer accompagnée d'une élévation de la surface du sol (Surrection). Dans ce cas, en fonction du rythme de soulèvement de la surface du sol, la zone considérée pourrait ne pas être affectée par l'élévation du niveau de la mer.
- **Le troisième cas** est le plus dangereux, c'est souvent la situation que l'on trouve dans les zones deltaïques (Becker *et al.*, 2020). Il s'agit d'une élévation du niveau de la mer et d'un affaissement de la surface du sol (Subsidence). Selon les travaux de Cazenave et Cozannet, (2014), la subsidence côtière est un processus naturel qui se produit lorsque la croûte terrestre se comprime ou se déplace vers le bas, entraînant une baisse du niveau du sol. Cependant, les activités humaines telles que l'extraction de pétrole et de gaz, les canalisations d'eau et les projets de construction peuvent accélérer ce processus, augmentant les risques d'inondation par la mer.

Le niveau global, le niveau potentiellement à l'origine des inondations par la mer est déterminé en sommant ces différentes contributions, notamment la surcote anémométrique, barométrique, astronomique et pour les inondations futures l'élévation du niveau de la mer dû au changement climatique. Dans cette optique, on peut classer les différentes inondations marines directes en fonction de ces contributions.

- **Inondation temporaire** correspond à la submersion marine induite par des phénomènes instantanés tels que les tempêtes et les tsunamis qui ne seront pas étudiés dans le cadre de cette thèse.
- **Inondation permanente** induite par l'élévation du niveau de la mer due au changement climatique. Avant de devenir permanentes, les inondations temporaires deviendront plus fréquentes et plus longues en raison de cette hausse globale du niveau marin.

Si l'aléa et les enjeux sont les principales composantes du risque, une autre composante est désormais en pleine émergence et tend à se positionner non plus comme une composante du risque, mais comme une notion indépendante du risque. La vulnérabilité est véritablement en plein essor dans l'analyse du risque.

1.3 La vulnérabilité : un autre composant du risque aux multiples définitions

Au cours de la section précédente, nous avons constaté que la compréhension du risque n'est pas encore totalement établie. Il s'agit d'un concept qui fait toujours débat de nos jours (Beck, 2006). Tout d'abord, le débat porte sur sa définition qui reste encore peu précise. Cette multiplicité de définitions entraîne ensuite une diversité d'approches dans son évaluation. Cependant, il existe des points communs. Quelle que soit la façon dont le risque est défini, l'aléa et les enjeux occupent une place centrale dans cette définition. À cela s'ajoute une autre composante essentielle : la vulnérabilité. Si l'aléa et les enjeux semblent bien établis, il n'en demeure pas moins que la vulnérabilité est également sujette à débat.

Le terme « vulnérabilité » a des acceptions et des interprétations variables selon les auteurs. C'est un concept complexe, difficile à appréhender et polysémique (Bercerra et Peltier, 2009). D'une part, ces différentes significations et interprétations rendent difficile l'adoption d'une approche commune pour mesurer la vulnérabilité. Ainsi, il n'existe pas d'approche unique pour évaluer la vulnérabilité. D'autre part, cette diversité d'interprétations et de définitions n'est pas en soi un problème, bien au contraire. Elle nous permet de comprendre la complexité de ce concept dans sa mise en pratique et son opérationnalisation. Selon certains auteurs, plusieurs aspects de la vulnérabilité ne peuvent pas être quantifiés, ce qui rend ce terme peu opérationnel. De plus, la variabilité des échelles d'analyse pose également un problème d'harmonisation des indicateurs à prendre en compte dans l'évaluation de la vulnérabilité.

Dans ce contexte, plusieurs groupes de travail, tels que le groupe d'experts convoqué par l'Institut de l'Université des Nations Unies pour l'Environnement et la Sécurité Humaine (UNU-EHS)¹², estiment qu'avant d'aborder la question de la vulnérabilité, il est essentiel de s'entendre sur sa véritable définition.

Cette section présente de manière concise une revue de la littérature sur la vulnérabilité afin de contextualiser notre étude. L'objectif de cette section est de définir le concept de vulnérabilité, en particulier la vulnérabilité urbaine en lien avec l'aléa naturel. Nous aborderons le concept théorique de la vulnérabilité, la diversité des définitions qui lui sont attribuées ainsi que les approches d'évaluation.

¹² UNU-EHS : est la branche universitaire des Nations Unies fondées en décembre 2003. Elle agit comme un groupe de réflexion mondial dans lequel l'Institut pour l'environnement et la sécurité humaine (EHS) a pour mission de mener des recherches de pointe sur les risques, la vulnérabilité, sécurité humaine, les conséquences des risques naturels complexes et du changement global. <https://ehs.unu.edu/about/about-ehs>

1.3.1 La montée d'un concept dans les travaux de recherche sur le risque

Malgré leur tendance à être éclipsés par les concepts de risque et d'aléa, le concept de vulnérabilité et son évaluation ont une histoire relativement ancienne, notamment aux États-Unis (Barroca *et al.*, 2013). Cependant, au cours des trois dernières décennies, ce concept a connu un succès considérable, en particulier avec l'augmentation des travaux de recherche sur le changement climatique (D'Ercole, 2014). Il a d'abord émergé dans les domaines des sciences environnementales, puis des sciences sociales, et s'est progressivement répandu dans la sphère médiatique et politique. Comme le souligne Reghezza (2006), la « *vulnérabilité est un mot à la mode* ». Cet engouement dans les discours scientifiques et médiatiques découle d'un constat de la vulnérabilité croissante de nos sociétés et territoires (Fabiani et Theys, 1987) face à des aléas de plus en plus destructeurs et variés.

Pour illustrer cet engouement dans les sciences sociales et environnementales, on peut mentionner le colloque interdisciplinaire qui s'est tenu du 14 au 16 mai 2008 à Toulouse, intitulé « *Vulnérabilités sociétales, risques et environnement : comprendre et évaluer* ». Les présentations de ce colloque ont été synthétisées et publiées en 2009 (Becerra et peltier, 2009). Cet ouvrage aborde la question de la vulnérabilité sociétale, de l'adaptation et de la résilience face aux risques naturels et aux problèmes environnementaux. De plus, l'étude de Di Matteo *et al.*, (2018), démontre une augmentation significative du nombre d'articles scientifiques publiés et référencés dans la base de données Scopus d'Elsevier, traitant de l'évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques entre 1996 et 2016. Cette augmentation du nombre d'articles sur l'évaluation de la vulnérabilité est particulièrement notable à partir de 2006, comme présentée à la Figure 1-12.

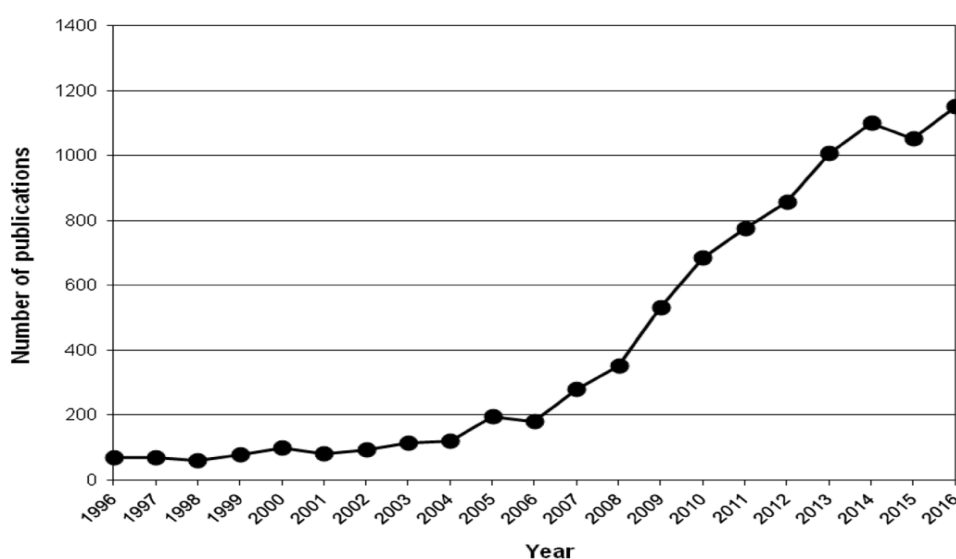


Figure 1-12 : Tendances des articles de recherche traitant de l'évaluation de la vulnérabilité au changement climatique de 1996 à 2016 (Di Matteo *et al.*, 2018).

Depuis ces dernières années, la place de la vulnérabilité n'a cessé d'évoluer dans la recherche sur les risques et dans les travaux relatifs à la gestion de ces risques (D'Ercole, 2014). Ce concept remplace dès lors les multiples synonymes tels que « *sensibilités* » et « *fragilité* » des sociétés, pour désigner l'incapacité de l'enjeu exposé à faire face à l'aléa et à être résilient. Ainsi, une certaine complexité définitionnelle caractérise ce concept.

1.3.2 Problème de consensus définitionnel : Une vulnérabilité polysémique

Les sciences sociales sont les premières à intégrer le concept de vulnérabilité dans les années 1970 en réponse à une vision du risque centrée exclusivement sur l'aléa. Ce concept de vulnérabilité a ensuite suivi son propre cheminement, parfois en opposition, parallèlement au paradigme dominant des années 1980, qui se concentrait sur les interventions techniques (Birkmann, 2006). Aujourd'hui le terme de vulnérabilité est désormais employé dans des domaines variés aussi bien dans les études sur la pauvreté (la faim dans le monde), la santé, le changement climatique, l'écologie sociale, la géographie, l'anthropologie, la sociologie et surtout sur les questions de risque. Paradoxalement, bien que le concept de vulnérabilité gagne le milieu scientifique et s'affirme comme un concept fédérateur de l'analyse des risques, celui-ci s'accompagne d'un flou définitionnel (Gilbert, 2009).

Aujourd'hui, la littérature permet de saisir le foisonnement définitionnel de ce concept (Bercerra et Peltier, 2009 ; Pigeon, 2005) et la multiplicité d'approche permettant son évaluation. Malgré cet engouement pour le concept dans les études sur le risque, ce concept demeure peu opérationnel (D'Ercole, 2014), notamment du fait de la multiplicité des définitions et des échelles d'analyse variées, le terme soulève une confusion dans son opérationnalité. Par exemple, lorsque les résultats d'une analyse à petite échelle sont présentés, c'est dernier peuvent poser des problèmes d'utilisation par les gestionnaires à une échelle locale ou communale en raison d'une échelle trop grande afin de cibler les mesures de réduction. Ainsi une question se pose d'entrée de jeu : **de quoi s'agit-il quand on parle de « vulnérabilité » ?** Pour aller droit au but, Il n'existe pas une définition consensuelle de la vulnérabilité (Gilbert, 2009 ; Metzger et D'Ercole, 2011). Selon la discipline et même au sein de chaque discipline, il semble y avoir un choix varié dans la définition de la vulnérabilité. Cette définition dépend des objectifs fixés par les auteurs, mais aussi de l'aspect de la vulnérabilité qu'ils souhaitent aborder (Vulnérabilité sociale, physique, économique, institutionnelle...) et de la disponibilité des données relatives à son évaluation. Ainsi, il existe plusieurs niveaux d'appréhension de la vulnérabilité (Birkmann, 2006 ; Gilbert, 2009).

En sociologie, ce concept est très controversé, non seulement dans son usage, mais aussi dans le sens qui lui est donné. Il est décrit comme un concept « polysémique, multiscalaire,

multidimensionnel» (Becerra 2012). Cette dimension polysémique résulte du fait que plusieurs champs disciplinaires ont apporté simultanément une couche à la définition. Plusieurs terminologies sont apportées à ce concept.

Au niveau du GIEC par exemple, le concept a pris plusieurs déclinaisons au fil du temps, très souvent influencé par l'évolution des recherches sur la question (Otto *et al.*, 2017). Utilisé pour la première fois pour désigner les menaces au bien-être socio-économique des hommes dans le premier rapport du GIEC (GIEC, 1990), il est déterminé par la santé, la sécurité alimentaire. Cette définition est la même dans le deuxième rapport (GIEC, 1995). Le troisième rapport intègre dans cette définition une part non négligeable à la vulnérabilité du système naturel (GIEC, 2001), qui dénote d'une prise de conscience des effets du changement climatique sur les écosystèmes naturels. Le cinquième rapport (GIEC, 2014a) place l'humain comme la composante principale de la vulnérabilité et définit la vulnérabilité comme la propension ou la prédisposition à subir des effets négatifs. Le sixième rapport publié le 27 février 2022 (GIEC, 2022a) fait mention de deux systèmes vulnérables, notamment le **système humain** et le **système naturel** dont les interactions sont à l'origine de la vulnérabilité globale. Chacun étant amplificateur de l'autre dans le temps et l'espace.

Ainsi, la compréhension de la vulnérabilité dans le contexte du changement climatique a évolué au fil du temps et des rapports du GIEC, passant d'une perspective centrée sur les impacts socio-économiques des êtres humains à une perspective plus globale qui intègre les systèmes naturels et les interactions entre système humain et système naturel.

1.3.2.1 L'existence de plusieurs sphères dans l'évaluation de la vulnérabilité

Bien que les définitions de la vulnérabilité soient nombreuses du fait de son ajustement définitionnel dans le temps, il est possible de constater un consensus sur le fait que la vulnérabilité est une composante interne au risque (Reghezza, 2006). Ainsi, la vulnérabilité est étroitement liée au risque et surtout à l'enjeu ou au système exposé. Cela signifie que la vulnérabilité fait partie intégrante de l'enjeu ou du système en question, en l'occurrence le système urbain dans sa complexité organisationnelle, bien avant la manifestation d'un aléa. Ainsi, les caractéristiques de l'enjeu ou du système potentiellement exposé sont importantes à prendre en compte dans l'évaluation de la vulnérabilité. Ces caractéristiques ou conditions intrinsèques de l'enjeu ou du système sont également désignées sous l'appellation de «**susceptibilité**» qui détermine la possibilité qu'un phénomène se produise dans un territoire en raison de différentes conditions environnementales au niveau local (Thiery, 2007). En conséquence, la vulnérabilité est définie à la fois à travers l'**exposition** et la **susceptibilité**. Toutefois, ce niveau de compréhension de la vulnérabilité n'est qu'un aspect du concept, qui peut s'étendre en fonction de l'échelle d'analyse, de l'aléa considéré, des objectifs poursuivis et de la discipline choisie. Il existe d'autres sphères de la

Chapitre 1 : Réflexion autour de la vulnérabilité urbaine aux inondations par la mer : définitions et implications pratiques

vulnérabilités imbriquées, comme montré dans la Figure 1-13, qui peuvent être évalués en fonction des conditions mentionnées ci-dessus.

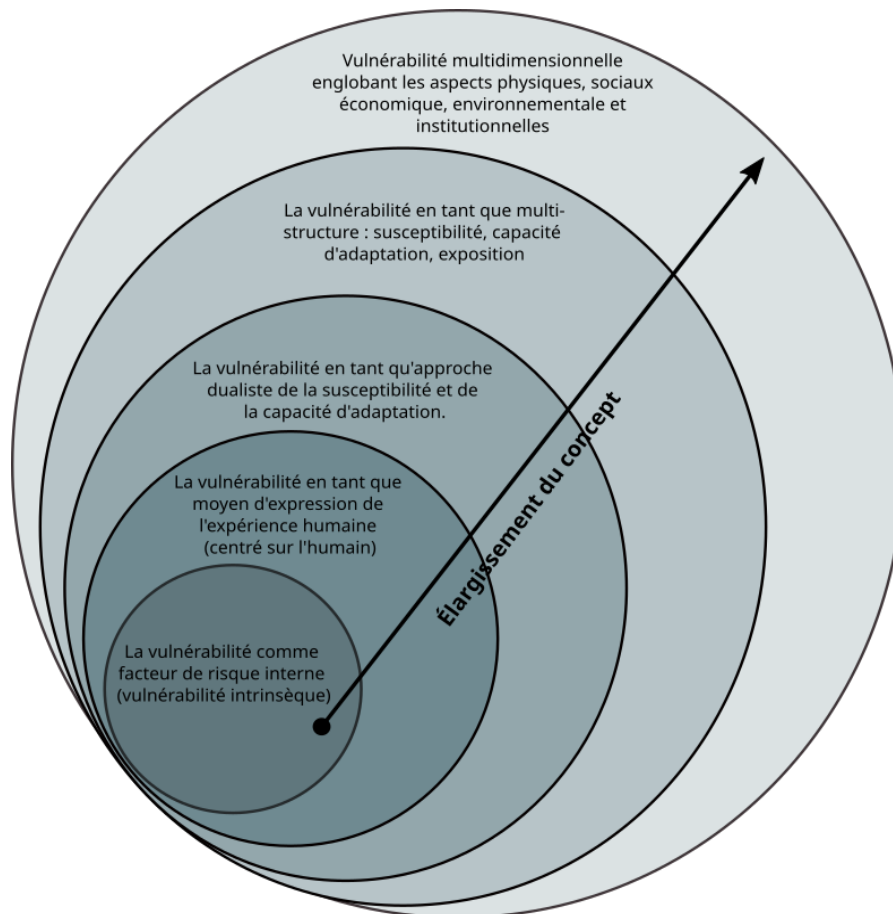


Figure 1-13 : Sphères clés du concept de vulnérabilité (modifiée d'après Birkmann, 2006)

Dans **la première sphère**, la vulnérabilité fait référence à la situation interne de l'enjeu ou du système (vulnérabilité du système humain ou du système naturel) (GIEC, 2022a). Elle ne dépend pas de l'aléa, qui est considéré comme externe au système vulnérable. Ici, l'aléa n'est que le révélateur d'une situation de vulnérabilité profonde du système.

Il en est de même de **la deuxième sphère** du concept de vulnérabilité proposé par Birkmann (2006) et qui place l'homme au centre du processus de production de la vulnérabilité par son expérience du système et donc de son environnement.

La **troisième sphère** présente le concept en tant que dualité de la susceptibilité et de la capacité d'adaptation. Cette approche est celle qui est la plus souvent utilisée pour définir le concept. C'est également un mixte entre la première et la deuxième sphère. Elle présente la « susceptibilité », qui est considérée comme un ensemble de caractère négatif du système, et la capacité d'adaptation comme la partie positive de ce concept. Là encore, l'aléa en tant que facteur d'exposition n'est pas

pris en compte dans la définition du concept. Cette définition présente la vulnérabilité comme intrinsèquement interne au système (Veyret et Reghezza, 2005).

Une autre extension de l'appréhension du concept est observée dans **la quatrième sphère**. Elle englobe les composantes de la troisième sphère et inclut l'exposition, en d'autres termes, l'aléa, quelle que soit sa nature. La vulnérabilité d'un système est ainsi fonction de l'exposition, et de la susceptibilité du système, mais également de la capacité d'adaptation (Adger, 2006). Par contre, l'aléa n'est pas un déclencheur de la vulnérabilité, mais l'élément qui met en lumière la vulnérabilité interne du système (Barroca *et al.*, 2013). Ainsi, cette définition avec cette structure multiple, confrontant la susceptibilité, la capacité d'adaptation à l'exposition est celle qui est encore récemment adoptée par les gestionnaires et les chercheurs.

Enfin, une dernière et **cinquième sphère** peut être observée. Elle vient élargir la conception de la vulnérabilité. Comme nous l'avons vu pour le risque, les travaux sur la vulnérabilité se sont souvent limités aux aspects physiques. Mais très vite et encore aujourd'hui, les recherches sur la vulnérabilité territoriale en particulier, se sont orientées vers d'autres thématiques (institutionnelle, alimentaire, économiques, sociale, environnementale). Bien évidemment en gardant une approche définie par la sphère quatre.

1.3.2.2 Les différentes formes de la vulnérabilité en fonction des enjeux : approche analytique

On peut observer différentes formes de vulnérabilité. Ces différentes formes de vulnérabilité ont leurs propres échelles temporelles et spatiales d'analyse (Leone et Vinet, 2006). À partir de la nature et des caractéristiques des enjeux, leur niveau d'organisation, leur localisation géographique et la période analysée (avant, pendant ou après une crise), elles sont intégrées à des niveaux variés. Pour certains auteurs comme Leone et Vinet, la vulnérabilité se définit en fonction de l'endommagement ou du dysfonctionnement des différents éléments exposés constitutifs du territoire et des sociétés (Leone et Vinet, 2006). Cette définition envisage la vulnérabilité en fonction de la nature des enjeux et des dommages soumis à chaque enjeu par un aléa. Cette démarche est qualifiée d'approche analytique (Leone et Vinet, 2006) et peut prendre ainsi, plusieurs formes :

- **La vulnérabilité corporelle** qui fait référence au nombre de personnes susceptible d'être impacté négativement (blessé, décès) (Kappes *et al.*, 2012 ; Puissant *et al.*, 2014). En fonction de l'aléa, les facteurs socio-démographiques peuvent être fortement déterminants dans la vulnérabilité corporelle.
- **La vulnérabilité structurelle ou physique** est dépendante des enjeux et surtout aux enjeux matériels. Elle correspond aux caractéristiques propres à chaque enjeu. En milieu

urbain, il s'agit notamment des constructions (bâti) et des infrastructures de liaison telles que le réseau routier, ainsi que leur état (leur niveau de dégradation, de leurs problèmes liés aux matériaux de construction, de leurs caractéristiques techniques). Ainsi, la vulnérabilité est avant tout une question de fragilité des enjeux bien avant que l'aléa n'affecte l'enjeu (Reghezza, 2006). Cette vulnérabilité matérielle est à la base de la question de l'endommagement après la survenue de l'aléa et de son impact sur les enjeux matériels. Lorsque l'on dispose des données sur la valeur des enjeux, son évaluation ne pose pas de problème (Gleyze et Reghezza, 2007). Cette vulnérabilité structurelle est fortement influencée par le type d'aléa, ce qui permet de distinguer des formes d'endommagement (Gleyze et Reghezza, 2007).

- **La vulnérabilité fonctionnelle** : elle est liée à la fonction de l'enjeu. C'est-à-dire, au rôle premier d'un enjeu dans un système (Papathoma-Köhle *et al.*, 2017). En fonction de la nature de l'enjeu, la fonction peut prendre plusieurs formes. Depuis quelque année, les travaux de recherche appliquée au système urbain notamment, se sont tournés sur la vulnérabilité fonctionnelle des infrastructures urbaines, non seulement pour elle-même, mais également par rapport à l'impact sur le reste du système en cas d'impact négatif sur ce dernier. Ainsi, ces études sur la vulnérabilité fonctionnelle des enjeux permettent d'opérer deux analyses indépendantes de l'infrastructure, c'est-à-dire, d'opérer de manière indépendante une évaluation fonctionnelle et une évaluation la vulnérabilité structurelle. Le fait qu'un enjeu ne joue plus son rôle pendant et même après le passage d'un aléa dommageable résulte le plus souvent d'une détérioration de la structure de l'enjeu.
- **La vulnérabilité institutionnelle ou politique** est liée aux capacités des institutions à répondre efficacement à la crise et à mettre des actions d'atténuation de manière formelle (par l'application de la réglementation) (Papathoma-Köhle *et al.*, 2021). Souvent analysée dans le cadre des retours d'expériences (Leone et Vinet, 2006), elle peut aussi être analysée dans le cadre post catastrophe, afin de relever les points de faiblesse des institutions en charge de la gestion des risques par exemple (Defossez, 2009 ; Texier, 2009).

L'approche analytique consistant à évaluer la vulnérabilité à partir de l'endommagement ou de la dysfonction des enjeux présents dans un territoire est considérée comme limitée pour un certain nombre d'auteurs (Leone et Vinet, 2006 ; Pigeon, 2005).

1.3.3 Hypothèse d'une double approche d'évaluation de la vulnérabilité

Comme nous l'avons vu, les recherches sur la vulnérabilité brossent un large panel d'approches et de problématiques (Kim *et al.*, 2021). Par contre, il se dégage dans l'ensemble de ce panel, deux approches (Dauphiné, 2005 ; Reghezza, 2006). Une première approche qui relève des sciences physiques dans laquelle la vulnérabilité est évaluée en termes d'impact et d'endommagement potentiels des enjeux lors de la manifestation de l'aléa plus ou moins bien évalué. Cette première approche constitue le premier axe de l'analyse du risque. Une seconde approche quant à elle relève des sciences sociales dans laquelle la vulnérabilité est définie comme la capacité des sociétés à faire face à une crise ou une perturbation du système (Reghezza, 2006). Cette approche met l'accent sur les causes sociétales, la capacité des sociétés à anticiper ou à faire face et l'adaptation.

La vulnérabilité mobilise donc plusieurs facteurs non seulement de prédisposition à être affectée, mais aussi les facteurs de déclenchement et d'aggravation tels que le manque de capacités d'adaptation à un événement dommageable. Un ensemble de facteurs tels que le degré d'exposition aux aléas en fonction du lieu et les conditions économiques, sociales, de genre.

« Dans le présent rapport, la vulnérabilité est définie comme la propension ou la prédisposition à subir des effets néfastes et englobe une variété de concepts et d'éléments, notamment la sensibilité ou la susceptibilité aux dommages et le manque de capacité à faire face et à s'adapter. » (IPCC, 2022, p.35).

1.3.3.1 La dimension physique de la vulnérabilité : approche quantitative

Les approches traditionnellement de l'évaluation de la vulnérabilité sont essentiellement basées sur la concept d'exposition et d'endommagement (Thouret et D'Ercole, 1996 ; Reghezza, 2006). Ces deux concepts font appel à la notion d'aléa et d'enjeu pour mesurer les conséquences potentielles de l'aléa. Ainsi, la vulnérabilité physique est la première dimension de la vulnérabilité qui est souvent donnée. Ici, seuls les enjeux physiques sont considérés.

La vulnérabilité physique est essentiellement basée sur une approche quantitative (Leone, 1996) qui permet de construire des fonctions d'endommagement et permet d'analyser les coûts/bénéfices (Barroca *et al.*, 2005 ; Creach, 2015). Les fonctions de dommages sont souvent exprimées en termes de degré de sensibilité des enjeux sur la base d'échelles (de 0 à 10 ou de 0 à 1). Dans cette approche, **la vulnérabilité désigne la valeur intrinsèque des enjeux (bâtiment, réseaux, infrastructures, mais également les populations), susceptible d'être perdue lors de la survenue d'un aléa. Ainsi pour évaluer la vulnérabilité physique, il est souvent utilisé des matrices d'endommagement ou des indices synthétiques de vulnérabilité, que l'on croise**

avec l'intensité donnée par l'aléa en présence (Balica *et al.*, 2012 ; Carlier *et al.*, 2018 ; Drejza *et al.*, 2014).

A y regarder de plus près, le concept de vulnérabilité physique est une approche qui permet de croiser les deux composantes du risque, c'est-à-dire l'aléa et les enjeux potentiellement vulnérables (cf. section 1.1.1.3). L'appréhension de la vulnérabilité par l'approche physique en géographie présente un double intérêt. Elle permet de caractériser et de spatialiser plus ou moins précisément à la fois l'aléa et les enjeux potentiellement exposés. Dans ce contexte, le terme de vulnérabilité biophysique est souvent préféré à vulnérabilité physique, car la vulnérabilité des enjeux n'est pas indépendante de l'aléa (Reghezza, 2006). Elle est déterminée par la nature même de l'aléa, sa probabilité, le degré d'exposition des enjeux et la sensibilité des enjeux (Barroca *et al.*, 2013 ; Reghezza, 2006). Il s'agit d'une approche opérationnelle qui fournit aux gestionnaires des outils pertinents pour réduire la vulnérabilité des enjeux à l'impact de l'aléa (Tableau 1-3).

Vulnérabilité biophysique	Nature de l'aléa
	Fréquence de l'aléa
	Exposition à l'aléa
	Capacité de résistance physique

Tableau 1-3 : Récapitulatif des caractéristiques de la vulnérabilité biophysique (Reghezza, 2006)

En revanche, une telle démarche est rendue difficile, notamment dans les pays en développement, en raison du manque de données nécessaire à la spatialisation de l'aléa (Rakotoarisoa, 2017 ; Da, 2021) et à la caractérisation des enjeux. De plus, lorsque ces données existent, l'absence de fiabilité peut biaiser l'analyse et peut engendrer une perte de temps et d'argent dans la mise en œuvre des protocoles de collecte ou la création de ces données.

Sur le plan technique, cette approche fait appel à de nombreux outils à la fois de spatialisation de l'aléa soit des quantifications des dommages potentiels des enjeux dont la représentation dépend de l'échelle d'analyse (Graff *et al.*, 2019). Ainsi, les systèmes d'information géographique (SIG) sont fortement sollicités en géographie afin de croiser les différentes couches d'information permettant non seulement une quantification et une qualification de la vulnérabilité physique, mais également d'avoir une distribution spatiale de cette vulnérabilité sur un territoire potentiellement exposé.

Cette approche est considérée de plus en plus comme étant limitée. D'abord, par la quantité d'information à acquérir aussi bien pour l'aléa que pour les enjeux. Ensuite, parce qu'elle ne s'intéresse qu'à l'exposition des enjeux sans considérer ce qui a entraîné cette exposition. Elle considère la vulnérabilité des systèmes de manière passive où les enjeux sont soumis à l'aléa. Ainsi,

pour pallier à cette passivité du système vulnérable, une autre approche a été développée en parallèle de l'approche physique, permettant de donner un caractère actif à la vulnérabilité.

1.3.3.2 La dimension sociale de la vulnérabilité : approche qualitative

Lorsque le concept de vulnérabilité est évoqué, il a tendance à s'inscrire dans une réponse sociale du risque (Bourdiere, 2008). La vulnérabilité sociale offre une approche de recherche sur les réponses qu'on apporte au problème lié au risque. Dans l'une des définitions apportées par le GIEC, « ... la vulnérabilité diffère au sein des communautés et entre les sociétés, les régions et les pays, et qu'elle évolue également dans le temps. » (IPCC, 2022, p.35). La vulnérabilité est une composante active du risque, contrairement à la vulnérabilité biophysique qui est une composante passive dans l'analyse du risque. Ainsi, l'approche sociale de l'évaluation de la vulnérabilité permet d'examiner le risque dans sa dimension sociale et même sociétale, c'est-à-dire aux conditions individuelles telles que le niveau économique, le niveau de vie, mais également aux mœurs, l'éducation à l'organisation politique. À partir de ces facteurs sociaux, elle permet d'analyser le niveau de préparation, à l'anticipation de l'aléa, la capacité à faire face à la crise et la résilience de la société, c'est-à-dire à sortir la crise. Elle met en lumière la temporalité de préparation de la société à faire face à une crise (la période avant crise, période pendant la crise et période post-crise). De ce fait, elle est également appelée « vulnérabilité organisationnelle » (Barroca *et al.*, 2013), car elle dépend fortement de l'organisation du système. **Sur le plan territorial, elle permet d'évaluer la capacité des acteurs à gérer la crise, les moyens mis à disposition pour contrer des perturbations éventuelles sur le système, les priorités des gestionnaires, le niveau de préparation des populations, le niveau de connaissance du risque, la capacité de réponse individuelle, ou collective des acteurs.** Indépendamment de l'aléa, l'évaluation de la vulnérabilité sociale cherche à comprendre les facteurs d'amplification de la vulnérabilité dans le temps et dans l'espace.

1.4 Quelle approche envisager dans cette recherche ?

Dans la section précédente, nous avons constaté que la vulnérabilité peut être abordée et définie de différentes manières. En réalité, ce concept peut être divisé en deux catégories distinctes : la vulnérabilité physique d'un côté, et la vulnérabilité sociale de l'autre, toutes deux évaluées par diverses disciplines scientifiques. À une époque où la pluridisciplinarité est de mise, l'évaluation de la vulnérabilité des territoires face aux aléas naturels apparaît comme une problématique mobilisant plusieurs champs d'études. Il serait regrettable de confiner l'évaluation de la vulnérabilité territoriale à un domaine spécifique.

En qualité de géographe, il est légitime de se questionner sur la manière dont la géographie s'inscrit dans les processus d'évaluation de la vulnérabilité.

La réponse réside probablement dans l'histoire et l'évolution épistémologique de la géographie en tant que discipline scientifique. En effet, cette histoire a permis à la géographie de développer des méthodes d'analyse spatiale et de compréhension des processus territoriaux. Elle se situe à la confluence des sciences naturelles et sociales. Ainsi, elle se distingue par sa capacité à rassembler les perspectives des sciences naturelles et sociales. Cette discipline dans laquelle nous nous positionnant et dans laquelle nous avons évoluons sur le plan académique et désormais professionnelle, permet d'établir des liens entre les sciences naturelles et les sciences sociales en ce qui concerne les phénomènes liés à son objet d'étude, c'est-à-dire le territoire ou l'espace anthropisé, communément appelé chez les géographes « l'œkoumène ». C'est dans ce sens que, les géographes s'intéressent à l'approche spatiale de la vulnérabilité en combinant les aspects physiques et sociaux de celle-ci. L'objectif est de mettre en évidence les interactions entre les différents facteurs de fragilité du territoire de manière systémique.

1.4.1 La vulnérabilité territoriale : la ville comme support d'étude dans un contexte africain

Cette thèse aborde la question de la vulnérabilité territoriale, en mettant particulièrement l'accent sur les territoires urbains, notamment les villes et en particulier les villes des pays en développement. En effet, la problématique des inondations, en particulier les inondations côtières, est préoccupante lorsque cela concerne les zones urbaines. C'est pourquoi cet espace géographique suscite un intérêt particulier.

Les villes sont le cadre d'étude des questions liées aux risques et à la vulnérabilité des territoires face aux aléas. La notion de « ville » revêt de multiples définitions (Valy, 2010) et a évolué au fil du temps. Elle englobe des réalités diverses, ce qui rend sa définition imprécise (Pumain, 2006). La ville est un ensemble complexe d'enjeux interagissant dans un espace délimité, et son évolution découle de l'augmentation des enjeux et de l'évolution de sa fonction (par exemple, d'une ville industrielle à une ville touristique). En géographie urbaine, la ville est considérée comme un système spatial et urbain complexe en constante évolution (Paulet, 2009).

Dans un contexte africain, la ville peut être considérée comme un objet d'étude intéressant, car elle est souvent le lieu de concentration des populations, des activités économiques et des infrastructures, dans un contexte global souvent désorganisé, chaotique et anarchique, ce qui la rend particulièrement vulnérable face aux aléas naturels (D'Ercole *et al.*, 2009). Elle est le foyer de production et de propagation de la vulnérabilité territoriale. En effet, dans les zones urbaines, les

dommages matériels et humains peuvent être considérables, ce qui soulève des problèmes économiques et politiques tels que la gestion du relogement et de l'urbanisation. De plus, ce sont des zones où la population est en constante mutation, laissant peu de place à la culture de la gestion des risques.

Dans ce contexte, les villes des pays en développement sont particulièrement vulnérables aux phénomènes naturels et anthropiques (D'Ercole *et al.*, 2009). Elles se caractérisent par une urbanisation rapide et importante. Cette urbanisation s'est poursuivie en raison d'une croissance démographique de plus en plus élevée, résultant principalement de l'exode rural et de la forte natalité dans ces pays. Il est évident que l'afflux massif de populations rurales, majoritairement pauvres, ainsi que le taux de natalité élevé ont entraîné une surcharge du système urbain, incapable de suivre cette croissance démographique. Par conséquent, des problèmes de transport, de logement, d'éducation, de santé, etc., ont émergé.

Malgré le problème persistant de l'exode rural et de la forte natalité, on constate un déséquilibre dans la structure urbaine, entraînant des inégalités de développement flagrantes. Souvent, certaines zones concentrent tous les services publics et les activités économiques, tandis que d'autres zones sont dépourvues d'équipements essentiels. L'urbanisation se divise ainsi en deux catégories : les zones formelles et les zones informelles, où la ville se développe de manière anarchique et précaire.

Au-delà de ces trajectoires d'urbanisation, il est important de souligner les contraintes physiques liées à l'emplacement de ces villes, en particulier celles situées sur les littoraux. La plupart d'entre elles sont les capitales politiques et économiques des pays, situées dans des deltas, des estuaires ou des lagunes maritimes. Ces zones se caractérisent généralement par une topographie basse, ce qui les rend propices aux inondations marines et à l'érosion côtière.

1.4.2 La vulnérabilité systémique

Dans le contexte des territoires urbains, en particulier ceux des pays en développement, il est évident que ces derniers sont des centres de vulnérabilité de diverses natures, à la fois sociale et structurelle. Dans cette situation Thouret et D'Ercole, (1996) suggèrent que l'évaluation de la vulnérabilité doit tenir compte d'un certain nombre de facteurs répartis en deux groupes. Ils distinguent ainsi les facteurs structurels inhérents au système et préexistants bien avant la survenue de l'aléa, ainsi que les facteurs conjoncturels qui se manifestent pendant la crise (Tableau 1-4).

TYPLOGIE DES FACTEURS DE VULNÉRABILITE	
FACTEURS STRUCTURELS	
Facteurs démographiques et économiques	– Caractéristiques des populations exposées par leur structure et leur mobilité ; – Facteurs de décohésion, d’instabilité (ex. inégalités, communautés) ;
Facteurs socioculturels	– Perceptions, représentations ; – Pratiques, comportements ;
Facteurs techniques	– Qualité du bâti ; – Qualité des infrastructures et des réseaux ;
Facteurs institutionnels	– Appareil législatif et réglementaire ; – Rouages administratifs de prévention, de gestion des risques et des crises ;
FACTEURS CONJONCTURELS	
Facteurs géophysiques	– Caractéristiques des phénomènes potentiellement préjudiciables (aléas) ; – Caractéristiques de leur impact ;
Facteurs accidentels	– Dysfonctionnements temporaires et imprévisibles, modifiant l’impact des aléas ou certains facteurs structurels susmentionnés (ex. défaillance des réseaux de communication, des systèmes de défense, troubles sociaux)

Tableau 1-4 : Facteurs de vulnérabilité territoriale (Thouret et D’Ercole, 1996 cité par Chionne, 2019)

Cette approche reconnaît que la vulnérabilité d’une société résulte de plusieurs facteurs, à la fois situationnels (contexte environnemental) et structurels, tels que le cadre sociodémographique, socioculturel, institutionnel et fonctionnel de la société à un moment donné (Nichols *et al.*, 2019 ; Meur-Ferec *et al.*, 2020). Ainsi, cette approche intègre les deux approches souvent disjointes mentionnées précédemment (cf. sous-section 1.3.3). Dans cette perspective, la vulnérabilité n’est plus considérée comme une composante du risque, comme mentionné précédemment (cf. sous-section 1.1.1.2), mais plutôt comme le résultat d’un ensemble de facteurs prédisposant qui expriment une certaine fragilité globale du territoire. La vulnérabilité urbaine est donc un concept permettant une évaluation holistique du système urbain. Ce qui est intéressant dans l’approche d’évaluation systémique préconisée par Thouret et D’Ercole, (1996) est qu’elle peut être utilisée pour évaluer la vulnérabilité de différents types de systèmes, tels que les systèmes de transport, de santé ou économiques. Elle peut également être appliquée dans différents contextes, comme les villes côtières, les zones rurales ou les régions à haut risque de catastrophes naturelles.

En partant ainsi des travaux de D’Ercole *et al.*, (1994) et de Thouret et D’Ercole, (1996), plusieurs recherches ont préconisé d’aborder la vulnérabilité territoire sous l’angle systémique (Birkmann, 2006 ; Leone et Vinet, 2006 ; Meur-Ferec *et al.*, 2020). Il s’agit d’un concept multidimensionnel dans la mise en œuvre de stratégies de gestion à long terme pour les territoires exposés aux risques

Chapitre 1 : Réflexion autour de la vulnérabilité urbaine aux inondations par la mer : définitions et implications pratiques

(D'Ercole et Pigeon, 1999 ; Michel-Guillou et Meur-Ferec, 2017 ; Nichols *et al.*, 2019). Sur la base de cette approche, le système peut être évalué dans sa globalité (D'Ercole et Pigeon, 1999 ; Leone et Vinet, 2006).

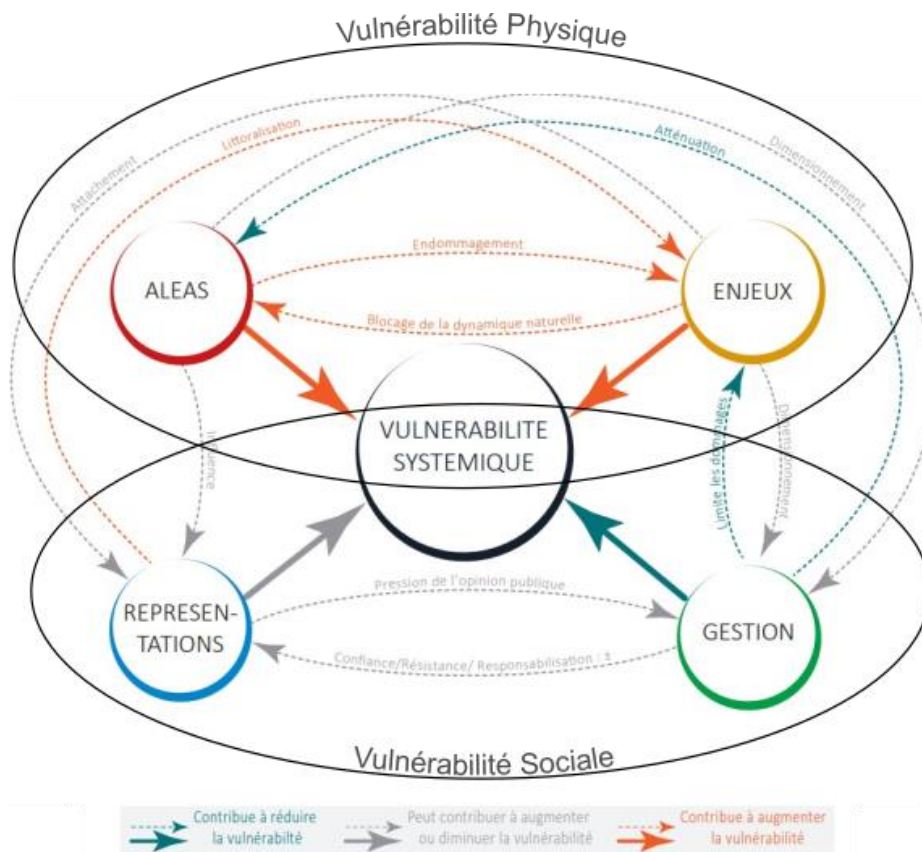


Figure 1-14 : Les composantes de la vulnérabilité systémique, leurs interactions et leurs places dans les différentes approches d'évaluation de la vulnérabilité (modifiée de Meur-Ferec *et al.*, 2020)

Dans leur article intitulé « Une méthode de suivi de la vulnérabilité systémique à l'érosion et la submersion marines », Meur-Ferec *et al.*, (2020) montrent ainsi que l'évaluation de la vulnérabilité des territoires ne fait sens que si le territoire est considéré en tant que l'évaluation de la vulnérabilité des territoires est pertinente uniquement si le territoire est considéré comme un système plus ou moins vulnérable aux aléas côtiers, ce qui nécessite une évaluation systémique de ces territoires côtiers. En général, l'évaluation de la vulnérabilité systémique reprend les facteurs proposés par D'Ercole *et al.*, (1994) et les synthétise en quatre composantes interagissant entre elles (Figure 1-14). Bien que cette approche soit structurée autour de quatre composantes, elle peut être décomposée en deux unités d'analyse interconnectées : la vulnérabilité biophysique et la vulnérabilité sociale.

Parmi ces composantes, deux sont des éléments essentiels de l'évaluation des risques. Il s'agit de l'aléa et les enjeux, tels que définis dans la section 1.1 précédente. Les deux autres composantes

sont la représentation et la gestion. Alors, la vulnérabilité systémique aux inondations marines consiste à prendre en compte :

- Les **aléas** « ce qui peut arriver »
- Les **enjeux** « ce que l'on risque de perdre »
- La **gestion** « les moyens mis en œuvre pour lutter contre les risques côtiers »
- **Les représentations** « ce que pensent les gens des risques et de la gestion »

Ainsi, dans l'approche systémique de la vulnérabilité, l'aléa et enjeu associés forment le risque, car ils déterminent la situation de risque. Il est donc essentiel d'identifier l'aléa et les enjeux pour mettre en place une politique de gestion et comprendre les représentations de la population. Par exemple, il serait inapproprié d'évaluer la vulnérabilité d'une zone désertique (46859 km²) au Niger face à un tsunami, car cet aléa est inexistant dans cette zone, tant dans le présent que dans le futur. De plus, cette zone ne présente aucun enjeu selon la définition donnée précédemment. Ainsi, même en cas de survenue d'un aléa, cette zone ne serait pas considérée comme à risque, car il n'y a pas d'enjeux.

Par conséquent, l'aléa et les enjeux sont clairement les facteurs déterminants de la vulnérabilité. Bien que la gestion soit une composante à examiner dans le but de réduire la vulnérabilité, en l'absence de gestion ou en cas de gestion inappropriée, la vulnérabilité d'une zone face à un aléa peut être amplifiée. Par exemple, la gestion peut influencer l'organisation spatiale des enjeux grâce à des politiques réglementaires concernant leur implantation dans des zones exposées à des aléas. L'objectif de la gestion est de réduire le risque.

1.4.2.1 La composante représentation dans l'évaluation de la vulnérabilité

Parmi les quatre composantes de l'approche systémique de la vulnérabilité des territoires exposés aux risques, la composante représentation est difficile à appréhender. Dans cette approche, elle joue un rôle essentiel en intégrant véritablement le rôle de l'homme dans l'évaluation de la vulnérabilité, tant pour identifier les faiblesses des politiques de gestion que pour comprendre l'attitude de la population face au risque. Elle est une composante importante dans l'évaluation de la vulnérabilité systémique des territoires exposés aux risques (Bickerstaff, 2004) et contribue à la compréhension de la production de la vulnérabilité territoriale.

L'évaluation des représentations est désormais une approche courante en géographie (Meur-Ferec *et al.*, 2020 ; Paulet, 2002). Bien que des confusions définitionnelles puissent exister entre la représentation et la vulnérabilité, cette question sera abordée dans le chapitre 5. Il est important de

souligner ici que la composante représentation est avant tout liée à la vulnérabilité des individus (Beck, 2006), En période de crise, le comportement des individus dépend fortement de la représentation qu'ils ont de la situation à laquelle ils font face, en particulier lorsqu'il s'agit d'une crise provoquée par un aléa rare.

En effet, l'absence d'une culture du risque peut entraîner des conséquences plus graves lors d'une crise nouvelle. Cette composante est peu abordée dans les études sur le risque dans les pays en développement, notamment en Afrique. Or, la composante représentation permet d'identifier les facteurs limitant la mise en œuvre des politiques de gestion, tels que l'acceptabilité de ces politiques par la population et, surtout, la culture du risque dans un territoire. Cette culture du risque peut varier d'un territoire à l'autre, voire au sein d'un même territoire (Beck, 2006). Par exemple, dans le contexte des risques industriels, plusieurs études ont montré que la proximité de la source du danger influence l'évaluation du risque (Bonnet, 2002 ; Grembo, 2010). Ce constat a également été démontré dans le cas du risque de submersion marine (Michel-Guillou et Meur-Ferec, 2017 ; Ruz *et al.*, 2020). Les représentations peuvent pencher en faveur d'une accentuation ou d'une réduction de la vulnérabilité, selon les situations. Leur prise en compte cherche à apporter un éclairage spécifique au contexte local.

La composante représentation influence également les choix des gestionnaires en termes de priorité des risques à traiter. Une représentation biaisée ou inexistante d'un risque peut conduire à ignorer ce risque dans les politiques de développement urbain. Cette situation peut entraîner une vulnérabilité accrue du territoire, avec des comportements d'installation anarchique de la population dans des zones exposées au risque. Cela souligne l'importance de la composante représentation dans l'évaluation systémique de la vulnérabilité des territoires.

L'évaluation de la vulnérabilité systémique des territoires confrontés aux risques naturels est une tâche complexe qui présente des défis majeurs. L'un de ces défis consiste à dépasser les analyses sectorielles et à considérer la vulnérabilité systémique dans son ensemble (Leone et Vinet, 2006). En effet, une approche sectorielle qui examine les différentes composantes de la vulnérabilité de manière indépendante peut être insuffisante pour appréhender la complexité et l'interdépendance des facteurs qui influencent la vulnérabilité systémique. L'efficacité de l'évaluation systémique dépend de l'échelle d'analyse.

Une analyse sectorielle peut négliger les effets cumulatifs de différents facteurs de vulnérabilité, tels que les répercussions économiques, sociales et environnementales des catastrophes naturelles. Par exemple, une inondation peut entraîner des pertes en vies humaines, des pertes économiques, des dommages environnementaux et des impacts sur les infrastructures critiques. Dans une approche

sectorielle, chaque effet est analysé de manière isolée, sans tenir compte de son influence sur les autres composantes. Il est donc important d'adopter une approche systémique qui permette de comprendre la complexité et l'interdépendance des facteurs de vulnérabilité. Cette approche implique de considérer la vulnérabilité systémique dans sa globalité, en examinant les interactions et les relations entre les différents éléments qui la composent.

1.4.3 Une approche systémique pour Port-Gentil

Pour évaluer la vulnérabilité de la commune de Port-Gentil en utilisant une approche systémique, il est nécessaire d'adopter une approche multidimensionnelle qui englobe toutes les composantes de la vulnérabilité systémique mentionnées précédemment. Cela implique la caractérisation et la cartographie de l'aléa selon différents scénarios, passés et futurs, ainsi que la cartographie des enjeux et de leurs vulnérabilités structurelles et fonctionnelles. De plus, la cartographie de la vulnérabilité des enjeux doit prendre en compte deux échelles spatiales : celle qui examine les éléments exposés à grande échelle tels que les bâtiments et les réseaux routiers, et celle qui analyse les zones urbaines homogènes en fonction de critères fonctionnels.

Cette approche à double échelle permet de localiser les enjeux, de les quantifier et de déterminer leur niveau de vulnérabilité. Tout d'abord, elle permet d'évaluer la vulnérabilité de chaque élément par rapport aux autres enjeux de la zone exposée. Ensuite, cette approche permet d'évaluer la vulnérabilité d'un élément en tant qu'entité à la fois structurelle et fonctionnelle. Cette méthode permet de comparer les enjeux à l'aléa qui les concerne (Beck et Glatron, 2009).

Afin d'être exhaustif, il est important d'évaluer les représentations des populations et des gestionnaires locaux pour comprendre la vision qu'ils ont du risque d'inondation en mer, leur niveau de connaissance du risque et les stratégies d'adaptation envisagées. En intégrant ces représentations dans l'étude, l'homme est placé au cœur de sa propre vulnérabilité. L'objectif de cette étude, centrée sur la ville, est d'établir la relation entre la structure du territoire et sa vulnérabilité, ainsi que celle entre la vulnérabilité de la population et la configuration de la ville. Cette approche propose de replacer l'évaluation de la vulnérabilité au centre des politiques urbaines et des mesures de gestion des risques dans cette localité. De plus, elle permet, grâce aux systèmes d'information géographique, de disposer d'un outil de cartographie de l'aléa, des enjeux et de leur vulnérabilité, ainsi que des représentations socio-spatiales du risque émanant des populations et des gestionnaires. L'objectif de cette étude n'est pas d'éliminer toute vulnérabilité, mais plutôt de réduire la vulnérabilité de la ville aux inondations marines.

Synthèse du chapitre 1

Dans ce premier chapitre, nous avons posé les bases conceptuelles et théoriques de notre recherche en abordant la question de la vulnérabilité, qui est étroitement liée à celle du risque et de sa réduction. Nous avons souligné que l'analyse du risque, notamment naturel, est un enjeu majeur pour les territoires et les personnes qui y vivent, car nous vivons de plus en plus dans des zones à risque, accentué par les activités humaines.

Afin de clarifier le concept de risque, nous avons présenté dans la première section de ce chapitre différentes approches possibles pour l'appréhender. Ces approches peuvent être regroupées en trois catégories :

- Une approche qui considère le risque comme la confrontation entre **l'aléa et les enjeux**,
- Une approche qui définit le risque comme la confrontation entre **l'aléa et la vulnérabilité**,
- Une approche plus complexe qui considère le risque comme la multiplication de **l'aléa, des enjeux et de l'exposition**.

A travers ces différentes approches, nous avons pu constater que le risque est un concept polysémique, et que la définition et la démarche d'analyse dépendent fortement du domaine d'étude, des objectifs fixés ou encore du type d'aléa traité.

Dans la deuxième section de ce chapitre, nous avons donc défini le type de risque qui fait l'objet de notre recherche, à savoir le risque naturel lié à la submersion marine, qui dépend du mode de submersion (par surverse, par débordement et par rupture) et des forçages. Nous avons souligné que, malgré la polysémie de sa définition, l'évaluation des territoires potentiellement exposés aux risques naturels ne peut se limiter à des approches centrées sur le concept de risque, et que d'autres facteurs, notamment sociaux, doivent également être pris en compte. C'est pourquoi, dans la troisième section de ce chapitre, nous nous sommes intéressés à une composante du risque qui s'en est progressivement détachée au fil du temps pour constituer un concept distinct : la vulnérabilité. Nous avons consacré cette section à l'analyse de ce concept, en nous concentrant sur sa dimension physique et sociale, ce qui nous permet de comprendre les facteurs de vulnérabilité qui peuvent avoir un impact négatif ou positif sur un territoire ou une communauté.

En raison de cette multiplicité de facteurs à considérer dans l'évaluation de la vulnérabilité des villes potentiellement exposées aux inondations par la mer, il est important de noter que plusieurs méthodes peuvent également être utilisées, ce qui peut sembler problématique. Cependant, **cette**

multiplicité d'approches est justifiée par la diversité des territoires, d'aléas, d'échelles d'analyse, des objectifs des auteurs et de la disponibilité et de la précision des données.

Enfin, dans le cadre de cette thèse, bien que chaque risque ne soit pas strictement cantonné à une catégorie, l'essentiel de notre manuscrit portera sur les risques naturels, en particulier les risques naturels côtiers, avec un focus sur le risque d'inondation marine par débordement. Par ailleurs, étant donné la dimension transdisciplinaire de l'évaluation de la vulnérabilité des territoires soumis à cet aléa, **nous avons opté pour une approche systémique de la vulnérabilité**. L'objectif est d'identifier les facteurs influençant la vulnérabilité d'une ville, notamment à travers la compréhension de la spatialisation de l'aléa et l'impact potentiel de l'aléa sur les enjeux, ainsi que les représentations et les politiques de gestion en place pour réduire cette vulnérabilité. Dans cette approche, chaque composante de la vulnérabilité sera évaluée indépendamment des autres et sera ensuite utilisée **pour comprendre le processus général de production de la vulnérabilité dans notre zone d'étude**. Cette zone sera décrite en détail du point de vue social et environnemental dans le chapitre suivant.

Chapitre 2 : Contexte socio- environnemental du site d'étude : Une île prédisposée aux inondations par la mer

Introduction du chapitre 2

L'évaluation de la vulnérabilité urbaine aux inondations par la mer nécessite de faire un choix sur une zone d'étude fortement exposée et vulnérable. En géographie, la caractérisation et la description du site d'étude est une étape importante qui permet d'acquérir les premiers éléments de connaissance qui conduisent à la compréhension du phénomène étudié, mais aussi de justifier le choix de la zone d'étude. Ainsi, après avoir défini dans le premier chapitre le concept de vulnérabilité, les notions associées et présenté dans quelle démarche méthodologique nous nous inscrivons, ce deuxième chapitre présente le territoire d'étude qui sert d'expérimentation dans cette recherche.

Toujours dans le premier chapitre, nous avons vu que la vulnérabilité, et en particulier la vulnérabilité systémique d'un point de vue territorial, s'analyse à la fois sur le plan physique et sur le plan social. Ainsi, l'évaluation de la vulnérabilité nécessite une bonne connaissance des facteurs physiques déterminant l'occurrence de l'aléa et des facteurs anthropiques déterminant l'aggravation ou l'atténuation de la vulnérabilité des territoires. **Ce chapitre vise principalement à présenter les spécificités socio-environnementales du contexte de la zone d'étude à l'échelle régionale et locale, notamment l'île Mandji sur laquelle se trouve la ville de Port-Gentil, notre site pilote.** Elle constitue une synthèse des connaissances actuelles sur le littoral gabonais en général. Elle établit certains éléments problématiques de cette localité en matière d'inondation par la mer et soulève ainsi deux questions :

- **Quelles sont les caractéristiques environnementales de la zone d'étude qui la rendent particulièrement vulnérable aux inondations par la mer ?**
- **Comment le processus d'urbanisation a-t-il positionné Port-Gentil comme la première ville la plus vulnérable aux inondations par la mer ?**

Le chapitre est divisé en quatre sections, présentant deux niveaux d'information sur la zone d'étude. Il s'agit d'abord de présenter le cadre physique, puis le cadre sociétal. Dans l'ordre chronologique, la **première section 2.1** présente le contexte géographique et morphologique de la région de l'île Mandji, notamment sa localisation, la nature des sols sablonneux et vaseux qui sont issus du bassin sédimentaire côtier, et la topographie locale, qui est très importante dans cette étude. **La deuxième section 2.2** présente le contexte climatique dominant avec un changement d'échelle du régional au local. **La troisième section 2.3** présente le contexte marin et en particulier l'ensemble des facteurs hydrodynamiques marins qui sont des éléments essentiels pour comprendre la dynamique du forçage des aléas en jeu aujourd'hui et dans le futur. Quant au contexte sociétal, il s'agit de définir et de mettre en évidence les éléments socio-économiques qui caractérisent Port-Gentil. Dans ce

sens, la quatrième section 2.4 présente les trajectoires de développement à travers l'histoire du développement de la ville de Port-Gentil et de l'extension spatiale de la ville, de la période coloniale à nos jours. L'objectif est d'identifier les points faibles de la gestion des risques et de présenter certaines interventions mises en place sur le littoral pour lutter contre les risques côtiers. Il s'agit d'apporter des éléments de connaissance du cadre d'étude qui doivent permettre d'identifier les enjeux et les problématiques d'urbanisation de la ville.

2.1 Contexte géographique et morphologique

Cette section, intitulée « Contexte géographique et morphologique », offre une présentation détaillée du cadre géographique du site sélectionné pour répondre à l'objectif de recherche spécifique, en mettant en lumière également la morphologie et la structure du bassin sédimentaire côtier gabonais dans son ensemble, avec un accent particulier sur l'île de Mandji.

2.1.1 Le cadre géographique et administratif

Niché au cœur de la vaste forêt équatoriale, le Gabon s'étend le long de la côte atlantique du continent africain, bordant le golfe de Guinée entre 2°N et 4°S de latitude. Malgré sa taille relativement modeste, avec une superficie de 268 000 km², il compte parmi les pays les moins vastes du continent. Ses frontières sont délimitées au nord par la Guinée-Équatoriale et le Cameroun, à l'est et au sud par la République du Congo, et à l'ouest par l'océan Atlantique.

Port-Gentil, à la fois capitale économique du Gabon et chef-lieu de la province de l'Ogooué-Maritime, occupe une position stratégique en tant que port maritime essentiel pour le pays. Située à 0°43'00" de latitude Sud et le 8° 46'30" de longitude est, elle constitue l'extrémité occidentale de la province de l'Ogooué-Maritime, établie sur une étroite flèche littorale de 30 km de long et de 4 à 6,5 km de large, connue sous le nom d'*Île Mandji*. (Menie Ovono, 2010 ; Ondo Assoumou, 2006). Cette configuration confère à Port-Gentil un caractère presque insulaire, en faisant la localité la plus maritime et occidentale par rapport aux autres villes du bassin sédimentaire côtier (Djeki, 1985).

Les limites administratives de Port-Gentil sont définies par la loi N°43/93/PR du 15 février 1994, établissant le périmètre urbain ainsi que les quatre arrondissements de la ville. Couvrant une superficie de 54 km², la commune de Port-Gentil est encadrée au nord et au sud par le département de Bédjé, à l'est par la baie du Cap Lopez, et à l'ouest par l'océan Atlantique. Toutefois, en raison de son expansion territoriale, la ville a dépassé ses limites administratives, s'étendant au-delà dans les parties nord et sud du département de Bédjé, avec une expansion plus significative vers le sud de l'île Mandji (Figure 2-1).

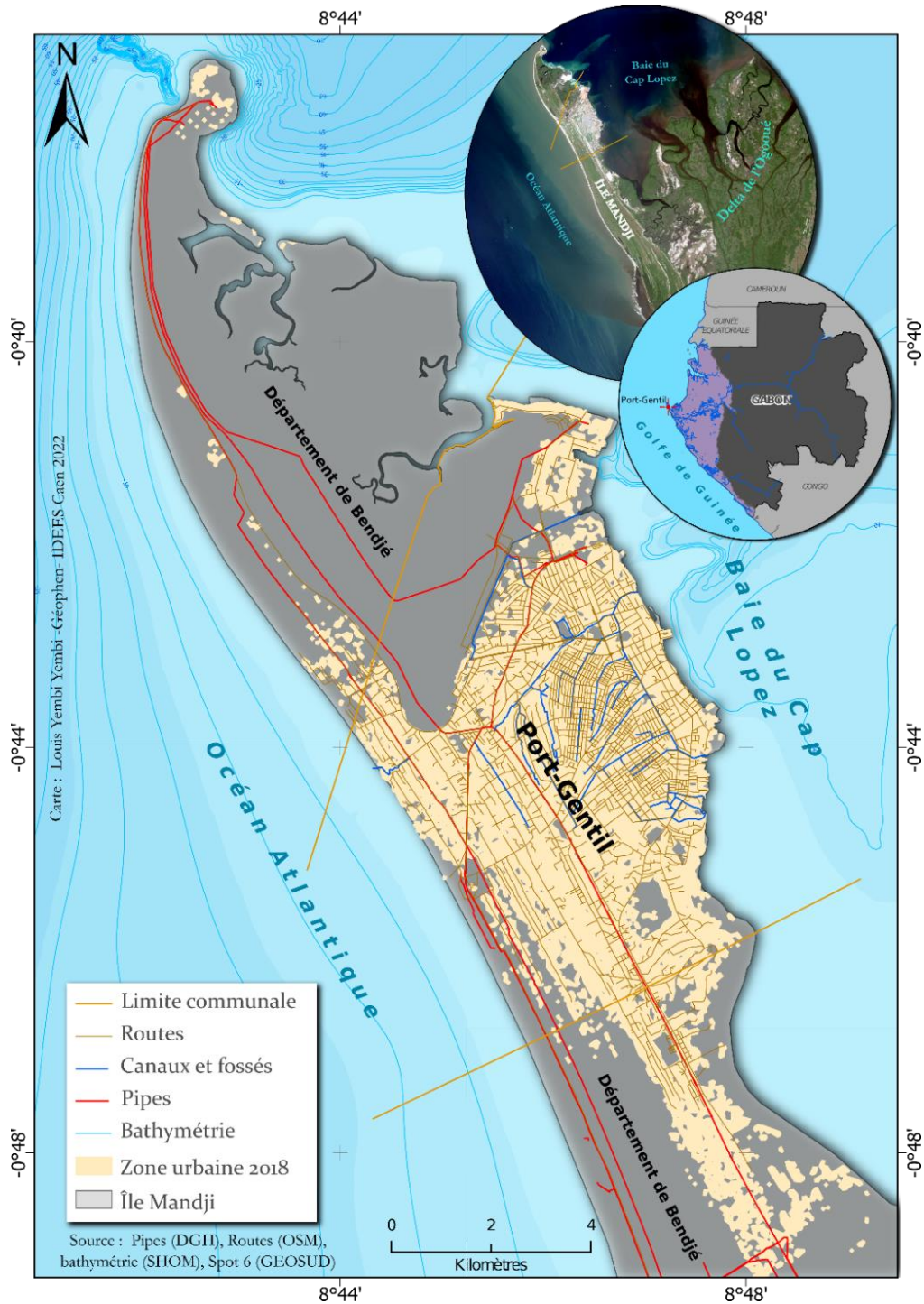


Figure 2-1 : Localisation de la commune de Port-Gentil (Réalisation : L. YEMBI, 2022)

2.1.2 Le contexte morphologique : du bassin sédimentaire à l'île Mandji

Le littoral gabonais, s'étirant sur une distance de 955 km le long du golfe de Guinée, présente une variété de caractéristiques morphologiques qui témoignent de sa diversité géographique (Pottier *et al.*, 2016). Selon Mombo (2016), il se divise principalement en trois unités morphologiques distinctes. En parcourant le littoral du nord au sud, ces unités sont identifiées comme suit : le

Chapitre 2 : Contexte socio-environnemental du site d'étude : Une île prédisposée aux inondations par la mer

littoral estuarien dans la partie nord, le littoral **deltaïque** au centre, et le littoral **lagunaire** au sud, s'étendant de Port-Gentil jusqu'à la frontière entre le Gabon/Congo.

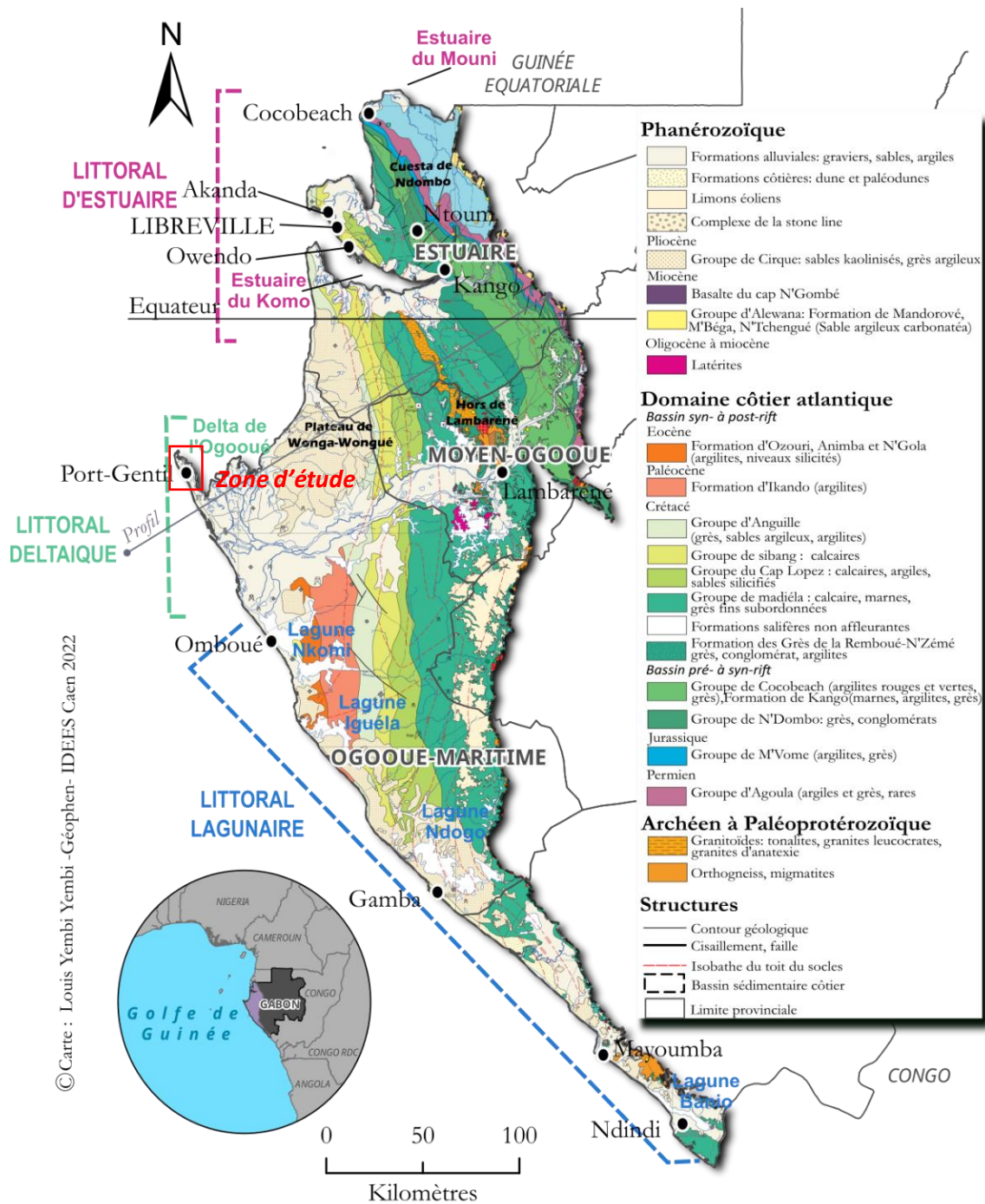


Figure 2-2 : Géologie du bassin sédimentaire côtier gabonais (modifiée de carte géologie du Gabon 2011) (Réalisation : L. YEMBI, 2022)

Comme précisé précédemment, la zone d'étude se trouve sur une flèche littorale appartenant à l'extrémité occidentale du bassin sédimentaire côtier gabonais (Figure 2-2). Cette région fait partie de la marge passive située en position extracontinentale. Actuellement, la structure du bassin

Chapitre 2 : Contexte socio-environnemental du site d'étude : Une île prédisposée aux inondations par la mer

sédimentaire côtier gabonais, telle qu'illustrée dans la coupe géologique (Figure 2-3), se présente comme une structure monoclinale dissymétrique, inclinée dans une direction est-ouest (Mbina MOUNGUENGUI *et al.*, 2003). Avec une largeur de plus de 250 km et une longueur de 770 km, cette structure repose sur un socle cristallin et a accumulé jusqu'à 6 km de sédiments dans un environnement essentiellement continental, caractérisé par des conditions fluvio-deltaïques à fluvio-lacustres et lacustres (Mbina MOUNGUENGUI et GUIRAUD, 2009). Cette stratigraphie est perceptible dans la coupe transversale du bassin, qui révèle une succession de dépôts sédimentaires allant des séries anté-salifères aux séries post-salifères (Figure 2-3).

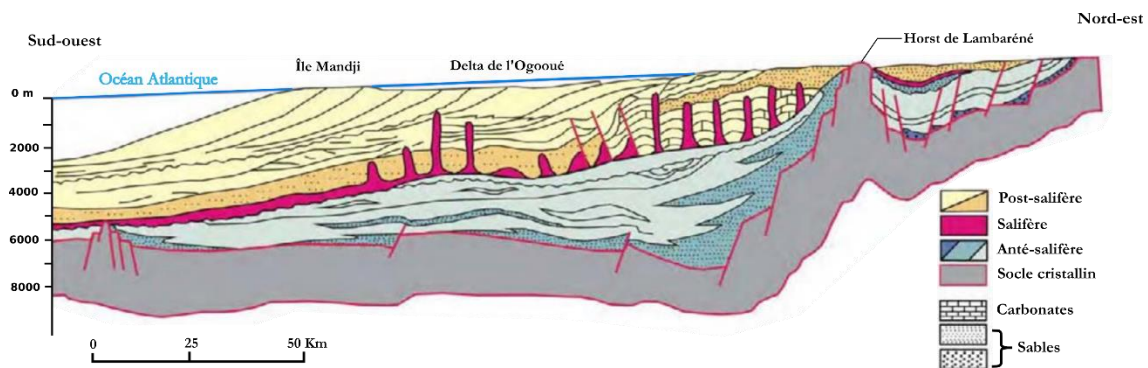


Figure 2-3 : Coupe synthétique de la marge (modifiée d'après Jocktane, (1992) cité dans Biscara, (2011)).
Le tracé de la coupe se trouve dans la Figure 2-2

Dans cet ensemble géologique, Port-Gentil se trouve au cœur du bassin sédimentaire côtier gabonais, à l'embouchure du delta de l'Ogooué, où les dépôts alluviaux du phanérozoïque sont prédominants et où les affleurements rocheux sont rares. Les dépôts alluviaux se composent principalement de sables, d'argiles et de vases, représentant les sédiments les plus récents le long de la bordure ouest du bassin sédimentaire (Figure 2-3).

Cette position correspond à la partie terminale nord du bassin de la marge passive, un type de structure géologique typique des **deltas à fort potentiel de subsidence** (Thiéblemont *et al.*, 2009). Cependant, les connaissances actuelles sur la région se limitent à des scénarios schématiques, prenant en compte différents épisodes d'apports sédimentaires, de processus d'érosion et d'épaisseurs de couches sédimentaires (Mbina MOUNGUENGUI et GUIRAUD, 2009 ; Thiéblemont *et al.*, 2009). **Dans cette étude, le phénomène de subsidence, qui pourrait aggraver les inondations marines sur les côtes basses telles que les deltas, n'est pas considéré en raison du manque de recherches dans la région sur cette question. Les activités actuelles de pompage des réservoirs pétroliers, notamment autour de la flèche littorale et du « gisement de Clairette » au cœur de la ville, sont des facteurs possibles contribuant à cette subsidence** (Daverat, 1977). La plupart des travaux dans cette localité sont axés sur la sédimentologie marine (Biscara, 2011 ; Giresse et Barusseau, 1989), ou sur les processus évolutifs du milieu (Menie Ovono, 2010 ; Rabenkogo, 2007).

2.1.2.1 Contexte topo-bathymétrique de l'île Mandji

Pour décrire la topographie générale de l'île Mandji, nous utiliserons un jeu de données issu de la carte topographique de 1974 de l'Institut Géographique National (IGN), dont le traitement sera expliqué en détail dans le chapitre 3. Du point de vue de la morphologie, le littoral se présente sous la forme d'une plaine littorale très basse, avec une altitude moyenne de 3 m (NGPOG). Cette zone est marécageuse et est composée de rides rectilignes et parallèles à l'orientation générale de la flèche, qui va du nord-nord-ouest au sud-sud-est (Biscara, 2011 ; Ondo Assoumou, 2006) (Figure 2-4 B).

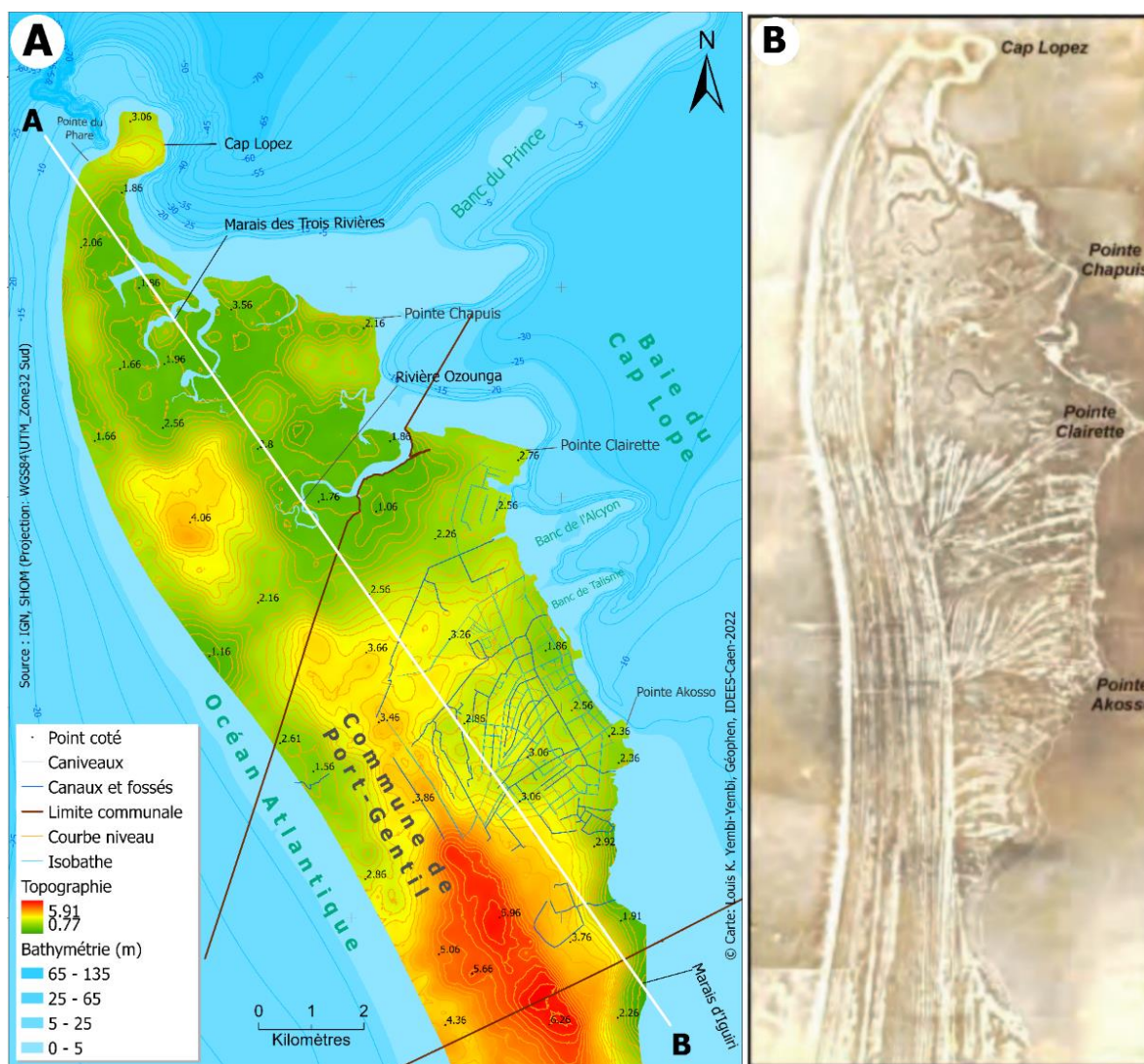


Figure 2-4 : Carte topo-bathymétrique de la partie nord de l'île Mandji réalisé par traitement SIG (A) et la photo aérienne de l'île Mandji (1956) présentant les cordons littoraux correspondant aux traits de côte successifs ainsi que le raccordement des bancs perpendiculaire en forme d'éventail nettement visible (B) (tirée de Biscara, 2011)

De cette structure topographique, la flèche présente deux façades différentes en termes de morphologie :

- La côte ouest de l'île Mandji se caractérise par la présence de vastes plages, d'une largeur moyenne d'environ 45 m, et des altitudes moyennes allant de 1 m à 2,5 m par rapport au NGPOG, s'étendant de manière continue d'Ozouri au Cap Lopez. Selon les observations de Menie Ovono (2010), la dynamique de cette partie de la côte est double : elle est soumise à l'érosion au sud et au nord vers le Cap Lopez, avec un recul moyen de 1 m/an entre 1971 et 2007, tandis qu'une accrétion est observée dans la partie centrale, enregistrant une avancée moyenne de 2,5 m/ans notamment le long du domaine communal, toujours dans cette même période.
- La côte est, elle est caractérisée par une alternance de plages, de vasières, de secteurs artificialisés et de plusieurs pointes (Akosso, Clairette, Chapuis, etc.). Elle est festonnée et présente plusieurs bancs de sable à l'avant. L'altitude dans cette zone varie en fonction des caractéristiques morphologiques de la côte, avec une moyenne comprise entre 0,5 m à 1,75 m NGPOG. Les plages sont généralement plus étroites dans la partie sud et au centre, mesurant moins de 5 m de, tandis qu'elles atteignent jusqu'à 10 m de large dans la zone nord, notamment près de la SOGARA.

La topographie de la partie nord de l'île Mandji, où se situe l'ensemble de la commune, apparaît relativement plate sur la carte topographique. Bien que peu évidente sur la Figure 2-4, l'île Mandji n'est pas totalement plate. Des irrégularités et des dépressions sont perceptibles sur ce site, surtout à l'ouest, avec une orientation sud-est à nord-ouest similaire à celle de la flèche (Figure 2-4 B). Certaines de ces dépressions ont été remblayées par la population pour permettre la construction de maisons.

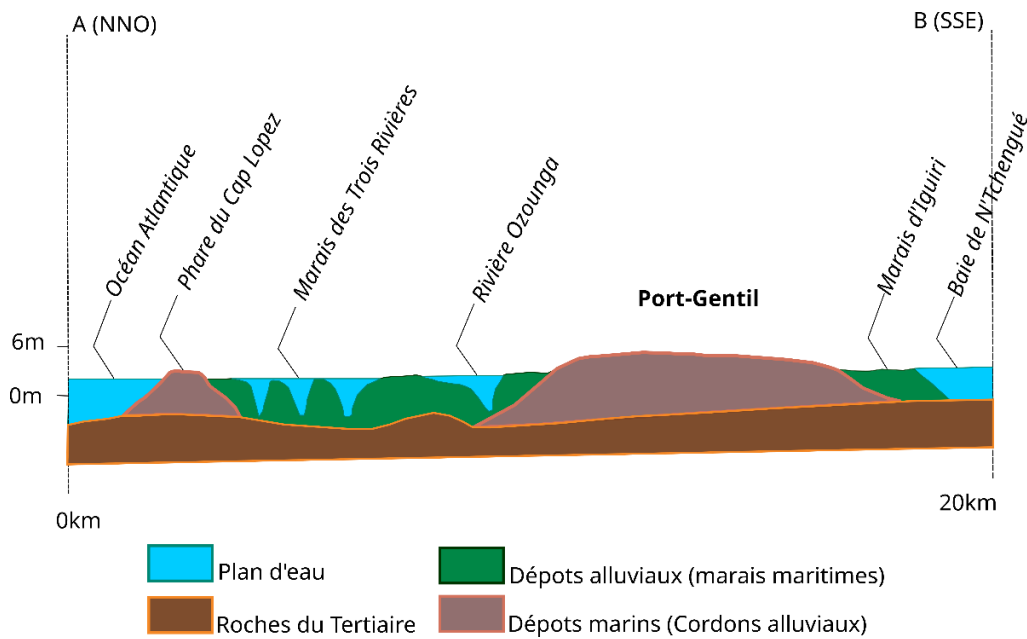


Figure 2-5 : Profil topographique schématique de l'île Mandji (0 : NGCLZ)

Comme la plupart des côtes deltaïques, le substrat de l'île Mandji se compose principalement de sable et de vase, en particulier dans les zones de marais côtiers. La nappe phréatique se trouve à environ 1 m sous de la surface du sol, ce qui entraîne une saturation du sol à la moindre pluie, empêchant une infiltration rapide des eaux de surface pendant la saison des pluies. Dans sa dynamique de construction, l'île Mandji progresse vers le nord-ouest (Djeki, 1985 ; Menie Ovono, 2010).

En termes de bathymétrie, nous avons interpolé les isobathes de la carte marine du SHOM 2007, ce qui nous a permis d'observer les variations du plateau continental sur les façades ouest et est de l'île Mandji. Sur la façade est, connue sous le nom de baie du Cap Lopez, un plateau peu profond de 1 à 5 m, s'étend sur une large surface. Selon les recherches Ondo Assoumou (2006), ces profondeurs de 1 à 5 m sont atteintes respectivement à 5 m et à 35 km de la côte, dans la partie orientale du delta. En revanche, le littoral atlantique à l'ouest de l'île est caractérisé par un plateau continental plus étroit (moins de 1 km) et très vite, les hauts-fonds sont atteints.

2.2 Le contexte climatique

La compréhension des mécanismes climatiques à l'échelle régionale et locale permet de mettre en évidence les forçages climatiques qui peuvent amplifier le phénomène d'inondation marine. Certains de ces éléments, conjugués à un niveau élevé de la mer lors des marées de vive-eau, peuvent entraîner des élévations significatives du niveau de l'eau le long de la côte. Les surcotes barométriques et anémométriques en sont des exemples, survenant respectivement lors de basses pressions atmosphériques et du renforcement des vents d'afflux (Cariolet, 2011a ; Caspar *et al.*,

2010 ; Costa, 1995). Dans des conditions de fortes précipitations, les conjonctions entre les épisodes pluvieux et les surcotes peuvent engendrer des effets cumulatifs, accentuant notamment les inondations terrestres et marines. Ainsi, cette section se concentre uniquement sur les éléments climatologiques atmosphériques susceptibles d'influencer le risque d'inondation marine et son évolution, en les présentant de manière détaillée dans leur contexte spécifique.

2.2.1 Mécanismes climatiques

Le climat caractéristique du bassin du Congo est catégorisé comme un climat équatorial de transition du sud-ouest. Il se caractérise par des conditions chaudes et humides, créant ainsi un environnement propice à des précipitations abondantes et presque permanentes. Ces conditions climatiques jouent un rôle majeur dans l'occurrence des inondations pluviales et pourraient également contribuer à l'aggravation de la vulnérabilité de la ville aux inondations marines. Dans cette sous-section, nous abordons trois aspects climatiques essentiels : **les précipitations, la température et le régime des vents**. Cela se fait après une analyse des mécanismes climatiques régionaux afin de mieux comprendre l'impact potentiel de ces variables sur le risque d'inondation dans la région.

2.2.1.1 Mécanisme climatique régional

Dans son ensemble, le climat du Gabon illustre parfaitement les caractéristiques d'un **climat équatorial chaud et humide avec peu de variations thermiques**. Cette position privilégiée à cheval sur l'équateur avec sa large façade océanique lui confère une stabilité climatique. Les températures et le régime des vents sont assez réguliers et varient très peu au cours de l'année. En revanche, les précipitations sont soumises à d'importantes variations annuelles, qui influencent fortement le régime saisonnier. Situé légèrement en dessous de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) (Figure 2-6 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), qui est de manière simplifiée **l'équateur météorologique**, le Gabon bénéficie d'un régime pluviométrique d'Afrique centrale occidentale qui est intimement influencé par la variation de ce phénomène au cours de l'année (Maloba Makanga, 2011 ; Mpounza et Samba-Kimbata, 1990).

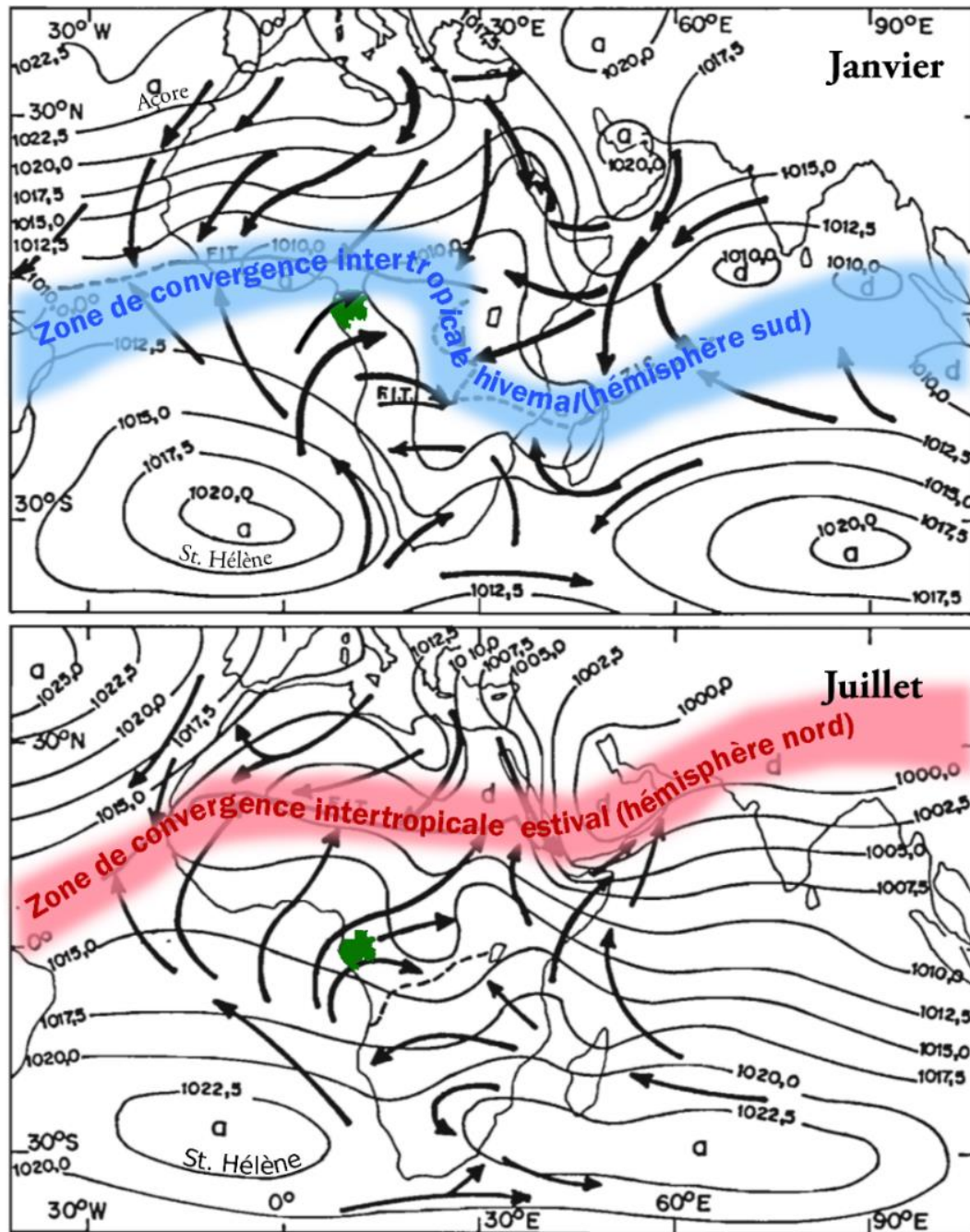


Figure 2-6 : Dynamique climatique : circulation générale des basses couches à l'origine des variations saisonnières (modifiée de Mpounza et Samba-Kimbata, 1990, (Réalisation L. YEMBI, 2022))

La ZCIT est influencée par divers facteurs atmosphériques, notamment **des basses pressions intertropicales, des dépressions thermiques continentales du Sahara, de l'Angola et des hautes pressions subtropicales des Açores, Égypto-Libyen, de Sainte-Hélène, Sud-Africain et des anticyclones indiens**, dont les influences varient selon les saisons. Elle se trouve au carrefour de deux grandes masses d'air : l'air chaud du nord-est de l'hémisphère nord et l'air froid et humide du sud-est de l'hémisphère sud. La convergence de ces masses d'air au sein de la ZCIT, particulièrement lorsque celle-ci s'oriente vers le sud **entre le 15 janvier et le 15 février**, engendre une instabilité atmosphérique propice à la formation fréquente de cumulonimbus. Ces nuages

conduisent à des précipitations abondantes et à des orages violents, généralement observés entre **fin février et début mai**, correspondant à la période hivernale boréale (Mpounza et Samba-Kimbata, 1990).

Le mécanisme inverse se produit lorsque la ZCIT se déplace vers le nord, atteignant environ 18° de latitude nord vers le mois de juin. Cela marque le début de la saison des pluies dans la région du Sahara et la transition vers une saison sèche relative dans les zones côtières proches de l'équateur (Figure 2-6 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Bien que le cycle des saisons soit régulé par le balancement de la ZCIT, il n'en demeure pas moins que la régularité du régime des saisons peut être perturbée d'une année sur l'autre. Par exemple, le début de la saison des pluies ou de la saison sèche peut différer de plusieurs semaines.

2.2.1.2 Mécanisme climatique du bassin sédimentaire côtier gabonais

Au Gabon, le climat se distingue généralement par quatre saisons relativement bien définies : **la grande saison des pluies, la petite saison des pluies, la grande saison sèche et la petite saison sèche**. Il existe de fortes disparités entre la zone côtière, exposée aux afflux maritimes, et l'intérieur des terres. Les températures moyennes au Gabon sont comprises **entre 23° et 25°C en saison sèche et 28 et 30°C en saison des pluies** (Maloba Makanga, 2011). La répartition annuelle des précipitations montre une augmentation progressive des précipitations de la côte vers l'intérieur. Par exemple, plus de 2 800 mm sont enregistrés dans la région de Libreville, tandis que seulement 1 600 mm sont enregistrés à Mekambo, dans le nord-est du Gabon. Cependant, cette tendance à la baisse des précipitations d'ouest en est est perturbée par des obstacles physiques tels que le relief (Massif du Chaillu, Mont de Cristal). Ainsi, certaines régions du centre du Gabon, comme le Massif du Chaillu au sud, reçoivent des précipitations plus importantes.

Dans le bassin sédimentaire côtier gabonais, outre l'anticyclone de Sainte-Hélène, le front intertropical (FIT) et la proximité de l'océan Atlantique, la température de surface de la mer contrôle en partie les conditions climatiques (Pottier *et al.*, 2016). Comme indiqué précédemment, la proximité de la ZCIT en hiver austral explique un régime pluviométrique abondant tout au long de l'année. Néanmoins une tendance à la baisse des précipitations du nord au sud est également observée. Par exemple, la région nord enregistre environ 3 000 mm de précipitations annuelles. C'est le cas de la station de Cocobeach au nord de Libreville. Au centre, notamment dans la grande partie du delta de l'Ogooué, on observe entre 2 200 et 2 000 mm de précipitations par an. Enfin, le sud est la zone la moins arrosée du Gabon. Elle reçoit entre 1 800 et 1 600 mm par an. Cette diminution du cumul des précipitations converge avec une diminution de la durée de la saison sèche du nord du bassin sédimentaire vers le sud. Dans la partie nord, la saison sèche dure deux mois,

Chapitre 2 : Contexte socio-environnemental du site d'étude : Une île prédisposée aux inondations par la mer

contre quatre mois dans le sud (Figure 2-7). Globalement, le Gabon bénéficie de précipitations abondantes et quasi permanentes tout au long de l'année.

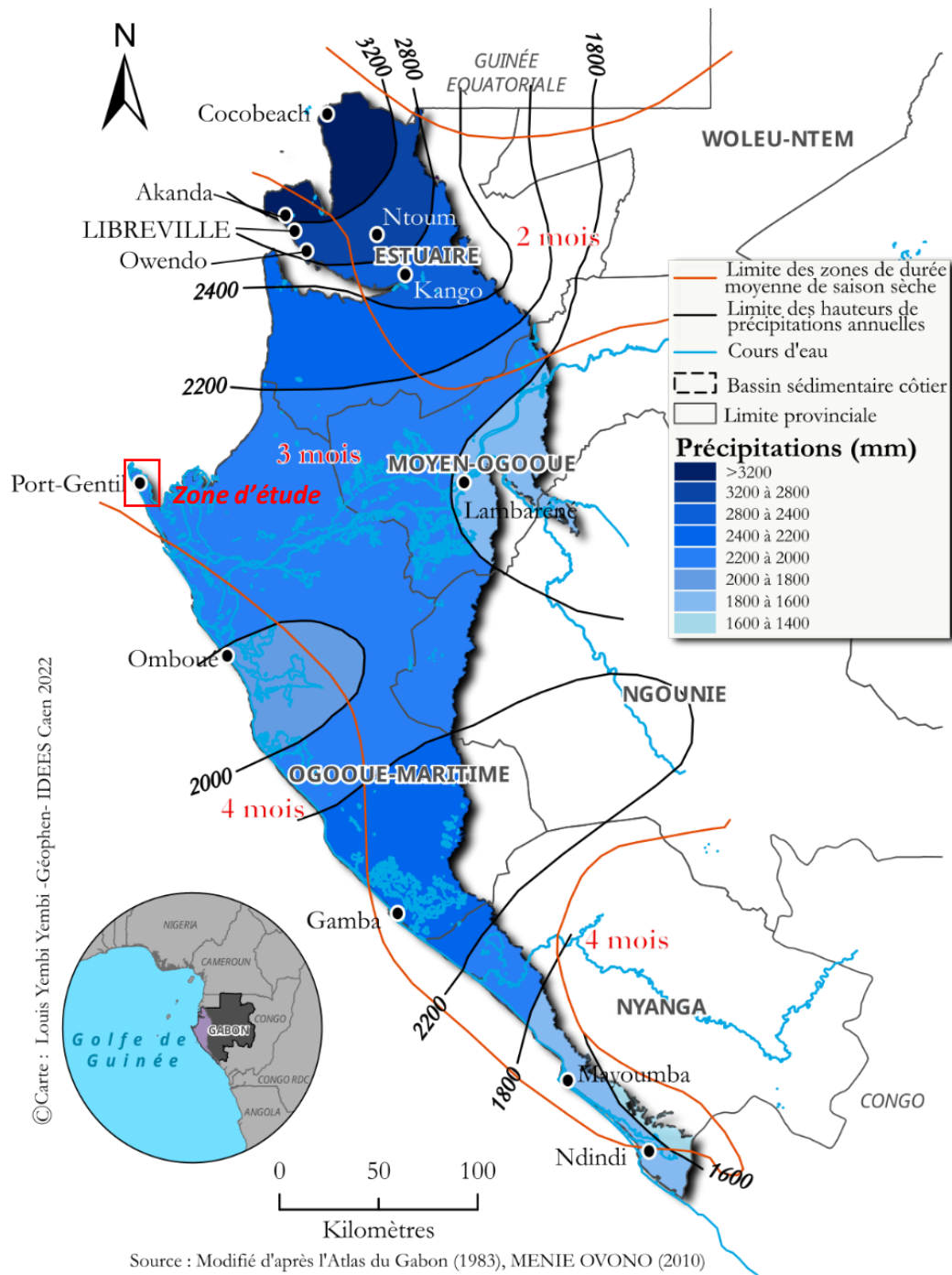


Figure 2-7 : Répartition spatiale des précipitations annuelles sur le bassin sédimentaire côtier gabonais, modifiée de Menie Ovono, 2010, (Réalisation L. YEMBI, 2022)

2.2.2 Climat sur l'île Mandji

Les conditions de pluie, de température et de pression atmosphérique affectant le littoral de l'île Mandji ont été déterminées à partir des données tri-horaires de la station de l'ASECNA située à

l'aéroport de Port-Gentil à 00°42' de latitude sud et 08°45' de longitude, à une altitude de 4 m. Ces données ont permis d'analyser les variations de précipitations, de température et de pression atmosphérique sur cette zone côtière. Quant aux informations sur les conditions de vent, elles ont été extraites d'un rapport d'étude portant sur l'observation des conditions maritimes au Cap Lopez, réalisé en 2011 et commandité par Total Gabon, désormais Total Energies.

2.2.2.1 La pluviométrie locale

Le contexte climatique de Port-Gentil s'inscrit dans le cadre du climat régional chaud et humide tel que présenté dans la section 2.2.1. Étant donné qu'il n'existe qu'une seule station météorologique couvrant l'ensemble de l'île Mandji, il est difficile de discerner avec précision les variations climatiques entre le nord et le sud de l'île, ainsi qu'entre la côte atlantique à l'ouest et la baie du Cap Lopez à l'est. Malgré leur fiabilité limitée, les données recueillies par cette station révèlent deux périodes de précipitations marquées au cours de l'année. De janvier à mars, les précipitations mensuelles moyennes atteignent 150 mm, puis augmentent significativement pour approcher les 300 mm en avril. La saison sèche, caractérisée par un déficit hydrique, s'étend sur environ quatre mois, de juin à septembre. Les précipitations reprennent de manière notable de septembre à décembre, avec un pic en novembre où le cumul mensuel maximal dépasse les 300 mm. Ainsi, d'octobre à mai de l'année suivante, le cumul moyen mensuel des précipitations dépasse les 100 mm sur cette station météorologique (Figure 2-8 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

2.2.2.2 Les températures locales

En termes de température, les observations durant la période 2004-2015 (Figure 2-8 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), montrent que Port-Gentil est en permanence dans la masse d'air chaude. Les moyennes cumulées mensuelles sont hautes toute l'année, oscillant entre 28°C et 22°C. Les deux périodes de fortes précipitations sont caractérisées par des températures élevées, mais les plus fortes températures sont observées dans la première période de janvier à mars. Les températures les plus élevées sont observées en février au cours de cette période, ne correspondant pas au mois de novembre le plus pluvieux de l'année. La saison sèche est caractérisée par un léger fléchissement des températures, qui peuvent approcher les 20°C en juillet (Figure 2-8 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). En raison de cette forte pluviométrie, près de 9 mois sur 12, la ville de Port-Gentil est particulièrement vulnérable aux inondations pluviales et conformément à son substrat à des phénomènes de remontée de nappe due à la proximité du niveau de la nappe toute l'année.

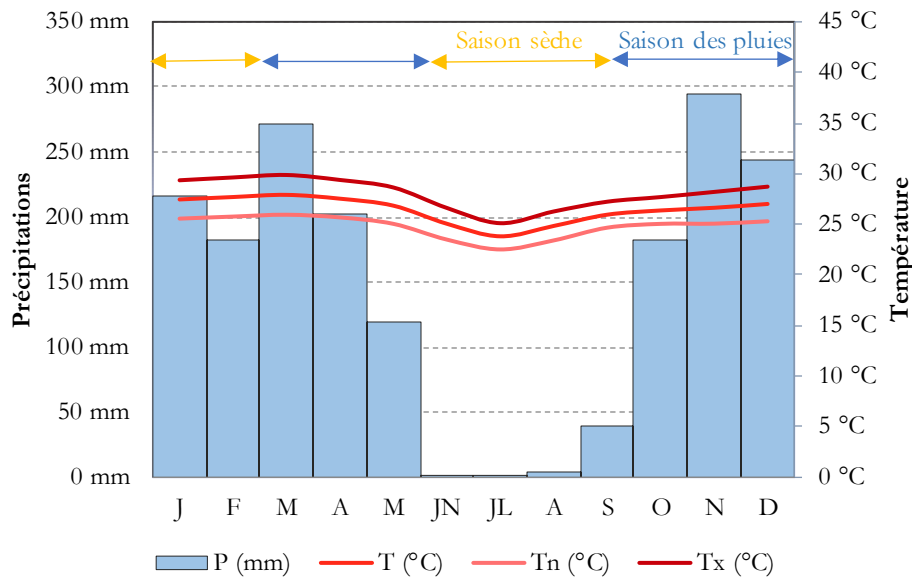


Figure 2-8 : Diagramme ombrothermique de la commune de Port-Gentil et le régime des saisons : les normales climatiques sont calculées sur la période 2004 - 2015 (Données : ASECNA, (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Malgré une corrélation apparente entre le nombre de jours de pluie et le cumul mensuel des précipitations, des disparités sont observées lors de la comparaison entre les hauteurs cumulées de pluie et le nombre de jours de pluie. Par exemple, le mois de mars, bien qu'affichant des cumuls de précipitations mensuels plus élevés que ceux de janvier, présente en moyenne un nombre de jours de pluie cumulés moins élevé, soit environ 10 jours, tandis que janvier en compte en moyenne 13. Notamment, le mois de mars se distingue par des précipitations qui semblent être plus intenses (Figure 2-9 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). En ce qui concerne les événements météorologiques récents à Port-Gentil, les mois de février et mars sont marqués par des inondations importantes, notamment dans le centre-ville, où des systèmes de drainage des eaux pluviales semblent être présents (Figure 2-31).

On constate également une variation de la pression atmosphérique moyenne mensuelle entre les deux périodes de la saison des pluies et de la saison sèche (Figure 2 9). Cette variation de la pression atmosphérique joue un rôle crucial dans la fluctuation du niveau de la mer. Par le biais de l'effet barométrique inverse, une baisse de 1 hPa de la pression atmosphérique entraîne une élévation de 1 cm du niveau de la mer. La pression atmosphérique à Port-Gentil est influencée par la dépression congolaise, qui se trouve à proximité du Gabon pendant l'hiver austral et migre vers l'hémisphère nord, dans la zone du Sahara, pendant l'été septentrional. La conjonction d'une baisse de pression atmosphérique et d'une forte pluviométrie, accompagnée de vents d'afflux, pourrait amplifier le phénomène de blocage de l'écoulement des eaux pluviales lors des fortes marées astronomiques (concomitance d'événements).

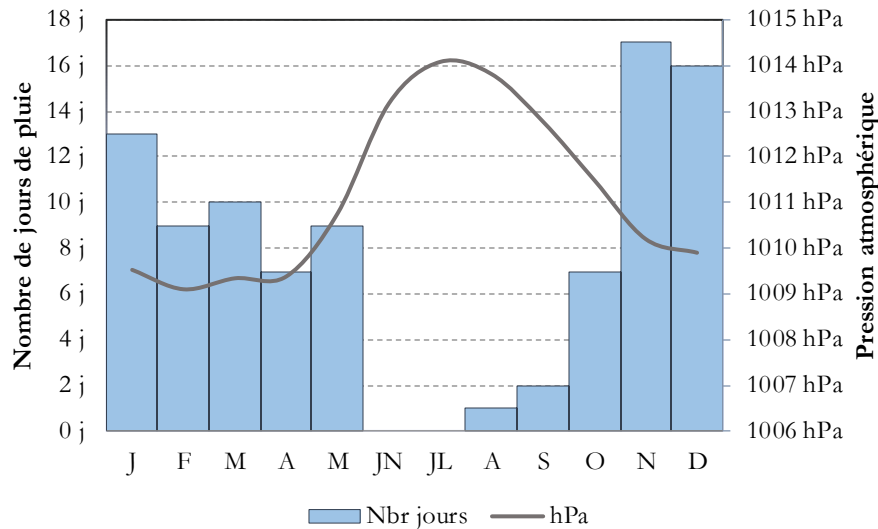


Figure 2-9 : Nombre de jours de pluie mensuels et variation de la pression atmosphérique mensuelle calculés sur la période 2004 - 2015 (données ASECNA, (Réalisation L. YEMBI, 2022)

2.2.2.3 Vents dominants

Dans le contexte des inondations par la mer, le vent, notamment le vent d'afflux, joue un rôle crucial en agitant les eaux et en entraînant une élévation temporaire du niveau de la mer. Sur la période allant de 2008 à 2010, à proximité de l'île Mandji, les vents qui influent sur ce littoral sont généralement de faible intensité. Les vents dominants proviennent principalement du quadrant sud-ouest pendant la saison des pluies et du sud-sud-ouest pendant la saison sèche, et sont associés aux basses pressions intertropicales et aux hautes pressions subtropicales (Figure 2-10). Pendant la saison des pluies, les vents faibles, soufflant entre 1 et 5 m/s, représentent environ 87% de toutes les directions. Les vents modérés, entre 6 et 8 m/s, ne constituent que 1,7% des vents observés. En saison sèche, ces mêmes intensités représentent respectivement environ 76% pour les vents faibles et 22% pour les vents modérés, sur l'ensemble des vents enregistrés entre 2008 et 2010 au Cap Lopez. Il est important de souligner que les vents d'afflux sont plus fréquents sur la façade atlantique que dans la baie du Cap Lopez. Durant la saison des pluies, les vents sont pratiquement perpendiculaires à l'orientation générale de l'île Mandji, ce qui signifie qu'ils sont perpendiculaires au trait de côte du littoral atlantique.

Chapitre 2 : Contexte socio-environnemental du site d'étude : Une île prédisposée aux inondations par la mer

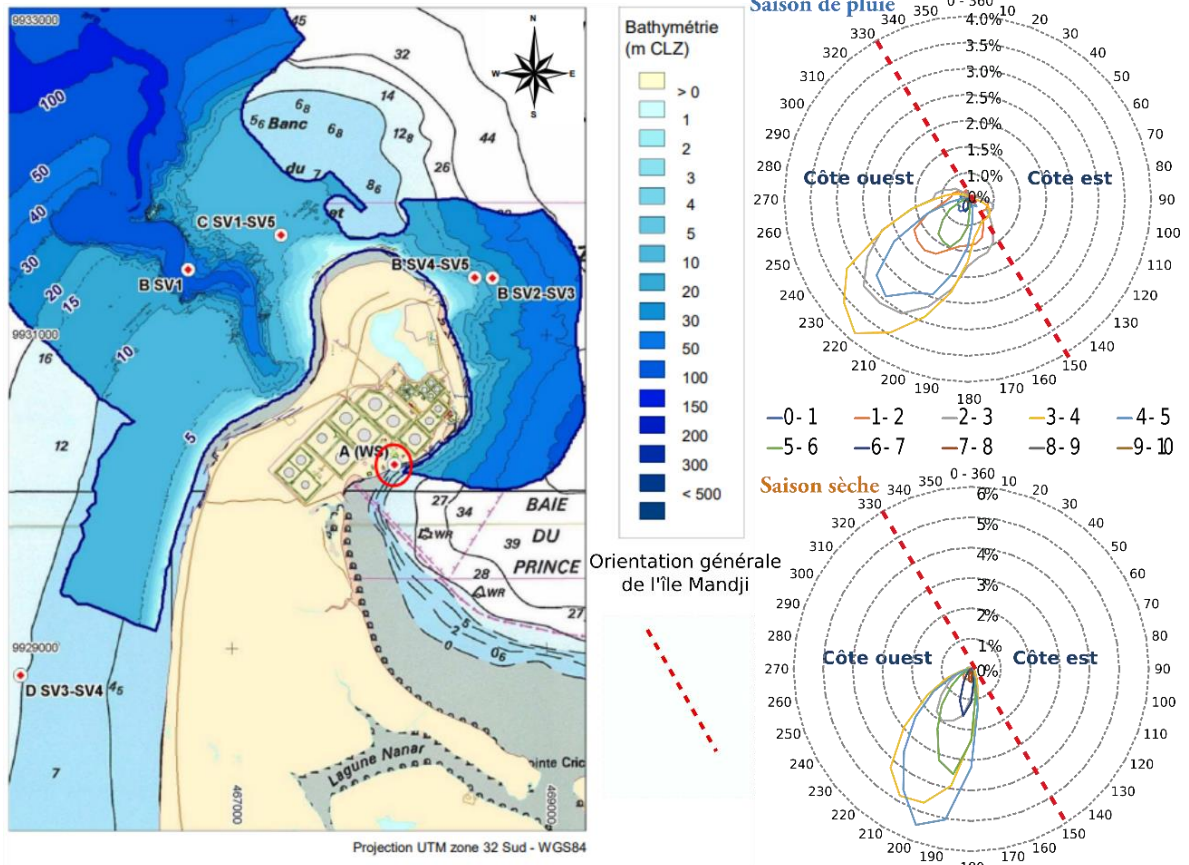


Figure 2-10 : Direction et intensité moyenne des vents au niveau du Cap Lopez du 19/09/2008 au 09/10/2010 (Donnée : Total Gabon, 2011 (Réalisation L. YEMBI, 2022))

Comme illustré dans la Figure 2-11 les périodes de vents forts se produisent principalement pendant la grande saison sèche, de juin à août, avec des vitesses moyennes dépassant généralement les 4 m/s et des pointes de vitesse atteignant près de 11 m/s, principalement d'origine sud-ouest. Ces vents forts sont également observés en janvier et février, correspondant aux mois de la petite saison sèche. En revanche, la grande saison des pluies est caractérisée par des vents moins intenses, avec une moyenne inférieure à 4 m/s et des directions de vent très variables, bien que prédominantes du sud-ouest. Ce qui est intéressant, c'est de constater l'apparition de vents d'origine nord-est ou sud-est pendant la saison des pluies, ainsi que des pointes de vitesse dépassant les 8 m/s. Ces variations dans la direction et la vitesse du vent pendant cette période pourraient étayer l'hypothèse d'un blocage des écoulements des eaux pluviales sur la façade est de l'île lors des marées de vives-eaux.

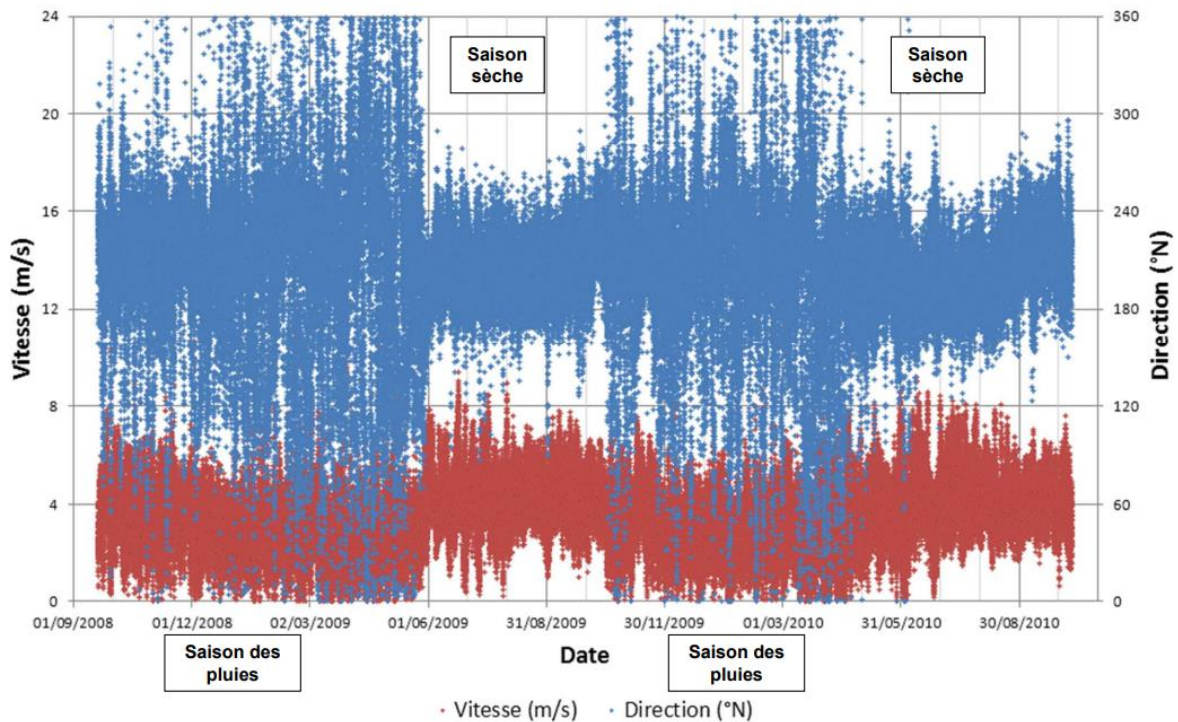


Figure 2-11 : Vitesse et direction du vent moyennées sur 10 minutes (Source : Total Gabon, 2011)

2.2.2.4 Évolution climatique sur l'île Mandji

L'évolution du climat a été scrutée à l'échelle mondiale, révélant une tendance à l'augmentation des températures et à la diminution des précipitations dans certaines parties du globe. À Port-Gentil, ce phénomène de changement climatique a été étudié dans le cadre du rapport « **Étude de vulnérabilité et adaptation aux changements climatiques de l'île Mandji** » réalisé dans le contexte de la deuxième communication nationale du Gabon sur le changement climatique (M.H.U.E.D.D, 2011). En utilisant les données fournies par la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) pour la période de 1978 à 2007, qui ont servi à l'évaluation climatique, une comparaison a été établie avec la période de référence de 1961 à 1990, considérée comme la normale climatique pour le Gabon par l'Organisation météorologique mondiale (OMM).

L'analyse des données révèle une augmentation des températures à la station de Port-Gentil, mise en évidence par l'évolution des températures moyennes interannuelles de 1978 à 2007. Dans l'ensemble, les températures interannuelles sont constamment supérieures à la normale climatique du Gabon, établie à 25,9°C, bien que l'année 1982 ait enregistré une baisse de 0,2°C par rapport à cette normale (Figure 2-12 A). Cette tendance à la hausse des températures au cours des 30 années examinées se manifeste également de manière légèrement saisonnière. En effet, une augmentation de la température est observée dans tous les mois de l'année, avec une moyenne de 0,4°C par rapport à la normale mensuelle (Figure 2-12 B).

Chapitre 2 : Contexte socio-environnemental du site d'étude : Une île prédisposée aux inondations par la mer

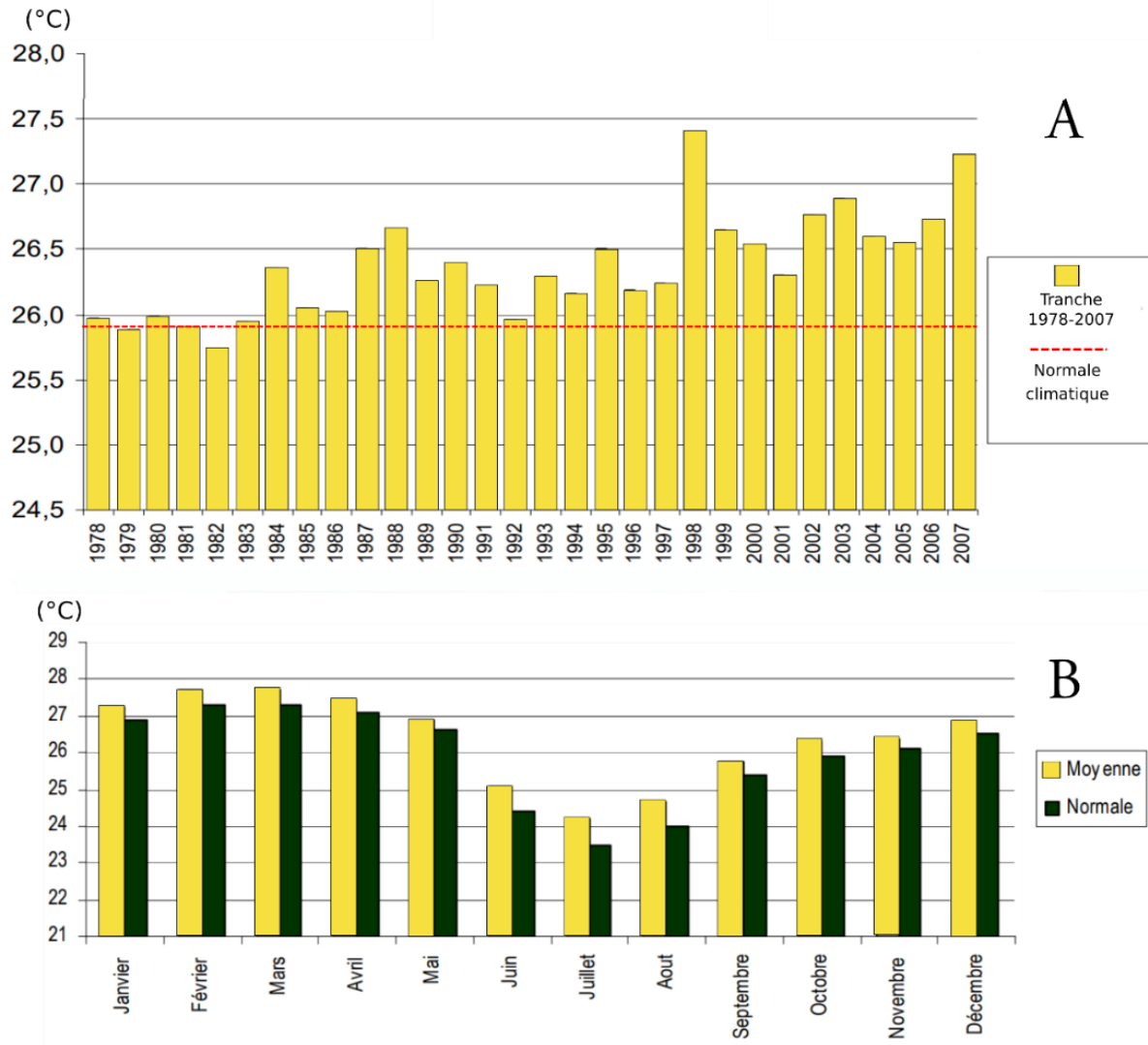


Figure 2-12 : Évolution des températures interannuelle (A) et mensuelle (B) durant la tranche temporelle 1978 à 2007 par rapport à la normale 1961-1990 (Données : Direction de la Météorologie Nationale, modifiée de M.U.E.D.D, 2011)

Afin d'approfondir l'étude de l'évolution climatique, examinons les données interannuelles des précipitations sur la période sélectionnée et comparons-les aux normales climatiques du Gabon. Une tendance à la baisse des précipitations est observée, bien que huit années sur trente présentent des valeurs au-dessus de la normale, établie à 1959 mm. En dehors de ces années très pluvieuses, les précipitations enregistrées sont généralement inférieures à la normale gabonaise (Figure 2-13).

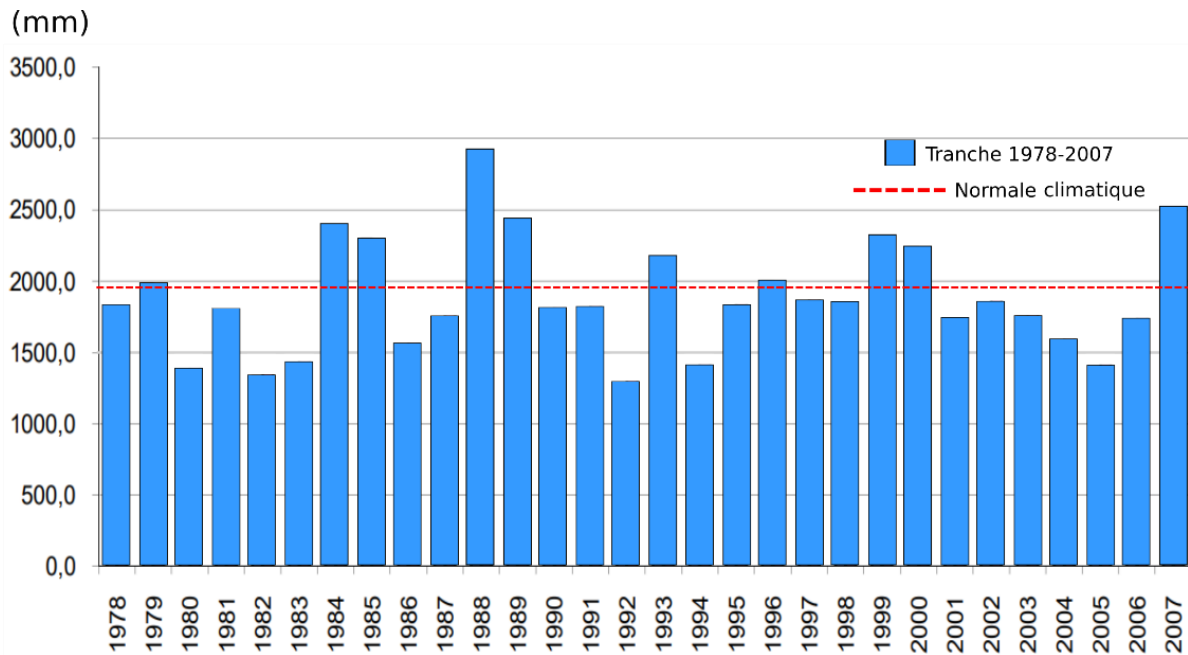


Figure 2-13 : Variation interannuelle des précipitations durant la tranche temporelle 1978 à 2007 par rapport à la normale climatique (Données : Direction de la Météorologie Nationale, modifiée de M.U.E.D.D, 2011)

2.3 Contexte marin

Dans le contexte du risque d'inondation marine, il est essentiel de prendre en compte **les conditions hydrodynamiques** du littoral. Celles-ci ne sont pas seulement importantes pour comprendre le processus des inondations par la mer, mais aussi pour évaluer le niveau d'impact potentiel. Une partie de ce travail de thèse consiste à spatialiser l'aléa inondation par la mer qui pourrait affecter la commune de Port-Gentil. Ainsi, il est nécessaire de comprendre les mécanismes des agents de la dynamique marine, tels que la **marée**, la **houle** et les **courants marins**. Ces facteurs contribuent à l'élévation du niveau d'eau, pouvant entraîner une surcote plus ou moins prononcée lors des marées de vives-eaux astronomique.

2.3.1 Les courants de surface

Le golfe de Guinée est une partie de l'océan Atlantique dont les limites ne sont pas claires établies. Selon les auteurs, sa délimitation varie sensiblement. Si pour un grand nombre d'auteurs sa limite sud-est semble claire, celle du nord-ouest n'est pas précise. Ainsi, elle s'étend du Cap Palmes à la frontière entre le Libéria et la Côte d'Ivoire ou du Cap des Trois-Pointes au Ghana dans la partie nord-ouest au Cap Lopez au nord de Port-Gentil au Gabon (Figure 2-14 A).

Cet environnement est caractérisé par des variations hydrodynamiques dont les courants sont, à moyenne échelle, des courants de marée et des courants de circulation générale de surface et de

Chapitre 2 : Contexte socio-environnemental du site d'étude : Une île prédisposée aux inondations par la mer

subsurface (Bonifay, 1987). La circulation océanique dans le nord du Golfe de Guinée est caractérisée par la présence de quatre courants différents (Figure 2-14 A). Le **courant de Guinée** qui s'écoule vers jusqu'à 4° Est le long de la côte des pays de l'Afrique de l'Ouest dans le nord du golfe de Guinée. Il constitue la partie terminale du **Sous-Courant Équatorial Nord**. Ce courant est maximal pendant la saison sèche boréale et minimal en intensité à la saison de pluie. Le **Sous-Courant Équatorial** est pratiquement centré sur l'équateur. Il arrive au niveau dans le golfe de Guinée entre 1° nord et 1° sud, avec une scission au niveau de l'île de Sao Tomé et Principe, dont une partie va alimenter le **sous-Courant Gabon-Congo** et l'autre partie qui va glisser vers le nord dans le golfe du Biafra. Le Courant Equatorial Sud qui circule d'est en ouest va capter les eaux chaudes du golfe de Guinée pour les transporter vers l'ouest en direction des côtes brésiliennes. Le **Courant de Benguela** est la principale circulation du sud influençant les côtes du Gabon en passant par le Congo et l'Angola.

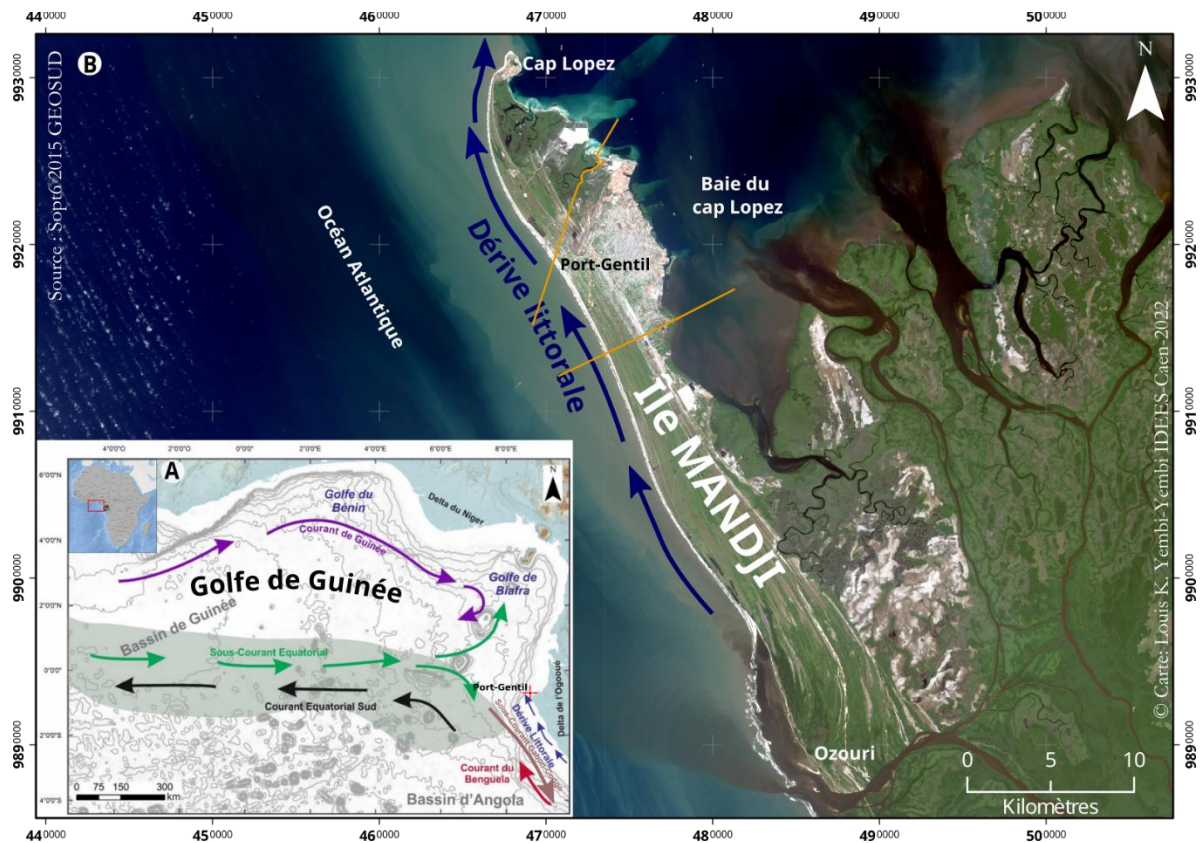


Figure 2-14 : Localisation du golfe de Guinée et Port-Gentil ainsi que les circulations de surface et de subsurface, la zone grise sur la carte en médaillon correspond à la présence de l'upwelling équatoriale (tiré de Mignard, 2017 d'après Jansen *et al.*, 1984) (A). La zone sur l'île Mandji présente la dérive littorale (B).

La dérive littorale est importante dans le système côtier gabonais. Elle agit du Sud-est vers le nord-ouest. Elle est le résultat de l'incidence oblique de la houle de direction sud-ouest à nord-est. Elle participe au développement de la flèche sableuse (cf. sous-section 2.1.2.1) à travers à deux mécanismes : : un mécanisme d'ablation à l'extrémité nord de la flèche et un mécanisme d'accrétion

au centre de la côte ouest par le transport sédimentaire de particules fines depuis les embouchures d'Ozouri et d'Olendé plus au sud (Figure 2-14 B). Sur la façade orientale de l'île Mandji, il existe très peu d'information sur l'action de la dérive dans le façonnement de cette partie de la côte.

2.3.2 Les conditions de la houle le long de l'île Mandji

Dans l'océan Atlantique tropical, la circulation océanique de surface est liée au régime des vents. La variation de la saisonnalité de ces champs de vent entraîne une variabilité de la circulation. Les vents génèrent la houle sur la masse océanique. Plus les vents sont forts, plus la houle est puissante. Les houles qui arrivent sur la côte gabonaise proviennent d'un quadrant sud-ouest comme mentionné plus haut. La présence permanente de l'anticyclone Sainte-Hélène plus au sud influence localement la houle. Cette houle a des origines lointaines et varie en fonction de la saison australe.

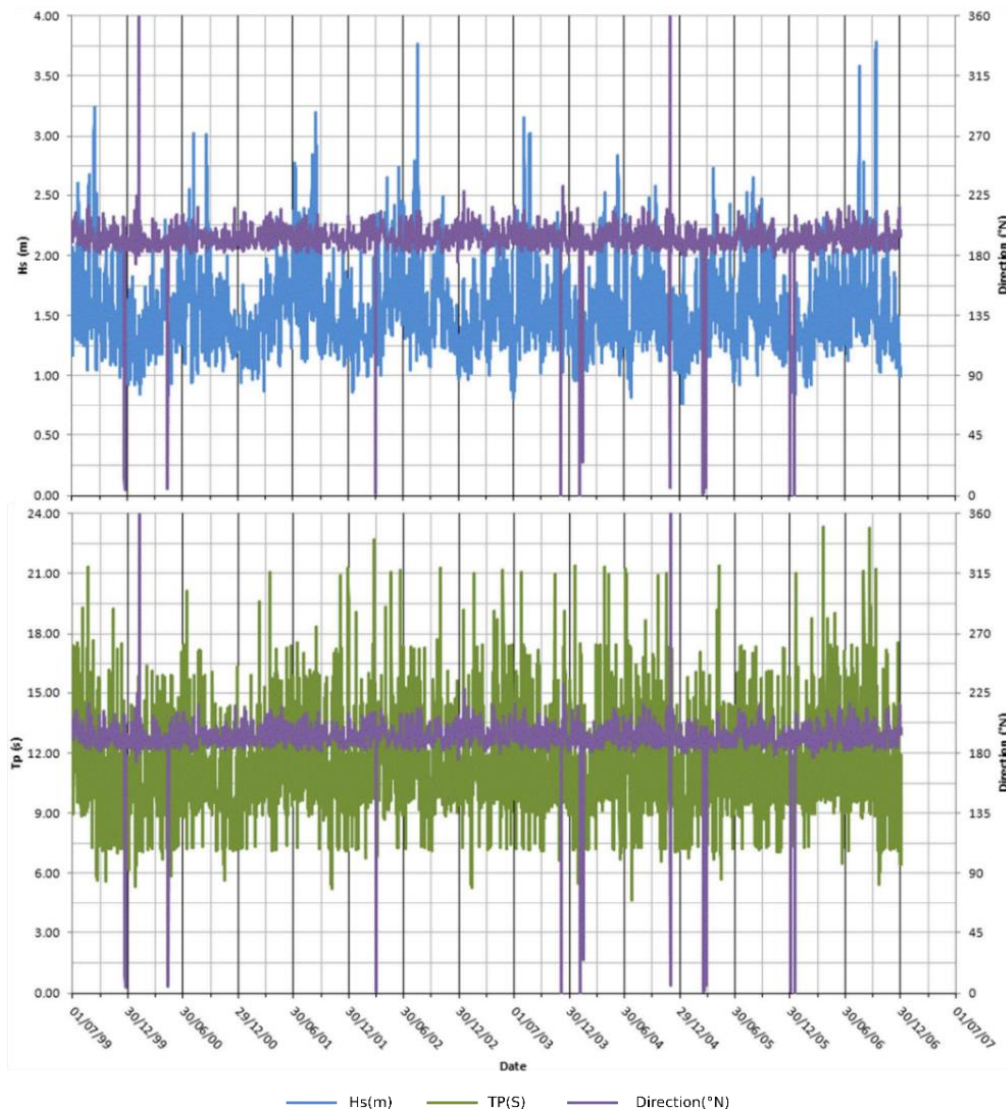


Figure 2-15 : Évolution temporelle de la hauteur significative, de la direction et du temps de pic de la houle observée au large de la côte atlantique dans une zone de -893m de profondeur du 01/07/1999 au 31/12/2006 (Source : Total Gabon, 2011).

Au Gabon, et encore moins dans la région de Port-Gentil, il n'existe pas d'observation à long terme de la houle. Les données présentées ici proviennent des bouées d'observation mises en place dans le cadre du projet d'aménagement des ouvrages de protection du littoral du Cap Lopez sur plusieurs périodes dont la plus longue est de 6 ans. Ces observations permettent toutefois de mettre en évidence des différences dans la direction et de hauteur des houles en fonction de la position des points d'observations (côte ouest / côte est, à proximité de la côte ou plus loin vers les hauts fonds). Les houles hautes avec de longues périodes apparaissent vers la fin de la première période de la saison de pluie et le début de la deuxième période de la saison de pluie en septembre, avec un maximum en pleine saison sèche entre juin et juillet. Les houles les moins hautes et de courtes périodes apparaissent plutôt entre début octobre et fin mars. Autrement dit, en saison de pluie (Figure 2-15).

Au large de la côte atlantique dans une zone de -893 m de profondeur (Point C), les houles les plus fréquentes sur la période d'observation 1999 à 2006 présentent une hauteur en moyenne inférieure ou égale à 1,5 m dans 71% des cas, avec des périodes dont le pic moyen est de 10 à 12 s. Près de la côte à une profondeur de -10 m (Point B), les houles les plus fréquentes sur la même période d'observation, avec des hauteurs entre 0,3 m et 0,6 m, représentent 89,43% de toutes les hauteurs de houle, avec 39,96% de pic entre 2 et 7 s et 57,67% de la fréquence du temps d'apparition entre 9 et 14 s. Dans cette zone, les enregistrements montrent des directions de houle ouest-sud-ouest pour ce point C et ouest-nord-ouest pour le point d'observation B (Figure 2-16).

Dans la baie du Cap Lopez, la houle à une direction dominante nord-est vers sud-ouest. Les houles les plus fréquentes sur cette façade et sur la période d'observation 1999 à 2006 ont une hauteur inférieure ou égale à 0,5 m dans 86,26% des cas. En termes de pic, 68,27% des fréquences sont **entre 12 et 15 s**. Les enregistrements des points d'observation situés à l'entrée de la baie du Cap Lopez (Point A) montrent une direction dominante de provenance nord-nord-est. En fonction de la proximité à la côte, une diminution de la hauteur de la houle est observée. La houle perd pratiquement 0,5 m de hauteur entre les bouées C et B. Au regard des données à notre disposition, là encore ce qui nous intéresse, ce sont les moyennes, mais aussi et surtout les temps d'action dans un sens puis un autre pour définir les transports sédimentaires résultats, et puis les conditions lors des phénomènes rares de forte intensité.

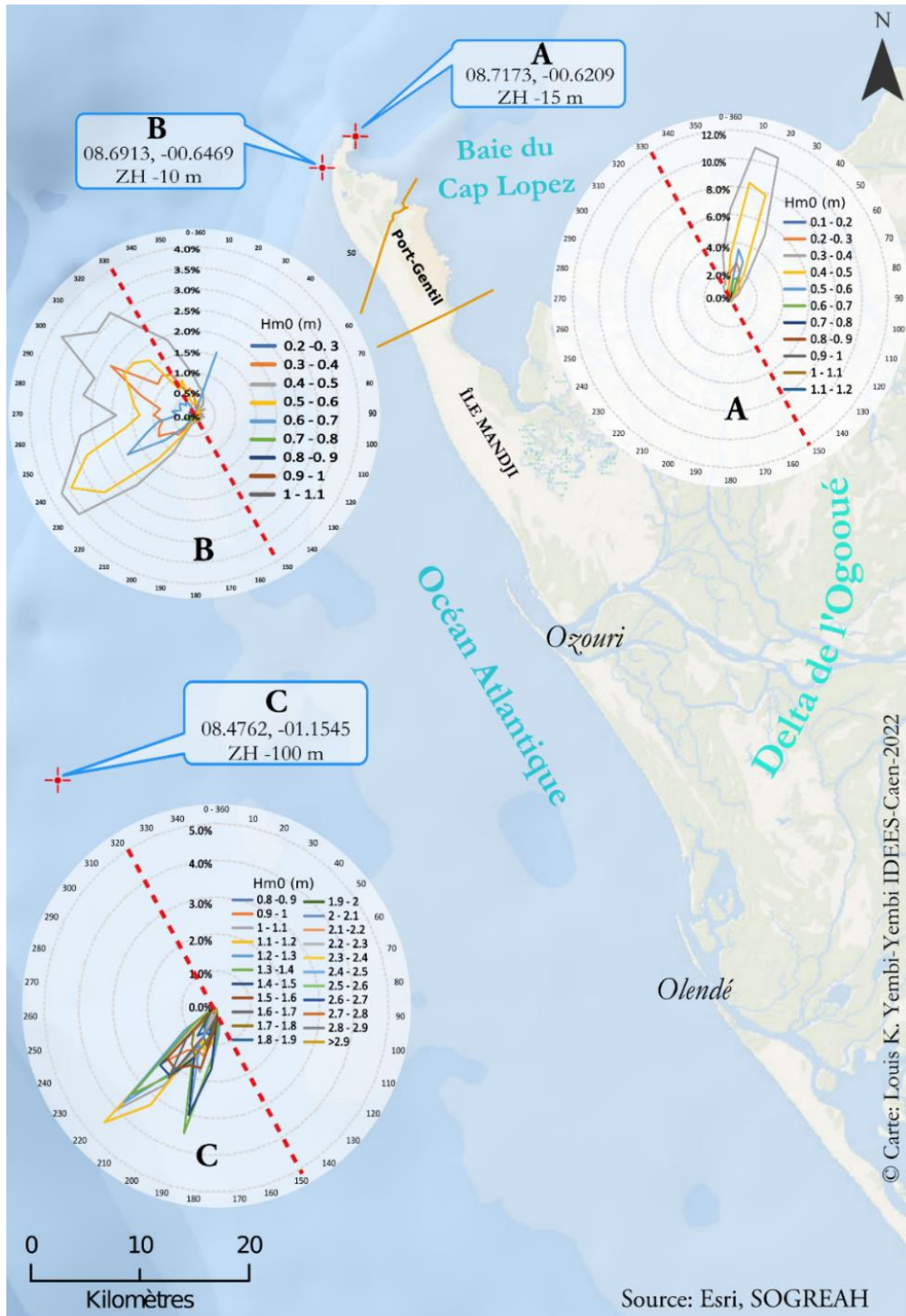


Figure 2-16 : Rose des houles aux alentours de l'île Mandji (source : Total Gabon, 2011)

2.3.3 Les marées et les niveaux d'eaux et tendance d'évolution

2.3.3.1 Les marées

On distingue dans la littérature trois types de régimes de marée en fonction du marnage à la côte (Davies, 1964) : marée microtidal, pour les marnages inférieurs à 2 m, mésotidal entre 2 et 4 m et macrotidal au-dessus de 4 m (Figure 2-17). Le littoral gabonais est soumis à un régime de marées

Chapitre 2 : Contexte socio-environnemental du site d'étude : Une île prédisposée aux inondations par la mer

semi-diurne de type microtidal. Les côtes affectées par ce type de marnage sont plus importantes à l'échelle mondiale que le marnage macrotidal. L'onde de marée, qui prend naissance au loin dans la zone de l'anticyclone Sainte-Hélène, avec une amplitude relativement faible (inférieure à 1 m), se propage dans une direction sud-ouest à nord-est perpendiculaire à la côte et augmente proche de la côte.

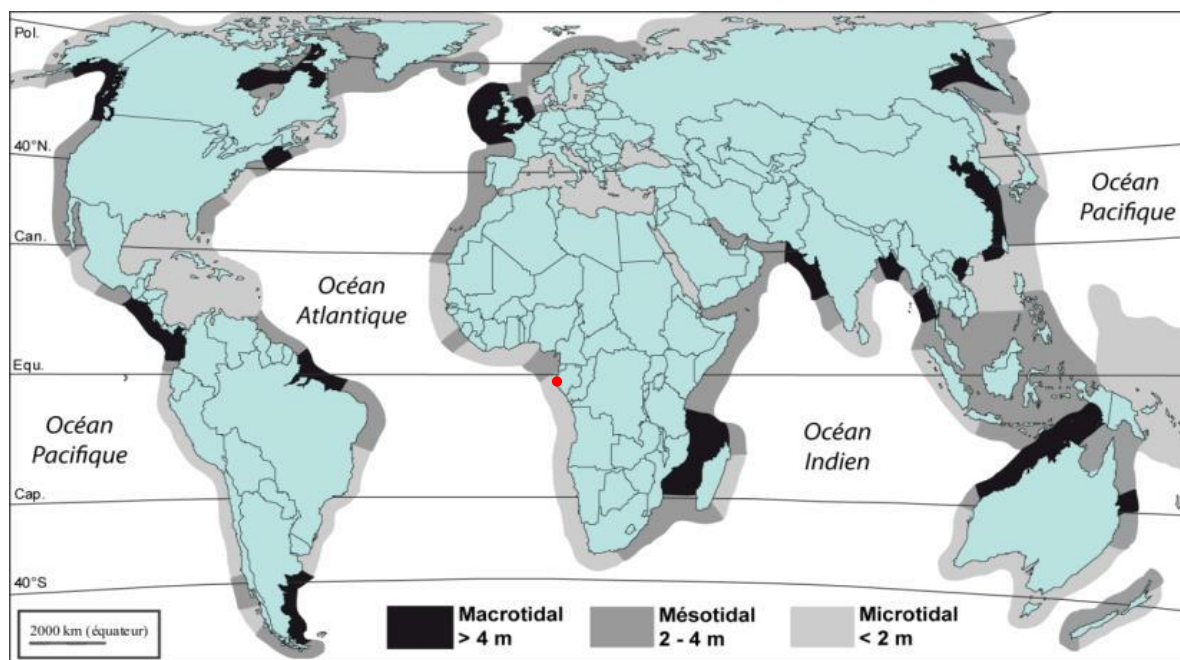


Figure 2-17 : Distribution des marées moyennes de vive-eau à l'échelle mondiale (d'après Davies, (1964) tiré de Crapoulet, (2015)).

Au Gabon, très peu d'étude sur le niveau marin instantané a été réalisée. En effet, les observations du régime des marées datent de la période coloniale et peu après l'indépendance. Quelques études ponctuelles ont été réalisées par des entreprises privées, notamment du secteur pétrolier, auprès desquelles il est quasiment impossible d'obtenir ces données. Cependant, les cartes marines du SHOM et les indications des carnets de marée de la marine marchande indiquent un marnage entre 0,75 m et 1,55 m avec un niveau moyen de 1,20 m (Tableau 2-1).

Dans la zone de Port-Gentil, le Zéro hydrographique (ZH)¹³ commun aux cartes marines et sur l'annuaire de marée n'est pas clairement établi. Deux références existent dans le cadre des travaux topographiques (cf. Annexe 2). Une référence dite du Cap Lopez (Nivellement général du Cap Lopez ou NGCLZ) avec un ZH établi au niveau du repère **+0,34 m** et une référence dite de Port-Gentil (Nivellement Général de Port-Gentil ou le NGPOG) dont le ZH est fixé à **+0,24 m en** (Figure 2-18).

¹³ Le zéro hydrographique, le zéro de la carte marine ou côte marine (CM) correspondent au niveau de référence des cartes marines et des annuaires de marée. Il correspond au niveau des plus basses mers astronomiques (PBMA)

ZH	PMVE	PMME	NM	BMVE	BMME
SHOM	2	1,6	1,2	0,4	0,9
NGCLZ	1,66	1,26	0,86	0,06	0,56
NGPOG	1,76	1,36	0,96	0,16	0,66

Tableau 2-1 : Présentation du régime des marées à l'île Mandji en fonction du zéro hydrographique du SHOM, et rapporté au Nivellement du Cap Lopez (NGCLZ) et de Port-Gentil (NGPOG) (Réalisation L. YEMBI, 2022)

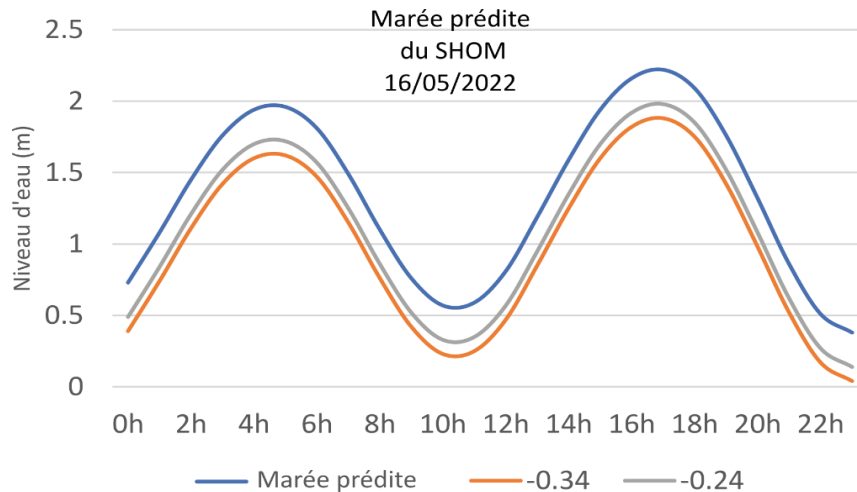


Figure 2-18 : Caractéristiques de la marée dans la baie du cap Lopez en fonction des différents nivellements du Cap Lopez (-34m) et de Port-Gentil (-24 m) (source : Fugro et le SHOM, réalisation L. YEMBI, 2022)

L'influence des courants de marée dans la zone de Port-Gentil, due à sa faible topographie, se matérialise par des inondations. Celles-ci affectent les vasières des Trois Rivières de la SOGARA, au nord de la commune, ainsi que celles d'Iguiri. Dans le sud de la ville, les anciennes vasières, aujourd'hui occupées par les populations, telles que le quartier des pêcheurs (Lippe) à Matanda, sont également touchées pendant les marées de vive-eau.

2.3.3.2 Les niveaux d'eaux et tendance d'évolution

Dans la sous-section 2.2.2.4, une évolution du climat à la station de Port-Gentil a été présentée par rapport à la normale climatique définie par l'OMM pour le Gabon. Cette évolution climatique se manifeste par une augmentation significative des températures interannuelles et mensuelles et une diminution de la pluviométrie au niveau de la station.

En ce qui concerne le niveau de la mer, mentionné à l'échelle globale, l'élévation du niveau de la mer est déjà effective et a été mesurée depuis le milieu du XIX^e par plusieurs marégraphes dans le monde. L'ensemble des composantes marines (courant, onde marine, mécanismes de propagation des ondes de vague) vont perturber l'ensemble des forçages qui affectent déjà les côtes basses

Chapitre 2 : Contexte socio-environnemental du site d'étude : Une île prédisposée aux inondations par la mer

d'accumulation. Une attention particulière est portée à cette élévation, car elle va modifier l'extension des zones inondables proches du rivage en condition normale, mais surtout en condition de période de tempête. Les données marégraphiques disponibles pour les côtes ouest et centrale de l'Afrique sont très lacunaires et inexistantes pour la majorité des principaux ports de ces deux régions. Cette situation ne permet pas d'identifier des tendances objectives de cette évolution du niveau de la mer. En revanche, les données satellites montrent que l'élévation du niveau marin s'est accentuée au cours des 30 dernières années au niveau planétaire et que les variations locales du niveau de la mer ne sont pas homogènes d'une région à l'autre. En effet, d'après la Figure 2-19, cette élévation du niveau des mers est dans certaines zones équatoriales due au processus physique de dilatation thermique non uniforme des océans (Church et White, 2011). À l'échelle globale, le processus de dilatation thermique des océans a été mis en évidence pour la première fois en 1993 à partir des observations du satellite TOPEX/Poseidon (GIEC, 1995), qui ont permis de dégager une tendance globale, même pour les régions ne disposant pas de données marégraphiques.

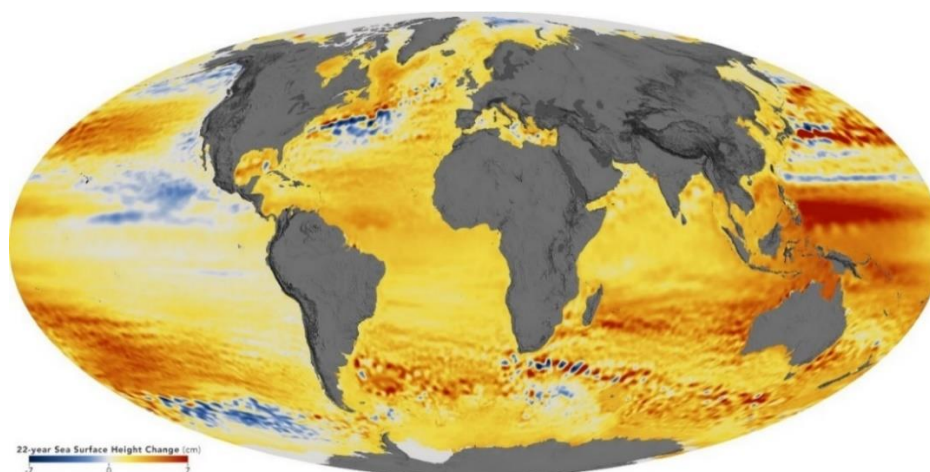


Figure 2-19 : Élévation du niveau des mers entre 1992 et 2014 (Source : NASA Earth Observatory¹⁴)

L'intensité des effets du changement climatique à l'avenir dépendra fortement des mesures politiques prises au niveau international. Selon le dernier rapport du GIEC (2021), plusieurs scénarios d'élévation du niveau de la mer ont été modélisés en fonction de l'impact des politiques climatiques mondiales visant à réduire les émissions des gaz à effet de serre (GES). Selon le scénario (SSP5-8.5), qui prend en compte les fortes émissions de gaz à effet de serre et inclut les phénomènes de fonte des calottes glaciaires, le GIEC prévoit une élévation globale du niveau de la mer entre de 0,63 m et 1,02 m d'ici 2100 (Figure 2-20), ce qui ne sera pas sans conséquences pour les côtes basses en général et pour la ville de Port-Gentil en particulier. Même si les gouvernements prennent des mesures drastiques de réduction des gaz à effet de serre (SSP1-1.9), il est maintenant certain

¹⁴ <https://earthobservatory.nasa.gov/>

que le niveau d'eau augmentera probablement entre 0,28 m à 0,55 m, ce qui aura de graves conséquences pour plusieurs zones côtières anthropisées à travers de phénomène de plus en plus accru d'érosion et d'inondation.

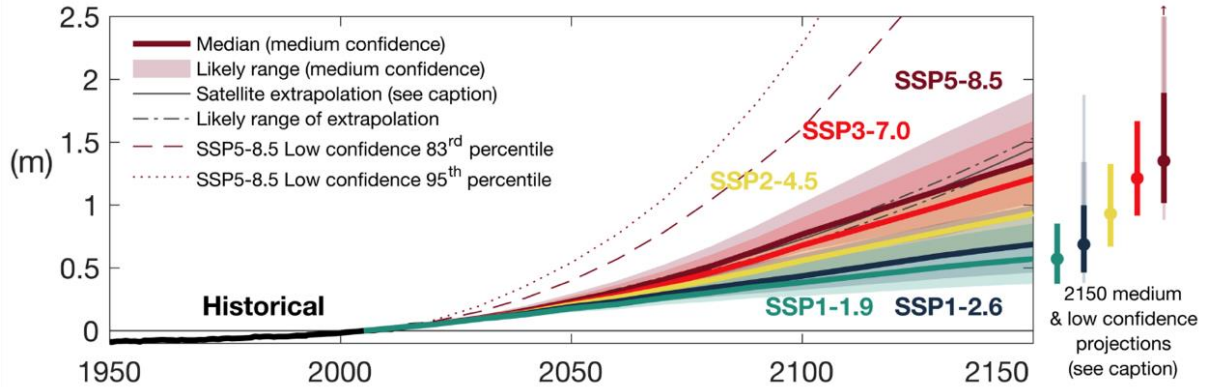


Figure 2-20 : Évolutions passée et future du niveau moyen global de la mer (GIEC, 2022a)

Dans la suite de ce travail (Chapitre 3), les deux scénarios seront considérés, chacun avec un objectif très différent. Pour le SSP5-8.5, qui est certes le plus pessimiste, mais aussi l'un des plus probables en raison du rythme actuel des émissions de gaz à effet de serre, sa prise en compte est principalement liée à la réalisation d'un plan d'exposition aux risques (PER) à long terme prenant en compte le scénario le plus pessimiste, comme c'est le cas pour les PPRI en France. A ce scénario, on adoptera la valeur de 1 m comme référence en 2100. Pour le SSP1-1.9, l'objectif est de montrer que même avec des scénarios optimistes, certaines zones de la ville de Port-Gentil sont susceptibles d'être exposées aux inondations permanentes dues à l'élévation du niveau de la mer. Quand bien même, des efforts d'atténuation au niveau mondial seraient mis en place. A ce scénario, on adoptera la valeur de 0,5 m comme référence en 2100.

2.4 Trajectoire de développement urbain et problèmes socio-environnementaux associés

Cette section revient sur la dynamique de la population et décrit les modalités de développement de la ville de Port-Gentil. Un lien causal est établi dans certains territoires notamment dans les PED entre la croissance démographique et l'extension spatiale de la ville, mais également entre extension spatiale et problèmes environnementaux (Aguéjdad, 2009). Ces facteurs sont une des clés pour comprendre et expliquer la dynamique actuelle et la « **production** » de la vulnérabilité de ce territoire.

2.4.1 Contexte historique en lien avec l'activité économique

Malgré son enclavement (absence de route praticable en toute saison pour relier les autres villes du Gabon), Port-Gentil n'a pas échappé au processus d'urbanisation qu'a connu l'ensemble des villes du pays à l'instar de Libreville et dans une moindre mesure Franceville. Au contraire, réunissant tous les espoirs vrais ou utopiques sur la garantie d'une vie meilleure, d'un emploi stable, d'un mieux-être, la ville a vu affluer une population de plus en plus nombreuse de l'intérieur du pays, mais également de l'étranger et surtout ceux d'Afrique de l'Ouest. Il en résulte un étalement urbain non maîtrisé causant ainsi de véritables problèmes d'aménagement pour les autorités municipales.

2.4.1.1 La petite histoire du développement de la cité pétrolière

On peut distinguer deux grandes phases dans le développement de la ville de Port-Gentil qui est étroitement lié l'activité économique, notamment le bois, les hydrocarbures et portuaire (Lotito, 1970). Une première période postcoloniale dominée par l'activité forestière et une seconde précoloniale dominée par l'exploitation du pétrole et le développement de l'activité portuaire.

2.4.1.1.1 La naissance de la cité pétrolière

La naissance de Port-Gentil tient d'abord à sa situation singulière au contact terre/mer, à l'embouchure du fleuve Ogooué face à l'océan Atlantique, qui en fait un port naturel. Cette fonction portuaire fit jadis la fortune de la ville bien avant la découverte et l'exploitation du pétrole dans les années 1956 à Ozouri par la SPAEF (Société Pétrolière d'Afrique-Équatoriale Française). À cause de celle-ci, elle fut au centre de deux périodes économiques qui résument son développement économique, démographique et spatial.

2.4.1.1.2 La première période économique

La première période économique fut celui de l'exploitation de l'okoumé qui commença à la fin du XIXe siècle dans le bassin inférieur de l'Ogooué et dont Port-Gentil assurait l'exportation vers l'Europe. Jusqu'à la première moitié du XXe siècle, cette activité domina son économie urbaine ainsi que l'économie nationale en fournissant 90 % du PIB du Gabon (Bouquerel, 1967a). À l'échelle urbaine, l'exploitation de l'okoumé donnant naissance en 1947 à la Compagnie Forestière du Gabon (CFG) spécialisée dans la production de contreplaqués. C'est à elle que l'on doit l'édification des premières cités entreprises (Cité des cadres de la CFG et celle des ouvriers dénommée Camp Sara) et le dynamisme économique de Port-Gentil dans la première moitié du XXe siècle.

Pendant cette période d'exploitation de l'okoumé, le port de Port-Gentil où l'on tire pirogue et/ou flotte au large un mat et un ou deux pavillons français était une simple plage (un débarcadère). Par

Chapitre 2 : Contexte socio-environnemental du site d'étude : Une île prédisposée aux inondations par la mer

la suite, les avantages d'un port accessible aux navires attirent l'attention des autorités coloniales à cause des conditions particulièrement favorables à la création d'une ville portuaire telle la présence d'une baie abritée. En outre, la situation du delta du fleuve Ogooué et de la baie du Cap Lopez en fait un centre d'échange aux débouchés importants de l'arrière-pays (Bouquerel, 1967b ; Roumégous, 1966). De 1910-1912 l'escale de Port-Gentil s'équipe d'un wharf en béton de 200 mètres de long sur 20 mètres de large, reposant sur des piliers en fer. L'équipement se limite à trois hangars de marchandise jumèles, un atelier et un caboteur pour transbordement ce dernier devient un port d'embarquement. La ville de Port-Gentil couvre à ce moment-là une dizaine d'hectares, et la population autochtone s'entasse dans la zone de la plaine, dans les cases en écorces de bois. Autour du wharf vivent les populations européennes.

En 1940 un port à bois est aménagé et une société française s'installe. La ville en profite et grandit. Parallèlement l'agglomération atteint 3000 habitants, dont plus de la moitié reste attachée aux activités de bois, car elle était l'activité la plus prospère de cette période.



Figure 2-21 : Prise de vue oblique du parc à bois et de la construction du port Môle en béton dans la baie du Cap Lopez (source : <https://www.delcampe.net/fr/collections/>)

2.4.1.1.3 La deuxième période économique

La seconde période économique, quant à lui, est dominé par l'activité pétrolière et vient supplanter la période forestière. À l'instar du reste du Gabon, Port-Gentil connut une accélération de son urbanisation, à la faveur des booms pétroliers, dans laquelle les compagnies pétrolières prirent une part très active. Plusieurs aménagements ont été faits dans la capitale économique ceux-ci se caractérisent par une forte influence sur le bâti. Car dès la première mission sismique, confrontée à un problème de mains-d'œuvre locales, la mission de prospection de pétrole de AEF entreprenait de vastes campagnes de recrutement d'ouvriers à travers les provinces environnantes (Bouquerel, 1967a). La ville de Port-Gentil ne disposait pas de véritable structure d'accueil, dès 1957 elle entreprit un programme de construction de logements destinés aux agents. C'est grâce à ce programme que sont mise en place en 1957-1958 les lotissements de Roger Buttin, de la mosquée, Namina, d'Otando en 1958 ; de Satom et savonnerie en 1969. Au-delà de la construction d'environ 600 logements par la société ELF-Gabon le territoire Portgentillais se voit être doté de plusieurs infrastructures socio-économiques de base savoir : les équipements de certains sites pétroliers, le warf du cap Lopez, Station de clairette. Ces divers enjeux convergent vers un espace relativement restreint.

Pour ce qui est des infrastructures économiques propres aux activités de l'entreprise. Outre ces équipements de base la société Elf Gabon met en place unité industrielle tel que : la société de raffinage du Gabon (SOGARA) créée en 1967 pour approvisionner le Gabon et les pays limitrophes en produits finis. Pour ELF Gabon l'amélioration des conditions de vie des populations n'est pas en marge dans le processus de développement de la ville, car, bien avant 1976 l'approvisionnement de Port-Gentil dépendait presque exclusivement de l'extérieur. Cette ville connaissait d'importants problèmes de ravitaillement en légumes frais. Afin de pallier cette dépendance une unité de culture maraîchère vu le jour en 1976 (Agrisog). De plus, un hôtel de moyen standing a été construit dans le souci d'équiper la ville d'infrastructures touristiques.

Au regard de ces deux périodes économiques, il est clair que le développement de la ville de Port-Gentil est intimement lié à son activité économique dominée tour à tour par l'activité forestière et pétrolière. Ce développement a pour effet l'évolution de la population et de l'espace urbain, qui seront mieux présentés dans la section ci-dessous.

2.4.2 Croissance démographique et étalement urbain en détail

Au vu de ce qui précède, il apparait clairement que les deux processus économiques du passé sont les catalyseurs du développement socio-économique actuel de Port-Gentil. L'exploitation pétrolière reste l'activité dominante et est à l'origine de certains changements sociaux que nous

pouvons observer de nos jours à savoir la croissance démographique et l'expansion urbaine anarchique.

2.4.2.1 Croissance démographique

Comparée aux autres pays de l'Afrique centrale, la population gabonaise est l'une des plus faibles. Le contexte démographique du Gabon est marqué par deux tendances contradictoires : la faible densité de population au niveau national et la saturation démographique des deux principales villes, Libreville et Port-Gentil. En effet, depuis son indépendance en 1960, le Gabon a connu une très forte croissance démographique. Sa population est passée de 444 264 habitants en 1960 à 1 811 073 en 2013 (DGS, 2015). Selon la Banque Mondiale, la population gabonaise serait estimée à 2 225 728 habitants en 2020 (Figure 2-22). Une confirmation de cette évolution démographique sera possible après le recensement de prévu normalement en 2023.

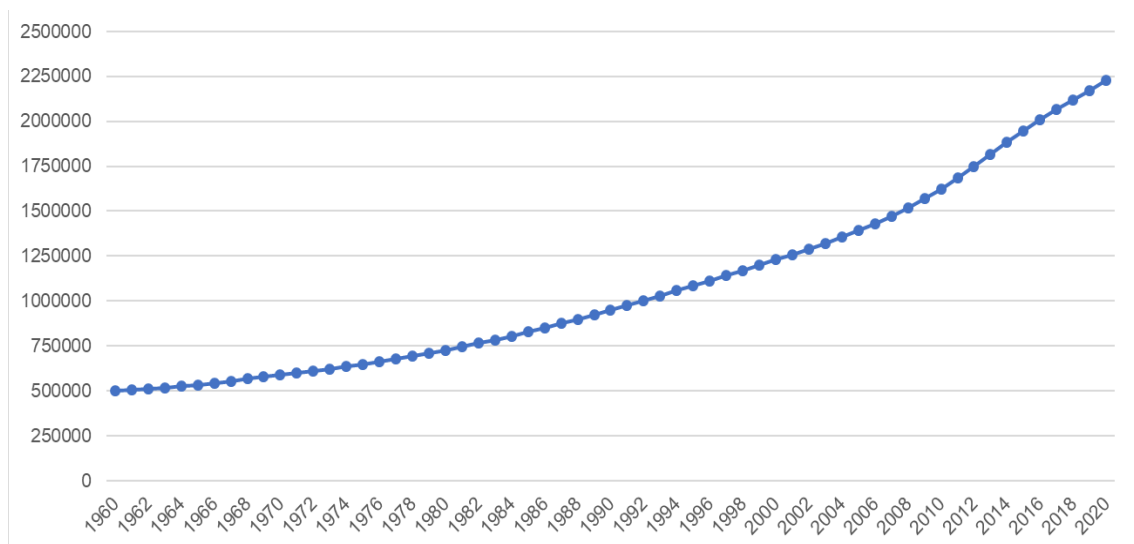


Figure 2-22 : Evolution de la population du Gabon entre 1960 et 2020 (source : Banque Mondiale 2021)

À l'échelle nationale, la population du Gabon est inégalement répartie, principalement entre les zones rurales et urbaines. Dans les années 1960, la plupart des Gabonais vivaient en zone rurale, représentant environ 80% de la population, tandis que seulement 20% vivaient en ville. Cependant, avec le boom pétrolier des années 1970, le pays a vu une forte croissance urbaine. Le taux d'urbanisation est passé de 20% en 1960 à 87% en 2013, soit une augmentation de 67% en 53 ans. Cette croissance rapide a conduit à une expansion des zones urbaines aux dépens des zones rurales. En 2013, les espaces urbains ne représentaient que 1% du territoire national, tandis que les zones rurales couvraient 99% du pays. (Figure 2-23).

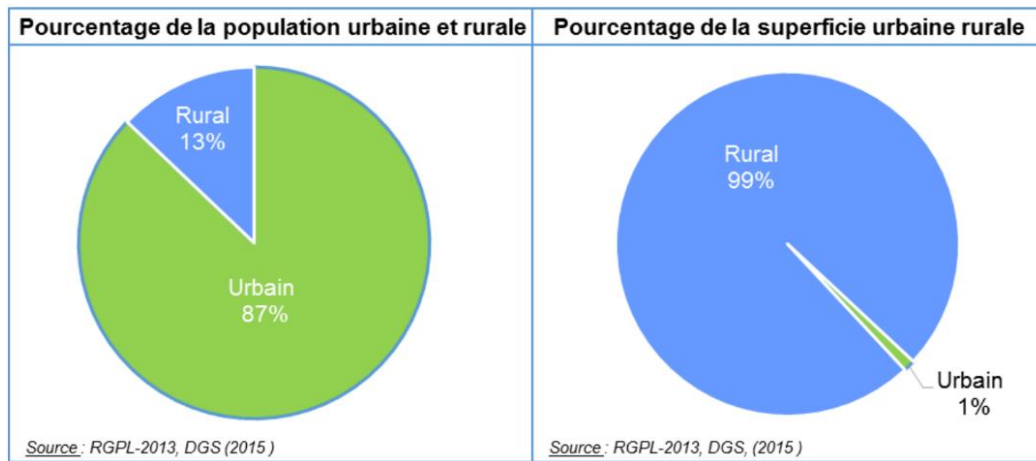


Figure 2-23 : Représentation de l'effectif de la population et de la superficie du territoire national selon le milieu de résidence (DGS, 2015)

De nombreuses études ont eu lieu sur la population de Port-Gentil et cela bien avant l'indépendance du pays. Plusieurs mémoires et documents fournissent des données chiffrées à ce sujet. Selon Djeki, (1985) la population de Mandji était estimée à 2500 âmes en 1904. Roumégous, (1966) mentionne un chiffre de 4500 habitants en 1947, tandis que Bouquerel, (1967 b) en indique 4800 en 1965. La dernière étude disponible est celle du recensement général de la population et du logement de 2013, en abrégé RGPL 2013 (DGS, 2015). L'ensemble de ces études permet d'évaluer l'évolution de population portgentillaise bien avant les indépendances et de faire des estimations sur son évolution.

Globalement, depuis la découverte du pétrole en 1956, la population urbaine de la capitale économique du Gabon a considérablement augmenté. Elle est passée de 15 000 habitants en 1960 à 136 462 habitants en 2013, selon le DGS (2015). Cette croissance a été stimulée par le développement du port et de l'industrie pétrolière, attirant de nombreux immigrants gabonais vers Port-Gentil, comme l'a noté Mbadinga (2006). Initialement, ces nouveaux arrivants étaient souvent accueillis par des familles locales ou se voyaient attribuer des parcelles de terre. C'est pratique à donner lieu à une clanisations¹⁵ de certains quartiers. Avec le boom de l'industrie pétrolière, on a vu un afflux massif de populations étrangères, notamment européennes et africaines, travaillant pour des entreprises privées soutenant l'industrie pétrolière, comme le rapporte Bouquerel (1967b).

¹⁵ Système social organisé d'individus qui cherche l'intérêt et à fédérer leur groupe ethnique en clans

Chapitre 2 : Contexte socio-environnemental du site d'étude : Une île prédisposée aux inondations par la mer

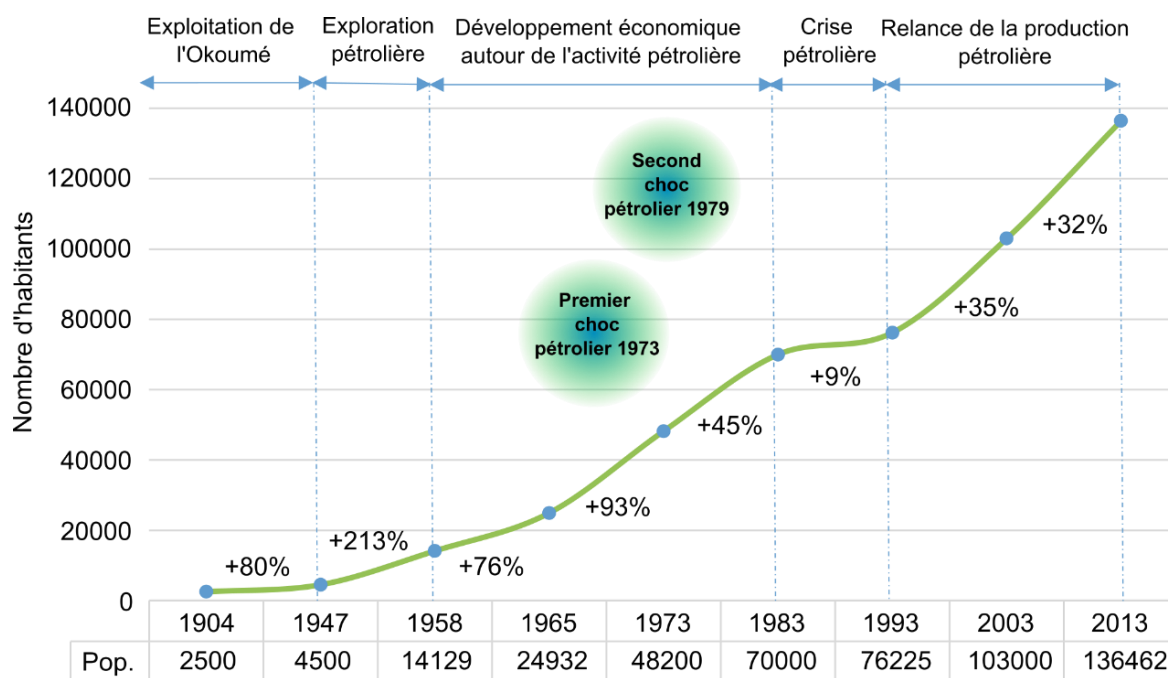


Figure 2-24 : Évolution démographique de la ville de Port-Gentil depuis 1904 (Réalisation L. YEMBI, 2022)

La population étrangère à Port-Gentil représente sensiblement 14% de la population globale de la ville (DGS, 2015). L'arrivée des immigrés non africains après la colonisation est liée à des raisons économiques, familiales et politiques (Lila Miyagou, 2013). Une population immigrée non africaine dominée par les Français, qui représente aujourd'hui après le démantèlement de la basse militaire française sensiblement 2000 personnes immatriculées au consulat¹⁶, qui participe fortement à la vie économique et sociale. Au niveau de la population étrangère africaine, la majorité d'entre elles arrivent des pays d'Afrique de l'Ouest, mais en majorité constituée de Togolais, Béninois, sénégalais dont les activités principales sont le commerce et la pêche. Il convient de préciser qu'entre la population occidentale et la population africaine, celle occidentale est en perpétuel renouvellement. Très peu d'Occidentaux décident de rester définitivement dans la ville, contrairement à la population communauté africaine. Le brassage de population Africaine, Occidentale et désormais Asiatique dans la commune, monte un certain caractère cosmopolite de la population portgentillaise. Les fluctuations temporelles de la population sont fortement liées à la dynamique de l'activité économique et particulièrement à l'activité pétrolière comme la montre la Figure 2-24. Les deux chocs pétroliers de 1973 et de 1979 ont été des véritables catalyseurs démographiques et de la croissance des villes productrices de pétrole comme Port-Gentil.

La croissance de la population a entraîné de facto celle du secteur commercial, qui a eu comme conséquence, l'extension des zones commerciales, industrielles et résidentielles de la ville. En d'autres termes, la croissance de la population de Port-Gentil est à l'origine de l'extension urbaine

¹⁶ <https://www.senat.fr/>

de celle-ci. Il convient cependant de souligner que bien que l'activité pétrolière soit la principale activité économique, le secteur tertiaire (services, commerces) également a pu se développer. D'où la présence de plusieurs marchés, des banques, assurances, compagnies téléphoniques principalement localisées pour l'essentiel dans le centre-ville, proche de la façade est. La forte croissance de la population et les investissements présents sur la commune ont entraîné un étalement croissant de la ville de plus en plus vers l'ouest et désormais vers le sud et le nord de l'île.

2.4.2.2 Dynamique et ségrégation socio-spatiale entretenue dans la cité pétrolière

Port-Gentil plus qu'hier constitue une cité attractive bien qu'elle soit aujourd'hui saturée. Elle est confrontée à un étalement croissant de son tissu urbain, qui dépasse aujourd'hui ces limites administratives. Fondée au cours du XIX^e siècle par l'administration coloniale française, elle était au départ un espace hostile où l'on pouvait retrouver des campements. Elle s'est développée de la côte est vers la côte ouest. Dans les années 1949 jusque dans les années 1980, la commune est pratiquement divisée en deux unités urbaines et sociales : le centre urbain appelé « quartier européen » et les villages africains, séparés par une zone marécageuse sur laquelle a été construit le grand canal qui ceinture le centre historique.

Le centre administratif et économique de la ville s'est établi à la lisière de la côte orientale, qui présentait des avantages d'abri pour le bateau de commerce qui mouillaient dans la baie du Cap Lopez. C'est dans ce secteur européen que l'on trouve de belles bâtisses avec des matériaux de construction solides et une architecture avec des fondations élevées et un ou deux étages. On y trouve de nombreuses factoreries essentielles du bois et du négoce. Un style architectural qui semble indiquer une certaine crainte des inondations (Figure 2-25).



Figure 2-25 : Façade de la factorerie de la SHO et de celle de l'hôpital européen à Port-Gentil (Source : <https://www.delcampe.net/> , consulté le 08/02/2022)

Le secteur se trouvant plus en arrière dans les terres (Village africain) constituait le quartier des autochtones. Le secteur se caractérise par des constructions de fortune avec des matériaux peu

solides souvent de plain-pied sans fondation apparente. Dans ces zones, on voit bien que le risque d'inondation n'était pas pris en compte dans le style des constructions.

Avec le boom pétrolier et l'arrivée massive des populations, les entreprises d'abord du bois puis pétrolières mettent en place des initiatives privées de construction des logements pour leurs travailleurs. Pendant cette période, comme la majorité des villes industrielles, notamment en Afrique, on assiste à une catégorisation des logements en fonction du statut professionnel dans les entreprises (Mbadinga, 2000). Ainsi, on va voir émerger dans la ville la construction des logements destinée majoritairement aux agents de la société d'Elf. C'est notamment Cité Roger Butin, Otando, la Mosquée en 1958, Satom en 1969, cité Akosso en 1973, cité Matanda en 1973. D'autre compagnie tel que CFG (Compagnie Forestière du Gabon) avec sa cité des cadres (Cité CFG) et des ouvriers (Camp Sara du nom d'origine des 375 ouvriers tchadiens recruté par la CFG en 1948). Dans les années 1970 la construction de la cité Sogara¹⁷ au nord de la ville. L'ensemble de ces lotissements ont participé grandement au développement de la ville.

La dynamique spatiale de la ville peut être divisée en plusieurs phases. Au début de sa création, la ville s'est développée principalement le long de la côte est, à l'abri des turbulences marines de l'ouest. Ce choix de site était basé en partie sur l'accès direct à l'Ogooué, permettant de naviguer vers l'intérieur du Gabon, ainsi que sur sa fonction d'abri pour les navires. Cependant, le caractère topographique du site n'a pas été pris en compte, malgré le fait que c'était l'une des zones les plus basses de l'île Mandji. Ensuite, dans les années 1960, la ville a connu ses premiers développements en direction uniquement vers l'ouest, avec quelques poches construites déconnectées de l'enveloppe urbaine. Cette extension urbaine s'est poursuivie dans cette direction dans les années 70 et 80, avec une partie de l'extension vers le nord accentuée par l'implantation de la société gabonaise de Raffinage. Puis, dans les années 2000, bien que l'extension de la ville ait continué à progresser vers l'ouest, des poches d'extension vers le sud ont commencé à se développer, notamment avec la construction du lycée Thuriaf Bantsantsa et l'Hôpital Régionale de N'Tchengué. Cette extension se poursuit encore de nos jours, et de plus belle avec la construction du stade de Port-Gentil au sud en 2016, ainsi que la nouvelle route de N'Tchengué dans le département de Bendjé. Enfin, au cours des dix dernières années, on a assisté à une expansion vers le nord-ouest, notamment vers la route du Cap Lopez, en raison de l'ouverture de la route menant aux installations de Télémania (quartier Côté d'Azur, Fort de l'Eau). (Figure 2-26). Sur la carte ci-dessous, on peut constater que la zone urbaine ne correspond plus aux limites administratives de la ville (Figure 2-26).

¹⁷ La SOGARA est la SOciété GAbonaise de RAffinage fondé en 1964, sous le nom de Société équatoriale de raffinage et installé à Port-Gentil en 1967 par la volonté de Cinq pays de l'Afrique centrale

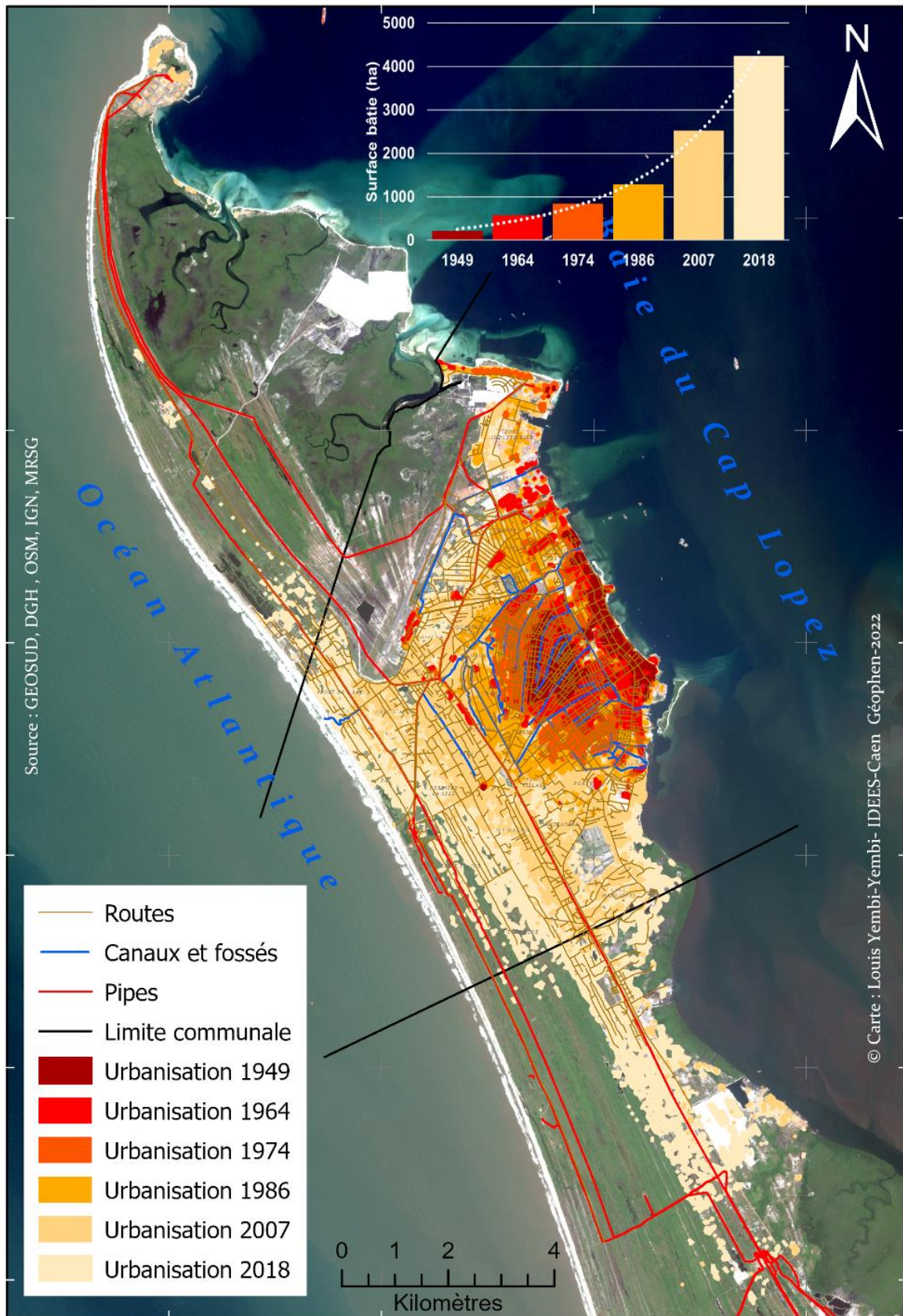


Figure 2-26 : La croissance urbaine de la commune de Port-Gentil de 1949 à 2018 (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Il convient de souligner que l'étalement urbain que connaît la cité pétrolière révèle une politique urbaine et d'aménagement caractérisé par un « **laisser-faire** », notamment après les indépendances, comme en témoignent de nombreux chercheurs (Djeki, 1985 ; Mbadinga, 2000 ; Ondo Assoumou, 2006 ; Indjieley, 2007). De cette situation en résulte un étalement urbain qui se caractérise par une anthropisation des zones marécageuses et inondables. Contrairement à la logique urbaine des pays en développement, qui voudrait que la population pauvre s'installe dans ces zones marécageuses, à Port-Gentil, la règle n'est pas admise. Au contraire, c'est la population des deux bords qui s'installe dans ces zones. Pour le vérifier, il suffit d'observer l'hétérogénéité des types de construction dans ces lieux. On y trouve à la fois du bâti de haut standing, mais également du bâti de bas standing et précaire. Plus spécifiquement, on assiste à une évolution du bâti, avec la naissance de nouveau quartier tel que Bac-Aviation vers l'ouest, Côte d'Azur et Fort de l'eau vers le nord-ouest, N'Tchengué vers le sud et maintenant le quartier Ile Mandji, Belle Plaine de plus en plus vers la côte atlantique. S'agissant de ce dernier quartier, on observe aujourd'hui à la fois une densification et un étalement de plus en plus proche du rivage de la côte ouest atlantique sans que les autorités ne réagissent (Figure 2-26). Ainsi, on peut s'interroger d'ores et déjà sur les raisons de se laisser faire de l'extension spatiale de la ville, d'autant plus qu'elle progresse de plus en plus proche de la côte et des zones de mangrove, qui sont sensé être des sanctuaires écologiques au Gabon.

2.4.3 Les problèmes environnementaux dus à l'anthropisation anarchique du milieu

L'observation de la croissance urbaine à Port-Gentil présentée ci-dessus montre que l'étalement urbain a conduit à un développement important des zones inondables. L'expansion urbaine, qui accentue l'artificialisation des sols, se fait principalement à l'horizontale. Il y a très peu de bâtiments de plus de deux étages dans la ville. La majorité des bâtiments de plus de deux étages sont des bâtiments administratifs du secteur public ou du privé le plus souvent concentrés dans le centre-ville (Figure 2-27). Cette tendance à l'expansion horizontale est en partie liée aux préférences sociologiques des populations gabonaises, qui préfèrent des constructions à l'horizontale avec une cour à l'avant des maisons d'habitation en raison des pratiques quotidiennes et des habitudes culturelles. Les cours à l'avant des bâtiments sont également utilisées pour les cérémonies familiales (fêtes en tout genre, décès, etc.) et les jeux pour les enfants. En même temps, cette tendance est également liée à la faiblesse de l'État à imposer des normes de construction et d'urbanisation. Bien que des réglementations existent, elles sont rarement mises en œuvre par les autorités responsables.

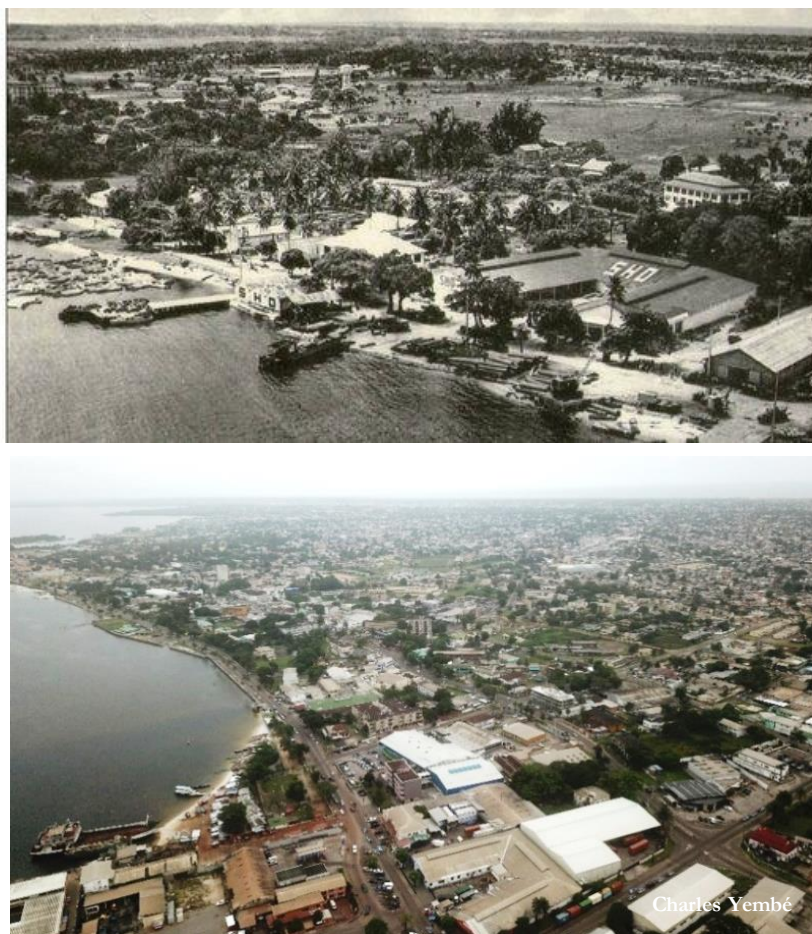


Figure 2-27 : L'évolution spatiale de la ville de Port-Gentil. La photo du haut, vue oblique de Port-Gentil en 1959 (<https://www.delcampe.net/fr/collections/>) et en bas prise de vue oblique par drone (orientation nord-est vers sud-ouest) (Photo prise le 27 mars 2021 à 13h14 par Charles Yembé)

Cette croissance urbaine incontrôlée entraîne des conséquences néfastes pour l'environnement, telles que la perte de la biodiversité et des habitats naturels (Mangrove, marécage marais, etc.), l'augmentation des risques sanitaires, d'inondations et d'érosion côtière (extraction illégale de sable de plage).

On s'aperçoit que la ville présente des espaces plus intégrés que d'autres, avec un niveau d'intégration graduelle. Ainsi, trois structures urbaines se dessinent : une **structure urbaine formelle, semi-formelle** et **informelle**, que nous qualifions respectivement de **première, deuxième et troisième couronne**. Cette classification répond à un certain nombre de critères tels que les équipements, les infrastructures de bases (Routes, électricité, écoles, centres de soin, administrations publiques), la densité du bâti, la cohésion spatiale et l'armature urbaine.

- **La première couronne** : représente environ 18% de l'espace communal. Elle correspond à l'ancien quartier européen avec l'ensemble des services de proximité. C'est une espace qui s'est développée avec des projets d'aménagement gouvernemental et des

sociétés privées. On n'y retrouve plusieurs quartiers cités (cité SATOM, cité SHELL, Cité Okosso, Cité TOTAL, Cité Sogara Abella) et des quartiers issus des projets de viabilisation gouvernementale (derrière le lycée d'État, quartier Ondimba). C'est une zone qui concentre quasiment toutes les activités de service, la totalité des administrations publiques, l'ensemble des bureaux des multinationales du pétrole, sept stations-service sur 8, la majorité des établissements secondaires et primaires. Elle concentre également l'ensemble des ports commerciaux et de plaisance. En raison de l'ensemble de ces enjeux stratégiques concentré dans cette zone, elle fera l'objet d'une évaluation fine sur le plan de l'impact physique potentiel des enjeux qui s'y trouvent (Figure 2-28 A).

- **La deuxième couronne :** représente 7% du territoire communal. Elle correspond à l'ancien quartier africain. Elle se caractérise par une densification des bâtiments. La distance entre les habitations est parfois inférieure à 3 m. Elle se caractérise par une régularité dans les réseaux routiers, ce qui permet à chaque habitation d'être pratiquement desservi par une route aménagée. On observe un réseau routier dense et régulier avec toutes les commodités d'adduction d'eau et d'électricité. Cette zone concentre les deux plus grands marchés de la ville (Balise et le grand village). Elle constitue une sorte de transition entre première et la troisième couronne (Figure 2-28 B)
- **La troisième couronne :** représente 75% de l'espace urbain. Elle se caractérise par une urbanisation anarchique (auto-construction). Le manque de cohérence spatiale, l'inaccessibilité à l'électricité, à l'eau bien que la centrale de traitement des eaux se trouve dans cette couronne urbaine, le manque d'équipements ou d'assainissement caractérisent les quartiers de cette couronne urbaine (Figure 2-28 C).

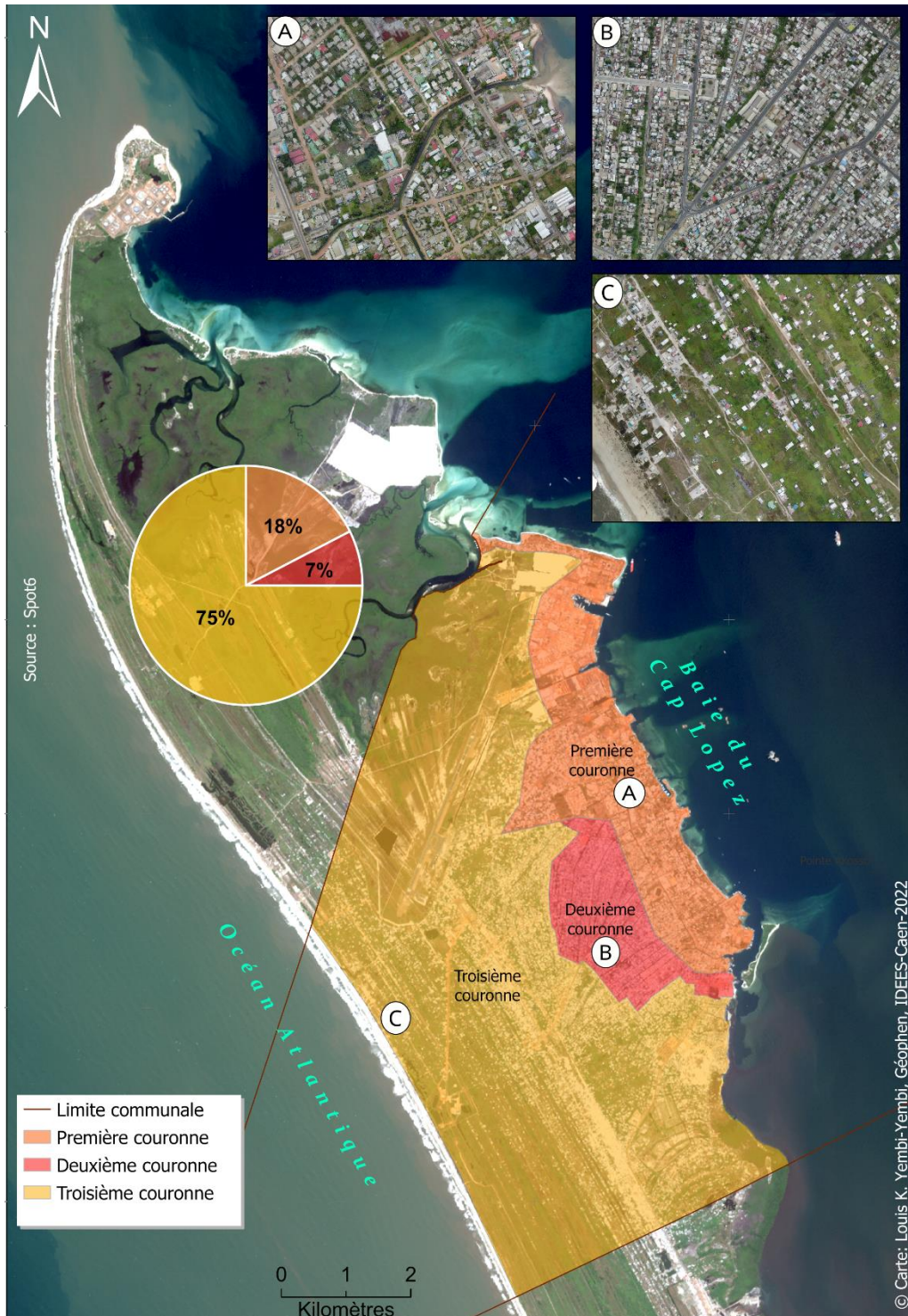


Figure 2-28 : Différentes couronnes de développement urbain, (A) première couronne, (B) deuxième couronne, (C) troisième couronne et leurs superficies (Réalisation L. YEMBI, 2022)

On peut remarquer dans cette structuration urbaine, au fur et mesure qu'on s'éloigne de la côte est, les déséquilibres entre espaces se fait de plus en plus sentir. Dans la troisième couronne, les quartiers proches de la côte ouest sont le plus souvent le résultat d'initiative individuelle, non réfléchi, dans lesquelles aucune norme urbanistique n'a été appliquée d'autant plus qu'il s'agit des anciens marécages comblés (Figure 2-29). Ce sont des quartiers qui sont extraient exposer aux

Chapitre 2 : Contexte socio-environnemental du site d'étude : Une île prédisposée aux inondations par la mer

inondations pluviales. Les quartiers proches de la côte sont, de cette même couronne est exposée quotidiennement au jeu de la marée, car ils sont implantés dans d'anciennes vasières comblées et même non comblées. Au regard de cette situation, d'installation anarchique et irrationnelle de l'espace urbain, ville en elle-même, par sa population et des autorités dépassées par la rapidité de croissance de l'espace urbain, se met dans une situation de vulnérabilité au phénomène naturel, au regard de la situation physique la ville présentée précédemment.



Figure 2-29 : Inondation pluviale dans les anciens marécages de la zone d'arrière la SEEG (photo prise le 06 janvier 2017 à 11h)



Figure 2-30 : Inondation par la mer et installation précaire des câbles électriques (Photo prise le 12/01/2017 à 16h, marée prédite 2,2m en ZH)

En revanche, depuis une dizaine d'année, les inondations sont de plus en plus intenses dans tous les secteurs de la ville, même ceux considérés comme les mieux lotis en termes d'aménagement et d'infrastructure d'assainissement des eaux pluviales. En effet, on assiste de plus en plus aux

Chapitre 2 : Contexte socio-environnemental du site d'étude : Une île prédisposée aux inondations par la mer

inondations dans le centre-ville de Port-Gentil (Figure 2-31). Une situation qui paralyse temporairement l'ensemble des activités de la commune qui est très dépendant de ce secteur (Première couronne). Le constat qui est fait est que lorsque cette zone se trouve inondée, c'est toute la ville qui est « sous les eaux ». Le niveau d'exposition du centre-ville aux inondations est un baromètre du niveau d'exposition du reste de la ville aux inondations pluviales.



Figure 2-31 : Inondation au centre-ville de Port-Gentil le 30 mars 2013 (source : <http://herxav.canalblog.com/>)

Synthèse du chapitre 2

Dans ce chapitre, nous avons présenté les fondements du contexte socio-environnemental de la ville de Port-Gentil. Nous avons mis en évidence la complexité de la région côtière gabonaise, en particulier l'île Mandji, où se situe Port-Gentil.

Sur le plan topographique, la zone d'étude est située sur une **flèche littorale sablo-vaseuse** longue de 30 km et large de 4,5 à 6 km, ouverts sur deux façades : **atlantiques et deltaïque**. Cette zone est le résultat des forces convergentes des courants dominants venant du sud-ouest depuis la ville de Benguela en Angola et de la perte de compétence du fleuve Ogooué qui charrie une quantité importante de sédiments continentale. L'altitude moyenne de cette flèche est sensiblement de **3 m NGCLZ**. Cette topographie basse est entrecoupée par un système de chenaux, par des marécages omniprésents, d'un système de canaux aménagés et non aménagés.

En ce qui concerne les conditions météo-marins, Port-Gentil est située dans une zone climatique tropicale chaude et humide, avec des **précipitations abondantes 9 mois sur 12** et des **vents modérés 4 m/s** en moyenne tout au long de l'année. Le linéaire côtier gabonais est exposé aux houles qui se forment au loin, venant majoritairement du sud-ouest. Cependant, en raison de la configuration spatiale et de l'orientation de l'île Mandji, l'exposition à la houle est plus importante sur la façade ouest que sur côté est, abritée. De manière générale, la zone d'étude est soumise à l'influence à une **marée microtidal de type semi-diurne avec un marnage de 2 mètres** et une période approximativement de 12h.

En termes d'enjeux potentiellement exposés, la ville de Port-Gentil a connu un développement urbain exponentiel depuis la période postcoloniale des années 1960, dû à l'industrialisation de ce territoire, d'abord par l'industrie forestière, puis par l'industrie pétrolière dans les années 1959. Cette urbanisation exponentielle a entraîné une expansion spatiale anarchique et précaire de certains endroits, découlant d'une croissance démographique importante. Les conséquences en sont l'installation des populations dans des zones à risque, étant donné qu'il s'agit d'un territoire multirisque tant naturel qu'anthropique, et dans certain cas des risques qui peuvent se combiner (Effet de concomitance).

Nous avons examiné le cas des inondations par la mer, qui, bien que rare actuellement, peuvent être exacerbées par le changement climatique globale. Les forçages physiques tels que l'intensité des précipitations, l'élévation du niveau de la mer et l'affaissement du substrat de l'île dû au pompage des nappes et réservoirs pétrolier peuvent faire évoluer de manière significative les inondation marine. Ainsi, la ville de Port-Gentil est particulièrement exposée aux inondations par

la mer à la fois présente et futur. Ce qui implique une vulnérabilité des bâtiments à usage d'habitation, institutionnel, les espaces naturels, le réseau routier.

Ce chapitre a permis d'exposer les caractéristiques physique et anthropique de la zone d'étude qui en font l'un des territoires le plus vulnérables aux inondations par la mer contrairement aux autres territoires côtiers du Gabon tels que Cocobeach, Akanda, Libreville, Owendo, Omboué, Gamba ou Mayumba.

Si dans ce chapitre, nous avons mis en évidence la vulnérabilité globale de la ville de Port-Gentil de par sa situation géographique, les conditions physiques du site et le grand nombre et la diversité des enjeux présents dans la ville, pour une compréhension plus approfondie de la vulnérabilité urbaine, il est important de définir les facteurs qui contribuent à cette vulnérabilité en termes de niveau d'exposition, d'impact potentiel des enjeux, de représentation du risque des populations et de stratégie de gestion. Pour ce faire, nous avons mis en place une méthodologie d'évaluation permettant d'identifier ces facteurs et de les quantifier afin de proposer des solutions appropriées pour réduire cette vulnérabilité. C'est l'objet de la deuxième partie de ce manuscrit.

Conclusion de la première partie

Cette première partie avait pour objectif de **fixer le cadre théorique et décrire le contexte socio-environnementale de notre zone étude**. Elle a porté sur la compréhension des différents concepts qui gravitent autour de ce sujet (**Chapitre 1**) et sur la présentation de la zone d'étude dans laquelle se trouve la ville de Port-Gentil (**Chapitre 2**).

Pour ce faire, une revue de la littérature nous a permis de définir dans un premier temps le **risque** et les notions connexes qui gravitent autour de ce concept. Nous avons pu constater que la notion de risque est un concept polysémique dont la définition dépend des auteurs, de la discipline à laquelle ces auteurs appartiennent et même au sein d'une même discipline, en fonction des objectifs de l'étude et l'aléa traité. Tout d'abord, nous avons vu que le risque a été défini comme étant simplement la confrontation de l'aléa avec les enjeux et ne considère pas la vulnérabilité préalable des enjeux. Deuxièmement, nous avons vu à travers la littérature que cette définition très limitée a évolué pour inclure la vulnérabilité. Ainsi, le risque est passé d'une simple confrontation de l'aléa avec les enjeux à une confrontation de l'aléa avec la vulnérabilité. Enfin, nous avons précisé ici que la définition du risque est une combinaison de ces deux définitions, associant aléa, vulnérabilité et exposition. Pour qu'il y ait risque, il faut qu'il y ait des enjeux vulnérables qui sont exposés à l'aléa.

À la lumière de ces multiples définitions, nous avons examiné, également à travers la littérature, un autre concept qui gagne du terrain dans les études cindyniques. Le concept de vulnérabilité, bien que toujours en débat, nous a semblé pertinent pour la question du risque d'inondation par la mer à Port-Gentil. Il faut noter que ce concept prend de plus en plus d'importance dans les études liées au risque, quelles que soient la discipline et la nature de l'aléa. C'est en raison de cette montée en puissance du concept dans les études de risques que celui-ci recouvre plusieurs approches. Des approches d'analyse qui dépendent de l'échelle d'analyse, de l'aléa traité, des objectifs visés et de l'orientation disciplinaire. Dans cette recherche, au vu des objectifs, de l'aléa traité, de l'échelle locale d'analyse et de notre positionnement disciplinaire qui est la géographie (discipline à cheval sur les sciences sociales et les sciences naturelles), il nous a semblé logique d'aborder notre recherche sous l'angle de la vulnérabilité systémique.

Selon Meur-Ferec et Guillou (2020), quatre composantes (l'aléa, les enjeux, la gestion et les représentations) constituent le socle d'analyse de ce concept, notamment lorsqu'il s'agit d'évaluer les territoires côtiers soumis aux risques littoraux. Les différentes interrelations de ces composantes constituent le système de vulnérabilité territorial. La prise en compte de l'aléa permet d'évaluer le niveau d'exposition, en termes de spatialisation et de hauteur d'eau. La prise en compte des enjeux potentiellement exposés permet de qualifier et de quantifier le niveau d'impact potentiel

(dommages potentiels). La gestion permet d'évaluer la capacité institutionnelle à faire face et à mener des actions préventives. La prise en compte des représentations permet non seulement d'intégrer la population à l'étude (comme une consultation populaire), mais surtout d'analyser sa culture du risque, sa connaissance du risque et la place qu'elle occupe dans la société. Il s'agit d'une approche initialement sectorielle où chaque composante est évaluée indépendamment, mais l'examen des interactions en fait une approche systémique qui permet de rendre compte de la vulnérabilité globale des établissements urbains côtiers. Chaque composante sera abordée en détail dans la suite de la thèse.

La présentation du cadre socio-environnemental de la ville de Port-Gentil nous a permis de pointer du doigt quelques éléments essentiels de cadrage qui justifient le choix de cette localité dans cette recherche. De manière générale, **le site se trouve dans un environnement complexe**, dont le fonctionnement et le développement sont conditionnés par de multiples facteurs physiques et anthropiques, qui interagissent à différentes échelles spatio-temporelles. Sur le plan physique, le site d'étude se situe sur une **flèche littorale aux substrats Sabo-vaseux de faible altitude avec une altitude moyenne de 2,72 m au-dessus du zéro hydrographique**. La zone d'étude évolue dans **un environnement microtidal, semi diurne** avec des courants dominants orientés sud-est vers nord-ouest est soumis aux inondations pluviales en raison de sa situation sur la côte centre-ouest africaine, précisément face au Golfe de Guinée. Cette région est caractérisée par un climat chaud et humide avec une longue saison des pluies et des températures élevées constantes tout au long de l'année. Plus précisément, la ville de Port-Gentil est située sur une flèche sableuse et marécageuse de faible altitude. Bien que les conditions marines telles que les marées et les houles semblent relativement faibles par rapport à d'autres régions, il n'en reste pas moins que la faible topographie de Port-Gentil est son principal « talon d'Achille ».

D'un point de vue sociétal, Port-Gentil est une ville importante pour le Gabon. Elle représente 1/3 du PIB grâce à son activité économique centrée sur les hydrocarbures et le port. C'est, ces activités qui ont conduit la ville à une croissance démographique exponentielle. La croissance démographique a entraîné un développement anarchique de l'habitat et une expansion spatiale galopante dont la cause ne peut pas être liée au seul facteur démographique. A cela s'ajoute le manque de politique de gestion et d'outils de planification urbaine. Sur la question de la gestion des risques, celle de la gestion urbaine est étroitement liée. Là aussi, nous avons vu qu'en raison des initiatives privées pour lutter contre l'avancée de la mer et de l'installation de la population dans les zones à risques proches du littoral, les collectivités locales sont dans un mode de gestion de laisser-faire.

À la lumière de ce qui précède, la vulnérabilité serait d'abord physique par l'exposition des enjeux potentiels vulnérables à un aléa qui doivent nécessairement être évalués. Social, en raison de la

situation politico-administrative qui semble présenter une certaine négligence et du manque de **culture du risque**. De cette considération, la ville de Port-Gentil se trouverait dans une situation de vulnérabilité aux inondations par la mer qu'il est plus qu'urgent d'évaluer. Cette situation est d'autant plus urgente, en raison de la problématique du changement climatique, dont l'une des conséquences est l'élévation du niveau de la mer. Sur la base de l'approche basée sur la vulnérabilité systémique, les quatre composantes seront évaluées dans cette recherche. C'est ce que nous tenterons de faire dans les chapitres des deux parties suivantes.

Deuxième partie

Approche transversale, empreinte de pluridisciplinarité : entre aléa, exposition des enjeux et représentation socio-spatiale du risque à l'échelle communale



Illustration de l'agitation de la mer lors d'une tempête tropicale dans la baie du Cap Lopez. Au premier plan, des remorqueurs et des barges, ainsi que des billes d'Okoumé projeté contre la digue. Au second plan la route du bord de mer. Source photo : (<https://www.delcampe.net/fr/collections/>)

Introduction de la partie 2

La première partie de ce manuscrit a été consacrée à l'exposition des fondements conceptuels gravitant autour de l'évaluation de la vulnérabilité des territoires aux aléas naturels et en particulier aux inondations par la mer. Elle a également porté sur la contextualisation du cadre d'étude, avec une présentation socio-environnementale du site d'étude. Bien qu'il s'agisse d'un concept difficile à appréhender en raison de son appropriation par plusieurs disciplines scientifiques, il est apparu que la vulnérabilité des territoires urbains aux risques naturels est à la fois physique et sociétale. Tout d'abord, elle est physique en raison de l'impact et des dommages causés par l'aléa sur les enjeux. Ensuite, elle revêt des aspects sociétaux dans la mesure où elle dépend des conditions de vie de la population, de sa connaissance du risque et de la capacité de résilience des sociétés. Sur la base de cette conception définitionnelle, l'approche méthodologique développée se doit de prendre en compte ces deux aspects, autrement dit l'aspect physique et l'aspect social du territoire.

De manière décomposée, ces deux aspects comportent quatre composantes essentielles : l'aléa, les enjeux, la gestion et les représentations du risque. C'est dans ce contexte définitionnel que s'inscrit l'ensemble de ce travail. En effet, la démarche s'inscrit dans un cadre pluridisciplinaire porté par la géographie dans sa conception de discipline c'est-à-dire, à la jonction la société analysée par la géographie humaine et la nature du moins les processus naturels étudiés par la géographie physique (Emel et Peet, 1989). Notre positionnement scientifique et disciplinaire nous permet d'appréhender cette recherche dans cette double approche qui offre la possibilité d'avoir une vision plus large et globale de la question des risques. Ce positionnement scientifique transversale mobilise de nombreux outils méthodologiques et analytiques parfois influencés par des disciplines connexes à la géographie telles que la sociologie et anthropologie.

Cette deuxième partie, « **Approche transversale, empreinte de pluridisciplinarité : entre aléa, exposition des enjeux et représentation socio-spatiale du risque à l'échelle communale** » constitue la partie opérationnelle de cette recherche. Elle vise à présenter la démarche géographique qui a guidé ce travail de recherche et a permis de produire les résultats qui vont alimenter les connaissances, mais également la discussion. En somme, elle décrit les approches, les outils et les techniques utilisés pour collecter et analyser les données. La démarche exposée dans cette partie se décompose en deux phases et prend en compte l'évaluation de l'aléa en tant que composante révélatrice de la vulnérabilité, qui est essentielle de qualifier et de spatialiser **chapitre 3 « Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles »**. Les enjeux en tant que composante vulnérable et subissant l'aléa sont identifiés et caractérisés à travers des indicateurs, puis synthétisés en indices

de vulnérabilité potentielle à différentes échelles d'analyse **chapitre 4 « Identification, caractérisation et évaluation de la vulnérabilité physique des enjeux en milieu urbain : approche par indices »**. Ces deux chapitres constituent la première phase de notre démarche, à savoir l'évaluation de la vulnérabilité physique.

Dans l'optique d'une analyse plus globale, **le chapitre 5 « Évaluation de la vulnérabilité sociale à travers les représentations du risque à Port-Gentil : cadre méthodologique »** présente les différentes démarches d'enquête qualitative et quantitative réalisées respectivement auprès des autorités politico-administratives en charge de la question de la gestion urbaine et potentiellement des risques, et auprès des populations qui sont les premiers concernés par cette étude. Ce chapitre constitue la partie sociale de la vulnérabilité de la ville de Port-Gentil et intègre la population comme acteur à part entière dans le processus de production de la vulnérabilité.

**Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa :
caractérisation et spatialisation selon plusieurs
scénarios et différentes échelles spatio-
temporelles**

Introduction Chapitre 3

Les inondations par la mer et leurs impacts sur les villes situées sur le littoral sont des questions importantes qui prennent de plus en plus de place dans le débat scientifique en raison du changement climatique global et des conséquences liées à l'élévation du niveau de la mer. La prise en compte de la composante aléa dans ce travail permet de spatialiser et de quantifier le niveau d'exposition du territoire étudié. Cette étude, bien qu'ayant principalement une portée académique, vise également à fournir aux gestionnaires des outils de cartographie pour comprendre l'ampleur de la vulnérabilité physique et orienter des stratégies de gestion visant à réduire de cette vulnérabilité.

Pour atteindre cet objectif, ce chapitre se concentre sur **l'évaluation de l'aléa à différentes échelles spatio-temporelles et en combinant d'autres facteurs d'aggravation de l'aléa**. Il convient de noter que la cartographie de l'aléa submersion marine et les différentes formes qu'elle peut prendre sont difficiles à mettre en œuvre en raison de la complexité des données, des paramètres et des processus qui interagissent dans ce phénomène rendent cette phase d'évaluation très difficile. Cependant, comme le soulignent Blin (2001) et Guillier (2017), cette phase est essentielle dans toute étude liée aux risques naturels. Il faut noter qu'au Gabon, il n'existe pas des cartographies techniques réalisées par les services techniques de l'état sur les zones potentiellement inondables, encore moins sur celles en lien avec des inondations par la mer. Cette situation ne permet pas d'appliquer la réglementation et vigueur sur les plans d'exposition aux risques (PER).

Dans ce chapitre, nous avons adopté une approche qui se veut potentiellement reproductible pour caractériser l'aléa et son extension spatiale à différentes échelles spatio-temporelles pour les zones où les données sont insuffisantes. La méthodologie présentée comprend la construction des cartes d'exposition, ainsi que les techniques d'acquisition et de traitement des jeux de données utilisées. Ces dernières ont constitué une grande partie de notre temps de travail dans cette recherche. Nous avons également souligné l'importance de l'enquête de terrain en utilisant une approche historique des événements passés, des données topographiques et marégraphiques. Cette démarche globale permet de répondre à trois questions essentielles :

- 1) Quelles sont les zones potentiellement exposées aux inondations marines ?**
- 2) Quels sont les facteurs d'aggravation de cette exposition ?**
- 3) Comment cette exposition va-t-elle évoluer dans le temps et dans l'espace ?**

Bien que notre travail concerne la commune de Port-Gentil *stricto sensu*, nous avons souhaité déterminer le niveau d'exposition de l'ensemble du secteur nord de la l'île Mandji en raison des enjeux stratégiques présents sur cette partie de la commune. Ainsi, la cartographie de l'aléa est d'abord construite avec les données disponibles pour une analyse à l'échelle moyenne et une cartographie plus fine à grande échelle (Centre-ville). Ces deux niveaux d'analyse vont structurer cette partie consacrée à l'évaluation de la vulnérabilité physique.

Ce chapitre est divisé en quatre sections. La **première section 3.1** sera consacrée au choix de la méthode adoptée pour réaliser l'évaluation de l'aléa à différentes échelles spatio-temporelles et aux données nécessaires à leur construction, à partir des différentes méthodes déjà éprouvées dans la littérature. La **deuxième section 3.2** traite de la reconstitution de l'événement de référence pour le site de Port-Gentil. Elle se concentre sur l'identification d'un événement majeur connu et assez bien documenté. Après l'identification de l'événement, une reconstitution de cet événement du point de vue météo-marin est essentiellement réalisée. Cette reconstitution vise à mieux déterminer les hauteurs d'eau extrêmes de l'événement. La **troisième section 3.3** présente les différentes méthodes de construction des modèles numériques de terrain (MNT) de référence à l'échelle de l'île Mandji Nord et du centre-ville de Port-Gentil pour cartographier l'aléa. La **quatrième section 3.4** présente quelques résultats issus de la mise en carte de l'aléa inondation par la mer et discute sur leurs fiabilités, après une présentation des outils qui ont permis leurs mises en œuvre rapide et répétitive.

3.1 Le choix d'une approche adaptée à la réalité du terrain d'étude et à la disponibilité des données

À Port-Gentil, malgré la faible topographie et son caractère de presque-île, la problématique des inondations par la mer est très peu abordée dans les études réalisées jusqu'à présent dans ce territoire. Cette question est souvent abordée dans les études sur l'érosion côtière, et sa cartographie ne tient compte que des prévisions de changement climatique et notamment celles relatives aux prévisions d'élévation du niveau de la mer à venir (Faure et Rabenkogo, 2014 ; MHUEDD, 2011). Dans le chapitre 1, nous avons présenté les différents modes que peut prendre l'aléa submersion marine et les facteurs d'amplification de cet aléa. Avant même d'aborder la question de la cartographie de l'aléa sur notre terrain d'étude, nous examinons dans cette section les différentes approches permettant la cartographie l'aléa inondation marine et déterminons celle qui est appropriée pour notre terrain d'étude et les échelles d'analyse choisies.

3.1.1 Des approches de mise en carte de l'aléa influencée par la disponibilité des données, des outils et de l'échelle d'analyse

Plusieurs études scientifiques se sont penchées sur la cartographie de l'aléa submersion marine, notamment en France (Anselme *et al.*, 2008 ; Cariolet et Suanez, 2009 ; Caspar *et al.*, 2010 ; Letortu *et al.*, 2012 ; Breilh *et al.*, 2013 ; Le Roy *et al.*, 2016 ; Guillier, 2017). Les estimations locales de l'exposition aux inondations d'origine marine sont de plus en plus basées sur des modèles hydrodynamiques 2D et 3D détaillés, qui simulent la propagation vers la terre du niveau d'eau résultant d'événements de référence spécifique (Battjes et Gerritsen, 2002 ; Cariolet et Suanez, 2009 ; Cariolet, 2011a ; Lerma *et al.*, 2015 ; Le Roy *et al.*, 2016). Dans le cadre de plusieurs projets de recherche en Europe et notamment en France, la modélisation de l'aléa, dans le but de comprendre le phénomène et l'impact potentiel sur les enjeux, est fréquemment utilisée pour évaluer la problématique des inondations côtières. La composante de l'aléa (source) est mise en relation avec le récepteur (la zone côtière) par le biais d'une modélisation numérique capable d'évaluer l'ampleur de l'inondation et les hauteurs d'eau (Krien *et al.*, 2010 ; Letortu *et al.*, 2012 ; Le Roy *et al.*, 2014 ; CESER, 2015 ; Le Roy *et al.*, 2016). Ces modèles prennent en compte un nombre important de paramètres d'entrée afin de coller au mieux à la réalité de l'événement.

En dépit de leur niveau actuel de précision (lorsque toutes les données du site sont disponibles), le principal défi de la modélisation des aléas et, par extension, de l'élaboration des cartes de risques d'inondation, réside dans la combinaison des informations. Cela implique des questions telles que la définition de la maille de calcul, la description des conditions d'état de la mer pour un événement donné et la qualité des données topo-bathymétriques (Brown, 2006 ; Lerma *et al.*, 2015). Il va sans dire que la modélisation des aléas par une approche dynamique à l'échelle locale est complexe et nécessite donc des données d'entrée de bonne qualité et des outils de calcul puissants (Nicolae-Lerma *et al.*, 2017).

Outre la modélisation hydrodynamique (approche dynamique), des modèles d'évaluation stratégique des inondations par la mer ont été développés à l'aide de systèmes d'information géographique (SIG) pour une approche dite statique ou remplissage de baignoire (Anselme *et al.*, 2011 ; Breilh, 2014). Cette approche permet de croiser le niveau d'eau extrême avec la topographie. Il existe plusieurs variantes de cette approche (Krien *et al.*, 2010), qui dépendent des contraintes territoriales et de la diversité des données disponibles. La diversité des approches est d'abord présente dans le choix de l'événement de référence (niveau de marée astronomique, niveau de marée barométrique, prise en compte du setup et/ou du run-up des vagues). L'autre contrainte de cette diversité d'approche est le choix de la topographie utilisée. Ce choix n'est pas sans conséquences sur le niveau de précision de l'extension spatiale de l'aléa.

3.1.2 Choix de la démarche appliqué à la réalité du terrain d'étude

Dans cette recherche, nous avons mobilisé plusieurs outils et approches méthodologiques pour évaluer l'aléa inondation par la mer. Ces protocoles sont spécifiques à la dynamique de l'aléa étudié et à l'échelle d'analyse considérée (Krien *et al.*, 2010). Compte tenu de l'ensemble des points présentés dans la sous-section précédente, il s'agit des mesures *in situ* réalisées pour la construction des données topographiques ou la recherche documentaire pour identifier et caractériser les événements de référence, permettant de déterminer les différents scénarios susceptibles d'impacter la ville de Port-Gentil.

Notre approche est relativement simple et repose essentiellement sur les paramètres d'un événement historique et une modélisation empirique. Cela nous permet de déterminer les niveaux d'eau qui ont impacté la ville dans le passé et d'anticiper les impacts potentiels futurs. Cette approche prospective nous aide à mieux comprendre les risques d'inondation à venir. Cette approche nous permet donc de fournir des informations précises sur le risque d'inondation par la mer pour la ville de Port-Gentil.

3.1.2.1 Approche méthodologique de la mise en carte de l'aléa inondation marine

Dans la plupart des études sur les risques naturels, et notamment sur les inondations d'origine marine, il est souvent nécessaire de partir d'un événement historique connu (Elineau, 2013 ; Krien *et al.*, 2010 ; Le Roy *et al.*, 2014 ; Lerma *et al.*, 2015 ; Letortu *et al.*, 2012), afin de caractériser et replacer l'événement dans son contexte climatique et marégraphique (Costa, 1997 ; Letortu, 2013). Pour notre travail de recherche, l'objectif est de collecter des informations sur les événements antérieurs afin : 1) **d'établir les ordres de grandeur les plus fins possible**, 2) **de déterminer les zones déjà touchées par l'événement et les conditions météo-océaniques qui ont prévalu lors de ces événements** et 3) **de cartographier les zones d'exposition passées avec une réalité topographique et les conditions météo-océaniques actuelles**.

Dans cette recherche, il s'agit principalement des inondations marines par débordement. Dans l'approche mise en œuvre, nous avons recherché les événements passés exclusivement liés à ces inondations, c'est-à-dire les inondations qui se produisent par une connexion directe de surface avec la mer. Ce type d'inondation est caractérisé par une continuité spatiale d'élévations topographiques inférieures à celles du niveau d'eau extrême, et prend en compte un certain nombre de composantes météo-marins (pression, atmosphérique, force et la direction du vent, marée astronomique prédite, la surcote, l'effet de la houle à la côte, etc.) (Figure 3-1).

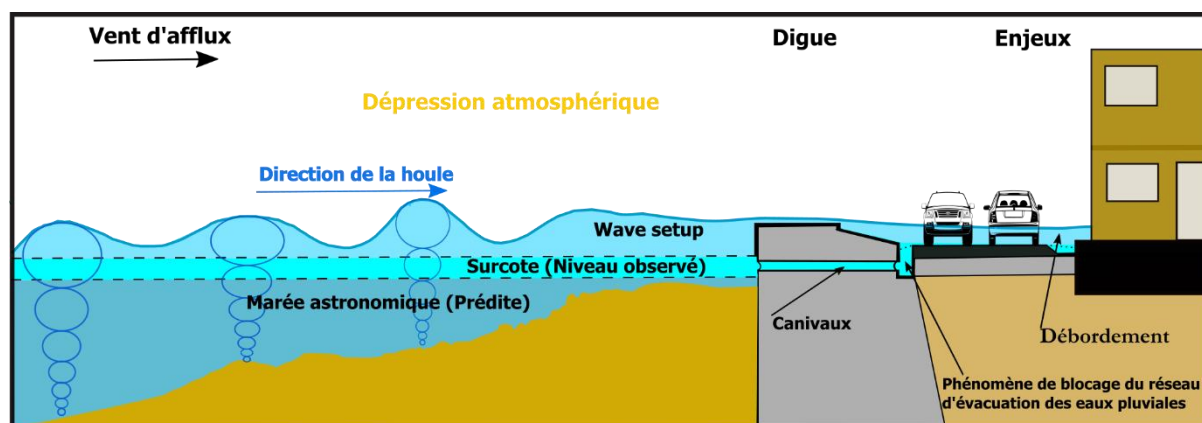


Figure 3-1 : Paramètres responsables des inondations directes de la mer (inspiré de Graff, (2020), (Réalisation L. YEMBI, 2022)

La méthode utilisée pour cartographier les inondations marines est basée sur la démarche de cartographie du risque d'inondation marine décrite pour la mise en œuvre du Plan de Prévention des Risques de Submersion Marine (PPRSM) en France (MEDDE, 2014 ; Cerema, 2018). La doctrine de cette approche cartographique prévoit de croiser la topographie et le niveau marin de référence extrême. Le niveau d'eau de référence doit être déterminé à partir du plus fort événement historique connu (plus ou moins bien documenté) ou l'événement centennal calculé à la côte. Le niveau marin doit également intégrer la surcote générée par l'action des vagues (houle) et les effets du changement climatique, notamment l'élévation du niveau de la mer le plus défavorable. Dans notre cas, il s'agit de l'évolution du niveau de la mer à l'horizon 2100 défini dans le rapport du GIEC 2021 (GIEC, 2021) à partir des scénarios SSP1-1.9 et SSP5-8.5. Le niveau d'eau estimée est ensuite reporté sur le référentiel topographique acquis ou construit afin d'observer l'extension des zones inondables.

L'intérêt de cette approche dans le cadre de notre étude réside dans sa simplicité de mise en œuvre sous SIG et surtout en raison d'une part du fait que nous ne disposons pas d'outil libre de modélisation dynamique permettant de modéliser l'aléa inondation marine, et d'autre part, le fait que cette méthode nécessite des séries de données d'entrées précises. Il faut signaler que cette recherche ne traite pas du phénomène d'érosion. Les paramètres dynamiques du recul du trait de côte n'ont pas été pris en compte, car le trait de côte dans la zone d'étude est en grande partie stable (Menie Ovono, 2010) et le plus souvent fixé par les ouvrages (côte est). La démarche d'ensemble est présentée par la Figure 3-2.

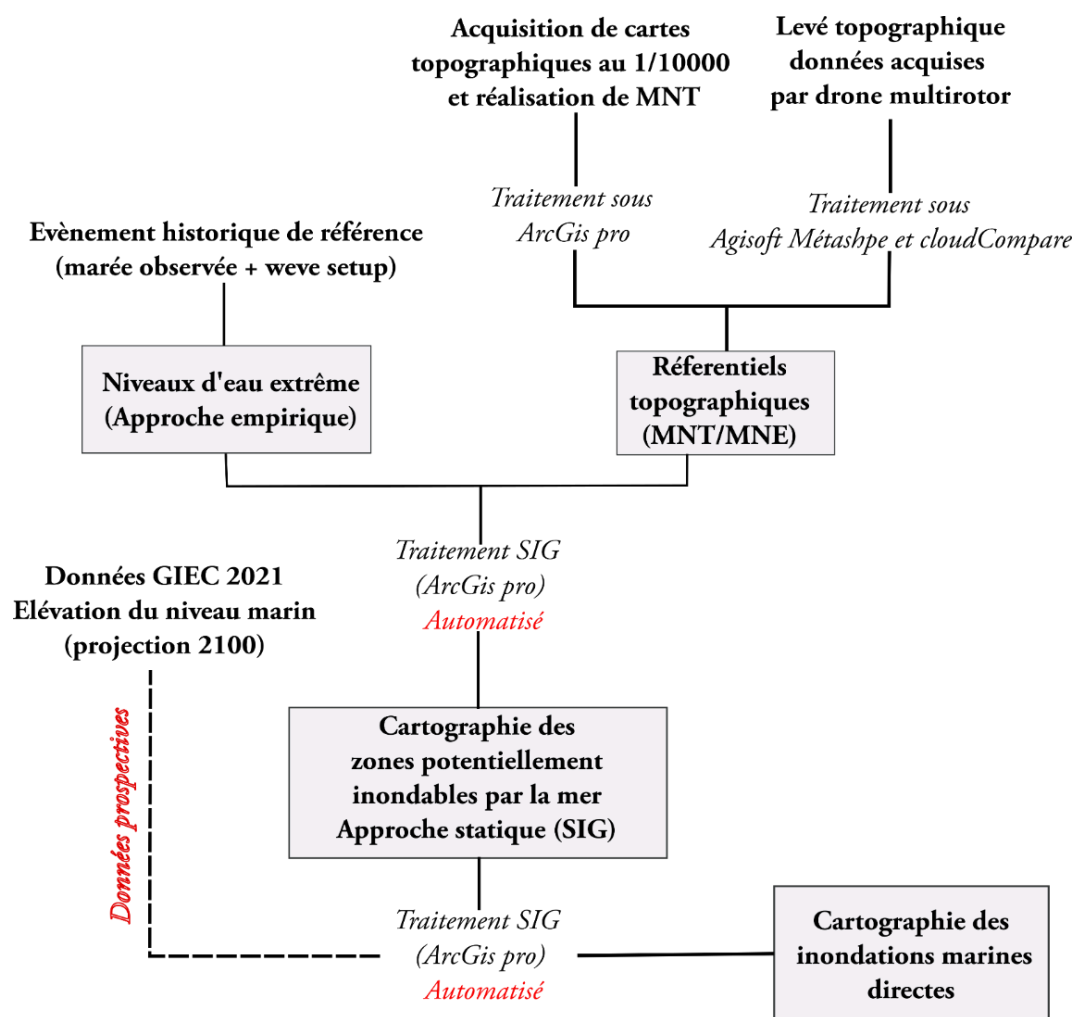


Figure 3-2 : Description de la méthodologie de cartographie des inondations directes par la mer à partir des différentes données acquises et les scénarios possibles. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Cette approche méthodologique dite classique ou statique (MEDDE, 2014) également appelée « submersion passive » (Cariolet *et al.*, 2012), est l'objet de quelques controverses dans la littérature (Cariolet et Suanez, 2009 ; Letortu, 2013 ; Breilh, 2014). Cette approche implique la projection du niveau d'eau sur un modèle topographique sans tenir compte des obstacles potentiels tels que des éléments naturels (cordon dunaire) ou anthropiques (digue).

Le principal problème avec cette approche est qu'elle ne prend pas en compte les facteurs qui peuvent influencer la propagation de l'eau à la côte. Ainsi, bien que la production de cartes de zones inondables soit efficace en termes de rapidité, elle ne tient pas compte de l'impact de l'élévation du niveau marin sur le fonctionnement hydrosédimentaire côtier, qui peut bloquer la propagation de l'eau vers les terres basses en arrière des dunes ou des ouvrages de protection.

En conséquence, il est important de relever que cette approche présente des limites importantes qui peuvent nuire à la fiabilité des résultats obtenus. Il est donc recommandé de prendre en compte ces limites lors de l'utilisation de cette méthodologie et d'envisager d'autres approches plus complètes pour une analyse plus précise des zones inondables (Garry et Graszka, 1999).

3.1.3 Choix des échelles spatiales d'évaluation

À ce jour les terminologies données aux échelles spatiales dans la littérature sont encore en débat dans la communauté scientifique (échelle mondiale, continentale, nationale, infranationale, locale). L'échelle spatiale impose, un changement du niveau administratif et juridique du territoire (province, département, commune, quartier, îlot, parcelle), le mode de représentation spatiale des formes, par exemple le passage d'un niveau détaillé des limites d'un territoire à niveau plus généralisé (la généralisation) (Béguin et Pumain, 2014).

Le choix de l'échelle spatiale permettant la mise en carte de l'aléa et plus globalement l'évaluer la vulnérabilité physique est important. Elle permet d'identifier le type de données à prendre en compte, la méthode de cartographie de l'aléa à considérer et les facteurs d'aggravation à intégrer dans la mise en œuvre de la cartographie de l'aléa. Ainsi, plusieurs échelles d'analyse de l'aléa permettent l'évaluation de l'aléa dans un espace géographique considéré, en fonction des outils d'analyse et les données à disposition. Il faut ajouter à cela, les objectifs poursuivis par l'évaluation. Ainsi, on peut distinguer quatre (4) échelles d'analyse.

- **L'échelle mondiale (>1/1 000 000)**, permet d'évaluer l'aléa globalement, afin d'identifier le niveau d'exposition de la population, les tendances d'évolution du risque en fonction des changements globaux et d'identifier les pays ou les littoraux les plus exposés (Almar *et al.*, 2021 ; Tiggeloven *et al.*, 2020 ; Ward *et al.*, 2013).
- **L'échelle nationale (1/1 000 000 - 1/ 250 000)** a pour objectif de mettre en place des stratégies nationales de gestion des risques. À cette échelle sont mises en place des priorités territoriales en matière d'action à mettre en place pour faire face à l'aléa. Il est établi une cartographie de l'aléa telle que la cartographie des zones basses sur l'ensemble du territoire Français. À cette échelle, plusieurs contraintes spatiales ne sont pas prises en compte, telles que la différence de marnage du niveau de la mer, la typologie de la côte, ou le comportement de la houle à la côte (Krien *et al.*, 2010). Ces deux échelles sont donc à considérer du point de vue cartographique comme la « **petite échelle** ».
- **L'échelle infranationale ou échelle moyenne) (1/100 000 - 1/25 000)**, n'est pas totalement différente dans la mise en carte de l'aléa que l'échelle nationale. Par contre, la différence réside dans la considération et l'intégration des facteurs météo-marins propres

au secteur d'étude (ville, province ou région, zone géographique)(Caspar *et al.*, 2010 ; Letortu *et al.*, 2012), et dans l'évaluation de l'impact des enjeux dont l'occupation du sol est souvent utilisée (Boschetti, 2020 ; Yoo *et al.*, 2014).

- **L'échelle locale ou grande échelle (1/10000 - 1/2000)** permet d'affiner la spatialisation de l'aléa. À cette échelle, l'approche dynamique est le plus souvent mise en œuvre, compte tenu de la surface plus réduite de la zone de calcul des mécanismes d'agitation de la mer et de la possibilité d'acquérir une topographie plus fine. Les enjeux sont souvent considérés individuellement et englobent plusieurs indicateurs variés (bâti, infrastructures, etc.)(Garcin *et al.*, 2008).

Afin de réaliser une évaluation adaptée à la réalité du territoire d'étude, deux échelles spatiales d'analyse emboîtées sont proposées dans cette recherche : **l'échelle moyenne** et **la grande échelle**. Ces deux échelles ont été privilégiées en raison de l'étendue des deux niveaux d'évaluation choisis pour évaluer la vulnérabilité physique des enjeux (Chapitre 4). Ainsi, elles sont cohérentes avec la représentation spatiale des informations géographiques collectées et construites. Ces deux échelles d'analyse considérées vont également, dans la suite de ce travail, guider le mode de représentation des enjeux potentiellement exposés (Chapitre 4). Elles vont ainsi déterminer les indicateurs qui vont servir à caractériser non seulement l'exposition de ces enjeux, mais également le niveau de vulnérabilité physique.

3.1.3.1 Évaluation à l'échelle moyenne

L'évaluation à l'échelle moyenne vise à avoir une vision globale de l'exposition de la partie nord de l'île Mandji aux inondations côtières. Elle considère l'ensemble de cette zone géographique, allant de la pointe du Cap Lopez au nord de la limite administrative de Port-Gentil, jusqu'au cimetière municipal de N'Tchengué au sud de la commune. Pour cela, nous utiliserons des données topographiques accessibles facilement pour cartographier les zones côtières les plus exposées aux inondations. Nous prendrons également en compte les prévisions de changement climatique relatives à l'élévation du niveau de la mer à venir pour évaluer l'évolution future de l'exposition de cette zone.

Cette étape d'évaluation permettra d'avoir une première idée rapide de l'ampleur de l'exposition de l'ensemble de la partie nord de l'île Mandji aux inondations côtières. Cela permettra également de déterminer les zones les plus exposées et les facteurs d'aggravation les plus importants, ainsi que d'évaluer les risques pour l'ensemble de cette partie de l'île.

3.1.3.2 Évaluation à grande échelle ou fine

L'échelle fine se concentre sur la commune de Port-Gentil elle-même, particulièrement sur la première couronne urbaine telle que présentée au chapitre 2. Plus précisément elle s'étend de la baie du Cap Lopez à l'est, au boulevard Léon MBA à l'ouest (~1km), et de la route de Cora Wood au nord à la nouvelle base marine au sud (~4,5 km). Ce secteur est coupé en deux d'est en ouest par le canal principal de la ville qui draine les eaux pluviales. Du point de vue topographique, cette zone est l'une des plus basses de la partie urbaine de la commune, avec une altitude moyenne de 1,5 m NGCLZ (Figure 3-3). Comme exposé dans le chapitre 2, cette zone concentre l'ensemble des enjeux décisionnaires de la ville et une diversité d'enjeux économiques, éducationnels et résidentiels. A l'échelle fine, en plus de la méthode de cartographie de l'aléa inondation directe par la mer, c'est à partir de cette échelle que nous avons testé l'hypothèse d'un blocage des écoulements des eaux pluviales, en raison d'une élévation au-dessus des ouvrages d'assainissement des eaux pluviales du niveau des plus hautes mers astronomiques. Cette évaluation à l'échelle fine permettra de cartographier de manière détaillée les zones les plus exposées aux inondations marines et de déterminer les facteurs d'aggravation les plus importants pour cette zone à partir des données plus précises.

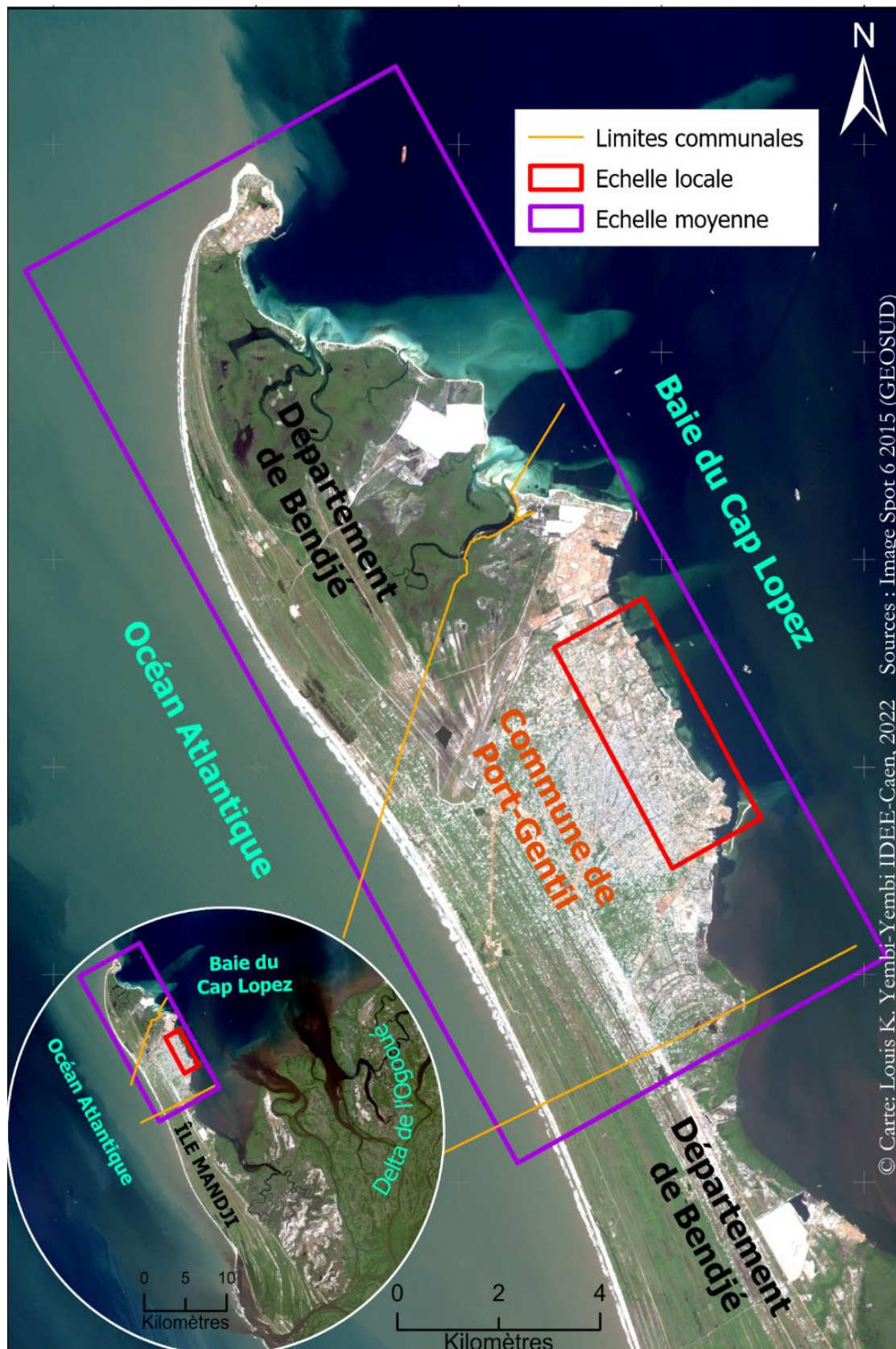


Figure 3-3 : Localisation des deux zones d'expérimentations, représentant les deux niveaux d'échelle d'analyse (Réalisation L. YEMBI, 2022)

3.2 Déterminer le niveau d'eau de référence et différents scénarios

L'une des premières composantes de l'aléa inondation marine et la détermination du niveau d'eau capable de passer par-dessus les éléments naturels ou anthropiques protégeant les terres se situant derrière ces éléments. Pour ce faire, il est souvent admis d'avoir une démarche rétrospective sur le risque avant d'entreprendre une évaluation sur la situation présente ou prospective. Ainsi, afin de comprendre le type et la nature des inondations d'origine marine et induite par la mer, qui représente sans aucun doute un réel danger pour l'ensemble du territoire de l'île Mandji et particulièrement pour la commune de Port-Gentil en tant qu'entité administrative, cette section aborde la question de la reconstruction de l'événement de référence à travers une enquête documentaire qui nous a amené à Libreville, Port-Gentil, Paris et à Brest et les différents scénarios des niveaux d'eau.

3.2.1 Partir d'événements historiques connus et documentés pour déterminer les niveaux d'eau de référence et les niveaux d'eau scénarisés

Le principal obstacle à la caractérisation et la spatialisation de l'aléa submersion marine sur notre site d'étude est clairement le manque de données historiques et le réseau de mesure sur le long terme. C'est un constat qui est fait dans plusieurs études sur les risques naturels (Lecacheux *et al.*, 2013 ; Rakotoarisoa, 2017), le plus souvent en Afrique (Da, 2021). Au niveau du Gabon et particulièrement à Port-Gentil, très peu d'observation *in situ* couvrent une période de plus de 5 ans. La plus longue observation marégraphique remonte au début de l'indépendance en 1960.

Très peu d'informations sur les inondations d'origine marine ont été recueillies. Nous n'avons pas été en mesure d'établir une quelconque chronologie des événements antérieurs. Les raisons de ce constat se trouvent d'une part, dans le manque de politique d'archivage des médias et de l'administration, et d'autre part, elles peuvent s'expliquer par le caractère non catastrophique d'un certain nombre d'événements passés. Malgré ce manque d'information sur les événements passés, un seul événement a été identifié dans la presse. Il s'agit de l'événement du 5 mars 1962 qui décrit comme la tempête du siècle. Très peu de détails sont fournis dans cette coupure de presse sur les conditions météo-marins. Des erreurs dans la description des conditions marines et même sur la date réelle de l'événement ont été relevées.

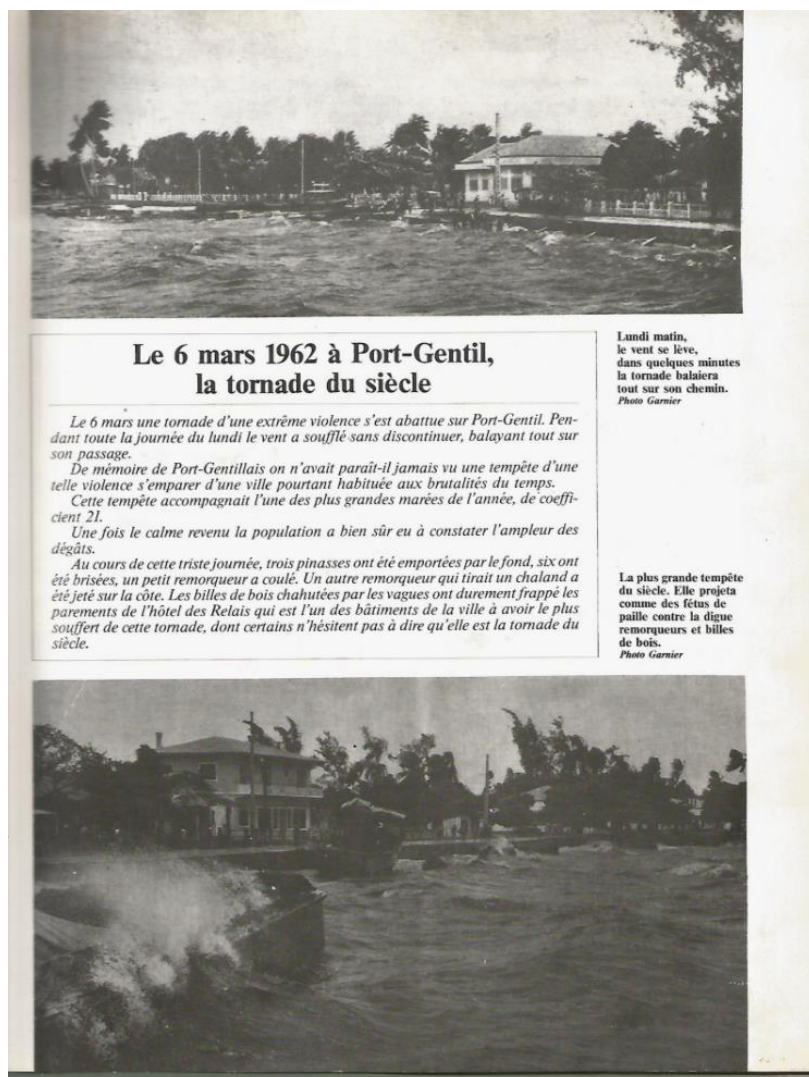


Figure 3-4: Coupure de presse présentant l'événement historique de référence ayant causé des inondations par la mer dans la commune de Port-Gentil avec d'importants dégâts sur la façade est.

Face à toutes ces lacunes dans la description de l'événement, nous avons cherché à reconstituer les caractéristiques météo-marines de cet événement afin de préciser le niveau d'impact potentiel d'un tel événement aujourd'hui. Ceci nous a permis de redéfinir la date réelle de l'événement qui avait été initialement identifiée comme étant le 06 mars 1962 (Figure 3-4). Les données utilisées pour reconstituer cet événement historique proviennent de plusieurs sites, notamment, les archives nationales du Gabon au niveau de Libreville, la capitainerie du Port de Port-Gentil et le SHOM à Brest pour ce qui est des données marégraphiques et de l'ASCNA de Port-Gentil pour les données météo. Par rapport aux données marégraphiques, très peu de marégraphes ont fonctionné sur plus de 5 ans au Gabon. À ce jour, Port-Gentil ne dispose pas de marégraphe permettant d'enregistrer localement les variations du niveau de la mer. Quelques observations ont eu lieu pendant la période coloniale et peu après l'indépendance en 1960. De 2008 à ce jour, seul le marégraphe du port d'Owando semble fonctionner (Figure 3-5).

Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles

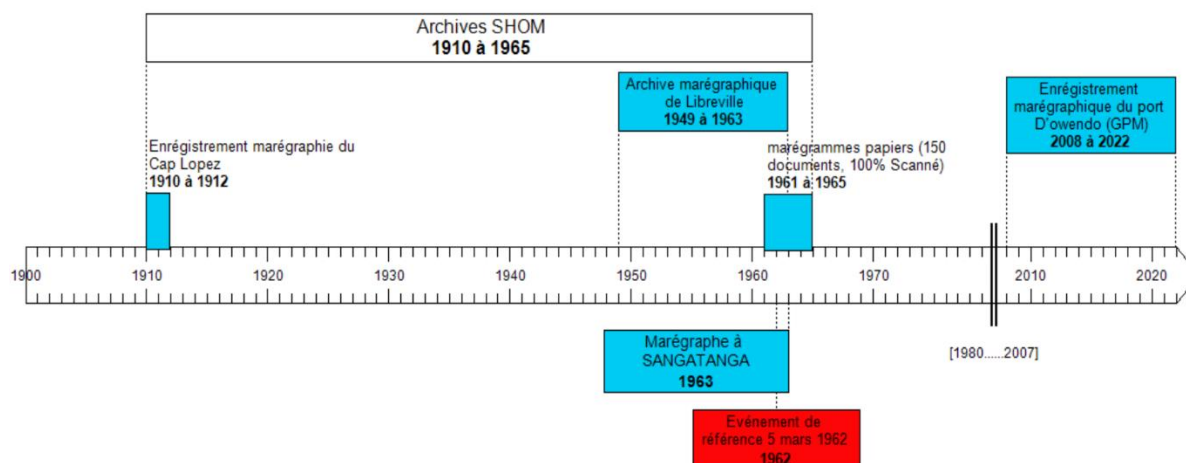


Figure 3-5: Chronologie des observations marégraphiques sur le littoral gabonais (Sources : SHOM, GPM, (Reconstitution par L. YEMBI, 2022).

Au niveau du SHOM, nous avons pu entrer en possession des marégrammes de la période 1961-1965 qui présentait des anomalies marégraphiques (Tableau 3-1), c'est-à-dire des élévations de marée plus hautes que l'ensemble des signaux représentés sur les marégrammes, et avec énormément de bruit sur le signal, correspondant à l'agitation de la mer.

Date d'enregistrement des marées	Nombre de signale	Date de signal anormalement haut	Niveau observé SHOM	Période de marée
19/02/1962 au 06/03/1962	12	05/03/1962	2,46 m	Vives eaux
06/03/1962 au 12/03/1962	7	08/03/1962	2,26 m	Vives eaux
19/03/1963 au 25/03/1963	6	24/03/1963	2.31 m	Vives eaux
13/01/1965 au 20/01/1965	7	19/01/1965	2,30 m	Vives eaux
20/01/1965 au 27/01/1965	6	22/01/1965	2.11 m	Vives eaux
10/02/1965 au 17/02/1965	7	15/02/1965	2,03 m	Mortes-eaux

Tableau 3-1 : Différentes anomalies relevées sur les marégrammes de la période 1961-1965 (Source : SHOM).

3.2.2 Reconstitution de l'événement d'historique de 1962

À la lecture de la coupure de presse, l'un des premiers objectifs a été de déterminer la date exacte de l'événement. Sur le titre de la coupure de presse, il est fait mention du « 6 mars 1962 ». Cependant, des indications supplémentaires situées à droite du document font référence à un lundi matin du mois de mars. Après vérification, il s'est avéré que le 6 mars 1962 était en réalité un mardi, et que le lundi correspondait au 5 mars. Pour vérifier cette information, nous avons eu recours à

Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles

d'autres sources telles que les marégrammes collectés par le SHOM, couvrant la période allant du 19 février 1962 au 6 mars 1962 (Figure 3-6 A) et des données météorologiques couvrant la période 1960-1988 (Figure 3-6 B).

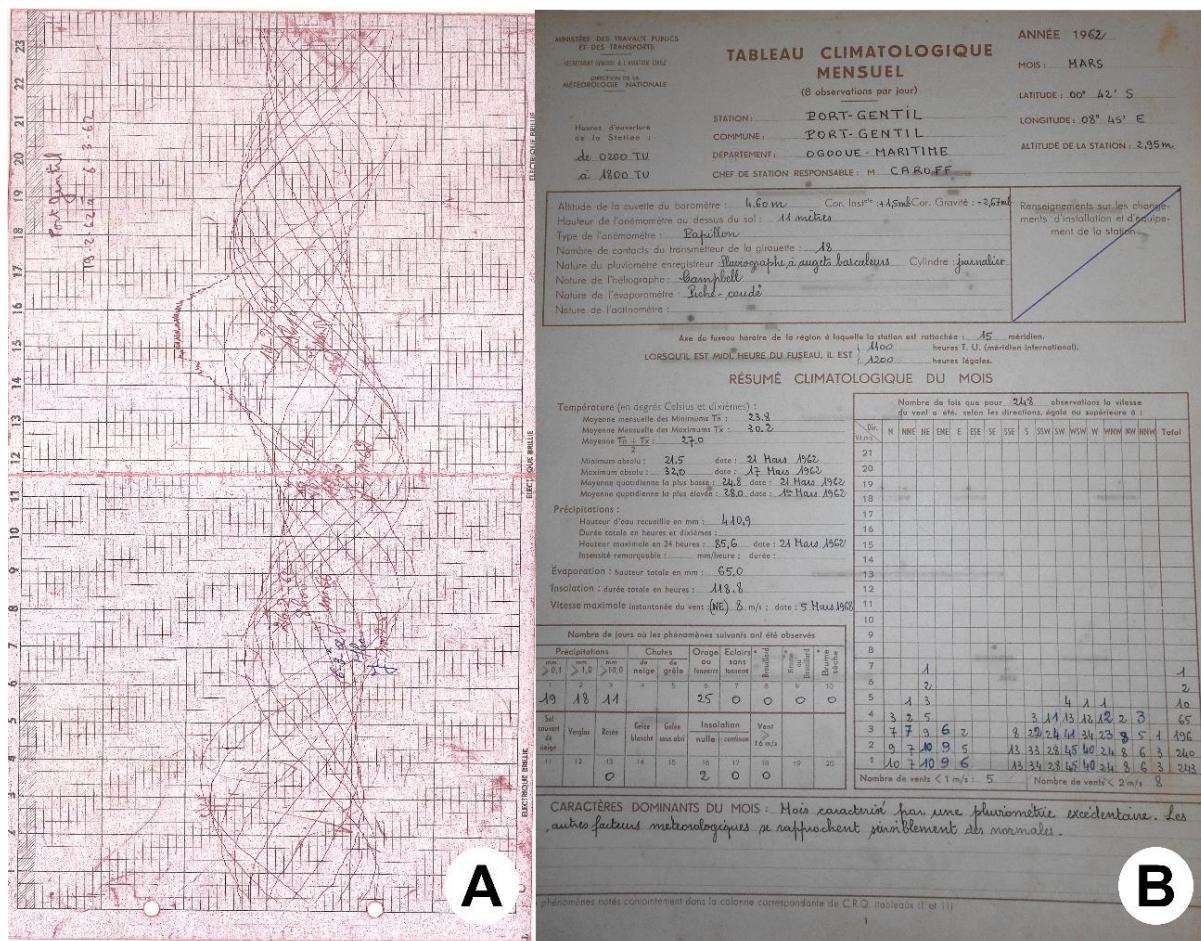


Figure 3-6 : Exemples de marégramme provenant du SHOM du 19/02/ au 06/03/ 1962, soit 16 jours (A) et des tableaux climatologiques mensuels provenant de l'ASECNA (B)

Nous avons également inclus une analyse approfondie de la dynamique marine dans notre processus de reconstitution de l'événement. En plus des données recueillies auprès de diverses sources, nous les avons confrontées aux informations sur l'état de la marée au moment de l'événement. Ces informations ont été obtenues à partir du site du SHOM (Figure 3-7), et nous ont permis d'obtenir des paramètres quantitatifs pour décrire, de manière plus ou moins précise le contexte marin qui prévalait lors de cet événement. D'après la compilation des informations contenues dans les différents documents, notamment les relevés du marégraphe de la période du 19/02/1962 au 06/03/1962, nous avons constaté qu'un niveau de marée anormalement haute avec des traces d'agitation de la mer a été enregistré le 5 mars 1962 entre 14h et 17h, atteignant **2,46 m** par rapport au zéro hydrographique de Port-Gentil. En le rapportant au Nivellement Général de Cap Lopez (NGCLZ), celle-ci était de **2,12 m**. En comparant ces données à la marée prévue par le

Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles

SHOM, qui était de **2,04 m** (NGCLZ) (Figure 3-7), nous avons observé une surcote **~8 cm** entre 15h00 et 16h00.



Figure 3-7 : État de la marée à Port-Gentil lors de l'événement du lundi 5 mars 1962 (Source SHOM)

En plus d'analyser l'état de la marée, nous avons également pris en compte les conditions météorologiques qui ont précédé et accompagné l'événement de haute marée. D'après les enregistrements de la station météorologique de Port-Gentil, nous avons observé des vents d'afflux venant du nord-est, avec une intensité variant jusqu'à **7 m/s** et des rafales atteignant **8 m/s**. De plus, bien que l'événement ait eu lieu pendant la période de pression atmosphérique mensuelle la plus basse (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Chapitre 2), nous avons constaté une diminution progressive de la pression atmosphérique jusqu'à **1007 hPa** au cours des quatre heures de marée haute.

Il est important de souligner qu'aucune information sur la houle en haute mer n'a été retrouvée dans les archives (Figure 3-8). Toutefois l'article de presse mentionne de nombreux dégâts, tels que des remorqueurs projetés sur la principale route littorale de cette façade Est, ce qui pourrait suggérer une présence de forte houle et de vents violents.

Étant donné que cet événement est le seul identifié et relativement bien documenté, nous l'avons considéré comme l'événement de référence pour les inondations marines dans la commune. La Figure 3-8 présente une reconstitution de la situation météo-marine qui semble avoir prévalu lors

Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles

de cet événement. On peut observer une corrélation entre l'élévation du niveau de l'eau et les conditions météorologiques de 14h à 17h (bande grise). Le pic de la marée s'est produit entre 15h et 16h, et la surcote enregistrée pendant cette période varie entre **7 cm et 12 cm**, correspondant approximativement à la surcote barométrique identifiée lors de la comparaison des informations du marégraphe installé à Port-Gentil et celle du SHOM prédites.

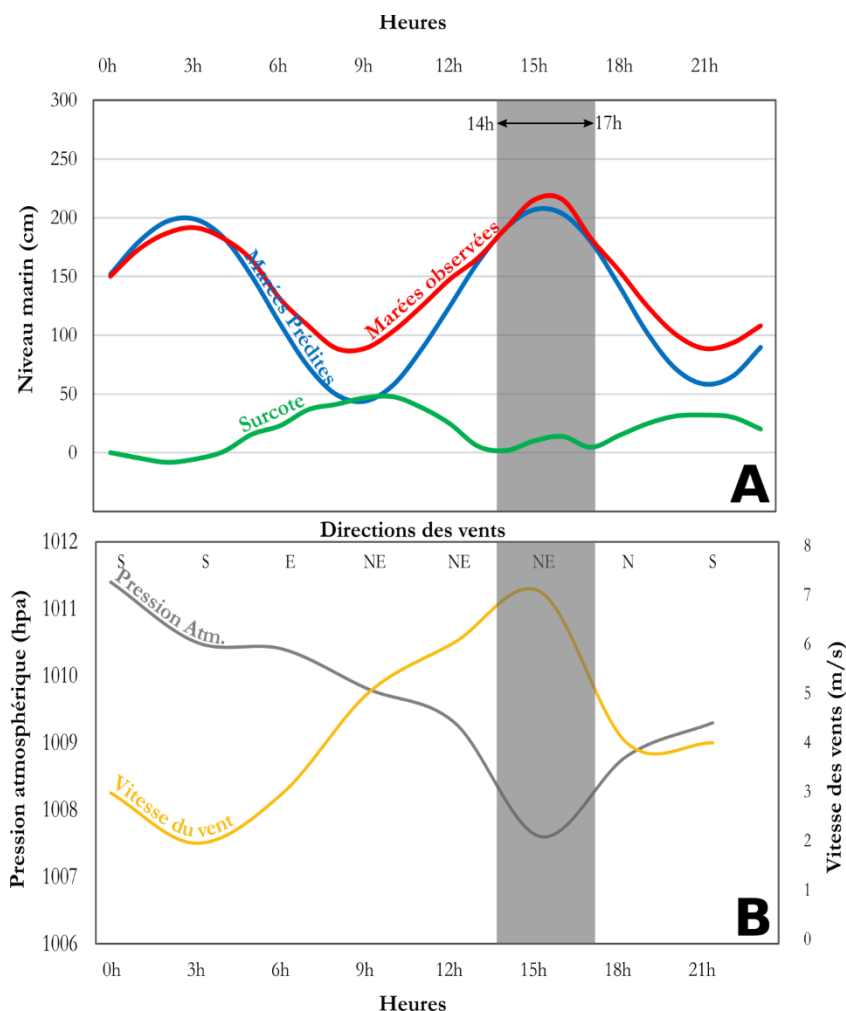


Figure 3-8 : Conditions météo-marines de l'événement de référence du 5 mars 1962 reconstituée. Avec la reconstitution de la marée et des surcotes observées (A), les conditions météorologiques enregistrées à la station de Port-Gentil (B) (Réalisation L. YEMBI, 2022)

3.2.2.1 Déterminer le niveau d'eau extrême : la prise en compte du wave setup, par une approche empirique

À partir de notre événement de référence, nous avons pu déterminer le niveau d'eau avec l'action des vagues à la côte. Les enregistrements des marégraphe se réfèrent généralement à la hauteur d'eau à la côte lors d'une tempête et ne tiennent pas compte de l'agitation de la mer causée par les tempêtes, qui sont le résultat de la combinaison d'une faible pression atmosphérique et de vents persistants qui poussent l'eau à la surface de l'océan (Anselme *et al.*, 2011 ; Kergadallan, 2015). De

plus, lorsqu'il s'agit de vents d'afflux (configuration du vent), l'eau s'accumule à la côte. À partir des métadonnées des marégrammes du SHOM, nous avons constaté que le marégraphe de Port-Gentil entre 1962 et 1965 se trouvait dans une structure abritée de la houle au quai du port Môle (Cf. Annexe 1). Dans ces conditions d'abri, seule la surcote liée à une dépression météorologique est considérée (l'effet du baromètre inversé dont une baisse de 1 hPa entraîne une élévation de la surface de l'eau de 1 cm.). Il s'agit ici, du niveau d'eau sans action de la vague (Breilh, 2014 ; Cariolet et Suanez, 2013 ; Kergadallan, 2015 ; Stockdon *et al.*, 2006). Il semblerait que le niveau d'eau ayant déporté les remorqueurs sur la route soit sous-estimé, en raison de la position du marégraphe et de la description de l'événement.

Pour évaluer les niveaux d'eau extrêmes des inondations marines sur la commune de Port-Gentil, nous avons utilisé une approche d'empilement linéaire des lames d'eaux déterminées et calculées. En effet, lorsque les mesures et les observations de terrain sont insuffisantes ou absentes pour une modélisation précise des hauteurs d'eau potentielles lors d'un événement de submersion, l'utilisation de formules empiriques peut être envisagée (Fortunato *et al.*, 2016). Pour ce faire, nous avons considéré trois paramètres clés importants qui contribuent à augmenter le niveau d'eau marin lors d'un événement tempétueux : la **marée astronomique**, le niveau d'eau généré par les **conditions barométriques (surcote)**, qui ensemble constituent le **niveau d'eau instantanée observé au niveau du marégraphe** et le **wave setup**. Le wave setup résulte de l'augmentation de la hauteur d'eau induite par le déferlement de la houle se propageant vers la côte (Komar, 1998 ; Ruggiero *et al.*, 2001 ; Stockdon *et al.*, 2006 ; Cariolet, 2011b). Cette augmentation va engendrer une augmentation de la hauteur du niveau d'eau, qui pourra alors passer au-dessus du niveau initial de la houle au large et potentiellement déborder par-dessus la route littorale où une barge de remorquage a été retrouvée.

Le wave setup est considéré comme un facteur important d'inondation pour les côtes exposées à des vagues hautes (O'Grady et McInnes, 2010). En raison de l'impact des récentes tempêtes dans le monde, le wave setup est considéré dans l'évaluation des inondations par la mer, comme pour la tempête Katrina aux États-Unis le 25 août 2005, ou Xynthia qui a touché sévèrement la côte ouest française entre le 27 et le 28 février 2010. En utilisant cette approche qui considère le wave setup, nous espérons améliorer la compréhension des niveaux d'eau extrêmes sur la commune de Port-Gentil et fournir des informations utiles pour la gestion des risques d'inondation.

3.2.2.2 Détermination du wave setup à partir d'une approche empirique

Dans cette recherche, il est proposé de donner une estimation du wave setup susceptible d'engendrer des inondations marines capables de déplacer une barge vers la terre, comme mentionné dans la coupure de presse. À cette fin, le wave setup est modélisé par une approche

Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles

basée sur une formule empirique générique généralement utilisée et appliquée à la configuration des deux façades de l'île Mandji. Le wave setup dépend de la hauteur H_{s0} , de la période L_0 de la houle au large, et de la pente de la plage ou de l'estran β (Stockdon *et al.*, 2006).

Il est important de noter que les premiers travaux de modélisation du wave setup ont été effectués à partir d'expérimentation en laboratoire dans les années 1956, notamment aux États-Unis. Les premières bases théoriques ont été établies par Longuet-Higgins (1956). Il existe un grand nombre de formules empiriques et analytiques pour calculer le wave setup, qui donnent parfois des résultats très divergents (Petitjean, 2016). Ces formules sont basées sur des expériences en laboratoire (canal à ondes), mais aussi sur le terrain. Les paramètres de mesure sont tous différents, tant au niveau du protocole que des environnements d'expérimentation. Cette disparité tient tout d'abord à la multitude de configurations de façade maritime (abrité ou pas), de la morphologie de l'avant-plage, du caractère naturel ou anthropisé de la côte, mais aussi du marnage de la zone d'étude (micro, macro et mésotidal). Dans la littérature, les formules les plus couramment utilisées sont celles de Komar, (1998) et de Stockdon *et al.*, (2006) (Tableau 3-2).

Auteurs	Formules	Type de plages associées	Type de marnages
(Komar, 1998)	$\eta = 0,45 H_{s0} \xi_0$	$0,026 < \beta < 0,14$	Microtidal
(Stockdon <i>et al.</i> , 2006)	$\eta = 0,016 \sqrt{H_{s0} L_0}$	$\xi_0 < 0,3$, plage dissipative	Microtidal et mesotidal
	$\eta = 0,35 \beta \sqrt{H_{s0} L_0}$	$\xi_0 > 0,3$, plage réfléchive	

Tableau 3-2 : Formules empiriques du wave setup les plus utilisés dans la littérature

Nous avons retenu les formules des deux auteurs, en tenant compte des caractéristiques de la côte de l'île Mandji. En effet, une précédente étude sur l'évolution du littoral et sur les plages sableuses microtidales de l'île Mandji a été réalisée par Menie Ovono, (2010). Cette étude montrait que les plages de la partie nord de l'île Mandji peuvent être considérées, d'un point de vue morphologique, comme des plages intermédiaires proches des plages dissipatives (côte est) et réfléchissantes (côte ouest). Ainsi, afin de nous affranchir des contraintes liées à la typologie des plages, nous nous sommes basés sur la formule empirique de Komar (1998) dont les conditions de pente de la plage incluent celles de la côte est et de la côte ouest, conformément aux travaux d'Ondo Assoumou

(2006), de Rabenkogo (2007), ainsi que celle de Menie Ovono (2010) dans la zone du delta de l'Ogooué. Ces études montrent des pentes de plage comprises entre 4% et 6%.

Dans la formule de Komar, le η correspond à l'élévation maximale atteinte par le wave setup, 0,45 est une constante sans dimension, H_{so} la hauteur de la houle significative au large. En l'absence de relevé au moment de l'événement, H_{so} est la hauteur de la houle moyenne de 1/3 des plus fortes vagues et ξ_0 est le nombre d'Iribarren dont la formule est donnée par l'équation 3.1 :

$$\xi_0 = \frac{\tan\beta}{\sqrt{H_{so}/L_0}} \quad [3.1]$$

Dont β est la pente bathymétrique de la plage et L_0 la longueur d'onde au large, représenté par l'équation 3.2 :

$$L_0 = \left(\frac{g}{2\pi}\right)T^2 \quad [3.2]$$

Avec g qui est l'accélération de la gravité ($9,81 \text{ m/s}^2$) et T est la période de l'onde de la houle en eau profonde.

3.2.2.3 Les niveaux d'eau extrêmes marins selon plusieurs scénarios

Dans notre étude, la méthode proposée pour estimer les niveaux d'eau extrême est basée sur la combinaison du niveau d'eau observé lors de l'événement du 5 mars 1962 et de la configuration des vagues calculée à partir de la formule empirique de Komar. Les paramètres de l'équation de Komar tel que la hauteur significative de la houle au large H_{so} et la période de pic T sont issus des observations réalisées par SOGREAH¹⁸ pour le compte des travaux de Total Energies, notamment l'houlgraphe A et le C de la Figure 2-15 du chapitre 2, dont les hauteurs et les périodes de pic sont présentées dans la Figure 3-9.

Le calcul du wave setup a été effectué en tenant compte de trois conditions : les paramètres de la configuration de la façade de la baie, la hauteur de la houle H_{so} maximale enregistrée au niveau de la baie et la période de la houle significatif T_p .

En ce qui concerne la hauteur de la houle, elle est relativement faible dans les scénarios proposés. La hauteur de la houle H_{so} maximale enregistrée au niveau de la baie est de 1,10 m, ce qui représente 0,51% du total des hauteurs significatives. Pour ce qui est du T_p significatif, qui représente les 1/3 de toutes les observations, elle est comprise entre 13 s et 15 s

¹⁸ La SOGEAH est une Société Grenobloise d'Etudes et d'Applications Hydrauliques (SOGREAH)

Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles

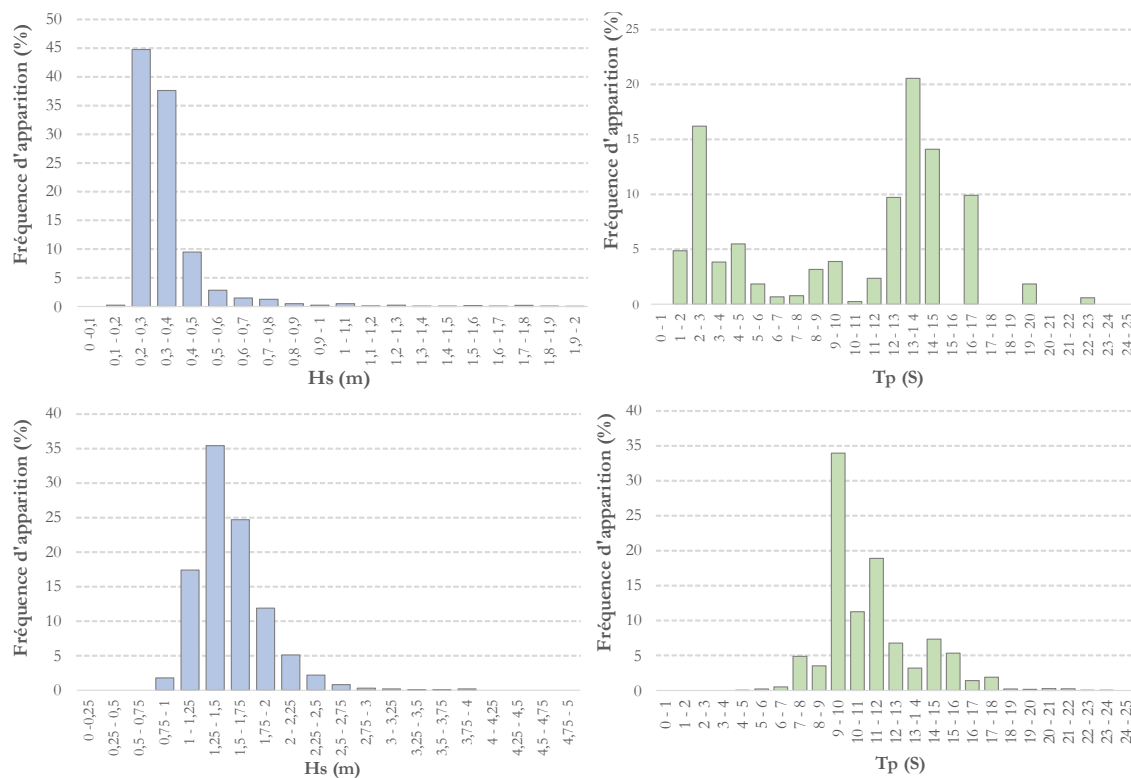


Figure 3-9: Histogramme des houles significatives et de périodes des ondes de houle pour la bouée à la pointe du Cap Lopez situé à -15 m de profondeur en haut et la bouée au large de la côte ouest situé à 893 m de profondeur en bas (Figure 2-15 Chapitre 2) (Total Energies, 2011)

Dans la configuration de la côte ouest, la hauteur de la houle H_{so} significative, c'est-à-dire 1/3 de la hauteur de la houle au large, est entre 1,25 m et 1,5 m et la période de la houle T_p significatif est comprise entre 9 s et 10 s.

Selon la littérature, la valeur de la hauteur significative de la houle au large lors des tempêtes tropicales dans le golfe de Guinée (H_{so}) est estimée à 2,5 m pour une période de houle moyenne T_p de 14 s (Guiavarc'h, 2007 ; Roques, 2013 ; Konan *et al.*, 2016). Le Tableau 3-3 dresse un récapitulatif des paramètres retenus et le wave setup associé à ces différentes situations des conditions de la mer. Il est important de noter que les valeurs observées dans les scénarios de la côte 1 et 2 sont relativement faibles par rapport aux valeurs attendues lors des tempêtes tropicales dans le golfe de Guinée (Guiavarc'h, 2007 ; Konan *et al.*, 2016).

Côte	Conditions	H_{so} (m)	T_p (s)	$\tan\beta$	L_0 (m)	ξ_0
<i>Est</i>	C.1	1,1	15	0,06	351,02	1,07
<i>Ouest</i>	C.2	1,5	10	0,06	156,13	0,61
<i>Golfe de Guinée</i>	C.3	2,5	14	0,06	306,02	0,66

Tableau 3-3: Paramètres de contrôle et résultat du modèle de Komar

Les hauteurs de houle significative enregistrées le long de la côte sont généralement très faibles, ne dépassant généralement pas 3 m sur les deux façades, indépendamment des paramètres de la

Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles

période de la houle. Par contre, travaillant sur un phénomène dont la description porte sur la Baie du Cap Lopez, nous avons fait le choix de travailler selon la configuration des conditions C.1, qui correspond aux conditions maximales en termes de hauteur de la houle dans ce secteur d'étude. Nonobstant, le choix des conditions C.1 qui est adapté à la façade est, il n'en demeure pas moins que pour les conditions de l'état de la mer de la façade ouest, C.2 et C.3 sont plus adaptés en raison de l'exposition directe à la houle en prévenance du large.

Il est important de noter ici qu'il s'agit d'un scénario d'inondation par débordement. Le choix de ce scénario particulier est justifié par le fait que nous ne disposons pas d'assez de paramètres et des outils pour modéliser les deux autres modes d'inondation marine direct (Par paquet de mer et par rupture d'éléments de protection). Nous estimons que le mode d'inondation marine par débordement est intéressant plus particulièrement dans l'évaluation de l'aléa dans la Baie du Cap Lopez, car les résultats qui en sortiront permettront d'attirer l'attention sur le niveau d'exposition avec des conditions moins dramatiques. L'ensemble des paramètres des différents scénarios choisis sont présentés dans le Tableau 3-4.

Le Tableau 3-4 présente les résultats de l'analyse de l'impact du wave setup sur le niveau d'eau. Selon les conditions C.1, le wave setup augmente de quelques centimètres (14 cm). L'estimation du niveau d'eau enregistré par le marégraphe lors de l'événement du 5 mars 1962, passe de 2,12 m à 2,26 m (NGCLZ). La valeur de cette augmentation du niveau d'eau doit bien sûr être relativisée en raison de l'approximation faite dans la prise en compte de la hauteur H_{s0} , de la période (T_p) de la houle et de la pente de l'estran généralisée à l'ensemble du secteur d'étude. À partir de ces deux niveaux d'eau (niveau sans action de la houle et niveau avec action de la houle), les scénarios sont construits de manière linéaire. En d'autres termes, ils sont additionnés en fonction des éléments de niveau d'eau connus. Par exemple, si les conditions météo-marines de 1962 se reproduisent en 2100, en se basant sur les prévisions du rapport du GIEC de mars 2022 (GIEC, 2022a), notamment à partir du scénario SSP5-8.5 (+1 m), le niveau de la mer sera probablement de 3,26 m et de 2,76 m pour le scénario optimiste (SSP1-1.9) qui correspond à une augmentation de +0,5 m.

Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles

Nom complet de forçage	Paramètres	Condition (C.1)	Condition (C.2)	Condition (SC.3)
Hauteur significative de la houle au large	H_{S0}	1,1	1,5	2,5
Période associée	T_p (s)	15	10	14
Marée observée le 5 mars 1962 (NGCLZ) (S1)	Niveau observée	2,12	2,12	2,12
La pente moyenne au niveau de l'estran	$\tan\beta$	0,06	0,06	0,06
Constante C sans dimension	Constante	0,45	0,45	0,45
Calcul du wave setup				
Longueur d'onde au large $L_0 = (g/2\pi) T^2$	L_0	351,02	156,13	306,02
	$\sqrt{H_{S0} / L_0}$	0,06	0,10	0,09
Le nombre d'Iribarren $\xi_0 = \frac{\tan\beta}{\sqrt{H_{S0}/L_0}}$	ξ_0	1,07	0,61	0,66
$\eta = 0,45H_{S0}\xi_0$	Wave setup	0,14	0,16	0,32
Scénarios des niveaux d'eau rapportés au Nivellement Général de Port-Gentil (NGP)				
Exceptionnel actuel (marée observée + wave setup) (S2)	η (1962)	2,26	2,28	2,44
Niveau quotidien actuel (Niveau moyen) (S3)	NM	0,86	0,86	0,86
Niveau des hautes mers actuel (S4)	PMVE	1,66	1,66	1,66
NM actuel +SSP1-1.9 (S5)	NM +SSP1-1.9 (2100)	1,36	1,36	1,36
NM actuel +SSP5-8.5 (S6)	NM +SSP5-8.5 (2100)	1,86	1,86	2,62
Niveau des hautes mers futur (SSP1-1.9) (S7)	PMVE+SSP1-1.9 (2100)	2,16	2,16	2,16
Niveau des hautes mers futur (SSP5-8.5) (S8)	PMVE+SSP5-8.5 (2100)	2,66	2,66	2,66
Niveau de référence sans wave setup +SSP1-1.9 (S9)	Niv. obs +SSP1-1.9 (2100)	2,62	2,62	2,71
Niveau de référence sans wave setup +SSP5-8.5 (S10)	Niv. obs +SSP5-8.5 (2100)	3,12	3,12	3,12
Exceptionnel futur (marée observée + wave setup +SSP1-1.9) (S11)	η +SSP1-1.9 (2100)	2,76	2,78	2,94
Exceptionnel futur (marée observée + wave setup +SSP5-8.5) (S12)	η +SSP5-8.5 (2100)	3,26	3,28	3,44

Tableau 3-4 : Calcul des différents paramètres en fonction d'un niveau extrême historique, ayant servi à estimer les niveaux d'eau extrême en fonction de plusieurs scénarios. η : niveau exceptionnel déterminé à partir de la marée observée en 1962 et le Wave setup ; NM : Niveau Moyen ; PMVE : Pleines Mers de Vives-Eaux. L'ensemble des hauteurs d'eau (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Pour la suite de notre analyse, nous avons choisi de ne pas cartographier l'ensemble des scénarios présenté dans le Tableau 3-4. Seules les valeurs scénario dans les conditions C.1 et C.3 en bleu seront cartographiées. Pour les autres niveaux d'eau, il s'agit d'une répétition de niveau d'eau que l'on peut observer dans les conditions C.2 ou au sein du C.3. Plus encore, les niveaux d'eau ne sont pas significativement plus importants que celles présenté par les conditions météo-marins C.1.

Après avoir déterminé les niveaux d'eau, y compris le niveau de référence, les niveaux d'eau avec la configuration wave setup prise en compte et les niveaux d'eau avec les deux scénarios optimiste et pessimiste des projections du GIEC, il est important de les projeter sur une topographie précise afin de minimiser les imprécisions liées aux hauteurs d'eau. En effet, la précision de la topographie est un facteur déterminant dans la spatialisation et la quantification de l'aléa. Sans une topographie précise, il est possible que les niveaux d'eau projetés soient inexacts, ce qui pourrait entraîner des erreurs dans les prédictions et les décisions qui en découlent. La section suivante a pour but de présenter les différents supports topographiques qui seront utilisés pour la projection de nos niveaux d'eau. Il est important de noter que ces différents supports topographiques peuvent avoir des niveaux de précision différents et qu'il est nécessaire de choisir le ou les plus adaptés.

3.3 Les données topographiques acquises et/ou créées au cours du projet de recherche

La réalisation de la cartographie des aléas naturels dans les pays en développement permet de se rendre compte de la difficulté d'accès aux données, notamment celles de données à référence spatiale. Ces dernières, lorsqu'elles existent, soulèvent également des questions quant à leur accessibilité, mais aussi à leur fiabilité.

Une des données importantes pour mener à bien la construction de la cartographie permettant la spatialisation et la quantification de l'aléa inondation par la mer, reste sans aucun doute le modèle numérique de terrain et/ou d'élévation (MNT/MNE) (Cooper *et al.*, 2013). Le niveau de précision altimétrique et planimétrique, ainsi que le détail du MNT sur lequel seront projetées les hauteurs d'eau déterminées est essentiel. Ceci afin d'obtenir avec une plus ou moins grande précision les zones potentiellement inondables et les hauteurs d'eau correspondantes en chaque point du MNT.

Cette partie constitue une des étapes de cette recherche qui a demandé énormément de temps de travail. Elle présente les données topographiques qui ont été acquises et qui sont disponibles librement dans notre secteur d'étude. La construction d'autres modèles numériques de terrain et le choix des modèles numériques de terrain adaptés aux différentes échelles d'évaluation vont être détaillés et explicités.

3.3.1 Données topographiques acquises

3.3.1.1 SRTM

Le Shuttle Radar Topographie Mission (SRTM) de la National Aeronautics and Space Administration (NASA), acquise en janvier 2017, présente l'avantage de couvrir 80% de la surface terrestre et échappe à toute contrainte légale quant à la distribution et à l'utilisation de ces données. Elle a été téléchargée le site de la NASA (<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>). Historiquement, la mission d'acquisition de données SRTM a débuté en 2000 avec le lancement de la navette spatiale Endeavour (STS-99), dont l'objectif était de réaliser un relevé topographique tridimensionnel de la surface de la Terre. Ces données d'intérêt stratégique pour les États-Unis n'étaient pas disponibles pour les autres pays. C'est lors du sommet des Nations Unies sur le climat, le 23 septembre 2014, que la Maison-Blanche a annoncé qu'elles seraient mises en libre accès. Elles l'ont été après avoir été délibérément rééchantillonnées à 3 secondes d'arc, soit 90 mètres de résolution spatiale. Selon la localisation du territoire où ces données sont disponibles, la résolution altimétrique varie de 5 m à 9 m (Rodríguez *et al.*, 2006 ; Yan *et al.*, 2013 ; Zhang *et al.*, 2019) et parfois de plus de 30 m (Nikolakopoulos *et al.*, 2006). Pour notre site d'étude, nous ferons une évaluation plus spécifique de cette précision altimétrique.

3.3.1.2 ASTER

La Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) est un jeu de donnée numérique d'élévation du terrain qui couvre la quasi-totalité du globe (99%), contrairement au SRTM qui ne couvre que 80% de la surface terrestre. La version qui a été acquise dans le cadre de ce travail a été produite par la NASA avec la collaboration du Japon via METI (Ministry of Economy, Trade and Industry). Ce MNE a été généré à partir d'image optique prise par les capteurs METI ASTER embarqué sur le satellite Terra de la NASA, en utilisant la technique de corrélation de paires d'images stéréoscopiques. Ces images sont également disponibles gratuitement avec une résolution de 30 m, soit trois fois moins que le jeu de donnée SRTM. La précision verticale de ces données peut atteindre 20 m dans certaines zones (Fujisada *et al.*, 2020). Bien que le modèle numérique d'élévation ASTER soit bien meilleur que la donnée SRTM, en termes de résolution spatiale, la NASA reconnaît qu'il doit être améliorées. En cela elle évoque un nombre important de vides et d'artéfacts, des variations altimétriques à certains endroits qui peuvent amoindrir la qualité de la donnée. Comme pour SRTM, la qualité de la donnée ASTER fera l'objet d'une évaluation du niveau de précision altimétrique dans notre zone d'étude, dans la suite de ce chapitre.

3.3.2 Construction du MNT alternatif à l'échelle moyenne

La réalisation du MNT à partir des planches topographiques de l'île Mandji a été une longue opération. Compte tenu de l'imperfection des données ASTER et SRTM, nous avons dû rechercher une autre donnée permettant de réduire la marge d'erreur altimétrique compte tenu de l'aléa en jeu. Une première étape a été l'acquisition de différentes cartes topographiques couvrant l'île Mandji. Nous avons identifié une série de planches topographiques au 1/10 000 couvrant la partie Nord de la flèche. Il s'agit, du nord au sud, des planches Cap Lopez, Port-Gentil, N'Tchengué, M'bega et Ozouri, qui appartiennent à Total Energies et dont l'IGN assure la conservation. Cependant, en raison du coût élevé de chaque planche, nous avons acheté les planches du Cap Lopez et de Port-Gentil à l'IGN à Paris en 2017 après autorisation de Total Énergies. Ces planches couvrent la partie nord de la flèche et l'ensemble de la commune de Port-Gentil.

3.3.2.1 Géoréférencement et digitalisation des points cotés

Le travail de géoréférencement a impliqué le repositionnement des deux planches topographiques datant de 1974 dans le système de projection utilisé pour l'ensemble du projet de recherche (WGS84/UTM zone 32S). Nos cartes, qui étaient initialement en M'Poraloko 32 Sud, ont été reprojétées dans ce système, qui est spécifique au Gabon. Pour ce faire, les deux planches ont d'abord été géoréférencées individuellement en M'Poraloko, puis elles ont été reprojétées en WGS84/UTM zone 32S. Une fois ce processus terminé, tous les points cotés des deux cartes

Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles

combinées ont été digitalisés. Les informations relatives à l'altitude ont été enregistrées dans la table des données attributaires de la couche de points générée. L'ensemble des points (2557) a ensuite été ajusté selon le nivellement général du Cap Lopez (NGCLZ), qui correspond à une altitude de -0,34 m.

3.3.2.2 Détection et correction des points cotés aberrants

Avant d'interpoler le nuage de points digitalisé, dans l'optique de produire le MNT à l'échelle large, nous avons procédé à l'identification des points aberrants pouvant se trouver dans notre jeu de donnée, c'est-à-dire identifier les points cotés qui ont des altitudes anormales par rapport à l'ensemble de leurs voisins. L'objectif est de localiser les points qui présentent une différence de hauteur et de pente par rapport aux mesures de leurs voisins. La différence de hauteur et de pente de chaque point est testée avec ses voisins naturels. Pour un point α ayant un nombre X de points proche de lui, si la hauteur de ce point est supérieure ou inférieure à la valeur des points voisins, le point α est considéré comme ayant une valeur aberrante soit trop haute, soit trop basse. Ici, il ne s'agit pas d'éliminer les points aberrants, mais de les ramener à une altitude cohérente avec l'ensemble de ces voisins. L'objectif est d'avoir une topographie continue dans l'espace sans dépression ni remontée brutale d'altitude (Figure 3-10). L'ensemble de ce traitement a été réalisé sur ArcGis pro.

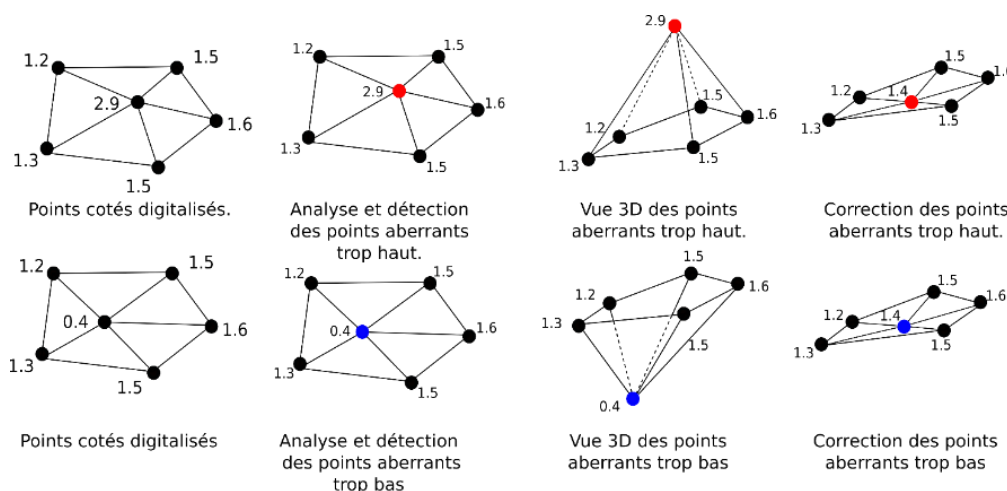


Figure 3-10 : Démarche schématique de détection et de correction des points aberrants (réalisation L.Yembi, 2022)

La Figure 3-11 (A) montre la localisation des points aberrants hauts par rapport aux voisins bas (points rouges) et des points aberrants bas par rapport aux voisins hauts (points bleus). Le décalage d'élévation moyen des valeurs aberrantes hautes est de **+0,33 m** et celui des valeurs aberrantes basses de **- 0,20 m**. La Figure 3-11 (B) montre le résultat de la correction des valeurs aberrantes et de l'harmonisation de tous les points cotés.

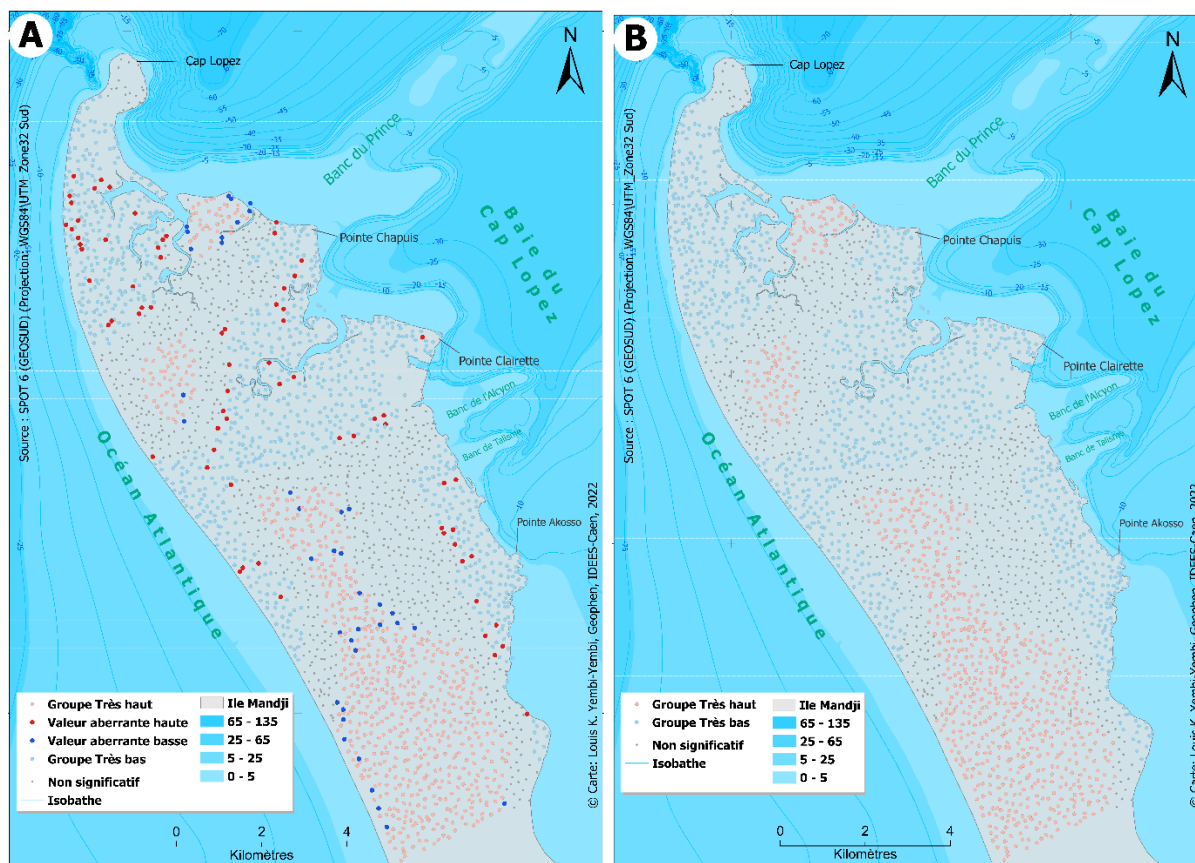


Figure 3-11 : Exemple de détection des points aberrants (A) et d'ajustement d'altitude des points aberrants (B) (Réalisation L. YEMBI)

3.3.2.3 Méthode d'interpolation et construction du MNT

Les points cotés digitalisés, et dont les altitudes ont été ajustées, ont été interpolés afin de créer un MNT. Il existe plusieurs modèles d'interpolation. Le processus d'interpolation a été réalisé à l'aide d'algorithme mathématique piloté par le logiciel ArcGIS pro, pour lesquels il existe plusieurs méthodes d'interpolation. Chaque méthode applique des hypothèses différentes sur les données, et certains modèles ne sont applicables que sur certaines données bien spécifiques. Le choix du modèle d'interpolation peut influencer la précision et la qualité du MNT produit. Ce choix dépend de la surface étudiée, ainsi que de la densité et de l'espacement des points (Le Duff, 2018). En fonction de ces caractéristiques sur la donnée d'entrée, on peut appliquer des méthodes d'interpolation **déterministe** ou **géostatistique**.

Dans le logiciel ArcGis pro, les méthodes déterministes sont par exemple l'**IDW** l'**IDW** (Interpolation de pondération par l'inverse de la distance) qui permet de calculer les valeurs des emplacements inconnus en se basant sur le degré de similarité, ou le **Spline** qui se base sur le degré de lissage par rapport aux points de voisinage. Les méthodes géostatistique telles que le **Krigeage** permet de prédire des valeurs à des endroits sans informations et se basant sur des calculs d'autocorrélation spatiale à partir des valeurs des points connus.

Après de nombreux tests d'un certain nombre de modèles d'interpolation présents dans ArcGis Pro (IDW, Krigeage, Spline, topo vers raster et voisins naturels), nous avons retenu la méthode d'interpolation classique de **Krigeage** (Crapoulet, 2015). Cette méthode a permis de construire une représentation topographique de l'ensemble de la partie nord de l'île Mandji pratiquement réaliste. En outre, cette méthode d'interpolation est souvent utilisée dans la littérature et est clairement adaptée pour l'interpolation des points topographique (Crapoulet, 2015 ; Le Duff, 2018). Pour cette méthode d'interpolation, une grille de 5 m a été choisie et intégrée en tant que condition de construction MNT. Cette maille de 5 m a été choisie afin de créer un modèle avec une bonne représentation spatiale et continue pour l'ensemble de la partie nord de l'île Mandji, sans que les changements brusques d'altitude ne soient présents dans le modèle et ainsi éviter une représentation grossière des extrémités du MNT. Le résultat de cette couche est présenté au chapitre 2, notamment à la Figure 2-4.

3.3.3 Construction d'un MNT à grande échelle : Apport de la photogrammétrie « SfM » par drone.

Si le MNT modélisé à partir des anciennes cartes topographiques permet d'acquérir une information relativement rapide sur la morphologie du site d'étude à une échelle large, l'apport de la photogrammétrie aérienne par drone permet d'apporter un niveau de précision à la fois sur les détails morphologiques, la résolution altimétrique et sur l'actualiser du modèle numérique d'élévation. Il a été démontré que la précision altimétrique par photogrammétrie SfM en générale et par drone en particulier est comparable aux résultats du LIDAR terrestre (Mancini *et al.*, 2013 ; Medjkane *et al.*, 2018).

3.3.3.1 Principe de la photogrammétrie

La **photogrammétrie** est une technique qui permet de reconstituer la forme, les dimensions et la position des objets à partir des perspectives de ces objets acquises par des photographies. C'est une technique qui a suivi très directement l'invention de photographie au XIX^e siècle (Kalantari et Kasser, 2008). L'objectif de la photogrammétrie est de reconstituer les objets en 3D à partir des images (**photo**) dans l'optique de quantifier des volumes « **gram** » (remblai/déblai) ou de les mesurer « **métrie** ». Les techniques de photogrammétrie comprennent l'ensemble des processus de stéréoscopie. Pour que la modélisation soit optimale, il faut nécessairement acquérir deux paires d'images minimums dans un certain angle et qui se recouvrent partiellement (Figure 3-12).

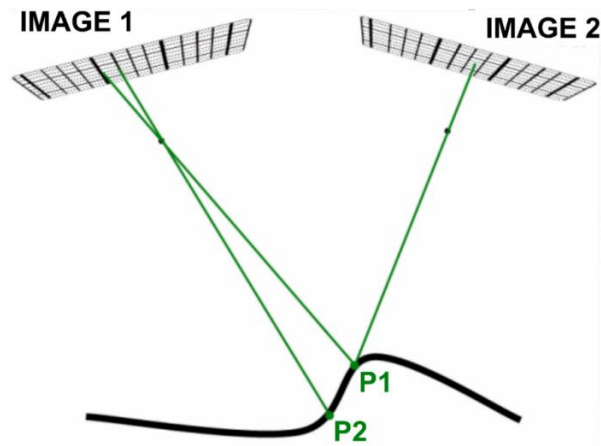


Figure 3-12 : Schéma du principe de photogrammétrie (le trait plein en noir représente la surface du sol sous différentes perspectives (modifiée de Basara (2019))

Avec le développement de l'aviation aérienne, puis le développement très sensible des drones civils, la photogrammétrie aérienne par drone offre de nouvelles opportunités dans de nombreux domaines d'études (Lisein, 2016). Développée et utilisée dans un contexte militaire pour des missions de surveillance et de renseignement, la technologie des drones a été adaptée ces dernières années au monde civil et industriel. Elle représente l'une des plus importantes technologies d'innovation de ces dernières années (Raparelli et Bajocco, 2019). De plus en plus utilisée dans le domaine de la photogrammétrie aérienne drone, la technique « Structure from Motion » (SfM) présente un faible coût d'acquisition permettant une utilisation à très haute résolution temporelle et spatiale. Ce développement découle également du développement d'outils de reconstruction automatique de modèles (Medjkane *et al.*, 2018).

Le drone comme outil d'acquisition des images, à l'avantage de se déployer facilement avec ou sans plateforme de décollage. De plus, la faible hauteur de vol et la qualité des capteurs embarqués utilisés permettent d'obtenir un résultat à très haute résolution spatiale (résolution centimétrique) (Raparelli et Bajocco, 2019). Aussi, il permet de voler en dessous des nuages, ce qui est souvent un réel problème pour les régions situées près de l'équateur par rapport à l'imagerie satellitaire. Les drones actuels permettent l'enregistrement et le suivi de leur trajectoire dans un système de coordonnées, ce qui présente l'avantage de planifier les plans de vol et la navigation en totale autonomie.

Le choix d'utiliser un drone multirotor se justifie par la réduction des coûts d'achat, la possibilité de voler à très basse altitude et dans certaines configurations de manière stationnaire, combinée au développement des algorithmes de photographie numérique et de méthode de corrélation automatique. De plus, il est capable d'une acquisition rapide sur de grandes surfaces et d'une grande précision avec un temps d'acquisition inférieur à celui des relevés DGPS. Ainsi, avec l'appui de la société MultiRotorServices Gabon (MRSG), spécialiste de l'imagerie aérienne à très haute

Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles

résolution et disposant de plusieurs drones DJI Multirotor et d'équipements de mesure professionnels, nous avons opté pour cette solution alternative pour la production du modèle numérique de terrain haute précision nécessaire à la modélisation du risque d'inondation par la mer à une échelle fine dans la commune de Port-Gentil.

3.3.3.2 Processus d'acquisition et de traitement de la donnée topographique (SfM) drone

L'acquisition de données topographique que nous avons réalisée par drone repose sur plusieurs éléments : des éléments méthodologiques et des conditions sans lesquels la précision requise pour la réalisation d'un MNE ne sera pas atteinte. De manière générale le processus de production de la donnée topographique par drone est constitué de quatre étapes interconnectées : le protocole d'acquisition des données sur le terrain (Figure 3-13A), le protocole de traitement (Figure 3-13 B), le protocole de post-traitement (Figure 3-13 C) et l'évaluation de la qualité et spécifiquement de la marge d'erreur altimétrique (Figure 3-13 D).

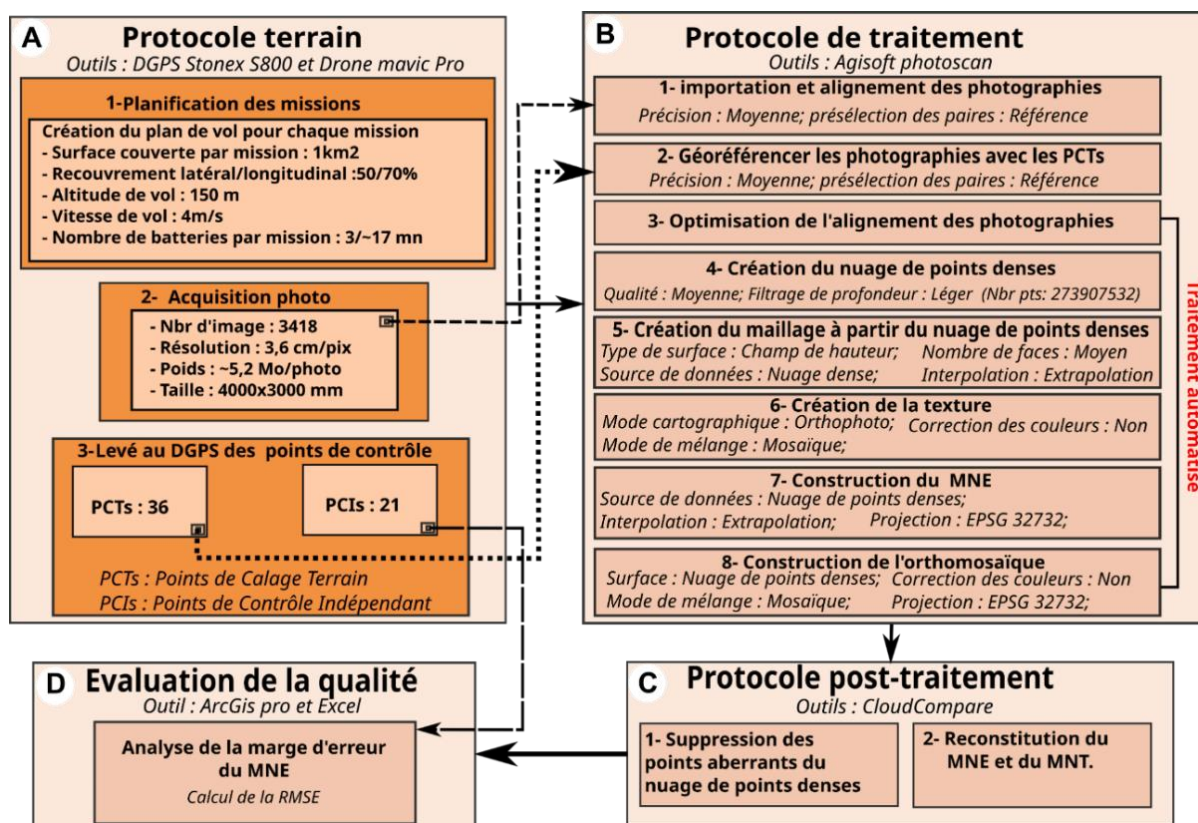


Figure 3-13 : Protocoles d'acquisition et de traitement photogrammétrique SfM drone (Réalisation L. YEMBI)

3.3.3.2.1 Le protocole terrain (A)

Pour l'acquisition des données sur le terrain, notamment pour la prise de vue aérienne, nous disposons de trois drones de type quadricoptère de fabrication DJI, fournie par l'entreprise MultiRotor Services Gabon.

Drones : Ce drone quadricoptère dénommé Mavic Pro (Figure 3-14) était considéré comme le drone le plus performant de la gamme Mavic en 2017, du fait de son faible poids (moins de 800 gr), et de sa facilité de mise en vol. Sa caméra de 12 Mpix permet un export des photos au format JPG ou DNG. La caméra peut prendre des prises de vue de 0° à 90° et profite d'une stabilisation sur 3 axes dus à la conception de la nacelle la soutenant. Cette nacelle permet de compenser les potentiels problèmes liés au phénomène de roulis¹⁹, de tangage²⁰ ou de Lacet²¹ du drone par fort vent. Il est équipé de plusieurs capteurs à l'instar du système GPS avec un accès au réseau Glonass²². Le Mavic pro possède une autonomie annoncée de 25 minutes sans vent avec une vitesse en mode sport pouvant atteindre jusqu'à 65 km/h. Il a une portée de connexion à la télécommande de 7 km, et est équipé d'un système de détection d'obstacles afin d'éviter les dysfonctionnements et les crashes.

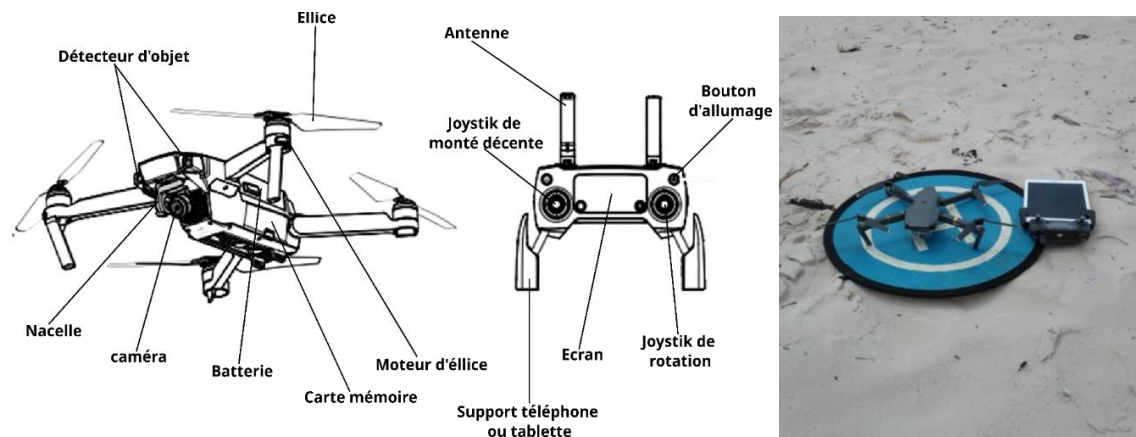


Figure 3-14 : Drone Mavic Pro

A.1. Planification des missions

Nous avons réalisé des prises de vue aérienne pour une superficie exploitable de 65 km² de la commune de Port-Gentil, et son extension spatiale vers le sud au niveau du stade de N'Tchengué entre la période juin-août 2018. La surface de la ville étant grande (54 km²), il était impossible avec

¹⁹ Le roulis est un phénomène qui se produit lorsqu'un vecteur (Drone) suivant son axe de progression penche de droite à gauche

²⁰ Le Tangage est un phénomène qui se produit lorsqu'un vecteur (Drone) suivant son axe de progression se balance en avant et en arrière.

²¹ Le Lacet est un phénomène qui se produit lorsqu'un vecteur (Drone) suivant son axe de progression pivote de gauche à droite sur lui-même.

²² GLONASS est l'abréviation de Global Navigation Satellite System. C'est le système russe de géopositionnement par satellites. <https://www.montre-cardio-gps.fr/quest-ce-qui-est-mieux-avec-le-glonass-quavec-le-gps/>

Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles

une telle superficie de réaliser une mission complète au vu de l'autonomie de la batterie du Mavic Pro (25 minutes). Pour réaliser un seul MNE, sur notre site d'expérimentation (Première couronne urbaine de la ville) (Chapitre 2), plusieurs missions ont dû être réalisées. En effet, la surface de chaque mission a été déterminée en fonction du nombre de batteries et de la distance entre le télépilote et le point le plus éloigné de la scène de la mission, soit 500 m. En revanche, le fait de multiplier les missions entraîne une difficulté supplémentaire lors du calibrage des plans de vol. Il faut retrouver les limites des plans de vol précédents afin qu'ils se superposent. En effet, un non-rattachement des différentes missions peut entraîner des trous dans le MNE et l'orthophoto. Ainsi, pour que les différentes missions soient rattachées, il était nécessaire que celles-ci se recouvrent suffisamment.

Les plans des vols des différentes missions ont été déterminés de manière automatique avec l'application Pix4D installée sur tablette Androïde. Pour chaque mission, une surface d'environ 1 km² est définie et un plan de vol est établi en tenant compte de la direction et de la force du vent. Toutes ces précautions permettent une progression constante du drone (4 m/s). Pour une régularité dans la cadence de prise de vue, le mode mission automatique a été choisi. En outre, ce mode permet d'éviter de prendre des images à différentes altitudes, ce qui aurait été problématique dans la construction de la mosaïque. Chaque plan de vol a été adapté en fonction des conditions météorologiques (vent) observées sur le terrain. Cette adaptation des plans de vol avait pour objectif de faciliter la progression du drone, de manière à toujours garder plus ou moins la même cadence de progression et l'économie de la décharge des batteries. Pour des raisons de sécurité, 17 minutes maximales étaient nécessaires sur les 25 minutes du temps de charge d'une batterie.

De plus, afin d'avoir un niveau de radiométrie homogène, avant chaque mission, il a fallu s'assurer que les conditions d'éclairage soient toujours plus ou moins identiques. Pour notre secteur d'étude, c'est entre autres, l'absence de pluie, un éclairage solaire suffisant, mais pas trop important pour ne pas avoir un phénomène de réflectance sur les toitures en aluminium ou sur les plans d'eau (Figure 3-15). Une fenêtre de prise de vue entre 11h et 13h a été identifiée afin de ne pas avoir des ombres portées par les bâtiments, par un temps couvert et non pluvieux.



Figure 3-15 : Phénomène de réflectance de la luminosité sur les toitures des bâtiments en aluminium (A) et sur des plans d'eau (B).

Pour permettre une mise en correspondance des pixels entre les différentes photographies et éviter des trous lors du processus de traitement photogrammétrique, des taux de recouvrement importants sont nécessaires et doivent être définis (Dandois *et al.*, 2015). Un taux de recouvrement longitudinal de 70% entre deux photos successives suivant le sens du plan de vol, et un taux de recouvrement latéral ou interbande de 50% entre deux photos latérales ont été choisis (Figure 3-16).

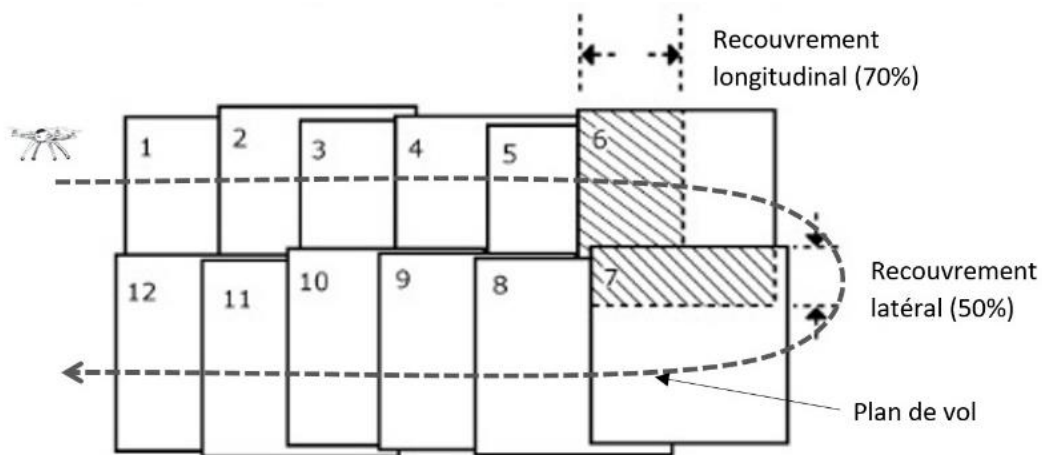


Figure 3-16 : Schéma du plan de vol et des conditions de recouvrement des imageries

Pour toutes les missions, une altitude de vol de 150 m a été définie. Cette hauteur nous a été recommandée par les agents de l'ASECNA afin d'éviter des collisions avec d'autres appareils volants, particulièrement les hélicoptères qui sont très présents au-dessus de la commune en raison de l'activité pétrolière offshore, mais également pour une question méthodologique. D'une part, cette altitude a été fixée à 150 m afin d'obtenir un maximum de détail et d'autre part, pour réduire le nombre de photos collectées. En effet, en fonction de la focale du capteur et de l'altitude de vol du drone, il est possible d'obtenir plus ou moins d'images en fonction de l'emprise couverte par chaque photo. Cette situation peut entraîner des conséquences sur le temps de traitement de la production de l'orthophoto et du MNE. Plus il y a de photos, plus le temps de traitement

photogrammétrique peut être long, et ce, en fonction de la capacité de traitement et la puissance de calcul de l'ordinateur.

A.2. Acquisition d'image

Pour l'ensemble du site de Port-Gentil et son extension spatiale vers le sud, en dehors de la « No Fly zone », 35507 photos au format JPG de 3,5 cm/pixels et de 5 Mo chacun ont été acquises. Pour notre zone d'étude à grande échelle, seules 3418 photos ont été utilisées pour la construction du MNE.

A.3. Collecte des points de calages et de contrôles

Afin de corriger le positionnement des photos et de valider de la précision du MNT, deux jeux de données ont été levés deux ans après l'acquisition des images aériennes. La raison de ce décalage temporel est liée à la disponibilité d'un GPS différentiel (DGPS), les tarifs d'un point levé étant entre 50 et 70 mille francs CFA au Gabon, mais surtout l'arrivée de la Covid-19 qui n'a pas permis cette opération l'année qui a suivi. La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente la démarche d'acquisition des points levés au DGPS Stonex S800.

- Un premier jeu de donnée relatif à la correction du positionnement des photos (Point de calage) a été levé sur des repères visibles sur les photographies aériennes servant à l'établissement du MNT avec une précision sensiblement de 20 centimètres en planimétrie. Dans une démarche classique, des cibles sont placées de manière à couvrir la zone de la mission. Bien que 3 cibles soient nécessaires pour le géoréférencement d'une orthophoto, il est important de prendre un nombre important de points afin de réaliser un géoréférencement robuste. Pour notre site d'expérimentation, à défaut des cibles placées avant le passage du drone, des repères fixes ont été levés (angle de caniveau, marquage de passage piéton, regard du réseau d'eau et de téléphonie, etc.). Le fait de prendre des repères remarquables permet de les retrouver et faire des pointages faciles sur les photographies (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**B1 et B2). Pour chaque mission, ces points repères sont espacés d'environ 200 m. La trentaine de points d'appui (cibles et points remarquables au sol) répartis sur toute la zone ont été relevés. Ainsi, 36 points de contrôle terrain (PCTs) ont été levés sur l'ensemble de notre site expérimental.
- Nous avons aussi collecté un deuxième jeu de données correspondant aux points de contrôle indépendant (PCI). Ce groupe de point a également été levé à partir des objets urbains remarquables identifiés sur la première orthophoto non géoréférencée. Ainsi, 21 points PCI ont été levés pour estimer le RMSE (Root Mean Square Error) en sortie du traitement photogrammétrique.

Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles



Figure 3-17 : Démarche de collecte des points de contrôle et de calage. La fiche signalétique présentant les informations sur la technique de collecte et la localisation du point levé, ainsi que le mobile du DGPS (A). L'emplacement du point sur l'orthophoto produite (B1). Un zoom sur l'angle du regard qui a été levé devant la chambre de commerce de Port-Gentil (B2) et en la présentation de la base du DGPS Stonex S800 (C) (Réalisation L. YEMBI)

Les coordonnées des PCTs et PCIs ont été collectées à l'aide du GPS différentiel Stonex S800 en mode cinématique temps réel, offrant une précision nominale de 1 cm en planimétrie et de 1,5 cm en altimétrie dans un système de projection WGS84/UTM Zone 32 sud. Le point de base des relevés a été positionné dans une école (Collège urbain du Parc). Ce lieu a été choisi en raison de son emplacement sécurisé et surveillé en permanence, ce qui a permis de maintenir la base en fonctionnement pendant toute la durée des relevés dans la ville. De plus, cette position pratiquement médiane sur le site d'étude permettait des levées de points à une distance de moins de 2 km de cette base (Figure 3-18). Étant donné la très faible topographie de la ville et la faible hauteur des bâtiments (pas plus de 2 étages en majorité), il n'était pas nécessaire de déplacer la base. Pour les points PCTs comme pour les PCIs, 4 minutes d'observation entre deux levés successifs ont été nécessaires, car les opérations de levés étant effectuées en mode cinématique temps réel. L'idée est de laisser suffisamment de temps pour que l'état de la constellation de satellites et tous les paramètres d'état du système DGPS se calibrent. Pour ce qui est des points de contrôle terrain (PCT) qui vont servir à géoréférencement des photos acquises, il était nécessaire que ces derniers soient nombreux, et répartis uniformément sur la zone à traiter, tout en offrant une précision altimétrique centimétrique, au regard de l'aléa à traiter.

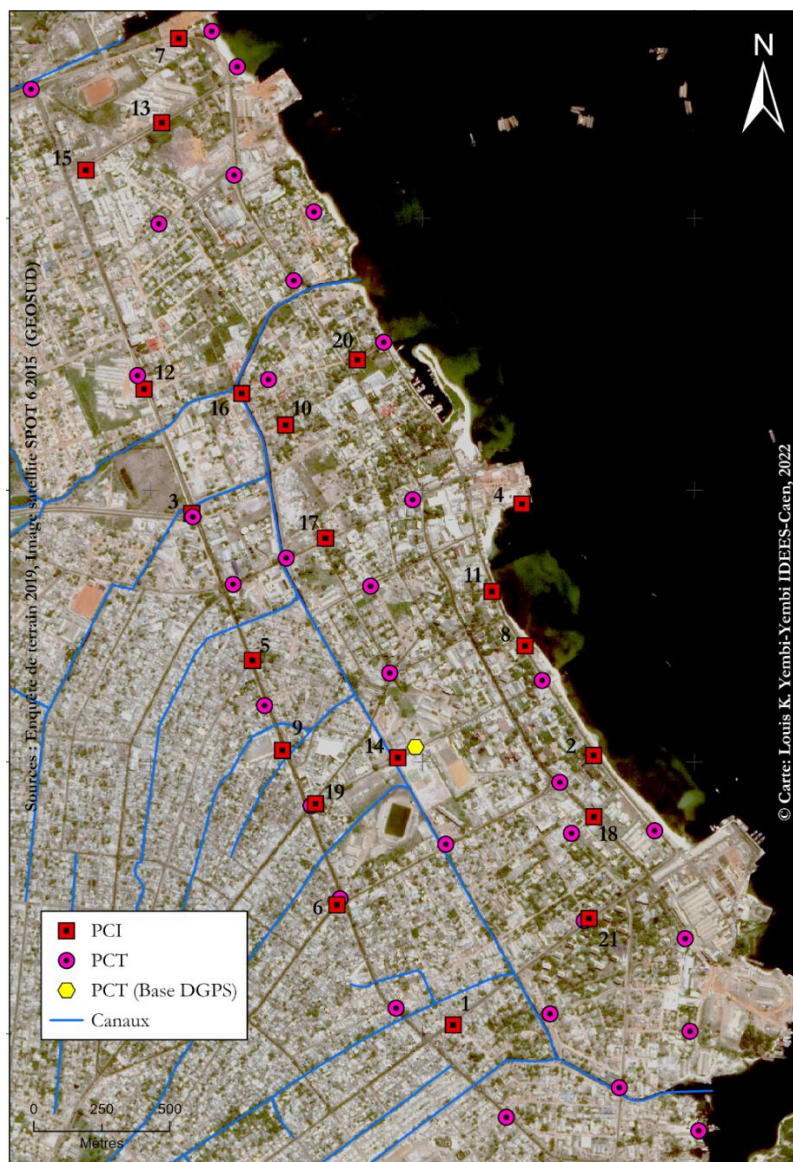


Figure 3-18 : Répartition spatiale des points de calages et de contrôles. Les chiffres sur les points de contrôle indépendant (PCI) correspondent aux identifiants des points.

3.3.3.2.2 Le protocole de traitement (B)

Les récentes avancées en matière de photogrammétrie basée sur la méthode S/M ont vu l'émergence de plusieurs logiciels de traitement photogrammétrique commerciaux ou libre accès, tels que Pix4D, PhotoScan de la société Agisoft et la solution libre MICMAC de l'IGN. Pour construire notre MNE et notre orthophoto à partir des photos prises par drone sur le terrain, le traitement photogrammétrique a été réalisé via la solution logiciel Metashape PhotoScan. Ce logiciel se distingue par son automatisation des processus de traitement et sa capacité à reconstruire avec précision les modèles 3D des structures complexes. De plus, il a déjà fait ses preuves dans de nombreuses études récentes (Dandois et al., 2015 ; Ajayi et al., 2018 ; Medjkane et al., 2018 ; Lu et Chyi, 2020 ; Mazzoleni et al., 2020). Le temps de traitement dépend fortement du nombre de photos, de leur

résolution et du niveau de précision choisi (basse, moyenne, haute). Dans notre cas, le temps de traitement était de 4 jours avec un niveau de précision moyenne.

Avant toute étape de reconstruction, une inspection visuelle des photographies a permis de détecter des images de mauvaise qualité, notamment les images avec les taches de réflectance ou légèrement floutées dues à une accélération brusque du drone (Figure 3-15).

B.1. Importation et alignement des photographies

Cette étape consiste à importer dans le logiciel les photographies de bonne qualité. Une fois les photos importées, il est important de les reprojeter dans le système de projection du projet, pour assurer la cohérence du traitement avec le reste du projet, et les points de calage et de contrôle collecté sur le terrain.

Le processus d'alignement des photos permet au logiciel de détecter automatiquement des pixels homogènes entre les photos, afin de déduire la position approximative du capteur lors de la prise de vue en utilisant une version modifiée de l'algorithme de reconnaissance SIFT (Scale Invariant Feature Transform) (Lowe, 2004). Cette étape produit un premier nuage de points épars correspondant aux points homogènes détectés (2,5 millions de points épars) (Figure 3-20 B.1). Ce nuage de points est ensuite traité en X.Y.Z. pour circonscrire la zone de traitement des autres étapes du processus.

B.2. Géoréférencement des photographies avec les PCTs

Dans cette étape, il s'agit de géoréférencer les photos en X.Y.Z afin de corriger le positionnement des photos relatif en positionnement absolu en plaçant les PCTs sur un certain nombre de photographies. En effet, la position des photos acquise par le drone Mavic Pro est en relative en XYZ. Pour une évaluation d'un phénomène qui a une cinématique centimétrique, un positionnement et des mesures absolues sont nécessaires.

Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles

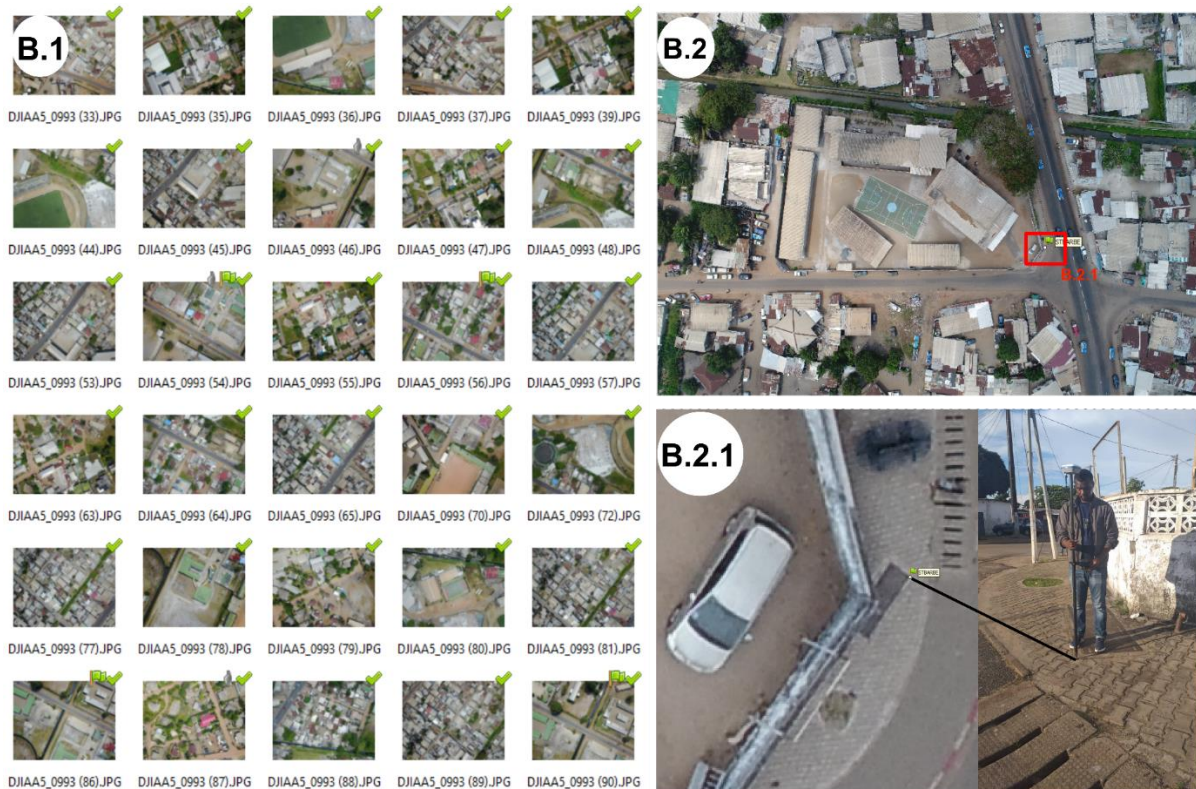


Figure 3-19 : Phase d'importation et d'alignement des photographies (B.1) ; positionnement automatique des points repères en vue du géoréférencement (B.2) ; ajustement du repère sur l'angle du regard levé sur le terrain (B.2.1).

Deux méthodes peuvent être exécutées : 1) une première qui consiste à ajouter des repères (point de calage terrain ou contrôle indépendant) à l'endroit des objets levés sur le terrain et rentrer les coordonnées manuellement. 2) une seconde qui consiste à importer un fichier CSV contenant toutes les informations sur les points levés sur le terrain dans le logiciel et puis repositionner sur les photos l'emplacement précis du repère. En fonction du nombre de points, cette étape peut être plus ou moins longue. Une fois l'ensemble des points positionné sur l'ensemble des photos identifiées grâce à leur position géographique, un RMSE est donné pour chaque point et pour l'ensemble des points. Dans l'application, les points qui sont cochés correspondent aux points de calage et ceux non cochés les points de contrôle indépendant.

B.3. Optimisation de l'alignement des photographies

Après avoir géoréférencé toutes les photos sur lesquelles les repères sont localisés, il est conseillé d'optimiser l'alignement précédent afin de tenir compte des corrections de position des photographies imposée par le géoréférencement. Cette étape prend moins d'une heure, mais reste dépendant de la puissance de calcul de l'ordinateur.

B.4. Création du nuage de points denses

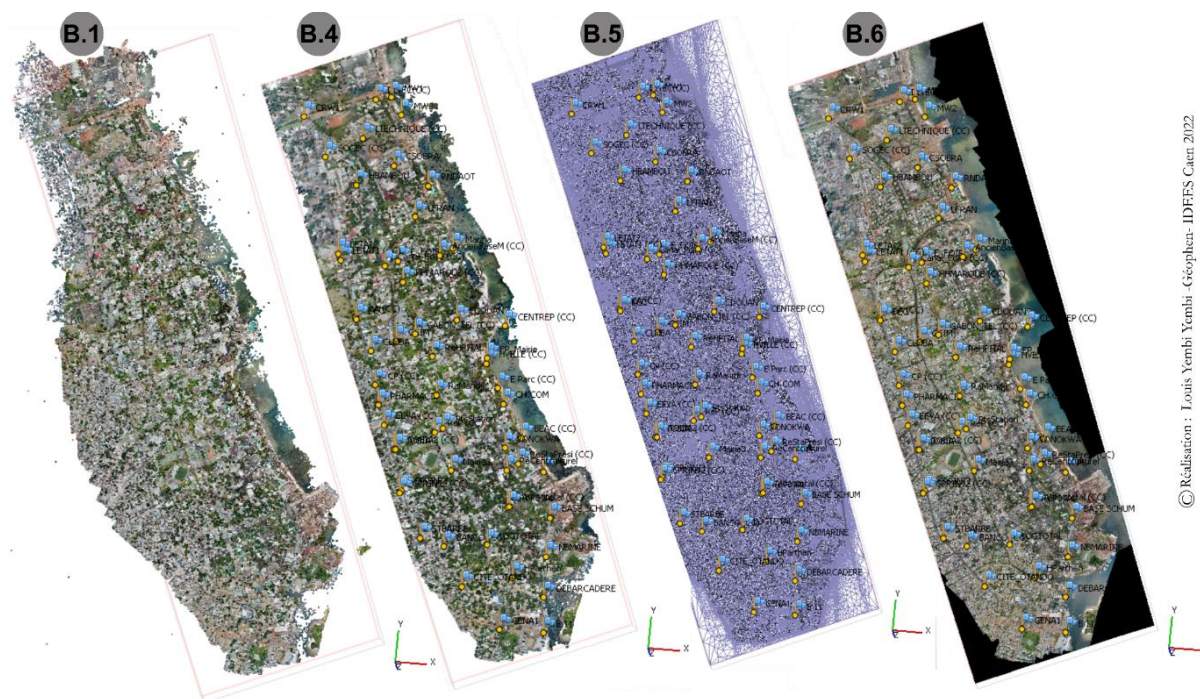
À partir de la construction du nuage de points épars, l'ensemble du processus peut être automatisé. La construction du nuage de points denses s'appuie sur le nuage de points épars précédemment construit pour retrouver les points (pixels) homogènes d'une photo à l'autre. Plusieurs paramètres permettent d'améliorer le processus de construction du nuage de point en fonction de la complexité (nombre important des détails) du territoire. Dans notre cas, l'option « Légère » a été choisie. Cette option permet à la fois de filtrer des photographies de mauvaise qualité de manière automatique (floues, bruitées, surexposées) et de tenir compte de la profondeur de la scène, c'est-à-dire du détail de la scène à construire. À l'issue de ce processus, 274 millions de points ont été générés ce qui représente 32 points/m².

B.5. Création du maillage à partir du nuage de points denses

Une fois le nuage de points denses généré, le logiciel passe à la construction du maillage. Cette étape permet de construire les formes du MNE à partir du nuage de points denses. Contrairement aux autres options, l'option « champ de hauteur » est adaptée à la création du modèle numérique d'élévation. C'est également celle qui utilise le moins de mémoire vive et permet de traiter un nombre important de photographies. Il est possible, à partir du paramètre interpolation de choisir l'option « extrapolée » pour boucher les différents trous dans le modèle

B.6. Création de la texture.

Afin de donner une meilleure qualité visuelle au modèle maillé ou de points denses, la création d'un modèle textural est générée en appliquant le mode mappage de texture.



© Réalisation : Louis Yembi Yembi - Géophtex: IDFFS Caen 2022

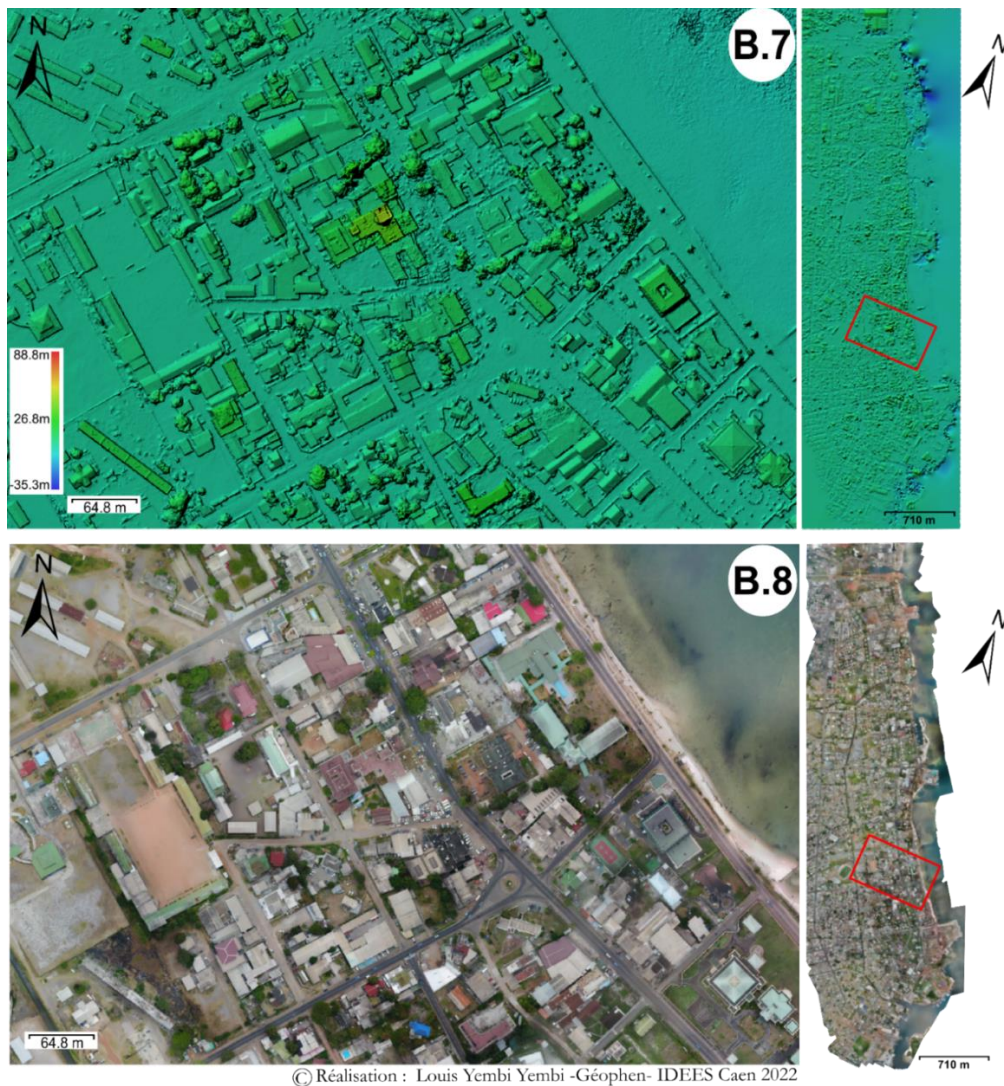
Figure 3-20 : Les différentes sorties des étapes B.1, B.4 à B.6 nécessaires à la construction du MNE de l'orthomosaïque du secteur d'application à une échelle fine. Le B.1 correspond au nuage de points épars ; B.4 correspond au nuage de points denses ; B.5 illustre le résultat de l'étape de la construction du maillage ; B.6 illustre la texture sur le maillage.

B.7. Construction du MNE

La construction du MNE est une étape importante, mais pas indispensable surtout lorsque le nuage de point servant à la construction du MNE va être nettoyé en phase post-traitement sur CloudCompare. Toutefois, pour avoir une idée de la qualité du futur MNE, un premier MNE est construit sur Photoscan. Le résultat du MNE présente une altitude qui varie de -35,3 m à 88,8 m (Figure 3-21 A). Sachant que le bâtiment le plus haut de la ville (Hôpital Paul Igamba) est à 50 m d'altitude et que les points les plus bas sont -1 m, cette variation importante de la topographie est due à des bruits dans l'ensemble des points.

B.8. Construction de l'orthomosaïque

La dernière étape de protocole de traitement photogrammétrique est la construction de l'orthomosaïque (Figure 3-21 B). Cette étape est la dernière, car elle dépend de la construction du MNE ou du Mesh et de la texture. Cette donnée est importante dans la mesure où elle permet par la suite de faire de la reconnaissance visuelle des enjeux à l'échelle locale (Chapitre 4).



© Réalisation : Louis Yembi Yembi - Géophen- IDEES Caen 2022

Figure 3-21 : Illustration de l'étape B.7 et B.8. L'étape B.7 correspond à la réalisation du MNE à partir du nuage de points denses ; B.8 illustre la réalisation de l'orthomosaïque.

3.3.3.2.3 Post-traitement du nuage de points denses (C)

Le processus de post-traitement concerne essentiellement le nettoyage du nuage de point dense. Comme indiqué dans la phase de construction du nuage de point dense, 374 millions de points ont été générés. Parmi ces points, il existe des points aberrants tout autour du modèle, comme exposée sur le MNE (Figure 3-21 B.7) qui indique des valeurs topographiques de **-35,3 m**. Ainsi, une inspection et un nettoyage du nuage de points sont nécessaires pour améliorer le MNE. Pour ce faire, nous avons utilisé le logiciel CloudCompare v2.12. Le nettoyage du nuage de point nous a permis de passer de 274 millions de points avec des altitudes de -35,85 m à 89,18 (Figure 3-22 C.1) à 263 millions de points avec des altitudes comprises entre 0 m à 49,60 m (Figure 3-22 C.2). Les points supprimés sont pour la plupart des bruits localisés au niveau de la façade littorale. Elles sont dues à la réflectance de l'eau malgré le tri des images effectué à l'étape B.1.

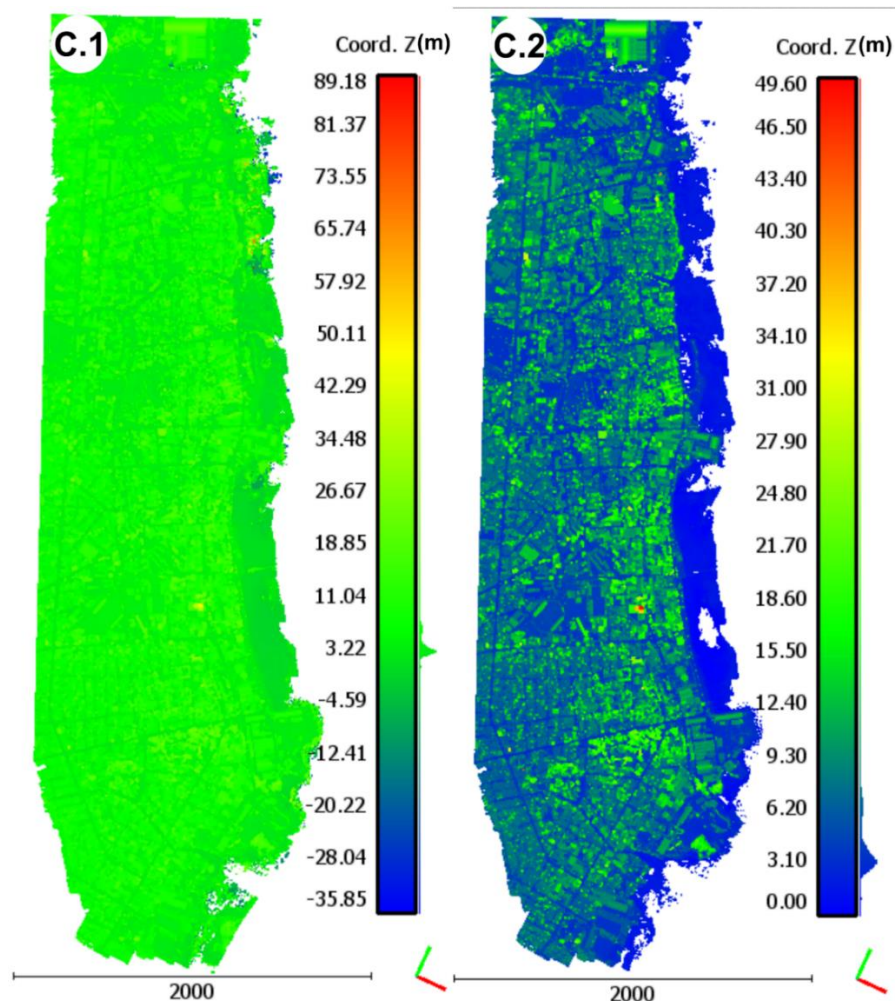


Figure 3-22 : Nuage de points denses bruts (C.1) Nuage de points nettoyés (C.2)

À la suite de ce premier travail de nettoyage du nuage de points denses, la seconde phase avait pour but de classer les points du nuage et récupérer les points au sol afin de générer le MNT. En effet, le premier nuage de point est un modèle numérique d'élévation. Autrement dit, un modèle décrivant le profil du sol, mais également le sursol (Bâti, végétation, voiture, etc.).

3.3.3.2.4 Évaluation de la qualité des MNT et MNE acquis et produits (D)

La dernière phase de ce traitement photogrammétrie est l'évaluation de la qualité du MNE généré. Bien que la précision ait été donnée dans le rapport de traitement de Photoscon Agisoft, nous avons voulu évaluer la qualité de la précision altimétrique du MNE par drone après le nettoyage et la reconstitution sur CloudCompare. Par la même occasion, nous avons évalué le MNT issu des planches topographiques de l'IGN et la qualité des SRTM et de l'ASTER de la NASA. Ainsi, nous avons calculé la valeur verticale de l'erreur quadratique moyenne (RMSE : Root-Mean-Square-Error) de nos différents modèles numériques de terrain et d'élévation. Ce calcul mathématique est utilisé depuis la fin des années 1970 (Elkhrachy, 2018). En pratique, elle mesure la différence entre les altitudes des MNT/MNE et les altitudes levées avec le DGPS (PCIs). Ces valeurs individuelles

Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles

de marge d'erreur sont agrégées en une seule valeur pour donner une seule valeur altimétrique d'erreur.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (Ni - Nj)^2} \quad [3.3]$$

Avec RMSE, le « Root Mean Square Error » ; N est le nombre de points de contrôle indépendants (PCIs) ; Ni est la référence d'élévation du PCI et Nj est l'élévation d'un point sur le MNT/MNE.

La marge d'erreur altimétrique de nos modèles topographique à partir des 21 points de contrôle montre de grandes différences entre les modèles acquis et les modèles construits. Globalement, les modèles acquis auprès de l'USGS ont une plus grande marge d'erreur altimétrique confirmant ainsi, les conclusions présentées dans la littérature. Le RMSE du modèle topographique acquis se situe entre 4,36 m pour l'ASTER et à 4,44 m pour le SRTM en Z. L'utilisation de ces MNE peut être problématique pour une zone d'étude à marnage microtidal et pour un phénomène d'évolution centimétrique.

ID	Réf. DGPS	MNE Drone	MNT 1974	MNE ASTER	MNE SRTM	Dif. MNE Drone	Dif. MNT 74	Dif. MNE ASTER	Dif. MNE SRTM
1	2,41	2,05	2,88	5	6	0,13	0,22	6,71	12,89
2	1,98	2,01	2	6	6	0,00	0,00	16,16	16,16
3	2,64	2,73	2,73	9	7	0,01	0,01	40,45	19,01
4	1,94	1,73	2,36	6	5	0,04	0,18	16,48	9,36
5	2,64	2,59	2,93	10	7	0,00	0,08	54,13	18,98
6	3,30	2,29	2,81	6	6	1,02	0,24	7,29	7,29
7	2,36	1,95	2,75	7	9	0,17	0,15	21,53	44,09
8	2,10	2,67	2,24	7	6	0,32	0,02	24,01	15,21
9	2,52	2,55	3,01	7	7	0,00	0,24	20,05	20,05
10	2,57	2,05	2,05	6	6	0,27	0,27	11,76	11,76
11	2,10	2,10	2,3	10	10	0,00	0,04	62,41	62,41
12	2,46	2,28	2,63	4	5	0,03	0,03	2,37	6,45
13	2,23	2,18	2,76	6	7	0,00	0,28	14,21	22,75
14	3,52	4,02	2,67	6	7	0,25	0,72	6,15	12,11
15	2,64	2,63	3,07	4	5	0,00	0,18	1,85	5,57
16	1,98	2,31	2,38	3	5	0,11	0,16	1,04	9,12
17	3,18	2,23	2,13	4	4	0,90	1,10	0,67	0,67
18	2,27	2,12	2,24	6	7	0,02	0,00	13,91	22,37
19	2,90	2,59	2,97	7	7	0,10	0,00	16,81	16,81
20	2,02	2,01	2,06	6	9	0,00	0,00	15,84	48,72
21	2,31	2,65	2,61	9	8	0,12	0,09	44,76	32,38
RMSE						0,41	0,44	4,36	4,44

Tableau 3-5 : Altitude des points des MNE/MNT et des PCI (en italique).

Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles

En revanche, le MNT construit à partir des feuilles topographiques de 1974 présente une marge d'erreur de 0,44 m (Tableau 3-5). Le MNE issu du processus de photogrammétrie après reconstitution du MNE sur CloudCompare se caractérise par une erreur globale de 0,41 m, sachant que l'erreur du modèle présenté dans rapport photogrammétrique généré par Agisoft a été estimée à 0,44 m. Les différences d'altitude peuvent être observées dans la Figure 3-23. Pour les deux derniers modèles topographiques, la marge d'erreur centimétrique semble correcte au regard de ce qui est utilisé dans d'autres territoires mieux dotés en modèle numérique et en bornes géodésiques. C'est par exemple le cas de la donnée topographique Litto 3D en France de résolution 1 m et une marge d'erreur contrôlée de 0,30 m (Thirard, 2019).

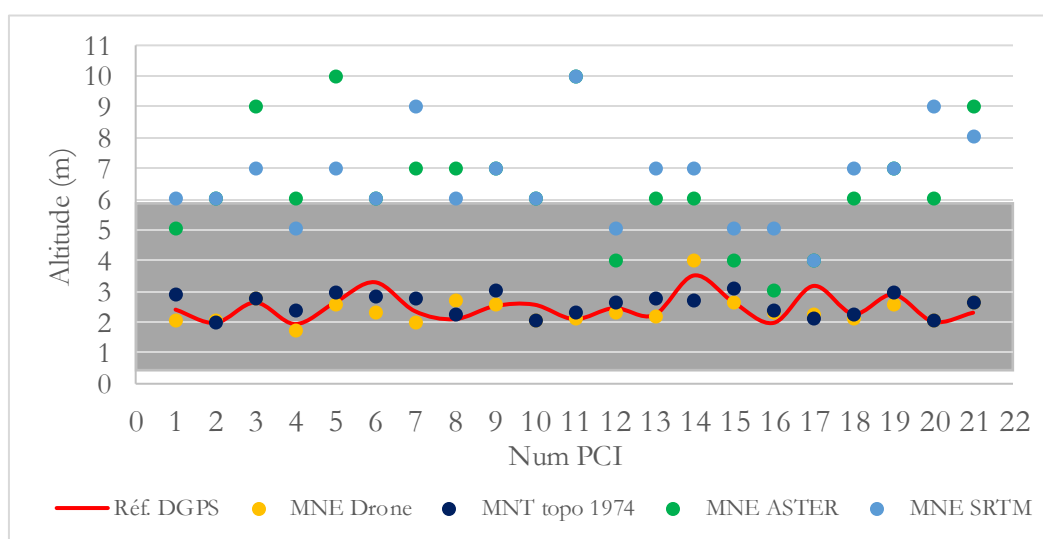


Figure 3-23 : Différence d'altitude des modèles topographiques en fonction des points de référence (PCI) levés au DGPS (trait rouge). la bande grise représente les altitudes max et min connues de de l'île Mandji (réalisation L.Yembi 2022)

3.3.4 Choix des modèles numériques de terrain

Comme mentionné à la section 3.1 et 3.2, le choix du modèle numérique de terrain détermine la qualité des résultats des cartes d'aléa qui est en grande partie liée la précision altimétrique et à la résolution spatiale. En résumé, plus la précision altimétrique est proche de la réalité, mieux les niveaux d'eau à tout point du territoire sont optimaux et plus la résolution spatiale est fine, mieux l'emprise spatiale est représentée.

En fonction de l'échelle d'analyse, nous avons opté pour l'utilisation de MNT construits à partir des feuilles topographiques de 1974 afin d'évaluer l'aléa à une échelle moyenne. Ce modèle a été choisi pour cette échelle d'analyse en raison de sa couverture sur l'ensemble de la partie nord de l'île Mandji et de sa marge d'erreur altimétrique qui est relativement faible, soit 44 cm. Pour la grande échelle ou l'échelle fine, nous avons considéré la topographie construite par le processus de

photogrammétrie SfM drone. Ce modèle topographique présente une faible marge d'erreur altimétrique, soit 41 cm, et une résolution spatiale de 1 m. Il est donc adapté pour des analyses à une échelle fine.

En comparaison de la donnée Litto 3D produite par le SHOM et l'IGN, qui présente une marge d'erreur ~30 cm (Thirard, 2019) en utilisant des moyens techniques importants et des outils performants, nous pensons que les marges d'erreur obtenues dans notre étude sont faibles, au regard de l'étendu des deux niveaux d'échelle retenus.

3.4 Vers une cartographie de l'aléa inondation marine

Cette section présente la mise en carte de l'aléa inondation marine et vérifie le niveau de précision de la carte d'exposition à l'échelle moyenne à partir de l'événement de référence qui s'est produit le 5 mars 1962 lors de la marée de vive-eau prédite à 2,04 m NGCLZ, et qui a finalement été enregistrée à 2,12 m, soit une surcote de 8 cm. Cette surcote de 8 cm peut être intégrée dans la marge d'erreur de l'interprétation des marégrammes. En considérant ce niveau d'eau enregistré de 2,12 m et avec la prise en compte du Wave setup à partir d'une configuration des états de la mer dans une configuration extrême des tempêtes tropicales dans le golfe de Guinée, **le niveau d'eau à la côte a été estimé à 2,44 m (NGCLZ).**

3.4.1 Outil de mis en carte de l'aléa à des échelles spatiales différentes et en fonction de différents scénarios

Le processus de mise en carte de l'aléa marin, initialement mis en place, nécessitait une exécution séquentielle de plusieurs outils de géotraitement. Dans la perspective de mise à jour des couches d'aléa, il s'agirait de prendre en compte d'autres paramètres d'estimation des niveaux d'eau extrême autre que ceux utilisés dans cette recherche. Nous avons mis en place un outil SIG de simplification de la production des cartes d'aléas, qui permet d'obtenir la couche d'aléa sensiblement en six (6) secondes (Figure 3-24).

Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles

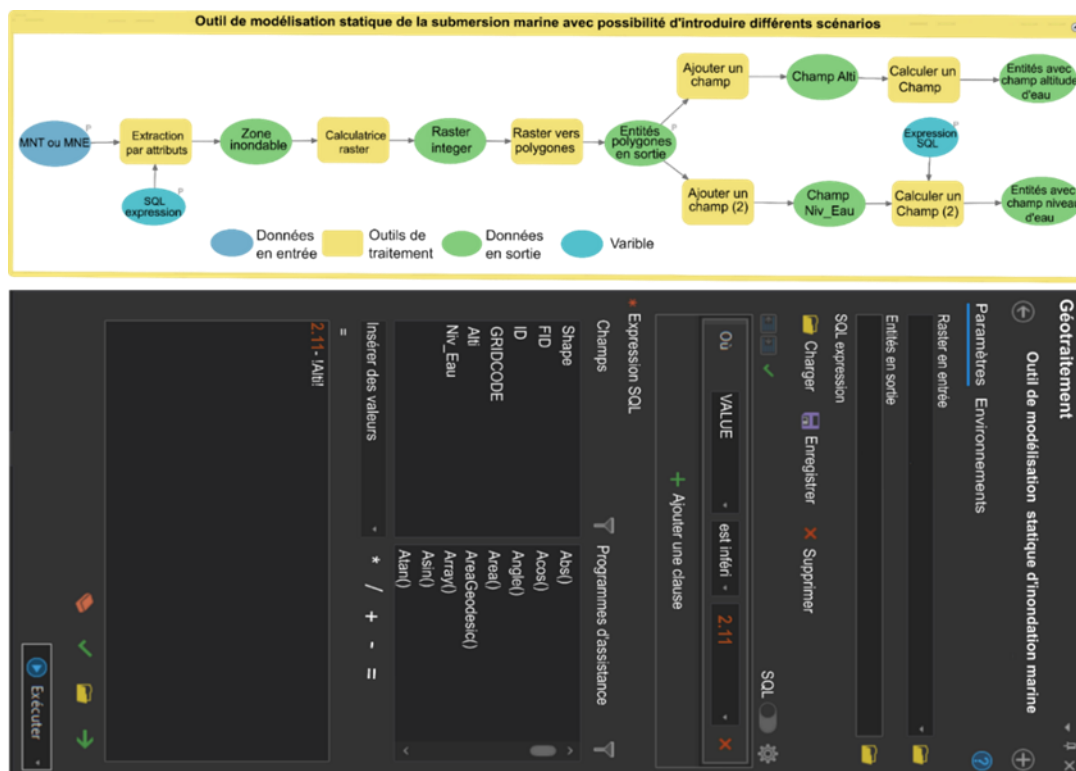


Figure 3-24 : Outil de géotraitement pour automatiser la détermination des zones inondables, ainsi que les hauteurs d'eaux associées. À gauche me model Builder et à droite l'outil développé

L'outil est initialement un « Model Builder » qui a été transformé en outil simplifié prêt à l'emploi comme un outil de géotraitement de la librairie ArcToolBox (ESRI). La couche en entrée est un Raster (MNT/MNE) et celle en sortie de type *shapefile* avec les niveaux d'eau. Comme paramètres d'entrée, il est question d'intégrer les valeurs du niveau d'eau statique déterminées ou modélisées une première fois pour délimiter la zone inondable et une deuxième fois pour définir les niveaux d'eau à chaque point du MNT ou du MNE. Cette simplicité de production des cartes d'aléa permet de tester un grand nombre de scénarios en très peu de temps. Cet outil est destiné aux gestionnaires afin d'être réactif dans la production des cartes d'aléa.

À partir de l'exécution de cet outil, les zones soumises à l'inondation par la mer sont identifiées. L'outil considère qu'une zone est inondable par la mer, lorsque les zones en arrière du front de mer sont en dessous du niveau d'eau déterminé et entrée dans l'outil. Cette méthode ne prend pas en compte de potentiels obstacles à la propagation d'eau à la surface du sol. Or, dans la section 3.1 de ce chapitre, nous avons vu que cette cartographie statique est contestée. Pour remédier à ce problème, nous avons considéré comme inondation marine directe la continuité des eaux marines vers les terres en connexion avec le trait de côte (Figure 3-25).

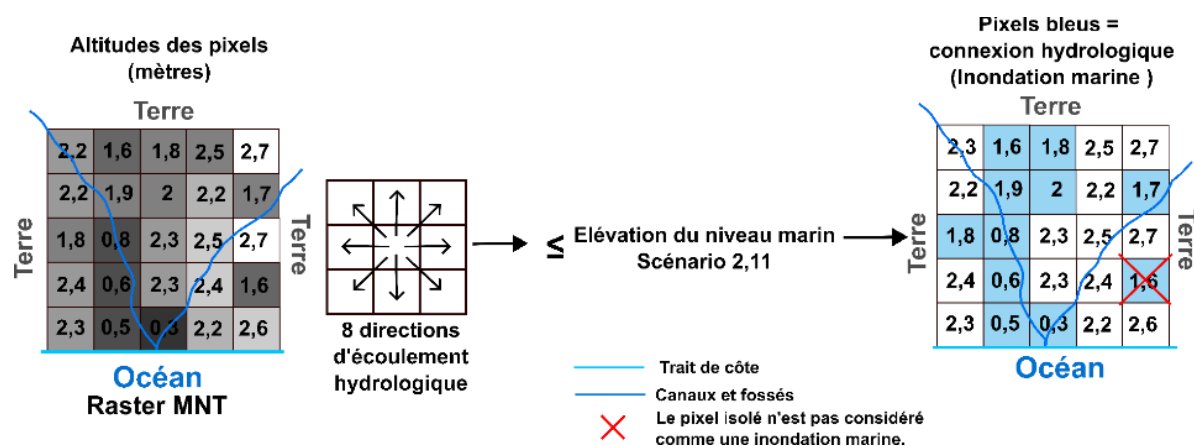


Figure 3-25 : Approche utilisée pour déterminer les zones inondables ayant une connexion hydrographique avec l'océan (Inspirée de Cooper *et al.*, (2013), (rRalisation L. YEMBI, 2022)

Cette approche exclut les zones potentiellement en dessous du niveau d'eau déterminé se trouvant protégé par une élévation du relief ou anthropique. Cette approche est utilisée par plusieurs auteurs (Krien *et al.*, 2010 ; Cariolet, 2011a ; Cooper *et al.*, 2013 ; Breilh, 2017). En raison du nombre important des canaux, notamment dans le centre-ville, une zone inondée et isolée du reste peut être considérée comme une inondation par la mer lorsqu'elle est en connexion avec un canal ou fossé. Pour, extraire uniquement les zones ayant une connexion avec la mer ou en connexion avec les canaux, un deuxième outil a été développé. Il considère en entrée la couche de la zone inondable et la couche combinant le trait de côte et l'ensemble des canaux et fossés de la ville. Un processus itératif de sélection selon l'emplacement, avec comme condition intersecté, permet de sélectionner les objets de la couche inondation qui touche le trait de côte et les canaux jusqu'au moment où plus aucune sélection ne s'ajoute au processus. Ce processus peut être relativement long au regard de la finesse de la résolution spatiale des pixels.

3.4.2 Évaluation qualitative des cartes d'aléa à l'échelle moyenne et à grande échelle

3.4.2.1 Une cartographie à l'échelle moyenne plus ou moins fidèle à la réalité morphologique de la zone d'étude

L'événement du 5 mars 1962 n'a pas fait l'objet d'un intérêt particulier pour les populations en ce temps-là. Ainsi, nous avons très peu d'information sur l'étendue des zones impactées. Le manque d'information sur la zone impactée réside également dans le fait qu'en dehors d'une partie du centre-ville historique, le reste de l'île n'était pas encore habité en 1962. C'est le cas par exemple de la zone sud avec les quartiers de Matanda et Lippe, le nord avec la cité SOGARA et toute la zone ouest (côte Atlantique), tel que les quartiers actuels de PG2, Côte d'Azur, Fort de l'Eau. Les populations vivent actuellement dans ces quartiers à la lisière du trait de côte.



Figure 3-26 : Intersection de l'étendue des zones inondables par la mer (zone bleue) à partir du PMVE et la limite de la laisse de mer (Trait rouge). (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Ainsi, pour évaluer la fiabilité des cartes d'aléa inondation marine, nous nous sommes référés à l'évaluation de la carte des PMVE, soit 1,66 m (NGCLZ). Cette carte a été comparée avec les limites des plus hautes eaux identifiées par photo-interprétation sur l'orthophoto construite à partir des levés drone, l'orthophoto de 2007 de l'Institut Nationale de Cartographie (INC) du Gabon, et des observations des marques de la limite hautes eaux sur le terrain mené en août 2019. Il est à noter que la laisse des plus hautes eaux identifier ne correspond pas à celle d'un événement tempétueux, mais aux limites de la continuité hydrographique de la mer vers les terres.

Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles



Figure 3-27 : Illustration des marquages physiques utilisés sur le terrain pour délimiter la limite des plus hautes eaux identifiées sur le terrain image du haut à gauche (photo prise le 5 février 2019 à 17h30) et par orthophoto drone sur l'image en haut à droite, ainsi que les hauteurs à certains points (quartier Matanda).

Bien que la méthode de cartographie employée soit statique, elle parvient néanmoins à présenter de manière cohérente l'étendue des zones inondables, avec une correspondance de 81,24 % par rapport à la ligne des plus hautes marées. Autrement dit, 81,24 % des zones inondables à partir de la PMVE sont correctement identifiées dans la zone inondable définie par la limite de la continuité hydrologique de la mer vers les terres. Toutefois, il est à noter que 6,10 % des zones inondées se

trouvent au-delà de cette limite, principalement dans le quartier Lippe au sud (Figure 3-26). De plus, il convient de noter que 12,66% de la zone délimitée par la laisse de mer demeure non inondée, en particulier dans la région nord, notamment dans la zone de mangrove des trois rivières.

La carte d'aléa à l'échelle moyenne, établie à partir de données topographiques datant de 1974 et ne tenant pas compte des changements topographiques survenus au cours des quarante dernières années dans les parties nord et sud de Port-Gentil, semble sous-évaluer le risque à certains endroits, tout en le surestimant ailleurs. Malgré cette sous-estimation, il est important de souligner que cette cartographie englobe une zone plus vaste que la seule commune de Port-Gentil. Par conséquent, une prudence dans l'interprétation des résultats cartographiques s'impose.

3.4.2.2 La grande échelle pour affiner l'évaluation de l'exposition de commune aux inondations par la mer

Dans la zone d'étude pilote (évaluation à une échelle fine), le site présente une topographie de très faible altitude et peu contrastée, à l'inverse de la topographie à l'échelle moyenne, qui montre une transition graduelle des élévations depuis la côte vers l'intérieur des terres. À une échelle fine, le site comporte de nombreux détails topographiques qui peuvent constituer des obstacles à la progression des eaux marines vers les terres.

Ce secteur du centre-ville est également le site où le linéaire des ouvrages de protection est le plus important de la commune soit 7,2 km sur 10,76 km. À partir de l'événement de 1962, c'est une partie du secteur qui a été impacté et décrit dans la coupure de presse (Figure 3-4). L'objectif de descendre à cette échelle d'analyse est d'avoir une idée de la spatialisation de l'aléa du 5 mars 1962, en tenant compte de la topographie actualisée. En revanche, contrairement à la cartographie à moyenne échelle, la méthode de cartographie utilisée dans ce chapitre, repose sur la projection du niveau marin de référence sur la topographie, et présente des limites, comme mentionné dans la première section de ce chapitre. En effet, en utilisant le niveau d'eau des pleines mers de vives-eaux (PMVE), on peut remarquer sur la carte du haut (A) de la Figure 3-28, que certaines zones qui ne sont pas en contact direct avec la côte et les canaux sont inondées, ce qui ne correspond pas à la réalité observée sur le terrain. Pour corriger cette surestimation des zones inondables, nous avons dû exclure les zones inondables qui n'avaient aucun lien direct avec la côte ou les canaux, comme expliqué dans la sous-section 3.4.1. Le résultat de cette opération est présenté sur la carte de bas (B) de la Figure 3-28. Mis à part ces imperfections, il est important de noter que la prise en compte des PMVE permet une correspondance quasiment parfaite, soit pratiquement 100 %, avec les limites des plus hautes eaux observées sur le terrain.



Figure 3-28 : Extension spatiale de la mer vers les terres pour un niveau de pleines mers de vives-eaux. (A) cartographie des zones inondables avec conservation des secteurs non connecté aux eaux de mer ou avec des ouvrages d'assainissement. (B), cartographie après nettoyage des plans d'eau non connectés aux eaux de mer ou avec des ouvrages d'assainissements (Réalisation L. YEMBI, 2022)

L'approche cartographique utilisée (cartographique statique) semble pertinente sur notre site d'étude et ceux en raison du mode de submersion du site étudié (submersion par débordement). Ce mode de submersion prend en compte le niveau marine instantané. Cependant, nous pensons que l'inondation marine par paquet de mer devrait être aussi considérée, car ce mode d'inondation est capable d'une part, de franchir les ouvrages, et, d'autre part, d'inonder par projection et par ruissellement des espaces topographiquement plus hauts que le niveau de la mer du moment (Lissak, 2012). Ainsi, cette approche présente des avantages et des limites, comme toute méthode de cartographie.

En prenant en compte ces limites et en appliquant les corrections nécessaires, on peut obtenir des résultats pertinents pour une première la cartographie d'urgence des zones côtières.

Chapitre 3 : Évaluation de l'aléa : caractérisation et spatialisation selon plusieurs scénarios et différentes échelles spatio-temporelles

L'approche cartographique (cartographique statique) que nous avons utilisée sur notre site d'étude semble adaptée en raison du mode de submersion choisi (Submersion par débordement). Cette approche prend en compte le niveau marin instantané, mais nous estimons que l'inondation marine par paquet de mer devrait également être prise en compte. Ce mode d'inondation peut non seulement franchir les ouvrages, mais aussi inonder des zones topographiquement plus élevées que le niveau de la mer actuel, par projection ou ruissellement.

Cependant, comme toute méthode de cartographie, cette approche présente des avantages et des limites. En tenant compte de ces limites et en apportant les corrections nécessaires, nous pouvons obtenir des résultats pertinents pour une première cartographie d'urgence des zones côtières. Cette approche peut aider à mieux comprendre l'étendue des zones à risque lors d'une tempête côtière, à réduire les risques d'inondation et à protéger les populations et les biens dans les zones à risque. En combinant différentes méthodes cartographiques, telles que la cartographie statique et l'inondation marine par paquet de mer, nous pouvons produire des cartes plus précises pour les planificateurs d'urgence et les décideurs politiques.

Synthèse du chapitre 3

Il est important de comprendre l'étendue spatiale et les hauteurs d'eau potentielles de l'inondation côtière en utilisant des méthodes de modélisation appropriées. Plusieurs méthodes sont utilisées pour évaluer l'aléa inondation marine, chacune ayant ses avantages et ses limites en fonction du type d'inondation, des objectifs de précision, des paramètres d'entrée et de la disponibilité des données. Bien que ces modèles permettent de caractériser et quantifier les inondations côtières, il est important de garder à l'esprit que leurs limites découlent de la simplification de la complexité des interactions entre les conditions de forçage météo-marines et de la configuration morphologique du site.

Dans notre évaluation de l'aléa, il était crucial de définir précisément les emprises des aléas considérés, à savoir les submersions marines stricto sensu et les inondations par la mer en tenant compte de l'élévation progressive du niveau moyen de la mer due au changement climatique. Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé une **variété de méthodes et techniques de modélisation**. Celles-ci ont permis de déterminer les zones les plus exposées aux risques et de fournir des informations utiles pour la gestion de ces risques.

Comme précédemment indiqué, la caractérisation et la quantification de l'aléa d'inondation marine peuvent poser des difficultés en raison du manque de données de référence précises permettant d'évaluer avec fiabilité la limite d'impact, la hauteur d'eau et son évolution dans le temps. Dans cette étude, nous avons produit **sept cartes pour chaque échelle**, basées sur trois scénarios résultant des conditions extrêmes de la mer des deux façades et des conditions générales du golfe de Guinée. L'objectif était de caractériser les zones affectées par l'aléa d'inondation marine dans cette localité en prenant toutes les hypothèses possibles afin de fournir aux gestionnaires des documents essentiels à l'évaluation et à la gestion du risque d'inondation par la mer. L'une de ces cartes a été établie en utilisant une méthode de modélisation SIG ou « baignoire », en se basant sur un événement passé, qui a eu un impact significatif sur la ville de Port-Gentil en 1962. Les autres cartes ont également été construites en suivant cette approche, en intégrant des hypothèses préalablement identifiées, telles que l'agitation de la mer lors d'épisodes tempétueux (wave setup), ainsi que des estimations optimistes et pessimistes de l'élévation du niveau marin, conformément au rapport du GIEC de 2022.

Dans cette démarche de caractérisation et de quantification de l'aléa, un travail important de collecte de données et de campagnes sur le terrain a permis de disposer d'éléments de base pour une première cartographie de l'aléa. Les éléments disponibles pour la validation de ces cartes d'aléa reposent sur les levés effectués par DGPS, les enquêtes sur le terrain et l'analyse par photo-

interprétation de la laisse de mer, qui correspond aux traces de la limite des plus hautes eaux identifiée lors de notre passage sur le site. La comparaison entre la limite des plus hautes eaux marines déterminée à partir de la laisse de mer et les résultats de la cartographie de la zone inondable actuelle montre une cohérence acceptable, malgré une faible précision topographique en termes de résolution spatiale. La raison de cette représentation des zones inondables plus ou moins cohérente réside dans le fait qu'il s'agit plus d'une inondation par débordement que par franchissement de paquets de mer, du moins dans la zone décrite dans la coupure de presse. Ce constat a été relevé dans d'autres études, telles que celle de Letortu (2013) à Étretat en Normandie, et celle de Breilh (2014) dans la partie centrale du golfe de Gascogne pour la tempête Xynthia. En intégrant les effets de l'agitation marine sur la déformation du plan d'eau à la côte dans la cartographie statique, le niveau d'eau augmente, mais pas de manière significative, quel que soit le scénario pris. Il dépasse rarement 35 cm, même en considérant l'hypothèse d'une tempête tropicale dans le golfe de Guinée.

À grande échelle, la mise à jour du modèle numérique de terrain a permis de préciser les zones potentiellement inondables actuelles et futures si aucune modification topographique n'est apportée. De plus, le MNE mise à jour, permet d'intégrer l'influence des canaux dans l'extension des zones inondables.

Nous reconnaissons que plusieurs améliorations sont nécessaires et seront nécessaires pour améliorer la cartographie de l'aléa. Tout d'abord, il est important de disposer d'une topographie précise pour l'ensemble de l'île Mandji. La précision de la cartographie dépend fortement de la qualité de la topographie utilisée dans ce type de cartographie sous SIG. Ensuite, l'absence d'informations continues sur la période de vagues et la pente du rivage, rend difficile la quantification précise de la lame d'eau supplémentaire due au phénomène de wave setup. Enfin, l'installation d'un marégraphe calibré à Port-Gentil permettrait d'enregistrer en continu les hauteurs d'eau, ce qui serait très utile.

Bien que les résultats issus de ce chapitre souffrent de certaines imprécisions, ils ont permis dans un premier temps de construire une **base de données inédite dans cette localité**, et dans un deuxième temps de spatialiser et de localiser les secteurs de la commune les plus exposés à l'aléa. Dans ce chapitre, une source importante d'incertitudes n'a pas été considérée, notamment le phénomène de subsidence. L'intégration de ce facteur dans la cartographie de l'aléa pourrait aggraver les zones identifiées comme potentiellement inondables. L'ensemble des résultats produits dans ce chapitre seront présentés en détail au chapitre 6.

Enfin, toutes les cartographies des différents scénarios d'aléas produites ont été stockées dans une base de données (Géodatabase), afin d'être utilisées comme couches d'analyse SIG. Cette base de données sera utilisée dans la suite de cette étude, notamment dans la production des cartes de

vulnérabilité physique des enjeux et comme base de comparaison des représentations mentales des zones à risque d'inondation marine produites par les populations et les autorités politico-administratives. Avant d'en arriver là, le chapitre qui suit s'intéresse à la vulnérabilité physique des enjeux et particulièrement à la démarche globale qui a permis de construire la base de données sur les enjeux et la méthode de production des cartes de vulnérabilité physique de ces enjeux.

Chapitre 4 : Identification, caractérisation et évaluation de la vulnérabilité physique des enjeux en milieu urbain : approche par indices

Introduction du chapitre 4

L'évaluation de l'aléa inondation marine et sa mise en carte constituent des éléments pour identifier les zones potentiellement exposées. Toutefois, il est tout aussi important d'identifier et de caractériser les enjeux potentiellement exposés ainsi que et les niveaux d'exposition auxquels ils sont soumis (Puissant *et al.*, 2014). En effet, indépendamment de l'intensité et de l'étendue spatiale de l'aléa, les conséquences potentielles d'un aléa naturel sont étroitement liées à la vulnérabilité des enjeux exposés (Fuchs *et al.*, 2019). Dans ce cas, il apparaît pertinent d'identifier et de caractériser la vulnérabilité des enjeux dans la perspective de réduire la vulnérabilité physique des territoires.

Ce chapitre se concentre sur l'évaluation de la vulnérabilité physique des enjeux face aux inondations côtières. La vulnérabilité physique fait référence aux coûts financiers directs et à la menace pour la vie humaine dans des conditions extrêmes de l'aléa. Dans les zones urbaines, les enjeux structurants de l'espace comprennent les populations, les bâtiments et les infrastructures. Au Gabon, peu d'études ont été effectuées sur les conséquences potentielles des enjeux exposés aux risques naturels.

Dans le cadre de cette étude, nous nous concentrons sur les effets tangibles directs potentiels des inondations marines par débordement, car il est souvent complexe d'évaluer les effets intangibles, c'est-à-dire les impacts indirects sur n'importe quel enjeu. Selon l'échelle d'analyse et la représentation spatiale des enjeux, les effets tangibles directs peuvent inclure les dommages causés aux bâtiments commerciaux, résidentiels, industriels et administratifs, entre autres. Nous avons fait le choix de ne pas inclure la caractérisation de la valeur économique des enjeux ni la vulnérabilité corporelle. En effet, l'évaluation économique des enjeux n'est pas sans poser des problèmes (Basara, 2019), en particulier dans des territoires où l'information sur la valeur des biens, notamment l'immobilier, n'est pas disponible. De plus, l'évaluation des pertes économiques ne prend pas en compte uniquement les effets tangibles, mais peut également inclure des pertes indirectes résultant de la fermeture d'une activité pendant la crise (Papathoma-Köhle *et al.*, 2017). De même pour la vulnérabilité corporelle, les informations sur la population à une échelle infra-communale sont lacunaires.

Le but de ce chapitre est de fournir aux autorités de gestion des risques un outil de base pour élaborer des stratégies d'atténuation ou d'adaptation visant à réduire les conséquences des inondations marines. Nous voulons également établir une base de données SIG qui inclura des données et informations pertinentes pour l'évaluation de la vulnérabilité physique des enjeux. Pour ce faire, nous posons trois questions clés :

- **Quelle démarche est adaptée pour évaluer la vulnérabilité physique des enjeux dans le contexte portgentillais et de l'aléa traité ?**
- **Quels sont les enjeux pertinents à prendre en compte dans ce territoire et leur accessibilité ?**
- **Comment ces enjeux contribuent-ils à l'augmentation et à la variation de la vulnérabilité du territoire ?**

Le chapitre est structuré en quatre parties distinctes. La **première section 4.1**, aborde spécifiquement la sélection d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité physique des enjeux face aux risques naturels, notamment les inondations côtières. Différentes approches seront examinées, et la méthode choisie sera celle qui répondra aux contraintes de notre étude, en particulier la disponibilité limitée des données de base. L'objectif est de choisir une méthode reproductible pour d'autres régions. La **deuxième section 4.2** se focalise sur les données, incluant la collecte et la construction de la base de données des enjeux, ainsi que la sélection des indicateurs pertinents pour l'évaluation. Quant à la **troisième section 4.3**, elle détaille les étapes de la création des indicateurs de vulnérabilité pour les différents enjeux en utilisant la méthode identifiée dans la section 4.1, ainsi que le rôle des systèmes d'information géographique (SIG) dans la construction de ces indicateurs.

4.1 Choix d'une méthode compatible avec les conditions réelles du terrain

Comme évoqué au chapitre 1, le concept de vulnérabilité est en débat permanent dans de nombreuses disciplines, notamment sur sa définition. Pour prendre le domaine des risques en montagne par exemple, Papathoma-Köhle *et al.* (2017) affirment que plusieurs auteurs dans le domaine des sciences naturelles définissent la vulnérabilité physique comme un degré de perte d'un objet donné ou d'un ensemble d'objets dans le périmètre affecté par un aléa. Elle est le plus souvent exprimée selon un ordre de grandeur comprise dans une échelle définie, notamment 0 pour exprimer une perte nulle et 1 pour une perte très élevée ou totale (Puissant *et al.*, 2014). Cependant, selon Birkmann, (2006) et Kappes *et al.* (2012), la vulnérabilité ne se limite pas à ce degré de perte, mais cherche à identifier les facteurs qui rendent un enjeu physiquement vulnérable. La vulnérabilité peut être décrite comme une caractéristique des comportements humains, des environnements sociaux et physiques décrivant le degré de résistance (susceptibilité) à l'impact d'un aléa. En conséquence, la vulnérabilité des enjeux doit se tourner vers l'identification des variables (indicateurs) propres à chaque enjeu qui influencent ou modifient son niveau de vulnérabilité face à aléa.

4.1.1 Les principales approches permettant d'évaluer la vulnérabilité physique des enjeux

La vulnérabilité physique des enjeux aux risques anthropiques ou naturels a été évaluée en utilisant différentes approches quantitatives et qualitatives dans la littérature (Michael-Leiba *et al.*, 2002; Puissant, 2003 ; Liégeois *et al.*, 2005 ; Maquaire *et al.*, 2006 ; Dall'Osso *et al.*, 2009 ; Lissak, 2012 ; Tarbotton *et al.*, 2012 ; Godfrey *et al.*, 2015 ; Boschetti, 2020 ; Graff, 2020 ; Papathoma-Köhle *et al.*, 2022). Les études les plus fréquentes ont examiné la vulnérabilité physique des enjeux urbains aux inondations côtières au cours des 20 dernières années. Par contre, trois approches sont le plus souvent utilisées en sciences naturelles sont **les matrices d vulnérabilité, les courbes de vulnérabilité et les indices de vulnérabilité** (Kappes *et al.*, 2012 ; Papathoma-Köhle *et al.*, 2017 ; Carlier *et al.*, 2018).

Les matrices de vulnérabilité constituent une approche qualitative (Leone *et al.*, 1996), qui présente l'avantage de clarifier les relations entre les processus et leurs conséquences, ainsi que d'être compréhensible pour les non-spécialistes, sans nécessiter des informations précises sur l'intensité des processus ou les coûts des dommages en termes monétaires (Fuchs *et al.*, 2007). Cependant, cette méthode est subjective et ne fournit pas de description concrète des dommages observés, rendant la transposition d'un secteur à un autre difficile.

Les courbes de vulnérabilité (c'est-à-dire les courbes de dommages et les courbes de fragilité) expriment la vulnérabilité de manière quantitative, en traduisant les dommages observés en valeurs monétaires (Messner et Meyer, 2006 ; Tarbotton *et al.*, 2015). Elles permettent une analyse coûts-avantages en établissant une relation claire entre les pertes matérielles et l'intensité du processus (Creach, 2015 ; Papathoma-Köhle *et al.*, 2017 ; Tarbotton *et al.*, 2015). Cependant, elles dépendent fortement de la quantité et de la qualité des données collectées (Kappes *et al.*, 2012 ; Papathoma-Köhle *et al.*, 2017) et nécessitent un grand nombre de données de qualité pour être mises en œuvre. Leur réalisation nécessite un nombre important d'enjeux exposés au risque et les courbes produites ne peuvent être transposées qu'à des secteurs présentant exactement les mêmes caractéristiques des enjeux. De plus, elle ne prend en compte que l'aspect financier, ignorant ainsi de nombreuses caractéristiques des éléments exposés au risque, alors même qu'elles sont importantes (Papathoma-Köhle *et al.*, 2017).

Les indices de vulnérabilité sont pour Birkmann (2006) ainsi que Kappes *et al.* (2012), la manière la plus efficace d'évaluer la vulnérabilité, et ce, à partir d'un ensemble d'indicateurs qui reflètent les caractéristiques des éléments exposés au risque. Cette approche présente plusieurs avantages, tel que : l'analyse des différents types de conséquences pouvant affecter les enjeux tout en évitant l'utilisation de données monétaires (Meyer et al., 2009) ne nécessite pas de données empiriques

(Papathoma-Köhle *et al.*, 2017) garanti la prise en compte des différentes caractéristiques des éléments exposés aux aléas (Puissant *et al.*, 2006 ; Malet *et al.*, 2006 ; Puissant *et al.*, 2014). Elle est suffisamment flexible pour être transposée à différents lieux et types d'aléas (Kappes *et al.*, 2012). En outre, l'amélioration de la technologie SIG permet désormais de développer facilement des indices de vulnérabilité à haute résolution et orientés vers l'opérationnel (Nelson *et al.*, 2015).

4.1.2 Exploitation des indicateurs afin de produire des indices

Dans le cadre de cette étude, l'approche basée sur les indices de vulnérabilité a été retenue en raison de l'absence de données détaillées sur les enjeux, de la précision relative des cartes d'inondation marine produites, mais surtout de la capacité de reproductibilité de l'approche et de son adaptabilité à d'autres sites et à d'autres risques. Avant de poursuivre, il est important de clarifier les concepts d'indicateur et d'indice afin de mieux comprendre la démarche adoptée.

4.1.2.1 Notion d'indicateur...

Dans la littérature, plusieurs études ont utilisé des indicateurs pour évaluer l'impact des aléas côtiers sur les enjeux situés à proximité de la côte (Papathoma et Dominey-Howes, 2003 ; Barroca *et al.*, 2006 ; Dall'Osso *et al.*, 2009 ; Tarbotton *et al.*, 2012 ; Creach, 2015 ; Juigner, 2017 ; Bonetti *et al.*, 2018). Il est important d'examiner les variables qui influencent la vulnérabilité des enjeux, également appelées indicateurs de vulnérabilité (Liégeois *et al.*, 2005 ; Barroca *et al.*, 2006). La recherche d'indicateurs de vulnérabilité physique est un processus structuré en quatre étapes : **identification de l'échelle d'analyse** en fonction de l'étendue de la zone d'étude, **l'identification et la hiérarchisation** des indicateurs et les paramètres qui caractérisent la vulnérabilité physique de ces zones, **l'élaboration d'une méthode d'évaluation** et enfin, **la cartographie de la vulnérabilité physique** de la zone.

Cependant, l'utilisation croissante d'indicateurs peut mener à un vocabulaire complexe nécessitant des clarifications sémantiques. Des termes tels que **critères, indicateurs, paramètres et indices** sont utilisés dans cette recherche, ayant des significations différentes. Les termes indicateurs et indices sont deux termes distincts et complémentaires qui seront à la base de cette évaluation.

Les indicateurs sont des outils importants pour la quantification et la qualification de l'information sous forme de mesure unique ou agrégée. Selon Birkmann (2006), un indicateur décrivant la vulnérabilité des enjeux aux risques naturels est une variable opérationnelle qui reflète les caractéristiques d'un système et donne des informations sur sa susceptibilité, sa capacité d'adaptation et sa résilience aux impacts d'aléas liés aux risques d'origine naturelle. La recherche d'indicateurs est particulièrement bien adaptée à l'évaluation de la vulnérabilité des enjeux, quelle

que soit l'échelle d'analyse. Cependant, en raison de la complexité des systèmes urbains, il est souvent nécessaire de simplifier la réalité pour obtenir une information compréhensible pour tous.

Les indicateurs sont également des outils importants pour la gestion opérationnelle des territoires côtiers, car ils permettent de traduire des données complexes en informations simples pour les gestionnaires. Pour être utile et opérationnel dans la prise de décision pour la mitigation des impacts de l'aléa d'inondation par la mer, le choix des indicateurs doit obéir à un certain nombre de conditions parmi lesquels la **pertinence** pour le phénomène traité, **quantifiable**, et la **temporalité** pour répondre à des évolutions dans le temps et communiquer des informations précises à un instant donné, la **qualité** et la **disponibilité** des données, ainsi, que la **comparabilité**. Par conséquent, les indicateurs sont choisis en fonction des objectifs fixés, du phénomène à évaluer et surtout en fonction de la disponibilité des données (OCDE, 2008). Par contre, il est important de limiter le nombre des indicateurs afin de maintenir l'opérationnalité et garantir la reproductibilité de la méthode. (Hénaff et Philippe, 2014).

4.1.2.2 ... et celle d'indice

Une fois les variables identifiées, elles doivent être converties en indicateurs pour permettre l'attribution de valeurs et une mesure concrète. Des indices peuvent alors être développés pour synthétiser ces indicateurs et permettre une évaluation relative des vulnérabilités parmi les différents enjeux, c'est-à-dire de déterminer si un enjeu est plus ou moins vulnérable qu'un autre. L'utilisation d'indices permet également de comparer les vulnérabilités des enjeux et de les analyser au fil du temps ou entre différentes zones d'étude.

L'indice est **l'agrégation de plusieurs indicateurs** permettant de former un indice synthétique. Cette approche est basée sur la combinaison de plusieurs variables ou critères. L'agrégation peut se faire au sein de plusieurs unités d'objet, soit **une maille**, soit au sein d'un **objet** (enjeux). Lorsque le nombre de variables à agréger est élevé, la structure des indices peut être constituée d'un agrégat hiérarchique avec plusieurs niveaux (sous-indices) résultant de la normalisation des variables des indicateurs avant d'arriver à un niveau final ou de synthèse (Cf. sous-section 4.3.2).

4.1.3 Quelle approche pour la production d'indices de vulnérabilité physique des enjeux ?

Nous avons mis en place la **méthode ANA** (*Affectation, Normalisation, Agrégation*) pour évaluer la vulnérabilité physique de Port-Gentil aux inondations par la mer. Cette méthode est basée sur la méthode APC (Affectation, Pondération, Combinaison) développée par Graff, (2020), qui elle-même s'inspire de la méthode **PDI** (Potential Damage Index) élaborée par (Puissant *et al.*, 2006) et repris par Puissant *et al.*, (2014). Nous avons choisi cette méthode pour sa flexibilité, qui

permet de prendre en compte les particularités des différents sites étudiés et les différents types d'aléas. La méthode ANA permet d'évaluer les impacts directs potentiels de l'aléa sur les différents enjeux en produisant un indice de vulnérabilité semi-quantitatif. Cette évaluation de la vulnérabilité est relative et repose sur deux sous-indices : l'indice de vulnérabilité fonctionnelle directe et l'indice de vulnérabilité structurelle. La méthode ANA comprend trois étapes : l'affectation, la normalisation ou standardisation et l'agrégation ou combinaison, qui seront expliquées plus en détail dans la suite de ce chapitre. Cette approche peut facilement être implémentée à l'aide de SIG.

4.1.4 Méthodologie globale

L'évaluation de la vulnérabilité des enjeux de la ville de Port-Gentil se fait en utilisant une méthode globale basée sur des indices synthétiques. Le but est de dresser un état des lieux de la situation actuelle et de déterminer les potentielles conséquences des enjeux sur un événement évolutif. On cherche donc à comprendre comment un territoire avec des enjeux fixes, peut être vulnérable par rapport à un événement scénarisé dans un contexte évolutif lié au changement climatique.

L'évaluation de la vulnérabilité physique des enjeux de Port-Gentil est basée sur des indices qui sont produits en grande partie avec des outils SIG utilisant des techniques d'acquisition et de traitement géomatique. Les SIG permettent d'explorer la variabilité spatio-temporelle de la vulnérabilité du territoire (Barroca *et al.*, 2006 ; Basara, 2019) en automatisant et en testant plusieurs opérations mathématiques pour produire des indices. Nous avons utilisé le logiciel ArcGis Pro d'Esri pour cartographier l'aléa, mais d'autres SIG tels que Qgis, Global Mapper ou Gvsig peuvent être utilisés.

En raison d'un manque de données sur les enjeux sur notre territoire d'étude, une grande partie de la démarche a consisté à produire des données sur les différents enjeux, puis à construire des indices de vulnérabilité physique des enjeux, comme présenté dans la Figure 4-1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Ces étapes sont expliquées en détail dans les sessions suivantes.

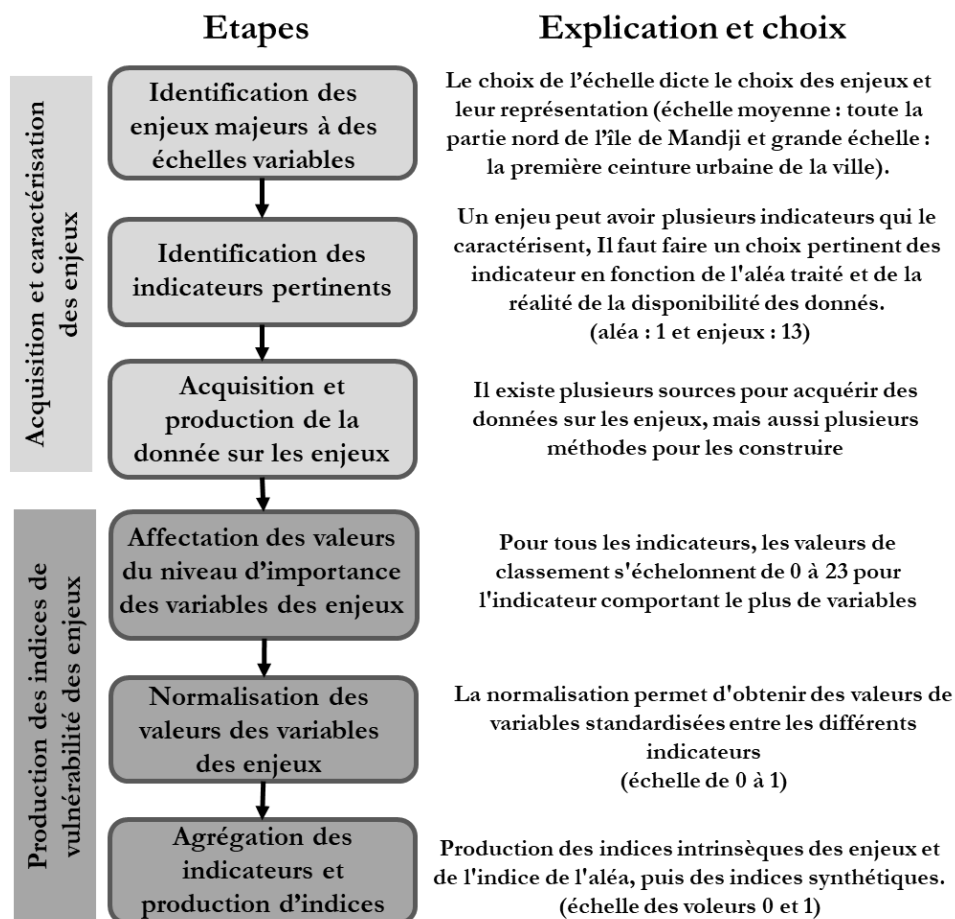


Figure 4-1 : Étape d'évaluation de la vulnérabilité physique à partir d'indices synthétiques (Réalisation L. YEMBI, 2022)

4.2 Acquisition et caractérisation des enjeux exposés selon deux échelles spatiales

La perte causée par les catastrophes est due aux interactions entre les phénomènes dangereux et les caractéristiques des éléments exposés qui les rendent susceptibles d'être endommagés (Dilley, 2005). Le niveau de vulnérabilité des enjeux dépend de la magnitude de l'aléa, de sa durée, de la configuration du site, du moment de l'événement (Burton *et al.*, 1993), mais surtout de la vulnérabilité intrinsèque des enjeux exposés. En d'autres termes, les enjeux peuvent avoir des caractéristiques propres qui va déterminer leur niveau de vulnérabilité physique plus ou moins important (Dilley, 2005 ; Malet *et al.*, 2006 ; Puissant *et al.*, 2014 ; Graff, 2020). L'évaluation de la vulnérabilité des territoires à des aléas naturels implique de s'intéresser à l'impact potentiel des enjeux qui constituent les éléments structurants des territoires et de tenir compte de leurs caractéristiques propres. L'objectif final est de réduire l'impact des inondations en milieux urbains. En fonction des objectifs, du type d'application et de la disponibilité des données sur les

caractéristiques de ces enjeux, différentes échelles spatiales peuvent être considérées pour mener des analyses évaluatives (Dilley, 2005 ; Graff, 2020).

4.2.1 Identification des enjeux à des échelles variables d'analyse

Le choix de l'échelle d'analyse est crucial lors de l'évaluation des territoires, car cela influence la façon dont les objets sont représentés et les informations pertinentes à identifier sur ces objets. Ainsi, l'échelle d'évaluation détermine les enjeux à évaluer ainsi que le nombre d'indicateurs à considérer lors de l'analyse. Bien que déterminée en amont de l'analyse, l'échelle d'évaluation est influencée par la disponibilité et la qualité des données, comme indiqué au chapitre 3 à la section 3.1. Comme précisé en introduction, l'évaluation de la vulnérabilité se focalise au niveau local, considérée dans la littérature comme une échelle opérationnelle dans la perspective de la gestion des risques. (Barroca *et al.*, 2006 ; Basara, 2019). Cette échelle permet de déterminer plusieurs caractéristiques qui influencent la vulnérabilité des objets territoriaux à évaluer (Leone, 1996).

En raison du manque de données et afin d'optimiser le temps imparti pour l'évaluation et notamment la spatialisation de la vulnérabilité du secteur d'étude aux inondations par la mer, deux échelles ont été utilisées pour évaluer l'exposition de la région à cet aléa, comme décrit dans le chapitre 3, la sous-section 3.1.3.

4.2.2 Identification des indicateurs pertinents, acquisition et production des données sur les enjeux

Dans l'évaluation de la vulnérabilité des enjeux liés aux inondations côtières, il est essentiel de considérer deux facteurs en conflit : l'aléa et les enjeux. La méthodologie employée pour produire des données sur les différents scénarios d'aléa est décrite en détail dans le chapitre 3. Cette sous-section se concentre sur la collecte et la construction des données qui alimenteront la base de données relative aux enjeux, ainsi que sur les indicateurs identifiés.

4.2.2.1 Construction de la base de données sur l'utilisation dominant des sols : identification des enjeux à l'échelle moyenne

Dans cette étude, l'échelle moyenne (1 : 100 000 - 1 : 25 000) a été choisie comme l'une des premières échelles d'analyse pertinente en raison du manque de données sur les enjeux au niveau communal. Cette échelle permet d'agrèger les éléments constitutifs du territoire en objets simples tout en prenant en compte l'ensemble des enjeux présents sur le territoire en fonction de leur importance, indépendamment de leur environnement immédiat, comme l'occupation du sol.

L'occupation du sol peut être définie comme l'usage, la fonction socio-économique ou l'exploitation d'une unité géographique (parcelle, îlot). Une même unité géographique peut intégrer une variété de fonctions, mais pour les besoins de cette thèse, elle peut prendre les caractéristiques

de l'usage dominant. Les enquêtes sur l'utilisation du sol peuvent être utiles pour de nombreux services gouvernementaux ou encore des collectivités territoriales. Elles peuvent être utilisées pour quantifier l'évolution urbaine, pour identifier les trajectoires de changement (exemple de l'évolution de la déforestation).

En outre, la classification de l'utilisation dominante du sol est aussi importante que la structure ou la fonction des bâtiments, car il en résulte également des pertes potentielles. Dans cette étude, la structure fait référence non seulement aux bâtiments, mais aussi au terrain sur lequel ces derniers sont construits, quelle que soit la fonction associée (site industriel, école, centre de santé, etc.). En identifiant l'usage dominant d'une parcelle ou d'un îlot, il est possible de définir les terrains les plus vulnérables et surtout les plus vitaux en cas de crise, dont l'opérabilité est primordiale (Martelli, 2011 ; Yoo *et al.*, 2014). Parmi ces éléments essentiels, on peut citer, sans être exhaustif et sans hiérarchie, les centrales électriques, les centres de santé, les postes de police ou les casernes de pompiers. Si ces structures sont gravement touchées et deviennent inopérantes, des sites tels que des mairies, des hôtels, des écoles peuvent être réquisitionnés pour faire face temporairement à l'afflux de sinistrés ou à la relocalisation des services essentiels touchés.

4.2.2.1.1 Caractérisation de l'utilisation du sol dominant

Il existe deux méthodes pour caractériser l'utilisation du sol, en particulier l'occupation dominante du sol en fonction de l'unité géographique retenue : les observations directes sur le terrain et les techniques de télédétection qui utilisent des photographies aériennes et les images satellites.

S'agissant de nomenclature des classes d'occupation du sol, il n'existe pas actuellement une nomenclature internationale conventionnelle pour décrire l'occupation du sol d'un territoire. Cette nomenclature dépend de la zone géographique (par exemple, la couche Corine Land Cover du territoire français est différente que l'on se trouve en métropole ou dans les territoires d'outre-mer situés pour la plupart en zone tropicale) et des objectifs de la recherche (par exemple, une étude se concentrera sur la distinction entre zones urbaines et naturelles, tandis que d'autres iront plus loin dans la caractérisation de l'occupation du sol en zone urbaine).

En se focalisant sur des études antérieures prenant en compte l'utilisation du sol dans l'évaluation de la vulnérabilité physique des territoires aux phénomènes naturels (Malet *et al.*, 2006 ; Martelli, 2011 ; Kappes *et al.*, 2012 ; Scheuer *et al.*, 2013 ; Bonetti *et al.*, 2018), la nomenclature des différentes classes d'utilisation du sol à Port-Gentil a été déterminée sur la base de ces études tout en s'adaptant aux spécificités de la commune. L'ensemble de l'enquête sur l'utilisation du sol dominant a été réalisée au cours de la deuxième mission de 2018 après celle de reconnaissance du terrain en 2017. En raison de l'étendue de la zone d'étude, une approche mixte d'observation directe et de techniques de télédétection a été utilisée, notamment pour créer une carte de l'occupation du sol

dans le secteur nord de l'île Mandji, où se trouve la commune de Port-Gentil. Ce premier niveau de détail a été réalisé à l'aide d'image satellite SPOT6 de 2015, l'une des images SPOT6 de la région obtenue sans nuages depuis le site Theia-land²³.

4.2.2.1.2 Classification d'image satellite SPOT7

L'image utilisée dans le cadre de la cartographie et classification de l'occupation du sol de la partie nord de l'île Mandji est la scène du satellite SPOT7 du 28/06/2015, couvrant la totalité de l'île Mandji et du delta de l'Ogooué. Le processus de traitement de cette image est résumé dans la Figure 4-2. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

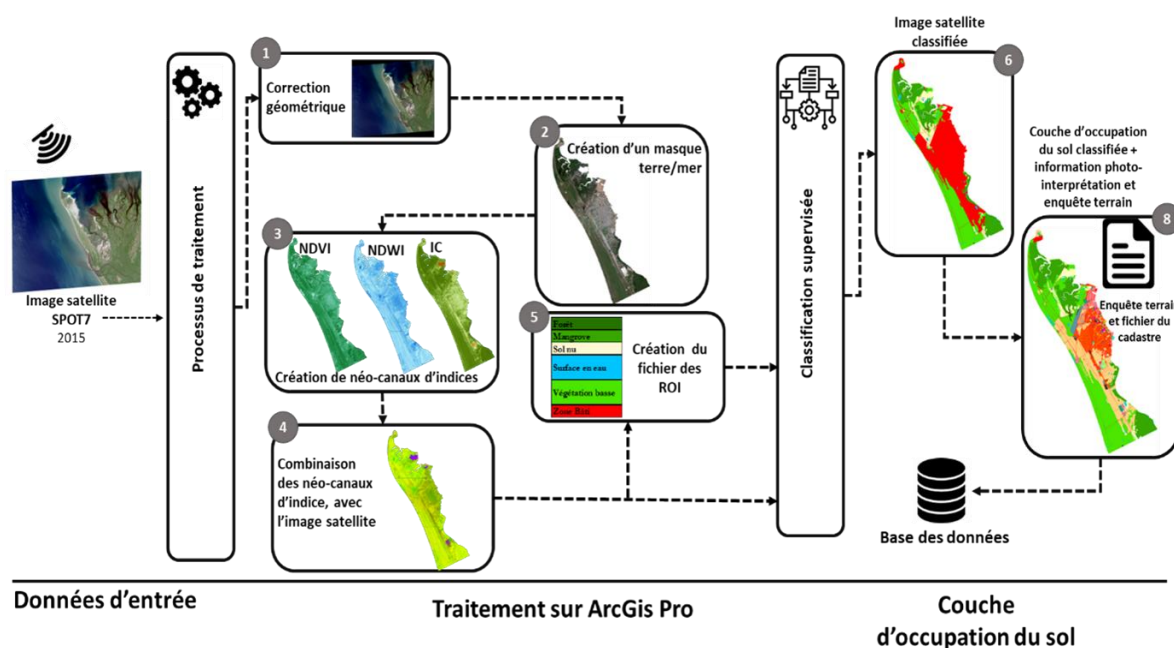


Figure 4-2 : Chaîne de traitement en vue de la production de la couche d'occupation du sol dominante à une échelle moyenne (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Le pré-traitement : nous avons mis en place une méthodologie de pré-traitement des données pour assurer la cohérence des résultats avec l'ensemble du projet. Pour ce faire, nous avons utilisé l'outil de géoréférencement du logiciel ArcGIS Pro pour ajuster l'image à l'orthophoto de 2007 obtenue auprès du service technique de la mairie de Port-Gentil dans le système de coordonnées WGS84/UTM Zone 32 Sud. Ensuite, nous avons appliqué un masque basé sur les limites du trait de côte pour séparer la partie terrestre de l'image multispectrale de sa partie marine, afin d'éviter toute interférence dans les traitements ultérieurs.

La création de néo-canaux : nous avons également créé des néo-canaux à partir des données radiométriques des images (valeurs des pixels des images satellitaires) pour identifier distinctement les classes d'occupation du sol potentielles. Ces néo-canaux ont été combinés avec l'image

²³ <https://www.theio-land.fr>

multispectrale pour mettre en évidence les aspects particuliers de l'hétérogénéité du paysage de l'île Mandji, un territoire constitué en majorité par le couvert végétal de plusieurs sortes, les surfaces en eau et les surfaces artificielles. Les indices utilisés ont été choisis en fonction de leur efficacité pour un environnement géographique tropical présentant des activités humaines (zone urbaine, sol nu, routes, pistes...) et des zones encore non dégradées (forêts denses et forêt hydrophile). Les néo-canaux ont été calculés à l'aide d'un programme développé dans le logiciel ENVI (Tableau 4-1).

Indice	Équation	Commentaire
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$	Indice de biomasse, utilisant le rapport entre les canaux rouges et PIR, il permet de faire la différence entre les zones végétales et non végétales. Mais également de discriminer les grands ensembles végétaux à travers les valeurs du couvert végétal et la caractérisation de sa densité.
NDWI (Normalised Difference Water Index)	$NDWI = (V - PIR) / (V + PIR)$	Cet indice augmente la caractérisation de l'eau en supprimant la détection du sol et de la végétation
IC (Indices de Cuirasse)	$IC = 3 \times (V - R) - 100$	IC, permet la discrimination des sols nus et les surfaces bâties

Tableau 4-1 : Description des indices utilisés

Fusion des néo-canaux : nous avons ensuite procédé à la fusion des néo-canaux pour révéler les nuances de réflectance des pixels de l'image et identifier les groupes de pixels appartenant aux 6 classes d'occupation du sol identifiées au préalable (surface en eau, zone urbaine, mangrove, forêt, végétation basses et sol nu). Cette fusion a été réalisée en combinant les trois néo-canaux avec l'image multispectrale

Création du fichier des ROI (Region of interest) : ce fichier est une couche d'apprentissage vectorielle de polygones où chaque d'entre eux est représentatif d'une classe. Ces polygones ont été sélectionnés de manière à prendre en compte l'hétérogénéité de chaque classe tout en étant suffisamment homogènes en termes de pixels pour ne représenter qu'une seule classe.

Classification supervisée : Il existe deux types de classification, la classification non supervisée, souvent utilisée lorsque le territoire n'est pas connu et la classification supervisée. Dans notre cas, nous avons préféré utiliser la classification supervisée, qui consiste à généraliser les regroupements de pixels de l'image à classer à partir de ceux identifiés dans les classes des ROI. Pour améliorer la classification, un lissage a été appliqué pour intégrer les pixels isolés dans le groupe de pixels majoritaire. Ce processus a permis de produire un premier niveau d'information sur l'occupation du sol en 6 classes et de compléter cette information avec les différents réseaux (routes et pipelines). (Figure 4-3 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

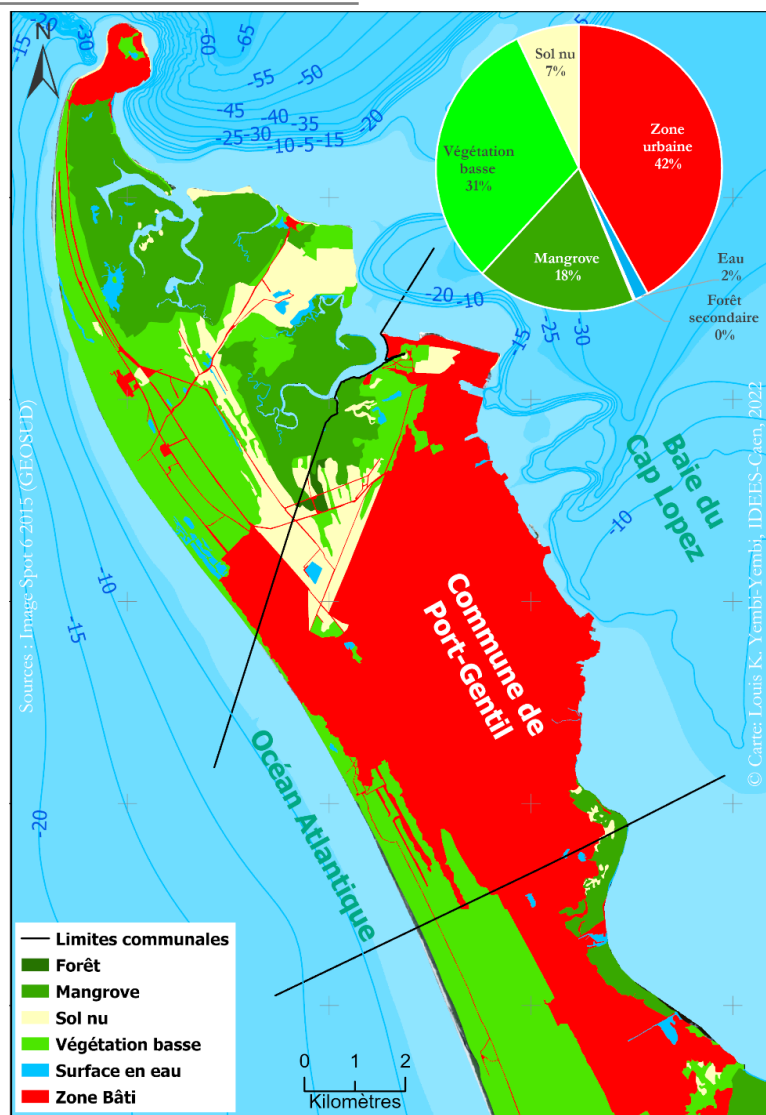


Figure 4-3 : Les grands ensembles d'occupation du sol de base de 2015 (Réalisation L. YEMBI, 2022)

4.2.2.2 Détail d'information sur l'occupation du sol dans la zone bâtie

Le détail des informations de l'utilisation du sol de la ville par observation directe a été entrepris parallèlement à la mission d'acquisition de l'orthophotographie actualisée et du MNE haute précision par drone (Chapitre 3). Lorsqu'il n'était pas possible de distinguer les activités dans la propriété, cette enquête sur l'utilisation du sol s'est poursuivie sur le terrain après le traitement complet de l'orthophotographie réalisé qui couvre plus de 70 % des limites administratives de la commune. Les résultats de l'enquête de terrain ont permis de décrire avec un niveau de détail plus avancé les classes d'utilisation du sol. Ainsi, sur la partie nord de la l'île Mandji, l'évaluation de la vulnérabilité physique de l'espace urbain compte pour cette étude 19 classes d'utilisation du sol dominant dans la zone bâtie, auxquelles on ajoute les 4 classes constituant les classes de la zone naturelle.

Chapitre 4 Identification, caractérisation et évaluation de la vulnérabilité physique des enjeux en milieu urbain : approche par indices

Finalement, la sélection et la classification de l'utilisation dominante du sol ont été construites sur la base de celle des travaux de Lissak, (2012), Puissant *et al.*, (2014) de Carlier *et al.*, (2018) et de Graff, (2020) et adaptées au contexte local. Le nombre de classes utilisé dans cette étude repose sur plusieurs paramètres. Tout d'abord, nous avons tenu compte des types d'enjeux utilisés par les populations dans leur vie quotidienne, hebdomadaire ou mensuelle, comme les services administratifs (mairie, administration déconcentrée) et les services de santé (hôpitaux, cliniques, pharmacies). À ces classes s'ajoutent d'autres classes d'utilisation du sol dominant peut-être moins courantes, mais dont la proximité du domicile est souhaitable, comme les zones naturelles.

Il convient de noter que cette classification mérite d'être détaillée tant en termes de nombre de classes que de découpages cartographiques. Toutefois, diverses difficultés ont été rencontrées, telles que la confusion de classes et des complications pour vérifier les données en raison de la période Covid-19 (impossibilité de se déplacer sur le terrain), qui ont conduit à ne pas les détailler davantage. Des classes d'utilisation du sol dominantes qui représentent à la fois des enjeux économiques, sociaux, culturels, éducationnels, religieux, administratifs et naturels. Ces classes sont utiles pour calculer l'indicateur fonctionnel des enjeux. La liste des classes d'occupation du sol sélectionnées pour cette étude (Tableau 4-2 **Erreur! Source du renvoi introuvable.**) peut être modifiée en fonction des besoins et de la disponibilité des données. La cartographie de l'OSD est présentée en détail au chapitre 6.

Classe	Description
Surface en eau	Comme son nom l'indique, cette catégorie représente l'ensemble des plans d'eau
Sol nu	L'ensemble des zones ne présentant aucune construction ou n'étant recouvert de végétation
Végétation basse	Cette catégorie représente l'emprise des surfaces recouvertes d'herbacées, souvent appelé par les populations locales, la plaine,
Mangrove	Cette classe représente la typologie de forêts maritimes que l'on trouve dans les zones tropicales et qui sont des véritables barrières naturelles de protection du littoral contre l'érosion et l'action de la houle
Forêt	Cette classe forêt représente des surfaces dominées par un couvert végétal dense et haut,
Agriculture	Classe d'occupation du sol qui délimite le périmètre d'espace agroalimentaire ou de pratique du jardinage
Cimetière	Catégorie qui regroupe l'ensemble des lieux d'inhumations
Abandonnée ou en construction	Terrain nu délimité à usage d'habitation ou des terrains avec des maisons en construction
Loisir/sport	Cette catégorie regroupe et isole l'ensemble des parcelles à usage exclusif ou dominant d'équipement sportif (Stade ou terrain de foot) ou de loisir (parc)
Religion	Ensemble des parcelles abritant une église
Décharge	Cette classe d'occupation du sol considère la zone actuelle sur laquelle s'étendent les ordures de la décharge publique.
Aéroport	Cette catégorie correspond à la zone sous contrôle de l'ASECNA en l'absence de zone de forêt

Bureau et service	Emprise spatiale dominée par des bureaux à usage commercial ou d'activité tertiaire commerciale
Résidentielle dense	Tissu urbain dominée par des bâtiments à usage exclusivement d'habitation et relativement continue
Résidentielle peu dense	Tissu urbain dominé par des bâtiments à usage d'habitation et discontinu
Résidentielle et commerciale	Cette catégorie regroupe d'un ensemble de bâtiments avec un double usage. Notamment les bâtiments dont l'avant est consacré aux activités commerciales et l'arrière réservé au logement
Industrielle et Atelier	Cette classe présente les îlots dont l'activité dominante est soit un atelier de mécanique auto de grande taille, des zones de stockage des matériels et de produits pour l'activité industrielle et les zones de production pétrolière
Dépôt hydrocarbure	Cette classe présente les parcelles où sont stockés les produits issus d'hydrocarbures (pétrole, gaz, etc.), tels que les stations-service et les réservoirs atmosphériques, réservoirs sous pression, les réservoirs horizontaux, etc.
Administrative	Regroupe l'ensemble des parcelles et bureau administratif dans la commune.
Commerciale	Cette catégorie regroupe et isole l'ensemble des activités économiques présentes dans la commune, Il est composé des grandes surfaces commerciales, appelées communément « grossiste ») ainsi que des détaillants.
Education	Cette classe considère l'ensemble des concessions des établissements à usage d'apprentissage. Pré-primaire, primaire, secondaire centre de formation et les établissements supérieurs.
Énergie	Cette catégorie représente l'emprise des installations des usines de production d'électricité.
Soin et sécurité	Cette catégorie correspond à l'ensemble des services de santé (hôpitaux, clinique, dispensaire, pharmacie,) et aux services de sécurité (commissariat, pompier, casernes militaires).

Tableau 4-2 : Récapitulatif des catégories d'occupation du sol

4.2.2.3 Enquête sur les enjeux à une échelle locale

4.2.2.3.1 Enquête sur les caractéristiques du bâti

Le bâti est un élément clé dans les études sur les risques naturels, en particulier celle liée aux inondations par la mer. Selon Malet *et al.*, (2006), le bâti correspond à des lieux d'habitation permanente tels que les immeubles résidentiels et les maisons individuelles, ainsi que les bâtiments non permanents tels que les bâtiments commerciaux, industrielle, d'entreposage (remise, hangar), édifice de culte (mosquée, église) des infrastructures de réseau (des transformateurs) et des abris (garage, cabane). Il est essentiel de souligner qu'à l'heure actuelle, il n'y a aucune information disponible sur le patrimoine immobilier de la ville de Port-Gentil. Il est pratiquement impossible de trouver des données sur les bâtiments sur la plupart des plateformes. Ce constat peut être fait sur la plateforme de données open source d'OpenStreetMap (OSM)²⁴ (Figure 4-4 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Au niveau institutionnel, nous avons pris contact avec la direction technique de la mairie de Port-Gentil et la direction provinciale du cadastre, mais aucune donnée

²⁴ <https://www.openstreetmap.org/#map=13/-0.7098/8.7724>

Chapitre 4 Identification, caractérisation et évaluation de la vulnérabilité physique des enjeux en milieu urbain : approche par indices

consolidée sur le bâti n'a été trouvée à ce stade. Au niveau du cadastre, un fichier Autocad a été récupéré, mais il ne contenait pas d'informations sur les bâtiments, seules les limites foncières ont été répertoriées.

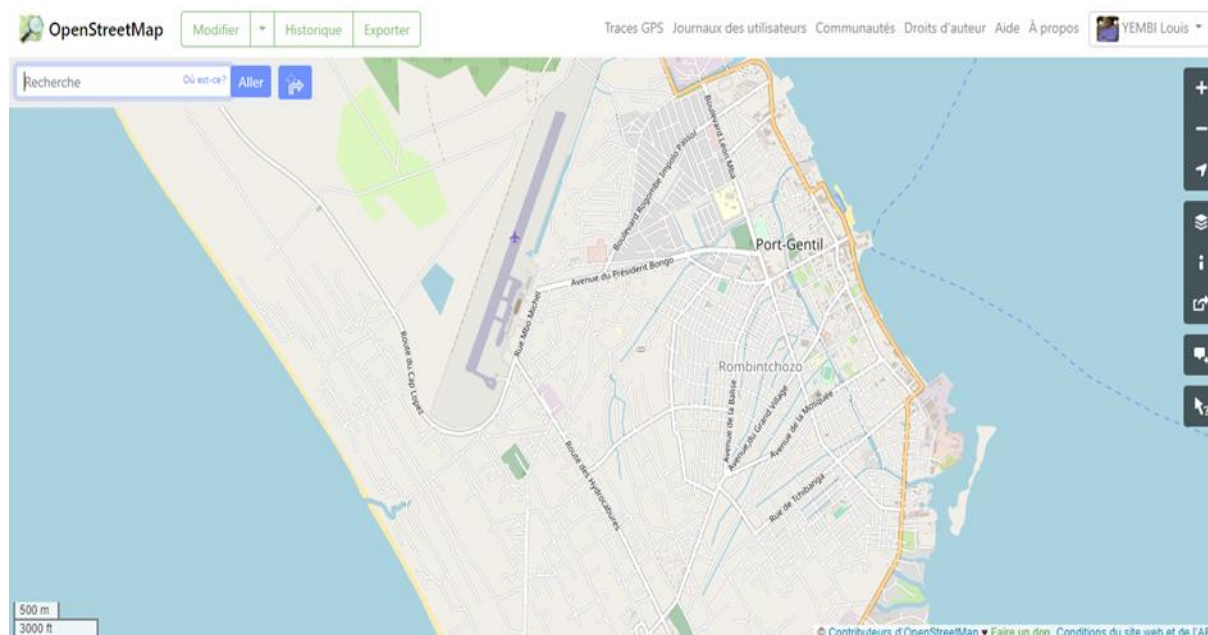


Figure 4-4 : Capture d'écran de la plateforme OSM localisée sur la ville de Port-Gentil (20/06/2022).

Avant la caractérisation du bâti, à partir des informations du terrain et de la littérature, une couche vectorielle a été construite par le processus de digitalisation à partir de l'orthophoto acquise par drone en 2018 (Figure 4-5 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Pour cette étude, il était important de développer une méthodologie permettant de caractériser de manière fine le bâti de la ville. Les informations nécessaires à la construction des indicateurs de vulnérabilité du bâti, ont été inspiré des études antérieures sur plusieurs sites et plusieurs aléas. Il s'agit entre autres celles de Dall'Osso *et al.*, (2009), Kappes *et al.*, (2012), Puissant *et al.*, (2014) et Tarbotton *et al.*, (2012). Ces études ont porté sur des territoires aux environnements variés, y compris ceux sujets à des inondations pluviales ou marines, tels que l'Odet à Quimpe (Vinet *et al.*, 2015), Naga aux Philippines (Sagala, 2006), la vallée de Nehoiu en Roumanie (Godfrey *et al.*, 2015), et le bassin versant supérieur de Guil dans les Alpes (Carlier *et al.*, 2018). D'autres aléas tels que les glissements de terrain ont également étudié en France comme dans le bassin de Barcelonnette dans les Alpes de Haute-Provence (Malet *et al.*, 2006 ; Puissant *et al.*, 2014) ; le Pays d'Auge (Lissak, 2012) ; la vallée de Nehoiu en Roumanie (Godfrey *et al.*, 2015) et dans la vallée de l'Ubaye dans les Alpes (Kappes *et al.*, 2012). Concernant le risque de submersion marine, une étude a été menée à Noirmoutier par Creach, (2015) et pour le risque de tsunami par Tarbotton *et al.*, (2012). Enfin, pour le risque de coulées de débris, des recherches ont été menées dans la ville de Zhouqu en Chine (Hu *et al.*, 2012), et dans deux sites de montagne en Corée du Sud (Kim et Kwak, 2020).

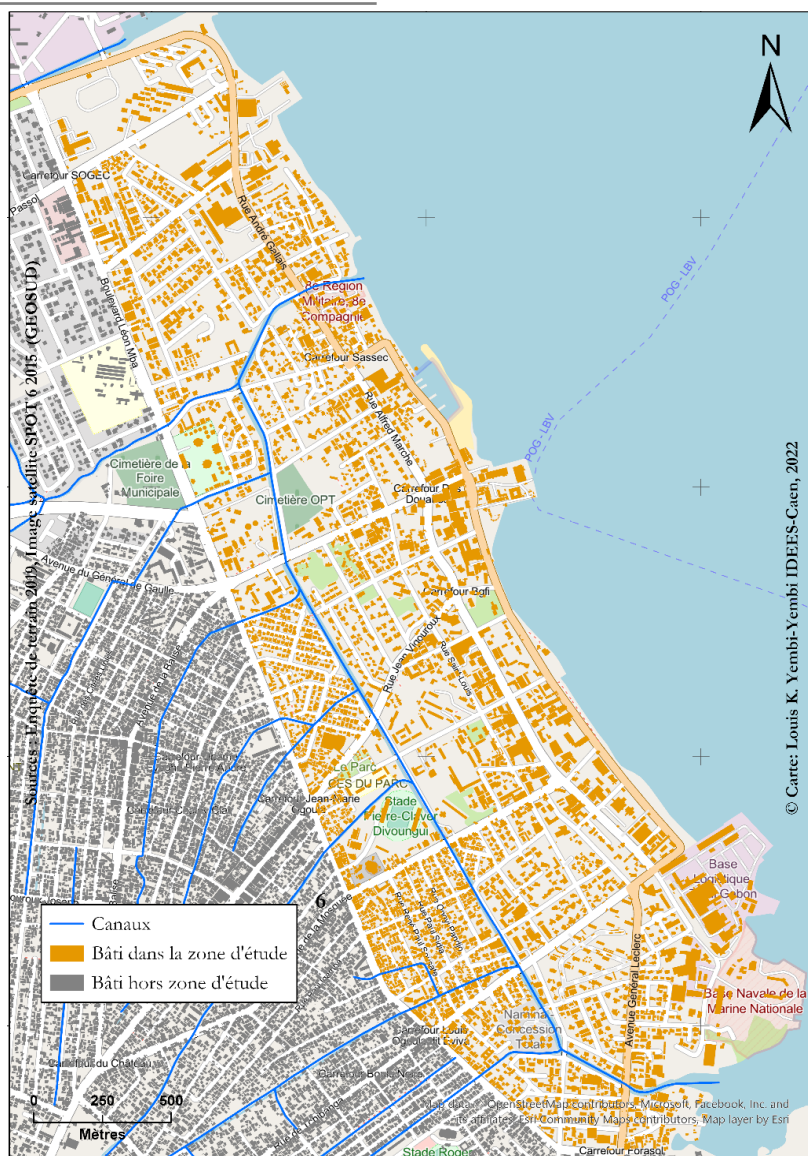


Figure 4-5: Cartographie des bâtiments de la zone d'expérimentation à grande échelle (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Dans la majorité des travaux scientifiques, les caractéristiques principales du bâti sont les suivantes : 1) les matériaux de construction, qui déterminent la solidité du bâtiment (Müller *et al.*, 2011; Godfrey *et al.*, 2015 ; Enghardt *et al.*, 2019), 2) la hauteur du bâtiment, qui est déterminée par le nombre d'étages (Müller *et al.*, 2011) qui permet de déplacer les objets vers le haut. Dans ce cas, il ne s'agit pas des bâtiments collectifs, mais des bâtiments dont l'étage peut être accessible de l'intérieur. 3) la période de construction, qui indique l'état de la construction, 4) la hauteur des fondations (Granger *et al.*, 1999 ; Cutter *et al.*, 2003) et 5) la fonction du bâtiment. Toutefois, dans certaines études telles que celle menée par Creach (2015) à Noirmoutier et celle menée par Vinet *et al.*, (2012) sur la côte Atlantique française, d'autres caractéristiques sont également prises en compte, notamment l'architecture du bâtiment (comme les ouvertures sur le toit et la surélévation des fondations du bâtiment). Selon Granger *et al.*, (1999), la hauteur du plancher, c'est-à-dire la

hauteur de la partie hors-sol des fondations, est la caractéristique la plus importante pour évaluer la vulnérabilité physique du bâtiment. Cette hauteur détermine la hauteur de l'eau dans le bâtiment (Figure 1-5), et non la hauteur de l'eau sur le terrain naturel, qui est souvent fournie par le modèle d'inondation (Vinet *et al.*, 2015). Les auteurs ont également identifié d'autres facteurs importants tels que le nombre d'étages, l'âge du bâtiment et les matériaux de construction utilisés.

En nous basant sur les caractéristiques pertinentes issues de la littérature pour chaque type d'aléa étudié, nous avons identifié un ensemble de caractéristiques du bâti. Pour évaluer la vulnérabilité des enjeux à une échelle fine, nous avons mené une enquête descriptive du bâti dans la première couronne urbaine de la ville, en particulier dans le secteur du centre-ville, qui constitue notre zone d'expérimentation. Nous avons sélectionné quatre indicateurs du bâti que nous présentons dans le Tableau 4-3 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Indicateurs	Variable de l'indicateur	Remarque
Fonction du bâti	Autre ; Abri/garage... ; Loisir ; Hôtel et motel ; Religion ; Bureau et service ; Atelier ; Résidentielle ; Résidence-commerce ; Commerce de rang 2 ; Entrepôt ; Industrielle ; Dépôt hydrocarbure ; Administrative ; Commerce de rang 1 ; Education ; Energie ; Santé	Par rang d'importance par ordre croissant
Matériaux de construction	Béton ; Métal ; Parpaing ; Planche ;	Par rang d'importance par ordre décroissant
Nombre d'étages	0 ; 1 ; 2 ; plus de 2	Par rang d'importance par ordre croissant
Hauteur des fondations	[1,5 – 2[,] 1 – 1,5[,] 0,5 – 1[,] 0,3 – 0,5[,] 0 - 0,3]	Par rang d'importance par ordre croissant

Tableau 4-3 : Les différents indicateurs et les variables qui caractérisent le bâti enquêté

4.2.2.3.2 Enquête sur les infrastructures routières

En milieu urbain, le réseau routier est souvent considéré comme essentiel en période de crise. De nombreuses études se sont intéressées à la vulnérabilité spécifique des routes en tant que réseau, car leur bon fonctionnement dépend de leur interconnectivité (Robert et Morabito, 2011). En effet, un tronçon de route isolé, même en bon état, ne peut pas remplir sa fonction en cas de coupure du reste du réseau. La mesure de la vulnérabilité du réseau routier peut être évaluée en fonction du temps d'impraticabilité du réseau dans son ensemble (Robert et Morabito, 2011). Toutefois, la vulnérabilité du réseau routier ne se résume pas seulement à l'impossibilité d'emprunter certains tronçons (Drejza *et al.*, 2014). En effet, le manque de tronçons alternatifs en période de crise peut entraîner une interruption d'accès aux services essentiels tels que les centres de santé, les écoles et les marchés (Snelder, 2010). Avec le changement climatique, il faut s'attendre à des impacts de plus en plus importants sur les réseaux de transport, notamment avec la question des inondations et des submersions côtières. En outre, l'état du réseau routier est un facteur d'aggravation de la vulnérabilité du système urbain.

Pour caractériser la situation actuelle du réseau routier, une enquête a été réalisée en 2018. Afin d'obtenir des informations complémentaires, une orthophoto haute résolution issue de la mission de photogrammétrie de la même année a été utilisée. La base de données géographique du réseau a été extraite de la plateforme OpenStreetMap²⁵, puis complétée à partir de l'orthophoto réalisée par drone. Cependant, une enquête sur le terrain s'est avérée nécessaire pour les zones non couvertes par l'orthophoto, en particulier dans la zone de « No-fly » autour de l'aéroport.

La hiérarchisation des voies a été établie en fonction des descriptions des aménageurs : les voies primaires pour les liaisons entre les agglomérations, les arrondissements ou les quartiers, les voies secondaires pour les linéaires internes d'un quartier, et les voies tertiaires pour les dessertes terminales des groupes de bâtiments. Cette catégorisation permet de déterminer le niveau d'importance d'une route dans la commune. Nous avons également ajouté la catégorie des chemins pour correspondre à la structuration du réseau de Port-Gentil. Deux autres critères ont été pris en compte : le revêtement et l'état de la voie. Nos enquêtes de terrain, notamment menées en saison de pluie, ont révélé que le type de revêtement des voies avait une forte influence sur la mobilité des usagers en cas d'inondation et sur la vitesse de dégradation des routes, quel que soit le moyen de transport utilisé. Le nombre de voies a été intégré dans la description des réseaux, en particulier pour ceux ayant un revêtement (bitume, pavé). Cet indicateur permet, dans une certaine mesure, d'estimer l'importance des dépenses nécessaires en cas de réfection après une crise. **La Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Figure 4-6 présente les différents types de routes que l'on peut rencontrer dans la commune ainsi que leur revêtement.

²⁵ OpenStreetmap est un projet collaboratif dont l'objectif est de produire une base de données géographique modifiable du monde



Figure 4-6 : Différents types de route avec et sans revêtement à Port-Gentil. Route bitumée du boulevard Léon MBA (Route principale) (A), Route pavée à la nouvelle route de Pentecôte (Route secondaire) (B), Route sans revêtement sur du sable derrière l'église Pentecôte (Route tertiaire) (C), Route en latérite dégradée par les inondations pluviales aux abords de la centrale de traitement de l'eau potable au quartier Bac-Aviation(D).

La table des données attributaires a été restructurée en fonction des indicateurs choisis pour évaluer la vulnérabilité de chaque tronçon (Tableau 4-4 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Il faut noter que l'ensemble des indicateurs identifiés ayant servi à évaluer la vulnérabilité physique du réseau routier portgentillais résulte d'une compilation de nombreuses études sur le plan international, axé sur la vulnérabilité du réseau routier face aux risques côtier (Overton et Fisher, 2005 ; Drejza *et al.*, 2014 ; Johnston *et al.*, 2014) réadapté au contexte local et au mode d'inondation marine retenu.

Indicateurs	Variable de l'indicateur	Remarque
Type de route	Primaire, Secondaire, Tertiaire, Chemin	Par rang d'importance par ordre croissant
Revêtement	Béton ; Bitume ; Pavé ; Latérite ; Sable ;	Par rang d'importance par ordre décroissant
Nombre de voie	4 ; 2 ; 1	Par rang d'importance par ordre croissant
Direction	Double sens ; Sens unique	Par rang d'importance par ordre croissant
Etat	Bon ; Moyen ; Mauvais ; Très mauvais	Par rang d'importance par ordre croissant

Tableau 4-4 : Les différents indicateurs et les variables qui caractérisent le réseau routier enquêté

4.2.2.4 Outils d'enquête sur le terrain

Dans le cadre de cette recherche, nous avons entrepris une collecte de données relative aux caractéristiques du bâti et du réseau routier sur le terrain. Pour ce faire, nous avons déployé des outils sur le terrain afin de faciliter et optimiser ce processus. Plus spécifiquement, nous avons retenu l'application mobile open-source Qfield, développée par la société suisse OPENGIS pour son utilité et son efficacité dans la collecte de données. L'avantage de cette application réside dans sa disponibilité sur les téléphones et tablettes Android, ainsi que dans sa capacité à être couplée avec le logiciel SIG QGIS, permettant ainsi la synchronisation des données collectées sur le terrain avec les données existantes sur l'ordinateur. L'utilisation de Qfield a ainsi permis de gagner un temps précieux lors de la collecte de données (Figure 4-7 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).



Figure 4-7 : Processus technique d'enquête de terrain sur la collecte des caractéristiques des enjeux (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Le processus de collecte de données en place est élaboré selon une méthodologie rigoureuse, scindée en plusieurs étapes successives. Dans un premier temps, la préparation des couches du bâtiment et du réseau routier est effectuée. La numérisation du bâtiment s'opère à partir de l'orthophoto 2018 acquise par drone, comme mentionné précédemment, tandis que l'extraction de la couche du réseau routier est réalisée sur la plateforme OpenStreetMap et mise à jour sur le plan géométrique à partir de l'orthophoto. Dans une deuxième étape, les champs d'information nécessaires pour caractériser les enjeux de la recherche sont déterminés. La troisième étape consiste à préparer les couches d'enjeux pour leur implémentation sur l'application Qfield. Enfin, la

quatrième et dernière étape est dédiée à la collecte des données sur le terrain à l'aide d'un smartphone équipé de l'application Qfield. Les données sont ensuite synchronisées avec le logiciel SIG QGIS Desktop après leur collecte.

4.3 Production des indices de vulnérabilité physique des enjeux

Les indices de vulnérabilité ont été développés comme une méthode rapide et cohérente pour caractériser la vulnérabilité relative des différents enjeux sur les territoires (Balica *et al.*, 2012). Comme évoqué précédemment, trois étapes caractérisent cette approche : Affectation, Normalisation et Agrégation. L'objectif recherché à travers la production des indices de vulnérabilité physique des enjeux est la représentation simplifiée d'un ou de plusieurs variables, sur une échelle relative à partir d'information quantifiable et complexe à analyser en un coup d'œil.

En géographie deux visions s'affrontent dans le débat sur l'agrégation mathématique de variables de natures différentes pour construire des indices synthétiques. D'un côté, certains géographes, tels que Christophe Claramunt et Stéphane Roche, sont favorables à cette méthode de simplification d'ensemble de phénomènes complexes dans un objectif de représentation et dans un contexte d'incertitude (Claramunt, 1998 ; Roche *et al.*, 2006). D'un autre côté, d'autres géographes, comme Stan Openshaw, critique à cette pratique en affirmant que le produit final n'a aucune signification statistique (Openshaw, 1981).

4.3.1 Affectation des valeurs du niveau d'importance des variables des enjeux

La première étape correspond à l'**Affectation**. Elle consiste à attribuer une valeur à chaque variable pour déterminer son niveau d'importance par rapport aux autres variables qui définissent l'indicateur. En fonction du nombre de variables de l'indicateur choisi, différents seuils sont déterminés pour classer le niveau minimum ou maximum d'importance (1 à 5 ; 0 à 23 ou 1 à 3). Ces variables sont des critères d'analyse pour le territoire considéré, regroupé dans des thèmes que nous appelons dans cette thèse d'indicateur (Occupation du sol, fonction du Bâti, Type de route, hauteur du niveau d'eau). La valeur d'affectation est basée sur des jugements d'experts, sur les connaissances du terrain et sur les informations collectées dans la littérature (Papathoma et Dominey-Howes, 2003 ; Kappes *et al.*, 2012 ; Lissak, 2012 ; Ouma et Tateishi, 2014 ; Puissant *et al.*, 2014 ; Carlier *et al.*, 2018 ; Graff, 2020). Cette approche a été utilisée pour les deux échelles d'analyse, à savoir l'occupation du sol dominante pour l'échelle moyenne, ainsi qu'à grande échelle, notamment pour l'analyse du bâti et le réseau routier. Il convient de préciser que des adaptations mineures du niveau d'importance de chaque variable des indicateurs ont été apportées. Ceci, afin de cadrer au mieux à la réalité architecturale et aux variables propres à la commune de Port-Gentil. Par exemple, les services éducatifs, gouvernementaux et économiques, sont considérés comme des

infrastructures/services importants dans une ville, car, bien qu'ils soient importants pour la ville, ils ne sont pas essentiels pour sauver et/ou protéger la vie humaine lors d'une catastrophe. Ainsi, les bâtiments de santé ou les surfaces dédiées à la santé sont dans le jugement, plus important que les bâtiments scolaires ou une mairie. La période du Covid-19 nous a permis de reclasser quelques enjeux par rapport à d'autres au regard de la population. Nous avons constaté que la population apportait plus d'importance à l'ouverture des édifices religieux qu'aux espaces de loisir ou des hôtels.

En ce qui concerne le réseau routier, les routes principales sont des voies structurantes qui relient les arrondissements, la commune et le département. Elles présentent un trafic conséquent, constituant un linéaire important voir vital pour la ville, contrairement aux autres types de routes. C'est pourquoi elles occupent une position de rang important. Bien que les routes non goudronnées aient un volume de trafic beaucoup plus faible que les routes goudronnées, elles demeurent plus vulnérables en cas d'inondation et nécessitent des moyens financiers importants pour leur construction. Cela est particulièrement vrai pour les routes pavées par rapport aux routes bitumées, qui sont généralement posées sur du sable compacté. Dans la capitale pétrolière, on constate que ces routes se dégradent plus rapidement que les routes bitumées en raison d'un processus d'affaissement provoqué par la saturation du sol en eau pendant la saison des pluies.

4.3.2 Normalisation des valeurs des variables des enjeux

La seconde étape est la **normalisation (N)** ou standardisation qui intervient en comparant les données avec un seuil minimal et optimal (0 à 1) homogène à l'ensemble des variables de l'indicateur. Le processus consiste à normaliser le rang de chaque variable (V) par rapport au rang maximum des variables de l'indicateur (I) (Eq. 4.1) (Usman Kaoje *et al.*, 2021). Ce processus permet d'obtenir des résultats standardisés sans unité, ce qui facilite la phase d'agrégation numérique pondérée des valeurs.

$$N = \frac{\text{Rang}_V(I)}{\text{max Rang}_V(I)} \quad [4.1]$$

C'est seulement sous cette forme que la phase de combinaison ou d'agrégation numérique des valeurs Normalisées peut être réalisée. Pour comprendre la variabilité de la production de ces indices à différentes échelles d'analyse dans la littérature, une comparaison a été effectuée par Graff (2020), pour les études sur les inondations réalisées par des auteurs tels que Kappes *et al.*, (2012) et Carlier *et al.*, (2018). Cette comparaison a permis de mesurer les décalages potentiels dans la production d'indicateurs. Sur la base de cette comparaison, nous avons également comparé, nos valeurs avec celles déjà retenues dans la thèse de (Graff, 2020). Cette comparaison a permis

Chapitre 4 Identification, caractérisation et évaluation de la vulnérabilité physique des enjeux en milieu urbain : approche par indices

d'observer les différents décalages des valeurs normalisées sur ces différentes études réalisées sur d'autres territoires. Mais également de montrer que plusieurs indicateurs ne sont pas pris en compte. Cette comparaison est présentée dans le Tableau 4-5 **Erreur! Source du renvoi introuvable.**, pour ce qui est du bâti et du réseau routier.

Enjeux	Indicateurs	Variables		L. YEMBI	(Graff, 2020)	(Kappes <i>et al.</i> , 2012)	(Carlier <i>et al.</i> , 2018)
Bâti	A	Fonction	Rang	Indice	Indice	Indice	Indice
	IFB	Santé et sécurité	17	1	1	ND	1
		Énergie	16	0,94	0,91	N.D.	N.D.
		Éducation	15	0,88	0,82	N.D.	1
		Commerce de rang 1	14	0,82	0,83	N.D.	N.D.
		Administration publique	13	0,76	0,55	N.D.	0,9
		Dépôt hydrocarbure	12	0,71	0,91	N.D.	N.D.
		Industrielle	11	0,65	0,45	N.D.	N.D.
		Entrepôt	10	0,59	0,18	N.D.	N.D.
		Commerce de rang 2	9	0,53	0,82	N.D.	N.D.
		Résidence-commerce	8	0,47	0,55	N.D.	N.D.
		Résidentielle	7	0,41	0,27	N.D.	N.D.
		Atelier	6	0,35	0,64	N.D.	0,7
		Bureau et service	5	0,29	N.D.	N.D.	N.D.
		Religion	4	0,24	0,18	N.D.	0,2
		Hôtel - motel	3	0,18	0,64	N.D.	0,8
		Loisir	2	0,12	0,64	N.D.	N.D.
	Abri/garage/en construction	1	0,06	0,09	N.D.	N.D.	
	Autre	0	0	0	N.D.	N.D.	
	B	Etages	Rang	Indice	Indice	Indice	Indice
	INE	0	3	1	N.D.	N.D.	N.D.
		1	2	0,67	1	0,5	0,51
		>2	1	0,33	0,5	N.D.	N.D.
	C	H fondation	Rang	Indice	Indice	Indice	Indice
	IHF	0 - 0,5	5	1	N.D.	N.D.	N.D.
		0,5 - 1	4	0,8	N.D.	N.D.	N.D.
		1 - 1,5	3	0,6	N.D.	N.D.	N.D.
		1,5 - 2	2	0,4	N.D.	N.D.	N.D.
		> 2	1	0,2	N.D.	N.D.	N.D.
	D	Matériaux	Rang	Indice	Indice	Indice	Indice
	IMC	Planche	4	1	0,3	0,3	0,4
		Parpaing	3	0,75	1	N.D.	N.D.
Métal		2	0,5	0,5	1	2	
Béton		1	0,25	0,4	0,4	0,5	
E	Etat	Rang	Indice	Indice	Indice	Indice	
IEC	Ruine	4	1	1	1	2	
	Mauvais	3	0,75	0,7	0,7	0,71	
	Moyen	2	0,5	0,5	0,5	0,51	

Route	F	Type	Code	Indice	Indice	Indice	Indice
	ITR	Chemin	1	0,25	0,3	0,3	0,31
		Route tertiaire	2	0,5	N.D	N.D	N.D.
		Route secondaire	3	0,75	N.D	N.D	N.D.
		Route principale	4	1	N.D	N.D	N.D.
	G	Revêtement	Code	Indice	Indice	Indice	Indice
	IR	Béton	1	0,2	N.D	N.D	N.D.
		Bitumé	2	0,4	N.D	N.D	N.D.
		Pavé	3	0,6	N.D	N.D	N.D.
		Latérite	4	0,8	N.D	N.D	N.D.
Sable		5	1	N.D	N.D	N.D.	
H	Nbr de voies	Code	Indice	Indice	Indice	Indice	
INV	1 voie	1	0,33	0,17	N.D	N.D.	
	2 voies	2	0,67	0,5	N.D	N.D.	
	4 voies	3	1	1	N.D	N.D.	
I	Etat	Code	Indice	Indice	Indice	Indice	
IER	Bon	1	0,25	N.D	N.D	N.D.	
	Moyen	2	0,5	N.D	N.D	N.D.	
	Mauvais	3	0,75	N.D	N.D	N.D.	
	Très Mauvais	4	1	N.D	N.D	N.D.	

N.D. Non Défini

Tableau 4-5 : Comparaison des variables des indicateurs définie dans l'évaluation de la vulnérabilité physique aux inondations. IFB : Indicateur de la Fonction du Bâti, INE : Indicateur Nombre d'Étages, IHF : indicateur hauteur des fondations, IMC : Indicateur des Matériaux de Construction, IEC : Indicateur État des Constructions, ITR : indicateur du Type de Route, IR : Indicateur de revêtement, INV : Indicateur du Nombre de Voies, IER : Indicateur d'État de la Route

4.3.3 Agrégation des indicateurs et production d'indices

Une fois que les variables des indicateurs ont été identifiées et normalisées, il est important de déterminer comment agréger ces valeurs pour les maintenir dans une échelle de **0 à 1**. Selon la méthode d'agrégation développée, cette agrégation des valeurs normalisées des indicateurs permet d'obtenir les **indices de vulnérabilité intrinsèque des enjeux (IVIE)** et **l'indice d'exposition réelle du bâti (IERB)**. L'IVIE représente les faiblesses intrinsèques des différents enjeux présents sur le territoire, avant même qu'ils soient confrontés avec l'aléa. Pour le bâti, cela inclut des facteurs tels que la fonction du bâtiment, les matériaux de construction, le nombre d'étages et la hauteur des fondations. Pour l'occupation du sol dominant, seul le type d'enjeu dominant dans chaque îlot est pris en compte. Pour le réseau routier, les facteurs pris en considération sont le type de route, le revêtement, le nombre de voies, la direction et l'état de la route. L'IERB représente le niveau d'eau qui impacte directement le bâtiment à l'intérieur, et il est composé de **l'indicateur de hauteur des bâtiments (IHF)** et de **l'indicateur de hauteur d'eau (IHE)**. Cet indicateur est appliqué uniquement à l'échelle locale, en particulier pour le bâti. L'indicateur de hauteur d'eau (IHE) est subdivisé en 4 classes : <0,3 m ; 0,3 m - 0,5 m, 0,5 m - 1 m et > 1 m. Pour obtenir l'indice de

vulnérabilité potentielle globale des différents enjeux, la méthode d'agrégation utilisée se réfère à une expression mathématique qui combine les indicateurs. Aucun poids n'est appliqué aux indicateurs individuels, car il serait subjectif de donner plus d'importance à certains indicateurs par rapport à d'autres (Drejza *et al.*, 2014 ; Creach, 2015 ; Basara, 2019). Ainsi, tous les indicateurs ont le même poids dans cette étude.

Différentes méthodes d'agrégation des indicateurs ont été étudiées par des chercheurs tels que Basara, (2019) et Graff, (2020). Ils présentent les avantages et les inconvénients des différentes méthodes d'agrégation des indicateurs. Basara, en particulier, a testé cinq expressions mathématiques d'agrégation des indicateurs pour la production des indices : la moyenne des indicateurs, la racine carrée des produits des indicateurs, le maximum des indicateurs, la racine carrée de la somme des indicateurs à la puissance 2, la racine carrée de la somme des indicateurs à la puissance 3 (Basara, 2019).

Dans cette étude, pour des raisons pratiques et de simplicité de mise en œuvre, nous avons choisi d'utiliser l'expression mathématique basée sur la moyenne des indicateurs. Cette méthode permet de maintenir une échelle de valeurs allant de 0 (vulnérabilité très faible ou nulle) à 1 (vulnérabilité très élevée) en fonction de chaque catégorie d'enjeux. D'autres chercheurs ont également utilisé cette méthode tels que Dall'Oso *et al.*, (2009), Martelli (2011) et Godfrey *et al.*, (2015). Sur le plan pratique, la phase d'agrégation a consisté à agréger les différents indicateurs qui caractérisent l'enjeux, par une expression mathématique qui permet à la fin d'obtenir une moyenne de la vulnérabilité propre à chaque catégorie d'enjeux, donnant ainsi l'**Indicateur de Vulnérabilité Intrinsèque du Bâti (IVIB)**, l'**Indicateur de Vulnérabilité Intrinsèque de la Route (IVIR)** et l'**Indicateur de Vulnérabilité Intrinsèque de l'Occupation du Sol (IVIOSD)**. La formule utilisée pour calculer l'IVP (Indicateur de Vulnérabilité Physique) pour chaque enjeu identifié est la suivante (Eq. 4.2) :

$$IVP = \frac{\sum_{i=1}^n \cdot Indicateur_i}{n} \quad [4.2]$$

- $\sum_{i=1}^n$: représente la somme des indicateurs de $i = 1$ à n
- $Indicateur_i$ est la valeur de l'indicateur i
- n est le nombre total d'indicateur

4.3.3.1 Agrégation à moyenne échelle

A l'échelle moyenne : l'agrégation est relativement simple. Deux critères sont considérés, à savoir l'Indicateur d'Occupation du Sol Dominant (IOSD) et l'indicateur de Hauteur d'Eau (IHE) comme illustrés dans la Figure 4-8 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**. Cependant, à cette échelle, l'agrégation a été réalisée dans des mailles de 50*50 mètres. L'objectif de cette méthode d'agrégation était de permettre une représentation plus précise des zones inondables en évitant de considérer comme entièrement inondables des îlots qui ne le sont que partiellement. De plus, la taille de cette maille a été également choisie pour des raisons techniques, notamment le temps de traitement, mais aussi pour conserver le maximum de détail sur l'occupation du sol dominant. Cette évaluation initiale permet d'obtenir une première cartographie de la situation d'un vaste territoire et d'identifier les secteurs qui nécessitent une évaluation plus approfondie de la vulnérabilité des enjeux, notamment à grande échelle.

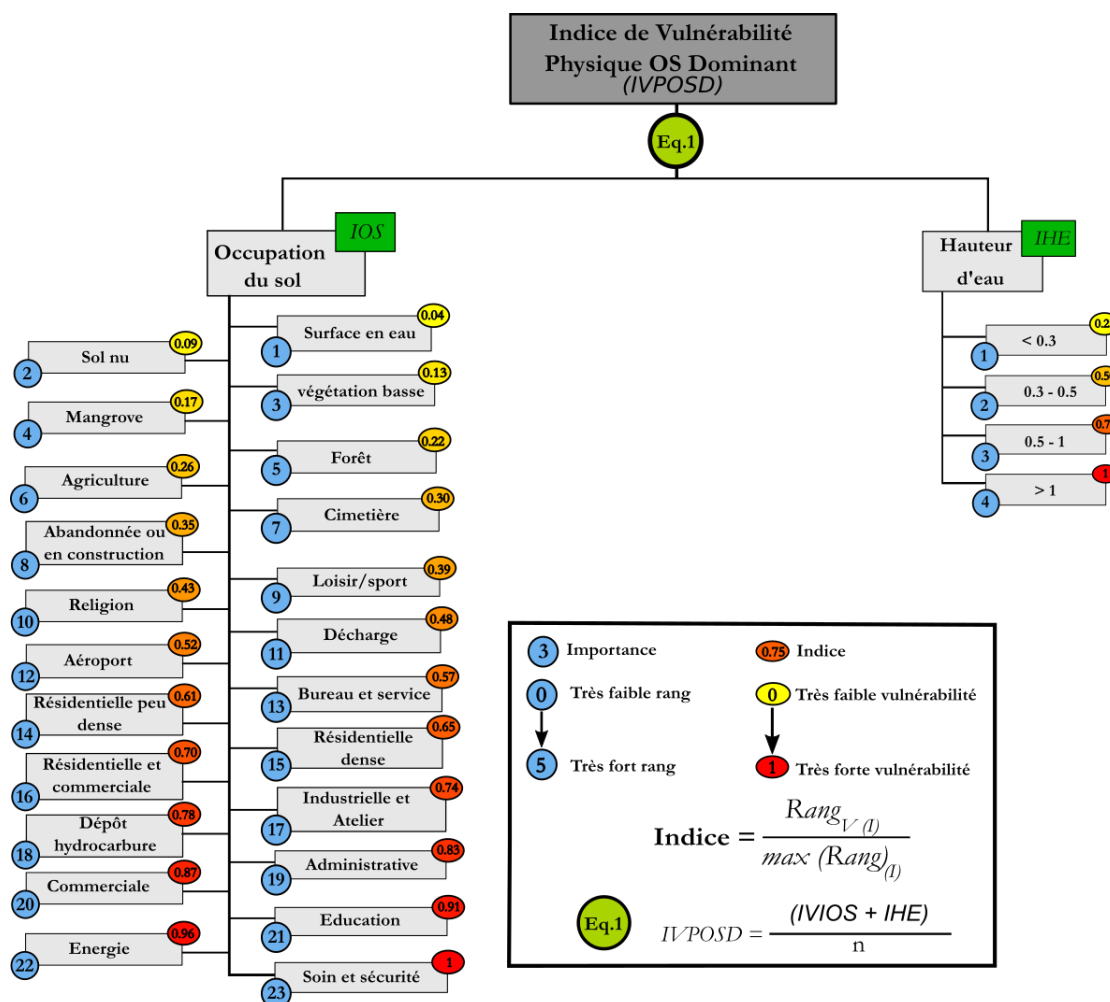


Figure 4-8 : modèle d'agrégation pour la production de l'indice de vulnérabilité physique de l'occupation du sol à l'échelle moyenne (Réalisation L. YEMBI, 2022)

4.3.3.2 Agrégation à grande échelle

À grande échelle : le processus d'agrégation des indicateurs devient plus complexe. L'indice de vulnérabilité physique des enjeux à cette échelle suit la même logique que celui à l'échelle moyenne, mais avec un plus grand nombre d'indicateurs à combiner. De plus, à cette échelle, des sous-indices apparaissent avant d'arriver à l'indice final de vulnérabilité physique des enjeux. Pour obtenir cet indice final, l'opération consiste à agréger la valeur de l'Indice de Vulnérabilité Intrinsèque du Bâti (IVIB) avec l'Indice d'Exposition Réelle du Bâti (IERB). Le processus d'agrégation des indicateurs, des sous-indices et de l'indice final est illustré dans le modèle présenté à la Figure 4-9 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Dans ce processus, l'indice de vulnérabilité intrinsèque des enjeux reste constant tout au long du processus, quel que soit l'enjeu. Les variations de la valeur de cet indicateur peuvent être dues à un changement dans la variable de l'indicateur (par exemple, la nature des matériaux de construction) ou au type et au nombre d'indicateurs. Dans notre cas, les variations de la valeur de la vulnérabilité intrinsèque des enjeux sont en grande partie causées par la variation du niveau d'impact de l'aléa.

Ce processus d'agrégation a été appliqué au réseau routier, en commençant par la première agrégation qui concerne l'Indice de Vulnérabilité Intrinsèque Routière (IVIR). Cet indice comprend l'Indice de Type de Route (ITR), l'Indice de l'État Routier (IER), l'Indice de Revêtement (IR) et l'Indice du Nombre de Voies (INV). Ensuite, une seconde agrégation a été réalisée, combinant l'IVIR avec l'Indice de Hauteur d'Eau (IHE), ce qui a permis de calculer l'Indice de Vulnérabilité Physique Routière (IVPR) (Figure 4-10).

Contrairement à la pratique courante qui consiste à discrétiser les cartographies de vulnérabilité physique des enjeux en classes de vulnérabilité (négligeable, faible, modérée, forte, très forte), nous avons choisi de ne pas discrétiser les valeurs des indices. Cette décision découle du fait que les différentes méthodes de discrétisation existantes (intervalle égal, quantile, seuil naturel, intervalle géométrique, etc.) ont des avantages et des inconvénients, et il est difficile de faire un choix unique (Carlier, 2019). Par conséquent, les valeurs des indices ont été laissées telles quelles. La distribution de ces valeurs a été conservée dans les unités géographiques sous forme vectorielle plutôt que sous forme de Raster. Néanmoins, une légende de lecture et d'interprétation de ces valeurs est proposé au chapitre 6. Il faut dire que dans la suite de cette thèse, notre objectif est de développer un outil interactif permettant d'évaluer la vulnérabilité des enjeux, en prenant en compte les résultats des différentes cartographies d'indices de vulnérabilité physique.

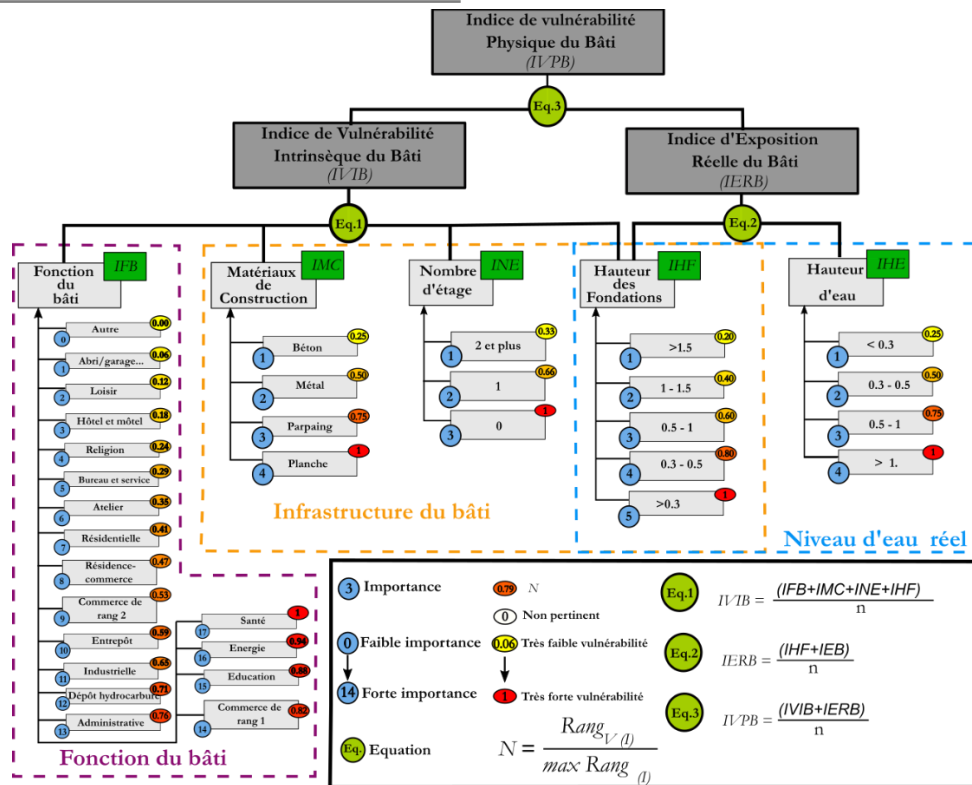


Figure 4-9 : Modèle d'agrégation des indicateurs pour la production des indices de vulnérabilité du bâti (Réalisation L. YEMBI, 2022)

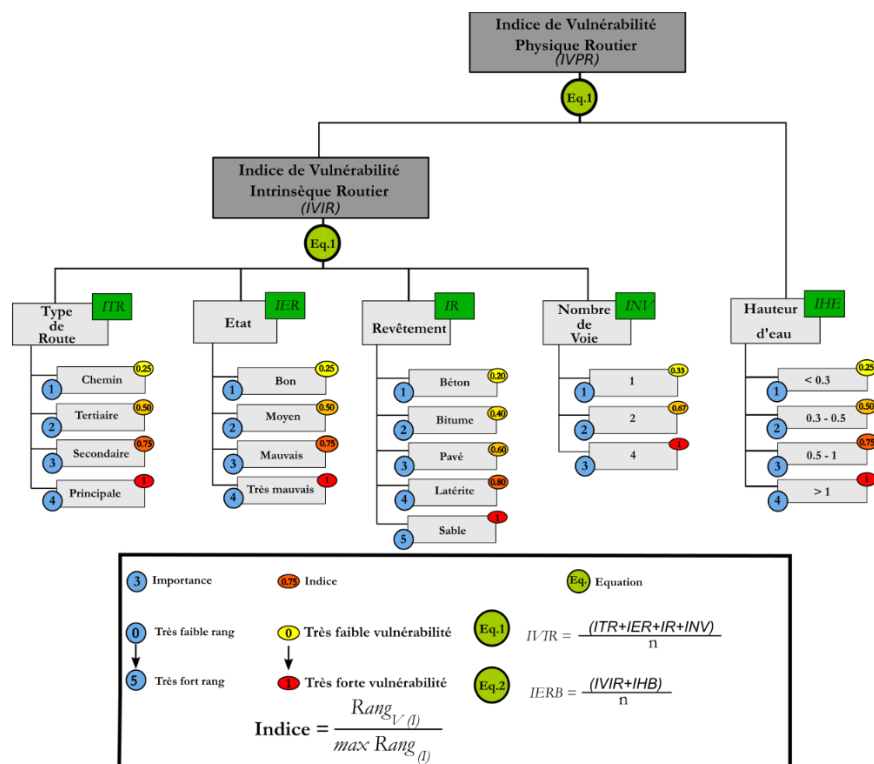


Figure 4-10 : Modèle d'agrégation des indicateurs pour la production des indices de vulnérabilité du réseau routier (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Chapitre 4 Identification, caractérisation et évaluation de la vulnérabilité physique des enjeux en milieu urbain : approche par indices

Afin de faciliter l'utilisation par les gestionnaires et compte tenu du grand nombre de scénarios d'aléa à prendre en compte, il était essentiel d'automatiser le processus de mise en place du Modèle ANA. Pour ce faire, une boîte à outils a été développée pour chaque enjeu, permettant de faciliter la répétition des calculs en fonction des différents scénarios d'inondation par la mer.

Une partie du script et de l'outil développé pour l'indice de vulnérabilité physique du bâti est présentée dans la Figure 4-11 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**. Ces outils ont permis de simplifier et d'accélérer le traitement des données en automatisant les calculs.

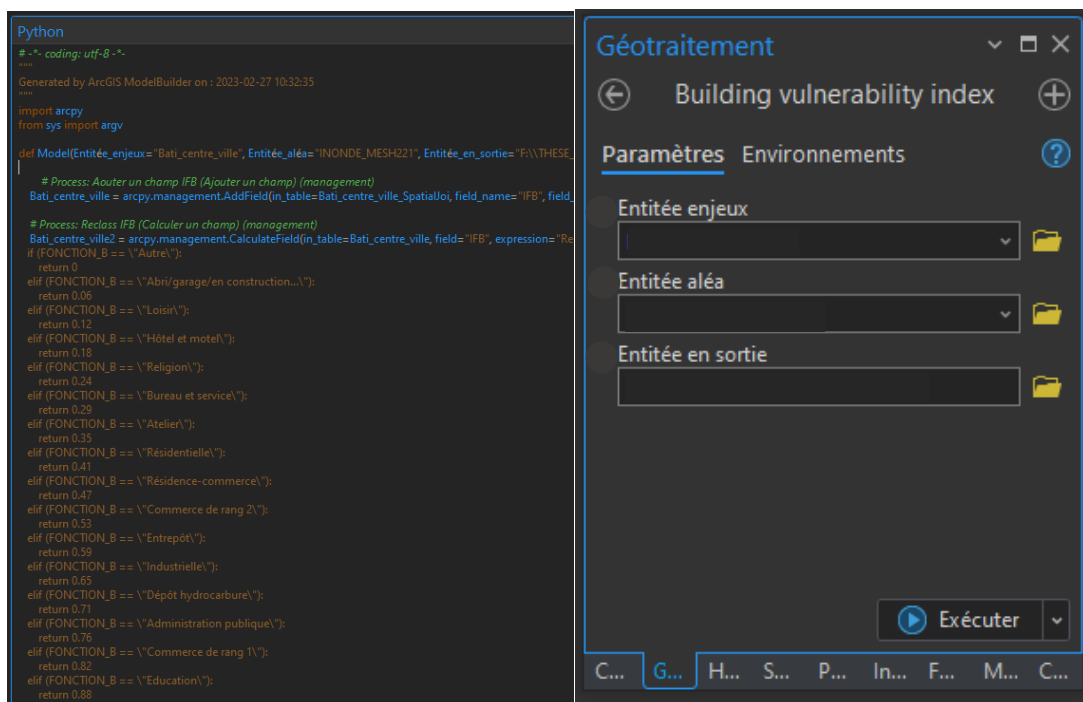


Figure 4-11 : Toolbox Building vulnerability index (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Dans le cadre du traitement des données SIG, des choix méthodologiques ont été faits pour construire les indices de vulnérabilité physique du réseau routier et du bâti. Par exemple, pour l'indicateur relatif au réseau routier, il a été décidé que lorsqu'un segment de route est en contact avec l'aléa, l'ensemble du segment est considéré comme impacté. De plus, une seconde condition a été appliquée lors du traitement des données. Si deux niveaux d'eau affectent le même segment de route, le niveau d'eau le plus élevé est pris en compte, sauf si le niveau d'eau plus faible représente plus de 60 % de la hauteur d'eau impactant la route (Figure 4-12). Ces mêmes conditions ont été appliquées pour le traitement des données relatives au bâti. Ces choix méthodologiques ont été déterminants dans la construction de l'ensemble des indicateurs utilisés.

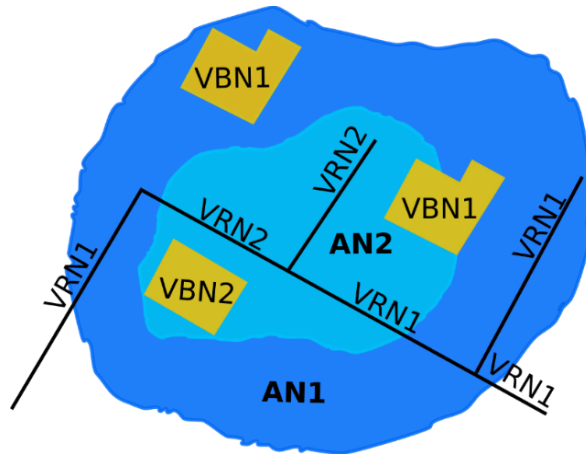


Figure 4-12 : Détail d'affectation des hauteurs d'eau aux enjeux bâti et route. AN1 : Aléa niveau 1, AN2 : Aléa niveau 2, VRN1 : Vulnérabilité Routière avec Niveau d'eau 1, VRN2 : Vulnérabilité Routière avec Niveau d'eau 2, VBN1 : Vulnérabilité du Bâti avec Niveau d'eau 1, VBN2 : Vulnérabilité du Bâti avec Niveau d'eau 2. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Synthèse du chapitre 4

Les travaux présentés dans ce chapitre constituent la base méthodologique pour évaluer la vulnérabilité physique des enjeux face aux inondations par la mer dans le contexte d'un territoire présentant des lacunes importantes en matière de données spatiales de référence. L'approche présentée dans ce chapitre permet, d'une part, d'identifier les secteurs les plus vulnérables qui nécessitent de mettre en place des mesures de « **déguerpissement**²⁶ », ainsi que les zones prioritaires nécessitant des aménagements à l'échelle moyenne. À grande échelle, elle permet d'identifier précisément les enjeux qui sont les plus vulnérables en raison de la structure ou de la fonction de cet enjeu. Ainsi, ce chapitre avait pour objectif de présenter la démarche qui a permis la modélisation de la vulnérabilité physique des enjeux en utilisant une approche basée sur les indices à deux échelles d'analyse.

Dans un premier temps l'approche développée a nécessité un nombre important des données sur les enjeux aux deux échelles d'analyse. Le premier type d'enjeux identifié selon l'échelle moyenne a été l'occupation du sol dominant. La production de cette donnée a nécessité le traitement d'image satellite par une approche de classification supervisée de l'image Spot6 de 2015. Le deuxième type d'enjeu identifié selon la grande échelle a été le réseau routier et le bâti. La production de ces couches d'information s'est déroulée à travers un processus de numérisation et d'enquête sur le terrain afin de les enrichir en informations pertinentes, nécessaires à leur caractérisation détaillée.

La méthode ANA développée pour cette recherche, s'inspire fortement de la méthode de l'IDP (Indice de Dommage Potentiel) développée par (Puissant *et al.*, 2006). Cette méthode semi-quantitative repose sur la production d'indices. Les méthodes semi-quantitatives, orientées vers les indices, sont plus rapides et plus précises que les méthodes qualitatives et quantitatives, telles que les matrices de vulnérabilité et les courbes de vulnérabilité, respectivement. Cependant, elles peuvent être controversées en raison de la subjectivité de l'attribution des valeurs du rang d'importance. Le niveau d'importance d'un enjeu peut rapidement changer avec l'entrée d'un nouvel élément exposé, comme une station d'épuration des eaux usées par exemple. Dans le cas de notre zone d'étude, il est important d'adapter les systèmes d'attribution des rangs d'importance aux enjeux. Les cartes des vulnérabilités intrinsèques des enjeux obtenus à différentes échelles peuvent être agrégées avec les cartes d'aléas pour obtenir les cartes de vulnérabilité physique des

²⁶ Le terme « déguerpissement est l'opération par laquelle il est fait obligation pour des motifs d'utilité publique à des occupants d'une terre appartenant à la puissance publique de l'évacuer même s'ils ont cultivé ou construit. Ce terme est souvent utilisé dans le cadre d'une appropriation illégale des terres de l'État. Il est souvent utilisé dans le contexte de gestion des risques, notamment lorsqu'il y a un danger imminent ou potentiel, tel qu'une catastrophe naturelle, une situation d'urgence ou une réaffectation de territoire.

enjeux. Il est à noter que le système d'agrégation doit être adapté en fonction des objectifs de recherche et notamment de la zone d'étude (Barroca *et al.*, 2006).

Les cartes de vulnérabilité intrinsèque des enjeux, obtenues aux différentes échelles, pourront ainsi être utilisées et croisées avec des cartes d'aléas par différentes approches (matricielles, par indices ou autres) afin de produire des cartes de risques voire des cartes multirisques. Il est essentiel d'évaluer la vulnérabilité physique d'un enjeu en tenant compte des facteurs physiques propres aux territoires pour une gestion efficace des risques. Cette analyse permet d'identifier les zones nécessitant une évacuation ou un « déguerpissement », ainsi que les zones prioritaires nécessitant des aménagements. Elle se base sur l'étude de l'aléa, de sa fréquence d'occurrence, des dommages causés, de l'exposition à l'aléa et de la sensibilité des enjeux en lien avec la répartition spatiale. Pour être exhaustive, l'analyse doit prendre en compte les particularités géographiques, historiques et environnementales des territoires. La vulnérabilité physique repose sur la modélisation des phénomènes en considérant les interactions entre différents facteurs. Elle permet de comprendre le fonctionnement du territoire et son lien avec la production des risques naturels (Vinet *et al.*, 2012), notamment en ce qui concerne l'influence des dynamiques démographiques et urbaines à l'échelle des zones d'étude. Les méthodes d'analyse de la vulnérabilité physique qui sont présentées dans ce chapitre avec une approche multidimensionnelle sont basées sur ce modèle.

Ces méthodes orientées sur la production des indices de vulnérabilité des enjeux ont été possibles grâce à l'utilisation des SIG. Elles offrent des outils d'aide à la décision, simples à mettre en œuvre pour permettre par exemple l'identification de zones vulnérables et les enjeux les plus exposés. La réduction de l'exposition des enjeux est l'objectif principal de l'évaluation de la vulnérabilité physique. La démarche proposée comporte tout de même quelques limites qui semblent pertinentes à présenter. En effet, dans notre cas d'étude cette méthode est chronophage en raison du temps passé à construire la base de données sur les enjeux. Si à l'échelle moyenne la démarche peut être rapide, notamment dans la production de la couche des enjeux Occupation du Sol Dominant, il est tout de même long à grande échelle. De plus, pour certains bâtiments, en raison de contraintes qui nous ont empêchés de nous rapprocher davantage afin d'effectuer des mesures plus précises, nous avons estimé visuellement certaines caractéristiques tels que la hauteur des fondations. Les résultats obtenus à travers ces approches sont présentés dans au chapitre 6, précisément à la sous-section 6.2.2 pour l'occupation du sol dominant (échelle moyenne). Présente toutes les informations relatives au bâti et au réseau routier. Ces cartographies permettent une meilleure compréhension de la structure urbaine de la zone d'étude ainsi que l'environnement sur lequel il se développe.

Le chapitre suivant est consacré à l'approche méthodologique de la deuxième phase de ce travail de recherche, axée sur l'évaluation de la vulnérabilité sociétale.

**Chapitre 5 : Évaluation de la vulnérabilité
sociale à travers les représentations du risque à
Port-Gentil : cadre méthodologique**

Introduction chapitre 5

Au cours des deux chapitres de cette deuxième partie, nous avons présenté les différentes méthodes permettant d'évaluer la vulnérabilité physique d'un territoire urbain, en particulier en caractérisant l'aléa et les indices de vulnérabilité potentiels des enjeux, en utilisant un indicateur synthétique basé sur des scénarios à grande et moyenne échelle. Notre approche, qui repose sur les indices de vulnérabilité, a été adaptée au contexte de notre étude afin d'évaluer les conséquences potentielles des risques à différentes échelles spatio-temporelles sur les différents enjeux structurant l'espace urbain (bâtiments, réseaux de transport et occupation dominante du sol). La cartographie de cette vulnérabilité physique à différentes échelles peut fournir aux décideurs des outils pratiques basés sur des mesures objectives pour prendre des décisions éclairées. Toutefois, la vulnérabilité ne se limite pas uniquement au degré d'exposition des enjeux à un risque spécifique, elle est également le résultat de facteurs sociaux (Birkmann, 2007 ; Leone *et al.*, 2007). Par conséquent, il serait insuffisant de considérer la vulnérabilité d'un territoire urbain exposé au risque d'inondation uniquement du point de vue de son impact physique.

Nous avons donc décidé de prendre en compte la vulnérabilité urbaine de la ville de Port-Gentil en intégrant également ses composantes sociales et culturelles. En incluant les principaux acteurs, tels que les populations et les gestionnaires du territoire, dans notre évaluation, nous espérons mieux comprendre cette vulnérabilité globale en milieu urbain et explorer un autre aspect souvent négligé de la vulnérabilité urbaine, à savoir la sphère sociale, en particulier dans les pays en développement (Adelekan, 2010). L'objectif de cet exercice est d'approfondir notre compréhension de cette vulnérabilité globale en milieu urbain.

Dans ce chapitre, nous examinons l'évaluation de la vulnérabilité sociale face aux inondations par la mer, en mettant l'accent sur la composante de « **représentation du risque** ». Compte tenu de la complexité de la mesure précise de la vulnérabilité sociétale, cette partie de la recherche est plutôt exploratoire. Ainsi, nous allons détailler le processus et la méthodologie utilisés pour répondre à un certain nombre de questions, en particulier pour tester la deuxième hypothèse de notre étude, qui porte sur la méconnaissance (absence de culture) du risque d'inondation par la mer des populations et les gestionnaires et sur leur représentation. Pour ce faire, nous avons mené une enquête principalement sur la représentation des risques et leur gestion dans la ville auprès de la population et des autorités politico-administratives locales. L'objectif de cette enquête est multiple : 1) évaluer la place du risque d'inondation par la mer parmi les multiples risques présents dans la cité pétrolière, 2) identifier les facteurs déterminants la variation de la représentation des principaux risques dans la commune, en particulier le risque d'inondation par la mer, 3) estimer la connaissance de la population et des autorités sur le risque et leur représentation, et 4) évaluer à la fois les mesures

de mitigation envisagées par la population et la confiance accordée par la population aux autorités politico-administratives en charge des risques. Ces objectifs, qui ont guidé notre démarche méthodologique dans cette partie de la recherche, découlent des quatre questions suivantes :

- **Quelle est la place du risque d'inondation par la mer dans la commune de Port-Gentil ?**
- **Quels sont les facteurs socio-spatiaux qui influencent la différenciation de la représentation du risque d'inondation par la mer dans la commune ?**
- **Comment la population et les autorités locales se représentent-elles ce risque ?**
- **Quelles sont les stratégies envisagées par les populations et les autorités locales pour faire face à ce risque ?**

Pour répondre à ces questions, ce chapitre est structuré en trois sections. La **première section 5.1**, présente la réflexion scientifique qui a conduit à prendre en compte le concept de vulnérabilité sociale et/ou sociétale dans notre étude, ainsi que le choix du concept qui structure l'évaluation de cette partie de la vulnérabilité, et les hypothèses à tester. Cette section complète l'approche théorique développée au chapitre 1. Elle pose les bases de nos hypothèses concernant une vulnérabilité socio-spatiale qui préexiste à la manifestation de l'aléa et qui révèle souvent une vulnérabilité sociétale profonde. La **deuxième section 5.2** expose en détail la méthodologie que nous avons mise en œuvre pour tester les hypothèses soutenant cette partie de la recherche. Avant cela, nous présentons les raisons de cette approche qui repose sur une combinaison d'outils liés à d'autres disciplines connexes à la géographie. La **troisième section 5.3** décrit les différentes méthodes de traitement des résultats qui seront présentés dans les chapitres 7 et 8 de notre étude, ainsi que les limites des différentes approches.

Ce chapitre reprend une partie du développement méthodologique de l'article « Perceptions et représentations socio-spatiales des risques dans les communes multirisques : le cas de la place du risque d'inondation par la mer chez les habitants de Port-Gentil au Gabon » de Louis Yembi-Yembi, Stéphane Costa et Emmanuel Bonnet publié dans la revue « Cybergeog » mise en ligne le 23 mai 2022 (Yembi-Yembi *et al.*, 2022).

5.1 Rappel conceptuel et des hypothèses

5.1.1 La place de la vulnérabilité sociale dans l'évaluation de la vulnérabilité urbaine aux inondations par la mer

Dans le chapitre, nous avons défini le concept de vulnérabilité, en mettant l'accent sur la vulnérabilité urbaine. Nous avons souligné que la vulnérabilité est un concept emprunté d'autres sciences sociales et médicales, plutôt qu'une théorie développée en géographie. La vulnérabilité est avant tout une condition qui reflète la position de fragilité d'un individu ou d'un groupe face aux risques qui les entourent (Navarro Carrascal, 2022), C'est donc un concept social qui découle des inégalités dans la société (Cutter *et al.*, 2003 ; Birkmann, 2007 ; Veen *et al.*, 2009). Selon Brooks (2003), les facteurs sociaux, économiques et politiques façonnent la sensibilité et la capacité à faire face aux risques. Ainsi, la vulnérabilité sociale en géographie du risque est étroitement liée à des facteurs sociologiques et psychologiques tels que la pauvreté, l'éducation, la santé mentale (Thouret et D'Ercole, 1996 ; Beck et Glatron, 2009 ; Goeldner-Gianella et Humain-Lamoure, 2010), ainsi qu'à des facteurs économiques et démographiques. Cette dimension sociale de la vulnérabilité est primordiale, car elle permet de comprendre les mécanismes qui sous-tendent la vulnérabilité et ainsi d'agir pour la réduire. La vulnérabilité est foncièrement un concept social. Dans le contexte d'une inondation, la vulnérabilité sociale correspond aux caractéristiques d'une personne ou d'un groupe qui influencent sa capacité à se préparer ou à faire face à l'aléa, ou à s'en remettre. Cette vulnérabilité sociale peut se traduire sur le plan territorial par une inégalité spatiale, c'est-à-dire que certains quartiers ou régions peuvent être plus exposés et plus vulnérables que d'autres (Cutter *et al.*, 2003).

Cette inégalité spatiale face aux risques est bien tributaire des conditions des facteurs intangible (Conditions économiques, politiques, environnementales) et intangible en raison du façonnement de la société et de l'héritage culturel qui va rendre un individu ou un groupe d'individu plus vulnérable que d'autres. L'ensemble de ces facteurs, pris ensemble, vient complexifier la représentation ou la perception des individus ou du groupe quant à leur propre vulnérabilité (Denis et Dubois, 1976). De plus, cette représentation d'un sentiment de vulnérabilité ne colle pas souvent avec l'évaluation faite par les « experts » (Gestionnaire, autorités). En effet, la question des risques environnementaux et anthropiques est en lien avec les questions de planification des politiques urbaines. Cela joue un rôle important dans la mise en place des solutions de résilience des territoires. Des politiques, qui en passant, sont souvent rejetées par les populations (Goeldner-Gianella *et al.*, 2017).

Aussi, le fait de se considérer ou pas comme vulnérable ou non face à un aléa est aussi une question d'éducation ou plus simplement d'un manque ou pas d'information sur la menace avérée ou latente. Ainsi, une évaluation de la manière dont les individus se représentent ou perçoivent leur propre

vulnérabilité fait référence au concept de vulnérabilité perçue. Autrement dit, la croyance subjective que les individus ont d'être ou pas potentiellement vulnérable à une menace. Ce sentiment subjectif d'être ou pas vulnérable est le produit des facteurs eux-mêmes subjectifs, mais également d'un ensemble de facteurs qu'il est important d'identifier. Autrement dit, l'évaluation de la vulnérabilité sociale nécessite de comprendre les mécanismes sociaux, démographiques, économiques, politiques, cognitifs, participant à la construction d'un sentiment de vulnérabilité ou pas et du comportement que peut manifester un individu ou un groupe social face au danger.

De ce fait, l'évaluation de la vulnérabilité d'une ville ne peut pas se réduire qu'à des effets tangibles, des dommages physiques sur les enjeux, ou encore à une simple conception des habitants comme spectateur de cette vulnérabilité, mais des acteurs de la production de leur propre vulnérabilité. Ainsi, cette composante de la vulnérabilité des territoires s'intéresse plus particulièrement à un des facteurs déterminants de la vulnérabilité des populations : leur représentation des risques auxquels elles sont potentiellement exposées (Meur-Ferec *et al.*, 2020).

La participation ou l'implication des populations locales à la planification et à la gestion des risques devient une solution essentielle pour mieux comprendre leur propre territoire et sa dynamique. C'est cette population qui est en première ligne lors de la manifestation d'un aléa. Ainsi, la gestion des risques vise à réduire la vulnérabilité de l'ensemble de la société afin de limiter les effets néfastes de l'aléa et de favoriser un rééquilibrage durable. Cette gestion comprend le traitement des décisions, l'organisation et la compréhension de la mise en œuvre opérationnelle des politiques et les stratégies d'adaptation de la société. Ainsi, on a d'une part la compréhension des représentations des populations, de leurs engagements dans le processus d'adaptation et d'autre part la compréhension des mesures existantes, des politiques publiques mises en œuvre et l'articulation de ces politiques publiques auprès des différentes institutions.

5.1.2 Représentations ou perception du risque ?

Ce chapitre est fortement orienté vers la composante représentation du risque. En effet, l'étude des représentations est désormais une approche classique en géographie (Paulet, 2002). Pour Meur-Ferec *et al.* (2020), la représentation est une composante essentielle dans l'évaluation de la vulnérabilité systémique des territoires exposés aux risques. La prise en compte des représentations du risque dans l'évaluation de la vulnérabilité urbaine est importante pour expliquer la réalité du point de vue des « experts » et de la population. Elle permet d'examiner la façon dont les individus voient et conçoivent la réalité d'un objet, d'un phénomène et de leur environnement. En matière de risque, la prise en compte des représentations permet d'explorer le ressenti et la connaissance que les populations potentiellement exposées ont du risque (Arnaud, 2020 ; Kellens *et al.*, 2011).

Malgré cet intérêt particulier pour le concept de représentation, celui-ci reste polysémique et comporte un grand nombre de définitions (Bernoussi, Florin, 1995 ; Chouari, 2020). Selon la discipline et même au sein d'une même discipline, en fonction des objectifs de l'étude, le concept est susceptible de prendre des significations plus ou moins différentes, et cela, en fonction des adjectifs qui lui sont associés (représentation cognitive, sociale, spatiale, collective, socio-spatial, etc.). De plus, au-delà de la multitude de définitions, il semble exister un chevauchement conceptuel entre représentation et perception. Cependant, il existe des différences entre les deux concepts (Peretti-Watel, 2000). En première approximation, la représentation peut être définie comme une opération par laquelle l'esprit se représente des objets en leurs absences (Piaget, 2013). Il s'agirait de la représentation en mémoire sur le long terme des connaissances acquises par un individu sur un objet, un événement à travers son environnement et les stimuli corporels de l'individu (Denis, Dubois, 1976 ; Glatron, 2009). Pour Cauvin (1999), il s'agit d'une « représentation cognitive », qui peut être influencée par un certain nombre de facteurs liés à l'environnement, aux caractéristiques propres de l'individu (âge, sexe, niveau d'éducation, etc.), ainsi qu'à l'expérience et, plus particulièrement, à la fréquentation et à la connaissance des lieux. La perception, quant à elle, est « l'ensemble des mécanismes et des processus par lequel l'organisme prend connaissance du monde et de son environnement sur la base des informations élaborées par ses sens » (Bloch *et al.*, 1992). Elle fait donc référence aux mécanismes perceptifs tels que la vue, l'odorat, l'ouïe, le goût et le toucher et donc au contact avec la réalité tangible. Cela signifie que l'objet ou le phénomène existe et qu'il a eu un contact avec lui (Peretti-Watel, 2000).

Si la perception permet d'interpréter la réalité à travers les stimuli sensoriels, la représentation va au-delà des simples stimuli sensoriels. Elle mobilise également un certain nombre de filtres socio-spatiaux et cognitifs, afin de faire émerger l'image que l'on a d'un objet ou d'un phénomène (Di Méo, 1990). Dans cette partie de la thèse, il est bien question de représentation étant donné la très faible occurrence, voire l'inexistence pour l'instant, du principal risque traité. Dans ce cas, il faut faire appel aux représentations cognitives, à la construction mentale d'une réalité par les populations. Cependant, d'autres risques peuvent recouvrir un caractère perceptif. C'est le cas des inondations pluviales, qui sont une réalité tangible dans le quotidien de cette population, environ neuf mois sur douze. Pour ce risque, il s'agit avant tout de perception, car il ne s'agit plus de construire une idée d'une réalité, mais de l'expérimentation quotidienne de cette réalité par les habitants. Ainsi, les deux termes dans leur sens propre peuvent être utilisés, compte tenu du caractère multirisque de ce territoire et de la signification que peuvent avoir certains risques pour les populations.

Par ailleurs, qu'il s'agisse de perception ou de représentation, ces deux concepts dépendent d'un certain nombre de déterminants sociaux et spatiaux propres à chaque société, à chaque ménage et

à chaque individu (Deboudt, Flanquart, 2008 ; Kellens *et al.*, 2013 ; Qasim *et al.*, 2015). En somme, la différence de représentation et de perception découle d'une construction socio-spatiale (Rufat, 2015 ; Michel-Guillou, Meur-Ferec, 2017 ; Lemée *et al.*, 2019).

5.1.3 Les facteurs socio-spatiaux déterminants dans la représentation du risque

Plusieurs facteurs et variables influencent la représentation et les réponses aux risques. Ces facteurs peuvent être liés au risque lui-même, à sa connaissance, à son environnement, à la perception du gestionnaire du risque, mais aussi à l'individu (l'âge, le sexe, l'éducation, la situation économique, etc.), à ses croyances (milieu culturel), et à son groupe social (Peacock *et al.*, 2005). Il est donc fondamental d'appréhender la représentation qu'on les gens des risques qu'il encourent pour évaluer leur niveau de vulnérabilité et leur réaction, concevoir des mesures efficaces, encourager la prise de mesures de préparation et élaborer des plans de gestion optimale. Dans cette perspective, un des objectifs de cette recherche est d'examiner la différenciation de la représentation du risque d'inondation par la mer en fonction de ces facteurs socio-spatiaux. Identifier le rôle de ces facteurs dans les études d'évaluation des risques est crucial pour assurer une communication efficace et permettre la prise de conscience du risque encouru (Kellens *et al.*, 2011 ; Gotham *et al.*, 2018 ; Lechowska, 2018).

De plus, ils permettent de comprendre l'acceptation sociale ou non des politiques de gestion des risques par les populations (Messner et Meyer, 2006), mais également de mener des actions ciblées et plus efficaces. Cependant, on ne sait toujours pas comment la population se représente les risques auxquels elle est potentiellement exposée et les facteurs qui influencent cette représentation sur plusieurs territoires. Or, la planification et la mise en œuvre des politiques de gestion des risques peuvent être entravées par une représentation biaisée d'un risque potentiellement imminent en raison d'une plus grande attention portée à d'autres risques prioritaires présents dans la vie quotidienne de la population.

Par conséquent, l'évaluation de la vulnérabilité sociale à travers les représentations du risque permet de comprendre dans quelle mesure les individus appréhendent les risques dans leur environnement et leur quotidien. Elle permet également d'identifier les facteurs de blocage d'une résilience efficace en identifiant les facteurs qui influencent la manière dont les individus se représentent le risque (Kellens *et al.*, 2013b ; Heitz et Shimabuku, 2017).

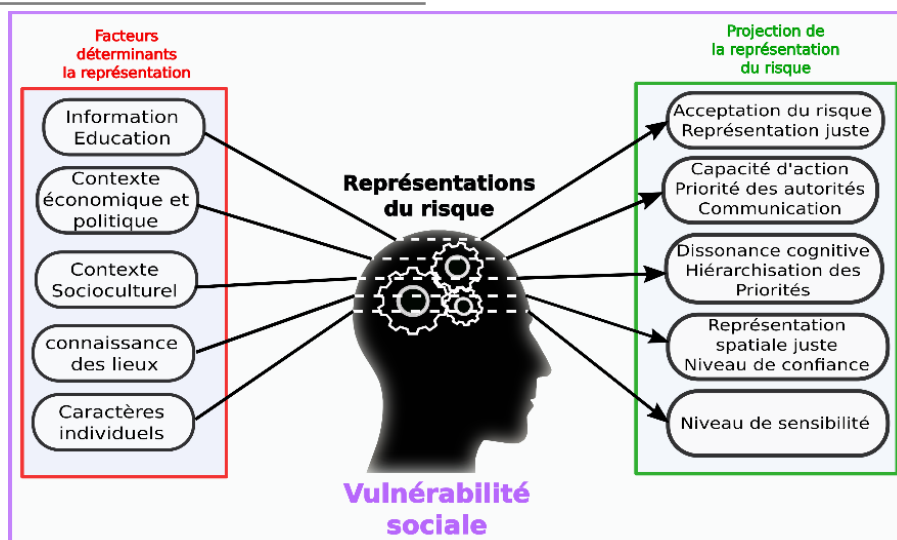


Figure 5-1 : Complexité de la représentation du risque : facteurs de représentation et projections de la représentation (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Comme énoncé précédemment, il s’agit d’évaluer leur influence sur les représentations, les connaissances et les comportements des individuels ou collectifs vis-à-vis du risque. Dans cette approche, les facteurs considérés se déclinent en trois catégories (Tableau 5-1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), intégrées dans le questionnaire qui sera présenté dans la suite de ce chapitre. Il s’agit : des facteurs socio-démographiques, les facteurs socio-culturels, les facteurs géographiques. La prise en compte de ces facteurs et la démarche mise en place ont été guidé par de nombreux travaux (Thouret et D’Ercole, 1996 ; Bonnet, 2002 ; Adelekan, 2010 ; Krien et Michel-Guillou, 2014 ; Coquet, 2019).

Facteurs	Qualification des facteurs
Socio-démographiques	Genre
	Âge
	Niveau d’étude
	Statut professionnel
	Taille du ménage
	Niveau de revenu
	Statut foncier (Propriétaire ou locataire)
Socio-culturels	Standing du logement
	Le temps passé dans la commune
	La connaissance des institutions
Géographiques	La confiance aux autorités
	L’environnement du lieu de résidence
	La proximité à la mer

Tableau 5-1 : Facteurs influençant la représentation du risque

5.1.4 Déclinaison des hypothèses

Plusieurs études sur la représentation des risques ont cherché à identifier la position d'un risque par rapport à un ensemble de risques présents sur un territoire auprès de la population (Goeldner-Gianella *et al.*, 2013 ; Hellequin *et al.*, 2013 ; Rulleau *et al.*, 2015 ; Verlynde, 2018). Ces études ont révélé qu'en raison de la multiplicité des risques présents sur un territoire, les risques perçus tendent à être plus présents dans les préoccupations de la population que les risques non perçus (Goeldner-Gianella *et al.*, 2013).

Il faut signaler que cette partie de la thèse a d'abord un caractère exploratoire. Un certain nombre d'objectifs ont été définis et examinés. En premier lieu, il sera nécessaire d'étudier la place du risque d'inondation par la mer dans le contexte d'une commune exposée à de multiples risques. En deuxième lieu, il s'agira d'identifier les facteurs déterminants dans la différenciation de la représentation du risque d'inondation par la mer. Dans un troisième temps, il sera question d'examiner la représentation spatiale de la population et des gestionnaires. À partir de ces objectifs, la question 1 « **Quelle est la place du risque d'inondation par la mer dans la commune de Port-Gentil ?** » posée en introduction de ce chapitre prend tout son sens. Cette question interroge également sur la connaissance que la population ou les gestionnaires ont du risque d'inondation par la mer. Sur la base des éléments conceptuels et théoriques qui précèdent, les hypothèses *H1A* et *H1B* ont été formulées de la manière suivante :

- *H1A* : La faible occurrence de certains risques et la prédominance d'autres risques dans la vie quotidienne des individus conduisent à une surestimation des risques perçus et une sous-estimation des risques non perçus.
- *H1B* : En raison de la diversité de risque présent dans la commune et malgré sa faible topographie, le risque d'inondation par la mer est peu pris en considération par la population.

Du point de vue des facteurs socio-démographiques déterminant la représentation des risques, plusieurs études antérieures et en grande partie dans les pays du nord, ont déjà examiné l'influence des facteurs sociodémographiques sur la représentation des risques. Plusieurs de ces facteurs se sont révélés déterminants dans la différenciation de la représentation du risque (Ho *et al.*, 2008 ; Kellens *et al.*, 2011 ; Rey-Valette *et al.*, 2012 ; Anton, Lawrence, 2014 ; O'Neill *et al.*, 2016). Cependant, ils restent largement inexplorés dans le contexte des territoires côtiers africains à risque multiple (Kellens *et al.*, 2013a). Bien que notre étude se concentre sur la représentation du risque d'inondation par la mer, les déterminants de la représentation ou de la perception des principaux risques rapportés par les habitants ont également été examinés. Ainsi, l'hypothèse *H2* suivante a été formulée :

- *H2 : La variation du sentiment d'exposition aux risques est liée significativement aux facteurs sociodémographiques.*

Dans cet élan, la localisation serait considérée également comme un facteur déterminant la représentation des risques. Ainsi, la variation de la représentation du risque serait liée à la position spatiale des individus (Bonnet, 2002). Par conséquent, un individu peut être plus ou moins sensible à un risque particulier en raison de sa proximité ou de son éloignement de la zone à risque (Baggio, Rouquette, 2006 ; Lindell, Hwang, 2008 ; Krien, 2014 ; Coquet, 2019). À partir de ce raisonnement, l'hypothèse *H3* a été formulée :

- *H3 : le contexte spatial de la résidence des ménages est un facteur déterminant dans la variation du sentiment d'exposition aux risques.*

Si ces hypothèses ont déjà été testées dans d'autres territoires à travers plusieurs risques (inondation marine, glissement de terrain, pollution de l'air, risque industriel, etc.), dans le cadre de programmes d'évaluation de la vulnérabilité des zones urbaines soumises à des risques naturels ou même anthropiques, elles n'ont pas encore été étudiées au Gabon. Ainsi, afin de combler cette lacune, nous avons adapté cette question dans la commune de Port-Gentil, en raison de sa forte exposition potentielle aux inondations marines et au caractère multirisque de cette ville.

5.2 Approche mixte tirée des sciences sociales et environnementales

À la suite de l'apport d'un complément d'éléments théorique, cette section se veut plus opérationnelle dans cette seconde phase de l'évaluation de la vulnérabilité urbaine aux inondations par la mer dans la cité pétrolière gabonaise. Elle expose la méthodologie appliquée sur le terrain visant à caractériser la vulnérabilité sociale de la ville de Port-Gentil face aux inondations marines. De la conception des outils de collecte de données à la passation des différents outils auprès des acteurs en passant par les différents traitements statistiques appliqués. Cette section décrit spécifiquement l'ensemble du protocole mis en place pour collecter des données essentielles à l'analyse dans la partie suivante et particulièrement dans le chapitre 7 de ce manuscrit.

Ici, nous avons adopté une approche à double sens pour comprendre la vulnérabilité sociale liée aux inondations marines à Port-Gentil. D'une part, une démarche **top down**, c'est-à-dire, comprendre la vulnérabilité sociale par le haut à travers le discours des autorités politico-administratives, et d'autre part, une démarche **bottom up**, par le bas, à travers celui de la population (El Asmar *et al.*, 2012). Cette approche permet de mener des enquêtes à différent niveau de décision et d'action dans la gestion des inondations par la mer au niveau local.

En sciences sociales, notamment en géographie, il existe cinq grandes méthodes de collecte de données. La première est **l'observation directe**, qui permet une perception sensorielle immédiate de l'environnement. Ensuite, il y a **la recherche documentaire** qui consiste à explorer les travaux antérieurs et à recueillir des bases de connaissances sur le sujet. **Les groupes de discussion ou focus group** sont utilisés pour comprendre et valider les résultats, tandis que les **entretiens exploratoires** aident à identifier les thèmes essentiels du sujet et à générer des hypothèses et à générer des hypothèses. Enfin, **le questionnaire** sont employés pour recueillir des informations auprès d'un échantillon plus large de la population. Dans le cadre de cette évaluation, nous avons opté pour des entretiens semi-directifs et un questionnaire, en plus de la collecte de documents tout au long de notre recherche.

5.2.1 Enquête qualitative par entretien semi-directif

Les entretiens qualitatifs impliquent de poser des questions ouvertes aux enquêtés pour qu'ils s'expriment librement sur un sujet. Il existe trois types d'entretiens : non-directifs, semi-directifs et directifs.

- Les **entretiens directifs** utilisent des questions préétablies, garantissant une comparabilité rigoureuse, mais limitant la flexibilité de l'enquêteur pour demander des précisions.
- Les **entretiens non-directifs** sont flexibles, sans questions prédéfinies, permettant d'explorer des aspects inattendus. Cependant, ils sont difficilement comparables et peu fiables pour trouver des motifs communs.
- Les **entretiens semi-directifs** utilisent un guide et une stratégie préétablis, permettant de recueillir des données précises tout en adaptant les interventions selon la personne interrogée. Cela permet d'explorer en profondeur des thèmes définis.

Ces méthodes qualitatives permettent d'aborder un sujet ouvert, d'identifier de nouvelles questions et de comprendre les points de vue et les relations de causalité. Cependant, les enquêtés peuvent manquer d'honnêteté, remettant en question la fiabilité des données. L'analyse est influencée par la subjectivité du chercheur et la transcription et l'analyse sont chronophages, rendant difficile la généralisation des résultats à une population.

Cependant, pour analyser la gouvernance du risque d'inondation par la mer à Port-Gentil, il était essentiel de comprendre comment les différentes autorités politiques et administratives perçoivent ce risque. Pour ce faire, nous avons adopté une approche systémique, commençant par examiner et analyser les principaux documents, projets et lois relatifs à la gestion des risques naturels au Gabon, en particulier le risque d'inondation par la mer au niveau local. Cette première étape nous

a permis de comprendre la gouvernance « théorique » des risques naturels au Gabon et d'identifier toutes les parties prenantes impliquées dans leur gestion. Ensuite, des entretiens semi-directifs ont été organisés avec ces parties prenantes, notamment au niveau local. L'objectif était d'interroger tous les représentants des entités chargées de la gestion du risque à Port-Gentil pour obtenir leur vision de la gouvernance du risque d'inondation par la mer. Ces entretiens ont révélé les politiques mises en place par chacune de ces entités, ainsi que les expertises variées qui ont parfois donné lieu à des divergences et à des débats entre les différents acteurs. En effet, chaque autorité politique et administrative possède des compétences, des pouvoirs et des approches distinctes, ce qui a des répercussions significatives sur leur compréhension globale de la gestion des risques.

5.2.1.1 Les Choix des acteurs interrogés pour la représentation et la gestion du risque d'inondation par la mer

Pour choisir les personnes à interviewer et décider qui rencontrer parmi les acteurs impliqués, nous nous sommes posé une question essentielle : **quelles administrations ont un impact direct sur la question des risques naturels au niveau national et local ?**

En examinant les nombreux rapports gouvernementaux et les articles de presse, comme le journal officiel, nous avons pu identifier les principaux acteurs de la gestion des risques naturels au Gabon et dresser une liste des moments clés de leur gestion. Bien que nous ayons eu des difficultés à rencontrer l'administration centrale au niveau national, les autorités de l'administration locale ont accepté de nous recevoir, parfois avec enthousiasme. Les entretiens se sont déroulés entre janvier et mai 2018, ainsi qu'en janvier 2019. Ils ont été menés spontanément sur le lieu de travail pour sept personnes interrogées, tandis qu'un rendez-vous a été pris sans révéler le véritable motif de l'entretien pour une autre personne. Tous les participants ont accepté d'être enregistrés, et nous avons constaté qu'ils abordaient ouvertement leurs problèmes malgré les enregistrements. Cette ouverture peut sembler normale dans d'autres pays, notamment les pays développés, mais elle peut être surprenante dans les pays en développement où l'administration est souvent très centralisée et politisée. De plus, même les élus du parti au pouvoir ont critiqué facilement la gouvernance actuelle de la ville, ce qui est rare. Les entretiens ont impliqué quatre élus représentant les quatre arrondissements de Port-Gentil et quatre responsables administratifs, notamment les directeurs provinciaux des ministères concernés dans la province de l'Ogooué-Maritime. Le **Tableau 5-2** **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente en détail les participants.

Durée entretien	Date	Nom	Administration	Fonction	Année en fonction
1h20	14/03/2018	Côme NDjokounda	Direction provinciale de l'Environnement	Chef de Brigade environnement Sud	9 ans
1h10	80/03/2018	Josèphe Paul Magaya	Direction provinciale des Travaux publics	Directeur provincial	9 ans
1h15	03/04/2018	Claude Mayela Moutsinga	Direction provinciale de l'Habitat et du Cadastre	Directeur provincial intérimaire	1 an
1h30	22/03/2018	Pierre Landry Ntoutoum	Direction provinciale de l'Aménagement du territoire	Directeur de l'aménagement du territoire	7 ans
1h05	20/01/2019		Mairie du 1 ^{er} arrondissement de Port-Gentil	Première adjointe au maire du 1 ^{er} Arrondissement de Port-Gentil	6 ans
1h20	23/03/2018	Odette Djekounda	Mairie du 2 ^e arrondissement de Port-Gentil	Maire du 2 ^e Arrondissement de Port-Gentil	6 ans
1h35	08/03/2018	Bonaventure Cassa Ibinga	Mairie du 4 ^e arrondissement de Port-Gentil	Maire du 4 ^e Arrondissement de Port-Gentil	10 ans
1h15	21/03/2018	Jean Marcelin Evindi	Mairie du 3 ^e arrondissement de Port-Gentil	Maire du 3 ^e Arrondissement de Port-Gentil	6 ans

Tableau 5-2 : Récapitulatif des personnes rencontrées dans les administrations à Port-Gentil

5.2.1.2 Construction et passation de la grille d'entretien

Pour mener à bien nos entretiens, nous avons préparé une grille d'entretien pour interroger les deux groupes d'acteurs identifiés. Cette grille comportait des questions spécifiques adaptées à leur fonction, ainsi que des questions générales pouvant être posées à tous. Les questions spécifiques pour les services territoriaux étaient en bleu, celles pour les élus locaux en vert, et les questions générales en noir (cf. Annexe 4). Le guide était principalement constitué de questions ouvertes pour permettre aux interlocuteurs de s'exprimer librement et de développer leurs réponses. L'objectif était d'obtenir autant d'informations que possible sur les représentations des acteurs de leur environnement, leur opinion sur la gestion actuelle des risques d'inondation, et d'explorer les problèmes de gouvernance, notamment en ce qui concerne les ressources disponibles au niveau local, sans influencer les réponses des enquêtés. Pour une meilleure organisation, le guide était divisé en plusieurs parties correspondant à différentes thématiques :

- **La première partie** pour se renseigner sur l'interlocuteur, notamment sur sa personne et sur la fonction occupée et le rôle de chaque institution ou établissement au quotidien (**présentation de l'enquêté et des fonctions occupées**).
- **La deuxième partie** pour se renseigner plus sur l'environnement général de la ville de Port-Gentil, de manière à cerner la vision qu'ils ont de la situation actuelle et future de cette ville (**description de l'environnement général de Port-Gentil**).
- **La troisième partie** pour étudier le problème des inondations en générale et des inondations par la mer en particulier, particulièrement sur la représentation cognitive qu'ils se font de ce risque (**le problème des inondations**).
- **La quatrième partie** pour analyser les gestions du risque d'inondation par la mer de la manière dont les gestionnaires l'entendent en proposant des solutions d'actions indépendamment de leur difficulté dans leur travail au quotidien (**gestion des inondations et propositions d'actions**).

Les entretiens se sont déroulés en tête-à-tête entre l'enquêté et l'enquêteur, sans la présence de collaborateurs. En moyenne, les entretiens ont duré environ 1h10. Il est à noter que chaque responsable administratif a apprécié cette démarche consistant à les associer à ce travail de recherche. Pour certains d'entre eux, il y avait une grande différence entre ce qui était écrit dans les textes officiels concernant leurs missions et ce qu'ils vivaient réellement sur le terrain.

5.2.2 L'enquête par questionnaire

Le questionnaire est une méthode d'enquête qui se différencie des entretiens semi-directifs car il permet de recueillir des informations de manière standardisée. Il est généralement constitué d'une série de questions fermées, mais peut également inclure des lignes pour permettre aux répondants de fournir des réponses libres. Cette méthode est particulièrement utile lorsqu'il est nécessaire d'interroger un grand nombre de personnes (Goeldner-Gianella et Humain-Lamour, 2010). Le questionnaire suit une approche structurée et méthodique dans sa conception et son application.

5.2.2.1 Élaboration d'un questionnaire géolocalisé

Le questionnaire utilisé pour cette enquête auprès de la population est basé sur un questionnaire géolocalisé, inspiré de l'approche des études antérieures sur les représentations et les perceptions des risques, telles que celles de Bonnet (2002), Adelekan (2010), Krien, (2014) et même Michel-

Guillou et Meur-Ferec (2017)²⁷. Afin de s'adapter à la réalité du terrain, notamment au type d'aléa et à la population, le questionnaire a été modifié et complété avec d'autres informations qui ne figurent pas souvent dans les enquêtes citées ci-dessus, telles que les caractéristiques des bâtiments ou la formulation des questions sur le revenu du ménage. Le questionnaire a été créé et administré sur la plateforme **KoBoToolbox** pour réduire les coûts liés à la logistique, tels que les supports papier d'enquête et la charge de travail relative au reporting sur un tableau Excel. La collecte de données spatiales depuis le terrain est devenue une nécessité, en particulier lorsque l'aspect de la localisation joue un rôle dans l'interprétation des données. Ainsi, il est important de rattacher aux données attributaires collectées les références du lieu de collecte. La géolocalisation permet d'introduire la notion de position spatiale dans notre hypothèse, selon laquelle la proximité au lieu de manifestation de l'aléa influence la représentation du risque par l'individu.

KoboToolBox est une suite d'outils pour la collecte de données sur le terrain. Dans sa partie conception de questionnaire, il permet de créer des formulaires complexes avec une logique de saut et de validation des questions. Il est possible de créer environ 20 types de questions différents et d'exporter et d'importer les fichiers au format XLS. La partie collecte sur le terrain peut être effectuée à l'aide d'un téléphone ou d'une tablette Android, en ligne ou hors ligne, avec la possibilité de synchroniser les résultats des différents enquêteurs sur le terrain. Les résultats sont immédiatement disponibles sur le compte de l'enquête après la collecte. Enfin, la partie analyse permet de créer des rapports synthétiques avec des graphiques et des tableaux pour chaque question, de visualiser les données collectées sur une carte et d'exporter les données au format XLS ou CSV.

5.2.2.2 La structure du questionnaire

Le questionnaire utilisé dans cette enquête se compose de six parties qui couvrent différents sujets, notamment l'attachement au lieu de vie, les représentations des risques, leur gestion, et les conditions socio-économiques. Ces questions sont cruciales pour éclairer nos hypothèses de départ. Étant donné le contexte sociopolitique au Gabon, marqué par les élections communales, le questionnaire a été conçu pour mettre les enquêtés en confiance. Contrairement à de nombreux questionnaires standard, celui-ci ne commence pas par des questions informatives sur les l'enquêtés.

²⁷ Dans ces méthodes, les auteurs proposent d'analyser les représentations du risque en fonction des facteurs sociodémographiques, mais également en fonction de la localisation des individus interrogés en intégrant dans le questionnaire des éléments de localisation de ces individus.

Le questionnaire comprend différents types de questions. Dans l'ensemble le questionnaire comptait 30 questions fermées, 15 des questions multiples, 10 des questions à échelle de valeurs et 6 questions ouvertes (cf. Annexe 5).

Plus précisément, le questionnaire est divisé en six parties qui couvrent les sujets suivants :

- La première partie du questionnaire est constituée de quinze (15) questions, portait sur **les attraits locaux et l'attachement au territoire**. Les responsables des ménages interrogés étaient invités à donner leur avis sur ces sujets, afin de répondre à l'hypothèse selon laquelle l'attachement au lieu de résidence influence la représentation que l'individu a vis-à-vis du risque. (Krien et Michel-Guillou, 2014 ; Heitz et Shimabuku, 2017 ; Lemée, 2017).
- Dans la seconde partie, les questions 16 à 20 étaient consacrées à **la situation d'occupation du logement**. Nous supposons, à travers cette partie, que l'investissement dans le lieu de résidence (notamment le fait d'être propriétaire et posséder un titre foncier) constitue un facteur d'attachement au lieu de résidence et impacte donc sur la représentation du risque (Krien, 2014).
- La troisième partie portait sur le risque proprement dit, avec les questions 21 à 48 tournants autour des **enjeux environnementaux, du sentiment d'exposition et des représentations du risque à travers la carte mentale**. Nous cherchions notamment à déterminer quels étaient les risques les plus ressentis et si les inondations par la mer étaient un sujet récurrent.
- La quatrième partie, constituée des questions 49 à 59, avait pour objectif d'interroger les habitants de la commune sur **la gestion du risque dans la commune**, en leur demandant notamment de citer l'organisme le mieux placé pour lutter contre les inondations marines et celui à qui ils faisaient le plus confiance. Nous leur avons également demandé s'ils étaient prêts à participer financièrement à la construction d'ouvrages de protection.
- La cinquième partie regroupait les questions 60 à 67, portant sur les **caractéristiques démographiques, sociales et économiques des enquêtés**. Cette partie avait pour objectif de fournir des renseignements relatifs aux variables explicatives de l'hypothèse sur les conditions socio-économiques impactant sur la représentation que les individus ont du risque. Des questions sur le sexe, l'âge, la nationalité, le nombre de personnes vivant dans le logement, le niveau d'étude, la profession et les dépenses mensuelles du

ménage ont été posées. La question des dépenses mensuelles a été préférée au revenu, car certains chefs de ménage ne souhaitent pas parler de leur revenu.

- La sixième partie est consacrée aux **caractéristiques du bâti**, à constituer la dernière partie de notre questionnaire. Cette partie, n'était pas soumise à l'enquêteur, mais constituait une partie réservée à l'enquêteur étant donné que le questionnaire a été passé en présentiel dans le lieu d'habitation. De plus, d'autres informations ont été relevées par l'enquêteur de manière automatique sur les Smartphones (Localisation du lieu de l'enquête) et manuel (nom du quartier, photo du bâti, la photo de la carte mentale, le numéro de la position du point enquêté qui est également le numéro de la carte mentale). Ainsi, l'emplacement et les caractéristiques du bâti ont pour objectif de compléter la première et la deuxième partie du questionnaire sur sentiment de bien-être et de sécurité dans la commune et dans le logement.

5.2.2.3 Échantillonnage et spatialisation des enquêtés

L'échantillonnage permet une extraction d'un nombre réduit de la population qui présente des caractéristiques similaires à la population de référence. Il existe, notamment dans le cadre d'une enquête par questionnaire, plusieurs démarches méthodologiques d'échantillonnage regroupées en deux grandes catégories méthodologiques (probabiliste et non probabiliste). La démarche non probabiliste est une méthode empirique qui consiste à déterminer les caractéristiques de la population essentielles à notre étude et choisir les individus sur la base de ces caractéristiques préétablies (âge, sexe, revenu, niveau d'étude, etc.). Il est question de faire un choix sur la catégorie de la population que nous voulons interroger. En revanche, la démarche probabiliste consiste à constituer un échantillon de manière aléatoire. Cette démarche scientifique valide le fait de laisser intervenir le hasard. De plus, cette méthode permet d'intégrer l'espace comme un paramètre dans l'analyse des résultats.

Pour l'échantillonnage de notre population statistique, nous avons fait le choix d'un échantillonnage probabiliste aléatoire simple. Cette méthode consiste à choisir aléatoirement le nombre d'individus nécessaire à la composition de notre échantillon et laisser faire le hasard. Cette démarche a été choisie en raison d'un manque de données statistiques détaillées sur la structure socio-économique des ménages à Port-Gentil. Bien que le hasard soit une indéniable dans cette démarche d'échantillonnage, il n'en demeure pas moins qu'en règle générale, la taille (N) d'un échantillon doit être fonction de la taille de la population mère. Autrement dit, plus la population mère est importante, plus la taille de l'échantillon l'est aussi. Bien que de manière statistique l'augmentation de l'échantillon est proportionnelle à celle de la population mère. Cette approche peut être

critiquable, car elle ne permet pas de dire si l'échantillonnage est représentatif de la population mère notamment dans ces caractéristiques socio-démographiques.

Sur notre site d'étude, de manière concrète, la loi normale permet de fournir une bonne approximation du nombre de personne à enquêter. Cette loi normale est matérialisée par la formule suivante :

$$n = z^2 * p \frac{(1 - p)}{m^2} \quad [5.1]$$

où :

n : taille de l'échantillon

z : le niveau de confiance selon la loi normale centrée réduite (pour un niveau de confiance de 95 %, $z = 1,96$ et pour un niveau de confiance de 99 %, $z = 2,575$)

p : proportion estimée de la population qui présente les caractéristiques inconnues. Ainsi, on utilise $p = 0,5$ ce qui correspond au cas le plus défavorable.

m : marge d'erreur tolérée (par exemple on veut connaître la proportion réelle à 1 %, 3 %, 5 %, 10 %)

- Le calcul de la proportion avec un niveau de confiance de 95 % et une marge d'erreur à 1 % :

$$n = (1,96)^2 * (0,5) (1-0,5) / (0,01)^2 = 96,04$$

- Le calcul de la proportion avec un niveau de confiance de 95 % et une marge d'erreur à 3 % :

$$n = (1,96)^2 * (0,5) (1-0,5) / (0,03)^2 = 1067,11$$

- Le calcul de la proportion avec un niveau de confiance de 95 % et une marge d'erreur à 5 % :

$$n = (1,96)^2 * (0,5) (1-0,5) / (0,05)^2 = 384,16$$

Le choix de la taille de l'échantillon dépend du degré de précision à atteindre dans l'enquête, des moyens financiers pour réaliser l'enquête et des contraintes opérationnelles. Ainsi, en raison de ces considérations et surtout en raison de la taille du territoire à enquêter (54 km²), et de la taille population mère, nous avons opté pour un échantillon, ni trop grand, car l'objectif de cette partie de la recherche est surtout d'avoir des tendances ; ni trop faible au risque de rencontre des biais de

représentativité socio-démographique et spatiale. Nous nous sommes fixés comme objectif d'atteindre 1 % de la population de Port-Gentil (~1360 personnes), notre choix c'est alors porté sur le calcul de la proportion avec un niveau de confiance de 95 % et une marge d'erreur à 3 %.

$$n = (1,96)^2 * (0,5) (1-0,5) / (0,03)^2 = 1067,11$$

Une fois la taille de l'échantillon déterminée, il a fallu définir une méthode permettant d'avoir une bonne représentativité spatiale. Étant donné que nous avons considéré l'espace et le voisinage comme variables explicatives de la différenciation de la représentation du risque (Rufat, 2015) nous avons cherché à avoir une bonne représentation spatiale des ménages à interroger. Ayant réalisé sous SIG une couche d'îlots urbains, nous avons effectué un tirage systématique aléatoire non aligné avec le logiciel ArcGis sur la couche des îlots ayant au moins une structure bâtie. En revanche, la zone du nouveau port et une partie des îlots de la première couronne du centre-ville ont été supprimés. Ces zones étant essentiellement constituées de bâti à usage administratif et commercial. Aussi, pour éviter un rapprochement trop important des points tirés, nous avons introduit un facteur distance entre les points (50 mètres). La particularité de travailler sous SIG réside dans le fait que les points sont géocodés et permet une localisation sur le terrain (Figure 5-2).

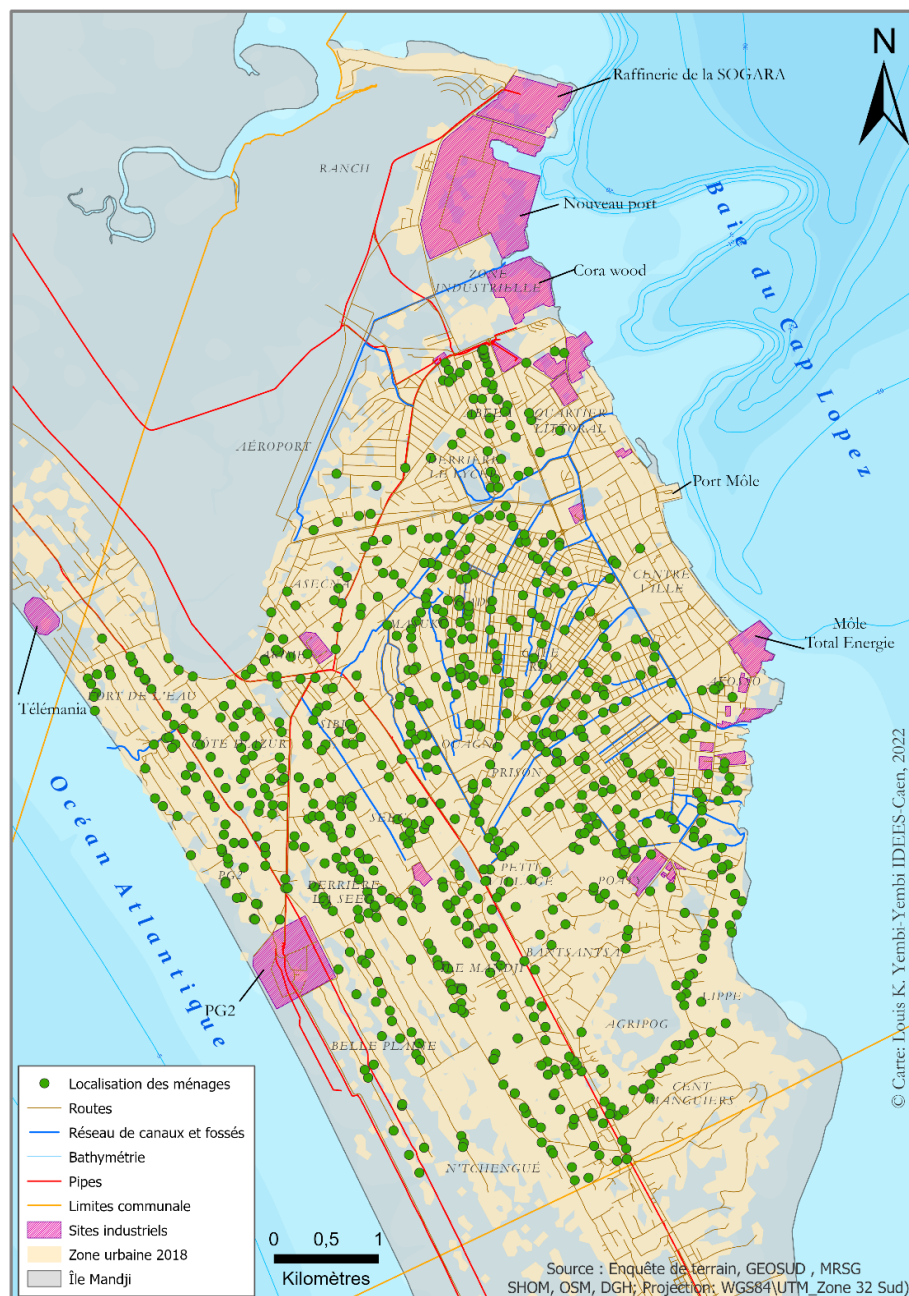


Figure 5-2 : Répartition des ménages enquêtés dans la commune de Port-Gentil (Réalisation L. YEMBI, 2022)

5.2.2.4 La passation du questionnaire

Dans la littérature scientifique et notamment en sciences sociales, il existe plusieurs méthodes de passation d'un questionnaire. Le dépôt des questionnaires dans les boîtes aux lettres avec demande de renvoi peut être utilisé dans le cas d'une telle étude. Cependant, ce type de passation du questionnaire implique que tous les ménages de la zone d'étude soient dotés d'une boîte aux lettres, ce qui n'est pas toujours le cas pour les pays en voie de développement, comme le Gabon. Pour cette raison, une enquête par téléphone a été considérée comme pertinente, étant donné le nombre

important de personnes possédant un téléphone portable au Gabon. Cette méthode présente des inconvénients pour cette étude, car elle ne permet pas de s'adresser directement aux chefs de ménage²⁸ et elle est coûteuse en raison du prix des communications et de la longueur du questionnaire. Ainsi, la méthode choisie pour collecter les informations et éclairer nos hypothèses de départ a été la passation du questionnaire en présentiel. Cette méthode est couramment utilisée dans les pays en développement en raison de la complexité des territoires et de l'absence d'organisation d'adressage. L'avantage de cette méthode est qu'elle permet de s'adresser directement aux chefs de ménage, ce qui est important pour répondre à certaines questions spécifiques (par exemple, les dépenses mensuelles du ménage). Dans le cadre de cette étude, seuls les responsables des ménages ayant vécu à Port-Gentil pendant plus d'un an ont été interrogés. En réalité, nous avons enquêté 3 personnes qui n'avaient pas plus d'un an dans la ville. Cette méthode a également permis d'obtenir d'autres informations sur le terrain, telles que la position géographique relative du ménage enquêté et la description directe du bâtiment et des conditions environnantes. En outre, le fait de répondre de manière spontanée a permis de recueillir des nuances qui n'auraient jamais été révélées si les personnes interrogées avaient eu le questionnaire à l'avance pour le remplir à tête reposée. Cela a permis de comprendre l'intérêt ou l'indifférence des gens envers les inondations causées par la mer.

L'enquête a été menée entre août et début septembre 2018, ainsi qu'entre fin août et début septembre 2019. Le choix de ces périodes avait pour but de permettre aux étudiants de Libreville qui avaient des cours de venir à Port-Gentil pendant les vacances universitaires, et correspondait également à la saison sèche en Afrique centrale, évitant ainsi les influences des conditions d'inondation de la saison des pluies sur les populations enquêtées. De plus, cette période permettait d'accéder plus facilement aux zones difficiles en saison des pluies. Aucun événement à risque n'est survenu entre les deux périodes, ce qui n'a pas altéré les représentations des enquêtés sur le risque d'inondation par la mer. Avant la phase de terrain, deux réunions préliminaires ont été organisées à Libreville et à Port-Gentil avec les enquêteurs, notamment les étudiants du département de Géographie de l'Université Omar Bongo, en particulier ceux du Master 2 Dynamique Spatiale Aménagement Société (DSAS) et du Master 2 Chaire CEMAC en Environnement. Ces réunions avaient pour but de présenter l'enquête de manière exhaustive, de préciser le contexte dans lequel elle serait menée, et de donner quelques orientations sur la présentation de la carte mentale. Des séances de formation ont également été initiées, avec notamment la découverte de l'outil ODK Collect qui a été particulièrement apprécié par les étudiants.

²⁸ Le chef de ménage est la personne responsable du foyer, homme ou femme en fonction de la configuration du ménage et de la disponibilité de l'un des conjoints lors du passage des enquêteurs dans le lieu d'habitation.

Une séance de travail a été organisée à Port-Gentil afin d'affiner le questionnaire, qui a été testé sur cinq ménages pour évaluer la compréhension des questions par la population, les problèmes logistiques et le temps de passation du questionnaire. Cette phase de test a également permis de constater que le terme « submersion marine » n'était pas bien compris par les populations. C'est la raison pour laquelle le terme « inondation par la mer » a été utilisé dans le questionnaire. Malgré quelques difficultés sur le terrain, notamment liées à la confusion due à la période d'élection législative et locale en 2018, l'enquête s'est globalement bien déroulée. Les enquêteurs étudiants ont montré un intérêt manifeste pour la méthode d'enquête et l'utilisation de l'outil ODK Collect, ce qui a conduit certains d'entre eux à l'utiliser dans leur mémoire de Master.

Il convient de signaler que dans cette enquête, il n'a pas été révélé aux enquêtés que l'enquête portait sur le risque d'inondation par la mer. Comme dans un système entonnoir, le questionnaire était structuré de manière que les enquêtés ne découvrent qu'à la fin de l'entretien qu'il s'agissait d'une enquête sur les inondations par la mer. Des questions générales sur l'environnement de la ville, de leur quartier, puis sur le risque en général ont été posées d'entrée de jeu. Notre objectif était de ne pas influencer l'enquêté dans ses choix de réponse, et surtout de voir à quelle place le risque d'inondation par la mer était positionné dans l'ensemble des risques présent dans la commune.

5.2.2.5 Les caractéristiques sociodémographiques des chefs de ménage interrogé

En ayant suivi le processus de collecte d'informations, nous avons enquêté sur un échantillon de **776 chefs de ménage**, soit 72 % de l'échantillon initial de 1067 ménages, préalablement choisi au hasard sur le site d'étude. Parmi les chefs de ménage interrogés, 771 ont été retenus pour l'analyse des données, tandis que cinq personnes ont abandonné l'enquête en raison de questions jugées trop intrusives.

En ce qui concerne notre population statistique, elle est composée légèrement plus d'hommes (51 %) que de femmes (49 %). Environ 60 % des enquêtés vivent à Port-Gentil depuis plus de 20 ans. La majorité des enquêtés (93,6 %) ont un niveau d'éducation secondaire, tandis que 3,64 % ont un niveau primaire et 2,72 % n'ont jamais été scolarisés. Environ 62 % des enquêtés ont un âge compris entre 31 et 50 ans (Figure 5-3 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Chapitre 5 : Évaluation de la vulnérabilité sociale à travers les représentations du risque à Port-Gentil : cadre méthodologique

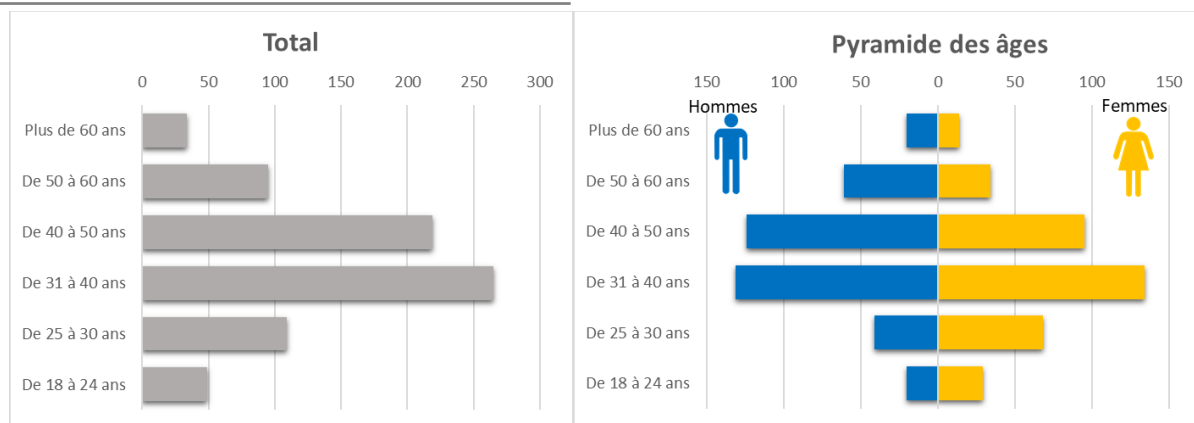


Figure 5-3 : Pyramide des âges de la population enquêtée

La taille moyenne des ménages est de 5,99 personnes, et 69,4 % des ménages ont des dépenses mensuelles situées entre 100 000 et 500 000 francs CFA. La plupart de la population portgentillaise dispose d'un revenu mensuel égal ou supérieur au revenu minimum mensuel en vigueur au Gabon. Dans un contexte socio-économique où plus de 60 % de la population sont actives et 40 % sont inactives, le secteur privé est le principal employeur, représentant 26,98 %, suivi du secteur libéral avec 19,2 %. Environ 70 % des ménages enquêtés sont propriétaires de leur habitation, même s'ils n'ont pas forcément un titre foncier pour la majorité de ceux qui ont bien voulu répondre à cette question. La plupart des maisons sont classées dans la catégorie bas standing (69 %). Les informations détaillées sur les caractéristiques sociodémographiques sont fournies dans la Figure 5-3 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et le Tableau 5-3 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

Variables statistiques	Modalités	Effectif par modalité	Fréquences par modalité (%)	Effectif total
Genre	Femme	374	49	771
	Homme	397	51	
Tranche d'âge	De 18 à 24 ans	49	6,36	771
	De 25 à 30 ans	109	14,14	
	De 31 à 40 ans	265	34,37	
	De 40 à 50 ans	219	28,40	
	De 50 à 60 ans	95	12,32	
	Plus de 60 ans	34	4,41	
Niveaux d'étude	Jamais scolarisé	21	2,73	769
	Primaire	28	3,64	
	Collège	109	14,17	
	Lycée	355	46,16	
	Supérieur/Universitaire	256	33,29	
Catégorie socioprofessionnelles	Agriculteur/maraîcher	3	0,39	751
	Artisan	5	0,65	

	Autre	37	4,80	
	Commerçant (e)	59	7,65	
	Employé/salarié du privé	208	26,98	
	Employé/salarié du public	81	10,51	
	Profession libérale	143	18,55	
	Pêcheur/éleveur	13	1,69	
	Retraité	50	6,49	
	Sans activité professionnelle	152	19,71	
	Étudiant	20	2,59	
Dépenses mensuelles	Moins de 100.000	107	13,93	768
	De 100 à 500	533	69,40	
	De 500 à 1.000.000	118	15,36	
	De 1.000.000 à 1.500.000	10	1,30	
Situation dans le logement	Locataire	209	27,25	767
	Propriétaire	558	72,75	
Titre foncier	Non	325	60,86	534
	Oui	209	39,14	

Tableau 5-3 : Caractéristiques socio-économiques de la population enquêtée (source : enquête de terrain 2018-2019, L. YEMBI)

5.2.3 La carte mentale un outil d'expression de représentation graphique du risque

5.2.3.1 La carte comme outil de représentation privilégié des géographes, mais subjectif

Bien que la carte soit l'outil privilégié des géographes (Metton et Gabert, 1995 ; Claval, 2003), il n'en demeure pas moins que sa définition semble recouvrir plusieurs sens. Dans son ouvrage « *l'empire des cartes : Approche théorique de la cartographie à travers l'histoire* » Jacob (1992), posait déjà la question « qu'est-ce qu'une carte ? ». Dans le développement de sa rhétorique, il fait apparaître deux aspects qui, de notre point de vue, nous semblent importants dans la description de ce qu'est la carte. Tout d'abord, la carte serait une **matérialisation**, car il est possible de la visualiser (par les yeux et par le touché pour les malvoyants) sur différents supports (papier, pierre, bois, écran...). Ensuite, c'est une **représentation**, car souvent associé à la représentation de l'espace. Sur cet aspect Joly (1976) définissait la carte comme « *une représentation géométrique plane, simplifiée et conventionnelle de tout ou partie de la surface terrestre et cela dans un rapport de similitude convenable qu'on appelle échelle* ». Dans la définition qui en est faite de la carte, l'aspect représentation est le plus souvent mentionné, notamment dans la définition que donne Brunet (1987), qui définissait la carte comme la « représentation de la terre ou d'une portion de l'espace terrestre, quel qu'en soit le support matériel » et celle de Rimbart (1990) « une carte est une représentation, à une échelle bien définie,

d'une surface de planète ». Ainsi, la carte semble être la matérialisation de la représentation du territoire.

Cependant, l'aspect représentation fait appel à la subjectivité de la carte. En effet, si la carte est une représentation, ne serait-elle pas sujette à une interprétation du territoire, donc à la réalité de son auteur ? Cette question permet d'interpeler la responsabilité de celui qui la réalise, notamment dans les choix opérés lors de la réalisation de la carte. Les cartes varient en fonction de la représentation que l'auteur se fait du monde réel (Bord, 2012). En fonction de sensibilité, sa culture, son environnement, son cadre de vie, sa connaissance du sujet, l'auteur sera tenté de matérialiser le monde selon l'influence de ces aspects (Bord, 2012). Ainsi, pour Bord, la carte est « la matérialisation de la représentation du territoire ». Alors, on peut se demander si la carte telle que définie en géographie comme étant une représentation d'un espace ou une portion de l'espace n'est pas finalement une carte mentale.

5.2.3.2 La carte mentale : son utilisation et sa mise en œuvre dans la compréhension des représentations du risque

L'un des problèmes dans la mise en œuvre des politiques de gestion efficace de réduction du risque est la divergence des représentations du risque par les populations de celle des gestionnaires du risque et de sa réalité tangible, mais également entre les priorités de la population en matière de protection des enjeux et celle des gestionnaires. Ainsi, la représentation du risque s'inscrit dans une trajectoire divergente expert/public de plus en plus discutée dans le champ des sciences cindyniques. La carte mentale est utilisée dans cette démarche pour compléter, mais également éclairer les réponses données dans les entretiens semi-directifs et les questionnaires. Il est orienté autour de deux entrées de représentation (aléa et enjeux) et créé comme un véritable outil de précision des représentations spatiales des différents acteurs du territoire à travers un fond de carte.

- Premièrement, les cartes mentales sont souvent un moyen de préciser les informations données à travers les entretiens semi-directifs et les questionnaires (Avry, 2012). Elle a une utilité au cours de l'entretien et du questionnaire d'explication et plus souvent d'argumentation des dires et des questions et en ce sens ils sont indispensables.
- Deuxièmement, dans la littérature sur les représentations des risques, la carte mentale a souvent été exploitée dans l'entretien et les questionnaires grand public par les enquêtés (Bonnet, 2002 ; Grembo, 2010 ; Gueben-Venière, 2011 ; Avry, 2012 ; Pichon, 2015 ; Lamarre *et al.*, 2016) ; aussi il ne peut être totalement séparé de leur exploitation. Il est par conséquent évident que la carte mentale apporte un plus à l'interprétation des entretiens et des questionnaires et que la représentation cognitive et la représentation

graphique constituent une complémentarité dans les représentations des différentes enquêtés.

C'est en raison de ces considérations et afin de répondre à la question 3 de cette partie de la recherche, que les deux types d'enquêtes (entretien semi-directif et questionnaire) ont intégré un aspect de la cartographie mentale ou cognitive sur les limites possibles de l'aléa et sur la localisation des enjeux majeurs, afin de mieux apprécier l'argumentation de la représentation du risque dans la commune de la part des populations et des gestionnaires.

Dans la démarche de passation des différents guides d'entretien et des questionnaires, respectivement à la section « Le problème des inondations » et « enjeux environnementaux, sentiment d'exposition et représentation du risque », le fond de carte qui a servi de base à la carte mentale a été présenté aux enquêtés (Figure 5-4 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Après avoir jugé de leur capacité à se localiser sur le fond de carte présenté (cf. annexe 4 : Q17), les enquêtés étaient invités à compléter le fond de carte. Tout d'abord, avec la position de son logement et ensuite, indiquer les zones potentiellement à risque d'inondation par la mer et enfin, la zone où il y a une concentration d'enjeux les plus importants à sécuriser. Cet exercice était demandé à la fin de la troisième partie du questionnaire, permettant à l'enquêté de faire une pause sur l'enchaînement des questions. Qu'il s'agisse du questionnaire ou des entretiens, c'est la seule partie de l'activité où des indications étaient données afin qu'il y ait une cohérence dans la représentation cartographique. Le fond de carte était la même pour l'ensemble des enquêtés. Les Cartes mentales obtenues ont dans une certaine mesure été encadrées, car la zone a été bien circonscrite (Figure 5-4). En précisant bien les limites de l'espace terrestre et de l'espace marine par un jeu de couleur et de quelques éléments de toponymies. De plus, c'est un de seul moment où les enquêteurs ont expliqué à certains enquêtés ce qu'on entendait par enjeux. Aussi, la participation de la réalisation de la carte mentale était assujettie à la capacité des enquêtés à localiser approximativement leur lieu de résidence sur le fond de carte. Dès qu'un enquêté déclarait ne pouvant pas localiser la position de son logement sur le fond de carte, la suite des questions relatives à la réalisation de la carte n'était pas proposée.

En définitive, nous avons recueilli 2 cartes mentales par personne enquêté, mais en un support cartographique. Ainsi, 55 enquêtés sur les 771 ont participé à la l'exercice de la carte mentale, soit 8 % des personnes enquêtés au sein de la population. Au total, nous avons traité 105 cartes. En revanche, 5 cartes n'ont pas pu être traitées en raison de problèmes de lisibilité des zones identifiées. Pour les autorités politico-administratives, la question de localiser le lieu de résidence n'était pas posée. Ainsi, l'ensemble des 8 panélistes ont réalisé des cartes mentales soit 16 cartes.

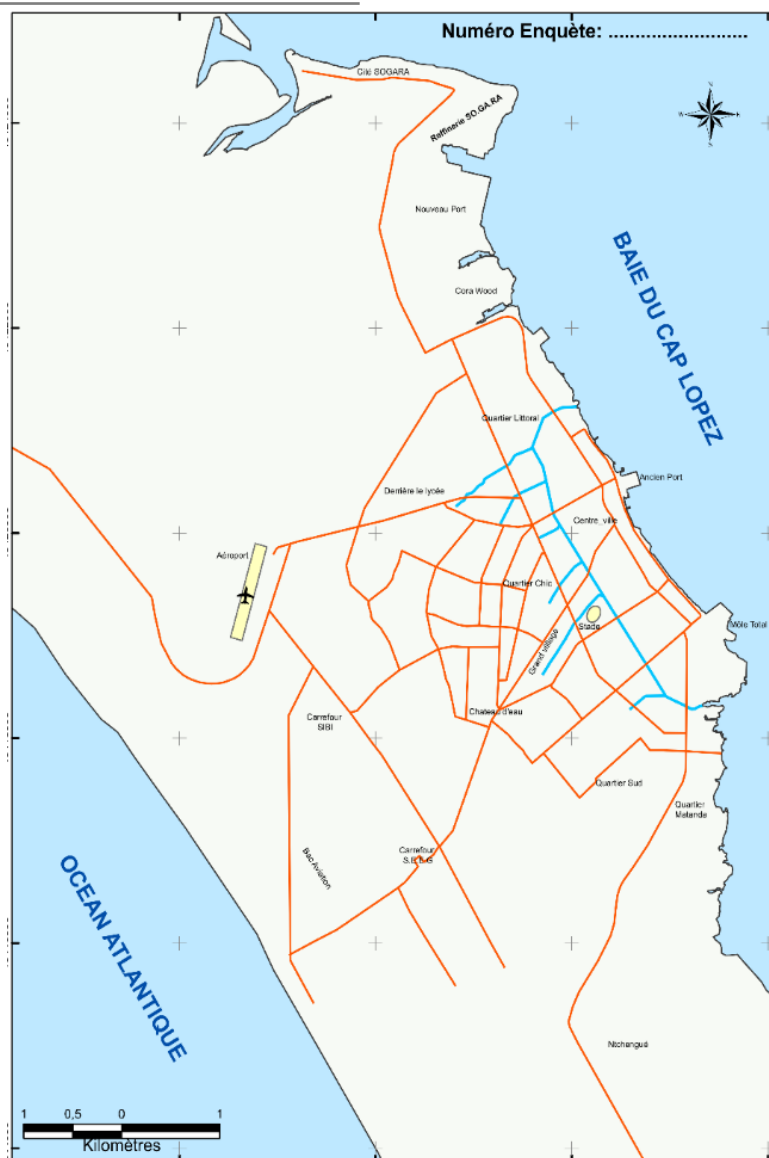


Figure 5-4 : Fond de carte des alentours de Port-Gentil présenté aux autorités politico-administratives et aux populations

5.3 Les différents traitements

5.3.1 Traitement des entretiens

Après la conduite de chaque interview, les enregistrements ont été consignés sous forme de transcription, reflétant plus ou moins fidèlement les propos tenus par les interviewés. Aucun traitement particulier n'a été effectué sur ces transcriptions. Toutefois, afin d'avoir une vue d'ensemble synthétique du discours des gestionnaires, une grille d'analyse récapitulative des grandes lignes a été élaborée. Pour une interprétation plus précise, les enregistrements ont été réécoutés et soigneusement étudiés lors de la rédaction de ce manuscrit de thèse. Cette étape de réécoute et d'interprétation a permis de mieux comprendre les nuances et les subtilités du discours des participants, en vue de leur intégration dans l'analyse globale.

5.3.2 Traitement des questionnaires

Avant toutes analyses statistiques des données du questionnaire, nous avons procédé à un encodage des questions de Q1 à Q72. Certaines réponses ont été dichotomisées afin de créer des indicateurs permettant d'analyser simultanément des variables. Par exemple sur la question de l'inquiétude du risque « *Quels sont les trois risques qui vous inquiètent le plus au niveau de la commune ?* » (Q23), nous avons considéré qu'un chef de ménage considère qu'un risque est plutôt inquiétant s'il le mentionne parmi les trois risques les plus inquiétants, celui-ci prend alors la valeur 1 et s'il n'est pas mentionné, il est considéré comme peu ou pas préoccupant et prend la valeur 0.

Une fois cette étape terminée, plusieurs analyses statistiques ont été réalisées pour tester les hypothèses présentées à la sous-section 5.1.4. Tout d'abord, une classification linguistique des mots et expressions autour du terme « Risque » a été effectuée pour répondre à la question sur la place du risque d'inondation par la mer dans l'ensemble des risques présents dans la commune. Ensuite, un test de corrélation de Pearson a été utilisé pour mesurer la relation linéaire entre le sentiment d'exposition au risque dans la commune et le degré de niveau d'exposition. Cette analyse a permis de positionner le risque d'inondation par la mer par rapport aux autres risques présents dans la commune.

Pour examiner l'impact des facteurs sociodémographiques sur la représentation des risques chez les chefs de ménage de Port-Gentil, un modèle de régression logistique binaire a été utilisé. Avant d'analyser le modèle de régression, un diagnostic de colinéarité a été effectué pour détecter d'éventuels problèmes de multicollinéarité entre les variables explicatives. Les variables significativement déterminantes ont ensuite été examinées pour extraire leur comportement sur la variable dépendante pour chaque risque.

Pour mettre en évidence les relations entre la situation spatiale du ménage et son niveau de sentiment d'exposition, une analyse exploratoire de l'autocorrélation spatiale a été réalisée en utilisant l'indice I de Moran (Moran, 1950). Cette analyse est le plus souvent utilisée en criminalité urbaine (He *et al.*, 2015) ou en accidentologie routière (Prasannakumar *et al.*, 2011). Cette analyse a permis d'identifier, en fonction du risque, si les répondants ayant un sentiment de forte ou de faible exposition avaient tendance à se regrouper dans la commune et de voir si ce regroupement était lié à la proximité de zones de risque potentiel ou avéré. Cette analyse a été réalisée à l'aide de la fonction statistique (Getis-Ord GI*) dans ArcGis pro.

D'autres analyses statistiques ont été effectuées dans le cadre de cette étude. Des statistiques descriptives ont été utilisées pour décrire les caractéristiques de la population étudiée, telles que l'âge, le sexe, le niveau d'éducation, etc. Ces données ont permis de mieux comprendre comment les différents groupes socio-démographiques représentent le risque d'inondation par la mer et

d'identifier les populations les plus vulnérables. En outre, des analyses hiérarchiques principales ont été réalisées pour catégoriser les différents groupes de population en fonction de leur niveau de vulnérabilité. Cette analyse a permis de déterminer quelles étaient les caractéristiques socio-démographiques les plus associées à un risque accru d'inondation par la mer et de mieux comprendre les facteurs qui contribuent à cette vulnérabilité. Enfin, plusieurs traitements statistiques ont été utilisés, notamment des analyses tri à plat et tri croisé, pour explorer les relations entre les différentes variables étudiées et identifier les tendances et les schémas de distribution dans les données. Aussi, des Analyses en composantes multiples (ACM) afin d'identifier des groupes socio-démographiques spécifiques et de mettre en lumière les relations complexes entre groupes de modalités.

Dans l'ensemble, toutes ces analyses statistiques ont permis de répondre aux différentes hypothèses de cette partie de la thèse et d'obtenir des résultats significatifs pour mieux comprendre la représentation du risque d'inondation par la mer dans la commune de Port-Gentil. Il est à noter que l'ensemble de ces traitements statistiques ont été réalisés sur plusieurs plateformes de traitement et de data visualisation (RStudio, XLSTAT, Power BI).

5.3.3 Traitement des cartes mentales

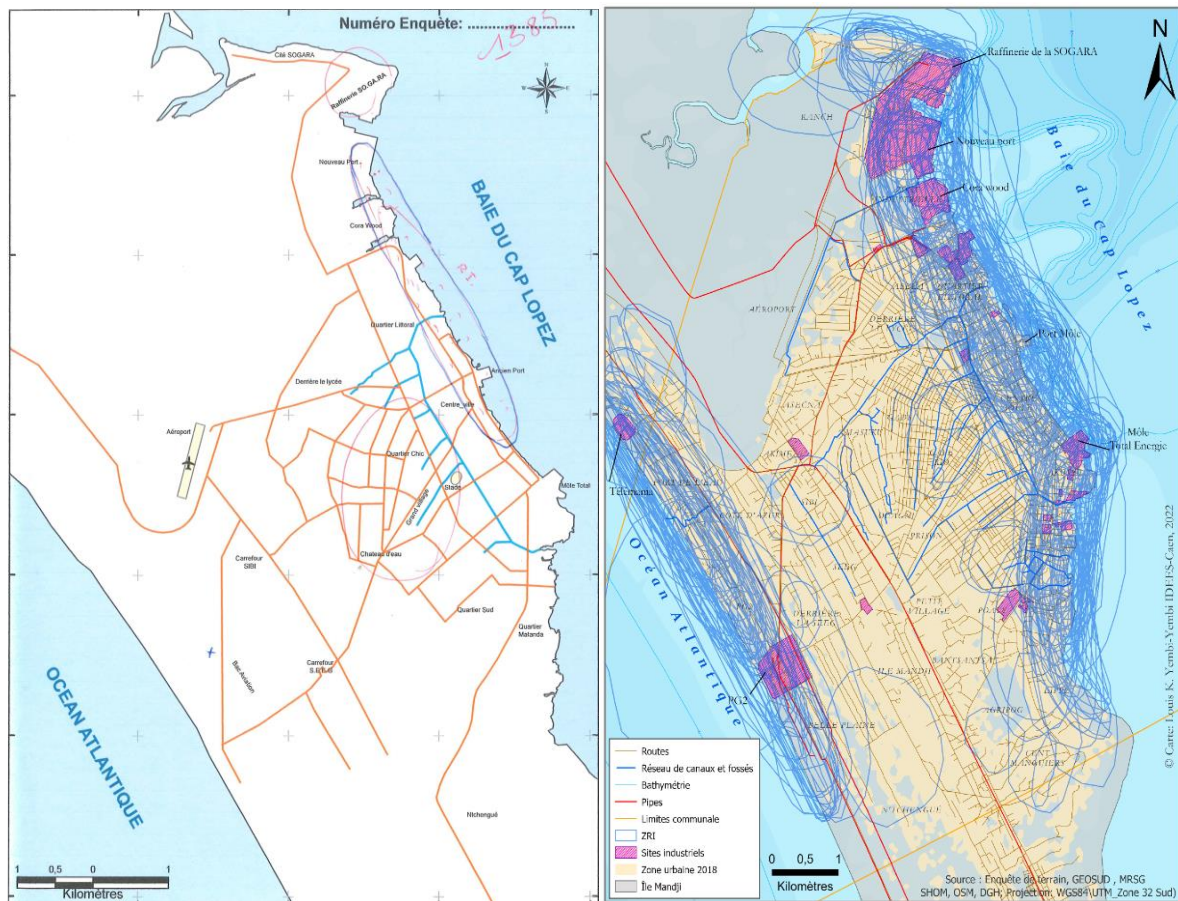
Le traitement des résultats graphiques obtenus a consisté à compiler toutes les cartes mentales produites à l'aide d'un SIG en l'occurrence ArcGis pro. Avant la compilation, trois étapes ont été nécessaires pour transformer les cartes papier en données numériques. Tout d'abord, l'ensemble des cartes a été scanné et géoréférencé en prenant en compte la projection du projet (WGS84_UTM/Zone 32 Sud). Ensuite, les représentations graphiques marquées sur les fonds de cartes des enquêtés ont été digitalisées, en identifiant les zones potentiellement à risque d'inondation par la mer (ZRI) (Figure 5-5 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et les zones considérées comme à très forts enjeux (ZTFE).

Pour chaque représentation, une ou deux zones identifiées comme à risque d'inondation ont été repérées, ainsi qu'une ou deux voire trois zones à forts enjeux. Une valeur de 1 a été attribuée à chaque entité identifiée comme à risque ou à fort enjeu dans la table de données attributaires, en fonction du secteur déterminé par l'enquêté. Après la codification des différentes couches d'entités, une grille de 5 m de résolution a été créée afin d'effectuer une jointure spatiale avec option de comptage des différentes couches d'entités sur chaque cellule de la grille. Cette démarche permet de déterminer les zones à forts enjeux et les zones potentiellement à risque d'inondation, ainsi que de mesurer leur fréquence et leur répartition spatiale.

La méthode de traitement des données a été décrite dans des travaux antérieurs (Bonnet, 2002), Lamarre *et al.*, 2016 ; Chevillot-Miot, 2017). Le géoréférencement de cette carte mentale permet de

Chapitre 5 : Évaluation de la vulnérabilité sociale à travers les représentations du risque à Port-Gentil : cadre méthodologique

réaliser deux types d'analyse. Dans un premier temps, il est possible de comparer la représentation spatiale des autorités politico-administratives avec celle de la population, afin de déterminer les éventuels écarts entre ces deux représentations spatiales. Dans un deuxième temps, il est possible de comparer les représentations des différents groupes avec les cartographies de l'aléa réalisées au chapitre 3. Cette comparaison permettra d'évaluer le décalage, ou non, entre la spatialisation de l'aléa effectuée par les acteurs du territoire et la cartographie de l'aléa réalisée dans le cadre de cette étude.



Synthèse du chapitre 5

La mise en place d'une stratégie de gestion efficace conduisant à une résilience du territoire contre les inondations d'origine marine, exige, une implication de la population au processus de prise de décision et de réduction de la vulnérabilité du territoire. Ce genre d'approche participative implique de comprendre la représentation et l'intérêt des populations et des décideurs face à une situation problématique qu'ils sont censés affronter.

La démarche globale employée se fonde sur le concept de **représentation** du risque et, en raison du caractère multirisque de notre site d'étude, sur celui de **perception** du risque. La compréhension de la représentation du risque a entraîné l'implication de plusieurs domaines scientifiques, créant des passerelles entre la sociologie, la psychologie, la géographie et la statistique. Ce genre d'approche permet donc un enrichissement des connaissances dans le domaine des sciences cindyniques et est très utile pour la gestion intégrée des risques. Pour ce faire, ce chapitre a permis d'aborder l'approche méthodologique qui a été mise en place dans cette phase, qui se fonde sur l'évaluation de la vulnérabilité sociale face aux inondations par la mer. Cette méthode se base sur deux techniques d'enquête, prenant appui sur deux outils avec des objectifs et des cibles différentes : les entretiens semi-directifs avec le **guide d'entretien** et l'enquête par **questionnaire**. En complément de ces deux techniques d'enquête, l'introduction de la carte mentale comme outil supplémentaire de compréhension de la représentation et du paramètre de localisation spatiale des enquêtés.

L'ensemble des outils mobilisés dans cette partie de la recherche ont été identifiés en fonction de leur pertinence dans la collecte des informations complémentaires qu'ils peuvent apporter, mais aussi et surtout pour répondre aux quatre questions qui appuie cette partie de ce travail de recherche. L'originalité de cette démarche réside dans son caractère pluridisciplinaire qui permet de mobiliser plusieurs outils le plus souvent utilisés dans des domaines scientifiques autres que la géographie. Cette complémentarité d'outils dans cette partie de la thèse a permis de replacer la géographie comme une discipline pivot dans les enquêtes de représentation ou de perception des risques.

Dans ce sens, le **guide d'entretien semi-directif** a surtout permis de répondre à la première et à la quatrième question : sur la place du risque d'inondation par la mer parmi l'ensemble des risques présent dans la commune, ainsi que sur la gouvernance du risque et les relations institutionnelles en matière de gestion du risque. À travers l'utilisation du **questionnaire** l'objectif était de répondre à la fois à la première question sur le positionnement du risque d'inondation par la mer chez la population par rapport aux autres risques dans la commune, la deuxième question sur les facteurs

déterminants la différenciation de la représentation des risques et la quatrième question sur les stratégies de gestion du risque. Enfin **la carte mentale** introduite dans les deux précédents outils apporte des informations complémentaires sur la représentation du risque. Elle permet de matérialiser la représentation du risque telle qu'elle est appréciée par les différentes enquêtées. La prise en compte de cet outil dans cette évaluation découle du constat souvent établi dans la littérature sur la divergence de représentation entre les populations dites non-expertes et les experts. Ainsi, la carte mentale permet de répondre doublement à la question 3.

En matière d'**échantillonnage**, nous avons interrogé 8 autorités politico-administratives sur leur lieu de travail pour la période 2018-2019. Pour la phase d'enquête par questionnaire, nous avons choisi de constituer un échantillon aléatoire simple en raison du manque d'informations détaillées sur les caractéristiques socio-économiques de notre population mère. Sur les 1067 individus tirés au sort et répartis aléatoirement dans la commune, 776 chefs de ménage ont été interrogés en personne à leur domicile. Sur ces 776 chefs de ménage, l'analyse statistique a été réalisée sur 771 ménages, car cinq personnes ont arrêté l'enquête, jugeant les questions trop intrusives. Les résultats de l'enquête ont été analysés sur Excel à travers le module XLSTAT, RStudio et ArcGis pros pour le traitement géostatistique.

Avant de présenter les enseignements de cette étude dans la suite de cette thèse, il convient de soulever quelques éléments de prudence dans l'interprétation des résultats qui seront présentés dans les chapitres 7 et 8. Malgré les nombreux avantages que peuvent apporter l'ensemble des outils mobilisés, les résultats de cette étude doivent être ramenés à la taille de son échantillon. En l'absence de statistiques détaillées sur les ménages de Port-Gentil, il est difficile d'affirmer que cet échantillon est cohérent en termes de caractéristiques sociodémographiques avec la population mère. De plus, spatialement, il ne couvre pas l'ensemble de la commune. De plus, en raison du fait que les opérations de collecte des données pour l'évaluation de la vulnérabilité physique et sociale ont été menées simultanément, nous n'avons pas pu échantillonner notre population statistique en fonction des zones d'exposition et celles non-exposées. Bien que l'échelle locale ait été privilégiée, nous pensons que des entretiens avec l'administration centrale à Libreville auraient apporté des éclaircissements, notamment sur l'organisation administrative de la gestion du risque au Gabon.

La présentation de notre démarche ainsi que la méthodologie employée pour apporter des éléments de réponse sur la vulnérabilité sociale à travers le prisme des représentations socio-spatiales permet de clore la deuxième partie de cette thèse. Dans la troisième partie de cette thèse, le chapitre 7 et 8 aborde les résultats obtenus après l'application de la démarche présentée.

Conclusion de la deuxième partie

La première partie de ce manuscrit a présenté les concepts fondamentaux et le contexte socio-environnemental du site d'étude. La deuxième partie, principalement méthodologique, avait pour but de présenter les différentes approches méthodologiques qui ont permis d'évaluer la vulnérabilité globale de la ville de Port-Gentil à partir des quatre composantes identifiées par Meur-Ferec et Guillou, (2020). À partir de l'approche méthodologique développée, cette thèse a été divisée en deux phases distinctes : l'évaluation de la **vulnérabilité physique** de la ville et l'évaluation de la **vulnérabilité sociétale**.

La première phase a consisté en la démarche qui a conduit à l'évaluation de la vulnérabilité physique de la ville à partir des enjeux qui structurent la ville pétrolière. Elle a été divisée en deux parties. Dans la première partie, il s'agissait d'évaluer l'aléa et surtout l'exposition de la ville aux inondations par la mer. Dans la deuxième partie, il s'agissait d'évaluer la vulnérabilité physique des enjeux.

L'approche qui a consisté à évaluer l'aléa à différentes échelles spatio-temporelles est présentée dans le chapitre 3. De cette approche, cinq étapes peuvent être déduites. Afin de caractériser l'aléa, nous avons d'abord dû rechercher un événement de référence dans le passé de la ville. Malheureusement, très peu d'informations documentées traitent de la question de la submersion marine. Dans cette première étape, seul l'événement du 5 mars 1962 a été identifié, d'abord dans une coupure de presse, puis des informations complémentaires (marégramme, fiches météorologiques) ont permis de confirmer cet événement avec des informations plus ou moins pertinentes en vue de la deuxième étape, qui consistait à reconstituer les niveaux d'eau de référence lors de cet événement. De cette deuxième étape, il ressort que les données du marégraphe ont enregistré une hauteur de **2,26 m**. La troisième étape a consisté à intégrer le niveau d'eau potentiel dû à la configuration wave setup. Ainsi, après intégration des conditions locales (marines et morphologiques) du site d'étude à travers l'équation de Komar (Komar, 1998), trois scénarios ont été appliqués. Pour le scénario lié aux conditions de la baie du Cap Lopez, la configuration potentielle wave setup serait de **14 cm**. La quatrième étape a consisté à construire des modèles numériques de terrain pour les différentes échelles d'analyse déterminées. Un premier modèle numérique de terrain a été développé à partir d'une approche classiquement utilisée dans les SIG, c'est-à-dire l'interpolation des points mesurés pour des anciennes cartes topographiques. Le second modèle numérique, qui est en fait un modèle numérique d'élévation, a été construit à partir d'une approche photogrammétrique après l'acquisition de photos par drone. Le choix a été fait de poursuivre l'évaluation avec ces deux modèles, qui présentaient des marges **d'erreur d'environ 40 cm**. Pour la cinquième étape, l'objectif était de cartographier l'aléa, c'est-à-dire de projeter les hauteurs d'eau sur les modèles numériques de terrain. Une certaine cohérence spatiale des zones

inondables a été constatée : **85%** des zones potentiellement submersibles lors de fortes marées étaient incluses dans l'enveloppe de la zone cartographiée comme inondable avec cette même hauteur d'eau.

Finalement, la démarche mise en place pour caractériser l'aléa était classique, notamment pour les cartes de PPRL en France (MEDDE, 2014). L'intégration d'un facteur amplificateur dans le processus de cartographie de l'aléa, tel que le Wave setup, était une phase délicate en raison du niveau de fiabilité des données d'entrée. Ainsi, des choix ont été faits, car nous pensons qu'une réflexion plus approfondie sur cette étape doit être poursuivie.

L'approche de l'évaluation de la vulnérabilité physique des enjeux s'est focalisée sur les enjeux structurant l'espace urbain, en particulier avec l'occupation du sol, notamment avec la notion d'occupation dominante du sol, le bâti et du réseau routier. Chaque enjeu a été évalué selon le même principe méthodologique. Avant l'application de la méthode développée, une phase d'acquisition et de création des données ont constitué une grande partie de ce travail de recherche. Ensuite, la méthode ANA pour Affectation, Normalisation, Agrégation a été appliquée. Pour les bâtiments, quatre indicateurs ont été identifiés, notamment la fonction du bâtiment, la hauteur des fondations et le nombre d'étages. Pour le réseau routier, il s'agit notamment du type de route, du nombre de voies, de la chaussée et de l'état de la route. Pour l'occupation du sol, seule la fonction dominante a été prise en compte. Tous ces indicateurs ont été agrégés avec l'indicateur d'aléa par des opérations mathématiques permettant d'avoir une moyenne comprise entre 0 et 1. Le schéma synthétique qui résume le chapitre 3 et quatre est présenté dans la Figure 5-6.

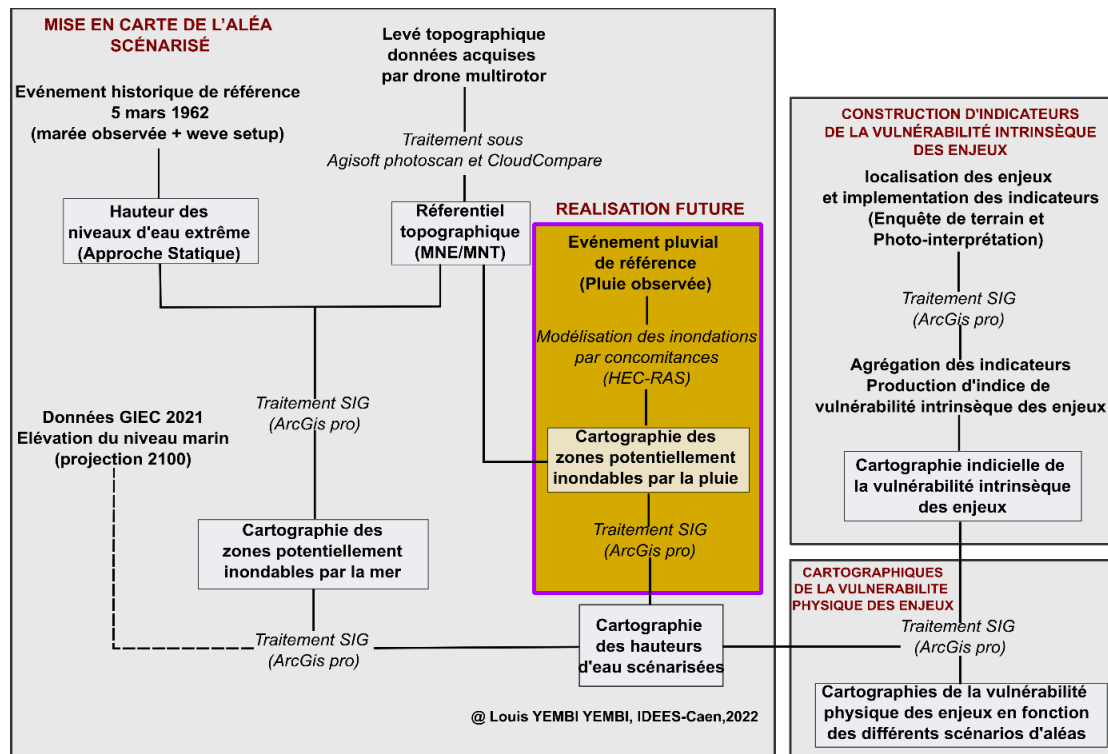


Figure 5-6 : schéma méthodologie de l'évaluation de la vulnérabilité physique des enjeux en fonction des différents scénarios d'aléa (Réalisation L. YEMBI, 2022)

La seconde phase est principalement consacrée à la vulnérabilité sociétale. Quant à la vulnérabilité sociétale, elle a été réalisée à travers le concept de représentation du risque. Ce concept permettait d'évaluer la vulnérabilité des populations. Ainsi, deux approches complémentaires, l'une qualitative à travers des entretiens semi-directifs et des cartes mentales et l'autre quantitative à travers un questionnaire géolocalisé ont permis d'appréhender la place du risque d'inondation par la mer après des populations. La carte mentale a été utilisée pour confronter la représentation cognitive des populations avec celle des autorités locales, ainsi que leurs représentations avec la réalité cartographiée (Figure 5-7).

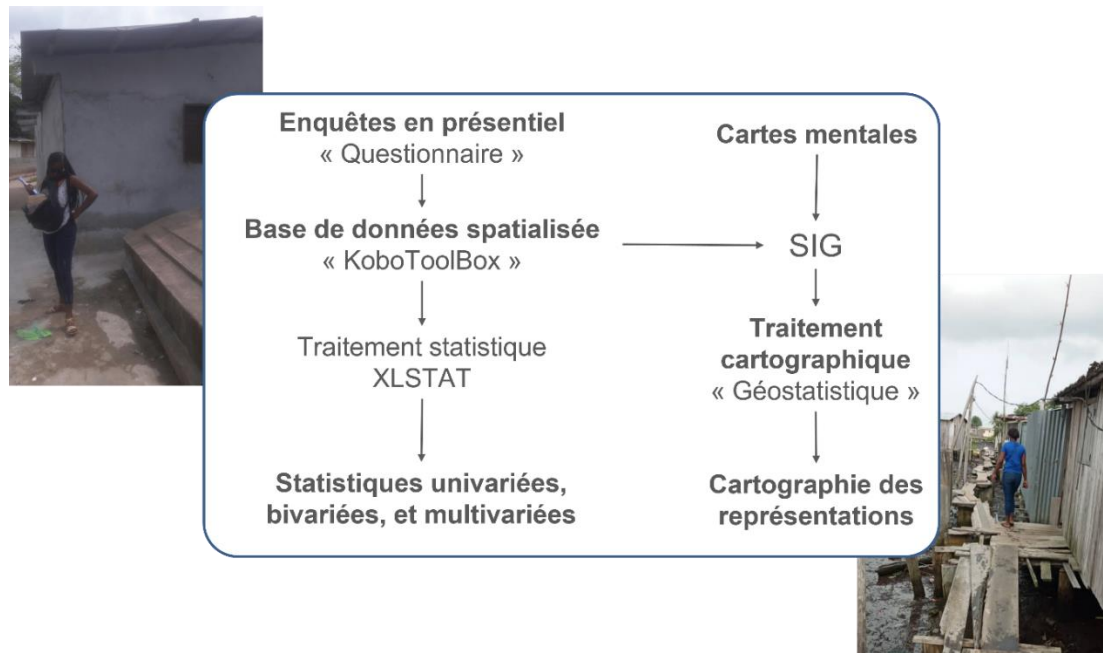


Figure 5-7 : Ensemble du processus d'acquisition et de traitement des données de l'enquête par questionnaire et deux enquêtrices dans les quartiers de Port-Gentil (Réalisation L. YEMBI, 2021)

A travers les différentes méthodes présentées, un certain nombre de choix méthodologiques ont été faits pour coller à la réalité locale, notamment avec les données disponibles et les deux échelles d'analyse adoptées. Nous avons dû simplifier des phénomènes complexes afin d'obtenir des informations compréhensibles. Nous avons également appris des outils et des méthodes généralement utilisés dans d'autres disciplines pour compléter ceux spécifiques à la géographie. L'outil le plus important utilisé dans cette partie méthodologique était probablement le SIG. Il a été utilisé dans l'évaluation de l'aléa, des enjeux et dans la compréhension des représentations des acteurs du territoire. Ainsi, toutes les données collectées ont été intégrées dans le SIG. Une base de données géospatiale a été structurée afin de mieux capitaliser ce travail.

La partie suivante est consacré à la présentation des résultats et des conclusions qui découlent de l'application des méthodes développées dans cette partie 2. Ces résultats fourniront des informations utiles pour émettre des orientations nécessaires à la planification et la gestion des risques dans les territoires étudiés.

Troisième partie

Vers une connaissance objective de la vulnérabilité de la commune de Port-Gentil face aux inondations par la mer



Prise de vue aérienne oblique de la façade est de Port-Gentil. Au premier plan au centre la base technique de Total Energies, à gauche la nouvelle base marine, au second plan la ville de Port-Gentil telle qu'elle se présente actuellement et au troisième plan le linéaire de plage de sable de la côte ouest de Port-Gentil. (<https://www.delcampe.net/fr/collections/>)

Introduction de la partie 3

En géographie l'évaluation de la vulnérabilité implique d'appréhender les interactions entre le cadre physique et la société (D'Ercole *et al.*, 1994 ; Leone, 1996 ; Brooks, 2003 ; Birkmann, 2007). Dans cette troisième et dernière partie de notre travail, il est crucial de clarifier la logique de présentation des résultats. Nous tenterons d'apporter une réponse à la question principale qui constitue le fil conducteur de ce travail, à savoir **quels sont les facteurs de vulnérabilité de la ville de Port-Gentil aux inondations par la mer ? Autrement dit, comment s'organise le processus de production de la vulnérabilité aux inondations par la mer dans la commune de Port-Gentil ?**

Pour répondre à cette question, cette partie de la thèse est structurée en trois chapitres, qui correspondent aux questions spécifiques posées en introduction. Le **chapitre 6 « Evaluation et cartographie de la vulnérabilité physique de Port-Gentil face aux inondations par la mer : une réalité territoriale »** expose les résultats permettant à la fois de d'évaluer l'aléa à travers sa spatialisation et les niveaux d'eau associés à divers scénarios, mais également les enjeux potentiellement exposés, tels que l'occupation du sol, les bâtiments et les réseaux routiers, ainsi que leur niveau de vulnérabilité associé, afin d'évaluer la vulnérabilité physique de la commune de Port-Gentil. Les résultats seront présentés sous forme de série de cartes commentées et discutées afin de montrer la réalité de l'exposition présente et future de la commune aux deux niveaux spatiaux d'analyse, ainsi que la variation spatiale du niveau de vulnérabilité des enjeux. Le **chapitre 7 « Les représentations socio-spatiales du risque d'inondation par la mer : révélatrice d'une vulnérabilité sociétale »** se focalise sur la question de la culture du risque d'inondation par la mer auprès de la population et des gestionnaires locaux, afin d'analyser à ce niveau un premier aspect de la vulnérabilité sociale. Nous examinerons pour cela la place du risque d'inondation par la mer dans la conscience collective de la commune de Port-Gentil, le niveau d'inquiétude, le sentiment d'exposition qui anime les différents groupes socio-spatiaux de la commune, ainsi que leurs points de vue sur la manière dont ce problème est géré au niveau local. Nous comparerons également nos résultats avec ceux de la littérature afin de tirer des enseignements sur notre démarche. Le **chapitre 8 « Les freins et les leviers de la gouvernance efficace du risque d'inondation par la mer au Gabon »** de ce travail permettra de mettre en lumière les freins et les leviers à une gestion efficace du risque d'inondation par la mer. Ce chapitre reprend les résultats présentés dans les deux premiers chapitres et nous concentrerons surtout sur les entretiens avec les élus locaux pour décrire la politique de gouvernance du risque au Gabon en générale et de Port-Gentil en particulier.

Chapitre 6 : Evaluation et cartographie de la vulnérabilité physique de Port-Gentil face aux inondations par la mer : une réalité territoriale

Introduction du chapitre 6

Ce chapitre constitue une suite logique des chapitres 3 et 4, qui traitent respectivement de la spatialisation de l'aléa, ainsi que de la vulnérabilité des enjeux urbains identifiés. Il mobilise ces chapitres et les exploite pour présenter les résultats qui en découlent. Il rassemble ainsi les réflexions relatives aux différentes temporalités de l'aléa inondation marine avec pour objectif de mettre en évidence la vulnérabilité physique des enjeux et, de manière globale, du territoire d'étude.

Dans le contexte des Systèmes d'information géographique (SIG), l'analyse de la vulnérabilité physique des enjeux suscite un intérêt croissant (Carrara et Guzzetti, 1995 ; Lavigne, 1999 ; Sari *et al.*, 2017). Les données numériques et la cartographie permettent de comprendre les processus de production de la vulnérabilité et facilitent la prise de décisions en matière de prévention et d'intervention. La cartographie est un outil efficace pour présenter et communiquer les résultats d'analyse de vulnérabilité, aussi bien aux chercheurs, aux décideurs qu'au grand public (Richards, 1999).

L'utilisation d'une approche cartographique permet de localiser les zones les plus fragiles et d'identifier les enjeux les plus vulnérables à travers des cartes synthétiques intégrant les éléments d'aléa et les enjeux (chapitres 3 et 4). L'analyse des cartes vise à mettre en évidence la vulnérabilité de la commune, allant au-delà de la simple quantification des enjeux impactés. Elle cherche également à identifier les zones présentant les plus grandes variations d'indicateurs de vulnérabilité physique. Cette connaissance s'avère. Cette connaissance est importante pour cibler des actions de prévention et d'intervention efficaces en cas de survenu de l'aléa.

Le chapitre est divisé en trois sections principales. La **première section 6.1** expose les choix opérés pour présenter les résultats. La **deuxième section 6.2** présente et analyse, d'un point de vue statistique et spatial, la vulnérabilité physique du site d'étude à l'échelle moyen. La **troisième section 6.3** présente et analyse, d'un point de vue statistique et spatial, de la vulnérabilité physique du site d'étude grande échelle.

6.1 Les choix opérés dans la présentation des résultats de la phase évaluation de la vulnérabilité physique

6.1.1 Rappel méthodologique et les scénarios d'aléa retenus

Qu'il s'agisse de l'évaluation du risque telle que définie dans le chapitre 1 ou de la vulnérabilité comme c'est le cas dans ce travail de recherche, l'identification et la caractérisation de l'aléa est la première et, à bien des égards, la plus importante des composantes de la vulnérabilité. C'est

pourquoi, pour mener à bien l'évaluation de la vulnérabilité de la ville de Port-Gentil, il est essentiel de bien définir l'emprise spatiale de l'aléa et les hauteurs d'eau associées à chaque scénario possible pour cette localité. Un ensemble de cartes figurant les emprises probables de ces différents scénarios a été réalisé. L'élaboration de ces cartes d'aléa a été réalisée à deux échelles différentes : moyenne et grande. Ce choix a été fait dans le but de mettre en évidence les différentes possibilités de production de cartes d'aléa et de présenter les avantages et les inconvénients de ces deux échelles d'analyse. Plusieurs méthodes d'acquisition et de traitement de données ont été utilisées pour cartographier l'aléa. Une grande partie de ce travail a été consacrée à la recherche d'information sur les inondations par la mer passée, ainsi qu'à la réalisation du MNT/MNE nécessaire à la production de ces cartes. L'ensemble des cartes produites a été intégré au sein d'un SIG afin d'être utilisé ultérieurement pour la production de cartes de vulnérabilité des enjeux (cf. section 6.2.3). En rappel, la mise en place de la base de données SIG était notre cinquième objectif dans cette thèse.

Pour la composante aléa, notre analyse se concentre principalement sur les inondations marines directes par débordement, au nord de l'île Mandji à l'échelle moyenne et par la suite en mettant un accent particulier sur une partie de la première couronne urbaine de la commune. Cette zone, caractérisée par une topographie basse, abrite des enjeux variés et stratégiques pour la ville. Nous présenterons 7 scénarios que nous jugeons pertinents, en termes d'impact, de la diversité des facteurs et variables liés à l'aléa. Les autres scénarios sont répertoriés en annexe 5. Les scénarios considérés sont les suivants :

- **Scénario S1 du C.1 :** est une reconstitution de l'événement de 1962 qui constitue dans ce travail notre événement de référence. Ce scénario considère uniquement le niveau d'eau enregistré au marégraphe de Brillé au niveau du wharf de Port-Gentil dont la position et les caractéristiques sont présentées à l'annexe 1.
- **Scénario S2 du C.1 :** Considère le niveau de référence basé sur l'événement de 5 mars 1962, avec la prise en compte du wave setup dans les conditions optimales de la baie du Cap Lopez. Dans une optique de gestion des secteurs qui seront certainement impactés actuellement si les conditions reconstituées se produisent à nouveau.
- **Scénario S8 du C.1 :** Prends en compte le niveau des Pleines Mer de Vives-eaux (PMVE) locales, plus le scénario pessimiste (SSP5-8.5) d'élévation du niveau de la mer pour 2100 selon le rapport du GIEC de 2022. Dans une perspective pessimiste de gestion des secteurs potentiellement impactés quotidiennement, il identifie les zones d'inondation potentielle quotidienne en 2100.

- **Scénario S10 du C.1** : Intègre le niveau de référence basé sur l'événement du 5 mars 1962, sans le wave setup, et inclus le scénario pessimiste (SSP5-8.5) d'élévation du niveau de la mer pour 2100 selon le rapport du GIEC de 2022 soit +1 m. Dans une optique de gestion des secteurs potentiellement impactés, il identifie les zones d'inondation potentielle si le rythme d'élévation du niveau de la mer actuelle se poursuit et si les conditions météorologiques du 5 mars 1962 se reproduisent.
- **Scénarios S11 du C.1** : Considère le niveau de référence basé sur l'événement de 5 mars 1962, avec le wave setup, ainsi que le scénario optimiste (SSP1 -1.9) d'élévation du niveau de la mer pour 2100 selon le rapport du GIEC de 2022. Dans une optique de gestion des secteurs potentiellement impactés en cas de phénomène exceptionnel identique à celui de l'événement de 1962, il identifie les zones d'inondation d'ici 2100.
- **Scénarios S12 du C.1** : Prend en compte le niveau de référence basé sur l'événement de 5 mars 1962, avec le wave setup, ainsi que le scénario pessimiste (SSP5-8.5) d'élévation du niveau de la mer pour 2100 selon le rapport du GIEC de 2022. Dans une optique de gestion des secteurs potentiellement impactés en cas de phénomène exceptionnel identique à celui de 1962, il identifie les zones d'inondation potentielle extrême en raison d'une élévation constante du niveau de la mer.
- **Scénarios S12 du C.3** : Prend en considération le niveau de référence basé sur l'événement de 5 mars 1962, avec le wave setup, ainsi que le scénario pessimiste (SSP5-8.5) d'élévation du niveau de la mer pour 2100 selon le rapport du GIEC de 2022. Conçu pour des conditions extrêmes identifiées pour le golfe de Guinée, il identifie les zones d'inondation potentielle pessimiste en conditions exceptionnelles de l'état de la mer dans le golfe de Guinée. Il constitue notre scénario le plus extrême dans la zone.

Ces scénarios permettent d'explorer différentes conditions possibles pour mieux comprendre les variations potentielles de l'aléa. Le Tableau 6-1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, présente ces différents scénarios avec les niveaux d'eau associés. Pour les autres combinaisons et les niveaux d'eau associés, se référer au Tableau 3-4 du chapitre 3.

Condition	Combinaison des différents scénarios		Codification	Niveau d'eau (NGCLZ)
C.1	Présente	Niveau de référence sans wave setup (S1)	Niv. observé	2,12
		Niveau de référence avec wave setup (S2)	η (1962)	2,26
	Future	Niveau de pleine Mer de Vives-eaux futur (SSP5-8.5) (S8)	PMVE+SSP5-8.5 (2100)	2,66 m
		Niveau de référence sans wave setup +SSP5 -8.5 (S10)	Niv. obs +SSP5 -8.5 (2100)	3,12 m
		Exceptionnel futur (marée observée + wave setup+SSP1-1.9) (S11)	η +SSP1 -1.9 (2100)	2,76 m
		Exceptionnel futur (marée observée + wave setup+SSP5-8.5) (S12)	η +SSP5 -8.5 (2100)	3,26 m
C.3		Exceptionnel futur (marée observée + wave setup+SSP5-8.5) (S12)	η +SSP5 -8.5 (2100)	3,44 m

Tableau 6-1 : Récapitulatif des scénarios pertinents retenu pour analyse

6.1.2 Les modes de présentation cartographique des différentes légendes

Lors du processus de sélection de la légende cartographique pour représenter les résultats agrégés des indices de vulnérabilité physique des différents enjeux, nous avons adopté deux approches distinctes. Dans la première, nous avons utilisé un dégradé de couleur allant du jaune (0) au rouge (1) pour visualiser le résultat final. Cette représentation offre une échelle visuelle permettant une interprétation immédiate de degré de vulnérabilité, facilitant ainsi la compréhension des enjeux ou des zones les plus vulnérables. Cependant, il peut y avoir quelques biais dans son interprétation. Il est possible de surestimer la vulnérabilité d'un enjeu dont la vulnérabilité intrinsèque de départ était très faible et de sous-estimer un autre dont la vulnérabilité intrinsèque était très élevée. Ici, le niveau d'eau agit comme un élément d'ajustement de la vulnérabilité d'un enjeu, ce qui n'est pas l'objectif recherché. Afin gérer ces effets de biais, nous avons opté pour une deuxième représentation cartographique. Nous avons choisi de ne pas agréger le dernier niveau de la phase d'agrégation. Cette approche vise à fournir une interprétation plus approfondie des résultats en explorant deux dimensions : la vulnérabilité intrinsèque des enjeux et l'impact de l'aléa sur une représentation unique. Cette méthode offre une perspective claire de l'impact réel de l'aléa sur les enjeux étudiés. En conséquence, nous avons opté pour une légende cartographique bivariée afin de représenter graphiquement les relations complexes entre ces deux aspects, permettant une analyse détaillée des impacts de l'aléa sur les enjeux (Figure 6-1).

L'objectif principal de cette représentation est de faciliter l'identification rapide des zones sensibles en combinant les niveaux de vulnérabilité liés à l'exposition aux inondations marines et la vulnérabilité intrinsèque des enjeux. Cette grille bivariée comme légende vise à mettre en lumière les tendances et les relations entre ces deux variables, offrant ainsi des orientations pour des décisions en fonction de la stratégie de gestion choisie. Cela peut impliquer l'adoption d'une stratégie de réduction de l'impact des inondations ou la mise en œuvre de mesures visant à réduire

la vulnérabilité intrinsèque des enjeux, par exemple, à travers des politiques de délocalisation des enjeux stratégiques, ou de renforcer la résilience de certains enjeux. En revanche, les représentations cartographiques avec le dégradé de couleur de 0 à 1 seront utilisées pour caractériser la vulnérabilité intrinsèque des enjeux qui ne nécessite pas de combiner les informations sur l'aléa et pour les cartographiques de synthèse à l'échelle des quartiers de la commune de Port-Gentil.

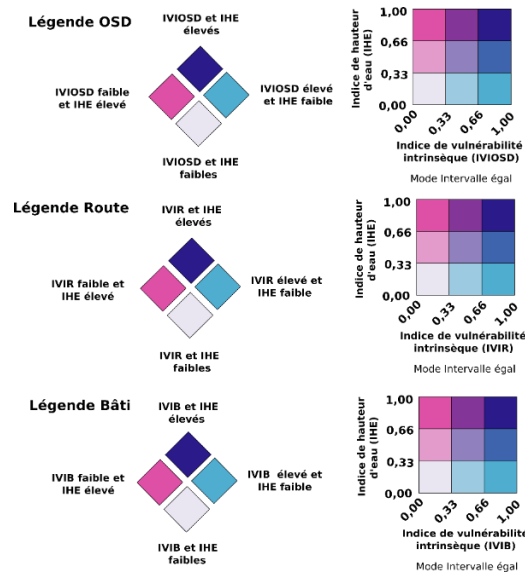


Figure 6-1 : Différentes légendes Bivarié avec la lecture des différentes cases pour chaque enjeu. IHE : indicateur de Hauteur d'Eau, IVIOSD : Indicateur de Vulnérabilité intrinsèque de l'Occupation du Sol Dominant, IVIR : Indicateur de Vulnérabilité intrinsèque de la Route, IVIB : Indicateur de Vulnérabilité intrinsèque du Bâti

6.2 Évaluation de la vulnérabilité physique à l'échelle moyen

6.2.1 Cartographie de l'aléa à moyenne échelle

Pour réaliser cette cartographie à l'échelle moyenne, nous avons utilisé une carte topographique datant de 1974, réalisée par l'Institut Géographique National (IGN) française pour le compte de ELF Gabon, notamment deux planches (planche du cap Lopez et celle de Port-Gentil). Cette carte inclut des informations sur la topographie de la région, y compris des points cotés. La création numérique de cette donnée topographique est présentée au chapitre 3. Notre méthode de production elle aussi présenté dans le chapitre 3 est appelée méthode statique ou SIG. Elle consiste à projeter des niveaux d'eau prédéterminés sur cette carte topographique.

6.2.1.1 Spatialisation de l'aléa selon les scénarios S1 et S2 reconstitué avec les conditions C.1 : cartographie d'inondation potentielle actuelle

Les cartes d'aléa présentant l'extension spatiale et les niveaux d'eau associés en utilisant la topographie reconstituée de 1974, sont présentées dans les Figure 6-2, Figure 6-3 **Erreur ! Source**

du renvoi introuvable. et Figure 6-6Erreur! Source du renvoi introuvable.. Ces résultats mettent en évidence, dans un premier temps, la dépendance de la profondeur et de l'étendue des inondations marines vis-à-vis de la précision de la topographie. Avec une topographie lissée, les zones inondables se déploient en vastes étendues continues.

Pour le scénario S1, correspondant au niveau observé en 1962, la cartographie de l'aléa se restreint principalement aux zones inondables déjà existantes. Une observation notable concerne une petite partie du centre-ville, notamment autour de la Banque des États de l'Afrique centrale (BEAC) et de l'hôtel Mandji, présentant une inondation de faible amplitude. Il est pertinent de souligner que cette zone correspond précisément à celle où l'article décrit les dégâts survenus lors de l'événement de 1962. En tenant compte de la potentialité du wave setup pendant cet événement, deux secteurs se distinguent finalement. Le premier secteur, en face de l'hôtel Mandji, montre une expansion de son étendue inondable, tandis que le secteur adjacent au carrefour de la douane constitue le second secteur. Ce dernier secteur n'a pas été relevé dans les rapports de presse. Les niveaux d'eau dans les zones inhabituellement inondées par les oscillations de marée varient entre 0,3 m et 0,5 m.

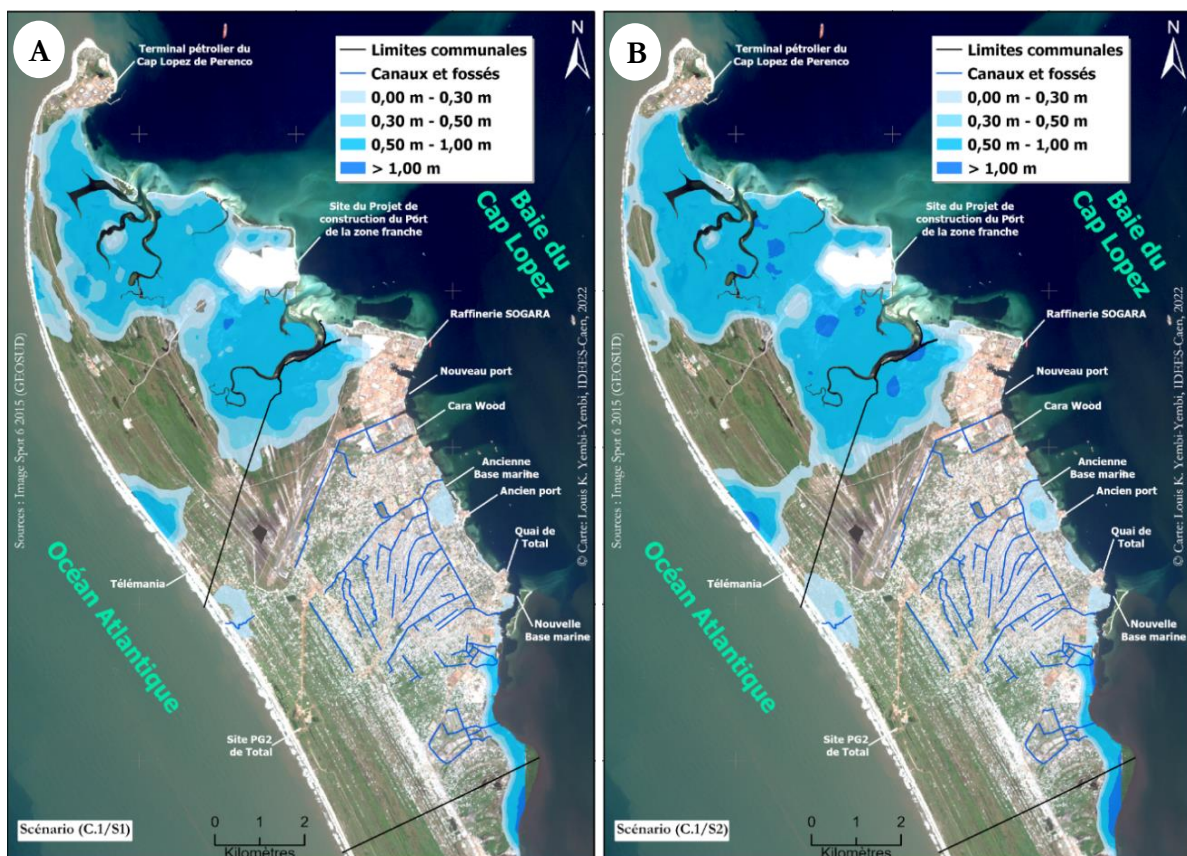


Figure 6-2 : Cartes d'aléa inondation par la mer selon les scénarios S1 (A) et S2 (B) dans les conditions C.1, avec la topographie de 1974 (Niv. Observés 1962)

En examinant les deux cartographies et en partant d'une topographie globale de la zone d'étude, certaines indications préliminaires émergent. Actuellement, en se basant sur les hauteurs d'eau de référence, avec et sans prise en compte du wave setup, le risque d'inondation marine semble relativement faible. Ceci contraste avec la description dramatique relayée dans la presse, qualifiant cet événement de l'un des plus significatifs jamais observé, le qualifiant de « La tempête du siècle ». Néanmoins, les deux cartes reconstituées suggèrent que la zone du carrefour de la douane, située entre l'ancien port et l'ancienne base marine, est un secteur préoccupant, de même que la nouvelle base marine. Les zones d'expansion des nouveaux quartiers de Port-Gentil, notamment Côte d'Azur et PG2, pourraient être impactées par la survenue de l'aléa de 1962, que le wave setup soit pris en compte ou non (Figure 6-2 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

6.2.1.2 Spatialisation de l'aléa selon les scénarios S8, S10, S11, S12 dans les conditions C.1 ; cartographie prospective

Les scénarios S3, S4, S5, S6 et S7, ne présentant aucun impact significatif sur la commune, nous abordons directement le Scénario S8 du C.1 (Figure 6-3 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** A). Comme indiqué précédemment, ce scénario intègre le niveau des Pleines Mers de Vives-eaux (PMVE) locales, soit 1,66 m NGCLZ, associé au niveau d'eau de l'hypothèse pessimiste du GIEC pour 2100, soit +1 m. L'enveloppe de la zone inondable pour la partie nord de l'île Mandji, qui englobe les zones marécageuses des trois rivières et le marécage d'Iguiri au sud, couvre une superficie de 45 km², soit 49 % de la surface totale de la zone impactée. La première couronne urbaine de la commune, en particulier le centre historique, est la plus fortement touchée. En outre, l'intégralité de la zone industrialo-portuaire (nouveau port et le site de la SOGARA) est également impactée, de même que le site du projet de construction du port de la zone franche dans le secteur des trois rivières. Ceci suggère que la composante inondation marine n'a pas été prise en compte dans la mise en œuvre de ce projet.

On remarque une incidence significative sur la façade ouest, avec la possibilité d'un impact considérable, voire une impraticabilité potentielle de la route du Cap Lopez sur toutes les cartes. Il est essentiel de souligner que cette route revêt une importance stratégique pour la commune, car elle mène au terminal pétrolier du Cap Lopez. D'ici à 2100, il est probable que les marées hautes entraînent des inondations dans des secteurs actuellement non affectés par la marée. Pour les zones actuellement inondées par les Pleines Mers de Vives-Eaux (PMVE), notamment au sud de la commune, dans les quartiers Matanda et Lippe (Figure 6-4 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), une expansion légère de la zone inondable est envisageable, avec des hauteurs d'eau plus importantes pour les zones actuellement touchées par les inondations dues à la marée.

Chapitre 6 : Évaluation et cartographie de la vulnérabilité physique de Port-Gentil face aux inondations par la mer : une réalité territoriale

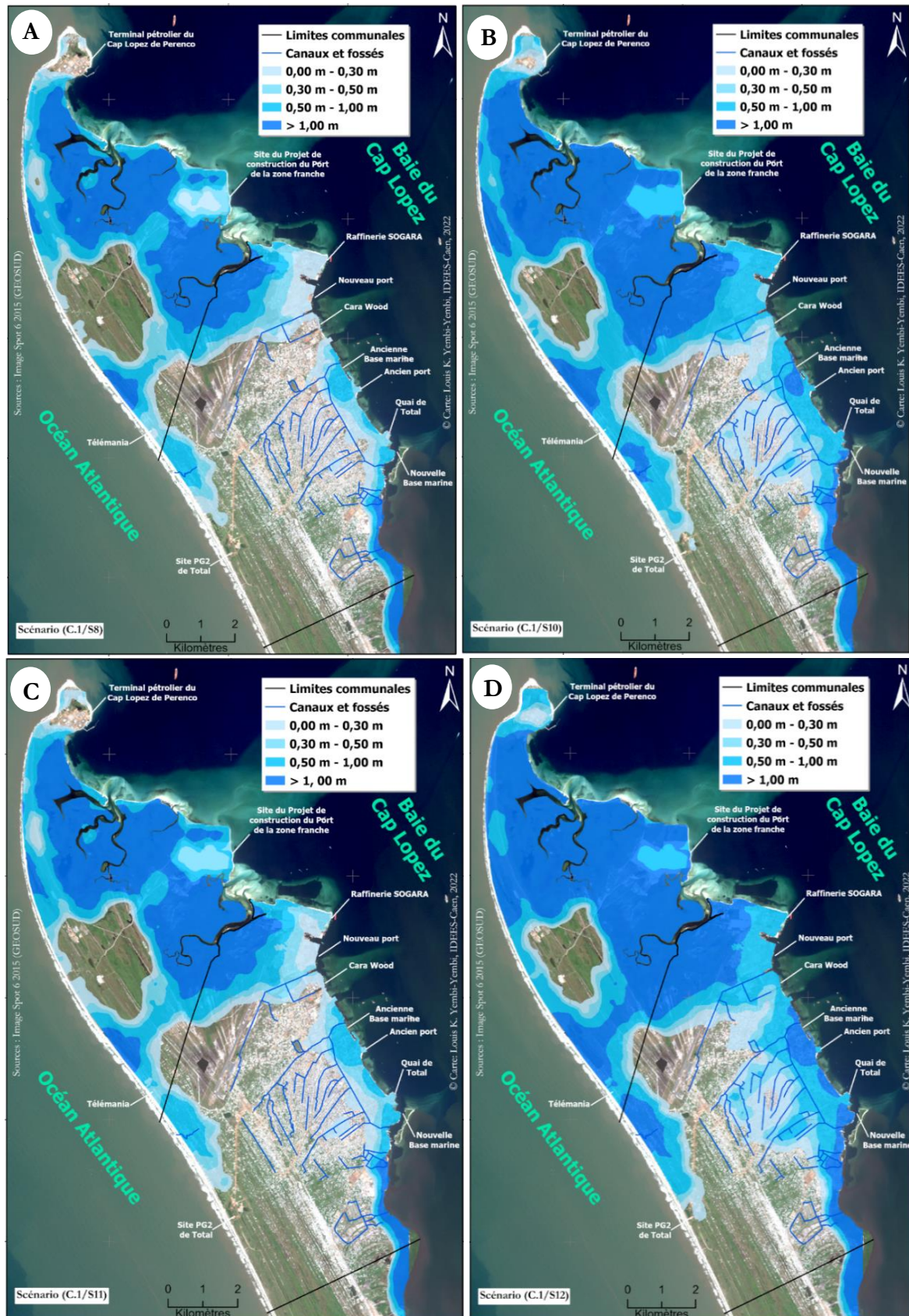


Figure 6-3 : Cartographie de l'aléa inondation par la mer selon les scénarios S8 (A), S10(B), S11(C), et S2 (D) dans les conditions C.1 avec la topographie de 1974. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

En analysant les résultats des scénarios S8 et S9, qui présentent une similitude spatiale avec une faible variation des surfaces impactées due à une différence minimale de seulement 4 cm au niveau des hauteurs d'eau, le scénario S9 est écarté de la suite du manuscrit. Cet élément est détaillé en Annexe 5. En revanche, pour le scénario S10 (**Erreur ! Source du renvoi introuvable. B**), qui suppose la reproduction de l'événement de 1962 en 2100, en prenant en compte le niveau enregistré au marégraphe de Port-Gentil, ainsi que l'hypothèse pessimiste du GIEC avec une augmentation prévue du niveau de la mer à +1 m, l'enveloppe de l'inondation marine est beaucoup plus importante. Elle couvre une superficie de 58 km², soit 63 % de la surface de la partie nord de l'île Mandji. On constate également que toute la côte est serait impactée, ainsi que pratiquement l'ensemble du centre-ville, avec par endroits des niveaux d'eau atteignant 1 m. Les zones inondables dans le centre de la ville suivent l'organisation des canaux et fossés, c'est qui indique de l'importance des canaux et fossés dans l'amplification des inondations marines



Figure 6-4 : Inondation des quartiers Matanda et Lippe lors des fortes Marées en saison sèche

Sur la côte ouest, les deux nouveaux quartiers ouest et nord-ouest de la commune, où la population se dirige pour y résider, seront également très impactés. Cela est particulièrement préoccupant en raison de la présence de constructions sur la plage dans cette partie de la ville (Figure 6-5**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). En 2007 dans cette partie de la ville, il n'avait pratiquement pas de population donc très voire pas de contraction (Figure 6-5**Erreur ! Source du renvoi introuvable. A**). Avec une augmentation constante de la population, cette zone se densifie depuis 2018 (Figure 6-5**Erreur ! Source du renvoi introuvable. B**). Au sud de la commune, la principale route menant au centre hospitalier régional et au sud de l'île sera sévèrement impactée, avec par endroits des hauteurs d'eau entre 0,5 m et 1 m, pouvant entraîner des interruptions de la circulation pour les véhicules.



Figure 6-5 : Vue aérienne de l'anthropisation de la côte ouest entre 2007 (A) et 2018 (B) (emprise sur la carte ci-dessous)

Les cartographies d'aléa des scénarios S11 et S12 du C.1 représentent une extension du scénario S2 du C.1, qui concerne la hauteur d'eau associée à l'événement historique identifié, augmentée de la lame d'eau supplémentaire du wave setup. Ces cartes intègrent respectivement les hypothèses optimistes et pessimistes du GIEC, à savoir le SSP1-1.9 et le SSP5-8.5 (Figure 6-3 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** C et D). L'enveloppe de la zone inondable pour le scénario S11 s'étend sur une superficie d'environ 48 km², couvrant ainsi 52 % de la surface de la partie nord de l'île Mandji. Une observation similaire à celle du scénario S8 révèle que quasiment l'intégralité du centre-ville historique est impactée, de même que la région nord-ouest englobant les nouveaux quartiers de Côte d'Azur et Fort de l'Eau. Cette zone s'étend particulièrement entre le site industriel de Telemania et le site industriel de Total Energies, des secteurs actuellement en plein processus de densification. Il est à noter que l'ensemble de la zone industrialo-portuaire, ainsi que les zones du ranch et de la cité SOGARA au nord de la commune, subit des impacts significatifs. Les hauteurs d'eau varient dans ces zones entre 0,30 et 1 m.

L'enveloppe de la zone inondable pour le scénario S12, le plus extrême parmi notre série de scénarios pour les conditions C.1 (Figure 6-3 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** D), couvre une superficie de 52 km², représentant ainsi 56 % de la surface de la partie nord de l'île Mandji. De manière similaire au scénario S11, on observe une submersion totale du centre-ville historique et de toute la zone de la première couronne urbaine de la commune. La pointe du Cap Lopez, abritant le terminal pétrolier de Perenco, est entièrement submergée, tout comme la route menant à ce site. Ces observations soulignent non seulement le niveau potentiel de l'impact des enjeux en référence au scénario S12 et mettent en évidence l'étendue significative des zones affectées. Les impacts s'étendent au-delà du tissu urbain, touchant des installations industrielles capitales telles que le site de Perenco, ce qui souligne l'urgence d'une évaluation approfondie de l'aléa.

6.2.1.3 Scénarios S12 du C.3 : événement de 1962 reconstitué avec le wave setup dans les conditions du C.3 et l'hypothèse SSP5-8.5

La cartographie d'aléa pour le scénario S12 du C.3 (Figure 6-6 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) se distingue non seulement comme le scénario le plus extrême parmi les conditions C.3, mais également comme le plus extrême parmi tous les scénarios cartographiés dans cette phase de l'analyse. Cette représentation prend en compte la hauteur d'eau associée à l'événement historique de 1962, en ajoutant la lame d'eau supplémentaire du wave setup dans les conditions propres au golfe de Guinée du C.3, ainsi que l'hypothèse pessimiste publiée par le GIEC en 2022, à savoir le SSP5-8.5.

Couvrant une étendue de 70 km², soit 76 % de la superficie nord de l'île Mandji, ce scénario a des impacts significatifs sur le cœur de Port-Gentil. Les inondations touchent tant le centre historique que pratiquement toute la surface de la deuxième couronne avec des hauteurs d'eau dépassant 1 m. Cette configuration d'inondabilité affecte quasiment toutes les activités économiques de la ville, y compris des sites cruciaux tels que les deux marchés les plus importants, à savoir la Balise et le Grand Village, qui concentrent une part substantielle de l'activité commerciale. Il est crucial de noter que les sites déjà identifiés dans les scénarios précédents se retrouvent également dans ce scénario, mais avec des niveaux d'eau plus importants. Cette observation souligne l'ampleur des conséquences potentielles de ce scénario extrême d'inondation sur l'ensemble des infrastructures et des activités économiques de Port-Gentil.

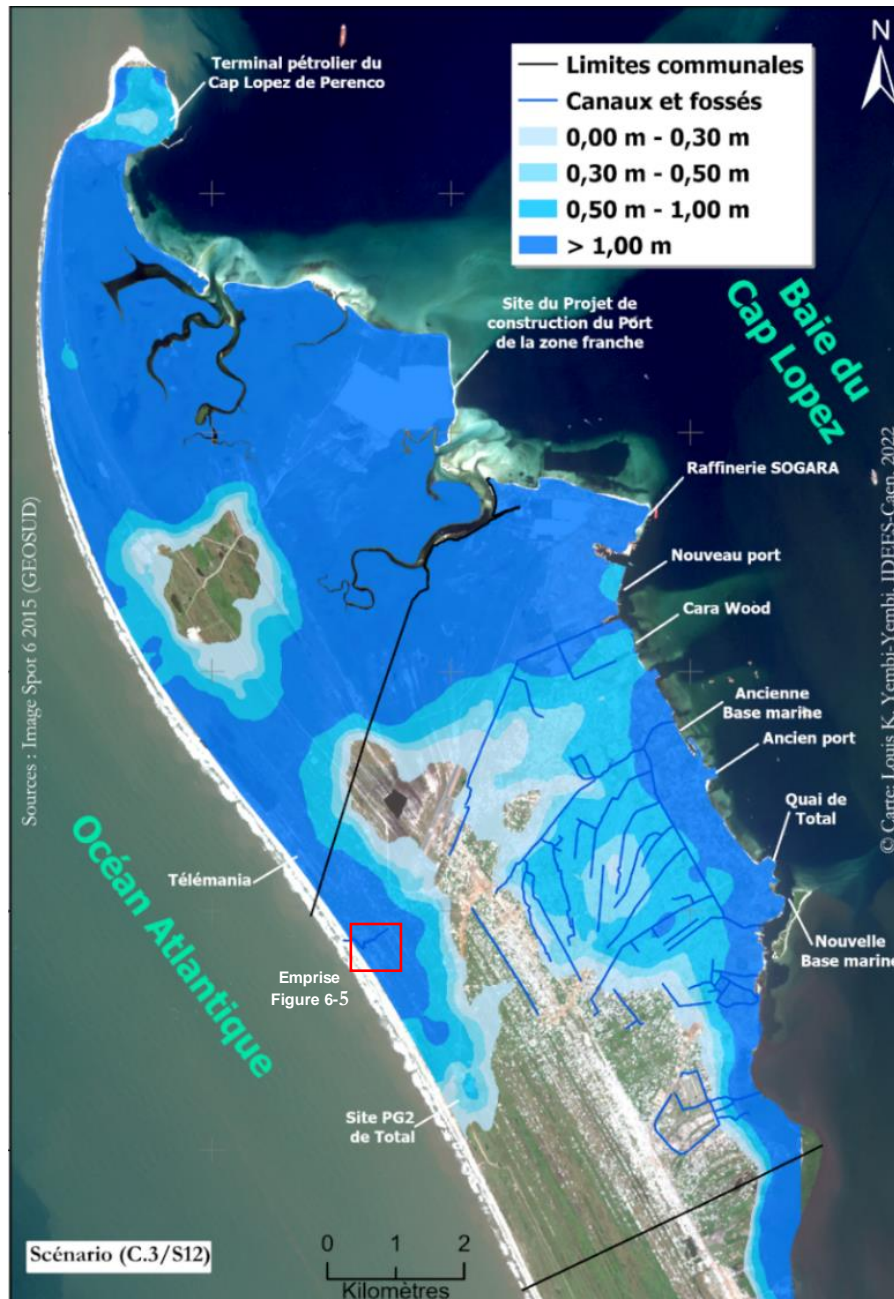


Figure 6-6 : Cartographie de l'ala inondation par la mer selon le scénario S12 dans les conditions C.3 avec la topographie de 1974. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Par ailleurs, comme évoquées antérieurement dans la sous-section 3.4.2 du chapitre 3, les cartographies produites présentent parfois une surestimation des zones inondables à certains endroits et une sous-estimation à d'autres. Néanmoins, malgré ces variations, ces cartes offrent une vision d'ensemble des zones potentiellement inondables grâce à une construction rapide et accessible de la topographie à cette échelle d'analyse. Elles peuvent ainsi servir de base pour la mise en œuvre de mesures adaptées à une échelle plus vaste, facilitant ainsi une compréhension rapide et simplifiée du contexte d'exposition de cette partie nord de l'île Mandji. Le Tableau 6-2

Source du renvoi introuvable. présente une synthèse des surfaces potentielles sujet aux inondations marines dans la localité.

Hauteur d'eau	S1 (C.1)	S2 (C.1)	S8 (C.1)	S10 (C.1)	S11 (C.1)	S12 (C.1)	S12 (C.3)
Non impactée	69,1 %	64,2 %	49,7 %	36,3 %	46,9 %	32,0 %	23,6 %
< 0,3 m	8,8 %	8,8 %	10,5 %	11,4 %	9,4 %	8,4 %	7,5 %
0,3 m -0,5 m	5,7 %	4,9 %	6,8 %	4,9 %	7,2 %	7,3 %	7,9 %
0,5 m - 1,0 m	16,2 %	20,4 %	13,4 %	17,4 %	14,4 %	15,8 %	13,7 %
> 1 m	0,3 %	1,7 %	19,6 %	30,0 %	22,1 %	36,5 %	47,4 %

Tableau 6-2: Synthèse des surfaces impactées par les inondations par la mer en fonction des différents scénarios retenus et les hauteurs d'eau associées sur la partie nord de l'île Mandji.

6.2.2 Vers une meilleure connaissance des enjeux dans la partie nord de l'île.

Avant d'exposer les résultats relatifs à la vulnérabilité physique des enjeux liés à l'occupation du sol et au réseau routier, il est essentiel de les présenter afin d'obtenir une vision d'ensemble de la structuration plus ou moins détaillée du territoire.

6.2.2.1 Une connaissance globale de la distribution des enjeux occupation du sol dominant dans la partie nord

La partie nord de l'île Mandji, qui s'étend du nouveau stade de Port-Gentil jusqu'à la pointe du Cap Lopez, est majoritairement composée d'espaces naturels (60 %), tandis que 40 % sont considérés comme des zones artificialisées (Figure 6-7 et Figure 6-8). On observe une grande différence entre la proportion des types d'occupation du sol dans cette partie de l'île entre le nord, encore très naturel, et le sud, très urbanisé. La façade est de l'île est la plus urbanisée et présente une grande diversité d'enjeux, en particulier avec des installations administratives.

La quantification et la répartition des enjeux à l'échelle moyenne confirment dans son organisation une construction anarchique et une urbanisation galopante de la ville de Port-Gentil à tel point que cette dernière est aujourd'hui hors de sa limite administrative. La côte est de la ville est mise en exergue avec une diversité d'enjeux dans un secteur dense, par rapport au reste de ce territoire. Du fait de la concentration des enjeux diversifiés et pour certains stratégiques à l'est, l'exposition face à l'aléa inondation par la mer pourrait être plus importante.

En se concentrant sur la commune de Port-Gentil, qui couvre une superficie de 54 km², une grande partie de la surface communale (75 %) est constituée de zones artificialisées, qui sont réparties en 17 classes, avec des sous-classes telles que résidentielle peu dense (34 %), résidentielle dense (22 %), sites industriels et ateliers (6,43 %), ce qui n'est pas surprenant étant donné le caractère industriel de cette ville (activité pétrolière et de bois). Les zones naturelles ou libres représentent 25 % de la

Chapitre 6 : Évaluation et cartographie de la vulnérabilité physique de Port-Gentil face aux inondations par la mer : une réalité territoriale

surface totale de la commune, avec des classes telles que les sols nus (2,47 %), les surfaces en eau (0,80 %), la mangrove (3,85 %) et la forêt (1,08 %). L'agriculture est presque inexistante (1 %) (Figure 6-7 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)

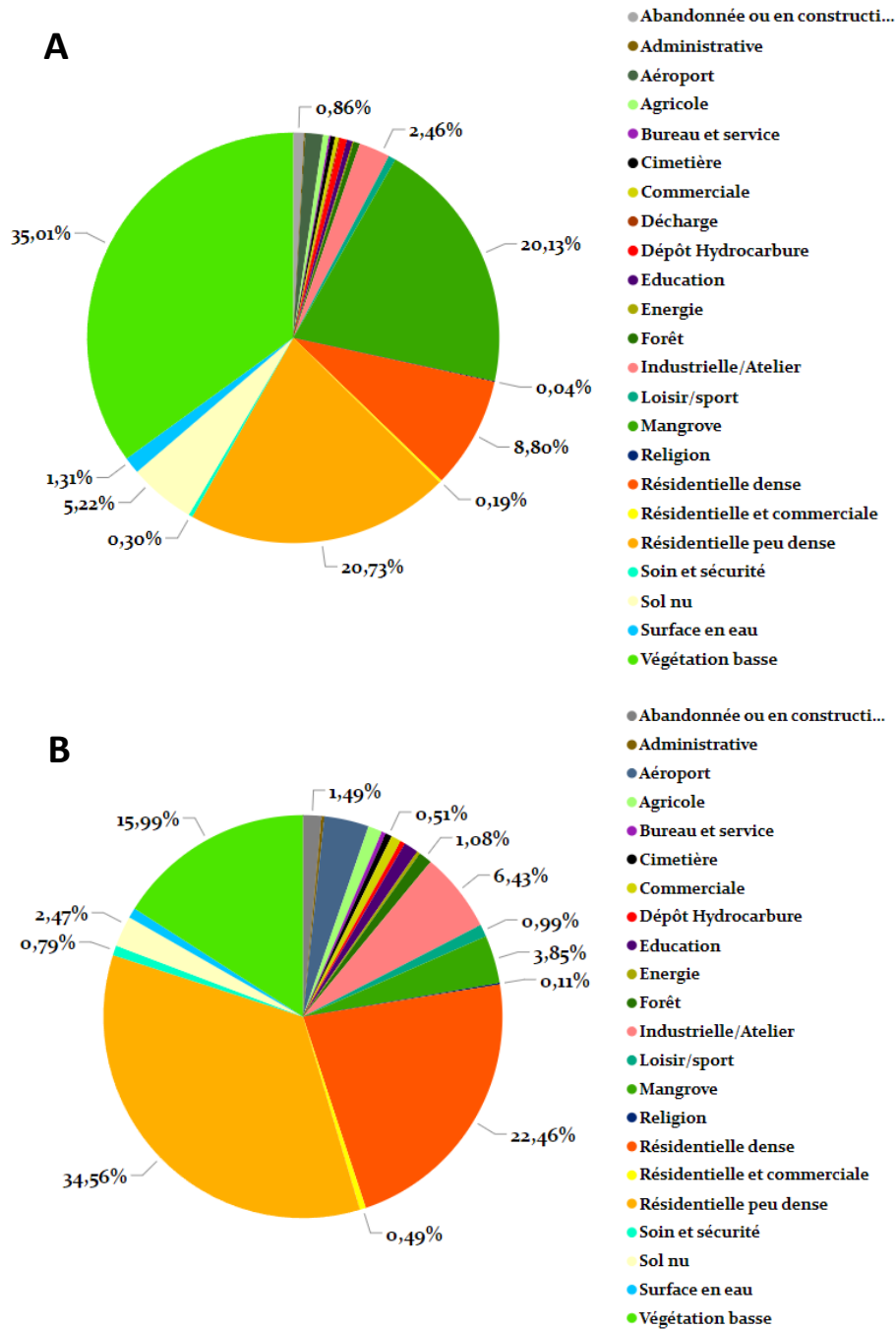


Figure 6-7 : statistiques descriptives de l'occupation du sol dominant sur l'ensemble de la partie nord de l'île Mandji (A), statistiques descriptives de l'occupation du sol dominant des limites communales de Port-Gentil (B). (Réalisation L. YEMBI, 2022)

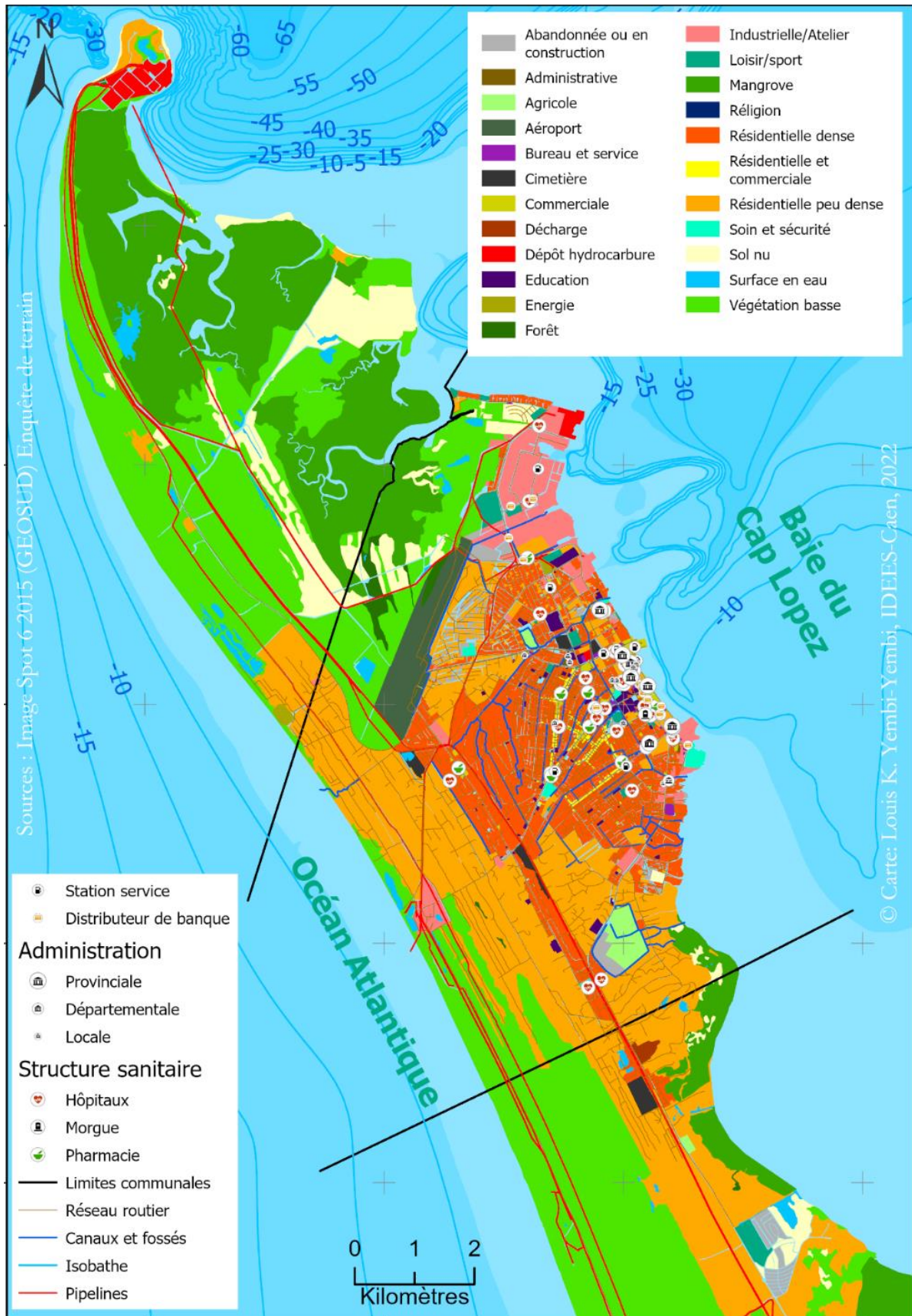


Figure 6-8 : Cartographie de l'occupation du sol dominant sur la partie nord de l'île Mandji (Réalisation L. YEMBI, 2022)

La cartographie de l'occupation du sol (Figure 6-8 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), montre qu'il y a une grande diversité d'enjeux à l'est de la commune, qui représentent également des enjeux stratégiques concentrés dans la première couronne urbaine (établissements scolaires, établissements de soins et de santé, la plupart des administrations et des services bancaires). On peut également constater que la ville s'étend vers le sud de l'île et dans les zones de mangrove. Cette vision de l'occupation du sol dominant ne fournit pas à elle seule une vision complète de la diversité des enjeux, mais permet tout de même de mettre en évidence quelque grande tendance du paysage de la partie nord et de la commune de Port-Gentil. Ainsi, les données d'occupation du sol dominant ne sont pas les seuls facteurs importants pour déterminer la vulnérabilité d'une ville aux inondations par la mer. Elles constituent un premier niveau d'évaluation rapide de la vulnérabilité d'un territoire. L'occupation du sol va de pair avec le type de construction, les matériaux des bâtiments, la structure architecturale du bâti et la vulnérabilité de ce type de bâtiment aux dommages pendant un événement d'inondation par la mer. Une descente d'échelle permet d'avoir le détail sur diversité des enjeux dans ce territoire et par là, le niveau de vulnérabilité au bâtiment).

6.2.2.2 Une meilleure caractérisation du réseau routier de la commune

Comme évoqué au chapitre 4, pour la caractérisation du système routier, des aspects tels que la largeur, le nombre de voies, l'état de la route et l'existence d'un revêtement ont été pris en compte. La hiérarchie des routes existantes est présentée dans la Figure 6-10 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, l'ensemble du réseau routier de cette partie l'île représente 427 km de long. Ce réseau présente une distribution selon les aspects mentionnés ci-dessus. En matière de réseau routier les routes principales (Rouge) son celle qui structure la commune est en ouest en délimitant les différents niveaux d'organisation urbaine (couronne urbaine) et du nord au sud avec la délimitation des différents arrondissements. C'est route principale relie le centre-ville à l'est au quartier résidentiel à l'ouest. On observe une structuration des routes secondaires (Orange) quasiment en damier dans le centre historique et l'ancien village africain, respectivement dans la première et la deuxième couronne urbaine. Cette organisation démontre une certaine planification et un suivi de l'expansion spatiale de la ville dans ces deux unités urbaines. Cette configuration dense et en damier permet d'avoir des alternatives de circulation en car de coupure des voies. En revanche, dans la troisième couronne, on peut constater un réseau peu ou pas organisé, ce qui rend la circulation plus difficile. Par ailleurs, la majorité des routes principales du centre relie la zone administrative au reste de la commune par des ponts qui enjambent le canal principal (Figure 6-10 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). De manière générale, les route de Port-Gentil sont de moins bonne qualité et mal entretenues, à l'exception d'une grande partie de routes principales mises en évidence sur la Figure 6-10 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**. Les routes secondaires et non goudronnées ne sont pas régulièrement améliorées et/ou réparées.

Chaque année, les inondations pluviales causent de nombreux dégâts dans la ville, notamment en rendant plusieurs routes impraticables pendant la saison des pluies (Figure 6-9 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Cette situation est d'autant plus alarmante lorsque l'on constate que le réseau routier est en très mauvais état à hauteur de 61 %, avec seulement 28,5 % en bon état, pour la majorité des routes principales. De plus, près de 62 % des voies ne sont pas bitumées, ce qui augmente les risques de détérioration et d'impraticabilité en cas d'intempéries.



Figure 6-9 : Véhicule bloqué sur une route inondée par les eaux de pluie au quartier SIBI

Si l'on se concentre sur les routes bitumées, celles-ci sont en grande majorité en bon état (95 %), mais il s'agit essentiellement des routes principales (Figure 6-11 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). En revanche, les routes secondaires, qui représentent une part importante du réseau routier (34 %), sont dans une situation critique. 57 % d'entre elles ne sont pas bitumées, ce qui complique leur accès en cas d'inondation, surtout pour les véhicules sans 4X4, tels que les taxis.

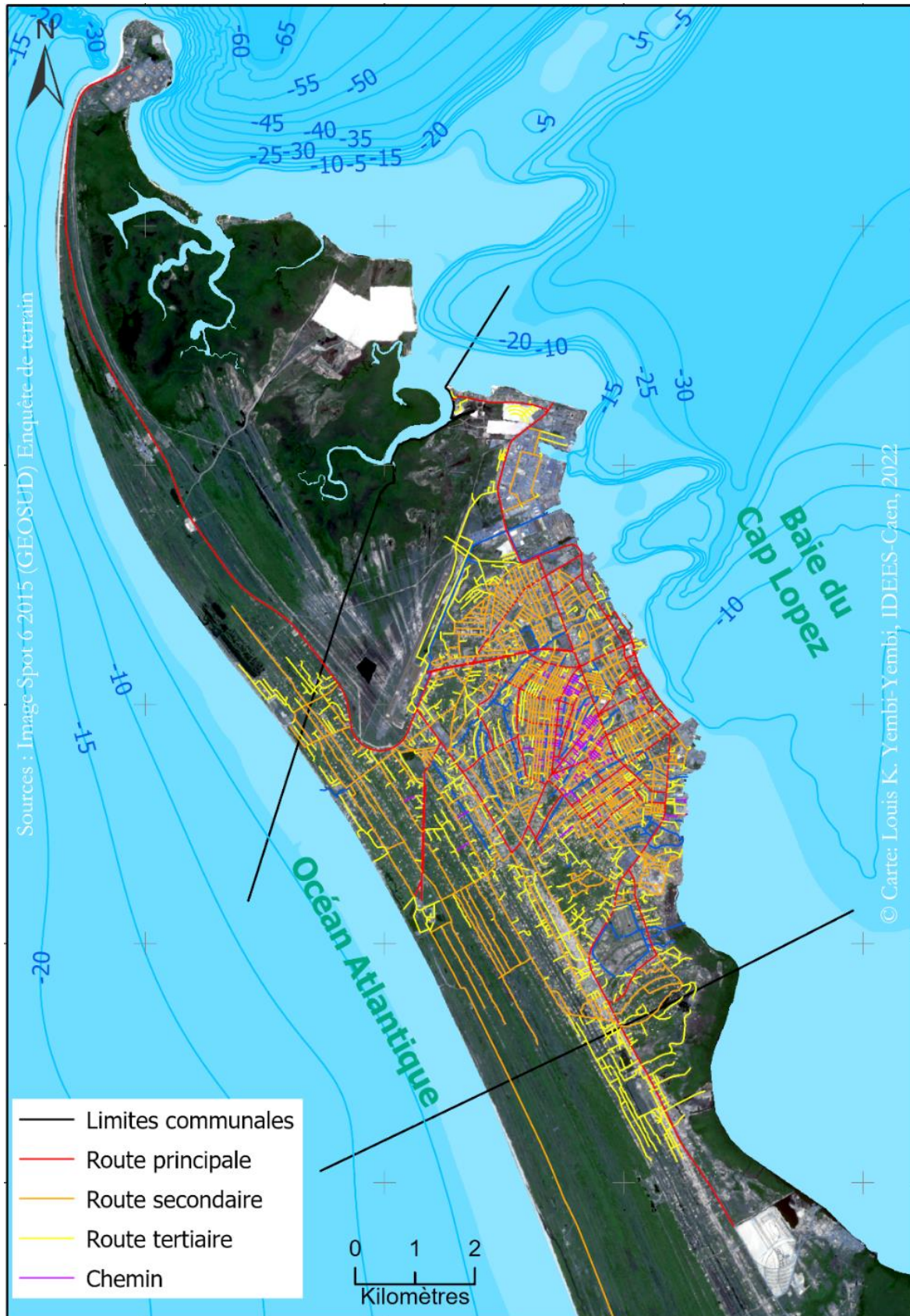


Figure 6-10 : Le réseau routier de la partie nord de l'île Mandji, (Réalisation L. YEMBI, 2022)

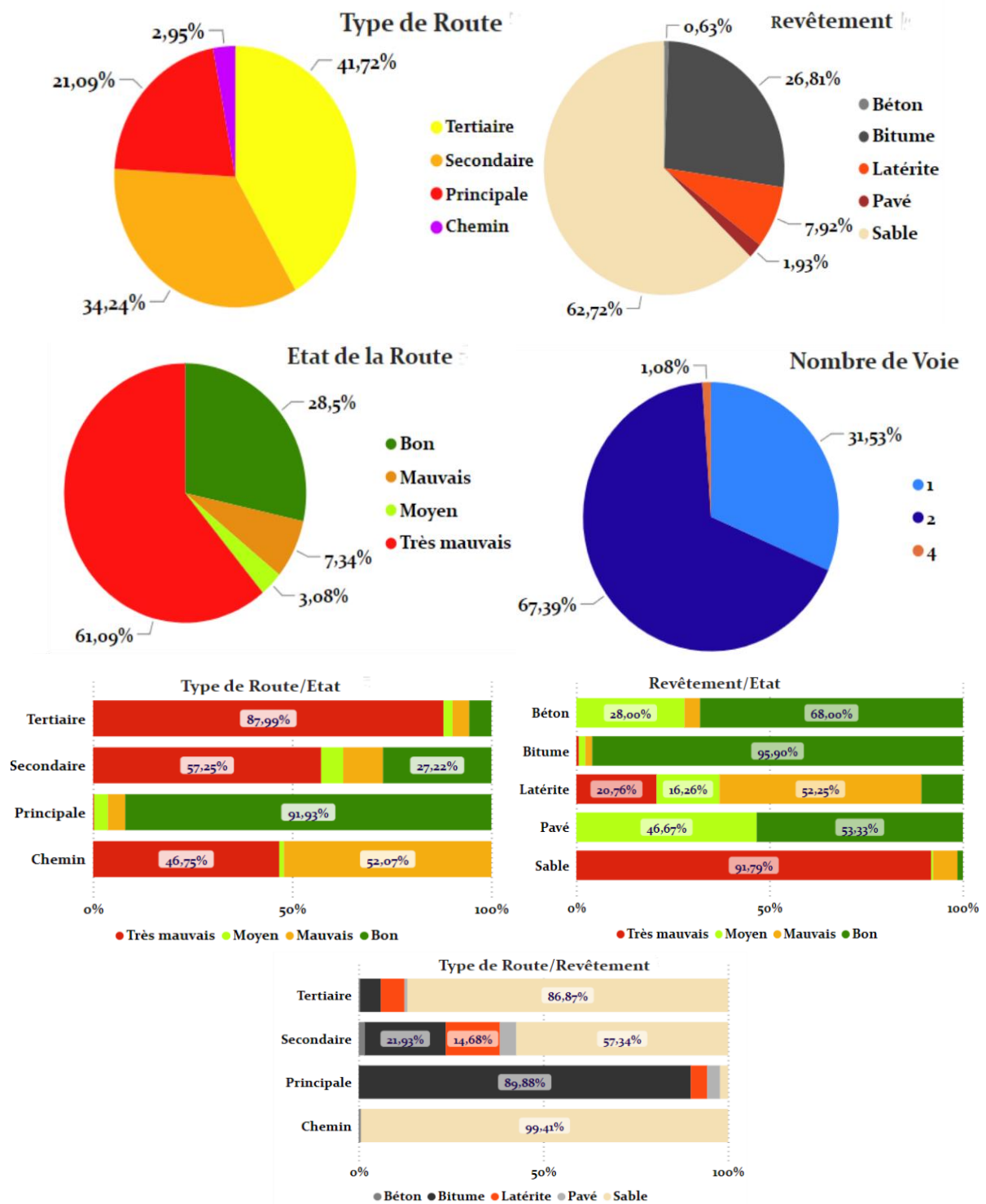


Figure 6-11 : Statistique descriptive des variables des indicateurs sur le réseau routier. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

6.2.3 Degré de vulnérabilité physique des enjeux à l'échelle moyenne

Dans la première section de ce chapitre, l'aléa inondation marine auquel la commune est potentiellement confrontée a été caractérisé et cartographié à différentes échelles spatio-temporelles et selon plusieurs scénarios. Pour évaluer les interactions entre les sphères aléa et enjeux, il convient désormais d'évaluer une des premières sphères de la vulnérabilité, notamment la vulnérabilité physique du territoire. Cette phase d'évaluation par la cartographie des enjeux potentiellement exposés impose d'acquérir un nombre important d'informations par des techniques méthodes diverses présentées au chapitre 4. Lorsqu'il s'agit de traiter de ce genre de problématique dans des territoires dépourvus de données, il est important de faire preuve d'ingéniosité, tout d'abord pour gagner du temps dans la production des données, mais également pour garantir leurs exhaustivités et leurs fiabilités. Les deux démarches, c'est-à-dire, la démarche par télédétection et la démarche terrain présentée au chapitre 4 ont permis d'acquérir des données à une échelle moyenne et permettant une évaluation de la vulnérabilité physique des enjeux.

6.2.3.1 Vulnérabilité physique de l'occupation du sol dominant à partir des cinq scénarios pertinents identifiés

Dans la sous-section suivante, consacrée à la vulnérabilité physique de l'occupation du sol dominant, les cartes d'aléas produites à la sous-section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** seront croisées avec la carte de l'occupation du sol dominant considéré comme enjeu à une échelle moyenne afin de donner une première évaluation de la vulnérabilité physique de la commune de Port-Gentil. La vulnérabilité de cet enjeu et sa distribution spatiale mis en évidence seront discutées par la suite en tenant compte des limites de chacune des cartes produites.

6.2.3.2 Rappel de l'approche

La vulnérabilité de l'utilisation des sols à Port-Gentil a été évaluée à l'aide de méthodes adaptées de la démarche de Martelli, (2011) et de Graff, (2020), notamment dans la définition des notes. Des notes, allant de 1 (faible importance) à 23 (grande importance), ont été déterminées à différentes catégories de classe d'utilisation du sol. Au cours de la thèse, ces notes ont évolué notamment après la période Covid-19. En effet ces notes de positionnement tiennent compte non seulement des aspects économiques, de l'importance sociale et des risques environnementaux que leur impacte peut engendrer. Par exemple avant la période Covid-19, la classe « loisir/sport » était plus importante que la classe « Religion ». Au regard des conflits qui ont suscité la fermeture des lieux de culte durant la période covid-19, cette position a été inversée. Pour chaque type d'utilisation des sols, la méthode et le raisonnement sont présentés au chapitre 4. Les valeurs ont été normalisées pour tenir compte de la subjectivité dans l'attribution des notes. Les valeurs minimales et maximales normalisées ont été obtenues à partir de l'équation [4.1] présentée au chapitre 4 pour donner une

valeur comprise entre 0 et 1 pour l'importance de l'utilisation particulière des terres et donc la vulnérabilité intrinsèque que revêt chaque surface avant la confrontation avec l'aléa. Les types d'utilisation des sols ont été évalués les uns par rapport aux autres afin de déterminer le type d'utilisation des sols le plus vulnérable présent à Port-Gentil. Les résultats ont été cartographiés pour montrer la distribution de la vulnérabilité intrinsèque de l'occupation du sol et du réseau routier dans la zone d'étude (Figure 6-12 Erreur ! Source du renvoi introuvable.).

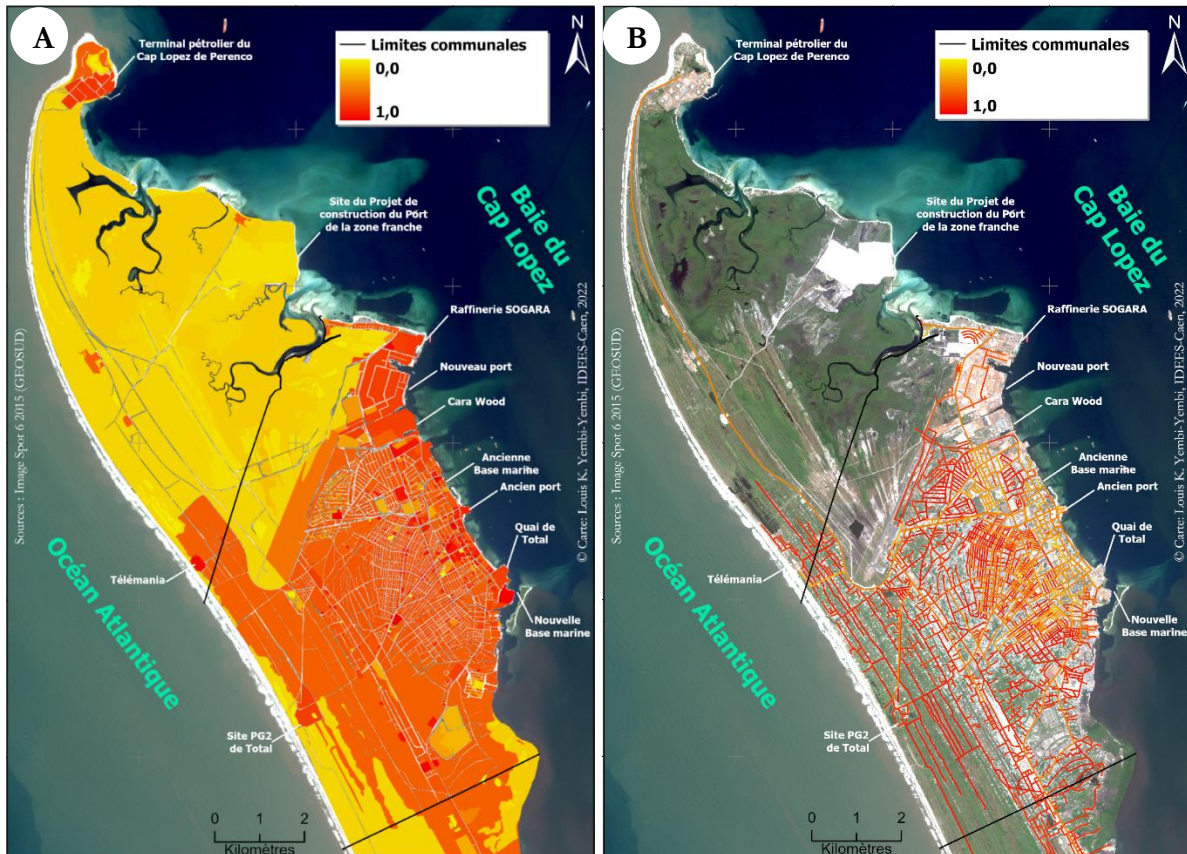


Figure 6-12 : Cartographie de l'indicateur de vulnérabilité intrinsèque de l'utilisation du sol dominant (A) et du réseau routier (B) (Réalisation L. YEMBI, 2022)

6.2.3.3 Vulnérabilité physique de l'utilisation du sol dominant de l'île Mandji Nord : le cas du scénario S8, S10, S11 et S12 dans les conditions C.1

Dans l'évaluation de la vulnérabilité physique de l'occupation dominante des sols, nous avons jugé utile de ne pas présenter les résultats de S1 et S2, car n'étant pas pertinents en termes d'espace vulnérable à l'échelle moyenne. Les cartes d'aléa produites à cette échelle montrent actuellement une situation peu préoccupante.

Chapitre 6 : Évaluation et cartographie de la vulnérabilité physique de Port-Gentil face aux inondations par la mer : une réalité territoriale

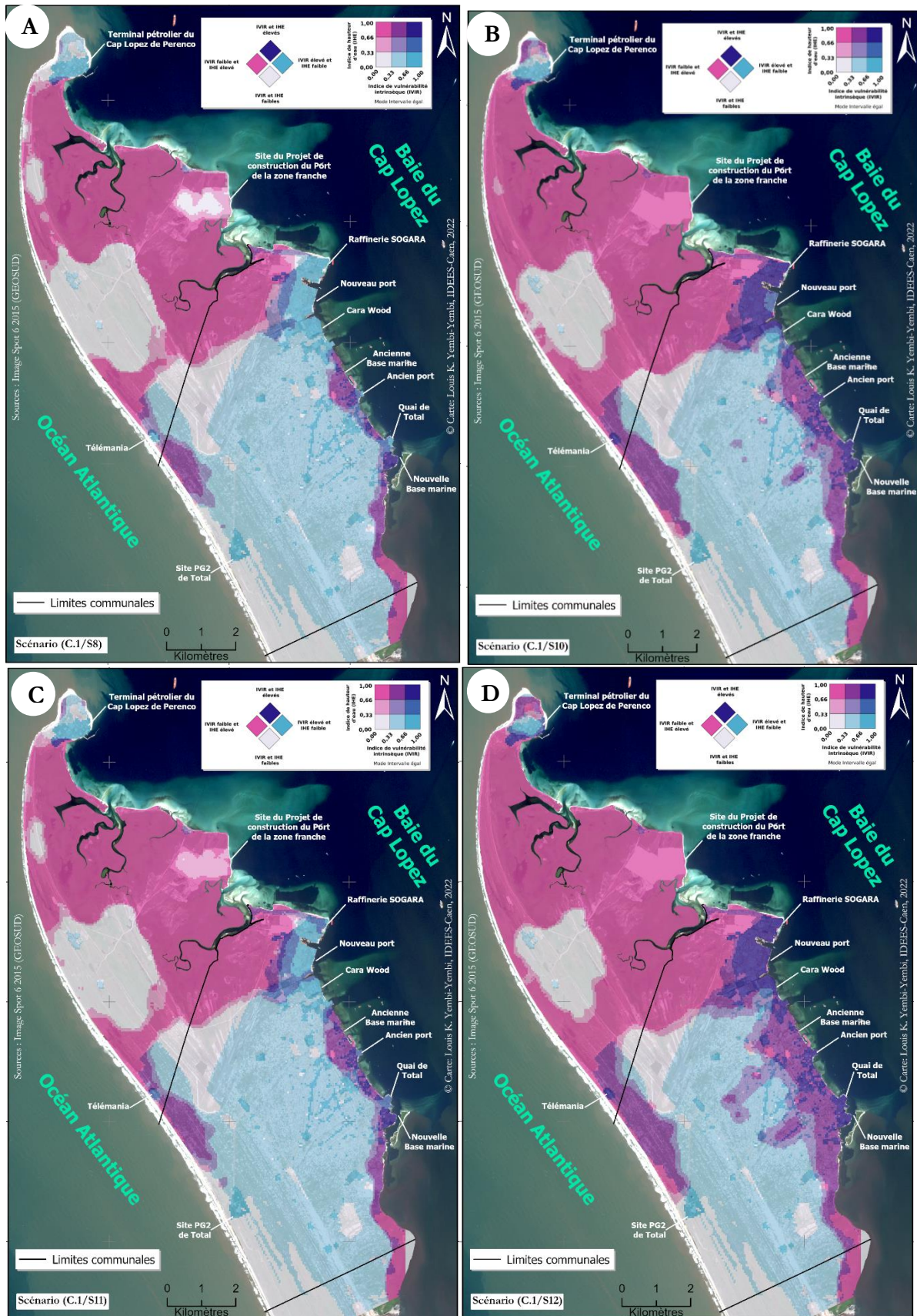


Figure 6-13 : Cartographies de la vulnérabilité physique de l'occupation du sol dominant en fonction des scénarios S8, S10, S11 S12, sous les conditions C.1. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Cependant, l'évaluation de la vulnérabilité physique de l'occupation dominante des sols pour les scénarios S8, S10, S11 et S12 dans les conditions C.1, c'est-à-dire dans les conditions extrêmes de l'état de la mer sur la façade est, indique que le centre-ville est le lieu où la vulnérabilité intrinsèque est élevée et sera impacté par des hauteurs d'eau importantes, générant ainsi une vulnérabilité physique élevée des classes d'occupation du sol qui composent cette partie de la ville.

Selon le scénario S8 (Figure 6-13 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** A), qui représentera le niveau de PMVE d'ici 2100 selon les hypothèses pessimistes du GIEC en 2022, nous observons des combinaisons de hauteur d'eau et de vulnérabilité intrinsèque élevées dans le secteur de la nouvelle base marine et du conseil départemental de Boudjé, ainsi que dans le cœur historique de la ville, notamment dans l'ancien quartier blanc (Centre-ville). Cette situation pourrait paralyser l'activité des services, en particulier des services bancaires concentrés principalement dans cette partie de la ville, ainsi que l'administration. Cette situation serait amplifiée si l'événement de 1962 se reproduisait sans prendre en compte le wave setup, mais en considérant l'hypothèse pessimiste du GIEC (S10) (Figure 6-13 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** B). Ainsi, la combinaison IHE et IVIOSD élevée, correspondant à une forte vulnérabilité, représente 0,5 % de la surface totale de la zone (Figure 6-14 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), soit 0,51 km². Ce niveau de vulnérabilité se localise dans l'ensemble du site du nouveau port, la raffinerie de la SOGARA, et même dans une partie du quartier Rombitchozo, pratiquement au centre de la ville. En revanche, la combinaison IHE élevée et IVIOSD moyen, correspondant à une vulnérabilité de l'OSD plus ou moins forte, représentent 2,8 % de la surface (Figure 6-14 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), soit 2,8 km², principalement situés dans les quartiers Matanda, Lippe au sud-est, mais aussi dans le quartier PG2 à l'ouest. Cette réalité s'observe également dans le scénario S12 avec les conditions C.1 (Figure 6-13 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** D). Pour le S11 (Figure 6-13 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** C), les zones avec un IHE et IVIOSD élevés sont quasiment identiques à celles du S8. Cependant, on observe des zones avec un IHE moyen (entre 0,40 m et 0,60 m) et un IVIOSD élevé dans les secteurs de la raffinerie, du Zoo (Ranch) et des quais de Total Énergie, correspondant à des zones industrielles stratégiques et de loisir.

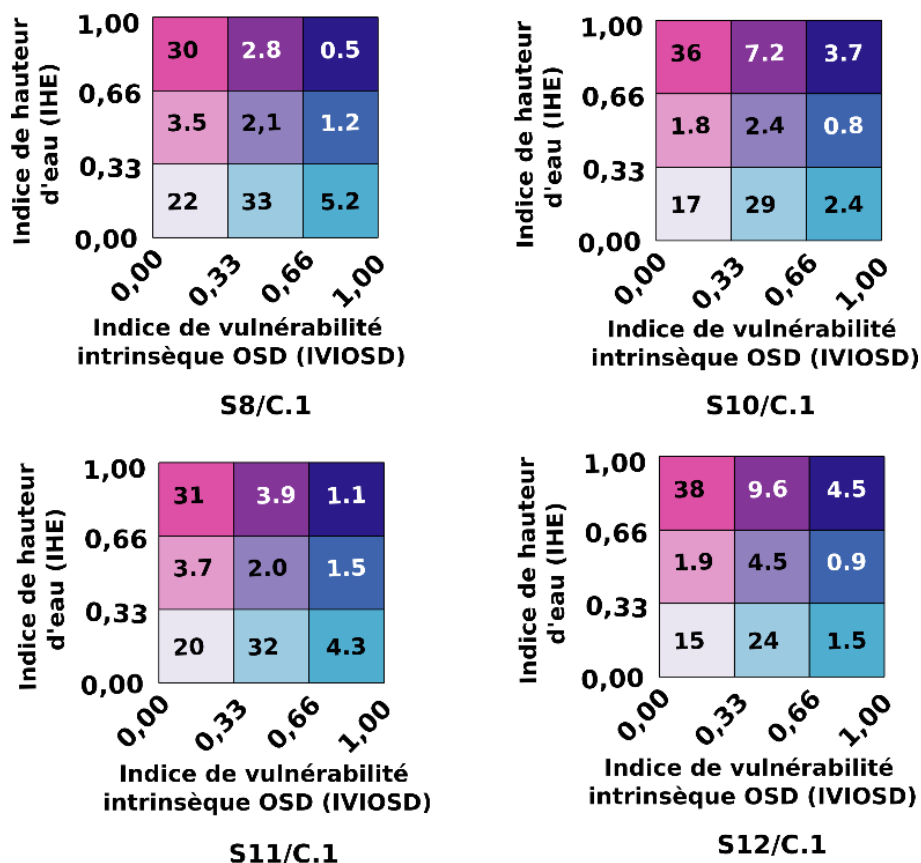


Figure 6-14 : Proportion du niveau de vulnérabilité des superficies d'occupation du sol dans la partie nord de l'île Mandji, en relation avec les scénarios S8, S10, S11, S12 sous les conditions C.1. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Les zones dont le niveau de vulnérabilité est modéré, en raison surtout d'un haut niveau d'eau IHE élevé et d'une faible vulnérabilité intrinsèque des enjeux, se localisent principalement dans les zones naturelles (mangrove, forêt, végétation basse). Cette zone représente entre 30 % et 38 % de la surface de la partie nord de Port-Gentil, soit 27 km² à 31 km². À l'inverse, les zones où le niveau de vulnérabilité est modéré en raison de leur forte vulnérabilité intrinsèque et de leur faible niveau d'impact se localisent naturellement dans la zone urbanisée. Cette zone représente 5,2 % en S8, 2,4 % en S10, 4,3 % en S11 et 1,5 % en S12 (Figure 6-14 Erreur ! Source du renvoi introuvable.).

6.2.3.4 Vulnérabilité physique de l'utilisation du sol de l'île Mandji Nord : le cas du scénario S12 dans les conditions C.3

Avec le scénario S12 dans les conditions C.3, notamment les conditions extrêmes dans le golfe de Guinée selon les travaux de recherche de (Guiavarc'h, 2007), on observe une augmentation spatiale de la zone inondable (Figure 6-6 Erreur ! Source du renvoi introuvable.).

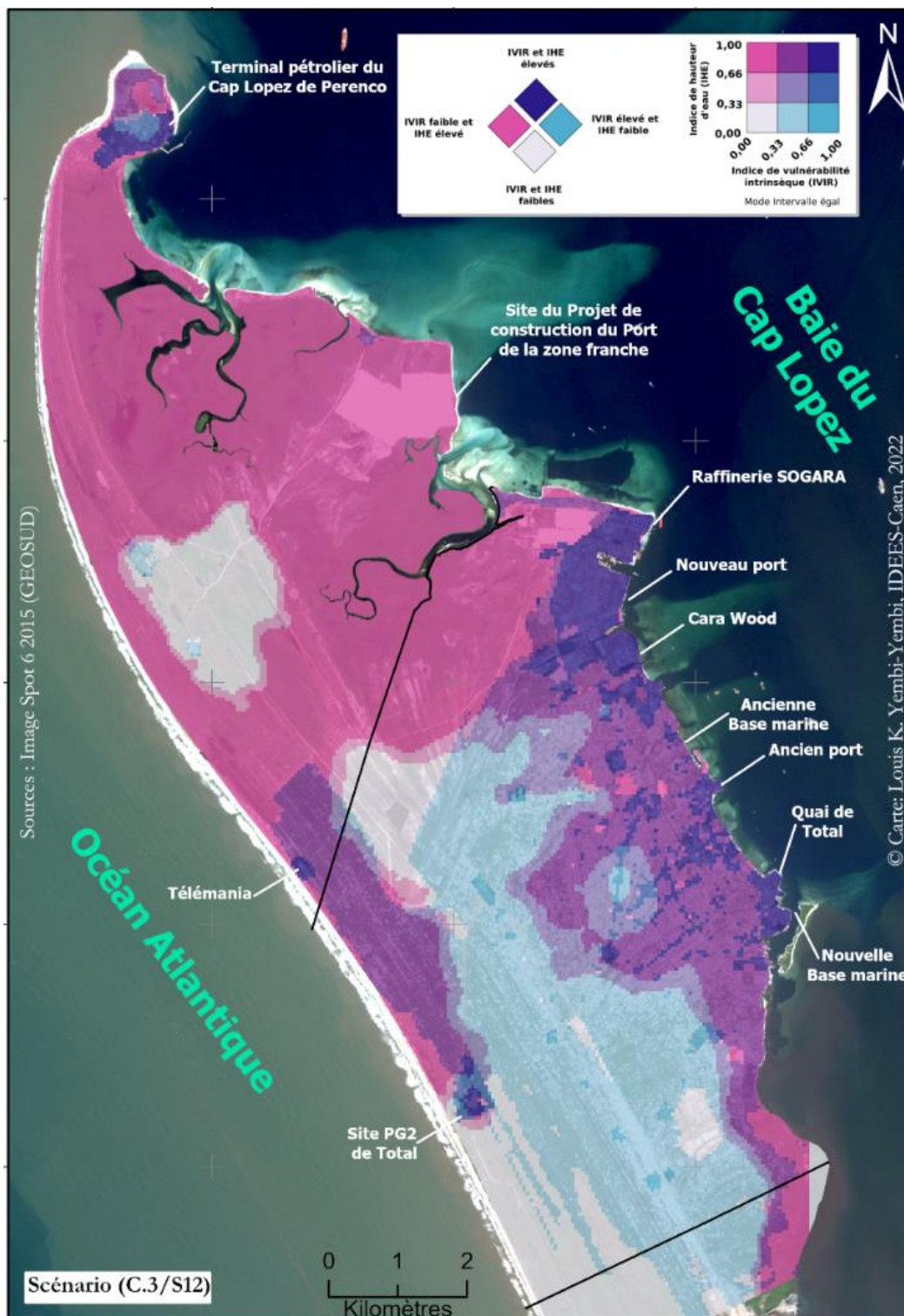


Figure 6-15 : Cartographie de la vulnérabilité physique de l'occupation du sol dominant en fonction du scénario S12, sous les conditions C.3. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Sachant que ce scénario est le plus extrême de nos cartographies d'aléa, il va sans dire que l'impact sur les enjeux sera également plus important. En effet, la carte de la Figure 6-15 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, montre les effets du scénario S12 dans les conditions C.1, mais amplifié.

Les combinaisons IHE et IVIOSD élevés couvrent tout de même 5,7 % de la surface totale de la zone nord de l'île Mandji, soit 5,2 km². Cette superficie englobe principalement les sites stratégiques de la ville, voire du pays. Il s'agit de la zone du terminal pétrolier du Cap Lopez, de la zone industrielle du nouveau port, avec la raffinerie de la SOGARA. Des sites fournisseurs d'énergie tels que la centrale thermique de la SEEG et Télémania sont également dans cette enveloppe d'impact. Ces sites vitaux dont le niveau de vulnérabilité entraînera des conséquences sur d'autres sites, tels que les centres de soins et de sécurité, les commerces, l'administration, etc. Le niveau de vulnérabilité correspondante à IHE élevé et IVIOSD moyen se retrouve en grande partie dans la commune, et jusque dans le centre de la commune. Elle représente pratiquement 12 % de la superficie de la commune, soit 14 km² sachant que la commune a une superficie de 52 km² (Figure 6-16) **Erreur! Source du renvoi introuvable.** Cette combinaison se localise surtout dans les zones résidentielles denses du centre de Port-Gentil. Sur cette cartographie, 41 % des surfaces correspondent à la combinaison IHE élevé et IVIOSD faible. Comme pour les autres cartographies dans la condition C.1, cette zone correspond aux zones naturelles (Figure 6-15 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

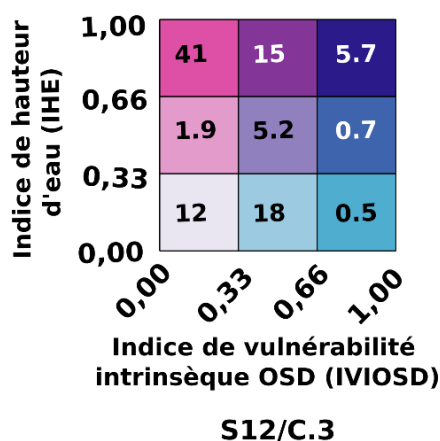


Figure 6-16 : Proportion du niveau de vulnérabilité des superficies d'occupation du sol dans la partie nord de l'île Mandji, en relation avec le scénario S12 sous les conditions C.3. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Un regard détaillé sur les classes d'occupation du sol dominant révèle, selon le scénario extrême (S12/C.3), que 78 % de la surface en construction en 2019 seraient impactées. De cette proportion, 28 % pourraient se trouver immergées sous 1 mètre d'eau, voire davantage. L'orientation de la construction vers la zone potentiellement exposée indique le manque de prise en compte de ce phénomène dans les plans d'investissement des habitants de Port-Gentil. Tous les sites abritant des administrations seront impactés à hauteur de 100 %, de même que ceux hébergeant des structures de production d'énergie. De plus, ces installations de production d'énergie seront gravement affectées, avec des hauteurs d'eau variant de 0,5 m à plus de 1 mètre. Il est possible que plus de

60 % des sites abritant des services de santé soient fortement impactés, avec des hauteurs d'eau allant de 0,5 m à plus de 1 m (Tableau 6-3 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Néanmoins, par crainte des problèmes environnementaux que peut engendrer l'inondation de la décharge municipale, il est à noter que cette dernière ne sera pas impactée, car 100 % de la surface de son site actuel serait sans conséquence. Toutefois, avec l'extension de cette décharge vers les mangroves, cette tendance pourrait évoluer d'ici à 2100. En revanche, pour des raisons environnementales, il semble que plus de 90 % des sites industriels seraient impactés, dont 67 % dans des zones où le niveau d'eau atteindrait plus de 1 mètre. L'exposition de ces sites met en lumière une planification urbaine qui ne prend pas en compte les risques, notamment celui d'inondation par la mer. Cette exposition potentielle des enjeux dans la commune soulève des questions sur les problèmes de planification et sur les outils d'aménagement du territoire pour une gestion intégrée de la cité portgentillaise. Le tableau ci-dessus (Tableau 6-3 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) présente de manière détaillée l'exposition de chaque unité d'occupation du sol pour le scénario S12 dans les conditions C.3.

Classe d'OSD	Hauteur d'eau					Total
	Non impactée	< 0,3 m	0,3 m - 0,5 m	0,5 m - 1 m	>1 m	
Abandonnée ou en construction	22,46 %	19,00 %	20,73 %	9,50 %	28,32 %	100,00 %
Administrative	0,00 %	8,31 %	0,00 %	22,84 %	68,85 %	100,00 %
Aéroport	42,24 %	31,04 %	12,84 %	10,90 %	2,99 %	100,00 %
Agricole	84,78 %	3,04 %	3,91 %	8,26 %	0,00 %	100,00 %
Bureau et service	0,00 %	3,60 %	3,60 %	13,20 %	79,60 %	100,00 %
Cimetière	65,67 %	6,48 %	2,59 %	16,84 %	8,42 %	100,00 %
Commerciale	6,66 %	0,00 %	13,32 %	24,73 %	55,29 %	100,00 %
Décharge	100,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	100,00 %
Dépôt Hydrocarbure	0,00 %	0,00 %	20,13 %	39,47 %	40,40 %	100,00 %
Education	14,44 %	2,59 %	5,93 %	61,11 %	15,93 %	100,00 %
Energie	0,00 %	0,00 %	0,00 %	37,75 %	62,25 %	100,00 %
Forêt	4,17 %	7,87 %	10,65 %	37,04 %	40,28 %	100,00 %
Industrielle/Atelier	3,16 %	1,98 %	8,16 %	19,17 %	67,53 %	100,00 %
Loisir/sport	0,00 %	0,00 %	1,40 %	30,39 %	68,20 %	100,00 %
Mangrove	1,43 %	0,08 %	0,14 %	0,41 %	97,93 %	100,00 %
Religion	8,00 %	4,00 %	24,00 %	56,00 %	8,00 %	100,00 %
Résidentielle dense	21,97 %	9,67 %	20,86 %	32,17 %	15,32 %	100,00 %
Résidentielle et commerciale	0,00 %	8,33 %	29,55 %	53,79 %	8,33 %	100,00 %
Résidentielle peu dense	47,18 %	10,90 %	9,16 %	12,47 %	20,29 %	100,00 %
Soin et sécurité	16,75 %	7,51 %	6,35 %	16,75 %	52,63 %	100,00 %
Sol nu	1,40 %	4,44 %	3,30 %	9,10 %	81,76 %	100,00 %
Surface en eau	14,55 %	5,33 %	7,17 %	14,67 %	58,29 %	100,00 %
Végétation basse	29,71 %	9,57 %	5,50 %	11,30 %	43,92 %	100,00 %
Total	23,63 %	7,52 %	7,87 %	13,72 %	47,26 %	100,00 %

Tableau 6-3 : Proportion des superficies d'occupation du sol affectées dans la partie nord de l'île Mandji, en relation avec le scénario S12 sous les conditions C.3

Dans l'ensemble, l'évaluation de la vulnérabilité de l'occupation du sol dominant à partir des 5 scénarios pertinents à cette échelle indique que la majorité des types d'occupation du sol situés dans le centre-ville de Port-Gentil sont considérés comme présentant une vulnérabilité des IHE élevés avec des IVIOSD moyens. Des secteurs très particuliers présentent une combinaison élevée dans les deux indices. L'occupation du sol dominant n'est pas le seul facteur important pour déterminer la vulnérabilité d'une ville aux inondations par la mer. L'occupation du sol va de pair avec le réseau routier qui constitue des infrastructures vitales. La sous-section suivante présente l'évaluation du réseau routier portgentillais.

6.2.3.5 Vulnérabilité physique du réseau routier : description des résultats

L'indice de vulnérabilité physique du réseau routier aux inondations par la mer (IVPR), élaboré dans le cadre de cette thèse, a été appliqué à l'ensemble du réseau de la partie nord de l'île Mandji, en tenant compte des 9 scénarios pertinents d'aléa cartographiés. Le calcul de cet indicateur s'est basé sur les cartes d'aléa générées à partir de données topographiques à l'échelle moyenne. La méthodologie d'agrégation des indicateurs utilisée pour développer cet indice de vulnérabilité physique des routes (IVPR) est expliquée au chapitre 4, précisément à la section 4.3. Comme pour l'enjeu occupation du sol dominant, pour une meilleure appréciation des résultats le dernier niveau d'agrégation permettant d'avoir une lecture d'indice de 0 à 1, n'est pas présenté ici. C'est résultat figure en annexe 6. Il sera question d'avoir cette double lecture de l'indice des hauteurs d'eau et indice vulnérabilité intrinsèque des routes (IVIR).

6.2.3.6 Vulnérabilité physique du réseau routier du nord de l'île Mandji selon le scénario S8, S10, S11 et S12 avec les conditions C.1

En raison d'un impact non significatif, la cartographie des réseaux potentiellement impactés par les scénarios S1 et S2 n'est pas présentée ici. L'indice de vulnérabilité physique des routes (IVPR) aux inondations par la mer, élaboré pour cette part de l'île, a été appliqué aux scénarios S8, S10, S11 et S12 dans les conditions de C.1, ainsi qu'au scénario S12 dans les conditions du C.3.

Pour ce qui est des quatre premiers scénarios (Figure 6-17 **Erreur! Source du renvoi introuvable.**), les résultats indiqueraient que 102 km sur les 425 km du réseau de la partie nord, soit 27 % du réseau routier, seraient impactés selon le scénario S8. Comme mentionné précédemment, cela correspondrait potentiellement au niveau PMVE d'ici à 2100 selon les hypothèses du GIEC (**PMVE+SSP5-8.5 (2100)**), soit une hauteur de 2,66 m. Dans ce scénario, 2,3 % du linéaire routier présenteraient un niveau de vulnérabilité élevé, exprimé par un IHE et un IVIR élevés, soit 9,8 km. Le linéaire concerné se localise principalement dans le quartier PG2 sur la côte ouest, caractérisé par des routes non revêtues pratiquement impraticables en saison de pluie. Sur la côte est, notamment dans le secteur entre le carrefour de la douane et l'ancienne base marine,

Chapitre 6 : Évaluation et cartographie de la vulnérabilité physique de Port-Gentil face aux inondations par la mer : une réalité territoriale

la vulnérabilité est plus ou moins forte, généralement de niveau moyen, caractérisé par un IHE élevé et un IVIR moyen (4,5 %, soit 19 km) ainsi que des IHE et IVIR moyens (4,3 %, soit 18 km).

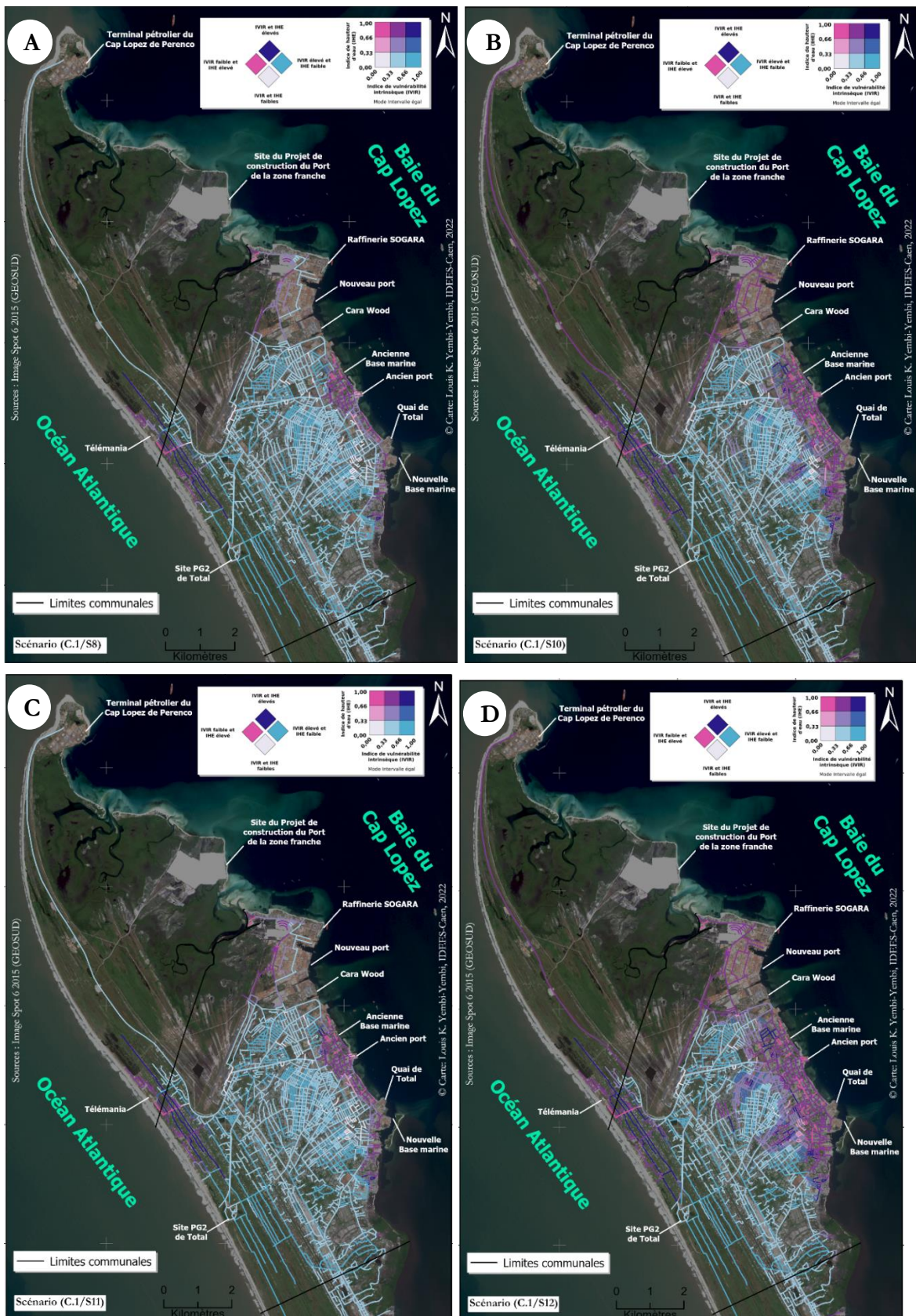


Figure 6-17 : Cartographies de la vulnérabilité du réseau en relation avec les scénarios S8, S10, S11 et S12 sous les conditions C.1. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Selon le scénario S11, qui prend en compte le niveau observé au marégraphe lors de l'événement de 1962, incluant le wave setup (0,14 cm) et la montée prévue du niveau marin pour 2100 selon le scénario optimiste du GIEC, soit 0,5 m (**$\eta + \text{SSP1} -1.9 (2100)$**), 31 % du réseau seraient impactés par ce scénario soit 128 km sur les 428 km. Les zones impactées et les combinaisons des deux indices correspondent à celles du S8.

En prenant les deux scénarios extrêmes en termes de niveau d'eau dans les conditions du C.1, notamment celui prenant le niveau observé au marégraphe lors de l'événement de 1962 et les projections pessimistes du GIEC (**$\text{Niv. Observé} + \text{SSP5}-8.5 (2100)$**) (S10), et celui prenant le scénario combinant le niveau observé lors de l'événement de 1962, plus le wave setup et la montée des eaux d'ici à 2100 (**$\eta + \text{SSP5} -8.5 (2100)$**) (S12), avec respectivement les niveaux d'eau de 2,76 m et de 3,26 m, le réseau routier serait exposé à 53,3 % et 63 %, soit 10 % en plus du réseau impacté. Dans les scénarios deux scénarios, le réseau de la première couronne urbaine serait le plus éprouvé, comme le montrent les cartographies B et D de la Figure 6-17 **Erreur! Source du renvoi introuvable.** Les combinaisons IHE élève et un IVIR moyen représente 16 %, soit 70 km du réseau total dans le S10 et dans le S12, 21 %, soit 88 km du réseau total. Pour ce qui est de la combinaison IHE et d'IVIR élevés se localisent particulièrement dans cette zone, ainsi que sur la côte ouest, dans le quartier PG2, représente soit 3,8 % et 5,6 % du réseau total, soit respectivement 16 km et 23 km.

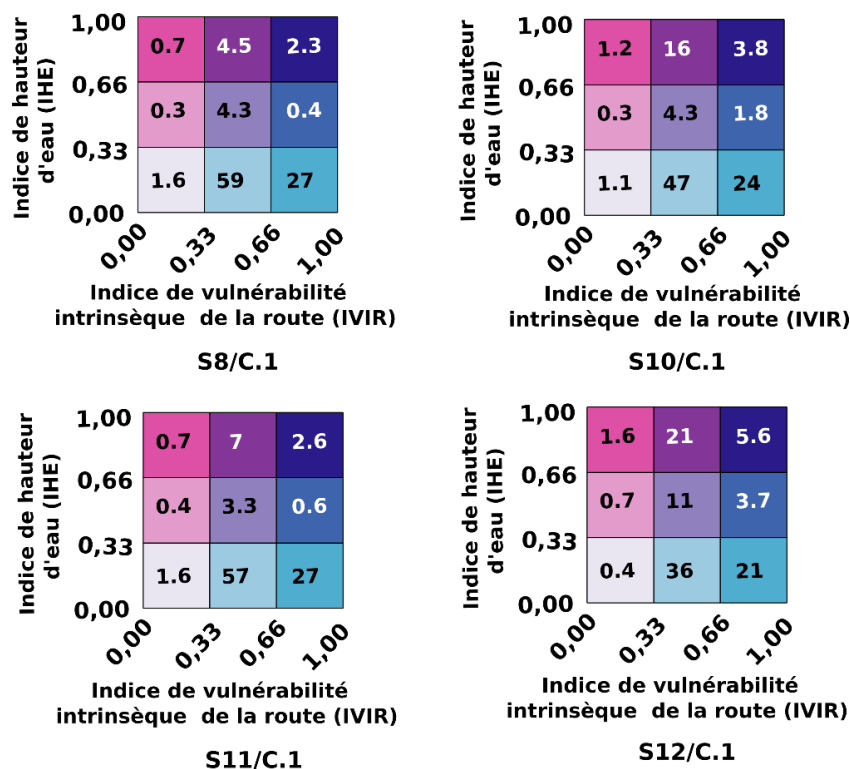
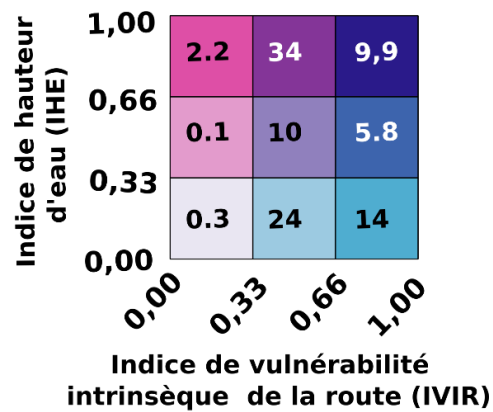


Figure 6-18 : proportion de la vulnérabilité du réseau routier en fonction des combinaisons IHE et IVIR pour les scénarios S8, S10, S11, S12 dans les conditions C.1. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

6.2.3.7 Vulnérabilité physique du réseau routier du nord de l'île Mandji selon le scénario S12 avec les conditions C.3

Dans le contexte du scénario le plus extrême (S12 C.3), 76 % du réseau seraient impactés par l'aléa d'inondation marine d'ici 2100 dans les conditions C.3 (***η* +SSP5 -8.5 (2100)**) (Figure 6-20 *Erreur ! Source du renvoi introuvable.*). La proportion de routes présentant une vulnérabilité élevée (IHE et IVIR élevés) serait de 9,9 %, soit 42 km. Cette proportion se situe principalement dans les quartiers du centre, abritant des canaux, notamment à la balise et à Roger Butin. À cela s'ajoutent ceux du quartier PG2, majoritairement composés de routes sans revêtement. Entre le S12 du C.1 et le S12 du C.3, cette proportion de routes présentant une vulnérabilité élevée a été multipliée par 2. En revanche, la proportion de routes présentant un niveau de vulnérabilité plus ou moins élevé en raison d'un IHE élevé et d'un IVIR moyen a augmenté de près de 1,5 par rapport au S12 du C.1, passant de 21 % à 34 % (Figure 6-19 *Erreur ! Source du renvoi introuvable.*). Cette augmentation s'explique par l'exposition du centre de la commune, où l'on trouve plusieurs routes en latérite ainsi que des routes bitumées telles que celles du cap Lopez et la route principale à deux voies partant du carrefour Cora Wood jusqu'au carrefour Forasol. Cela représente 143 km de l'ensemble du linéaire routier.



S12/C.3

Figure 6-19 : proportion de la vulnérabilité du réseau routier en fonction des combinaisons IHE et IVIR pour le scénario S12 dans les conditions C.3. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

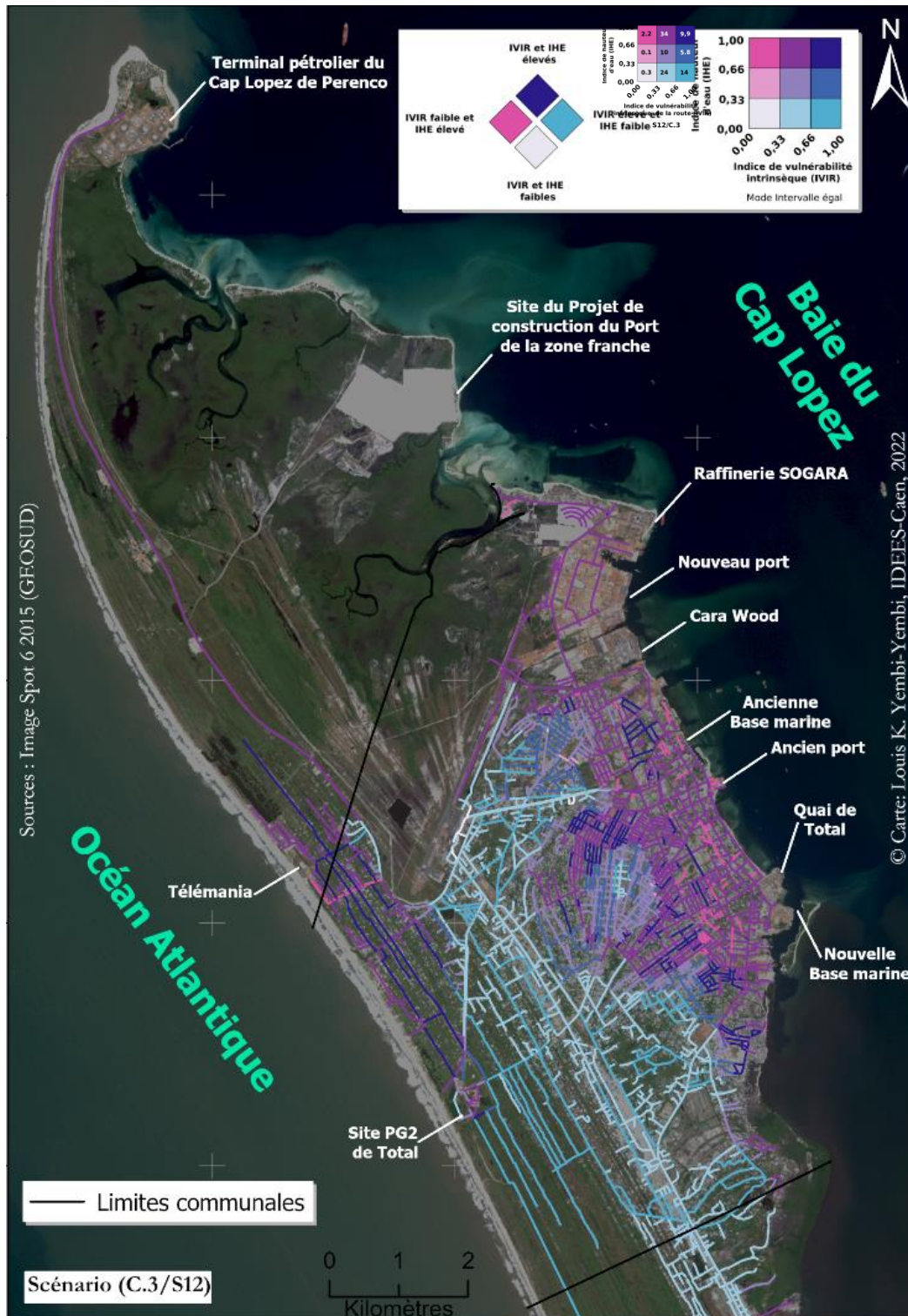


Figure 6-20 : Niveau de vulnérabilité du réseau routier en relation avec le scénario S12 sous les conditions C.3. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Le Tableau 6-4 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente la proportion de linéaire de route qui serait potentiellement exposée ou pas aux inondations par la mer selon le S12 dans les conditions C.3, et selon le type de route et de revêtement. Selon ce scénario, 24 % seulement du

réseau ne serait pas exposé contre 76 %. Dans cette part importante, nous pouvons observer que 57 % des routes principales seraient potentiellement exposés à des hauteurs d'eau entre 0,5 m à plus de 1 m, ainsi que 36 % des routes tertiaires qui sont dans la grande majorité en très mauvais état, voire pas bitumé.

	Non impactée	<0,3 m	0,3 m - 0,5 m	0,5 m - 1 m	>1 m	Total
Type de route						
Chemin	4,2 %	6,6 %	37,4 %	44,6 %	7,2 %	100,0 %
Principale	15,6 %	13,2 %	13,1 %	25,8 %	32,2 %	100,0 %
Secondaire	18,5 %	16,6 %	19,7 %	27,3 %	17,9 %	100,0 %
Tertiaire	39,1 %	12,8 %	10,7 %	16,8 %	20,6 %	100,0 %
Total général	24,0 %	14,4 %	16,0 %	24,2 %	21,5 %	100,0 %
Revêtement						
Béton	0,0 %	0,0 %	2,5 %	3,2 %	94,3 %	100,0 %
Bitume	13,5 %	10,1 %	11,6 %	32,7 %	32,1 %	100,0 %
Latérite	4,9 %	8,1 %	10,9 %	33,1 %	43,0 %	100,0 %
Pavé	1,2 %	11,5 %	60,3 %	22,3 %	4,7 %	100,0 %
Sable	31,8 %	17,3 %	17,3 %	19,7 %	14,0 %	100,0 %
Total général	24,0 %	14,4 %	16,0 %	24,2 %	21,5 %	100,0 %

Tableau 6-4 : Proportion du réseau routier affecté dans la partie nord de l'île Mandji, selon le type de route et de revêtement en relation avec le scénario S12 sous les conditions C.3.

6.2.4 Synthèse à l'échelle de la commune

La Figure 6-21 présente l'indice de vulnérabilité physique des quartiers de la commune de Port-Gentil. Les cartes intermédiaires utilisées pour élaborer cette représentation comprennent la carte (A) qui présente l'indice d'exposition aux hauteurs d'eau (IHE) à partir de la carte d'exposition extrême (S12 C.3). La carte (B) illustre l'indice de vulnérabilité intrinsèque de l'occupation du sol dominant (IVIOSD) par quartier, tandis que la carte (C) présente l'indice de vulnérabilité intrinsèque du réseau routier par quartier. Cette cartographie confirme l'analyse de la situation urbaine de Port-Gentil au chapitre 2. En effet, la carte C révèle que les quartiers de la première et de la deuxième couronne urbaine de la ville ont un réseau plus ou moins en bon état, étant soit bitumés ou pavés, contrairement à la troisième couronne qui se caractérise par un réseau non planifié et en très mauvais état. Le croisement des cartes B et C a généré la carte de la vulnérabilité intrinsèque générale des quartiers (D). L'intersection de la carte A et de la carte D représente la vulnérabilité physique des quartiers de la commune, comme illustré sur la carte de la Figure 6-23 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Les quartiers qui seraient plus ou moins très vulnérables, sont notamment Masuku, le Champ, Pavé Salsa et la Prison, etc., qui sont à plus de 3 km dans les terres.

Chapitre 6 : Évaluation et cartographie de la vulnérabilité physique de Port-Gentil face aux inondations par la mer : une réalité territoriale

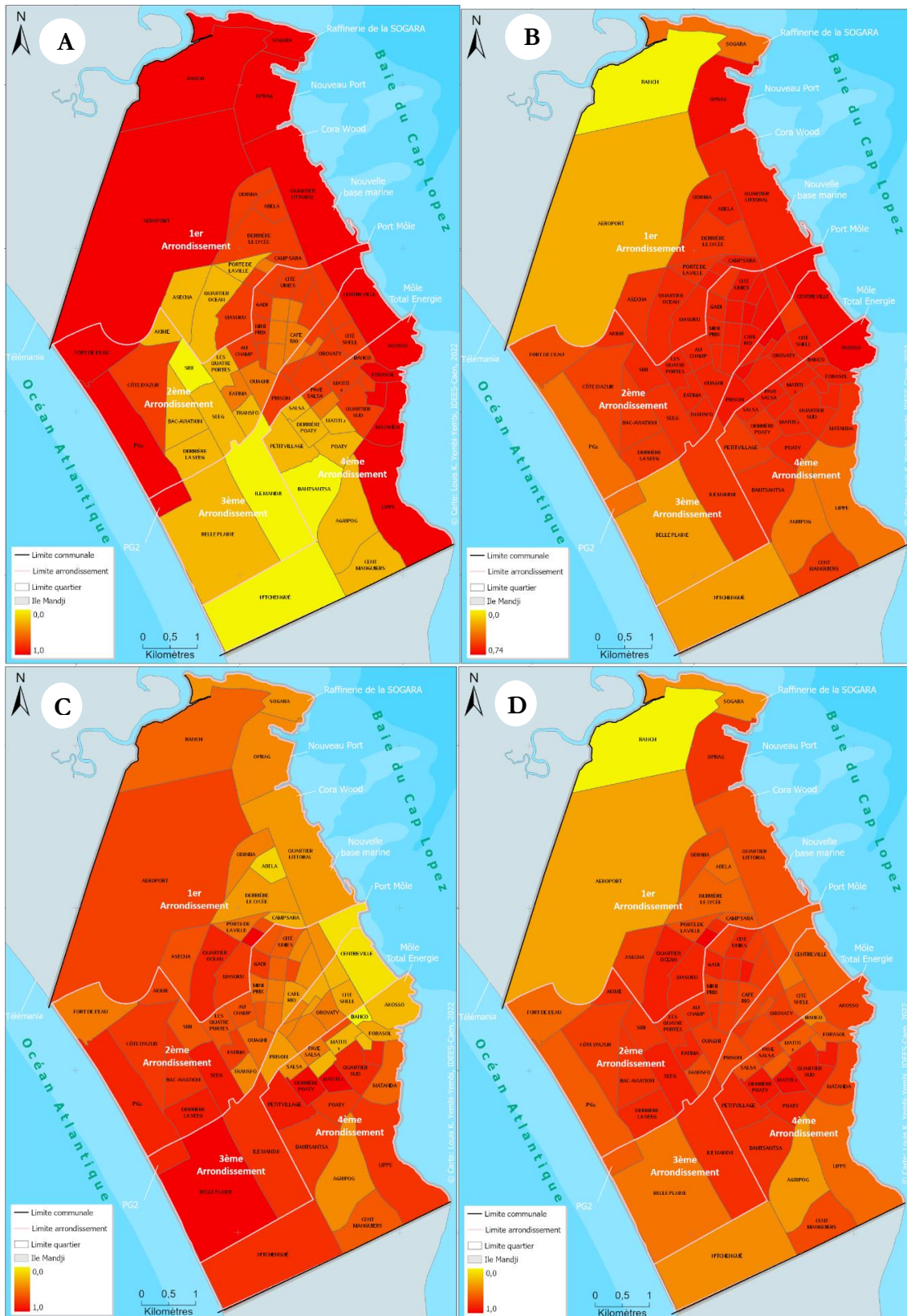


Figure 6-21 : synthèse des indices de vulnérabilité intrinsèque de la commune de Port-Gentil à l'échelle du quartier : (A) indice de hauteur d'eau (scénario S12/C.3) ; (B) indice de vulnérabilité intrinsèque de l'occupation du sol dominant (IVIOSD) ; (D) indice de vulnérabilité intrinsèque du réseau routier (IVIR) ; (C) indice de vulnérabilité intrinsèque général des quartiers (IVIQ). (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Une première analyse rapide de la cartographie de synthèse obtenue (Figure 6-22 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) fait apparaître une première catégorie de quartiers présentant une faible vulnérabilité. Cela englobe N'Tchégué, Ile Mandji, Sibi, Bantsantsa, AGRIPOG, etc. Une deuxième catégorie, affichant une vulnérabilité modérée, comprend des quartiers tels que Quartier Océan, Matiti 2, Poaty, ASECNA, etc. La particularité des quartiers peu ou moyennement vulnérables se retrouve en grande partie dans la troisième couronne urbaine de la ville et, dans une certaine mesure, dans la deuxième couronne, comme Café Rio ou la Balise. En revanche, l'ensemble des quartiers de la première couronne urbaine de la ville présentent un niveau de vulnérabilité allant de fort à très fort. Dans ce contexte, les quartiers le long de la côte est se distinguent comme les plus vulnérables en raison de la concentration et de la diversité des enjeux, parfois stratégiques, qui y sont présents. Deux autres quartiers requièrent une attention particulière en raison du niveau élevé de vulnérabilité qu'ils présentent, notamment PG2 et Fort de l'Eau, qui suivent une trajectoire de densification des enjeux. L'observation de la carte (A) de la Figure 6-21 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, révèle que c'est principalement l'aléa qui contribue à accroître leur vulnérabilité. Les deux quartiers du sud-est sont également très vulnérables, en raison des niveaux d'eau potentiels et de la densification de ces zones, en particulier pour Matanda. Il est à noter que certains quartiers du centre de la commune, tels que Massuku, le Champ, Pavé Salsa et la prison, présentent des niveaux de vulnérabilité variables, mais globalement élevés, bien qu'ils soient situés à plus de 3 km dans les terres.

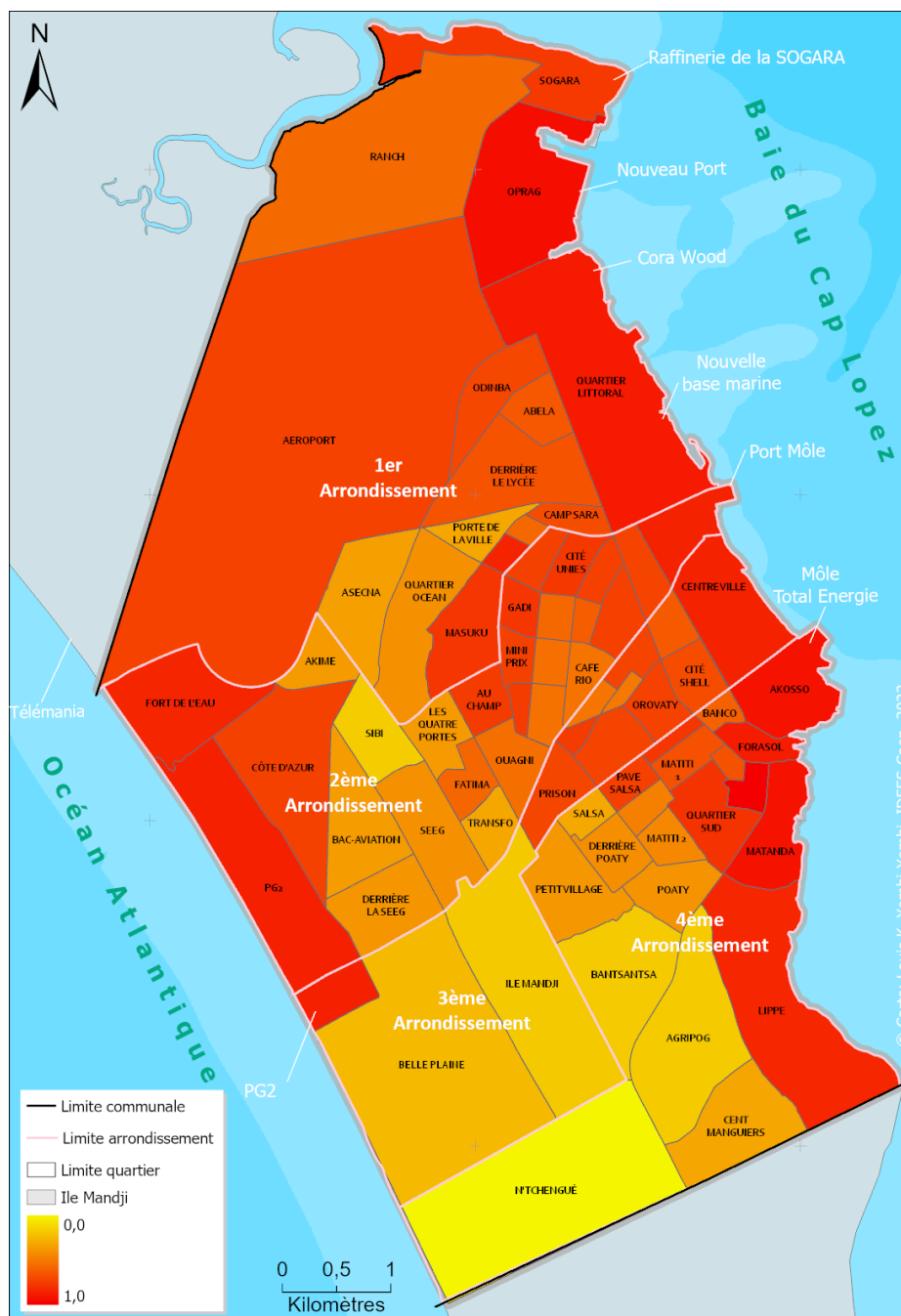


Figure 6-22 : carte de synthèse de la vulnérabilité physique des quartiers de Port-Gentil en prenant le scénario extrême dans les conditions C.3. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

6.3 Évaluation de la vulnérabilité physique à grande échelle

6.3.1 Cartographie de l'aléa focalisée sur le centre-ville

Pour une évaluation plus précise de la zone du centre-ville, qui semblait être la plus impactée selon les cartographies de l'aléa à une échelle moyenne, nous avons rejoué nos scénarios en intégrant le MNE réalisé par photogrammétrie par drone de cette zone. L'objectif était d'évaluer

quantitativement la distribution spatiale des zones inondées en se basant sur le Modèle Numérique d'Élévation (MNE). Dans la réalisation de ces cartographies d'aléa à grande échelle, nous avons appliqué le principe de connectivité hydrologique, tel que présenté à la Figure 3-25. Les cellules qui sont connectées au trait de côte ou aux canaux sont considérées comme des cellules hydrologiquement inondables, tandis que celles non connectées, sont considérées comme hydrologiquement non inondables. L'approche à 8 côtés, c'est-à-dire les faces et les angles d'une cellule sont prises en compte dans la connectivité hydrologique, a été appliquée pour déterminer les cellules hydrologiquement connectées sous ArcGIS Pro (Cooper *et al.*, 2013). La prise en compte des canaux et des fossés est justifiée par deux mécanismes d'inondation potentiels. Le premier mécanisme implique la remontée des eaux par les exutoires, tandis que le second concerne le débordement des canaux et fossés lors des grandes marées. Tout comme pour les cartographies d'aléa précédentes à une échelle moyenne, les six couches d'inondation ont été construites sur le même principe à travers le Système d'Information Géographique (SIG), en utilisant notamment ArcGIS Pro et l'outil que nous avons développé (Figure 3-24). Pour identifier les cellules ayant une continuité hydrologique avec le trait de côte, ainsi qu'avec les canaux et les fossés, nous avons utilisé la fonction d'intersection avec une itération jusqu'à ce qu'aucune cellule ne soit en contact avec les éléments énumérés précédemment.

6.3.1.1 Spatialisation de l'aléa selon les scénarios S1 et S2 reconstitué avec les conditions C.1 et le MNE haute précision : cartographie d'inondation potentielle actuelle

À la différence des cartes d'aléa à l'échelle moyenne qui illustrent les scénarios S1 et S2 dans les conditions C.1, présentant des zones inondables peu étendues, les cartes d'aléa à grande échelle intègrent une topographie prenant en compte les aménagements récents dans la ville et les opérations de remblai depuis les années 1974. Ces données, issues des cartes topographiques de l'IGN, ont été utilisées pour la production du Modèle Numérique de Terrain (MNT) qui a servi à la réalisation des cartes d'aléa à moyenne échelle.

On observe, par exemple, que le scénario S1 révèle finalement que le front de mer pourrait être exposé à un niveau d'eau équivalent à celui de l'événement de 1962, sans le wave setup (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** A). Cela concerne particulièrement les secteurs de la BEAC et de la résidence provinciale de la présidence de la République, où les travaux de construction de la digue ne sont pas encore achevés, entraînant une intrusion des eaux jusqu'à l'intérieur de la direction provinciale des travaux publics. Actuellement, on peut observer une intrusion des eaux de mer par-dessus la digue (Figure 6-24**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) lors de fortes marées accompagnées de forts vents. De même, dans le secteur où la digue n'est pas achevée, on observe également une dégradation de la route principale (Figure 6-25**Erreur ! Source du renvoi**

introuvable.) Le secteur de l'ancienne base marine, toujours opérationnelle, pourrait également être impacté, de même que la zone du lycée technique.

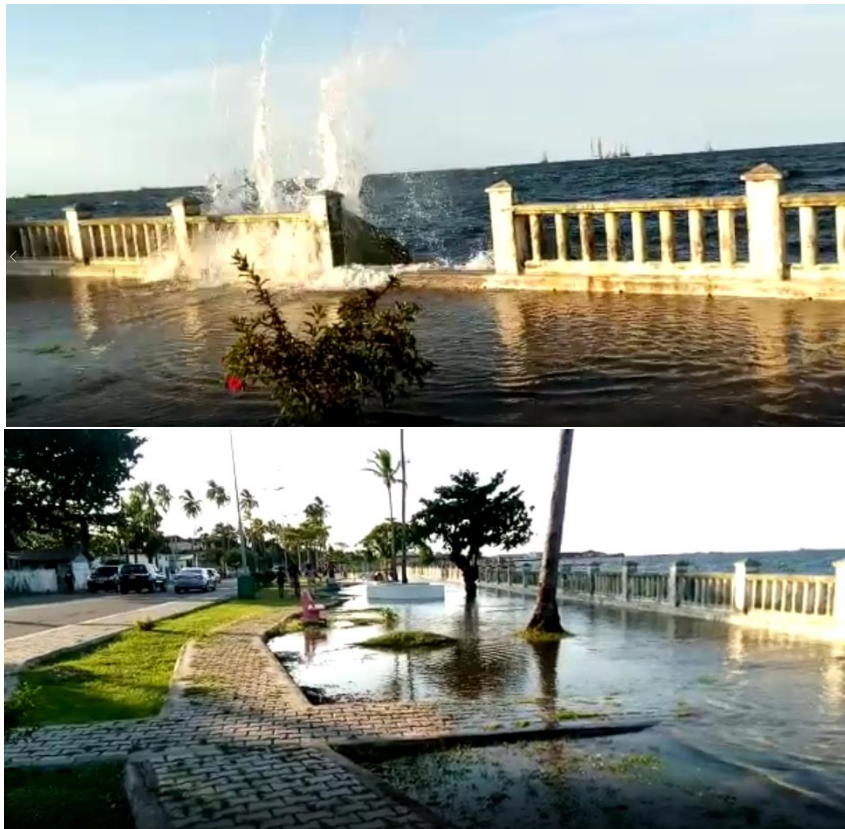


Figure 6-23 : Vue du front de mer de la côte est au niveau de de l'hôtel Mandji (Extraits d'une vidéo sur les réseaux sociaux)



Figure 6-24 : Vue de la principale route du front de mer de la côte est au niveau de la BEAC en dégradation en raison des travaux de la digue inachevés

Il est à noter que le système de canaux pourrait accentuer les inondations dans la ville, entraînant des débordements à certains points, comme cela est observé dans le secteur de la foire municipale sur ces cartes. Cette situation n'est pas relevée dans les cartes à moyenne échelle. L'amplification de ces zones inondables devient plus prononcée lorsqu'on intègre la lame d'eau résultant du wave

setup, entraînant notamment une intrusion des eaux dans la brasserie SBOM, mais aussi à la foire, à la cité SATOM, et derrière le CDB (Figure 6-25 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** B).

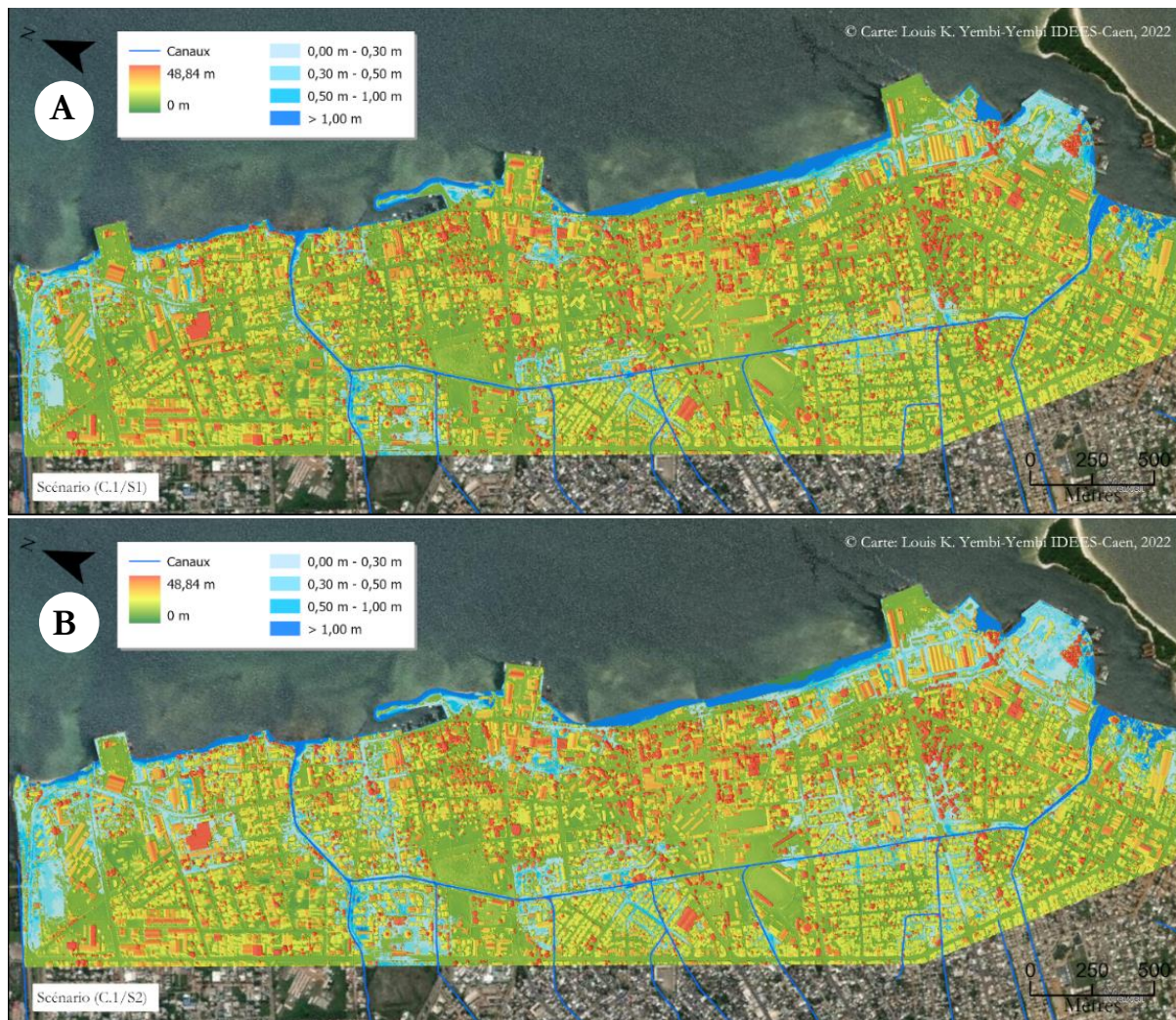


Figure 6-25 : Cartographie de l'aléa inondation marine selon les scénarios S1(A) et S2 (B) dans les conditions C.1 (Réalisation L. YEMBI, 2022)

6.3.1.2 Spatialisation de l'aléa selon scénario S8, S10 et S11reconstitué avec les conditions C.1 et le MNE haute précision : cartographie prospective

Les scénarios S8, S10 et S11 sont dits prospectifs. Ils prennent en compte les hypothèses pessimistes, notamment pour le S8, S10 et S12, ainsi qu'optimistes avec le S11 quant à l'élévation du niveau de la mer, telle que présentée par le GIEC dans le rapport de 2022. Cette sous-section, vise à d'analyser l'évolution des zones inondables à partir d'un modèle numérique d'élévation actualisé, explorant différente situation potentielle d'ici à 2100.

Les scénarios illustrés à la Figure 6-27 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** permettent d'identifier les secteurs de cette partie de la ville susceptibles d'être fortement impactés.

Contrairement aux cartographies d'aléas à l'échelle moyenne, l'intégration d'une topographie mise à jour révèle que l'ensemble de la ville n'est pas exposé ; par exemple, la zone du Lycée Raponda Walker semble ne pas être affectée, quel que soit le scénario envisagé. Cette information peut être importante pour la planification des évacuations, en aidant à déterminer les zones capables de recevoir des sinistrés. Un élément récurrent dans toutes ces cartes est le rôle potentiellement aggravant du système de canaux dans cette partie de la ville, avec des risques de débordements, en particulier aux endroits où les canaux sont mal ou pas entretenus (Figure 6-26 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).



Figure 6-26 : Etat des Palplanches des canaux de la ville comme facteur d'aggravation des inondations dans le centre-ville (photo prise le 5 décembre 2021 à 14h48, Niveau de la marée prédite 1,3 m (NGCLZ) marée montante avec un niveau absolu prédit à 1,79 m (NGCLZ).

Le centre-ville de Port-Gentil présente une certaine vulnérabilité et peut être impacté par le scénario S8 (Figure 6-27 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** A), représentant le PMVE d'ici à 2100 selon l'hypothèse pessimiste du GIEC. Avec un niveau d'eau de 2,66 m, l'enveloppe potentiellement inondable est relativement étendue. Cependant, il semble que les zones inondables dépasseront rarement les niveaux de 1 m. Le deuxième scénario, S10 (Figure 6-27 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** B), traduisant le niveau observé plus une élévation du niveau de la mer de 1 m, aurait un impact plus important sur le centre-ville, en particulier sur la nouvelle base marine, le carrefour de la douane, le lycée technique et la foire. En effet, les niveaux d'eau dans ces secteurs pourraient atteindre 1 m. Pour les troisièmes scénarios S11 (Figure 6-27 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** C), traduisant le niveau observé en 1962 plus le wave setup et le niveau d'élévation du niveau d'eau prenant en compte l'hypothèse optimiste du GIEC (SSP1-9.1), il semble que ce scénario aurait moins d'impact sur le centre-ville que le scénario S10, ce qui est logique étant donné que le niveau d'eau associé à ce scénario est quasiment identique, seulement 10 cm au-dessus de celui du scénario S8, soit 2,66 m (NGCLZ).

Chapitre 6 : Évaluation et cartographie de la vulnérabilité physique de Port-Gentil face aux inondations par la mer : une réalité territoriale

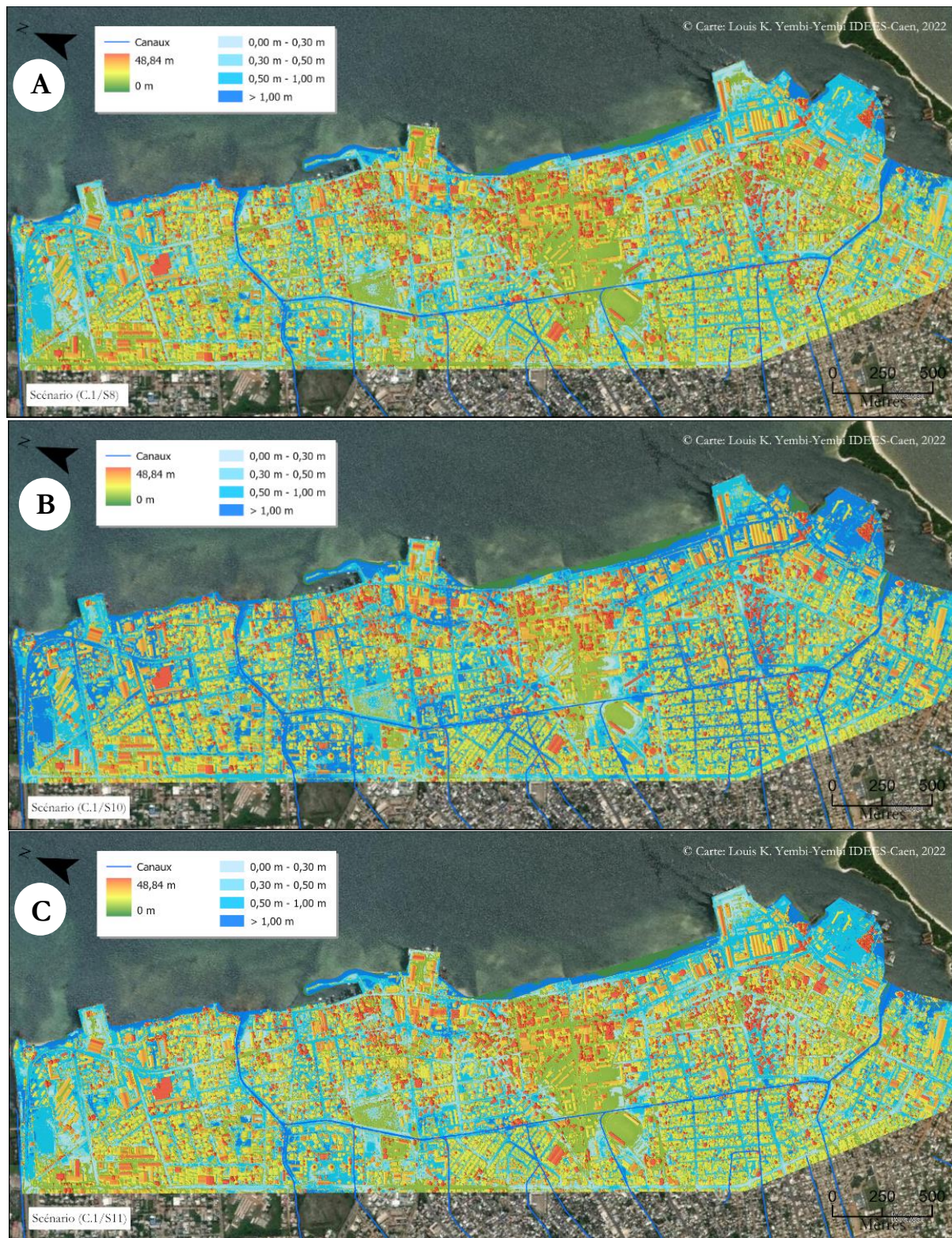


Figure 6-27 : Cartographies des zones inondables par la mer dans le centre-ville selon les scénarios S8 (A), S10 (B), S11 (C) et S12 (D) dans les conditions C.1 à partir du MNE généré par photogrammétrie. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

6.3.1.3 Spatialisation de l'aléa selon scénario S12 dans les conditions C.1 et S12 dans les conditions C.3 : cartographie prospective

Dans le pire des scénarios, correspondant aux conditions C.1, soit le scénario S12 (**Erreur ! Source d u renvoi introuvable. A**) traduisant les conditions futures du S2 en intégrant le niveau d'eau relatif à l'hypothèse pessimiste du GIEC 2022, une augmentation significative des zones inondables est perceptible. Environ 92 % de cette zone est susceptible d'être inondée, incluant une part importante de surfaces présentant des hauteurs d'eau dépassant 1 mètre. Cette situation est quasiment identique dans le cadre du S12 dans les conditions C.3 (**Erreur ! Source du renvoi introuvable. B**), avec une augmentation de 3 %, représentant ainsi 18 cm d'eau supplémentaires par rapport aux S12 du C.1.

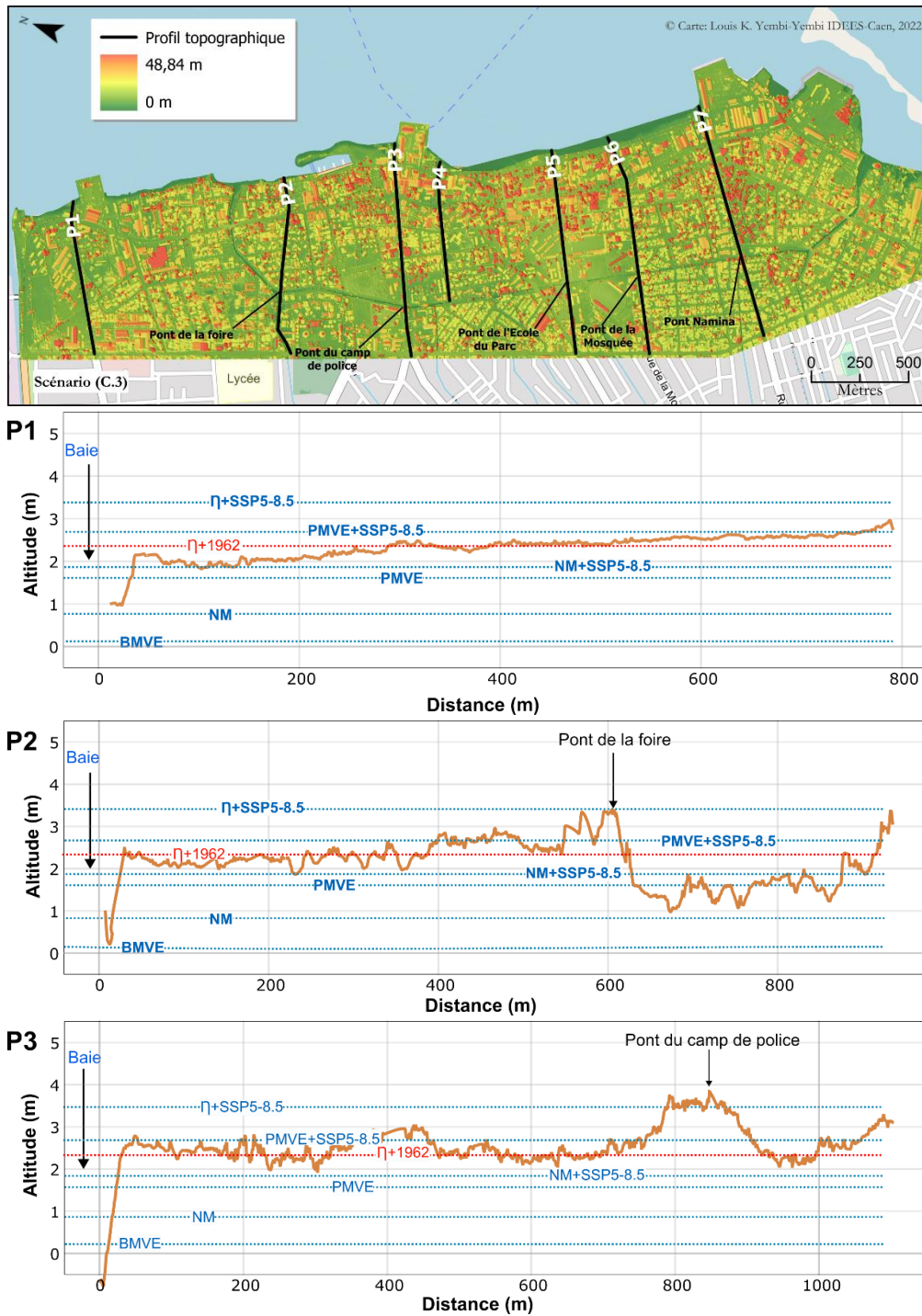


Figure 6-28 : Cartographies des zones inondables par la mer dans le centre-ville selon les scénarios S12 dans les conditions C.3 à partir du MNE généré par photogrammétrie. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Dans ces circonstances, les divers ports commerciaux et industriels seront défavorablement impactés par les inondations, le port pourrait subir des modifications dans ses caractéristiques

Chapitre 6 : Évaluation et cartographie de la vulnérabilité physique de Port-Gentil face aux inondations par la mer : une réalité territoriale

hydrauliques, telles que la houle et l'onde de marée, entraînant l'inondation des installations et la perte d'heures d'ouverture. Les planificateurs côtiers pourraient être en mesure d'identifier les installations nécessitant un déplacement vers l'intérieur des terres dans le cadre d'une retraite planifiée.



À partir des profils topographiques et des niveaux d'eau projetés, il devient évident que les ouvrages de protection seront inadéquats face aux futures inondations marines par débordement. Avec le niveau actuel des pleines mers de vives-eaux (1,66 m) et une élévation prévue de +1 m du niveau marin, la plupart des ouvrages de protection se situent en dessous du niveau marin projeté. De plus, en raison de la présence de canaux dans la ville, les inondations sont susceptibles de se propager davantage dans les terres (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**P2, P3, P4, P7).

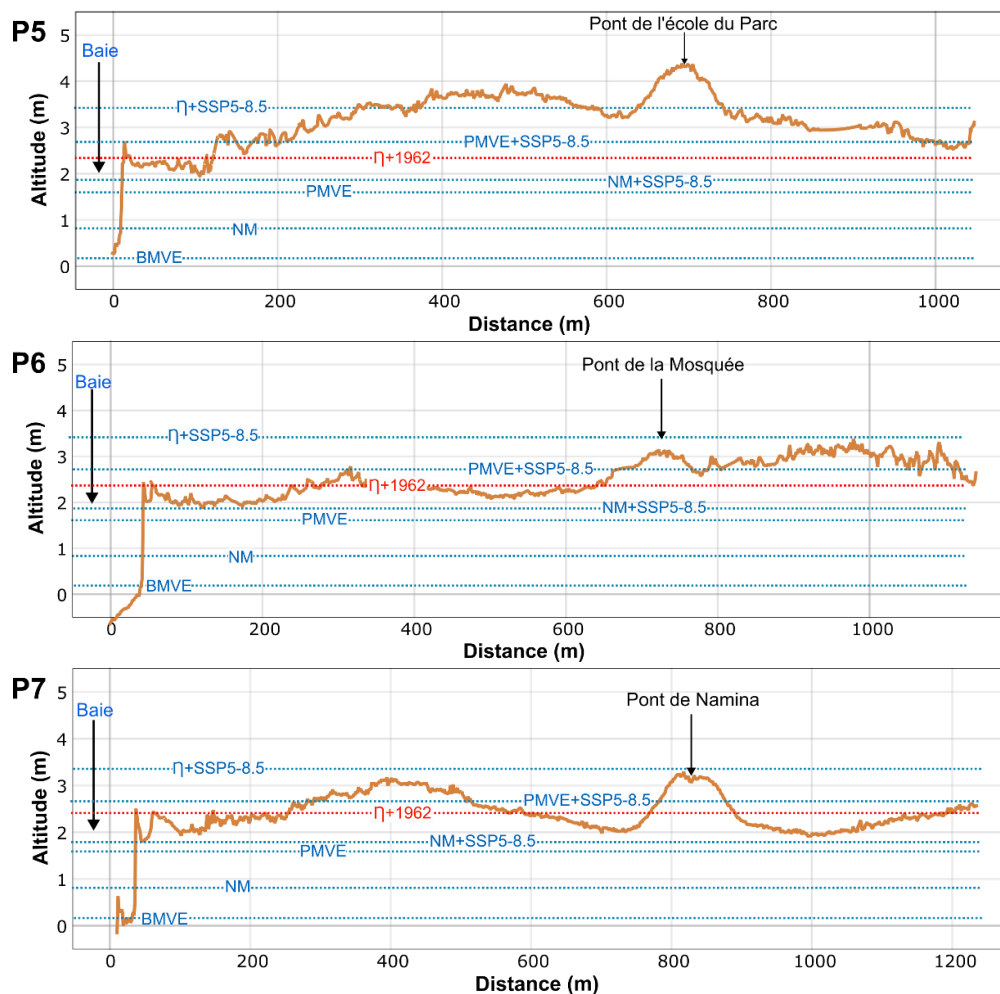


Figure 6-30 : Vue transversale des niveaux d'eau sur les profils topographiques P4, P5, P6 et P7 du secteur pilote (réalisation L. YEMBI, 2022).

Dans la partie nord, du centre-ville avec un niveau de la mer atteignant 2,66 m (PMVE+SSP5-8.5), une grande partie des protections de la digue du secteur Mamiwata (Figure 6-30 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** P1) serait débordée, entraînant l'inondation du Lycée technique. Le niveau d'eau pourrait être significatif dans les terres proches des canaux du côté de la foire, en raison d'une topographie inférieure à la PMVE actuelle, franchissant les palplanches des canaux (Figure 6-30 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, P2). Des débordements se produiraient le long des digues du centre (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, P4, P5 et P6) avec le scénario S 8 (PMVE+SSP5-8.5). À partir du scénario S12 du C.1 ($\eta + +SSP5 -8.5$), les hauteurs d'eau de plus de 1 m pourraient s'observer devant la digue de la zone nord du centre-ville (Figure 6-30 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, P1, P2, P3), et ceci serait également le cas pour la zone administrative, malgré la réhabilitation de la digue (Figure 6-30 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, P4, P5 et P6). Cette représentation en profil permet de saisir l'ampleur de l'impact de l'aléa sur cette partie de la ville.

6.3.2 Vers une meilleure connaissance des enjeux sur les bâtiments dans le centre-ville

En procédant à une quantification et une spatialisation des enjeux à une échelle moyenne dans la sous-section 6.2.2, il a été possible d'identifier les secteurs vulnérables de manière plus large. Cependant, cette première phase doit être affinée par une évaluation plus précise des secteurs les plus exposés et vulnérables. En effet, l'évaluation précédente n'a pas pris en compte la diversité des types d'infrastructures bâties, ce qui peut conduire à sous-estimer la vulnérabilité de certaines structures face aux risques naturels tels que les inondations.

Ainsi, il est important de considérer chaque structure de manière singulière, en prenant en compte ses caractéristiques propres en termes de sensibilité et de résilience aux effets des inondations. Par exemple, les hôpitaux et les écoles sont plus sensibles que les centres de loisirs. Nous nous focalisons sur les enjeux à une échelle fine, c'est-à-dire celle du bâti et du réseau routier. Notre objectif est d'affiner l'évaluation physique des enjeux présents dans la commune en identifiant les structures les plus vulnérables et en les localisant par rapport aux zones inondables cartographiées. Cette approche permettra d'adapter au mieux les mesures de prévention et de réduction de la vulnérabilité du territoire.

Chapitre 6 : Évaluation et cartographie de la vulnérabilité physique de Port-Gentil face aux inondations par la mer : une réalité territoriale

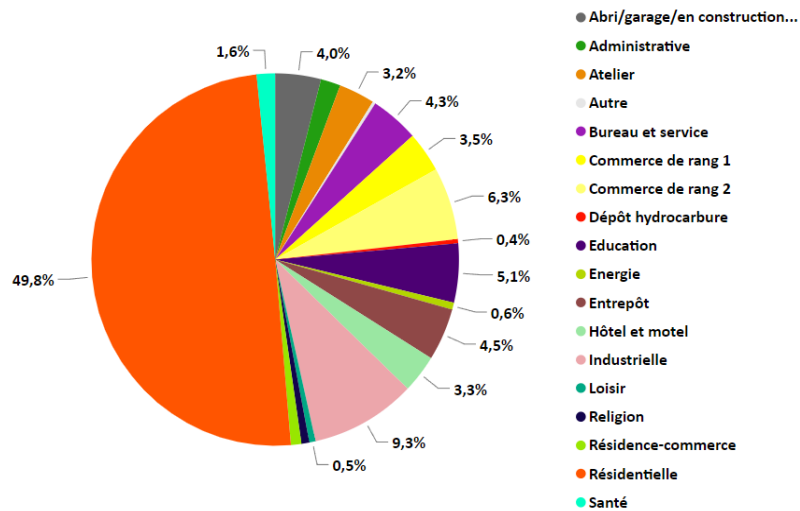


Figure 6-31 : statistique descriptive de la fonction du bâti

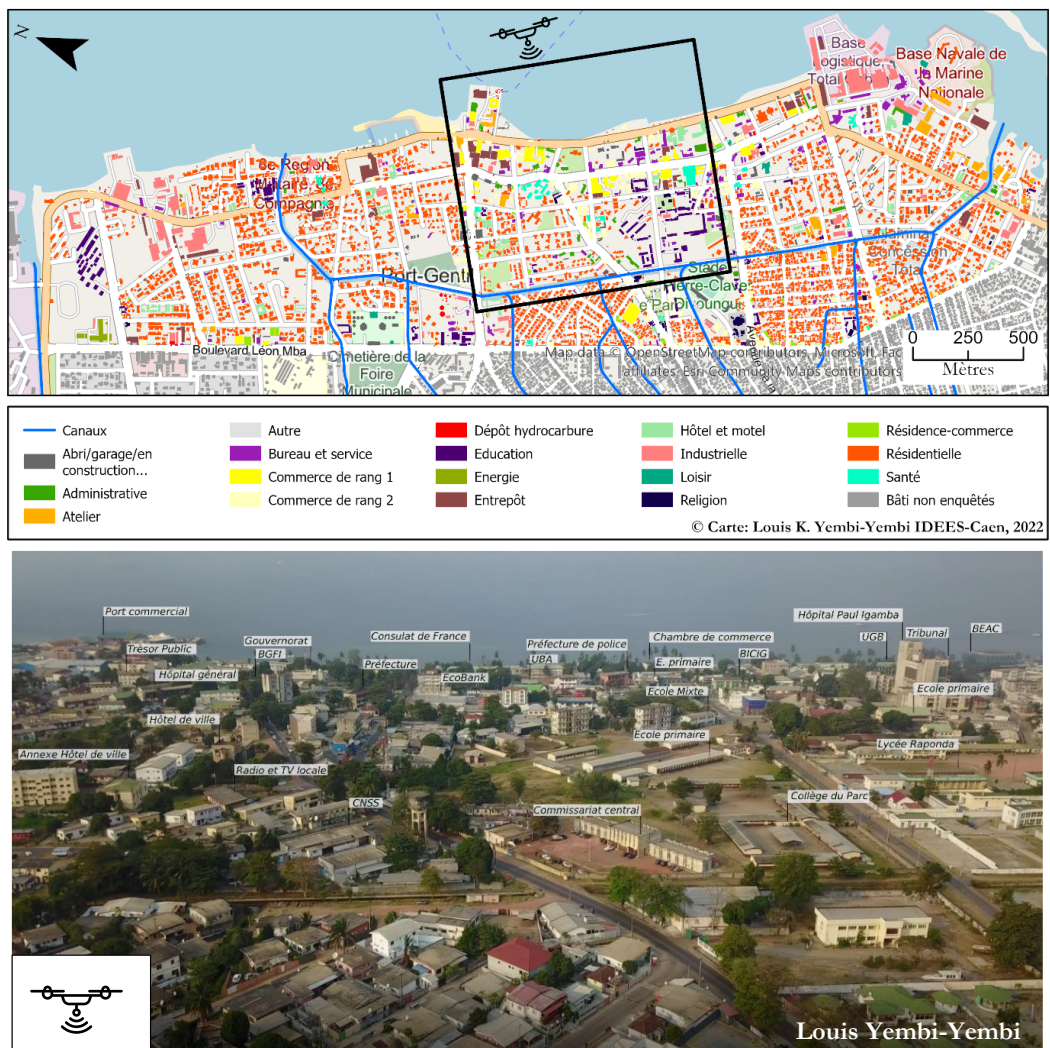


Figure 6-32 : Répartition spatiale des enjeux dans le centre-ville de Port-Gentil et vue oblique de la concentration des enjeux stratégiques dans un secteur d'environne 50 ha (Prise de vue oblique par drone, le 15 mars 2019) (Réalisation : L. YEMBI, 2022)

D'après l'analyse du bâti dans la zone du centre-ville, il est clair que cette partie de la ville est considérée comme un secteur important, voire stratégique. En effet, les constructions dans ce secteur sont principalement à usage résidentiel, représentant 49,8 % de toutes les constructions. Les bâtiments administratifs, quant à eux, ne représentent que 3 % des constructions totales dans cette zone, mais représentent pratiquement la totalité des bâtiments administratifs de la commune à plus de 92 %. De plus, dans ce secteur restreint, il est à noter que les bâtiments stratégiques sont concentrés sur une superficie de seulement 50 hectares. Cela indique une forte concentration d'activités clés dans cette zone de la ville (Figure 6-32 **Erreur! Source du renvoi introuvable.**). En outre, les bâtiments à usage industriel et commercial représentent 20 % de toutes les constructions dans cette zone. Ce chiffre élevé indique que le centre-ville est également un secteur économique important, jouant un rôle crucial dans l'activité économique de la ville.

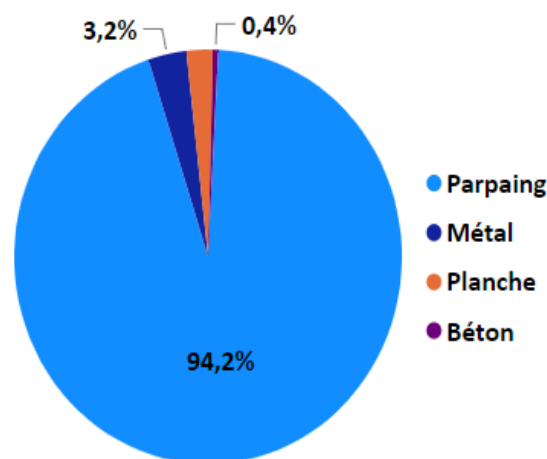


Figure 6-33 : Statistique des types de matériaux utilisés dans la construction à Port-Gentil

Le constat fait est que Port-Gentil est une ville moderne qui se caractérise par une forte utilisation de parpaing pour la construction des bâtiments. Cette tendance est présente dans toute la zone d'étude, pas seulement dans le centre-ville. Ce matériau de construction est surtout utilisé pour les constructions de type résidence, bureau et service, et commerce. 3 % des bâtiments sont construits avec du métal, souvent des hagdars industriels. Dans ce secteur, 2 % de ces bâtiments sont en planche. Ce faible taux de bâtiment en planche dans cette zone est le reflet de l'architecture des bâtiments de la commune. Cependant, malgré ces avantages, d'avoir un nombre important de bâtiments en parpaing, les données d'enquête révèlent une préoccupation majeure. En effet, près de 68 % des bâtiments ne sont pas suffisamment relevés, avec une hauteur du plancher ou des fondations hors sol inférieure ou égale à 0,3 cm (Figure 6-34 **Erreur! Source du renvoi**

introuvable. A). Cette situation est préoccupante compte tenu du fait que la topographie actuelle de la ville la place déjà à proximité du niveau des plus hautes eaux marines.

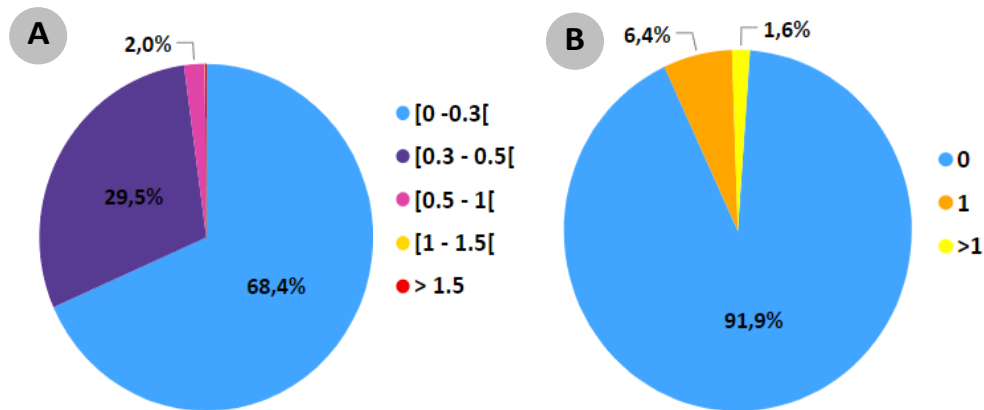


Figure 6-34 : Statistique descriptive sur le bâti du centre-ville de Port-Gentil. (A) statistique des hauteurs des fondations des bâtiments et (B) la statistique du nombre d'étages des bâtiments à Port-Gentil

Il est également important de noter que la plupart des constructions sont de plain-pied (91 %), avec très peu de bâtiments disposant d'un étage (Figure 6-34 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** B). Cette situation peut être problématique, car il est impossible d'évacuer le matériel vers des étages supérieurs en cas d'inondation.

6.3.3 Vulnérabilité physique du Bâti du centre-ville de Port-Gentil : description des résultats

À partir de la méthode qui a servi à évaluer la vulnérabilité l'utilisation du sol dominante et du réseau routier la vulnérabilité des bâtiments du centre-ville a été évaluée. Des coefficients, allant de 0 (faible importance) à 1 (grande importance), ont été attribués à différentes catégories telles que la fonction du bâti, la hauteur des fondations, le nombre d'étages et le type des matériaux de construction (Chapitre 4).

6.3.3.1 Vulnérabilité physique du bâti du centre-ville selon le scénario S8, S10, S11 et S12 avec les conditions C.1

Au total, 5104 constructions ont été identifiées et enquêtées dans le centre-ville. Comme mentionné dans la section précédente, ces constructions servent à divers usages, chacun ayant une importance différente en fonction de sa finalité. L'analyse des cartographies d'aléa des scénarios S8, S10, S11 et S12 dans les conditions C.1 permet d'observer le niveau d'exposition du centre-ville (Figure 6-27 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Dans le scénario S8, par exemple, 655 bâtiments sur les 5104 du centre-ville sont touchés, ce qui représente 86 % des bâtiments du centre-ville. Dans ce scénario, une grande partie des bâtiments est faiblement impactée, avec des

hauteurs d'eau de moins de 0,3 m. Pour le scénario S10, seuls 3 % des bâtiments dans cette partie de la ville ne seront potentiellement pas touchés par l'aléa. Parmi les bâtiments impactés, 50 % (soit 2550 constructions) pourraient l'être avec des hauteurs d'eau comprises entre 0,5 m et plus de 1 m. En ce qui concerne le scénario S11, qui représente l'événement de 1962 avec le wave setup projeté en 2100, seuls 8 % des bâtiments de la zone ne seraient pas impactés, contre 92 % qui le seraient. Pour le scénario extrême dans les conditions de C.1, seulement 2,8 % des bâtiments (soit 147 constructions) ne seraient pas impactés, tandis que 97,2 % le seraient. De plus, 56 % sembleraient exposés à des hauteurs d'eau allant de 0,54 m à plus de 1 m. le présente la synthèse sur les bâtiments impactés. Au-delà de ce constat, qui semble indiquer un nombre important de bâtiments exposés, il est nécessaire de se pencher sur le niveau de vulnérabilité.

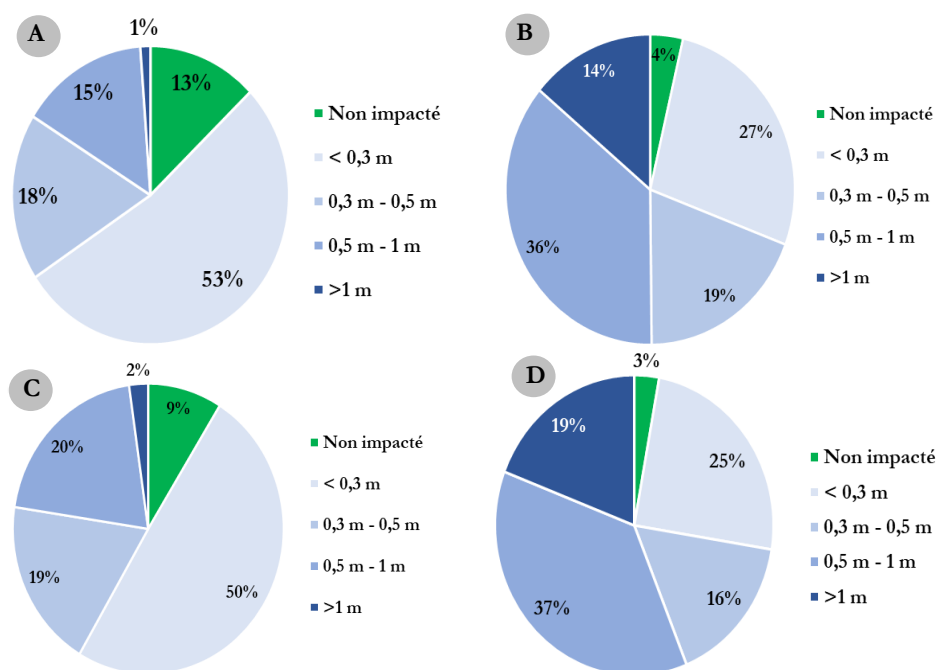


Figure 6-35 : Proportion de bâtiment exposé en fonction des scénarios S8 (A), S10 (B), S11 (C) et S12 (D) dans les conditions C.1 et selon les hauteurs d'eau.

En ce qui concerne la vulnérabilité, il est important de noter que, quel que soit le scénario envisagé, aucun bâtiment de cette zone ne présente la combinaison d'indices IHE Fort, Modéré, Faible et IVIB Faible. En effet, dans le centre-ville de Port-Gentil, les bâtiments ne possèdent pas un niveau de vulnérabilité intrinsèque inférieur ou égal à 0,33 (Figure 6-36 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Dans ce secteur de la ville la vulnérabilité intrinsèque des éléments bâtis se situe entre 0,38 et 0,94. Ainsi, toutes les combinaisons entre les IHE et l'IVIB allant de 0 à 0,33 sont nulles. À partir du scénario S8/C.1, qui prédit le niveau de PMVE d'ici à 2100, il apparaît que 14 %, soit 706 éléments bâtis, se trouveraient dans une situation de vulnérabilité élevée en raison de la combinaison de l'IHE et de l'IVIB élevés. Parmi ces 706 bâtiments, 520 sont à usage résidentiel,

14 sont des bâtiments scolaires, 3 sont des bâtiments de santé, 4 sont à usage administratif, et 29 sont industriels. Une grande partie de ces bâtiments (55 %) serait dans une configuration de vulnérabilité physique élevée en raison d'un IVIB élevé. Pour le scénario S10/C.1, 43 % de l'ensemble du bâti, soit 2188 bâtiments, seraient dans une situation de vulnérabilité physique élevée avec des combinaisons d'indices présentant un IHE et un IVIB élevés. Parmi ces 2188 bâtiments, on compte 1587 à usage résidentiel, 150 commerces, 18 de la santé sur les 48 identifiés, 75 industriels sur les 135 identifiés, et 53 établissements éducatifs sur les 174 identifiés. 7,3 %, soit 372, se trouveraient dans une situation de vulnérabilité physique plus ou moins élevée avec des combinaisons d'indices présentant un IHE élevé et un IVIB modéré. 16 % seraient dans la situation inverse, c'est-à-dire avec un niveau de vulnérabilité plus ou moins élevé, mais avec un IVIB élevé. Pour le scénario le plus extrême dans les conditions C.1, 48 % de l'ensemble des bâtiments seraient dans une situation de vulnérabilité physique élevés avec des combinaisons d'indices présentant un IHE et un IVIB élevés. Dans cette catégorie de vulnérabilité, on retrouve principalement 1758 bâtiments résidentiels, 171 bâtiments commerciaux, 20 bâtiments de santé, 87 bâtiments industriels, et 70 établissements éducatifs. Les cartes A, B, C et D de la Figure 6-37 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, présente la distribution spatiale de ces bâtiments.

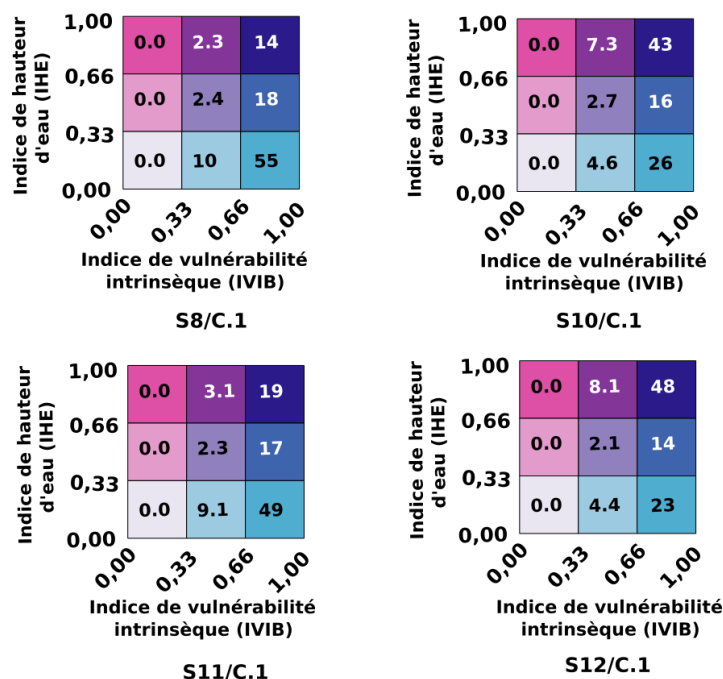


Figure 6-36 : Proportion du niveau de vulnérabilité des bâtiments dans le centre-ville de Port-Gentil, en relation avec les scénarios S8, S10, S11 et S12 sous les conditions C.1. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Chapitre 6 : Évaluation et cartographie de la vulnérabilité physique de Port-Gentil face aux inondations par la mer : une réalité territoriale

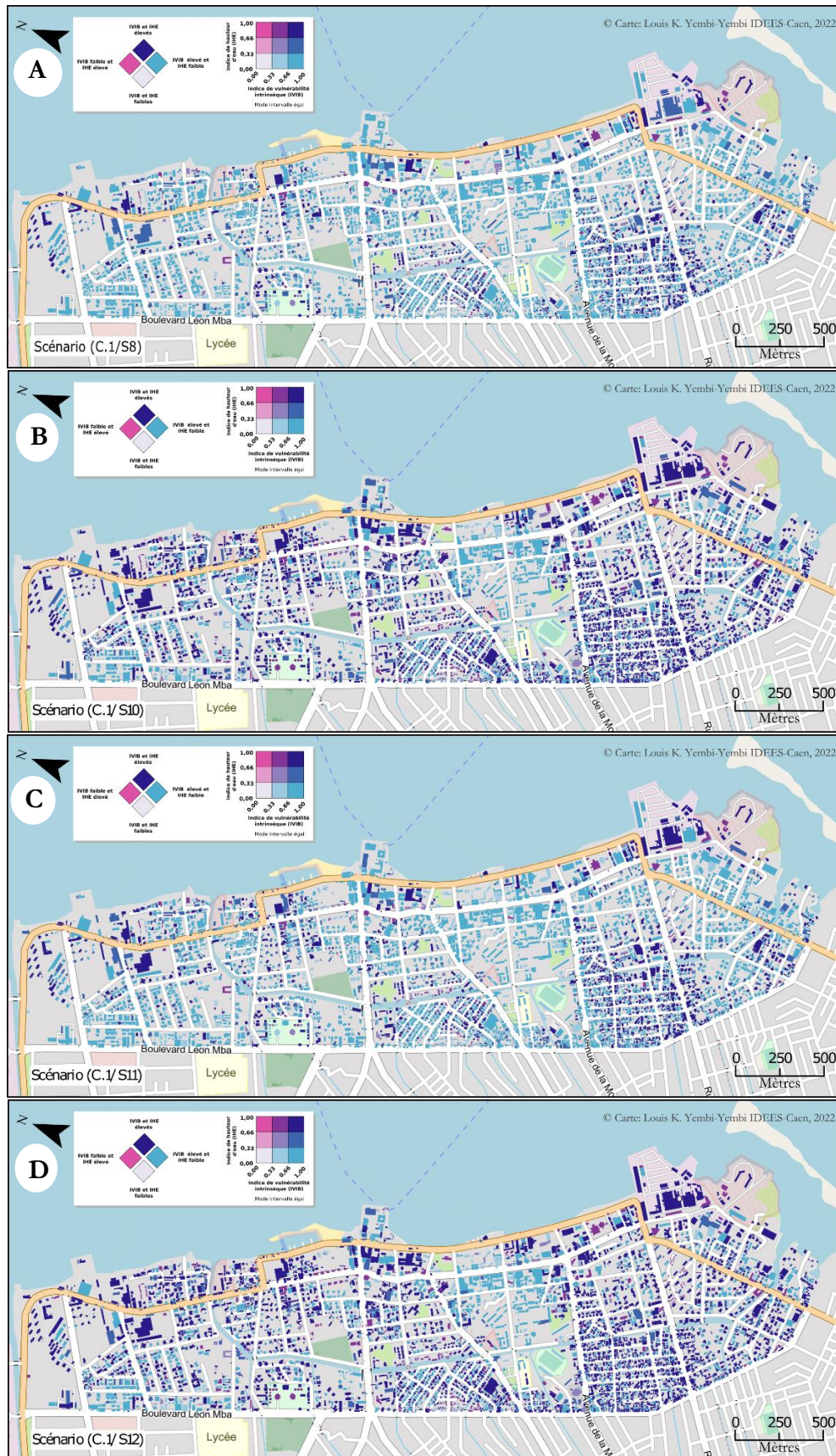


Figure 6-37 : Vulnérabilité du bâti, selon le scénario S8, S10, S11 et S12 sous les conditions C.1. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

6.3.3.2 Vulnérabilité physique du bâti du centre-ville selon le scénario S12 avec les conditions C.3

Dans le cadre du scénario S12 dans les conditions C.3, le centre-ville présente potentiellement 5023 bâtiments en zone inondable, représentant ainsi 98 % de l'ensemble des 5104 éléments bâtis. Parmi ceux-ci, 1560 bâtiments (30 % du total bâti) seraient affectés par des hauteurs d'eau dépassant 1 m. Il est important de souligner que ce niveau critique, nécessitant des précautions particulières pour le déplacement des personnes en bonne condition physique et l'intervention des secours par voie terrestre. De plus, 1759 éléments bâtis se trouveraient dans une plage de hauteurs d'eau comprise entre 0,5 m et 1 m, représentant ainsi 34 % de l'ensemble du bâti.

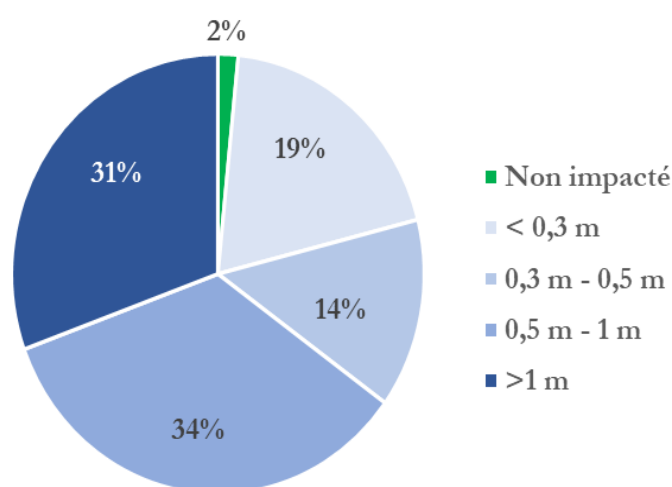


Figure 6-38 : Part des bâtiments impactés par niveau d'eau selon de S12 des conditions C.1

Comme pour les cartes précédentes, il est important de noter que dans le scénario S12/C.3, aucun bâtiment ne présente un niveau de vulnérabilité inférieur à 0.33. Ainsi, toutes les combinaisons de cette classe de vulnérabilité avec les niveaux d'eau sont nulles. En ce qui concerne la vulnérabilité de l'ensemble des bâtiments, il apparaît que 56 % des éléments bâtis se retrouveraient dans une situation de vulnérabilité élevée, en raison de la combinaison d'un IHE et d'un IVIB élevés (Figure 6-39 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). 9,3 % de l'ensemble du bâti, soit 2965 bâtiments, seraient dans une situation de vulnérabilité plus ou moins forte, avec des combinaisons d'indices présentant un IHE élevé et un IVIB modéré. 17 % se trouveraient dans la situation inverse, c'est-à-dire dans un niveau de vulnérabilité plus ou moins fort, mais avec un IVIB élevé. Du point de vue cartographique, ce haut niveau de vulnérabilité des bâtiments est présent sur l'ensemble du centre-ville, étant donné le niveau moyen de vulnérabilité intrinsèque du bâti qui est de 0,60 et des indices de hauteur d'eau pratique élevés sur l'ensemble du site (Figure 6-40 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Indice de hauteur d'eau (IHE)	1,00	0.0	9.3	56	
	0,66	0.0	3.3	17	
	0,33	0.0	2.0	12	
0,00		0,00	0,33	0,66	1,00
		Indice de vulnérabilité intrinsèque (IVIB)			

S12/C.3

Figure 6-39 : Proportion du niveau de vulnérabilité des bâtiments dans le centre-ville de Port-Gentil, en relation avec le scénario S12 sous les conditions C.3. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

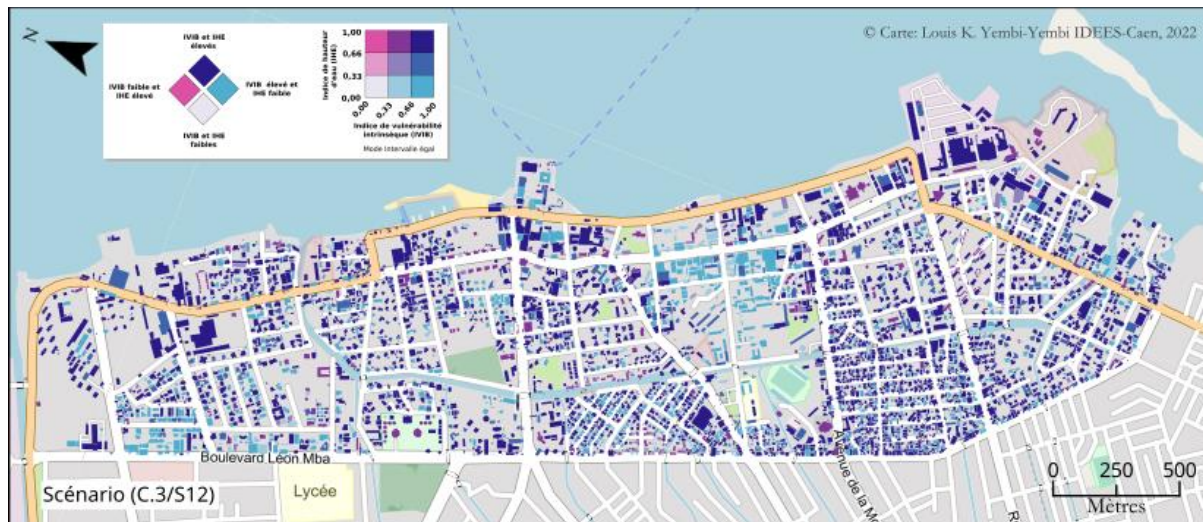


Figure 6-40 : Vulnérabilité du bâti, selon le scénario S12 sous les conditions C.3. (Réalisation L. YEMBI, 2022)

Un examen approfondi basé sur la fonction des bâtiments révèle, dans le cadre du scénario extrême (S12/C.3), que 100 % des constructions abritant des dépôts d'hydrocarbures tels qu'elles étaient en 2019, seraient impactées. Parmi cette proportion, 53 % pourraient être immergées sous une hauteur d'eau allant de 0,5 m à plus de 1 mètre. Une difficulté majeure se présente non seulement pour ce secteur, mais également pour le reste de la commune, car 90 % des stations-service répondant à cette description se situent dans cette partie de la ville. Tous les bâtiments abritant des administrations seraient impactés à 100 %, de même que les bâtiments de structures de santé. De plus, ces édifices administratifs seraient gravement affectés, avec des hauteurs d'eau variant de 0,5 m à plus de 1 mètre pour 47,8 % de cette catégorie de bâtiment. Il est possible que plus de 96 % des bâtiments scolaires soient impactés, avec 49,3 % d'entre eux présentant des hauteurs d'eau allant de 0,5 m à plus de 1 mètre. Le tableau ci-dessus (Tableau 6-5 **Erreur ! Source du renvoi**

introuvable.) présente de manière détaillée l'exposition de chaque groupe de bâtiment selon leur fonction pour le scénario S12 dans les conditions C.3.

Fonction du Bâti	Non impacté	<0,3 m	0,3 m-0,5 m	0,5 m-1m	>1 m	Total
Abri/garage/en construction...	2,4 %	19,0 %	15,0 %	34,2 %	29,5 %	100,0 %
Administrative	0,0 %	34,8 %	17,4 %	30,4 %	17,4 %	100,0 %
Atelier	0,0 %	10,9 %	25,5 %	34,5 %	29,1 %	100,0 %
Autre	21,4 %	14,3 %	7,1 %	35,7 %	21,4 %	100,0 %
Bureau et service	0,6 %	20,4 %	12,7 %	33,8 %	32,5 %	100,0 %
Commerce de rang 1	2,6 %	42,1 %	13,2 %	31,6 %	10,5 %	100,0 %
Commerce de rang 2	1,0 %	20,3 %	12,1 %	38,0 %	28,5 %	100,0 %
Dépôt hydrocarbure	0,0 %	29,7 %	16,2 %	32,4 %	21,6 %	100,0 %
Education	3,4 %	31,0 %	16,1 %	33,3 %	16,1 %	100,0 %
Energie	7,0 %	18,6 %	11,6 %	37,2 %	25,6 %	100,0 %
Entrepôt	0,0 %	20,6 %	15,9 %	19,0 %	44,4 %	100,0 %
Hôtel et motel	3,8 %	22,1 %	16,3 %	40,4 %	17,3 %	100,0 %
Industrielle	0,7 %	14,1 %	10,4 %	31,1 %	43,7 %	100,0 %
Loisir	0,0 %	0,0 %	33,3 %	16,7 %	50,0 %	100,0 %
Religion	8,3 %	29,2 %	4,2 %	50,0 %	8,3 %	100,0 %
Résidence-commerce	2,1 %	12,8 %	12,8 %	36,2 %	36,2 %	100,0 %
Résidentielle	1,3 %	18,4 %	13,6 %	34,4 %	32,3 %	100,0 %
Santé	0,0 %	29,2 %	22,9 %	39,6 %	8,3 %	100,0 %
Total	1,6 %	19,4 %	13,9 %	34,5 %	30,6 %	100,0 %

Tableau 6-5 : Proportion des bâtiments affectés dans le centre-ville, selon leur fonction, en relation avec le scénario S12 sous les conditions C.3

Synthèse du chapitre 6

Ce chapitre fait suite aux chapitres 3 et 4, consacrés à la méthodologie de la spatialisation de l'aléa et à la caractérisation de la vulnérabilité physique des enjeux urbains. Il visait à évaluer la vulnérabilité de la commune de Port-Gentil en considérant les composantes aléa et enjeux, contribuant ainsi à une compréhension holistique de la vulnérabilité physique de la ville. Plus précisément, ce chapitre avait pour objectif principal de répondre aux deux premières questions spécifiques posées en introduction, à savoir :

- Quels seraient **l'extension spatiale de la zone potentielle exposée** et **les niveaux d'eau** associée à divers scénarios ?
- Quels sont **les enjeux potentiellement exposés** (occupation du sol, bâtis et Routes) et à quel **niveau de vulnérabilité** sont-ils soumis ?

Pour répondre à ces interrogations et conduire efficacement cette phase d'évaluation de la vulnérabilité systémique de Port-Gentil, il était crucial de définir les enveloppes de l'aléa lié aux inondations marines par débordement, en considérant divers scénarios. Pour ce faire, sept cartes jugées pertinentes en raison de leur impact et des paramètres différents permettant d'appréhender la variabilité des combinaisons possibles dans ce contexte local ont été sélectionnées.

Les deux premiers scénarios, S1 et S2, sont des scénarios présents, pouvant potentiellement se produire. Le S1 permet de déterminer le niveau extrait du marégraphe lors de l'événement de 1962, tandis que le S2 prend en compte le S1 ainsi que la lame d'eau résultant du wave setup. Quatre scénarios prospectifs, selon les conditions morpho-marines de la côte est (C.1), ont été projetés. Le S8 intègre le niveau de PMVE actuel plus l'élévation du niveau de la mer selon l'hypothèse pessimiste du GIEC en 2022, soit +1 m. Le S10 considère le niveau du S1 plus l'élévation du niveau de la mer selon l'hypothèse pessimiste du GIEC en 2022, soit +1 m. Le S11 intègre le niveau du S2 plus l'élévation du niveau de la mer selon l'hypothèse optimiste du GIEC en 2022, soit +0,5 m. Le S12 prend en compte le niveau du S2 plus l'élévation du niveau de la mer selon l'hypothèse pessimiste du GIEC en 2022, soit +1 m. Un septième scénario, considéré comme le plus extrême, a été choisi pour une vision exhaustive, notamment le S12 dans les conditions morpho-marines du golfe de Guinée identifié C.3. Ces cartes ont été élaborées pour couvrir l'ensemble des possibilités, fournissant ainsi des documents essentiels pour l'évaluation et la gestion du risque d'inondation par la mer. En fin de compte, les cartes produites et sélectionnées dévoilent une forte exposition à l'aléa d'inondation marine pour l'ensemble de la commune, **en particulier la façade est**, mettant en évidence une vulnérabilité significative du centre-ville.

Le centre-ville, et par extension toute la façade est se trouvent particulièrement vulnérables en raison de sa localisation dans des secteurs où la topographie se situe en dessous des niveaux d'eau envisagés, impactant ainsi un nombre significatif d'enjeux, parfois stratégiques. L'intersection entre l'indice de hauteur d'eau et celui de la vulnérabilité intrinsèque des enjeux a conduit à l'évaluation des degrés potentiels de vulnérabilité physique pour chacun des enjeux sélectionnés. Nous avons identifié des secteurs de la ville exposés en cas d'événement similaire à celui de 1962, en utilisant les deux sources de données topographiques disponibles. Cependant, à une échelle plus large et avec une topographie plus détaillée, nous avons pu observer l'influence des canaux, qui peuvent agir comme des amplificateurs des zones inondables. Cette observation souligne l'importance d'avoir des données cartographiques plus précises. À ces deux échelles d'analyse, notamment dans le secteur sud-est où se trouvent les quartiers de Matanda et de Lippe, ainsi que dans le quartier de la SOGARA, nous avons constaté une exposition significative. De plus, la côte ouest, y compris le centre-ville malgré les infrastructures construites par la mairie (quai), est également fortement exposée.

L'évaluation de la vulnérabilité de l'utilisation des sols révèle que les sites revêtant une importance stratégique, tels que les administrations, les écoles, les hôpitaux et les commerces majeurs, sont les plus exposés, en raison de leur niveau intrinsèque de vulnérabilité, mais surtout en raison de leur emplacement dans des zones particulièrement exposées. De plus, la zone densément peuplée est la plus impactée, ce qui signifie qu'un grand nombre de personnes seraient vulnérables aux inondations marines.

La ville dépend de la SEEG pour son approvisionnement en électricité, laquelle dépend des sites de PG2, de la SOGARA et de Télémania. Cependant, en cas d'inondation marine, ces sites essentiels sont effectivement les plus vulnérables, ce qui pourrait entraîner d'importantes perturbations dans l'approvisionnement en électricité de la ville et en carburant. Cela entraînerait des répercussions sur les services essentiels tels que les hôpitaux et autres services d'urgence, non seulement pour Port-Gentil, mais également pour l'ensemble du pays. Les liaisons de transport jouent un rôle vital en cas de crise, et l'analyse du réseau routier a révélé que l'ensemble du réseau du centre-ville est particulièrement vulnérable. Si ces routes deviennent impraticables, l'accès à la côte est, où se trouvent la plupart des écoles, hôpitaux, services publics, sièges sociaux d'entreprise et commerces, sera gravement limité.

Les résultats de l'enquête sur les bâtiments ont permis de distinguer divers types de constructions, souvent regroupés dans les mêmes zones urbaines. Les bâtiments moins résilients sur le plan structurel sont généralement situés dans des secteurs présentant un aléa plus élevé, la zone la plus vulnérable étant identifiée à proximité du littoral des deux façades et à l'intérieur des terres, notamment près du réseau de canaux et de fossés. Sans l'analyse de la vulnérabilité, ces bâtiments

seraient simplement considérés comme vulnérables en raison de leur emplacement. Cependant, l'analyse de la vulnérabilité a confirmé qu'ils sont davantage menacés en raison de leur type de construction et de leur utilisation dominante du sol. Les écoles, les services de santé et les services administratifs et financiers sont particulièrement vulnérables en raison de leur concentration dans des zones fortement exposées, accentuant ainsi le niveau de vulnérabilité de certains quartiers par rapport à d'autres.

Il convient de souligner que les résultats présentés dans ce chapitre ne constituent en rien des documents officiels ; ils servent plutôt de pistes de réflexion pour d'éventuelles recherches supplémentaires dans l'évaluation de la vulnérabilité physique d'un territoire tel que Port-Gentil. Il est important de garder à l'esprit que ces résultats peuvent comporter des biais, en particulier liés à la méthodologie de cartographie de l'aléa et à la non prise en compte de l'évolution spatiale de la commune de Port-Gentil d'ici à 2100.

En effet, La cartographie statique de l'extension des eaux, élaborée à partir des données sur la marée des plus hautes eaux et comparée aux limites observées sur le terrain, révèle des sous-estimations à certains endroits et des surestimations à d'autres, malgré l'utilisation de données topographiques améliorées et de haute qualité altimétrique. Ce biais peut être attribué à l'approche statique choisie pour la cartographie des submersions par débordement, qui ne prend pas en compte les micro-obstacles pouvant entraver la propagation des eaux, ainsi que la représentation simplifiée du wave setup en tant que lame d'eau supplémentaire. Cette démarche est trop simpliste, car le processus est plus complexe étant donné qu'il résulte de l'agitation de la mer. Ce manque de réalisme induit probablement un biais d'analyse pour les résultats présentés.

Un second biais est lié à l'imprécision et au manque de données. Les informations sur la marée à l'échelle locale sont lacunaires (Figure 3-5), et leur fiabilité soulève des interrogations. De plus, l'absence de données locales sur la marée au Gabon est regrettable, notamment en l'absence d'un marégraphe permanent le long de ses côtes malgré une étendue côtière de plus de 900 km. Les données sur la houle sont également rares, se limitant souvent à des évaluations occasionnelles effectuées sur demande des sociétés pétrolières pour évaluer l'état de la mer dans le cadre des projets d'aménagement de leurs infrastructures. Il convient de noter que les niveaux d'eau présentés pourraient probablement être plus élevés que ceux actuellement exposés. En effet, la cartographie de l'aléa n'a pas pris en considération le phénomène de subsidence de l'île. L'omission de ce facteur pourrait aggraver davantage et étendre les zones inondables.

Nous estimons par ailleurs qu'il est essentiel de prendre en compte le phénomène de concomitance résultant potentiellement du blocage du ruissellement des eaux pluviales par le niveau élevé de l'eau de mer (Figure 6-41 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Il est important de souligner que les

inondations ne sont pas uniquement causées par les entrées d'eau marine. En effet, les dépressions topographiques, également appelées « cuvettes », peuvent être remplies par les eaux de pluie, de ruissellement, ou même par la remontée des nappes phréatiques. Les phénomènes d'inondation marine sont fréquemment associés à des événements météorologiques intenses, tels que les pluies tropicales.

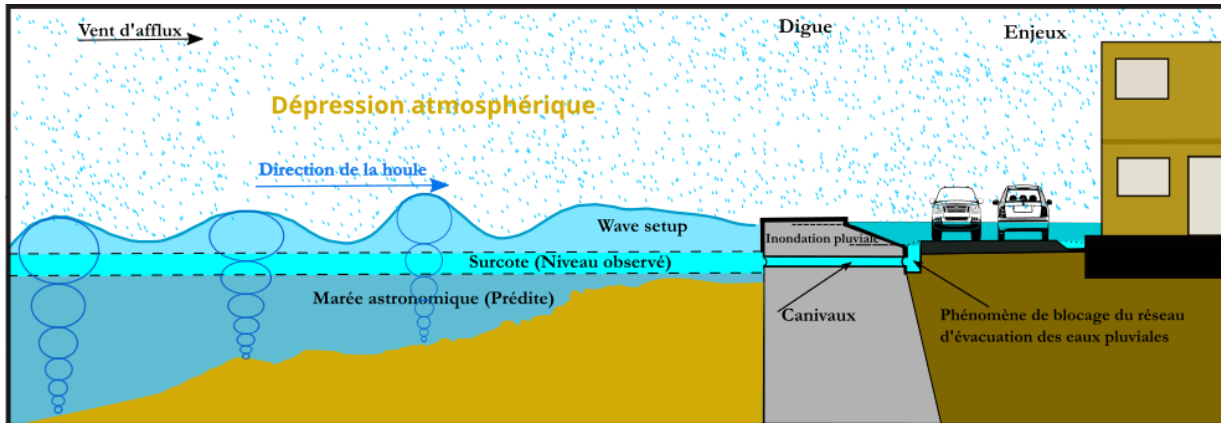


Figure 6-41 : Phénomène de blocage des écoulements des eaux pluviales par un fort coefficient de marée (réalisation L. YEMBI, 2022)

Ainsi, le blocage des eaux pluviales peut être considéré comme une inondation marine indirecte, car ce type d'inondation a généralement pour origine une source marine. En effet, il est fréquent que les réseaux de drainage à écoulement gravitaire facilitent les écoulements des eaux pluviales dans les communes côtières à topographie sans dénivelée (Habel *et al.*, 2020b). Dans les zones côtières de faible altitude, comme Port-Gentil, le fonctionnement du drainage par gravité est influencé par les différences d'élévation entre les zones de drainage et les zones réceptrices, qui correspondent aux eaux océaniques. Cependant, les marées hautes peuvent réduire ces différences d'élévation, ce qui pourrait entraîner un ralentissement, voire une inversion, du processus de drainage. En raison de la topographie peu élevée et des sorties obstruées du réseau d'assainissement des eaux pluviales même pendant les marées basses (Figure 6-42 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), il est possible que ce phénomène d'inondation se produise à Port-Gentil lors des périodes de fortes marées (marée d'équinoxe par exemple) et de pluies tropicales.

Malgré les limitations mentionnées, les cartes générées présentent un intérêt significatif pour évaluer la vulnérabilité physique de la commune et de la partie nord de l'île Mandji dans son ensemble. Elles offrent des indications sur les zones susceptibles d'être submergées par la mer. Les contours des zones inondables cartographiées peuvent ainsi être considérés, dans une large mesure, comme des zones potentielles d'inondation future, même si des erreurs subsistent. Il est toutefois improbable que des scénarios, même similaires à ceux que nous avons cartographiés, entraînent le recouvrement complet de toutes les surfaces identifiées ici. Cependant, il est envisageable que

certaines zones cartographiées puissent être sous-estimées localement. De plus, certains ouvrages de protection, bien qu'ils tiennent compte de l'érosion, mais pas des submersions, pourraient ne pas jouer leur rôle lors d'une future inondation marine, que ce soit en raison de leur inadaptation ou de leur vétusté. Nous estimons que cet aléa ne doit pas être négligé, surtout compte tenu de l'aggradation significative déjà observée à certains endroits. Par ailleurs, si ces cartes sont utilisées à des fins informatives par les responsables locaux ou nationaux, elles peuvent contribuer à susciter l'intérêt une prise de conscience du risque d'inondation par la mer.



Figure 6-42 : Sortie des ouvrages d'assainissement des eaux de ruissellement vers la mer (Côte est).

Le changement d'échelle d'analyse, tant sur le plan spatial que temporel, a permis d'examiner la variabilité des zones inondables et vulnérables sous différents angles, en utilisant diverses techniques d'acquisition, de traitement et d'analyse des données. Ce chapitre a révélé, d'une part, **une ville potentiellement très exposée à hauteur de 73 % de sa surface totale**, et d'autre part, une vulnérabilité physique marquée à certains endroits. Étant donné que la vulnérabilité ne se réduit pas uniquement à l'impact de l'aléa (c'est-à-dire l'exposition) et à la vulnérabilité physique des enjeux, le chapitre suivant examine les résultats qui découlent du chapitre 4, sur la vulnérabilité sociale à travers le prisme de la composante représentation du risque d'inondation par la mer par les acteurs de cette localité.

Chapitre 7 : Les représentations socio-spatiales du risque d'inondation par la mer : révélatrice d'une vulnérabilité sociétale

Introduction du chapitre 7

Dans le chapitre précédent, il a été possible de conclure que la commune de Port-Gentil en particulier, et la partie nord de l'île Mandji en général, et potentiellement vulnérable du point de vue physique aux inondations par la mer. Plus de 70 % de la commune serait exposé à un aléa futur extrême et plus de 60 % à un aléa identique à celui de 1962, combinée à une augmentation du niveau marin d'ici 2100 de 1 m selon les projections du GIEC. De plus, il a été démontré que la structuration urbaine avec une concentration des enjeux stratégiques dans un secteur de la ville était est un facteur d'aggravation de la vulnérabilité physique de la commune, en raison d'une mauvaise distribution spatiale d'infrastructures stratégiques pouvant aider ou même permettre, en cas d'inondation, une résilience de la commune. De même, nous avons pu révéler que certaines parties de la commune sont plus exposées et, par conséquent, plus vulnérables du point de vue physique que d'autres.

À la lumière de ces résultats, une question peut être soulevée : **comment la population et les gestionnaires politico-administratifs se représentent-ils le risque d'inondation par la mer dans la commune ?** De cette question, il est important de comprendre comment les personnes enquêtées perçoivent d'abord leur commune (**première section 7.1**). Cette analyse permettra de détecter l'attachement de cette dernière à ce territoire, en tenant compte des avantages et des inconvénients mis en avant. De plus, il sera question de comprendre comment ils positionnent ce risque par rapport à d'autres présents dans la commune (**deuxième section 7.2**). Ensuite, nous tenterons de comprendre, à travers les résultats de l'enquête et en utilisant des hypothèses présentes dans la littérature, les facteurs qui influencent la représentation du risque, en particulier du risque d'inondation par la mer (**troisième section 7.3**). Pour être complets dans cette analyse, dont le but est de déceler et de mettre en évidence la vulnérabilité socio-spatiale de la commune de Port-Gentil, nous chercherons à comprendre le rapport que la population entretient avec ses autorités politico-administratives (**quatrième section 7.4**).

Ce chapitre repose sur la notion de représentation, en particulier celle du risque. La représentation est intrinsèquement subjective et varie d'un individu à l'autre, ce qui en fait un concept relevant du domaine de la psychologie sociale et environnementale. Selon la discipline et même au sein d'une même discipline, le concept peut revêtir des significations différentes en fonction des objectifs de l'étude et des qualificatifs qui lui sont associés, pouvant parfois être confondus avec le concept de perception. L'article de Yembi-Yembi *et al.*, (2022) offre un aperçu des différences et justifie le choix de ce concept dans cette thèse.

7.1 Ancrage territorial malgré un environnement urbain peu apprécié.

Comme évoqué dans le chapitre 5, la vulnérabilité sociale, qui est liée à la notion de représentation, a été mesurée à l'aide de deux méthodes d'enquête : des entretiens individuels menés avec des responsables administratifs et des questionnaires passés en présentiels auprès des habitants. Au total, 771 chefs de ménage résidant dans les limites administratives de la commune ainsi que 8 autorités politico-administratives ont été interrogés entre 2018 et 2019.

La première section de ce chapitre présente les résultats de ces enquêtes, qui permettent de saisir l'attachement de la population à la commune et comment cette dernière perçoit son environnement de vie, éléments qui peuvent influencer leur représentation et leur engagement à réduire leur propre vulnérabilité. Tout d'abord, nous examinerons le niveau d'attachement de notre échantillon à la commune, à travers le temps passé dans la commune et les projections de lieux de vie future. Ensuite, nous verrons comment la population enquêtée envisage son cadre de vie, quels sont les aspects positifs et négatifs de leur lieu de résidence, notamment le fait de vivre dans une ville côtière. Globalement, nous verrons comment ils évaluent la qualité de vie dans cette commune et s'ils se sentent privilégiés. Comme le souligne Krien, (2014), l'image positive ou négative de son cadre de vie peut influencer la représentation du risque. De même, le lien émotionnel envers un lieu, qu'il soit affectif ou contraint par des considérations financières liées à l'incapacité de se reloger ailleurs, peut altérer la représentation qu'un individu se fait d'un risque (Michel-Guillou *et al.*, 2015 ; Lemée, 2017).

7.1.1 Une population avec un fort ancrage territorial...

L'analyse de notre échantillon révèle que parmi les chefs de ménage interrogés, 82 % résident dans la commune depuis plus de 10 ans, et 1/3 d'entre eux sont établis dans la commune depuis toujours. Ce constat met en lumière un enracinement territorial significatif de la population portgentillaise (Figure 7-1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** A). Cet ancrage territorial est confirmé par la Figure 7-1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** B, qui révèle une rotation fréquente des lieux de résidence au sein de la commune. En effet, plus de la moitié des enquêtés vivent dans leur quartier depuis moins de 10 ans, ce qui contraste avec le fait que plus de 82 % résident dans la commune depuis plus de 10 ans. Cette apparente contradiction suggère des mouvements internes de population au sein de la commune.

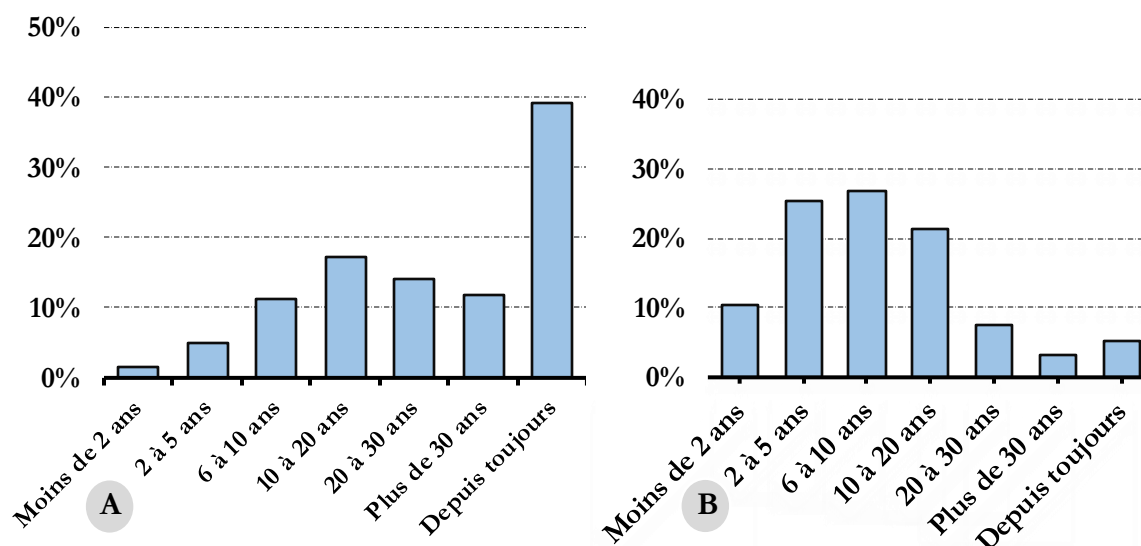


Figure 7-1 : Le temps passé dans la commune (Depuis combien de temps vivez-vous à Port-Gentil? (Q1) (Gauche). Le temps passé dans le quartier (depuis combien de temps habitez-vous dans ce quartier? (Q2)) (Droite). (Source : Enquête de terrain 2018-2019, Louis YEMBI, 2022)

Environ 3/4 des ménages ont déjà déménagé à l'intérieur de la commune, expliqué par le fait que le processus d'installation à Port-Gentil suit souvent une trajectoire similaire. En général, les résidents commencent par louer un logement dans un quartier pendant un certain temps, puis, une fois qu'ils ont trouvé un emploi stable, la majorité d'entre eux construisent leur propre habitation, souvent dans un autre quartier de la commune. Autrement dit, la location précède la construction de l'habitation, ce qui explique pourquoi plus de 70 % des enquêtés sont prolétaires (Tableau 5-3 **Erreur! Source du renvoi introuvable.**), bien que 60 % de ceux répondant à la question sur la possession d'un titre foncier affirment ne pas en détenir. Il est important de noter que cet ancrage résidentiel peut être motivé par diverses raisons.

7.1.2 ...motivée par des liens familiaux, la quiétude, les opportunités professionnelles, et parfois le manque d'alternatives...

Lorsque les enquêtés sont invitées à fournir trois raisons justifiant le choix de leur lieu de résidence, la famille apparaît comme le motif prédominant, avec plus de 400 occurrences, suivi du travail et de la tranquillité, avec 300 occurrences respectivement. Notons toutefois que la réponse « Je n'ai pas le choix » revient 290 fois. Ainsi, il semble initialement que le lien familial justifie l'ancrage dans la commune, en particulier chez ceux qui sont à Port-Gentil depuis toujours (Figure 7-2 **Erreur! Source du renvoi introuvable.**).

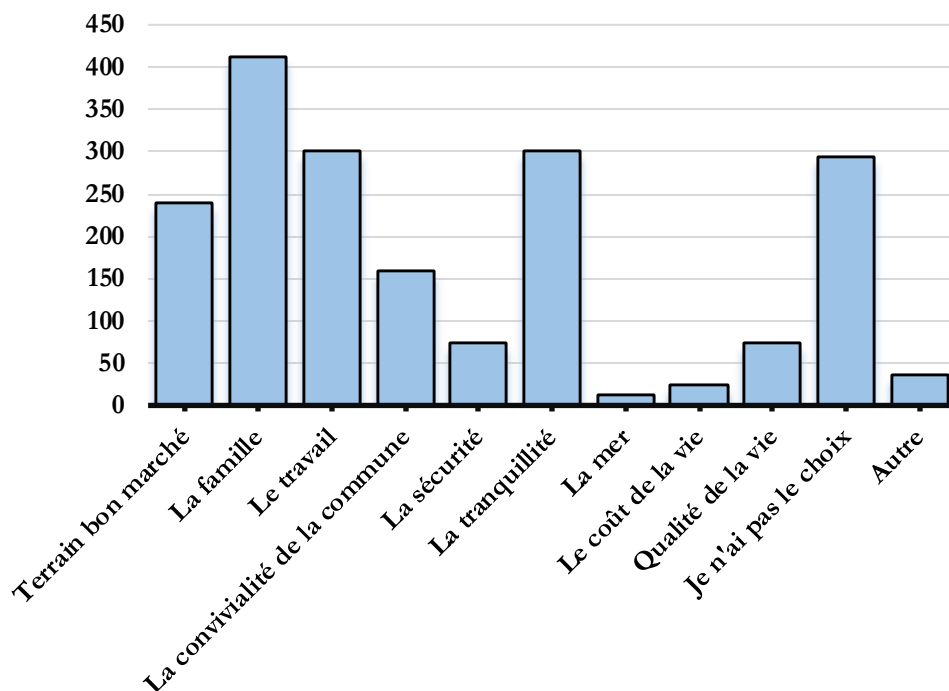


Figure 7-2 : Fréquence des thèmes qui justifient le choix de résidence des populations interrogées : Pourquoi habitez-vous ici? (Trois maisons au plus) (Q3)

En effet, pour un grand nombre de personnes interrogé, le concept de famille revêt deux significations distinctes. Dans un premier sens, il s'agit principalement de rester à proximité de leurs parents, une motivation partagée par de nombreuses personnes. Sur le plan sociologique, les jeunes nés et ayant grandi à Port-Gentil aspirent, même lorsqu'ils partent étudier ailleurs, à revenir dans la ville pour demeurer proches de leur famille. Dans un second sens, il s'agit de garantir la sécurité et le bien-être de sa famille. En raison de l'activité pétrolière, les salaires à Port-Gentil se situent parmi les plus élevés au Gabon, particulièrement pour ceux qui n'occupent pas de postes politiques. De plus, ces jeunes aspirent à travailler un jour dans les sociétés pétrolières locales, une aspiration motivée par la rémunération plus avantageuse offerte par ces entreprises par rapport aux postes administratifs. Malgré la détérioration de la situation sécuritaire, il convient de souligner que Port-Gentil est perçue comme une ville où il fait bon vivre, et dans certains quartiers, la tranquillité prédomine. À la différence d'autres études (Lemée, 2017 ; Ritschard, 2017 ; Verlynde, 2018 ; Chionne, 2019), particulièrement en France, qui démontrent que les populations des villes côtières s'installent à proximité du littoral pour bénéficier de l'accès à la mer, ici, c'est tout à fait le contraire. Les enquêtés sont présents en premier lieu en raison des opportunités professionnelles et pour leur famille.

7.1.3 ...qui préfère demeurer dans leurs lieux de résidence malgré les risques éventuels

Par ailleurs, la population étudiée manifeste un attachement profond à son territoire, avec plus de 50 % affirmant qu'ils ne souhaitent pas quitter leur lieu de résidence actuel (Figure 7-3 A), même en se voyant offrir une maison ailleurs du même standing. Cette situation pourrait présenter des défis potentiels dans le contexte d'une opération de « déguerpissement » pour les uns et d'expropriation pour les autres avec indemnisation par les autorités. Cette réalité met en évidence la complexité d'une gestion des politiques d'aménagement urbain. De surcroît, parmi les répondants favorables à un tel déplacement, il reste néanmoins plus de 66% préfèrent ne pas quitter Port-Gentil (Figure 7-3 B), portant ainsi la proportion de ceux qui aspirent à rester absolument dans la commune à plus de 72 %.

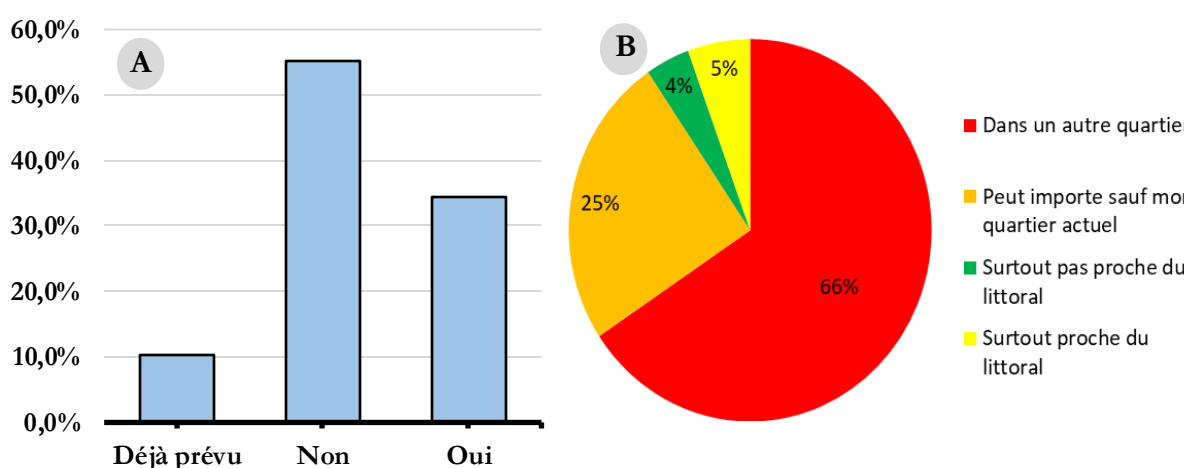


Figure 7-3 : Si vous aviez l'opportunité de vivre dans un logement identique, mais ailleurs, est-ce que vous déménageriez? (Q8). (A) Si (ou) Où précisément? (Q9) (B)

Cependant, cet enracinement territorial se confronte à une possible exposition au risque dans la zone d'habitation. Près de 95 % des enquêtés envisagent quitter leur lieu de résidence en cas de danger, ce qui indique probablement une maturité dans la prise de conscience de la nécessité de réagir aux menaces potentielles (Figure 7-4 Q14). Mais pour ceux qui veulent partir en de leurs lieux de résidence en cas de risque éveré, il n'en demeure pas moins que 53%, ne veulent pas partir de Port-Gentil. Il semble que un grand nombre de résident dans la commune est véritablement attaché à la ville (Figure 7-4 Q13). Néanmoins, 3 % ne prévoient pas de quitter leur lieu de résidence malgré le risque encouru. Bien que le nombre de personnes ayant répondu de manière négative soit faible, plusieurs raisons et interrogations émergent. En effet, nous avons demandé à ceux qui ne veulent pas partir malgré le risque encouru les raisons de leur refus de partir de leur lieu de résidence (Q14), il y a plusieurs réponses telles que « il n'y a pas de risque », « pour aller où ? », « manque de soutien », « prévoir des logements avant de partir », « parce que je n'ai qu'ici

comme lieu de résidence », « C'est chez moi ici », etc. On peut constater qu'il y a la fois un déni du risque dans la commune, un attachement au logement, mais également une détresse financière qui empêche ce groupe de quitter leur logement. Mais également une situation au regard des éléments qui mettent en lumière la complexité des perceptions individuelles face aux risques naturels. Cela souligne la nécessité d'une approche nuancée en prenant en compte les perspectives individuelles dans l'approche à mettre en place en cas d'une politique de déguerpissement des populations se trouvant sur un lieu sujet aux risques des événements liés aux risques, en prenant en compte les perspectives individuelles.

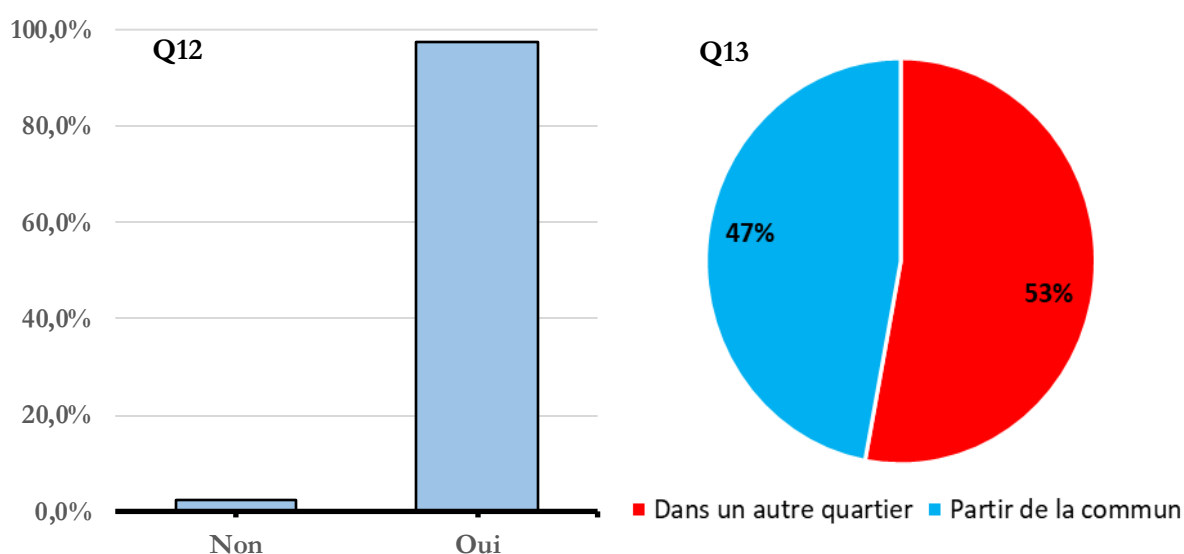


Figure 7-4 : Si l'on déclare votre zone d'habitation à risque, allez-vous partir? (Q12) Si (oui), vous allez : (Q13)

En termes d'encrage territorial, il est important de noter qu'une longue durée d'ancrage territorial est observée, avec 82 % des chefs de ménage résidant dans la commune depuis plus de 10 ans, témoignant d'une stabilité résidentielle notable. Cette constatation est renforcée par le fait que 1/3 de ces individus réside dans la commune depuis toujours. Cependant, on note également une certaine mobilité interne au sein de la commune, suggérant une dynamique de changement au sein de la localité. De plus, le constat est renforcé par le fait que la famille est la principale raison d'installation dans la commune et de maintien dans celle-ci, soulignant un lien profond avec le lieu de vie. Cette situation n'est pas sans conséquence sur la manière dont les risques sont perçus et abordés. Cet encrage peut conduire à un rejet des actions de gestion du risque.

7.1.4 ...et qui ont une perception de la commune qui peut varier entre positivité et négativité en fonction du lieu de résidence

Après avoir établi le niveau d'ancrage résidentiel dans les communes lors de la deuxième étape, nous avons interrogé les habitants afin de comprendre les raisons de leur installation dans la

commune et d'évaluer leurs préoccupations environnementales dans le contexte social qui les entoure. Cette première évaluation du niveau d'appréciation de la commune, implicitement liée aux préoccupations environnementales de celle-ci, nous a également permis, dans une moindre mesure, de confirmer leur attachement au territoire de vie. En effet, une population vivant dans des conditions où il y a un manque significatif d'équipements de base aura tendance à se préoccuper davantage de ces problèmes que des enjeux environnementaux (Adelekan, 2010). Dans cette optique, un classement de six éléments en lien avec la qualité de vie a permis de mettre en évidence l'importance accordée aux problèmes environnementaux par rapport à d'autres « phénomènes de société ». Les éléments présentés aux enquêtés ont été sélectionnés en s'inspirant d'autres enquêtes et adaptés à la situation locale de Port-Gentil, comme présenté par Krien, (2014).

Les aspects famille, travail et tranquillité sont les principaux motifs qui incitent les individus enquêtés à vivre dans la commune. Cependant, un autre aspect émerge également, que l'on pourrait considérer comme un sentiment de résignation, notamment le fait de ne pas avoir le choix quant à leur lieu de résidence dans la commune. Cette référence au manque de choix rappelle une autre expression couramment utilisée au Gabon, exprimant un certain fatalisme et un sentiment d'impuissance face à la situation : « On va encore faire comment ». Dans ce contexte, la proximité de la mer ne constitue pratiquement pas un facteur déterminant pour les individus s'installant dans la commune.

En ce qui concerne les inconvénients, cela dépend également du quartier de résidence, mais surtout de la couronne de développement urbain, qu'il s'agisse de la première, de la deuxième ou de la troisième couronne urbaine (Figure 2-28). En réponse à la question sur les inconvénients qui résument le mieux le lieu de résidence (Q5) (Tableau 7-1), les inondations sont le premier inconvénient mentionné dans pratiquement tous les quartiers de la commune, quel que soit leur emplacement dans la couronne de développement urbain. Les eaux stagnantes sont particulièrement citées dans les quartiers de la deuxième et de la troisième couronne, c'est-à-dire les quartiers du centre de la commune (Balise, Café Rio, Centre social, Camp Sara, Château, Prison) et ceux de la troisième couronne, notamment ceux situés à l'ouest (Bac-Aviation, SEEG, Fort de l'Eau, etc.). L'insécurité est principalement mentionnée dans les quartiers du centre tels que Bazar de la Mosquée et Barala. Les problèmes liés aux routes sont particulièrement prioritaires dans la troisième couronne, notamment dans les quartiers Petit Village, Belle Plaine, Lippe et Poaty, qui disposent principalement de routes tertiaires (Figure 6-10 **Erreur! Source du renvoi introuvable.**). Bien que la liste ne comprenait pas spécifiquement la problématique des inondations marines, aucune personne interrogée, même en mentionnant les inondations, n'a fait référence aux inondations marines (Tableau 7-1).

Chapitre 7 : La représentation du risque d'inondation par la mer : révélatrice d'une vulnérabilité sociétale

QUARTIER	Avantages (tableau de gauche (Q4))										Inconvénients (tableau de droite (Q5))												
	Terrain bon marché	Proximité à la mer	Facilité de transport	Présence de commerce proche	Accès facile à la route	Proximité de la forêt	Proximité d'établissements scolaires	Bon voisinage	Bon voisinage	Tranquillité	Aucun de ceux-là	Terrain cher	Absence de route	Mauvais voisinage	Insalubrité	La proximité avec la mer	Manque de commerce	Eloignement des établissements scolaires	Eaux stagnantes	Manque d'eau courante	Manque d'électricité	Inondations	Aucun de ceux-là
ABELA	3.8	3.8	23.1	0.0	30.8	0.0	7.7	0.0	11.5	19.2	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	30.0	0.0	15.0	5.0	0.0	25.0	20.0
AEROPORT	0.0	10.0	15.0	0.0	15.0	0.0	10.0	0.0	5.0	35.0	10.0	5.3	21.1	5.3	5.3	0.0	26.3	0.0	21.1	0.0	0.0	5.3	10.5
AGRIPOG	9.5	4.8	21.4	0.0	35.7	0.0	4.8	0.0	0.0	21.4	2.4	0.0	2.4	12.2	2.4	0.0	19.5	12.2	14.6	12.2	0.0	19.5	4.9
AKIME	5.9	0.0	14.7	5.9	26.5	0.0	11.8	2.9	14.7	17.6	0.0	0.0	4.0	4.0	16.0	4.0	12.0	0.0	28.0	0.0	0.0	32.0	0.0
AKOSSO	0.0	10.0	40.0	0.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	16.7	50.0
ASECNA	10.0	0.0	5.0	0.0	15.0	0.0	0.0	0.0	35.0	35.0	0.0	0.0	20.0	0.0	5.0	0.0	5.0	10.0	10.0	0.0	50.0	0.0	0.0
AU CHAMP	0.0	0.0	11.8	0.0	17.6	0.0	0.0	0.0	17.6	23.5	29.4	0.0	13.6	0.0	4.5	0.0	4.5	4.5	31.8	0.0	0.0	36.4	4.5
BAC-AMATION	2.2	2.2	8.9	0.0	11.1	0.0	0.0	2.2	17.8	33.3	22.2	0.0	14.1	3.1	4.7	1.6	9.4	12.5	23.4	3.1	1.6	25.0	1.6
BALARA	12.5	0.0	12.5	0.0	37.5	0.0	25.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.4	0.0	9.1	0.0	18.2	0.0	0.0	36.4	0.0
BALISE	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	25.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	0.0	20.0	20.0	0.0
BALISE 1	0.0	0.0	0.0	33.3	33.3	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	33.3	0.0
BALISE 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	25.0	50.0	12.5	0.0	9.1	9.1	18.2	0.0	0.0	9.1	18.2	0.0	0.0	36.4	0.0
BANTSANTSA	18.2	0.0	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.2	45.6	9.1	0.0	7.7	0.0	0.0	0.0	15.4	0.0	30.8	0.0	0.0	46.2	0.0
BAZAR DE LA MOSQUÉE	50.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0
BELLE PLAINE	26.8	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	3.6	10.7	48.2	8.9	0.0	27.3	1.1	0.0	2.3	5.7	6.8	8.0	9.1	8.0	31.8	0.0	0.0
BORNAVE	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0
CAFE RIO	0.0	0.0	0.0	12.5	50.0	0.0	25.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	12.5	12.5	0.0	0.0	0.0	37.5	0.0	0.0	37.5	0.0
CAMP SARA	0.0	0.0	36.4	0.0	45.5	0.0	18.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	11.1	0.0	11.1	11.1	33.3	0.0	0.0	22.2	0.0
CENT MANGUIERS	0.0	0.0	50.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.2	0.0	0.0	22.2	11.1	11.1	22.2	0.0	0.0	11.1
CENTRE SOCIAL	0.0	11.1	22.2	0.0	22.2	0.0	0.0	0.0	11.1	22.2	11.1	0.0	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0	11.1	33.3	0.0	0.0	33.3	11.1
CENTRE VILLE	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
CHATEAU	5.9	11.8	17.6	17.6	29.4	0.0	11.8	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7	0.0	0.0	33.3	8.3	0.0	33.3	8.3	0.0
CITE MATANDA	0.0	33.3	0.0	16.7	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7	0.0	0.0	16.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	50.0	0.0
CITÉ SATOM	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
CITÉ SHELL	0.0	9.1	22.7	9.1	40.9	0.0	0.0	0.0	4.5	13.6	0.0	0.0	5.6	11.1	5.6	0.0	22.2	5.6	22.2	0.0	0.0	5.6	22.2
CITÉ UNIES	0.0	6.7	20.0	13.3	20.0	0.0	20.0	0.0	13.3	0.0	6.7	0.0	0.0	12.5	6.3	0.0	0.0	0.0	43.8	0.0	0.0	31.3	6.3
CÔTE D'AZUR	23.9	4.5	4.5	0.0	6.8	0.0	4.5	6.8	11.4	34.1	3.4	0.0	20.8	1.9	3.8	0.9	6.6	8.5	15.1	16.0	3.8	21.7	0.9
DERRIÈRE LA SEEG	15.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9	17.4	48.7	10.9	0.0	25.4	0.0	14.3	0.0	4.8	9.5	12.7	1.6	1.6	30.2	0.0	0.0
DERRIÈRE LE LYCÉE	4.5	4.5	18.2	0.0	45.5	0.0	9.1	0.0	0.0	13.6	4.5	0.0	6.3	6.3	6.3	0.0	31.3	0.0	12.5	0.0	0.0	12.5	25.0
DERRIÈRE POATY	7.7	0.0	0.0	0.0	7.7	0.0	7.7	0.0	30.8	38.5	7.7	0.0	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	22.2	11.1	5.6	33.3	0.0	0.0
FATIMA	5.9	11.8	17.6	0.0	17.6	0.0	5.9	0.0	11.8	11.8	17.6	0.0	15.0	5.0	5.0	0.0	5.0	25.0	0.0	0.0	40.0	5.0	0.0
FORASOL	0.0	0.0	20.0	0.0	20.0	10.0	10.0	10.0	30.0	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	40.0
FORT DE L'EAU	20.5	4.5	4.5	2.3	11.4	0.0	2.3	11.4	34.1	9.1	0.0	15.2	4.3	2.2	6.5	17.4	10.9	13.0	13.0	0.0	0.0	17.4	0.0
GADI	5.0	10.0	25.0	5.0	25.0	0.0	5.0	10.0	10.0	10.0	5.0	0.0	0.0	11.8	0.0	0.0	5.9	35.3	0.0	0.0	29.4	17.6	0.0
GRAND VILLAGE	0.0	12.5	12.5	25.0	37.5	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	22.2	0.0	0.0	22.2	22.2	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0
ILE MANDJI	10.1	7.8	6.2	1.6	9.3	0.8	8.5	0.0	16.3	34.9	4.7	0.6	19.9	0.6	5.8	0.6	6.4	4.5	14.7	7.7	6.4	31.4	1.3
INTER PHOTO	0.0	0.0	30.8	15.4	15.4	0.0	15.4	0.0	15.4	7.7	0.0	0.0	0.0	7.7	15.4	0.0	0.0	7.7	30.8	0.0	0.0	30.8	7.7
LES QUATRE PORTES	10.0	0.0	10.0	10.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0	20.0	0.0	8.3	0.0	16.7	0.0	0.0	16.7	8.3	0.0	50.0	0.0	0.0
LIPPE	27.9	16.3	0.0	0.0	9.3	0.0	14.0	0.0	18.6	14.0	0.0	35.4	0.0	2.1	2.1	12.5	12.5	4.2	0.0	0.0	31.3	0.0	0.0
MASUKU	11.9	7.1	14.3	4.8	19.0	0.0	2.4	0.0	16.7	11.9	9.1	0.0	6.7	2.2	13.3	0.0	0.0	15.6	22.2	4.4	0.0	33.3	2.2
MATANDA	15.2	3.0	9.1	0.0	12.1	0.0	12.1	18.2	6.1	15.2	9.1	0.0	17.9	7.7	12.8	7.7	15.4	7.7	12.8	2.6	0.0	15.4	0.0
MATITI 1	0.0	6.3	3.1	6.3	28.1	0.0	9.4	0.0	15.6	31.3	0.0	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	43.5	4.3	0.0	43.5	4.3	0.0
MATITI 2	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	30.0	30.0	30.0	0.0	8.7	4.3	17.4	4.3	8.7	8.7	17.4	4.3	4.3	21.7	0.0
MINI PRIX	21.4	7.1	14.3	0.0	21.4	0.0	0.0	0.0	14.3	7.1	14.3	0.0	6.3	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	31.3	0.0	0.0	50.0	0.0
N'TCHENGUÉ	10.0	6.3	1.3	2.5	11.3	0.0	6.3	1.3	21.3	37.5	2.5	0.0	15.0	2.8	4.7	0.0	5.6	3.7	19.6	14.0	6.5	25.2	2.8
ODINBA	0.0	0.0	13.3	0.0	43.3	0.0	0.0	0.0	3.3	40.0	0.0	0.0	4.8	4.8	4.8	0.0	19.0	4.8	14.3	0.0	0.0	47.6	0.0
OROVATY	5.3	5.3	26.3	5.3	36.8	5.3	5.3	0.0	0.0	5.3	5.3	0.0	10.0	10.0	15.0	0.0	0.0	30.0	0.0	0.0	45.0	0.0	0.0
OUAGNI	0.0	0.0	9.1	9.1	27.3	0.0	9.1	0.0	9.1	27.3	9.1	0.0	10.0	0.0	30.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	20.0	20.0	0.0
PAS À PAS	0.0	10.0	30.0	20.0	30.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0	37.5	25.0	0.0
PAVE SALSÀ	0.0	0.0	20.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	20.0	20.0	0.0	16.7	0.0	33.3	0.0	0.0	16.7	0.0	16.7	0.0	16.7	0.0
PETIT VILLAGE	14.3	0.0	11.4	2.9	11.4	0.0	5.7	0.0	20.0	22.9	11.4	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	5.7	5.7	28.6	2.9	2.9	31.4	2.9
PG2	24.4	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	15.9	42.7	1.2	0.0	21.1	2.6	2.6	4.4	6.1	4.4	10.5	15.8	9.6	21.1	1.8
POATY	3.6	3.6	3.6	0.0	0.0	0.0	10.7	0.0	32.1	39.3	7.1	0.0	22.0	0.0	4.9	0.0	4.9	4.9	26.8	2.4	4.9	26.8	2.4
PORTE DE LA VILLE	5.9	0.0	11.8	0.0	17.6	0.0	11.8	5.9	23.5	23.5	0.0	0.0	0.0	0.0	29.4	0.0	5.9	5.9	11.8	5.9	0.0	41.2	0.0
PRISON	0.0	0.0	25.0	0.0	50.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.3	42.9	0.0	0.0	42.9	0.0
QUARTIER CHIC	0.0	0.0	21.4	14.3	50.0	0.0	7.1	0.0	0.0	7.1	0.0	0.0	0.0	12.5	18.8	0.0	0.0	25.0	6.3	0.0	37.5	0.0	0.0
QUARTIER LITTORAL	0.0	0.0	7.1	0.0	35.7	0.0	0.0	0.0	7.1	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	30.0	0.0	0.0	20.0	40.0
QUARTIER OCEAN	4.0	4.0	12.0	0.0	24.0	0.0	4.0	0.0	20.0	24.0	8.0	0.0	11.5	0.0	3.8	0.0	0.0	7.7	30.8	0.0	0.0	46.2	0.0
QUARTIER SUD	3.7	14.8	14.8																				

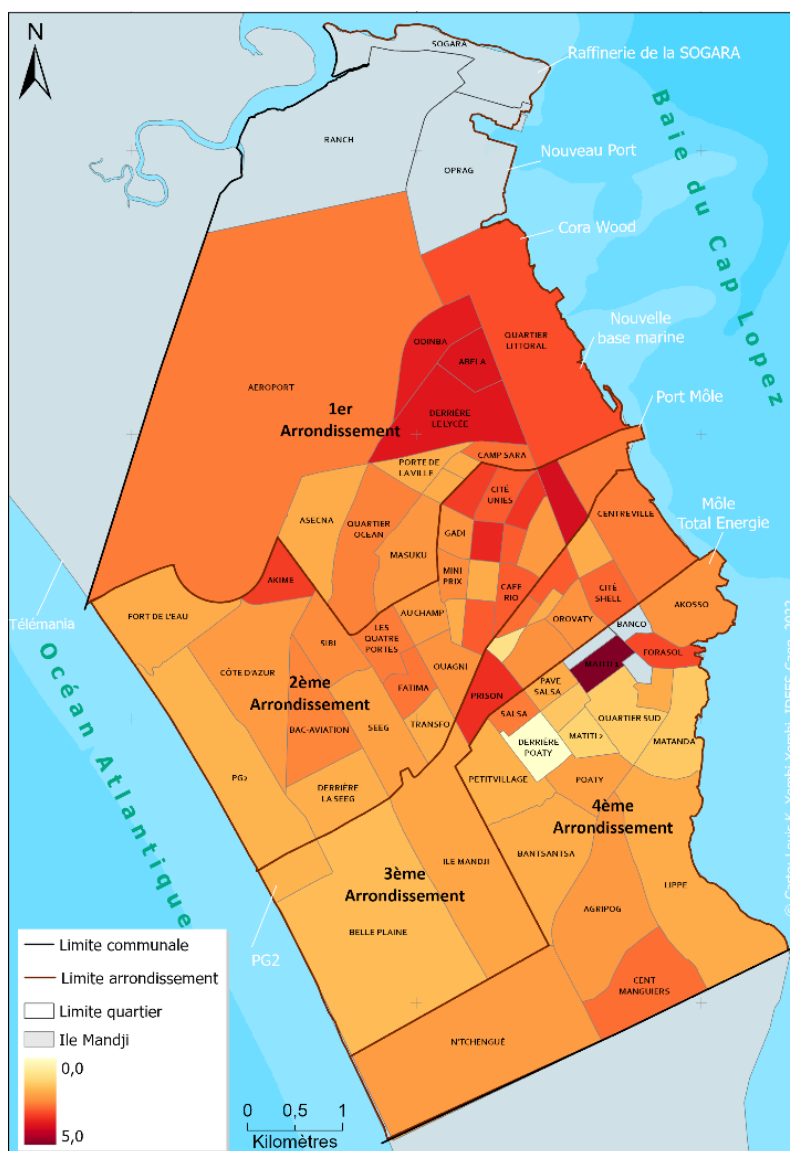


Figure 7-5 : Moyenne des notes d'appréciation du quartier où les enquêtés vivent « En fin de compte, pouvez-vous donner une note de 0 à 5 pour dire si vous êtes satisfait du lieu où vous résidez ? » (Q7)

« Port-Gentil est une belle ville, c'est une ville plate, c'est une ville conviviale, il fait bon vivre, nonobstant les problèmes économiques dus au licenciement à cause de la crise, mais c'est une ville où on peut faire des affaires, car il y a des opportunités. Elle s'étend vers l'océan, y'a du tourisme... » (**Maire du premier arrondissement de Port-Gentil**)

« ... C'est une belle ville parce qu'en ce moment il y'a quand même des maisons qui pousse ici et là ce qui n'était pas le cas il y a cela 5 ans. Belle ville parce qu'il y'a quelques infrastructures, notamment l'aménagement de la voirie urbaine à certain endroit et je pense que c'est à améliorer. Belle ville parce que l'état a mis les moyens pour faire prospérer certain projet, comme l'aéroport, certain projet de route vers l'extérieur Port-Gentil-Omboué c'est déjà ça... » (**Chef de Brigade Environnement Sud**)

7.2 La hiérarchisation des risques chez les portgentillais : la place du risque d'inondations par la mer

Comme exposé au chapitre 2, Port-Gentil est principalement une ville économique, dont l'activité s'est développée initialement autour de l'exploitation du bois, puis plus tard autour des hydrocarbures. Cette réalité économique a attiré des populations tant de l'intérieur que de l'extérieur du pays, principalement de l'Afrique de l'Ouest. Les résultats de la section précédente indiquent que la population de Port-Gentil est fermement enracinée dans la commune. Cependant, ce lien résidentiel pourrait biaiser la perception du risque. De plus, il existe une rotation de la population dans le temps et l'espace, ce qui peut influencer la manière dont les anciens et les nouveaux résidents d'un quartier perçoivent et appréhendent les risques dans la commune. Pour évaluer la prise en compte du risque d'inondation par la mer dans la commune, deux ensembles de questions ont été posés : une question ouverte et deux questions à choix multiples. Ces questions visaient à comprendre comment les habitants décrivent le risque dans la commune, leur niveau d'inquiétude et leur sentiment d'exposition.

7.2.1 Un risque d'inondation par la mer peu présente chez les portgentillais

Bien que les inondations par la mer à Port-Gentil soient de plus en plus une réalité territoriale tangible, et que leurs impacts potentiels sur les enjeux et sur l'environnement seraient importants (cf. chapitre 6), ce problème semble ne pas être considéré comme prioritaire pour la population interrogée. Les risques liés aux inondations pluviales sont plutôt perçus comme étant au premier plan des préoccupations, suivis du risque d'insécurité et du risque industriel. Il faut préciser qu'avant d'aborder spécifiquement la question des inondations par la mer, nous avons adopté une approche en entonnoir (Hellequin *et al.*, 2013). Étant donné que les enquêtés n'ont pas été informés dès le début que le questionnaire portait principalement sur le risque d'inondation par la mer, la troisième partie du questionnaire consacrée aux « *enjeux environnementaux, au sentiment d'exposition et à la représentation du risque* », portait sur les risques à Port-Gentil. D'entrée de jeu, nous avons spontanément demandé aux enquêtés de nous donner un mot ou une expression qui leur venait à l'esprit lorsqu'on évoquait le terme « Risque » à Port-Gentil (Q21). Les enquêtés devaient donner les premiers mots ou expressions associés au risque pour approcher leurs représentations. Au total, plus de 771 termes ont été proposés, comme représentés dans le nuage de mots ci-dessous (Figure 7-6 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), dont les plus fréquemment cités sont : « Inondation » avec 53 % des occurrences, « Insécurité » avec 9 % des occurrences, et « Explosion » avec 5 % des citations.

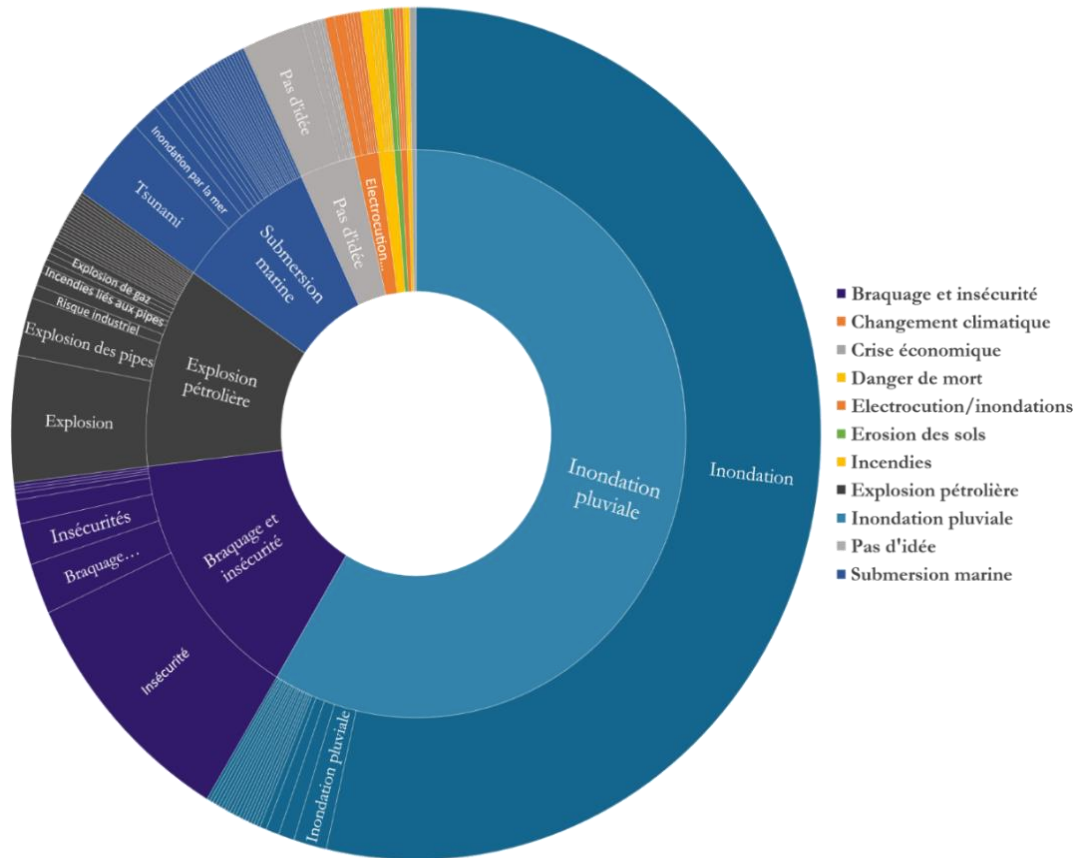


Figure 7-7 : mot et expression expriment le «Risque» pour les enquêtés dans la commune

En référence à la littérature, notamment aux travaux d'Adelekan, (2010) à Lagos au Nigeria, d'Etoundi, (2018) au Cameroun et de Da, (2021) au Burkina et au Mali, il apparaît que les inondations et l'insécurité sont les risques fréquemment mentionnés spontanément par les populations en Afrique subsaharienne. Dans le contexte gabonais, plus particulièrement à Port-Gentil, où les précipitations sont présentes neuf mois sur douze, les inondations pluviales constituent une réalité quotidienne pour les habitants, comme illustrée dans la Figure 7-8 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Il est essentiel de souligner qu'aucun secteur de la commune n'échappe aux inondations pluviales (cf. Chapitre 2). De surcroît, ces inondations font régulièrement l'objet de discussions dans les médias gabonais, de même que les braquages et d'autres situations d'insécurité.



Figure 7-8 : Impacte des inondations pluviales dans la commune de Port-Gentil. Inondation de la principale voie routière du quartier Bac-Aviation, précisément au niveau du marché SIBI dans troisième couronne urbaine (A). Inondation en plein centre-ville, précisément devant le trésor public la direction provinciale de la documentation (B)

Parallèlement aux habitants, les autorités locales considèrent également les inondations pluviales comme un fléau permanent dans la commune de Port-Gentil. La complexité de la situation actuelle rend leur recherche d'une solution efficace difficile, selon leurs déclarations. Lorsqu'on les interroge sur la description de la ville, mettant en évidence ses avantages et ses inconvénients, elles reconnaissent que l'insularité de la ville de Port-Gentil est un atout, mais elles admettent également que les inondations pluviales demeurent un problème majeur. Ces dernières sont fréquemment citées comme le principal inconvénient dans les discours des autorités.

« L'inconvénient que nous avons, c'est que c'est une ville de sable et la nappe phréatique est donc défavorable pour nous. À la moindre petite pluie, nous sommes confrontés à des inondations, malgré les efforts que nous déployons. Si nous n'avons pas de canaux bien entretenus, revêtus de ciment ou en béton, nous continuerons à rencontrer ces difficultés-là. » (Maire du 4e arrondissement de Port-Gentil)

« C'est une ville qui est soumise aux inondations... C'est normal parce que c'est une ville insulaire comme je vous le disais... » (Maire du 3e Arrondissement de Port-Gentil)

« ...donc il n'y a pas mal de problèmes auxquels se trouve confrontée la ville de Port-Gentil et aujourd'hui, lorsque vous vous déplacé vous verrez que la plupart des maisons sont dans l'eau. » (Chef de Brigade Environnement Sud)

Il est évident que le problème des inondations pluviales est celui qui retient l'attention des populations et des autorités locales. Cette situation a tendance à occulter certains risques qui ne sont pas encore visibles, mais qui pourraient avoir un impact à Port-Gentil.

7.2.2 Le risque d'inondation par la mer : quatrième risque le plus inquiétant et sixième risque dont les populations se sentent exposées

Pour évaluer la fiabilité du traitement du texte réalisé manuellement et les résultats de la question Q21, nous avons demandé aux enquêtés, tout en leur présentant un large éventail de risques de toutes natures potentiellement présents dans la commune, de nous indiquer les trois risques qui les inquiètent le plus (Q23) et ceux dont ils se sentent exposés (Q28). La Figure 7-9 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les résultats de l'analyse de la corrélation linéaire qui a permis d'examiner le lien entre le niveau d'inquiétude vis-à-vis du risque et le sentiment d'exposition associé à la liste des risques présentés aux chefs de ménage. Dans le même temps, le test permet d'observer l'importance de chaque risque pour les populations en fonction du nombre de fois qu'il est mentionné. Le repère abscisse-ordonnée indique la position de chaque risque dans le plan.

Globalement, la relation linéaire entre les deux variables montre une corrélation positive. En effet, lorsque le sentiment d'exposition à un risque est élevé, le niveau d'inquiétude est également élevé de manière proportionnelle. Les deux risques les plus prédominants sont visibles en haut à droite de la Figure 7-9 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Ces deux risques se distinguent des autres par leurs scores élevés en termes de fréquence du sentiment d'exposition et de fréquence du degré d'inquiétude, à savoir « inondation pluviale » et « insécurité ». Ce qui confirme le traitement manuel du corpus de mot réalisé précédemment.

En ce qui concerne le classement des risques, les trois premiers risques auxquels les enquêtés se sentent le plus souvent exposés sont également les trois plus inquiétants. Les enquêtés sont plus préoccupés et se sentent plus exposés respectivement par le risque d'inondation pluviale (88,15 % et 74,09 %), puis par le risque d'insécurité (75,55 % et 72,14 %), et enfin par le risque industriel (44,01 % et 20,70 %), par ordre d'importance. Cependant, le risque d'inondation par la mer est en quatrième position pour le niveau d'inquiétude (29,4 %), mais en sixième position pour les risques auxquels les populations se sentent le plus souvent exposées (13,80 %), derrière les trois premiers sur les deux axes, le risque sanitaire (18,62 %) et le risque de pollution de l'eau (14,58 %).

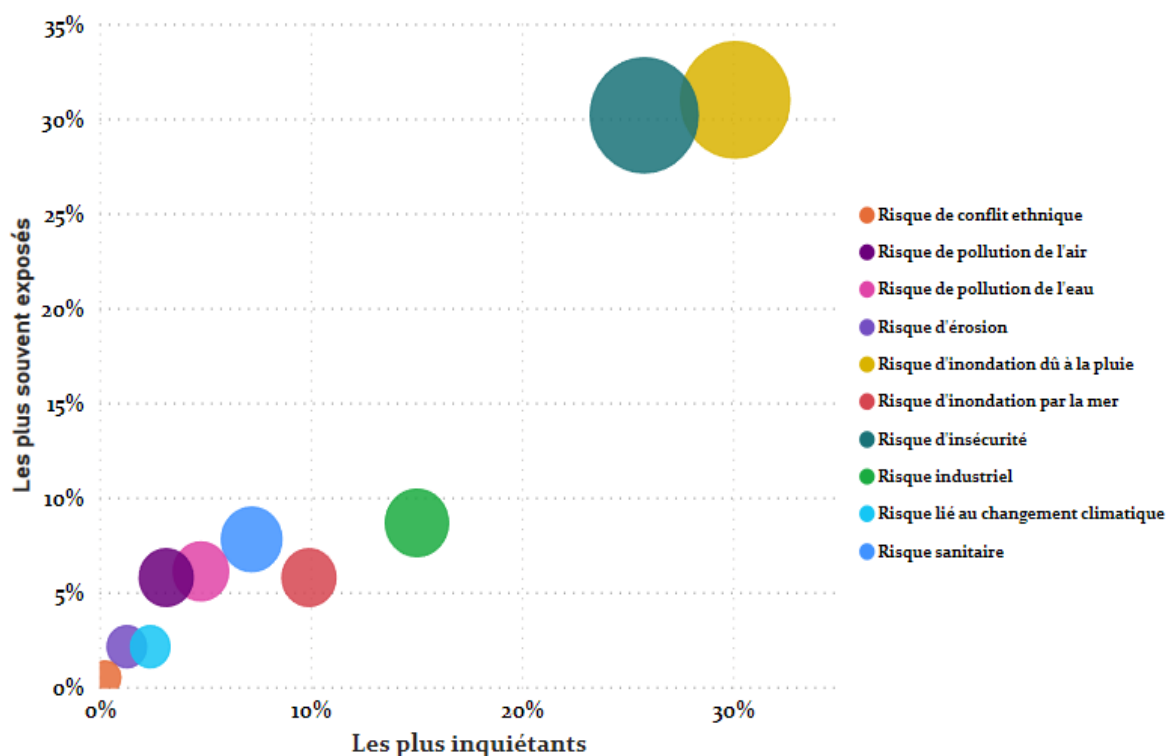


Figure 7-9 : Positionnement du risque d'inondation par la mer dans le plan inquiétude/exposition par rapport aux autres risques (Source : enquête de terrain 2018-2019, L. YEMBI, 2022)

La vérification de l'hypothèse *H1* a permis de mieux comprendre les principales préoccupations de la population en matière de risque. Premièrement, malgré la prédisposition de la ville aux inondations par la mer (Chapitre 3 et Chapitre 6), en raison de sa situation insulaire et de sa faible topographie (Chapitre 2), les chefs de ménage interrogés ne considèrent pas l'inondation par la mer comme leur principale préoccupation.

Deuxièmement, il y a une corrélation positive entre le sentiment d'exposition et le niveau d'inquiétude face au risque, c'est-à-dire que plus le sentiment d'exposition est élevé, plus le niveau d'inquiétude l'est aussi, validant ainsi les hypothèses de la littérature telles que le lien entre l'importance ou niveau d'inquiétude notée du risque et la fréquence estimée des événements (Rufat, 2015). Comme évoqué dans le chapitre consacré à la méthodologie de cette partie de la thèse, lors de la passation du questionnaire il n'a été nullement fait mention des objectifs de cette enquête, car le but était d'obtenir spontanément les impressions des populations.

Les inondations pluviales et l'insécurité en matière de score sont les risques les plus préoccupants pour les habitants de Port-Gentil. Cette tendance est similaire à celle observée dans l'enquête sur la perception du risque d'inondation à Lagos, au Nigeria, où les inondations sont considérées comme un risque majeur, au même titre que la criminalité et le vol. (Adelekan, Asiyambi, 2016). Cette perception peut s'expliquer par la forte occurrence de certains risques au quotidien, qui tend à supplanter les risques moins fréquents dans la mémoire des gens. (Peretti-Watel, 2000). De

manière empirique nous pouvons l'expliquer par le fait que les gens se préoccupent davantage des risques qu'ils connaissent et affrontent régulièrement que des risques qu'ils n'ont pas encore vécus. Les risques perçus sont donc mieux pris en compte que les risques non perçus (Poortinga, Pidgeon, 2003), tels que les inondations par la mer dans notre cas. Cette situation est cohérente avec ce qui se passe dans le bassin d'Arcachon et certaines communes de Bretagne, où les risques côtiers sont peu pris en compte, tandis que d'autres phénomènes présents au quotidien sont plus considérés (Goeldner-Gianella *et al.*, 2013 ; Michel-Guillou, Meur-Ferec, 2017).

7.2.3 Le risque d'inondation par la mer : véritable sujet pour Port-Gentil, mais dont le niveau de connaissance renforce la vulnérabilité des populations

Bien que le risque d'inondation par la mer semble moins préoccupant que ceux liés aux inondations pluviales, à l'insécurité et au risque industriel, nous avons souhaité approfondir notre compréhension de ce risque spécifique. Ainsi, en nous focalisant sur le risque d'inondation par la mer, nous avons cherché à évaluer la préoccupation réelle de la population à ce sujet. Dans cet élan, la Figure 7-10 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** indique que 67 % de la population estime que Port-Gentil est particulièrement sensible aux inondations venant de la mer, tandis que 32,55 % pensent le contraire. Malgré un nombre considérable de réponses négatives, nous avons examiné la répartition spatiale de ces opinions au sein de la commune, constatant que la position géographique ne semble pas influencer la réponse à cette question (Figure 7-10 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)

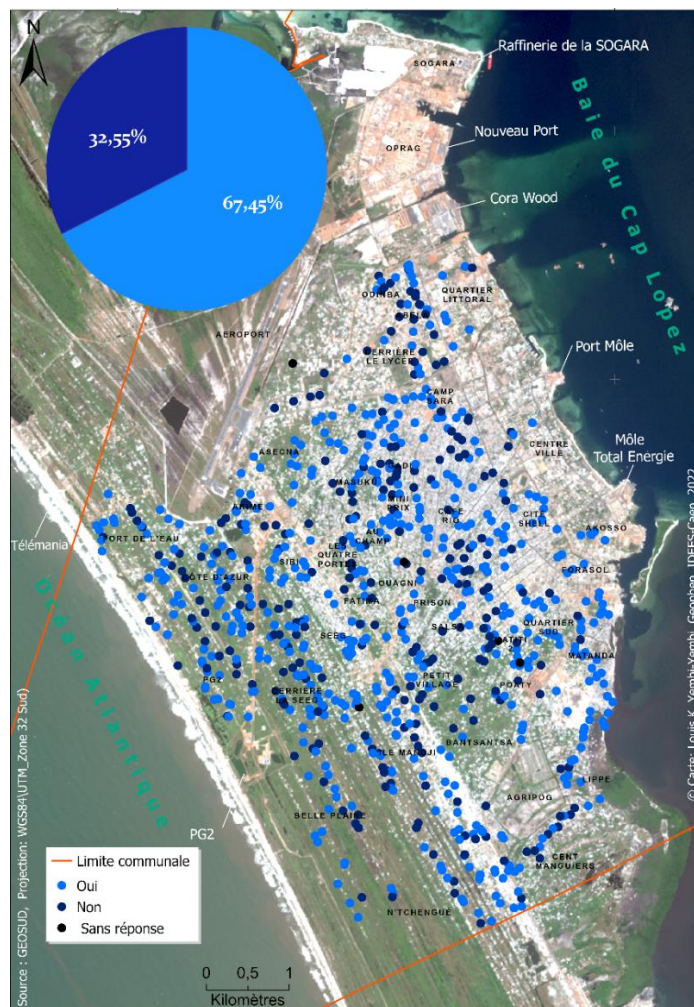


Figure 7-10 : Pensez-vous que Port-Gentil soit particulièrement sensible aux inondations venant de la mer (Q35)?

7.2.3.1 Aucune connaissance du phénomène d'inondation par la mer par les populations

Afin d'évaluer la connaissance que les enquêtés ont du risque d'inondation par la mer, nous leur avons posé deux questions une première question qui été pour nous, une question de vérification en lien avec les inondations pluviales (Q32) (Figure 7-11 **Erreur! Source du renvoi introuvable.**(A)) et une question spécifique aux inondations par la mer (Q36) (Figure 7-11 **Erreur! Source du renvoi introuvable.**(B)). Il s'agissait pour les enquêtés de donner les mois de l'année où l'on a le plus de chance de subir les inondations pluviales et les inondations par la mer. Plusieurs réponses étaient possibles dans ces deux questions. Ainsi, en regardant la figure 7-11 (A), on peut faire le lien avec la **Erreur! Source du renvoi introuvable.** qui présente le diagramme ombrothermique de la station de Port-Gentil. On observe bien des pics de mois cités pendant les mois de la saison de pluie et des mois qui ne sont pas cités et qui correspondent à la saison sèche. Dans ce cas, on peut dire que les populations de Port-Gentil ont parfaite connaissance des mois où peuvent avoir les inondations pluviales. Par contre, lorsqu'il s'agit des mois où il on peut avoir des inondations marines, plus de 90 % des mentionnés qu'ils n'ont aucune idée du moi que peut

survenir une inondation par la mer. Ce manque de connaissance peut traduire, que l'information n'est pas clairement véhiculée, de plus pour un aléa qui ne fait pas partie du quotidien des populations.

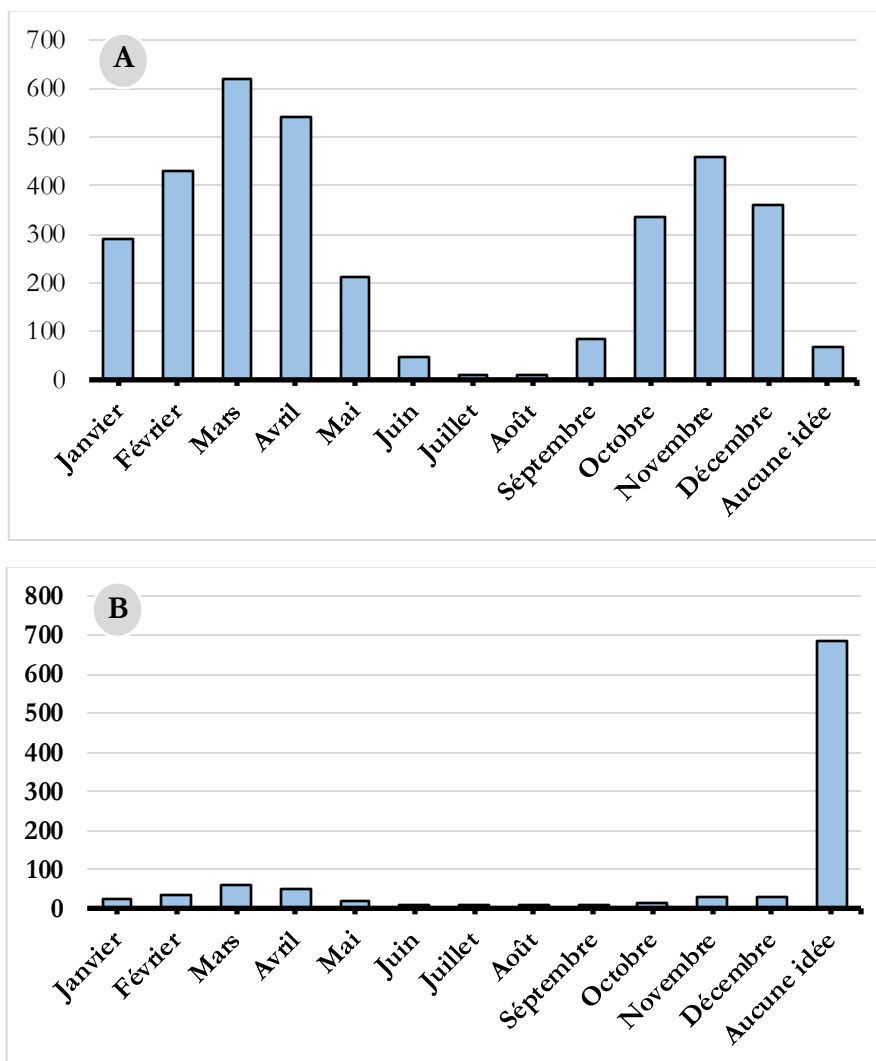


Figure 7-11 : Selon vous, quels sont les mois de l'année où l'on a le plus de chance de subir les inondations? (Q32) (A). Selon vous quels sont les mois de l'année où l'on a le plus de chance de subir les inondations venant de la mer? (Q36) (B).

7.2.3.2 Évaluation du niveau d'inquiétude présente et future aux inondations par la mer

Les enquêtés ont été invités à évaluer leur niveau d'inquiétude présent et future vis-à-vis du risque d'inondation par la mer en utilisant une échelle d'évaluation de 0 à 5. Ainsi, nonobstant le fait qu'une majorité pense que la ville serait sensible aux inondations par la mer (67,45 %), il semble qu'un grand nombre de chefs de ménage évaluent leur niveau d'inquiétude actuelle entre 1/5 et 3/5, soit 81,8 % des personnes interrogées soit une moyenne de niveau d'inquiétude de 1,44 (Figure 7-12 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** A). En revanche, ce niveau d'inquiétude face aux inondations par la mer augmente lorsque la question est posée pour le futur avec une moyenne

de 2,9. Ainsi, 56,85 % des chefs de ménage interrogés estiment leur inquiétude face aux inondations par la mer entre 4/5 et 5/5 (Figure 7-12 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** B). Ces résultats ne sont pas surprenants, le risque d'inondation par la mer est actuellement un sujet de spéculation étant donné qu'il n'a pas encore été vécu par les populations portgentillaises. Cependant, il semble qu'en raison d'un niveau d'étude généralement haut à Port-Gentil (Tableau 5-3 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), ces derniers semblent avoir une connaissance sur les conséquences du changement climatique, notamment pour ce qui est de la montée des eaux. C'est en cela que le ce risque est plus craints pour le futur que présentement.

Cependant, parmi ceux qui reconnaissent la sensibilité de Port-Gentil aux inondations par la mer, une proportion paradoxale de 28 % estime leur degré d'exposition entre 3/5 et 5/5, c'est-à-dire de fort à très fort, tandis que 72 % considèrent leur degré d'exposition comme nul ou faible (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** A).

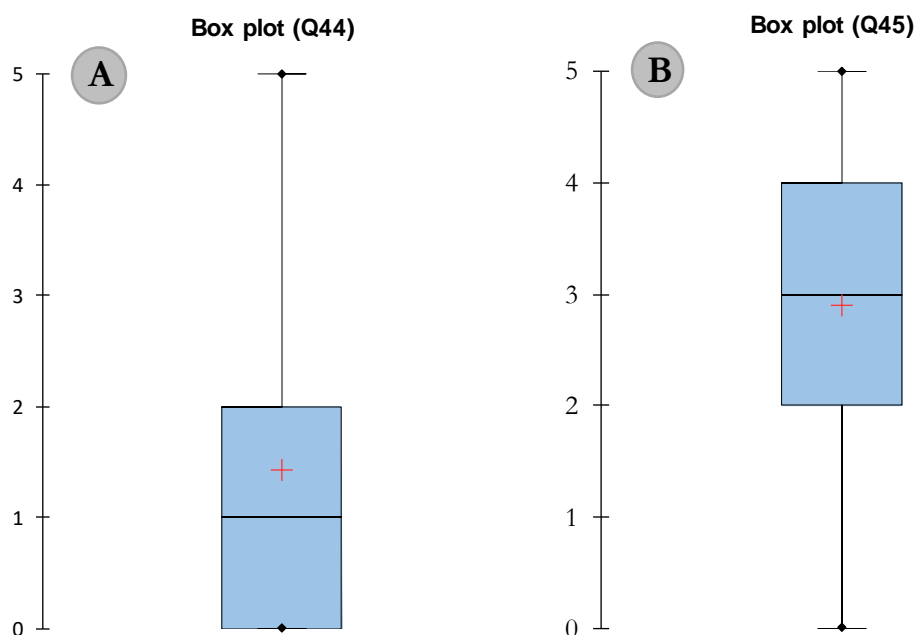


Figure 7-12 : Sur une échelle de 0 à 5, comment évaluez-vous votre degré d'inquiétude actuelle vis-à-vis du risque inondation par la mer (Q44) (A)? Sur une échelle de 0 à 5, comment évaluez-vous votre degré d'inquiétude futur vis-à-vis du risque inondation par la mer (Q45) (B)?

L'exploitation des échelles d'évaluation offre une facilité dans le calcul des scores moyens quant à l'inquiétude face au risque d'inondation par la mer au niveau communal, en adoptant une approche spatialisée. Ceci est particulièrement notable lorsqu'on examine cette évaluation à une échelle plus fine, telle que celle des quartiers.

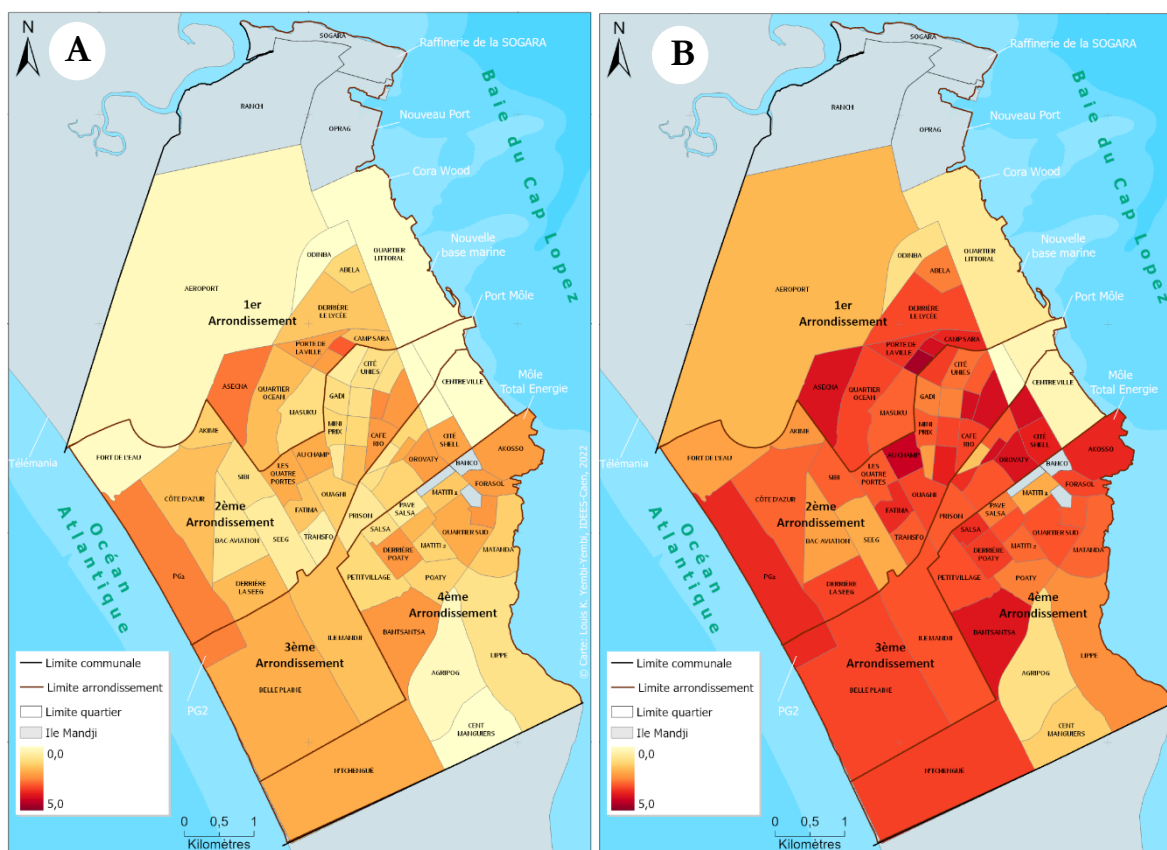


Figure 7-13 : Moyenne du sentiment d'inquiétude aux risques d'inondation par la mer présente (A) et future (B) par quartier

À l'aide de ces cartes (Figure 7-13 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), une représentation spatiale par quartier des scores moyens du niveau d'inquiétude face au risque d'inondation par la mer, tant présente que future, devient possible. Les résultats présentés sont intéressants. Ainsi, nous pouvons observer à la question « Sur une échelle de 0 à 5, comment évaluez-vous votre degré d'inquiétude actuelle vis-à-vis du risque inondation par la mer ? » une homogénéité du niveau très faible de sentiment d'inquiétude, indépendamment du quartier, avec une légère augmentation de l'inquiétude chez les habitants du quartier PG2 sur la côte ouest (Figure 7-13 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** A). Les résidents de Fort de l'Eau, sur cette même portion de la côte, semblent ne pas du tout être inquiets, ce qui pourrait expliquer une implantation humaine de plus en plus proche de la rive dans ce quartier. La moyenne générale d'inquiétude par quartier est de 1,37. Sur la côte est, un niveau d'inquiétude étonnamment faible est également observé, en particulier dans les quartiers qui subissent déjà les effets des inondations marines dues au jeu des marées, mais qui seront les plus exposés selon les cartes d'aléa réalisées, tels que Lippe et Matanda (Figure 7-14 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). De plus, lorsqu'il est demandé aux enquêtés d'évaluer leur niveau d'inquiétude face au risque d'inondation future « Sur une échelle de 0 à 5, comment évaluez-vous votre degré d'inquiétude future vis-à-vis du risque inondation par la mer ? » (Q45), une moyenne d'inquiétude semble plus élevée dans certains quartiers du centre de la commune par rapport à ceux

de la côte. On retrouve les quartiers du centre qui pourraient être exposés aux inondations selon les scénarios S11 et S12 dans les conditions C1, notamment Balise 2, Au champ, quartier Chic, Orovaty, Stade Divoungui. Mais également des quartiers qui ne semblent pas exposés aux inondations par la mer, quel que soit le scénario, comme Bantsantsa et ASECNA. Cependant, il y a également des quartiers qui ne semblent pas exposés aux inondations par la mer, quel que soit le scénario, comme Bantsantsa et ASECNA. Bien que le niveau d'inquiétude évolue pour l'ensemble des quartiers entre la situation présente et la situation future, avec une moyenne générale de 2,9 et un maximum de 4,6 pour le niveau moyen d'inquiétude dans le futur, il semble que les quartiers de la côte, tels que PG2 et encore moins Lippe, n'aient pas les scores les plus élevés (Figure 7-13 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** B). Il semble que, pour les populations du quartier littoral, le risque d'inondation par la mer ne suscite pas une inquiétude particulièrement élevée.



Figure 7-14 : Inondation marine par le jeu de la marée dans le quartier Lippe (image de gauche) et Matanda (image de droite) (photos prises 12/01/2017 à 15h, marée 1,95 SHOM)

Suite à cette analyse du niveau d'inquiétude face au risque d'inondation par la mer, il ressort que cette menace préoccupe une partie significative de la population. Cependant, actuellement, il semble que la plupart des personnes interrogées ne considèrent pas ce risque comme une préoccupation majeure. Pour ces populations, ce problème ne semble pas être une préoccupation immédiate dans leur vie quotidienne, comme le suggère la Figure 7-12 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** A, où plus de $\frac{3}{4}$ évaluent leur niveau d'inquiétude entre 1 et 3 face aux inondations par la mer actuellement. De plus, selon la Figure 7-13 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, les populations riveraines de la côte ne semblent pas être plus inquiètes que celles de certains quartiers du centre de la commune. Cette observation soulève des questions quant au niveau de connaissance du risque d'inondation par la mer, et nous sommes en mesure de nous interroger sur leur véritable compréhension de leur situation dans la commune.

7.3 Une représentation du risque d'inondation par la mer différenciée

Cette section vise à identifier et à comprendre, en se basant sur les hypothèses formulées dans la littérature ainsi que sur la théorie sociale et culturelle du risque, les facteurs qui influent sur la différenciation des représentations des risques et des catastrophes. Bien entendu, l'accent sera principalement mis sur le risque d'inondation par la mer, cependant, la compréhension de ces différenciations par rapport à d'autres risques contribuera à enrichir la réflexion sur le risque d'inondation par la mer. Dans cette section, nous débiterons par l'identification des facteurs socio-économiques qui jouent un rôle déterminant dans la différenciation des représentations et de la perception du risque. Nous examinerons comment ces facteurs influencent cette représentation. Ensuite, nous aborderons la différenciation de la représentation du risque d'inondation par la mer en fonction des groupes sociaux. En effet, les représentations varient en fonction de l'appartenance aux groupes sociaux, de l'expérience personnelle de l'individu, ainsi que de son expérience au sein de son groupe et de son environnement de vie.

7.3.1 Les facteurs de différenciation de la représentation du risque

Le troisième point abordé dans ce chapitre concerne l'identification des facteurs sociaux déterminants dans la représentation du risque. Ces facteurs ont été clairement mis en évidence dans la littérature. Étant donné le caractère multirisque de notre terrain d'étude, nous avons souhaité tester notre hypothèse *H2* énoncé au chapitre 5 (Cf. sous-section 5.1.4) sur les trois principaux risques mentionnés par la population, en plus du risque d'inondation par la mer, qui est au centre de cette thèse.

Pour tester cette hypothèse *H2*, nous avons utilisé la question Q28 de notre questionnaire, « Diriez-vous que vous vous sentez le plus souvent exposé aux : », comme variable à expliquer et les caractéristiques socio-démographiques et résidentielles comme variables explicatives. Comme présenté dans le chapitre 5, les variables ont été dichotomisées. Ainsi, nous avons estimé qu'un chef de ménage considère qu'il est exposé à un risque s'il le mentionne. La valeur du risque est donc de 1, et s'il ne le mentionne pas, nous avons considéré qu'il ne se sent pas exposé et cela prend la valeur 0. Afin de comprendre les résultats présentés et analysés, il est important de se rappeler les informations contenues dans le tableau des variables utilisées dans cette section et leurs transformations (Tableau 7-2 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Catégories	Variables prédictives	Valeurs des indicateurs
Variables dépendantes (Vd)	Niveau d'inquiétude aux risques (Q23)	0 si l'enquêté ne mentionne pas le risque 1 si l'enquêté mentionne le risque
	Niveau du sentiment d'exposition aux risques (Q28)	0 si l'enquêté ne mentionne pas le risque 1 si l'enquêté mentionne le risque
Variables explicatives (Ve)	Temps passé dans la commune (Q1)	1 = Moins de 2 ans 2 = 2 à 5 ans 3 = 6 à 10 ans 4 = 10 à 20 ans 5 = 20 à 30 ans 6 = Plus de 30 ans 7 = Depuis toujours
	Statut du logement (Q16)	1 = Propriétaire 2 = Locataire
	Sexe (Q60)	1 = Homme 2 = Femme
	Âge (Q61)	1 = De 18 à 24 ans 2 = De 25 à 30 ans 3 = De 31 à 40 ans 4 = De 40 à 50 ans 5 = De 50 à 60 ans 6 = Plus de 60 ans
	Taille des ménages (Q64)	1 = De 1 à 3 2 = De 4 à 6 3 = De 7 à 10 4 = Plus de 10
	Niveau d'étude (Q65)	1 = Jamais scolarisé 2 = Primaire 3 = Collège 4 = Lycée 5 = Supérieur/Universitaire
	Statut professionnel (Q66)	1 = Inactifs 2 = Actifs
	Dépense mensuelle (Q67) ⁵	1 = Moins de 100 000 2 = De 100 000 à 500 000 3 = De 500 000 à 1 000 000 4 = De 1 000 000 à 1 500 000
	Standing du bâtiment (Q68)	1 = Précaire 2 = Bas standing 3 = Moyen standing 4 = Haut standing

Tableau 7-2: Variables mobilisées et leurs codifications (Yembi-Yembi *et al.*, 2022)

7.3.1.1 Les facteurs résidentiels déterminants dans la représentation du risque auprès des populations.

Pour évaluer, la robustesse du modèle de régression logistique a été effectuée, une matrice de corrélation est réalisée dans un premier temps (cf. Yembi-Yembi *et al.*, 2022). Dans le but d'étudier les facteurs qui influencent la représentation des risques, quatre modèles de régression logistique binaire ont été créés pour chaque risque déclaré par la population et en utilisant neuf variables explicatives sélectionnées (Tableau 7-2 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Vd = H2	Ve	Coef (B)	Pr > Khi ² (P-value)	Odds (OR)	Infos sur le modèle
Modèle 1 <i>Risque d'inondation pluviale</i>	Temps passé	0,08	0,091*	1 084	Niveau de confiance de 95 %, Cox & Snell R ² = 0,28, Nagelkerke R ² = 0,35,
	Statut du logement	-0,056	0,756	0,945	
	Sexe	0,05	0,75	1,051	
	Âge	-0,029	0,659	0,971	
	Taille des ménages	0,101	0,364	1,106	
	Niveau d'étude	-0,128	0,155	0,88	
	Statut professionnel	-0,01	0,953	0,99	
	Dépense mensuelle	-0,111	0,456	0,895	
Standing du bâtiment	-0,478	< 0,000 1***	0,62		
Modèle 2 <i>Risque d'insécurité</i>	Temps passé	0,168	0,000***	1,183	Niveau de confiance de 95 %, Cox & Snell R ² = 0,25, Nagelkerke R ² = 0,31,
	Statut du logement	0,601	0,001**	1,824	
	Sexe	-0,121	0,433	0,886	
	Âge	0,111	0,092*	1,117	
	Taille des ménages	0,139	0,21	1,149	
	Niveau d'étude	0,025	0,774	1,026	
	Statut professionnel	-0,062	0,717	0,94	
	Dépense mensuelle	-0,148	0,327	0,862	
Standing du bâtiment	-0,35	0,004*	0,704		
Modèle 3 <i>Risque industriel</i>	Temps passé	-0,094	0,043*	0,91	Niveau de confiance de 95 %, Cox & Snell R ² = 0,36, Nagelkerke R ² = 0,43,
	Statut du logement	-0,433	0,017*	0,648	
	Sexe	0,03	0,845	1,03	
	Âge	0,107	0,103	1,113	
	Taille des ménages	-0,041	0,708	0,96	
	Niveau d'étude	0,16	0,078*	1,174	
	Statut professionnel	-0,152	0,367	0,859	
	Dépense mensuelle	0,279	0,070*	1,322	
Standing du bâtiment	-0,153	0,208	0,858		
Modèle 4 <i>Risques d'inondation par la mer</i>	Temps passé	-0,2	< 0,000 1***	0,819	Niveau de confiance de 95 %, Cox & Snell R ² = 0,55, Nagelkerke R ² = 0,62,
	Statut du logement	-0,792	< 0,000 1***	0,453	
	Sexe	-0,073	0,631	0,929	
	Âge	-0,028	0,687	0,972	
	Taille des ménages	0,017	0,875	1,017	
	Niveau d'étude	0,053	0,57	1,054	
	Statut professionnel	0,177	0,304	1,193	
	Dépense mensuelle	0,022	0,885	1,023	
Standing du bâtiment	-0,164	0,176	0,849		

Note : La significativité associée (p-value 0 : *** ; 0,001 : ** ; 0,05 : * ; 0,1 : .), les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha = 0,05.

Tableau 7-3 : Modèles de régression logistique binaire (Yembi-Yembi *et al.*, 2022)

Les résultats, présentés dans le Tableau 7-3 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, montrent que les variables contextuelles significatives sont principalement liées au profil résidentiel, comme le temps passé dans la commune, le statut d'occupation du logement et le standing du logement. Ces variables sont significativement associées à la variable dépendante avec un niveau de signification de 0,5. Cependant, la force d'association de la plupart des modèles est relativement faible, entre 25 % et 43 %, à l'exception du modèle 4 qui affiche une performance entre 55 % et 62 %. Ces résultats suggèrent que la durée de résidence et le statut d'occupation du logement jouent un rôle important dans la représentation du sentiment d'exposition aux risques. De plus, la qualité du logement semble être associée à un niveau de scolarité élevé et à un revenu plus important. Cependant, il est important de noter que la performance globale des modèles est faible, ce qui

souligne la nécessité d'approfondir la recherche pour mieux comprendre les facteurs influençant la représentation du sentiment d'exposition aux risques.

En ce qui concerne les facteurs déterminants de la représentation du risque, nos modèles (Tableau 7-3 **Erreur! Source du renvoi introuvable.**) vérifient partiellement l'hypothèse H2. Nous avons constaté que les facteurs résidentiels semblent être plus déterminants dans la variation du sentiment d'exposition, quel que soit le risque, et inversement que les facteurs sociodémographiques semblent être moins déterminants dans la variation du sentiment d'exposition aux risques.

En examinant chaque modèle individuellement et en se basant sur la littérature existante, on constate que le temps passé dans la commune est associé positivement et négativement aux sentiments d'exposition selon le risque. En particulier, on observe une association négative entre le temps passé dans la commune et le risque industriel ($B = -0,094$), qui est l'un des deux risques de notre liste qui est peu fréquent, voire inexistant dans la commune. Ce résultat est cohérent avec l'étude menée par Anton et Lawrence (2014), qui a montré que la résidence de longue durée dans un lieu réduit les inquiétudes face aux risques non perçus. Cependant, il est en dissonance avec le risque d'insécurité, où le temps passé dans la commune est positivement associé au sentiment d'exposition ($B = 0,168$ $p < 0,05$). Cela implique que les personnes vivant dans la commune depuis longtemps ont 1,183 fois plus de chances de se sentir plus exposées au risque d'insécurité. Cette association peut être davantage expliquée par l'expérience personnelle de la réalité de la ville que par une expérience directe d'une agression ou d'un braquage.

En outre, nos résultats indiquent une association négative entre le niveau de standing du logement et le sentiment d'exposition aux inondations pluviales ($B = -0,478$ $p < 0,05$). Les personnes vivant dans des logements de haut standing ont moins de chances de signaler un sentiment d'exposition élevé ($OR = 0,62$) que celles qui vivent dans des logements de bas standing ou précaires, qui ont tendance à signaler un sentiment d'exposition élevé. Ainsi, les caractéristiques du logement offrent une certaine protection contre le risque (Anton, Lawrence, 2014). Cependant, cela peut s'expliquer par le fait que les logements de haut standing sont souvent situés dans des quartiers mieux assainis, qui sont généralement moins exposés aux inondations, contrairement aux logements de bas standing ou précaires.

Il existe également une association négative entre le statut d'occupation du logement et le risque industriel ($B = -0,433$). Ces associations négatives sont également confirmées par plusieurs études qui montrent que les propriétaires ont tendance à évaluer fortement le risque. C'est le cas pour le risque d'inondation en Angleterre (Grothmann, Reusswig, 2006 ; Burningham et al., 2008). Il en va de même pour le risque d'insécurité. Bien que très peu pris en compte dans l'évaluation des facteurs

déterminants de la représentation du risque, le facteur standing du logement est négativement associé au risque d'insécurité ($B = -0,357$ $p < 0,05$). Plus les personnes vivent dans des logements de haut standing, plus elles ont tendance à déclarer le risque d'insécurité comme faible. Cette tendance peut être attribuée aux caractéristiques du bâti. Il semble que les résidences de haut standing soient souvent mieux protégées que les résidences de bas standing. Contrairement au logement de bas standing, ceux de haut standing se trouvent dans des concessions clôturées, avec des grilles antivols aux ouvertures, le plus souvent surveillées par des gardiens. Ce sentiment de protection qu'offre le logement semble entraîner une baisse du sentiment d'exposition à l'insécurité.

Concernant le risque d'inondation par la mer, qui fait l'objet de cette thèse, le résultat obtenu explique entre 55 % et 62 % de la variation du sentiment d'exposition pour l'ensemble des variables. C'est le seul modèle sur les quatre, qui a une performance supérieure à 50 %. Le temps passé dans la commune semble avoir un impact négatif sur la représentation du sentiment d'exposition ($B = -0,200$ $p < 0,05$). En d'autres termes, ce résultat semble indiquer qu'un ancrage résidentiel dans la commune aurait tendance à diminuer le sentiment d'exposition à l'inondation par la mer. Comme le risque industriel, cela semble être dû à la faible occurrence et à la faible intensité des inondations par la mer sur la commune. Dans cette situation, les personnes ont tendance à minimiser le risque. Plusieurs études sur la représentation du risque d'inondation par la mer confirment l'impact négatif de l'ancrage résidentiel sur le risque d'inondation par la mer (Coquet, 2019 ; Verlynde, 2018). Du fait que l'inondation par la mer ne soit pas un phénomène courant, les populations n'en ont aucune expérience. Cette situation semble expliquer cette tendance à évaluer faiblement le sentiment d'exposition aux inondations par la mer malgré un ancrage résidentiel à Port-Gentil. Cette réalité est en accord avec les conclusions de Lindell et Hwang (2008), de Krien (2014) ou encore de Lemée (2017), qui montrent que les personnes qui ont une expérience du risque évaluent plus fortement le risque, et vice versa pour celles qui n'ont pas d'expérience. De même, le statut d'occupation dans cette étude est un déterminant dans la représentation du risque d'inondation par la mer ($B = -0,792$ $p < 0,0001$) ; l'odds ratio (OR). Etant de 0,454, les locataires ont moins de chance de déclarer le niveau d'exposition aux inondations par la mer comme étant élevé. Ce résultat est en dissonance avec celui réalisé sur les côtes belges, dont les résultats montrent que le fait d'être propriétaire ou locataire ne variait pas la représentation au risque d'inondation marine (Kellens *et al.*, 2011).

Dans notre étude, il est intéressant de noter que la situation dans le logement est un facteur déterminant. Ainsi, nous pouvons observer que les locataires ont tendance à évaluer leur exposition au risque d'inondation par la mer plus faiblement que les propriétaires. Ce résultat est cohérent avec l'étude menée au Nigeria sur les populations de Lagos et aux Pays de Galles (Bunningham *et al.*, 2008 ; Adelekan, Asiyanbi, 2016). Cette tendance peut s'expliquer par un faible niveau de

sensibilité à la perte du logement chez les locataires. Cependant, ce résultat doit être pris avec beaucoup de précautions, car dans notre enquête, la majorité des enquêtés sont des propriétaires (72,75 %). Ainsi, les résultats peuvent donc être affectés.

En résumé, les variables explicatives considérées comme significativement déterminants n'affectent pas la variable dépendante pour chaque risque en même temps et de la même manière.

7.3.1.2 La position spatiale comme facteur déterminant la différenciation de la représentation de la population face au risque

En raison du caractère insulaire et topographiquement homogène de la commune de Port-Gentil, nous avons cherché à déterminer si la position spatiale des ménages était un facteur influent dans la différenciation de la perception des risques. Cette analyse vise d'une part à identifier les zones nécessitant une sensibilisation et d'autre part à comprendre les problématiques environnementales urbaines propres à chaque secteur de la commune. Pour ce faire, nous avons utilisé une analyse géostatistique, couramment employée en accidentologie et en criminologie urbaine, notamment l'analyse des points chauds (statistique Getis-Ord G_i^*) qui nous a permis d'identifier la localisation spatiale des clusters de valeurs élevées (points chauds souvent en rouge) et de valeurs faibles (points froids souvent en bleu), et de déterminer les intervalles de confiance de 90 %, 95 % et 99 % pour chaque risque (Yembi-Yembi *et al.*, 2022).

Après avoir testé l'hypothèse H3, nous avons constaté que la représentation du sentiment d'exposition à Port-Gentil est liée à la localisation spatiale du lieu de résidence, ce qui est conforme à l'hypothèse H3. Les résultats indiquent que le sentiment d'exposition varie significativement en fonction de la localisation et du risque considéré, ce qui est cohérent avec les recherches précédentes sur les représentations des risques anthropiques et naturels, notamment les inondations marines. (Arias *et al.*, 2017 ; Bonnet, 2002 ; Coquet, 2019). L'analyse de la distribution spatiale du sentiment d'exposition aux différents risques révèle une certaine logique spatiale, où certains groupes portent plus d'attention à un risque particulier en fonction de la proximité à la source de danger potentiel ou avéré. Les concentrations des points reflétant le sentiment d'exposition élevé au risque d'inondations pluviales sont localisées dans les quartiers informels, marécageux et sans véritables ouvrages d'assainissement des eaux pluviales, ce qui est similaire aux résultats observés à Lagos et à Ouagadougou (Adelekan, 2010 ; Da *et al.*, 2022). En revanche, les clusters reflétant un faible sentiment d'exposition aux inondations pluviales sont situés dans les quartiers cités, souvent bien pourvus en réseau d'assainissement et plus ou moins bien structurés.

Chapitre 7 : La représentation du risque d'inondation par la mer : révélatrice d'une vulnérabilité sociale

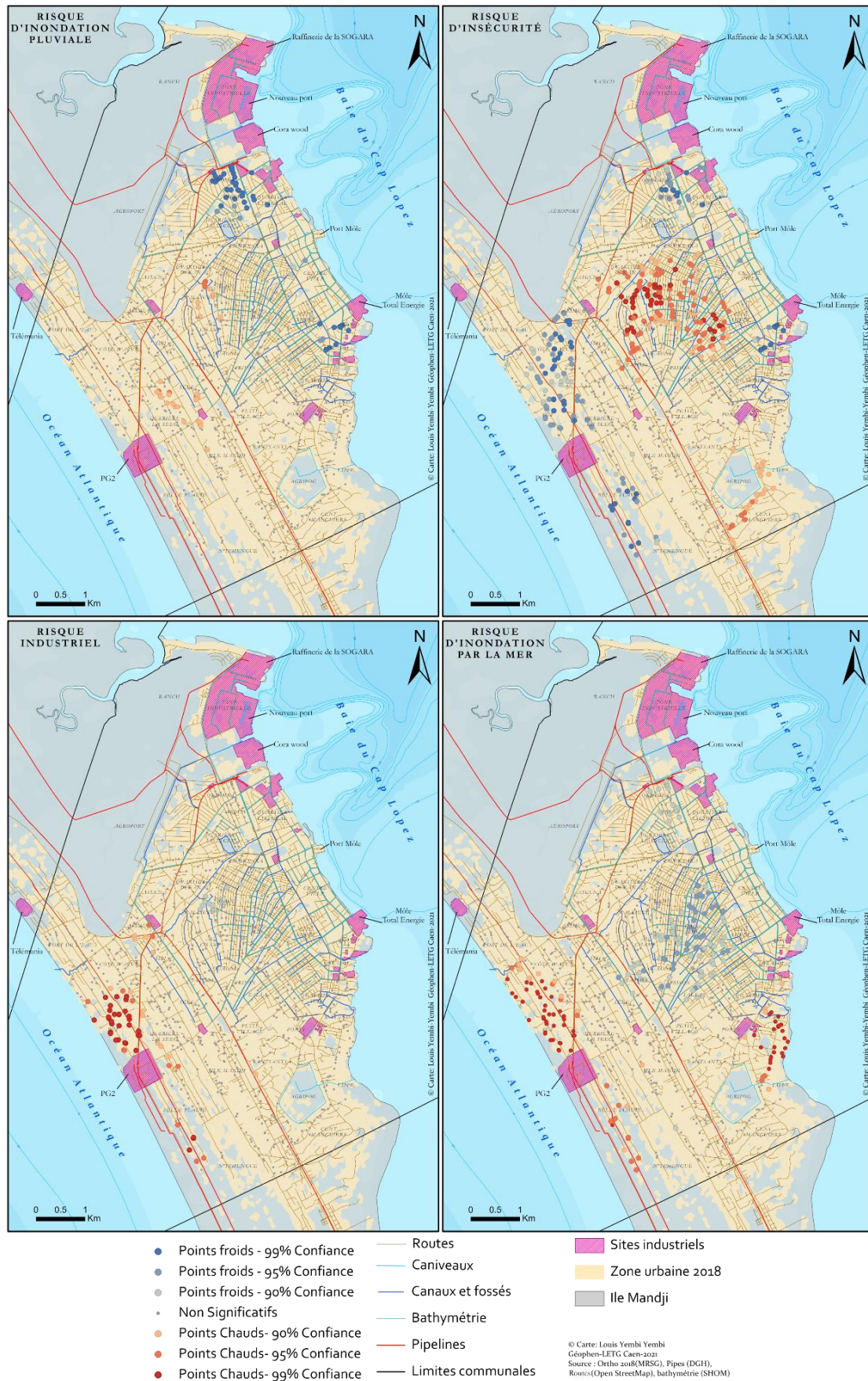


Figure 7-15 : Représentation cartographique des points chauds et froids indépendants pour chaque risque auquel la population se sent exposée (Yembi-Yembi *et al.*, 2022)

En ce qui concerne le risque d'insécurité (Figure 7-15), il se situe dans les quartiers populaires, densément peuplés, peu éclairés et comportant un grand nombre de bars et de boîtes de nuit. Pour le risque industriel, la cartographie de la concentration des points révèle une concentration à l'ouest de la ville, à proximité du réseau de pipelines et autour du complexe industriel de Total Énergie, ce qui confirme les travaux antérieurs de Bonnet (2002), Grembo (2010). En effet, la proximité aux installations industrielles est un facteur d'évaluation de l'exposition à la hausse. Ces résultats viennent également confirmer les conclusions de Lila Miyagou (2013) sur la représentation du risque industriel sur l'île Mandji, dans lequel se trouve notre zone d'étude. En somme, l'analyse spatiale nous permet de mieux comprendre la répartition géographique des risques et de leurs perceptions par les habitants de Port-Gentil.

Au niveau du risque d'inondation par la mer (Figure 7-15), la cartographie des *hotspots* montre un niveau d'exposition élevé dans les zones proches de la côte. Les personnes vivant à moins d'un kilomètre de la côte ont une représentation plus élevée du risque d'inondation par la mer que celles vivant dans le centre de la ville. Malgré la petite taille de la zone d'étude et la topographie basse et uniforme, ce résultat révèle l'influence de la position spatiale et des éléments constituant le cadre de vie comme déterminants dans l'appréciation du sentiment d'exposition au risque d'inondation par la mer. Ce résultat est loin d'être unique au vu des études menées dans plusieurs territoires sur l'impact de la localisation sur le sentiment d'exposition aux risques côtiers. C'est le cas, par exemple, de l'étude sur la perception des risques d'érosion côtière et de submersion marine par la population du littoral de Wissant et d'Oye-Pla en France, réalisée par Ruz *et al.* (2020), et celle de Michel-Guillou et Meur-Ferec (2017), sur les représentations du risque côtier dans cinq communes françaises (Guissény, Pénestin, Ile de Sein, Ile-Tudy et Tour du Parc).

Bien que plusieurs risques aient été abordés, on peut noter que les représentations du sentiment d'exposition au risque sont cohérentes avec l'environnement urbain dans lequel se trouve chaque ménage. En d'autres termes, la représentation du risque est corrélée à la proximité de la source probable de danger, malgré la diversité des risques étudiés. Ce résultat est quelque peu similaire à celui de Lindell et Hwang (2008). Dans leur étude portant sur trois risques, les inondations fluviales, les ouragans et l'industrie chimique auprès de 321 individus vivant aux États-Unis, Lindell et Hwang ont constaté que la perception du risque était liée à la proximité du littoral pour le risque d'ouragan et des usines chimiques pour le risque industriel, bien que pour le risque d'inondation fluviale, cette relation ne soit pas prouvée. Ainsi, la distribution spatiale du sentiment d'exposition aux différents risques dans cette étude permet de visualiser très rapidement les secteurs de la ville où les populations se sentent moins concernées par un risque en particulier, mais dont leur exposition pourrait être importante selon le risque ignoré. Cela souligne l'importance de sensibiliser la population aux différents risques liés à leur environnement urbain et à leur position

géographique. Les autorités locales pourraient également prendre en compte ces résultats pour mieux planifier la gestion des risques et la préparation aux situations d'urgence.

7.3.2 La carte mentale révélatrice d'une divergente de représentation du risque entre les autorités et la population

Comme évoqué dans le chapitre 5, nous avons également envisagé la compréhension de la représentation du risque d'inondation par la mer à travers le corpus de cartes, appelé carte mentale des zones potentiellement exposées aux inondations par la mer et les zones à forts enjeux produites par les enquêtés. En effet, ce matériau peut être exploité au-delà des hypothèses de départ formulées dans le cadre de la thèse. À défaut de temps suffisant pour réaliser une nouvelle étude aussi complète que celle que nous venons de présenter, nous nous contenterons de proposer dans cette thèse d'examiner la représentation graphique des zones exposées aux inondations marines et la vision des en des pistes de réflexion.

L'analyse des cartes mentales offre une perspective divergente sur la représentation du risque entre les deux groupes étudiés, à savoir les autorités locales et la population. En outre, elle permet d'établir si une convergence existe entre la perception du risque dans la commune et les priorités à protéger identifiées par ces deux groupes. Cette analyse cartographique aide également à comprendre ou à confirmer les réticences soulignées dans la sous-section précédente, montrant que la population doute de la capacité des autorités locales à gérer les problèmes liés aux inondations marines. Dans cette perspective, nous considérons que la perception des risques par la population diffère de celle des autorités politico-administratives. Ainsi, la conception du risque s'inscrit également dans la dichotomie entre experts et profanes, un concept largement débattu dans le domaine des sciences cindyniques. Dans certains cas, cette dichotomie peut constituer un obstacle à la mise en place des politiques de réduction des risques envisagées par les gestionnaires.

7.3.2.1 Représentation graphique des ZRI et des ZTFE par les autorités politico-administratives

Dans le cadre de la représentation des cartes mentale, l'ensemble des autorités politico-administratives ont bien voulu participer au jeu de la réalisation des cartes mentales. Du côté de la population, seuls 58 enquêtés ont accepté de participer à l'exercice. En ce qui concerne les zones à risque d'inondation par la mer, la première observation issue de la compilation des représentations des autorités administratives révèle que les zonages superposés recouvrent une partie du linéaire du front de mer communal sur la côte ouest (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**A). Cette superposition est localisée entre le site de Total Energies de PG2 et les quartiers Fort de l'Eau et Côte d'Azur. Sur la côte est, c'est l'intégralité du linéaire qui serait exposée, jusqu'à une distance d'environ 500 mètres à l'intérieur des terres. Les secteurs les plus souvent mentionnés comme étant

renvoi introuvable.B). Cette carte mentale synthétique permet d'identifier non seulement les endroits présentant des enjeux élevés, mais implicitement de cerner le type d'enjeux potentiellement considérés comme prioritaires à protéger. Ainsi, pour les autorités locales, la côte ouest ne constitue pas actuellement une zone à très fort enjeu. Pour les gestionnaires, les enjeux importants dans la ville semblent se situer dans les 500 premiers mètres de la côte est. Un autre aspect à noter est que les zones à très fort enjeu sont principalement d'ordre économique, telles que les sites industriels et portuaires (raffinerie, nouveau port, le Môle de Total Énergie où se concentrent d'autres entreprises du secteur pétrolier, le site de Cora Wood pour l'industrie du bois), ainsi que la zone administrative dans le centre-ville. Un secteur qui retient l'attention est notamment celui des quartiers Lippe et Matanda, davantage résidentiels. Les représentations mentales des autorités locales semblent donc être en accord avec les actions entreprises par la municipalité, notamment en accordant une plus grande attention à la protection du front de mer de la côte est avec une digue, tout en adoptant une attitude plus passive sur la côte ouest où nous avons observé dans le chapitre précédent une expansion des constructions vers la mer.

7.3.2.2 Représentation graphique des ZRI et des ZTFE par les populations

Au niveau de la carte mentale de synthèse des populations sur les zones susceptibles d'être exposées aux inondations par la mer, la faible participation de chefs de ménage à cet exercice pourrait traduire un faible niveau de connaissance des potentielles zones exposées. Mais une autre explication peut venir de la crainte pour certaines personnes du stylo. Malgré cette faible participation à l'élaboration de la carte mentale des Zones à Risque d'Inondation (ZRI) (Figure 7-17 A), la superposition des zones considérées comme exposées aux inondations par la mer couvre l'ensemble du littoral de la partie est (Baie du cap Lopez) ainsi qu'une grande partie de la façade ouest (Atlantique). Il est intéressant de constater que les habitants de Port-Gentil estiment que la commune est pratiquement entièrement exposée aux inondations par la mer, jusque dans son centre, contrairement aux autorités locales. Les zones identifiées comme susceptibles d'être inondées s'étendent du littoral jusqu'à plus de 1,5 km à l'intérieur des terres. Les 500 premiers mètres à partir du littoral sont les plus mentionnés, tant du côté est que du côté ouest. Si l'on compare les emprises d'inondation en tenant compte de l'élévation du niveau de la mer et de la configuration des vagues (Figure 6-6), on observe une grande similitude. Il semblerait que la carte mentale reflète le fait que les habitants de Port-Gentil considèrent le risque d'inondation par la mer comme un risque futur plutôt qu'imminent. Comme cela semble le cas chez les autorités. Un autre aspect c'est que cette carte mentale est le fait que les deux façades sont considérées au même niveau d'exposition, comme le démontrent les résultats des figures au chapitre 6.

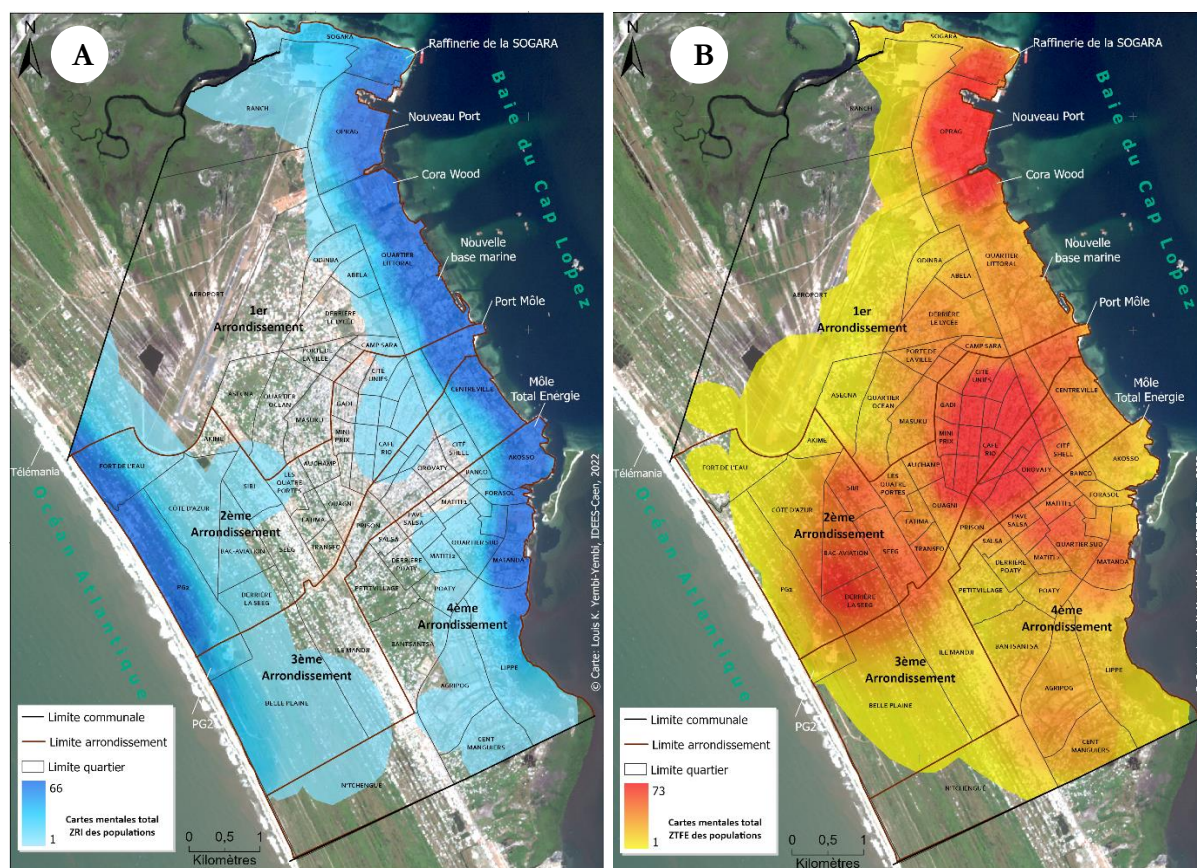


Figure 7-17 : Représentation des emprises des zones à risque d'inondation par la mer (A) et des zones à très forts enjeux (B) selon les populations enquêtées.

L'analyse des cartes mentales, compilée des zones à très forts enjeux (ZTFE) (Figure 7-17 B), présente des occurrences de citation dans le secteur industrialo-portuaire, ce qui semble montrer que les populations comme les autorités locales attachent du prix à activité économique pourvoyeur d'emploi. On imagine bien l'impact d'une inondation dans cette zone pourrait être catastrophique pour l'économie locale et l'employabilité de la population par ailleurs les zones de commerce et de concentration de la population sont des prioritaires, contrairement autorités. Trois grands pôles d'enjeux se dégagent. Ne la première couronne urbaine notamment dans la zone industrielle, une autre dans la deuxième couronne urbaine, mais particulièrement dans le secteur du marché du Grand Village et le troisième pôle se localise dans la troisième couronne urbaine, notamment dans les quartiers populaires denses.

7.4 Un regard mitigé de la gestion des risques naturels dans la commune par les populations

La section précédente nous a permis de discuter sur les facteurs de différenciation de la représentation des risques principaux présent dans la commune de Port-Gentil. L'objectif de ce cette section est d'avoir un premier aperçu de la gestion du risque à travers l'appréciation de la population, mais également des autorités locales, mais aussi de prendre l'avis des populations sur la démarche de réduction du risque d'inondation par la mer, leur volonté à participer aux actions de réduction et la relation que les personnes interrogées ont vis-à-vis des autorités et leur niveau de confiance face à leur capacité à gérer le risque. Dans les entretiens, différents types de mesures sont appelées pour faire face aux inondations.

7.4.1 Connaissance des acteurs en charge de la gestion des risques et le regard de populations dans la politique de gestion du risque

Dans l'ensemble, il apparaît que la population manque de connaissances sur les autorités chargées de la gestion des risques naturels en général, et des inondations par la mer en particulier. Cette lacune révèle un déficit de communication de la part des instances responsables de la gestion des risques. En effet, lorsqu'on pose la question (Q49) « Selon vous, quel organisme est le mieux placé pour lutter contre les inondations marines ? », il est tout à fait compréhensible, à notre avis, que plus de 30 % des personnes interrogées citent en premier lieu la mairie de Port-Gentil. Cette institution représente l'administration de proximité, celle que l'on côtoie au quotidien.

Cependant, en examinant de plus près les deux administrations qui suivent la mairie, on peut constater qu'elles sont toutes deux responsables de l'aménagement du territoire. Il s'agit notamment du ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, avec 16 %, et du ministère de l'Aménagement du Territoire, avec 11 % (Figure 7-18 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Comme nous allons le voir au chapitre 8, il convient de souligner que sur le plan légal, la gestion des risques et des catastrophes au Gabon relève du ministère de l'Intérieur. Néanmoins, un niveau local, la municipalité est celle qui gère la problématique des risques.

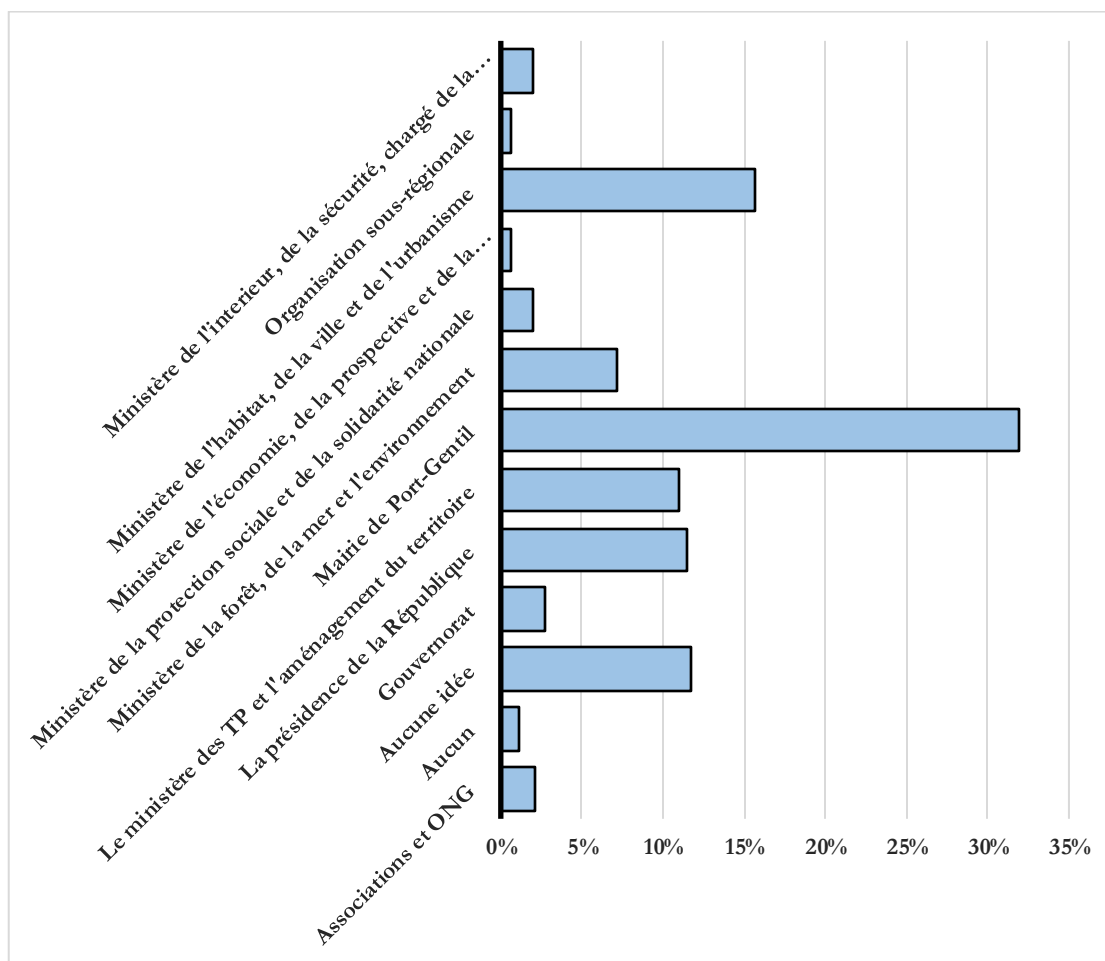


Figure 7-18 : Organisme le mieux placé pour lutter contre les inondations marines selon les enquêtés

Il est intéressant de noter que la population perçoit la mairie de Port-Gentil comme l'entité locale la mieux placée pour lutter contre les inondations, et qu'un certain nombre de ministères sont également considérés comme compétents dans ce domaine. Le fait de percevoir la mairie comme l'entité locale capable de lutter contre les inondations, cela voudrait certainement dire qu'elle a une connaissance des missions de la mairie, mais il faut cependant dire qu'au Gabon, l'acteur le plus proche et le plus accessible pour résoudre les problèmes de la population aux quotidiens c'est la collectivité locale. Les administrations locales sont souvent vues comme les premiers points de contact pour les besoins et les préoccupations de la population. La mairie est considérée comme l'entité qui a une connaissance directe des défis auxquels sont confrontés les habitants et qui est donc mieux placée pour agir rapidement en cas de crise, comme les inondations. Cette perception pourrait découler de la proximité géographique de la mairie avec les habitants, ainsi que de son rôle traditionnel dans la fourniture de services municipaux et la gestion des affaires locales. En outre, cela suggère que les habitants ont confiance dans la capacité de la mairie à répondre à leurs besoins et à protéger leur bien-être, ce qui souligne l'importance de renforcer les capacités des administrations locales pour faire face aux défis environnementaux et sociaux.

Cependant, il est important de souligner que cette même population éprouve le sentiment que les autorités ne tiennent pas suffisamment compte du risque d'inondation par la mer. En effet, selon notre enquête, 86 % des participants estiment que le gouvernement gabonais ne déploie pas suffisamment d'efforts pour résoudre le problème des inondations par la mer à Port-Gentil (Figure 7-19 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** A). Encore moins la mairie de Port-Gentil. De ce côté c'est 87 % qui pensent que la mairie ne gère pas ce risque (Figure 7-19 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** B). Cette perception peut découler de plusieurs facteurs, tels que le manque de mesures concrètes et visibles sur le terrain, le manque de ressources allouées à la prévention des inondations, ou encore des expériences passées de catastrophes mal gérées pour d'autres risques telles que les inondations pluviales.

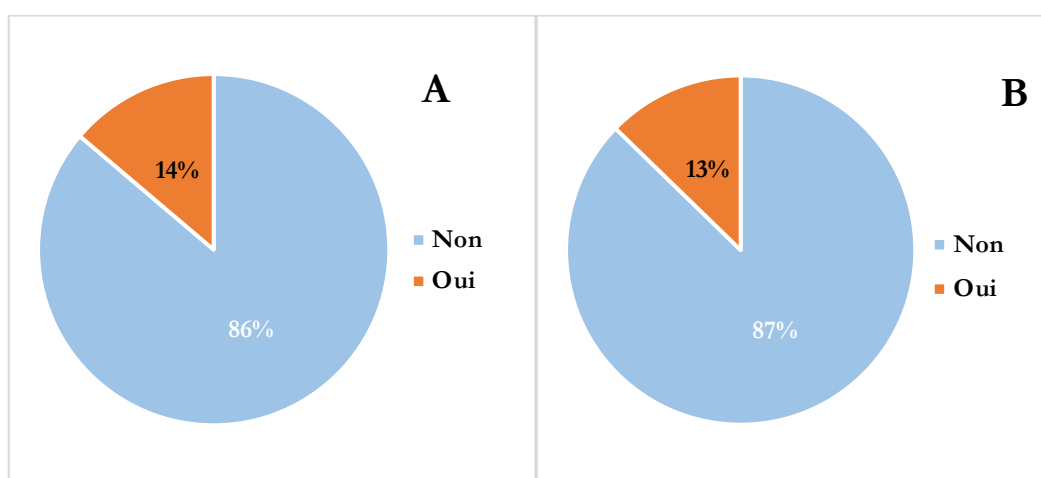


Figure 7-19 : Pensez-vous que le gouvernement ou les autorités locales font des efforts pour régler le problème des inondations par la mer à Port-Gentil? (A), Pensez-vous que la mairie de Port-Gentil gère les risques d'inondation dans la commune? (B)

Nous pouvons expliquer cette forte proportion au « Non » sur les deux questions en lien avec les inondations par la mer, notamment pas parce que les populations ont une connaissance de ce que font les autorités aussi bien les autorités décentralisées que ceux communaux, mais parce que sur la question de risque d'inondation pluviale, ils ont déjà le sentiment que rien n'est fait. Plusieurs enquêtés nous disaient hors questionnaire « *Vous pensez que nos autorités là vont traiter un problème qui n'a pas encore vraiment touché la ville ? Même pour les inondations pluviales que nous subissons chaque année, ils sont incapables de trouver une solution. Mon fils, il faut savoir que dans notre pays-là, tant qu'il n'a pas eu des morts personne ne bouge. C'est le pays qui est comme ça on va encore faire comment ?* » (**enquêté du côté du quartier Belle Pleine à l'ouest de la ville**)

En prenant en considération la situation de leur commune et le sentiment largement partagé par de nombreux répondants selon lequel les autorités gouvernementales et locales ne prennent pas suffisamment en charge le problème des risques d'inondation par la mer, il est intéressant de noter que 93 % des enquêtés estiment que ces autorités devraient s'engager activement dans la résolution

de ce problème. Cependant, il convient de noter qu'un petit pourcentage, soit 7 %, pense le contraire (Figure 7-20 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

La question qui se pose alors est de comprendre la perspective de ce groupe minoritaire. Il est possible que ces 7 % estiment que les autorités sont déjà engagées de manière appropriée dans la gestion des inondations marines, ou qu'ils considèrent que d'autres acteurs, tels que les organisations non gouvernementales (ONG), devraient jouer un rôle plus central dans la résolution de ce problème. Il est également possible qu'ils se sentent résignés face à la complexité du défi posé par les inondations marines et qu'ils estiment que peu de progrès peuvent être réalisés.

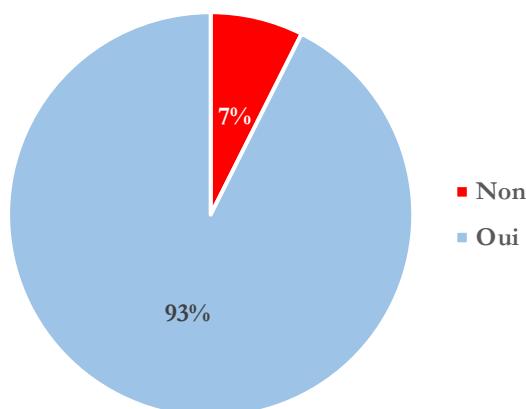


Figure 7-20 : Pensez-vous que les autorités locales devraient se saisir du problème des inondations marines actuellement? (Q56)

7.4.2 Solution préconisée par les portgentillais et volonté de participer

En ce qui concerne la gestion des risques d'inondation par la mer, la littérature identifie généralement quatre solutions. Il s'agit de :

- **Laisser-faire** : Cette approche est la moins coûteuse, mais elle est applicable dans les zones où il y a peu ou pas d'enjeux à protéger.
- **Protection souple de la côte** : Cette méthode consiste à accompagner les processus naturels en utilisant des protections flexibles, comme le remblaiement du littoral pour créer des dunes artificielles. Elle présente l'avantage d'être relativement peu coûteuse.
- **Lutte active** : Cette stratégie vise à construire des ouvrages de protection, tels que des digues. Cependant, elle est très coûteuse et nécessite une réflexion globale pour éviter de déplacer simplement le problème ailleurs.

- **Repli stratégique** : Cette approche consiste en la suppression, le déplacement ou la relocalisation des biens et des activités.

Dans le but d'identifier les solutions préconisées par la population enquêtée pour atténuer l'exposition aux inondations par la mer, notre enquête a révélé que les réponses étaient variées. La construction de digues a été proposée par 38 % des enquêtés, ce qui reflète une préférence pour la lutte active. Ensuite, 20 % ont mentionné la relocalisation des biens et des activités, tandis que 20 % n'avaient pas d'avis sur la question, on peut émettre l'hypothèse qu'ils ne se sentent pas concernés par cette problématique ou qu'ils n'ont aucune connaissance de l'aléa et donc des solutions à envisager. Seuls 16 % ont préconisé la méthode souple d'ensablement des plages, et seulement 1 % étaient en faveur du laisser-faire (Figure 7-21 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ces réponses mettent en évidence la diversité des opinions au sein de la population quant aux approches à adopter pour faire face aux inondations par la mer.

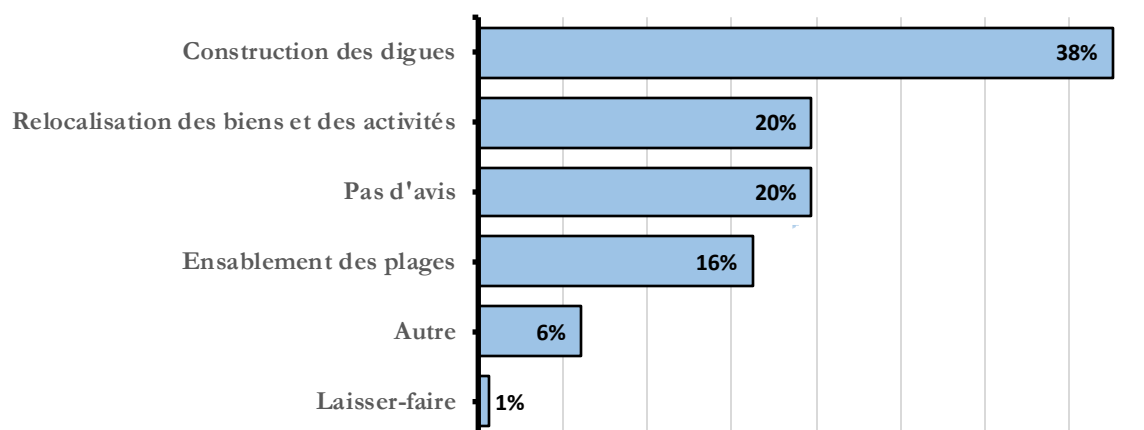


Figure 7-21 : Pour lutter contre les inondations d'origine marine, quelle méthode aimeriez-vous voir aboutir? (Q57)

À la suite des solutions proposées par la population, nous avons cherché à déterminer si elle était disposée à participer financièrement aux efforts d'atténuation des risques d'inondation par la mer, en particulier dans le contexte de la mise en œuvre des approches qu'elle avait préconisées, telles que la construction de digues, la relocalisation et l'ensablement des plages, qui peuvent entraîner des coûts financiers importants.

Il est intéressant de noter que 61 % de la population enquêtée se déclare prête à contribuer financièrement pour atténuer l'exposition aux inondations par la mer, à hauteur de 10 000 FCFA par an (~6,5 euros). Cependant, 39 % ne sont pas favorables à l'idée de participer financièrement à la construction d'ouvrages de protection. (Figure 7-20 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

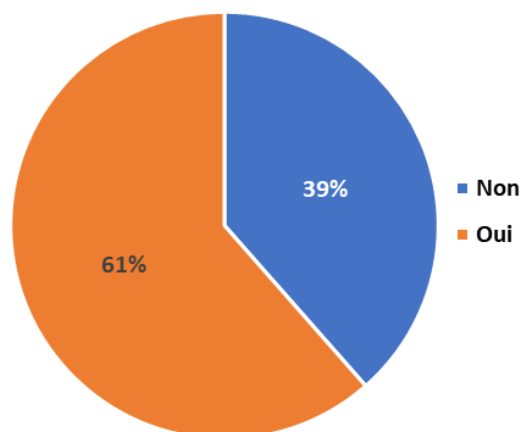


Figure 7-22 : Si les autorités locales décident de prélever 10 000 francs CFA de taxe par ménage et par an pour la construction des ouvrages de protection, allez-vous accepter de payer? (Q58)

En analysant de plus près les données, notamment en comparant la disposition à participer financièrement en fonction de la méthode de protection envisagée, nous constatons que, quelle que soit la solution proposée, plus de 60 % des répondants sont prêts à contribuer financièrement. (Figure 7-22 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Parmi les 38 % qui souhaitent la construction de digues, 31 % n'accepteraient pas de payer pour cette construction et 69 % accepteraient de payer les 10 000 Francs CFA. Parmi les 16 % évoquant la volonté de réaliser un ensablement des plages pour lutter contre le risque, 61 % sont d'accord pour payer. Ainsi, une grande part de la population est enclin à participer financièrement à la gestion du risque.

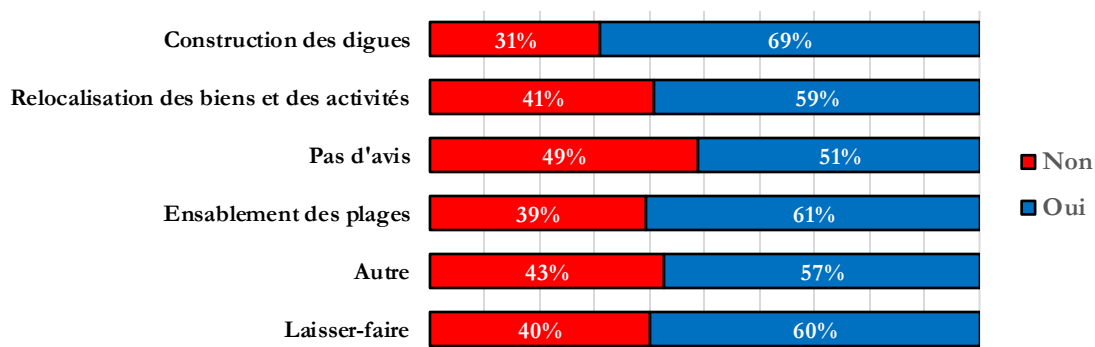


Figure 7-23 : Part des enquêtés acceptant de payer pour la construction d'ouvrages de protection selon les méthodes de protection qu'ils aimeraient voir aboutir

Cependant, il est important de noter que le revenu des individus joue un rôle déterminant dans leur volonté de participer financièrement à ces efforts. Les enquêtés les plus nantis, dont les revenus se situent entre 1 million et 1,5 million de FCFA, se déclarent très enclins à participer, avec une adhésion de 90 % parmi ceux qui ont ces revenus. En revanche, pour les enquêtés moins aisés, en particulier celles en situation de précarité avec des revenus compris entre 100 000 et 200 000 FCFA,

la disposition à participer financièrement est mitigée, avec 51 % en faveur et 49 % opposés (Figure 7-24 Erreur ! Source du renvoi introuvable.).

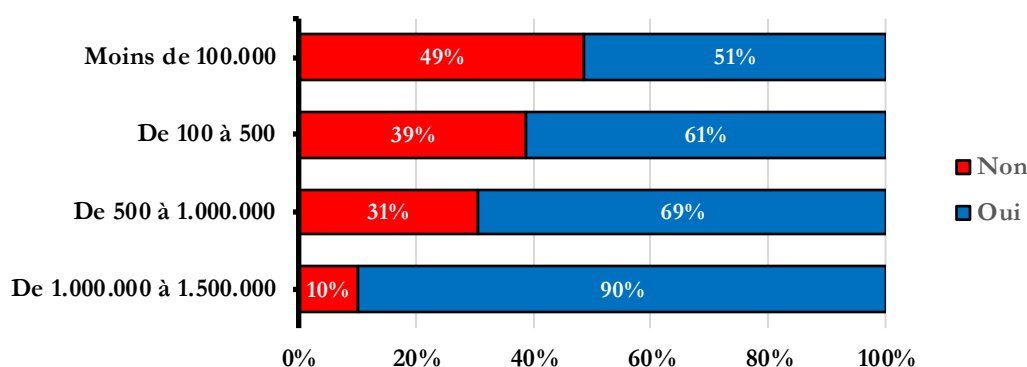


Figure 7-24 : Part des enquêtés acceptant de payer pour la construction d'ouvrages de protection selon les dépenses mensuelles des ménages

7.4.3 Une confiance aux autorités locales mitigées

Avant d'explorer la confiance que la population accorde aux autorités politico-administratives, il a été demandé à la question Q49 traitée à la sous-section 7.4.1 quel était l'organisme le mieux placé pour lutter contre les inondations marines. Les résultats ont révélé que la mairie de Port-Gentil a été désignée par plus de 30 % des répondants (Figure 7-18).

Par la suite, nous avons demandé aux enquêtés de choisir l'organisme en lequel ils avaient le plus confiance pour prendre en compte leurs préoccupations en matière de gestion des risques (Figure 7-25 Erreur ! Source du renvoi introuvable.). Il est intéressant de noter que le gouvernement, avec ses ministères éventuels, et les ONG ont obtenu respectivement 29 % et 28 % des réponses. Ils sont suivis par la réponse « aucun organisme » à hauteur de 18 % des enquêtés. La présence significative de la réponse « aucun organisme » suscite des préoccupations, car cela pourrait signifier que les organismes et les autorités ont encore du travail à faire pour gagner la confiance du public en ce qui concerne la gestion des risques. Cette méfiance peut avoir des implications sur la mise en œuvre de projets visant à atténuer les risques, car une confiance insuffisante peut entraver la coopération entre la population et les organismes chargés de la gestion des risques (Khazen, 2019).

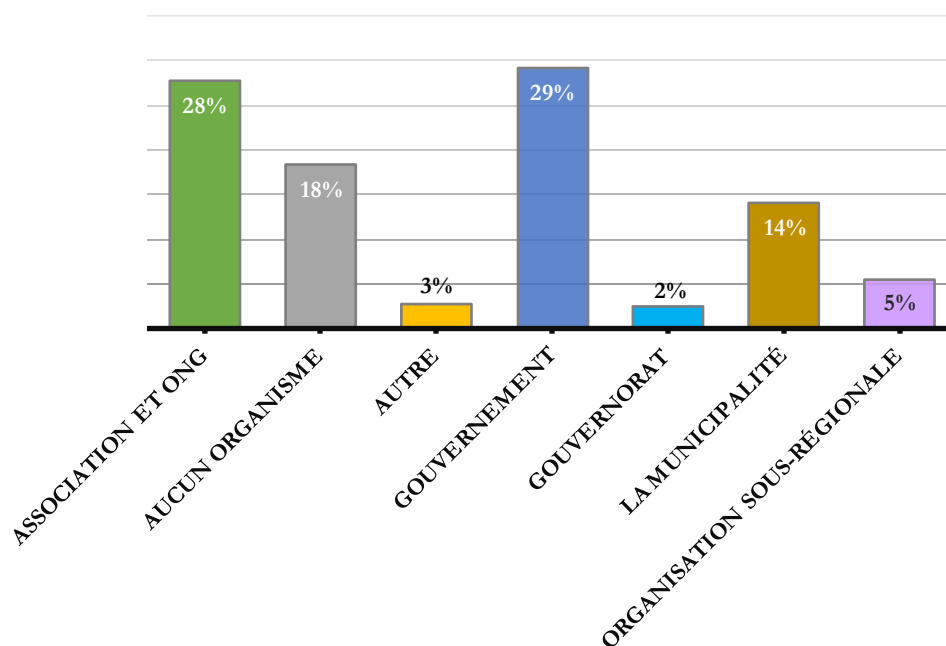


Figure 7-25 : Organismes à qui les enquêtés feraient le plus confiance dans la prise en compte de leurs préoccupations en matière de gestion du risque (Q55)

Dans un souci de comparabilité, nous avons regroupé les différents organismes selon la même classification que celle utilisée dans la question Q55, qui portait sur la question de la confiance accordée à divers acteurs dans la prise en compte des préoccupations en matière de gestion des risques. Il est important de noter que l'un des obstacles majeurs aux politiques de gestion des risques réside dans le niveau de confiance que la population accorde aux acteurs proposant des solutions pour résoudre leurs problèmes. Après agrégation des réponses, il est clair que, dans l'ensemble, une grande partie des habitants de Port-Gentil estime que le gouvernement, avec ses différents ministères, est l'entité la mieux placée pour lutter contre les inondations marines (50 %). Ce raisonnement découle probablement du fait que l'État central joue un rôle omniprésent dans la gestion des politiques publiques d'aménagement et de gestion du territoire au Gabon, laissant peu de place aux collectivités locales. Cette situation sera confirmée par les responsables administratifs interrogés au chapitre 8. Les collectivités locales, bien que moins favorisées en termes de confiance (32 %), conservent néanmoins une part significative de cette confiance.

En revanche, il est intéressant de noter que les ONG sont quasiment absentes de la question des risques à Port-Gentil. Cependant, une part importante des habitants accorde leur confiance aux gouvernements (50 %), bien que les ONG, prises individuellement, soient les organismes auxquels les enquêtés accordent le plus leur confiance en ce qui concerne la prise en compte de leurs préoccupations en matière de gestion des risques (Figure 7-26). Ce paradoxe souligne la complexité de la perception de la confiance envers les acteurs de la gestion des risques. Le cas de la municipalité est également paradoxal. Bien que les enquêtés estiment que cette administration est l'entité la plus

apte à lutter contre les inondations marines, ils accordent très peu de confiance à cette administration en matière de prise en compte de leur préoccupation. Ce constat semble suggérer que la population a des attentes élevées à l'égard de la municipalité en termes de gestion des risques, mais qu'elle peut avoir des réserves quant à sa capacité à répondre efficacement à ces attentes.

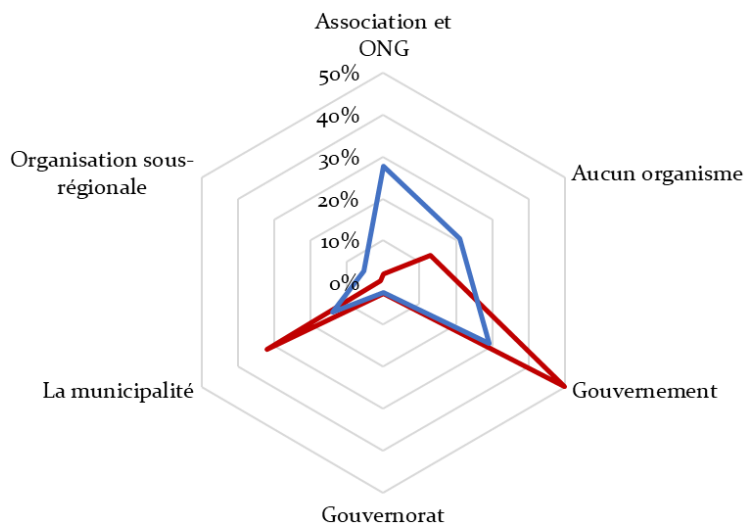


Figure 7-26 : Selon vous, quel l'organisme est le mieux placé pour lutter contre les inondations marines (Q49)? (Couleur rouge), A qui feriez-vous le plus confiance dans la prise en compte de vos préoccupations en matière de gestion des risques (Q55)? (Couleur bleue)

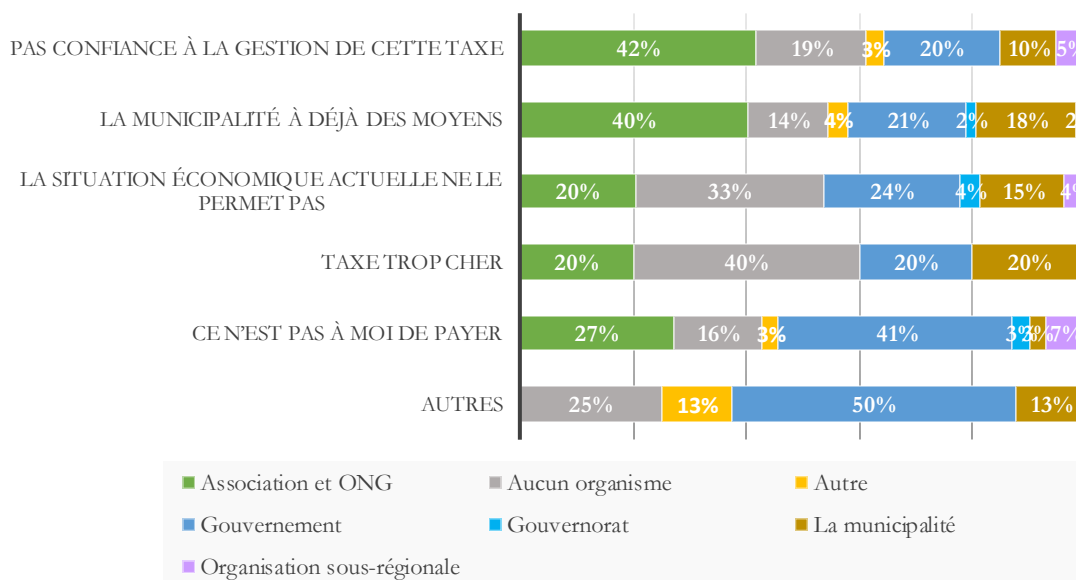


Figure 7-27 : Organismes auxquels les enquêtés font le plus confiance et les raisons pour lesquelles ils ne veulent pas payer pour la construction d'ouvrages de protection

Synthèse du chapitre 7

L'utilisation de questionnaires se révèle être une méthode efficace pour collecter et analyser les Représentations individuelles et collectives des risques auxquels les populations ou les communautés sont confrontées. Dans un premier temps, les conclusions de l'enquête révèlent que la plupart des chefs de ménage de Port-Gentil sont conscients de leur exposition à un ou plusieurs risques. Aussi, nous avons pu nous rendre compte que le risque d'inondation pluviale cristallise l'attention de la population. Il est perçu comme par la quasiment la totalité des personnes interrogées comme le plus inquiétant et dont ils se sentent le plus souvent exposé, suivi par l'insécurité et les risques industriels. Le risque d'inondation par la mer est relégué au quatrième plan, loin derrière les deux premiers mentionnés. Dans cette analyse, nous avons pu constater que les habitants se préoccupent davantage des risques qui ont un impact direct sur leur vie quotidienne plutôt que de ceux dont les conséquences sont moins visibles. Cependant, ils reconnaissent que les inondations par la mer seront de plus présentes dans le futur et expriment leurs inquiétudes quant à l'avenir de la ville.

Dans le deuxième temps, il est évident que la représentation des risques et le sentiment d'exposition sont étroitement liés aux caractéristiques résidentielles des personnes interrogées, plutôt qu'aux facteurs démographiques comme c'est souvent le cas dans la plupart des études sur les représentations des risques. L'analyse des déterminants de la représentation du risque met en évidence une distinction marquée entre les résultats de cette enquête et ceux obtenus dans des contextes urbains occidentaux. Des éléments tels que la durée de résidence dans la commune, le niveau socio-économique du logement, les conditions de vie et la localisation géographique du logement jouent un rôle déterminant dans la formation de la représentation du risque que des facteurs démographiques tels que l'âge, le genre ou le niveau d'éducation, etc.

En ce qui concerne l'aspect spatial, la localisation joue un rôle crucial non seulement dans la hiérarchisation des risques en termes de préoccupation, mais aussi dans les préjugés associés au risque d'inondation par la mer. Les résidents de Port-Gentil qui vivent à moins de 500 mètres de la côte ont une conscience plus vive des dangers liés à l'inondation par la mer et de leur propre exposition à ces risques, par rapport à ceux qui résident au centre-ville. On observe une variation du sentiment d'exposition avec une gradation de la côte au centre de la ville, qui est liée au degré d'exposition à d'autres risques présents dans la commune. Les habitants sont plus sensibles aux risques qui se manifestent dans leur quartier de résidence. Cependant, contrairement à la connaissance relativement élevée du risque d'inondation pluviale, ils possèdent peu d'informations sur le risque d'inondation par la mer. Ces insuffisances en termes de connaissances sont dues à l'absence de sensibilisation, aux spéculations entourant le risque d'inondation par la mer et à un

manque de communication des médias sur cette thématique. Bien que ces résultats puissent sembler modestes au premier abord, ils mettent en évidence un manque de confiance des personnes interrogées à l'égard des gestionnaires locaux des risques naturels. Près de trois quarts d'entre eux accordent davantage leur confiance aux gouvernements et aux organisations non gouvernementales (ONG) pour gérer les questions relatives aux risques naturels dans leur ville. Toutefois, une grande partie de la population est prête à contribuer financièrement aux efforts de protection de la commune, notamment par le biais de la construction de digues. Ce qui permet de dire que ce n'est pas des populations fatalistes et qui pense qu'il faut agir pour réduire potentiellement l'exposition au risque d'inondation par la mer

L'utilisation de la méthode de la carte mentale s'est avérée pertinente, fournissant des éléments intéressants sur la représentation du risque, notamment en ce qui concerne la connaissance des zones potentiellement exposées et des enjeux à protéger. Elle met également en évidence des différences de perspective entre les autorités locales et la population. Cette méthode permet de compléter les résultats obtenus par le questionnaire et de clarifier certains aspects. Les autorités locales et la population s'accordent sur le fait que les 500 premiers mètres à partir de la côte sont particulièrement exposés aux inondations marines. Cependant au regard des zones délimitées les autorités locales semblent minimiser le risque d'exposition tandis que la population semble penser que pratiquement toute la ville est exposée. Aussi, les autorités locales semblent accorder une plus grande importance aux enjeux économiques, tandis que la population se préoccupe davantage des enjeux humains. Ces divergences posent des défis pour la politique de gestion des risques mise en œuvre par les responsables.

Cette étude a permis de recueillir des informations précieuses pour les gestionnaires des risques en dressant un état des lieux des représentations des Portgentillais concernant les risques, en particulier le risque d'inondation par la mer et sa gestion. Elle a permis d'identifier les populations les plus vulnérables et souligner les lacunes en termes de connaissances des risques. Ces résultats devraient contribuer à adapter de manière optimale les futures campagnes d'information.

Cependant, cette analyse présente certaines limites qui nécessitent des clarifications. Tout d'abord, la conception même du questionnaire s'est principalement concentrée sur l'échelle communale, ce qui peut avoir introduit un certain biais dans les réponses. Bien que cette approche fine présente des avantages, elle n'a pas permis de mettre en évidence les zones exposées situées en dehors des zones urbanisées ni d'interroger les Portgentillais sur leur connaissance du reste de l'île Mandji. De plus, la représentation spatiale des lieux d'enquête a également ses limites, car certains secteurs étaient difficilement accessibles aux enquêteurs, et la participation à l'élaboration des cartes mentales a été faible. En outre, certains enquêtés ont mentionné la longueur du questionnaire et le

temps nécessaire pour y répondre, ce qui peut entraîner de la lassitude et des réponses approximatives vers la fin du questionnaire.

Concernent le déroulement de l'enquête sur le terrain, notamment sur le volume de questionnaires passés et la pertinence de l'échantillonnage, il faut signaler que l'échantillon reste toutefois limité par rapport à celui qui avait été prévu. Cela soulève des questions sur la représentativité de l'échantillon à l'échelle communale et la pertinence des analyses statistiques réalisées.

Pour enrichir davantage cette analyse, il est important d'explorer deux perspectives pour l'avenir. Premièrement, il est nécessaire d'approfondir les analyses effectuées dans ce chapitre. Les résultats présentés dans ce chapitre sont limités au regard du nombre restreint de questions abordées par rapport à la liste des questions posées. Une étude plus approfondie permettrait de déceler des tendances dans les réponses des différents groupes sociaux auxquels les Portgentillais appartiennent, offrant ainsi une meilleure compréhension des populations les plus vulnérables. Deuxièmement, il serait pertinent de développer des indices thématiques en compilant les réponses à des questions liées à des thèmes connexes tels que la perception des risques, la connaissance des mesures d'atténuation et la confiance envers les autorités agrégées à l'échelle des quartiers ou des arrondissements. Ces indices pourraient fournir une vision d'ensemble semi-quantitative de la résilience du territoire et des municipalités qui le composent.

Dans le prochain chapitre, certains des résultats mentionnés dans ce chapitre seront utilisés dans le chapitre suivant consacré à l'évaluation de la gouvernance des risques et le processus de production de la vulnérabilité à Port-Gentil.

Chapitre 8 : Les freins et les leviers de la gouvernance efficace du risque d'inondation par la mer au Gabon

Introduction du chapitre 8

Dans les chapitres précédents, nous avons dressé plusieurs constats importants. Nous avons notamment montré que la ville est exposée à un risque élevé d'inondations marines, bien que les autorités minimisent l'étendue spatiale de cette menace. Nous avons également mis en évidence que le système de canaux actuel, combiné à l'élévation du niveau de la mer due au changement climatique, tend à augmenter cette exposition. En outre, nous avons pu démontrer que le risque aura tendance à croître en raison d'une part de l'augmentation de la vulnérabilité liée à l'urbanisation non planifiée dans les zones à risque et d'autre part, en raison du fait que la population ne considère pas cette situation comme une priorité actuellement, ce qui conduit les gens à s'installer toujours plus près des zones à risque, sans que les autorités prennent de mesures pour y remédier.

Nous nous posons donc les questions suivantes : **Pourquoi les autorités laissent-elles faire ? Comment la gestion des risques naturels, en particulier ceux liés avec les inondations marines, est-elle gérée au Gabon et par qui ?**

Ces questions permettent également de se demander pourquoi les populations, ne font pas confiance aux autorités locales en charge de la gestion du risque dans la commune ?

Dans ce chapitre, nous cherchons à répondre à ces questions. Ainsi, il questionne la cohérence des textes réglementaires, la coordination des acteurs et l'application sur le terrain de la réglementation. L'objectif est d'identifier les forces et les faiblesses du système de gouvernance des risques naturels au Gabon et partant, dans la commune de Port-Gentil.

Le chapitre se structure en trois sections. La **première section 8.1** examine le processus de construction de la gouvernance du risque au Gabon, analyse les textes réglementaires associés et cherche à identifier les acteurs impliqués ainsi que leur rôle dans le processus de gestion du risque dans le pays. La **deuxième section 8.2**, évalue la situation actuelle de la gouvernance des risques naturels, notamment en ce qui concerne les inondations par la mer. La **troisième section 8.3**, se fixe pour objectif de comprendre comment la pression foncière et l'urbanisation actuelle dans la ville est un poids à la gestion du risque d'inondation par la mer.

8.1 Un système de gouvernance hérité de la protection civile et sur la Réduction des Risques de Catastrophes (RRC)

Pour faire face à la vulnérabilité des zones habitées, certains pays africains ont mis en place des politiques de prévention des risques hérités de la protection civile et basé sur la stratégie de Réduction des Risques de Catastrophes (RRC) (Ngolle III, 2015). Le Gabon à l'instar de plusieurs pays dans le monde a signé et ratifié de nombreux traités à l'échelle mondiale relatifs à la gestion des risques de catastrophes et il s'est également engagé au niveau sous-régional et national au travers de la participation et de l'adoption de politiques et stratégies sectorielles sur la RRC.

À partir des lectures documentaires, des différents rapports édités par un certain nombre d'organismes institutionnel et de l'analyse des différents entretiens que nous avons réalisés avec les autorités politico-administratives locales, il est possible de dresser une cartographie de la gestion du risque naturel en général au Gabon et du risque d'inondation par la mer en particulier au niveau de Port-Gentil. Cette section examine la cohérence des politiques de gestion des risques naturels en général. Nous examinons brièvement les politiques en place pour comprendre le niveau de la prévention et de gestion.

8.1.1 Les politiques internationales de réduction du risque

Les catastrophes « naturelles » frappent sans distinction l'ensemble des régions du monde. Dans un effort visant à atténuer leurs effets dévastateurs et les pertes économiques considérables qui en découlent, plusieurs pays dans le monde à Tavares les institutions internationales ont établi des cadres institutionnelles et élaborées des stratégies pour réduire la vulnérabilité des nations et des communautés face aux aléas naturels. La prévention des risques, élément fondamental du droit international, joue un rôle décisif dans cette démarche.

Depuis le début des années 1990, la question des risques et des catastrophes dites « naturelles » est devenue une préoccupation majeure au niveau international. L'Assemblée générale des Nations unies a adopté en décembre 1989 une résolution proclamant la « *Décennie internationale pour la prévention des catastrophes naturelles 1990-1999 (DIPCN)* », dans le but de réduire les pertes en vies humaines, les dommages matériels, ainsi que les perturbations sociales et économiques causées par ces événements. Malgré cette résolution, on note néanmoins un manque d'action commune et cohérente des politiques en matière de gestion des risques dans les pays développés, encore moins dans les pays en développement.

En 1994, une réunion sera organisée à Genève pour encourager les États à prendre des mesures appropriées face à l'augmentation des catastrophes et autres situations d'urgence à travers le monde en nombre et en gravité. La Convention-cadre d'assistance en matière de protection civile de 2000,

comme son nom l'indique, vise à encourager les États à promouvoir la coopération entre les services de protection civile, notamment en matière de formation du personnel, d'échange d'informations et d'expertise, et à réduire les obstacles à l'assistance en termes de délais d'intervention. Cette Convention est axée sur la réponse à apporter lorsqu'une catastrophe survient. L'État partie est tenu de fournir des informations précises concernant ladite catastrophe afin de faciliter le déploiement des unités pour intervenir. Elle ne se concentre pas sur la prévention des catastrophes, mais plutôt sur la recherche de solutions une fois que le phénomène s'est produit. À ce niveau, il est évident que les politiques qui ont été développés sont pour un grand nombre réactionnaire plutôt que préventif.

En 2004 des négociations ont eu lieu au sein du Comité de rédaction à Genève et ont abouti à l'élaboration de la stratégie internationale de prévention des catastrophes. La Stratégie Internationale de Prévention des Catastrophes (SIPC) est une plateforme multidisciplinaire et multipartite qui vise à assister les communautés à augmenter leur résilience face aux risques naturels, technologiques et aux catastrophes environnementales ainsi qu'à réduire les risques et les pertes liés à l'environnement, aux activités humaines, économiques et sociales. Les objectifs de cette stratégie se déclinent en quatre points :

- Continuer à sensibiliser la population à l'importance de la prévention des catastrophes ;
- Coopérer avec le reste du monde ;
- S'appropriier individuellement la lutte pour la réduction des pertes en vies humaines, les ravages socioéconomiques ainsi que les dégâts environnementaux causés par les risques naturels ;
- Participer avec le Système des Nations Unies à la coordination des efforts liés à la réduction des risques de catastrophe.

Le besoin de réduire les effets des catastrophes et d'intégrer la réduction des risques comme élément indispensable des politiques et programmes de développement, tel que défini dans le cadre d'action de Hyōgo pour 2005-2015, n'a jamais été aussi pressant qu'aujourd'hui.

8.1.1.1 Cadre d'actions de Hyōgo (2005-2015)

Adopté en 2005, ce cadre visait à renforcer la résilience des nations et des collectivités face aux catastrophes en réduisant considérablement les pertes dues à de telles situations d'ici 2015. Élaboré dans le but d'aider les pays et les communautés à accroître leur résilience face aux menaces pesant

sur leurs acquis en matière de développement, le Cadre d'action de Hyogo²⁹ identifie des priorités d'action pour guider les États, les organisations et autres acteurs dans leurs approches en matière de réduction des risques de catastrophe. Cet accord-cadre met particulièrement l'accent sur la promotion de l'éducation et la sensibilisation des populations aux risques encourus dans leurs lieux de résidence. Comme nous l'avons mentionné plus haut, depuis le début des années 1990, les Nations Unies ont encouragé les efforts déployés à l'échelle mondiale pour promouvoir la mise en œuvre de politiques et de mesures visant à réduire les risques avant qu'ils ne se transforment en catastrophes. Cela s'avère essentiel, surtout lorsque des événements soudains tels que les inondations ou des phénomènes plus lents comme la montée du niveau de la mer, attribuable aux effets du changement climatique, menacent des communautés déjà vulnérables. Désormais, il est largement admis que les initiatives visant à réduire les risques de catastrophe doivent être intégrées de manière systématique dans les politiques, les plans et les programmes de développement durable et de lutte contre la pauvreté. Cela nécessite une coopération à différents niveaux : bilatéral, régional et international, avec un fort accent sur les partenariats. Le développement durable, la lutte contre la pauvreté, la bonne gouvernance et la réduction des risques de catastrophe sont des objectifs qui se renforcent au regard des liens entre ces différents problèmes.

À la lecture du discours de la directrice générale de la prévention des risques, coordonnatrice de la plate-forme nationale pour la prévention et la réduction des risques de catastrophe, lors de la réunion préparatoire de la troisième conférence mondiale pour la prévention des catastrophes du 14 au 15 juillet 2014 à Genève, en Suisse, il apparaît que le Gabon n'a pas encore pleinement intégré l'approche systémique de la gestion des risques. En revanche, ce bilan³⁰ d'étape suggère que, au cours de la période de dix ans entre 2005 et 2015, l'accent principal du Gabon en matière de réduction des risques de catastrophe a été axé sur la mise en place d'institutions chargées de coordonner la gestion des risques au niveau national. Et bien que les objectifs du cadre d'action de Hyōgo pour 2005-2015 n'a véritablement pas été atteints au niveau du Gabon, le cadre d'action de Sendai 2015-2030 va être ratifié par le Gabon.

8.1.1.2 Cadre d'action de Sendai (2015-2030)

Le Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030 a été adopté lors de la troisième Conférence mondiale de l'ONU tenue à Sendai au Japon le 18 mars 2015. Ce cadre succède au Cadre d'action de Hyōgo (CAH). Il s'appuie sur des éléments garantissant la continuité du travail mené par les États et autres intervenants pour l'application du CAH, tout en introduisant différentes innovations. Ce nouveau cadre d'action identifie quatre domaines

²⁹ En janvier 2004, 168 états membres de l'ONU/SIPC vont parapher la Déclaration de HYOGO à KYOTO au JAPON, vont prendre l'engagement de suivre le cadre de travail recommandé par Hyogo à travers cinq (5) actions prioritaires pour la résilience des nations

³⁰ <https://www.preventionweb.net/files/globalplatform/statementofgabon.pdf>

prioritaires majeurs qui englobent de manière cohérente tous les aspects liés à cette problématique du risque pour les territoires. L'objectif est d'éviter la création de nouveaux risques, de réduire le niveau des risques existants et de renforcer la résilience économique et sociale des communautés en atténuant l'exposition et la vulnérabilité des individus et de leurs biens. Face aux risques de catastrophe, une approche préventive plus large, mettant davantage l'accent sur la dimension humaine, s'impose. Afin d'être efficaces, les mesures de réduction des risques de catastrophe doivent être élaborées pour faire face à une diversité d'aléas dans divers secteurs. Elles doivent être accessibles et veiller à ce que aucun groupe ne soit exclu de la démarche. Bien que les gouvernements continuent de jouer leur rôle de direction, de réglementation et de coordination, il est indiqué dans ce nouveau cadre d'action que les gouvernements doivent impliquer activement les parties prenantes, notamment la population, dans le processus de réduction des risques.

8.1.2 Les stratégies au niveau sous-régional

Les questions relatives à la gestion des risques de catastrophe naturelle occupent une place centrale dans la mission de la Communauté Économique des États de l'Afrique Centrale (CEEAC) et sont intégrées dans quatre des douze axes d'orientation de sa politique générale en matière d'environnement et de gestion des ressources naturelles. Conformément au cadre d'action de Hyogo défini par les Nations Unies dès 2005, l'Union européenne (UE) et le groupe des États d'Afrique, des Caraïbes et du Pacifique (ACP) ont mis en place le programme intra-ACP de renforcement de la résilience aux risques naturels dans les régions, pays et communautés de l'Afrique subsaharienne. Ce programme est financé au titre du dixième Fonds européen de développement (FED) et vise à renforcer la résilience des régions, pays et communautés d'Afrique subsaharienne aux impacts des catastrophes naturelles. Pour atteindre cet objectif, cinq domaines de résultats ont été sélectionnés et sont mis en œuvre par plusieurs organisations partenaires, notamment la Banque africaine de développement (BAD), la Commission de l'Union africaine (CUA), le Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophe (UNDRRC), et la Banque mondiale avec la Facilité mondiale pour la réduction des catastrophes et le relèvement (GFDRR). Dans ce cadre, le résultat 2 est dédié à renforcer les capacités opérationnelles de coordination, de planification et de conseils stratégiques en matière de réduction des risques de catastrophe de la CEEAC, afin de soutenir les programmes des États membres et des programmes régionaux et sous-régionaux notamment en Afrique centrale. La CEEAC est chargée de promouvoir la coopération et l'intégration régionales dans onze États membres d'Afrique centrale, qui couvrent une population de plus de 185 millions d'habitants. Elle est également responsable de la conduite du dialogue politique général sur la réduction des risques de catastrophe (RRC) et l'adaptation au changement climatique (ACC) dans ces pays. Les unités RRC et ACC sont intégrées au Département Environnement, Ressources Naturelles, Agriculture et Développement Rural de la Commission de la CEEAC. Dans ce programme, l'acquisition de connaissances régionales sur

les aléas, les vulnérabilités et les risques pour la cartographie des aléas transfrontaliers a été identifiée comme composante prioritaire.

Pour favoriser la réduction des risques de catastrophe à l'échelle régionale en Afrique centrale, le Gabon a accueilli la Deuxième Consultation Régionale CEEAC-OCHA-Afrique centrale du 11 au 13 juin 2012. Cette rencontre a abouti à la validation et à la mise en place de plusieurs initiatives et outils au niveau de la région, comprenant :

- La stratégie Régionale Afrique centrale pour la Prévention des Risques, la Gestion des Catastrophes et l'Adaptation aux Changements Climatiques ;
- Le Plan d'Action Sous-régional de Préparation et de Réponse aux catastrophes (Plan d'Action de Yaoundé) en Afrique centrale ;
- Le plan de prévention des risques, le Plan d'Action Triennal Réduction des Risques de Catastrophe 2013 - 2015 dont les orientations stratégiques sont faites par la CEEAC ;
- La Déclaration Ministérielle de Libreville exprimant l'engagement des Etats membres de la CEEAC à promouvoir et à mettre en œuvre la stratégie et le Plan d'Action de Yaoundé pour la Préparation et la Réponse aux Catastrophes ;
- La mise en place d'un comité de pilotage sous régional.

Dans le cadre de la concrétisation des engagements politiques en 2021, un Atlas³¹ des risques de la CEEAC a été publié pour détailler les risques potentiels pour chaque pays, mettant particulièrement l'accent sur les principales villes du Gabon. Dans ce contexte, il a été identifié que Libreville est exposée au risque d'inondation et de glissement de terrain, tandis que Port-Gentil est sujet aux risques côtiers et industriels. Cependant, il est nécessaire de souligner le manque d'impact réel des actions entreprises à un niveau opérationnel, notamment au niveau des territoires. Actuellement, au niveau sous-régional, les déclarations de politique générale en matière de gestion des risques et de catastrophes ne sont pas contraignantes, étant du même ordre que celles prises au niveau suprarégional. De plus, dans la mise en œuvre des recommandations en matière de réduction des risques et de catastrophes des pays membres de la CEEAC, on observe également des disparités de progrès entre les États. L'avancement du cadre institutionnel des États de la C.E.M.A.C est à plusieurs vitesses et varie d'un pays à l'autre (Ngolle III, 2015).

³¹ https://www.gfdr.org/sites/default/files/ATLAS%20RISQUES%20CEEAC_light.pdf

8.1.3 Les limites du cadre d'action de la politique internationale en matière de gestion des risques naturels

À l'échelle internationale et régionale, un nombre significatif d'engagements de la part des États est constaté lors des sommets, cependant, une véritable coordination entre les politiques de réduction des risques de catastrophe et d'autres agendas internationaux tels que le développement durable et les changements climatiques est souvent absente. De plus, il est important de noter que les divers cadres d'action, y compris le dernier en date, celui de Sendai, ainsi que les conventions, ne présentent aucun caractère contraignant.

En examinant les divers agendas internationaux, on remarque que la question de la résilience des sociétés face aux aléas naturels occupe une place centrale dans les discussions à l'échelle mondiale. Il semble que les politiques internationales cherchent à atténuer les risques en favorisant l'adaptation des sociétés à ces aléas. Bien sûr, la connaissance des manifestations des aléas est cruciale dans le processus de réduction des risques, mais les politiques internationales semblent également se concentrer sur la capacité des sociétés à s'adapter et à faire face aux catastrophes.

Par ailleurs, en examinant de manière spécifique les politiques en Afrique, on constate que contrairement à certains ensembles régionaux dans le monde (comme l'Union européenne), les pays africains n'ont pas encore élaboré de documents de référence communa utaires spécifiquement axés sur le risque d'inondation marine. Ce risque est généralement abordé de manière globale et toujours en lien avec les questions de changement climatique dans la stratégie régionale africaine de réduction des risques de catastrophe. Cette prise en compte prospective montre que ce type d'aléa est souvent envisagé dans une perspective future. Cette situation contribue à rendre flous les engagements en matière de gestion des inondations marines, ce qui finit par se répercuter sur les politiques nationales. Ainsi, l'analyse des politiques internationales s'est révélée cruciale pour comprendre la gestion des inondations dans nos zones d'étude. Le Gabon, par exemple, a renforcé ses dispositions juridiques au fil des années en ratifiant presque tous les accords internationaux et conventions en matière d'environnement et de gestion des risques. Cela témoigne de l'engagement du Gabon à se doter de tous les moyens juridico-politiques pour entamer un processus de développement prenant en compte les risques, notamment naturels. Cependant, en pratique, les documents stratégiques internationaux issus de ces accords et conventions n'ont pas été pleinement traduits au niveau national en textes juridiques et en documents de référence pour la gestion des risques et la planification du territoire, surtout en ce qui concerne les risques naturels. En ce qui concerne les risques industriels, bien qu'il existe plus ou moins un cadre réglementaire, son application stricte semble également lacunaire. (Lila Miyagou, 2013). La traduction de ces politiques internationales en politiques nationales n'est cependant pas dénuée de limites, comme nous le verrons dans les sections suivantes.

8.1.4 La déclinaison de la gouvernance des risques naturels au niveau national

Les politiques de gestion des risques de catastrophes sont intégrées de manière explicite ou implicite dans les plans de développement durable tels que le code de l'environnement révisé, la loi sur le développement durable, la loi relative aux plans d'exposition aux risques (PER), les plans d'urgences sectoriels, la loi fixant la composition du domaine de l'État et les règles qui en déterminent les modes de gestion et d'aliénation, l'ordonnance portant orientation de l'urbanisme en République gabonaise, etc.

Reprenant le discours de Madame Hortense Togo épouse Moussounda³², directrice générale de la prévention des risques et coordonnatrice de la plate-forme nationale pour la prévention et la réduction des risques de catastrophe lors de la réunion préparatoire de la troisième conférence mondiale pour la prévention des catastrophes du 14 au 15 juillet 2014 à Genève, en Suisse, elle a souligné que sur le plan national le Gabon :

- A adopté la loi n° 21/2004 du 2 février 2005 relative aux Plans d'Expositions aux Risques, créant ainsi un Fonds de Concours pour Risques (FCR) destiné à financer les projets de prévention et de réduction des risques de catastrophes, ainsi que l'aide aux sinistrés.
- A mis en place un Organe de coordination, la Plate-forme nationale pour la Prévention et la Réduction des Risques de Catastrophe (PNPRRC), instaurée par le décret n° 0672/PR/MISPID du 16 mai 2011, avec un Comité de Pilotage, une Coordination nationale, un Secrétariat Permanent, ainsi que des Comités provinciaux présidés par les Gouverneurs de province et composés des administrations locales et déconcentrées ainsi que la Croix Rouge gabonaise.
- A mis en place un Comité interministériel d'Experts en Gestion des Situations d'Urgence a également été mis en place par l'Arrêté n° 00979/PM/MISPID du 11 novembre 2010, avec comme principales activités en 2012 l'élaboration et la validation du Plan national de Contingence, la coordination des missions de recensement des sinistrés et l'évaluation des dégâts causés par les catastrophes.

Ces avancées s'inscrivent dans le cadre de l'action prioritaire 1, une priorité nationale avec un cadre institutionnel du CAH. À la lecture du discours de la directrice générale de la prévention des risques, il semble que depuis plusieurs années, le Gabon s'efforce encore de mettre en place sa stratégie de gouvernance des risques adaptée à sa réalité institutionnelle. Des prémices de loi sont en place pour

³² [Microsoft Word - COMMUNICATION GENEVE.docx \(preventionweb.net\)](#)

permettre la création d'outils de prévention et d'institutions solides en matière de gestion des risques. Cependant, cette volonté de mettre en place un cadre de gouvernance visant à réduire les risques est entravée par plusieurs obstacles.

8.2 Une gouvernance limitée sur plan institutionnel, réglementaire et financier

8.2.1 Une gouvernance marquée par une instabilité institutionnelle

La construction de la gouvernance du risque au Gabon a été marquée par diverses étapes, mais a souvent été marquée par des changements effectués au niveau des responsabilités institutionnelles entre les départements ministériels chargés de la gestion du risque naturel et des catastrophes. Contrairement à d'autres pays de la sous-région tels que la Guinée Équatoriale qui ont une relation récente avec les questions des risques et de la protection civile (Ngolle III, 2015), le Gabon a pris en compte ces questions peu de temps après son indépendance. En effet, dès 1965, une commission chargée de l'organisation de la protection civile en République gabonaise³³ a été mise en place sous la présidence du ministère de l'Intérieur. Puis, en 1972, le Gabon adhère à l'Organisation internationale de la Protection Civile (OIPC), et la même année, le Service national de la protection civile est créé au sein du ministère de l'Intérieur. Cependant, il est essentiel de souligner qu'après la ratification de cette adhésion et de la création de ce service au sein du ministère de l'Intérieur, la période de 1972 à 1999 n'a pas été marquée par une véritable organisation en matière de gestion des risques et des catastrophes. La mise en place s'est principalement basée sur des réactions d'urgence lors d'événements spécifiques, impliquant la création de structures temporaires de secours dans les localités touchées, comme observé lors des inondations de la commune de Lambaréné au Centre du Gabon (Loubamono et Faugères, 1993). Ces structures étaient composées de commissions dites « spéciales » comprenant des ministres originaires des localités touchées, le ministère des Travaux publics, le ministère des Affaires Sociales, et d'autres (Loubamono et Faugères, 1993).

C'est seulement en 1999 à la suite d'un changement de dénomination du ministère des Affaires Sociales, que la gestion des catastrophes est transférée au ministère de la Solidarité nationale, des Affaires Sociales et du Bien-être. Pour assurer une cohérence d'action et des moyens en matière de risques et de catastrophes, ce ministère met en place des outils réglementaires et de financement tels que le Plan d'Exposition aux Risques (PER) et le Fonds de Concours pour Risque (FCR). En 2005, le Parlement adopte la Loi n° 12/2004 du 2 février 2005 relative aux PER, marquant ainsi un jalon important dans la construction de la gouvernance du risque au Gabon. Cette loi renforce

³³ Décret n° 00088/PR.MI.CA, du 31 mars 1965 portant création d'une commission chargée de l'organisation de la protection civile dans la république Gabonaise

l'applicabilité du FCR, créé en 1999 pour financer les projets de prévention et de réduction des risques de catastrophes, ainsi que l'aide aux sinistrés.

En janvier 2004, le Gabon et 167 états membres de l'ONU/SIPC vont parapher la Déclaration de HYOOGO à KYOTO au JAPON pour 2005-2015. Cette déclaration propose aux états signataires de respecter l'engagement de suivre le cadre de travail recommandé par Hyogo à travers cinq (5) actions prioritaires pour la résilience des nations. En 2006, le gouvernement gabonais crée une tout un ministère dédié à la gestion des risques, dénommé « ministère de la Prévention et de la Gestion des Calamités Naturelles ». Toutefois, un an plus tard, en 2007, ce ministère change de nom pour devenir le ministère de la Protection Civile, soulignant ainsi une approche globale adoptée pour faire face aux risques.

Un changement majeur intervient en janvier 2008, avec le rattachement du secteur de la prévention et de la gestion des calamités naturelles au ministère de l'Environnement, de la Protection de la Nature et du Développement Durable³⁴, mettant en avant l'importance de la dimension environnementale dans la gestion des risques. Le même jour, un autre décret est signé, conférant le secteur de la Protection Civile au ministère de l'Intérieur, des Collectivités locales, de la Décentralisation, de la Sécurité et de l'Immigration³⁵, transformant ainsi le ministère de la Protection Civile en Direction de la Protection Civile (DPC). Ce rattachement visait à renforcer la coordination opérationnelle et l'efficacité de la gestion des catastrophes en intégrant les services de la DPC au ministère chargé de la sécurité publique. En octobre 2009, la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) est créée au sein du ministère de l'Intérieur, chargée de coordonner les actions de prévention et de réduction des risques au niveau national.

La mise en place de deux structures majeures la Direction de la Protection Civile au ministère de l'intérieur et la Direction Générale de la Prévention des Risques au ministère de l'environnement, avec des attributions presque identiques en matière de gestion des risques, préfigure les nombreux conflits potentiels liés à la mise en œuvre de la réglementation et à la gestion des crises, compte tenu du grand nombre d'acteurs et de structures impliqués dans la gestion des risques.

En plus de la dualité fonctionnelle des deux ministères (ministère de l'Environnement et ministère de l'Intérieur), l'édifice juridique en charge de la gestion des risques s'est enrichi de trois autres structures interministérielles. Il s'agit :

³⁴ Article 1er du Décret n° 65/PR/PM du 18 janvier 2008 portant attribution du secteur de la Prévention des calamités naturelles au ministère de l'Environnement, du développement durable et de

³⁵ Article 1er du Décret n° 68/PR/PM du 18 janvier 2008 portant attribution du secteur de la protection civile au ministère de l'Intérieur, des Collectivités locales, de la Décentralisation, de la Sécurité et de l'Immigration.

- De la Commission de Contrôle et de suivi de la gestion des espaces non bâtis et des zones à risque dans les villes Gabonaises³⁶ créées en 2010, chargée du contrôle et du suivi de la gestion des espaces non bâtis et des zones à risque.
- Du Comité interministériel d'Experts en Gestion des Situations d'Urgence (CIEGSU)³⁷ créée en 2010 : Ce comité réunit des experts de différents ministères et favorise une approche intégrée de la gestion des catastrophes. Elle est consultée sur toutes questions d'intérêt national traitant de prévention de catastrophes, de gestion des situations d'urgence, de situations de crise et de situations post-crise.
- De la Plate-forme nationale pour la Prévention et la Réduction des Risques de Catastrophe (PNPRRC)³⁸ créée en 2011. La PNPRRC œuvre en faveur de la prévention et la réduction des risques et catastrophes. Elle a pour mission la coordination et le renforcement de la collaboration pluridisciplinaire aux fins de pérennisation des activités de prévention et de réduction des risques de catastrophe.

Enfin, en 2015, le Gabon ratifie du Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe (2015-2030) en mars 2015 et en la Direction de la Protection Civile au sein du ministère est transformée en Direction Générale de Protection Civile (DGPC)³⁹ dans laquelle va être intégré la Direction Générale de la Prévention des Risques qui était au ministère de l'environnement.

Les responsabilités relatives à la prévention et à la gestion des risques et catastrophes ont oscillé entre les ministères de l'Environnement, de l'Intérieur, des Affaires sociales, ainsi que du ministère des calamités naturelles. Bien que relevant de compétences partagées, les questions autour des risques naturels ont tendance aujourd'hui à se concentrer principalement au sein d'un ministère, notamment celui en charge de l'intérieur et de la sécurité auparavant ministère de l'Intérieur, de la Sécurité publique, de l'Immigration et de la décentralisation. La Figure 8-1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, retrace l'évolution de la gestion des risques de catastrophe au Gabon. Sur cette frise chronologique illustrant la mise en place de la gouvernance des risques, il est clair que les choses s'accélèrent après 2004, suite à la ratification par le Gabon et 167 autres pays de la Déclaration de Hyogo à Kyoto, au Japon. La période de 2004 à 2015 est marquée par plusieurs changements institutionnels, mais surtout caractérisée par un « Pink Punk » administratif en matière

³⁶ Arrêté n° 00683/PM du 29 septembre 2010 portant création, attributions et fonctionnement de la commission de contrôle de suivi de la gestion des espaces non bâtis et des zones à risques dans les villes gabonaises.

³⁷ Arrêté n° 00979/PM/MISPID du 11 novembre 2010 portant création, attributions, composition et fonctionnement du Comité interministériel d'experts en gestion des situations d'urgence.

³⁸ Décret n° 0672/PM/MISPID du 16 mai 2011 portant création, attributions et fonctionnement de Plates-formes nationales pour la Prévention et la Réduction des Risques de Catastrophe

³⁹ Décret n°0294/PR/MISPID du 04 juin 2015 portant création, attributions et organisation de la Direction Générale de la Protection Civile (DGPC)

de gestion des risques. Il faut ajouter que dans cette période des organes collaboration dans la gestion des risques et catastrophe ont été mises en place. Cependant, il est important de souligner qu'aucun texte réglementaire relatif aux risques naturels n'a été adopté au cours de cette période, et aucune mesure (outils) de gestion ou de prévention des risques naturels n'a été élaborée par les différentes administrations et organes ministériels chargés de la gestion des risques de catastrophes naturelles. Une situation qui rend le cadre de la gestion des risques au Gabon flou et lacunaire.

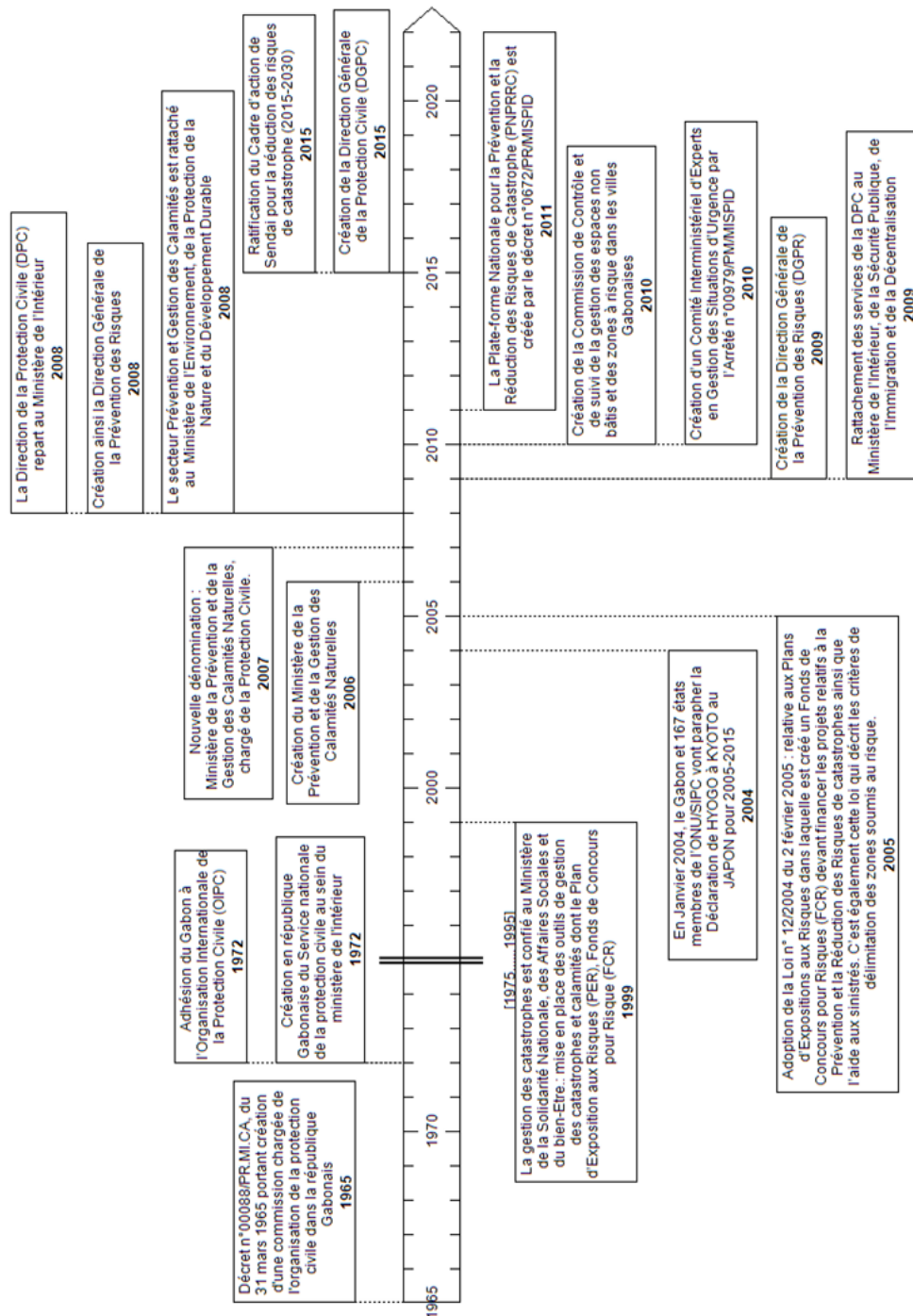


Figure 8-1 : Frise de la construction de la gouvernance des risques de catastrophe au Gabon (Réalisée par L. YEMBI, 2022)

8.2.2 Une législation floue et lacunaire en matière de gestion du risque au Gabon

Malgré l'engagement du Gabon dans divers programmes de réduction des risques de catastrophe et sa ratification de plusieurs engagements internationaux en la matière, la gestion des risques reste entravée par une législation floue et lacunaire, compromettant sérieusement l'efficacité des mesures prises. Au cœur de cette problématique se trouve un cadre réglementaire imprécis et obsolète, souvent inadapté aux défis actuels posés par les catastrophes naturelles. Les lois existantes relatives à la gestion du risque au Gabon manquent souvent de clarté et de spécificité, rendant difficile leur mise en œuvre cohérente et leur interprétation uniforme. Cette situation entraîne des ambiguïtés juridiques qui freinent l'adoption de stratégies efficaces de prévention et de réponse aux catastrophes.

Il est nécessaire de souligner que, concernant le cadre juridique requis, il reste encore à élaborer une loi spécifique au Gabon pour soutenir la gestion des risques de catastrophe et les activités qui y sont associées. En l'absence de cela, plusieurs textes législatifs et décrets traitent de la mise en œuvre des actions de gestion des risques dans le contexte de la réduction des risques de catastrophe, sous diverses formes. Ces textes incluent notamment :

- Loi n° 14/63 du 8 mai 1963 fixant la composition du domaine de l'Etat et les règles qui en déterminent les modes de gestion et d'aliénation
- Décret n° 00248/PR du 15 février 1972 qui autorise le ministère de l'Intérieur, de l'Administration territoriale, des Collectivités locales et de la Décentralisation à prendre en charge toutes les questions de protection civile.
- Loi n° 021/2004 du 02 février 2005, relative au Plan d'Exposition aux Risques qui crée le Fonds de Concours pour Risques ;
- Décret n° 016/2001 portant code forestier
- Décret 03/2007 du 27 août 2007 relatif à la protection des parcs nationaux.
- Décret n° 00672/PR/MISPID du 16 mai 2011 qui crée et organise la Plate-forme nationale pour la Prévention et la Réduction des Risques de Catastrophe ;
- Arrêté n° 00979/PM/MISPID du 11 novembre 2012 portant création du Comité interministériel d'experts en gestion des urgences,
- Décret n° 0333/PR/MISPID du 28 février 2013 (protection civile) ;

- Arrêté n° 0007/MISPID du 14 mars 2013 portant organisation du Comité provincial de la Plateforme nationale et de ses fonctions ;
- La loi organique N° 001/2014 du 14/06/2015 relative à la décentralisation
- Décret n° 0294/PR/MISPID du 04 juin 2015 qui porte création, attributions et organisation de la Direction Générale de la Protection Civile ;
- Arrêté n° 00979/PM/MISPID du 11 novembre 2010 qui crée et organise le Comité interministériel d'Experts en Gestion de Situations d'Urgence ;
- Arrêté n° 0067/MISPID/DGPR du 14 mars 2013 qui organise les Comités provinciaux de la Plate-forme nationale pour la Prévention et la Réduction des Risques de Catastrophe ;
- Ordonnance n° 002/PR/2017 portant orientation de l'urbanisme en République gabonaise ;

Dans ces textes réglementaires, deux (2) sont des outils réglementaires régissant le cadre juridique pour réduire l'exposition aux risques côtiers, se résumant aux bandes de protection du littoral et au zonage d'exposition au risque. Quatre (4) sont des textes portant à la fois création et organisation des entités en charge de la gestion des risques et catastrophes au Gabon. Deux (2) concernent la protection de l'environnement, et un (1) est un texte qui vise les orientations sur l'urbanisme en République gabonaise, mettant en avant, au chapitre 1er intitulé : Des documents de planification urbaine, précisément le titre 2 détaillant les outils nécessaires à la planification urbaine en République gabonaise.

Concernant le texte fixant la composition du domaine de l'État et les règles qui en déterminent les modes de gestion et d'aliénation, il s'agit de la bande de protection du littoral. Ces bandes permettent de prendre en compte les risques côtiers dans la planification urbaine. Elles sont prescrites par la loi. En effet, la loi n° 14/63 du 8 mai 1963 fixant la composition du domaine de l'État et les règles qui en déterminent les modes de gestion et d'aliénation attire particulièrement l'attention. Son article 104 crée une réserve domaniale dite « des 100 mètres », constituée par une bande de terrain d'une largeur de 100 mètres comptés à partir de la limite des plus hautes marées, faisant partie du domaine privé de l'État. Cette zone est aliénable et peut faire l'objet de cession dans certains cas de figure. À l'exclusion des parcelles appartenant en toute propriété à des particuliers et à des collectivités publiques ou privées en vertu de titres antérieurs à la présente loi et reconnus valides, ainsi que des immeubles qui, par leur nature ou leur destination, relèvent de la domanialité publique, les zones définies à l'article précédent font partie du domaine privé de l'État.

L'objectif de cette bande consiste avant tout à protéger le littoral contre toute dégradation due à l'activité humaine, pouvant accroître l'érosion des côtes ou la pollution. La protection contre le risque d'inondation par la mer représente un objectif secondaire qui n'apparaît pas dans les raisons initiales de la mise en place de cette bande. Pour les autorités de Libreville surtout, cette bande semble appropriée pour montrer qu'elles prennent en compte les risques côtiers dans l'aménagement urbain, alors que cet outil réglementaire n'était pas à l'origine destiné à cela. De plus, au niveau de Port-Gentil, cette restriction n'est pas vraiment appliquée. En effet, cette bande de 100 mètres représente 2 km² et on y retrouve une diversité d'enjeux parfois stratégiques pour la ville. Avec 24 % de cette bande consacrée à l'activité industrielle et 27 % consacrée au résidentiel. (Tableau 8-1).

Classe d'occupation du sol dominant	Surface (m ²)	%
Abandonnée ou en construction	14 359,46	0,74
Administrative	17 887,85	0,92
Bureau et service	10 448,85	0,53
Commerciale	75 067,46	3,84
Dépôt Hydrocarbure	55 758,95	2,85
Éducation	4904,08	0,25
Industrielle/Atelier	469 983,97	24,06
Loisir/sport	34 207,94	1,75
Mangrove	119 073,20	6,10
Résidentielle dense	310 736,61	15,91
Résidentielle peu dense	215 185,89	11,01
Soin et sécurité	66 256,16	3,39
Sol nu	6856,61	0,35
Surface en eau	65 237,89	3,34
Végétation basse	487 627,99	24,96

Tableau 8-1 : Type d'occupation du sol présent dans la bande des 100 m à partir de la limite des plus hautes marées.

Pour ce qui est de la loi relative au Plan d'Exposition aux Risques (PER), il s'agit principalement de l'article 2 du chapitre 1er et du titre 1 de cette loi qui détermine le zonage réglementaire des zones de protection contre les risques, prescrites par la loi n°21/2004 du 2 février 2005 relative aux PER. Comme mentionné précédemment, cette loi, prise en application des dispositions des articles 1er et 47 de la constitution, fixe les conditions d'élaboration et de mise en œuvre des plans d'exposition aux risques. Celui-ci permet d'une certaine manière de prendre en compte le risque d'inondation par la mer dans la planification urbaine, bien que cela ne soit pas spécifié, du moins aucun risque n'est spécifié.

L'objectif principal de ce zonage, comme indiqué, est de limiter les installations susceptibles d'être exposées aux risques ou d'en créer. Dans ce zonage, aucune mention du type de risque, encore moins du risque d'inondation par la mer, n'est mentionnée. Nous constatons que pour les autorités, cette loi vise surtout à montrer aux institutions internationales avec lesquelles des accords ont été ratifiés qu'elles prennent en compte les risques dans l'aménagement urbain, alors que cet outil réglementaire, tout comme pour la bande de prévention du littoral de 100 m, n'est pas déployé et appliqué sur le terrain.

Dans cette loi, le terme « zone à risque » est défini comme « des zones dans lesquelles toute activité est exposée aux risques ou susceptibles d'en créer ». Ainsi, trois (3) catégories de zonage sont identifiées. Il s'agit :

- Zone de première catégorie : zone dans laquelle la probabilité d'occurrence du risque et son intensité sont si fortes qu'il n'existe aucune mesure de protection fiable
- Zone de deuxième catégorie : zone exposée à des risques intermédiaires nécessitant la mise en œuvre de mesures de prévention ;
- Zone de troisième catégorie : zone dans laquelle l'incident du risque sur la sécurité des biens et des personnes est faible

Bien que le texte de loi sur le plan d'exposition aux risques existe, sa mise en œuvre par le ministère de l'Intérieur, notamment à travers la Direction Générale de la Protection Civile, n'est pas effective sur le terrain. Par exemple, en ce qui concerne les zones exposées aux risques d'inondation marine, on peut observer que dans la commune de Port-Gentil, des aménagements et des populations sont installés dans des zones actuellement pouvant être classés en première et deuxième catégorie. C'est le cas notamment dans les quartiers Lippe 2 et 3, situés au sud de la commune (Figure 8-2 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).



Figure 8-2 : Installation anarchique dans les zones de mangrove (zone quartier Lippe 2 et 3 au sud de la commune de Port-Gentil)

De plus, même les autorités politico-administratives n'ont pas une connaissance claire de la réglementation en matière de gestion des risques naturels. En effet, lors de notre enquête auprès des autorités, la question a été posée à la section 4 du guide d'entretien. Il s'agissait de savoir si l'enquêteur avait connaissance de la réglementation relative à la gestion des inondations : « **Avez-vous connaissance de la réglementation relative à la gestion des inondations ?** » Dans la majorité des cas, ces responsables politico-administratifs répondaient par la négation ou faisaient référence à des textes liés à la protection de la nature. Dans leurs réponses, ces responsables prenaient conscience sur le moment qu'il n'existait pas de réglementation spécifique à la gestion des risques d'inondations, quel que soit le type d'inondation.

Les lacunes dans la législation gabonaise en matière de gestion du risque se manifestent également par l'absence de directives précises concernant les responsabilités des différentes parties prenantes, qu'elles soient gouvernementales, locales ou privées. Ce flou juridique crée un climat d'incertitude quant aux rôles et aux obligations de chacun, ce qui entrave la coordination et la collaboration nécessaires à une réponse efficace en cas de crise.

8.2.3 La gestion des risques est entachée de conflits de compétences et d'un manque de collaboration et de coordination.

Comme nous avons pu le constater dans les sous-sections précédentes, il existe de grosses lacunes juridiques et réglementaires qui ne nous permettent pas de discerner clairement les responsabilités de chaque acteur impliqué dans la gestion du risque. Or, cette analyse de la compétence et de la coordination entre les différents acteurs du système de gestion du risque naturel au Gabon apparaît importante dans cette étude pour répondre à la question posée en introduction de ce chapitre : **« Comment la gestion des risques naturels, en particulier ceux liés aux inondations marines, est-elle gérée au Gabon et par qui ? ».**

8.2.3.1 Des responsabilités pas souvent précisées

La législation gabonaise dans son ensemble présente une certaine opacité quant à la détermination des responsabilités attribuées à chaque administration chargée de la gestion des risques naturels. Par exemple, il n'est pas clairement établi qui est responsable de quoi avant, pendant et après une catastrophe. Très souvent, nous sommes confrontés à une approche gouvernementale « réactionnaire ». Il serait important de clarifier les rôles, notamment en identifiant l'entité responsable de la collecte et de la mise à disposition des informations sur les aléas et la vulnérabilité. De même, il est nécessaire de définir qui est chargé de la surveillance, de l'information, de l'éducation des populations, de l'intégration du risque dans l'aménagement du territoire, de la gestion de crise, ainsi que de l'indemnisation en cas d'impact d'un aléa.

Pour déterminer la répartition des responsabilités dans la gestion des risques, il convient de se référer aux attributions des différentes composantes et sous-composantes administratives au Gabon, afin d'identifier les responsabilités spécifiques de chacun dans la prévention et la gestion des risques. Cependant, il est regrettable de constater qu'aucun des textes consultés ne spécifie quel acteur institutionnel serait légalement responsable en cas de catastrophe.

Au niveau national, plusieurs administrations ministérielles et administrations sous tutelle de ces ministères ont un rôle plus ou moins important, en fonction des missions qui leur sont assignées (Tableau 8-2). Bien qu'il soit clair que le ministère de l'Intérieur tient une place importante en matière de gestion des risques. Le Tableau 8-2 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente succinctement qui fait quoi avant, pendant et après une situation de catastrophe.

Thème	Qui ?	Quoi ?
La connaissance de l'aléa (des phénomènes)	<ul style="list-style-type: none"> • Direction Générale de la Protection Civile avec sa direction de la prévention des risques et menace (ministère de l'Intérieur), • AGEOS (ministère des infrastructures numérique et de la communication) • Plate-forme nationale pour la Prévention et la Réduction des Risques de Catastrophe 	<p>Inventorier les risques et menaces et d'élaborer la cartographie correspondant avec les administrations et les organismes compétents.</p> <ul style="list-style-type: none"> - (Article 3 et 14 du Décret n° 0294/PR/MISPID du 04 juin 2015 portant création, attributions et organisation de la Direction Générale de la Protection Civile (DGPC) - (Article 5 de l'Ordonnance N° 002/PR/2010 du 25/02/2010 portant création, attributions et organisation de l'Agence gabonaise d'Études et d'Observations Spatiales)
Connaissance de la vulnérabilité	<p>Comité interministériel d'Experts en Gestion des Situations d'Urgence. (ministère de l'Intérieur)</p>	<p>Article 3 de l'Arrêté n° 00979/PM/MISPID du 11 novembre 2010 portant création, attributions, composition et fonctionnement du Comité interministériel d'Experts en Gestion des Situations d'Urgence</p> <ul style="list-style-type: none"> - Promouvoir la recherche sur les déterminants socioéconomiques de la vulnérabilité des populations face aux accidents, sinistres, calamités, conflits ou catastrophes.
Surveillance	<ul style="list-style-type: none"> • Direction Générale de la météo (ministère des Transports), • L'Agence gabonaise d'Études et d'observations spatiales (AGEOS), (ministère de l'Infrastructure numérique et la présidence de la république). • La mairie (sur le plan locale) 	<p>Article 3 du Décret n° 0919/PR/MRPICIRNDH du 29 décembre 2010 portant création, attributions et organisation de la Direction Générale de la Météorologie.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Étudier les phénomènes atmosphériques et utiliser les connaissances acquises pour la protection des personnes et des biens, le développement économique et social, la protection et la préservation de l'environnement <p>Décret n° 0205/PR/MENP du 25 mars 2015 fixant les attributions, l'organisation et le fonctionnement de l'Agence gabonaise d'Etude et d'Observations Spatiales :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contribuer à la mise en œuvre de la politique du gouvernement en matière de collecte, d'analyse et de mise à disposition des données issues de l'observation spatiale du territoire national pour la gestion durable de l'environnement terrestre et maritime, des ressources naturelles, de l'occupation des sols, de l'aménagement du territoire, ainsi que la recherche et l'innovation.
Information	<p>Direction Générale de la Protection Civile (ministère de l'Intérieur)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Direction de la prévention des risques et menace. - Direction de la formation, de la promotion et de sensibilisation - Plate-forme nationale pour la Prévention et la Réduction des Risques de Catastrophe <p>L'Agence gabonaise d'étude et d'observation spatiale (AGEOS).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Direction des applications des sciences de l'espace 	<p>Informers et sensibiliser les populations sur les risques et menaces auxquels elles sont exposées.</p> <ul style="list-style-type: none"> - (Article 14 et 23 du Décret n° 0294/PR/MISPID du 04 juin 2015 portant création, attributions et organisation de la Direction Générale de la Protection Civile (DGPC))

L'éducation	Direction Générale de la Protection Civile (ministère de l'Intérieur) avec : <ul style="list-style-type: none"> - Direction de la prévention des risques et menace, - Direction de la formation, de la promotion et de sensibilisation, - Comité interministériel d'Experts en Gestion des Situations d'Urgence 	<ul style="list-style-type: none"> - (Article 14 et 23 du Décret n° 0294/PR/MISPID du 04 juin 2015 portant création, attributions et organisation de la Direction Générale de la Protection Civile (DGPC)) - Article 3 de l'Arrêté n° 00979/PM/MISPID du 11 novembre 2010 portant création, attributions, composition et fonctionnement du Comité interministériel d'Experts en Gestion des Situations d'Urgence
La prise en compte du risque dans l'aménagement	<ul style="list-style-type: none"> • Mairie, conseil départemental, • Ministère de l'habitat et de l'urbanisme avec l'ANUTTC 	La mairie ou le conseil départemental octroie ces permis suite à un avis technique de l'ANUTTC. <ul style="list-style-type: none"> - Article 3 de la Loi N°0000007/2012 portant ratification de l'ordonnance N° 0000006/PR/2012 du 13 février fixant les règles relatives à l'urbanisme en République gabonaise
La réduction de la vulnérabilité (mitigation)	Comité interministériel d'Experts en Gestion des Situations d'Urgence (ministère de l'Intérieur)	Promouvoir la recherche sur les déterminants socioéconomiques de la vulnérabilité des populations face aux accidents, sinistres, calamités, conflits ou catastrophes. <ul style="list-style-type: none"> - (Article 3 de l'Arrêté n° 00979/PM/MISPID du 11 novembre 2010 portant création, attributions, composition et fonctionnement du Comité interministériel d'Experts en Gestion des Situations d'Urgence
La préparation des plans de secours	<ul style="list-style-type: none"> • Mairie, conseil départemental, • Direction Générale de la Protection Civile ministère de l'Intérieur - Direction des opérations et des moyens (ministère de l'Intérieur) 	Loi organique N° 001/2014 du 14/06/2015 relative à la décentralisation Conduit et coordonne les opérations de secours. <ul style="list-style-type: none"> - (Article 18 du Décret n° 0294/PR/MISPID du 04 juin 2015 portant création, attributions et organisation de la Direction Générale de la Protection Civile (DGPC))
La gestion de crise	Direction Générale de la Protection Civile (ministère de l'Intérieur) avec : <ul style="list-style-type: none"> - Direction des opérations et des moyens 	Conduit et coordonne les opérations de secours. <ul style="list-style-type: none"> - (Article 18 du Décret n° 0294/PR/MISPID du 04 juin 2015 portant création, attributions et organisation de la Direction Générale de la Protection Civile (DGPC))
L'indemnisation	Direction Générale de la Protection Civile avec sa direction des Opérations et moyens (ministère de l'Intérieur)	Instruis les dossiers des indemnisations liées

Tableau 8-2 : Les acteurs de la gestion des risques au Gabon et leurs missions

Au niveau local, la question de la responsabilité juridique en cas de catastrophe semble reposer sur la mairie et le conseil départemental. Mais là aussi, rien n'est explicitement et clairement énoncé dans les textes et missions dévolues aux collectivités locales. Dans le cas de notre étude, il s'agit respectivement de la mairie de Port-Gentil et du conseil départemental de Bendjé. On pourrait soutenir que leur responsabilité est engagée si des permis de construire ont été délivrés dans des zones à risque. En effet, les collectivités urbaines et le département sont responsables de la délivrance des permis de construire. Toutefois, il est essentiel de souligner que la mairie ou le conseil

départemental octroie ces permis suite à un avis technique de l'ANUTTC⁴⁰, c'est-à-dire du ministère de l'habitat et de l'urbanisme, car c'est à eux que revient la responsabilité de donner un avis favorable ou non à la délivrance d'un permis de construire (Cf. section 8.3.)

En cas d'inondation par la mer entraînant des pertes humaines et économiques, la responsabilité légale incomberait principalement au ministère de l'Habitat et soit à la mairie de Port-Gentil ou au conseil départemental de Bendjé en fonction du lieu de délivrance du permis de construire. Cette responsabilité ne serait engagée que si des permis de construire avaient été délivrés pour des zones identifiées comme à risque. Cependant, la production de ces documents relève du ministère de l'Intérieur, avec le soutien technique de sa Direction de la Prévention des Risques et Menaces, en accord avec l'article 23 du Décret n° 0294/PR/MISPID du 04 juin 2015 portant création, attributions et organisation de la Direction Générale de la Protection Civile (DGPC). Ainsi, la mairie serait responsable dans la mesure où elle aurait délivré des permis de construire dans des zones touchées par les inondations par la mer, mais seulement si elle avait connaissance que la zone était susceptible d'être impactée. En revanche, ni la mairie ni le conseil départemental ne seraient tenus pour responsables des dommages causés, car ils ne disposent d'aucun outil d'identification des zones à risques. De plus, cette responsabilité ne serait pas engagée pour les personnes qui se sont installées sans permis de construire dans des zones potentiellement exposées aux inondations par la mer.

Le silence de la législation gabonaise sur la responsabilité juridique de chaque acteur a des implications sur la manière dont les autorités abordent la question des risques. Cette absence de clarté alimente une politique implicite de non-intervention, soulignée fréquemment dans les discours et corroborée par nos constatations lors de notre enquête auprès des ménages. On peut légitimement se demander si cette inaction ne reflète pas une stratégie délibérée des autorités gabonaises, car en cas de catastrophe, les responsabilités semblent floues, y compris au sein de l'administration (cf. sous-section 7.4.1). En effet, lors de nos entretiens avec les responsables politico-administratifs et les populations, la question « **Qui est responsable de la gestion au niveau de la commune ? et au niveau national ?** » a été soulevée. À l'échelle locale, l'ensemble des autorités politico-administratives semble attribuer la responsabilité des risques à la mairie de Port-Gentil via son service technique. Quant à l'échelle nationale, les avis sont partagés entre le ministère de l'Environnement, le ministère de l'Aménagement du Territoire et le ministère de l'Intérieur.

⁴⁰ Loi N°0000007/2012 portant ratification de l'ordonnance N° 0000006/PR/2012 du 13 février fixant les règles relatives à l'urbanisme en République gabonaise.

« La direction provinciale de l'environnement et les élus. Sur le plan national, c'est le ministère de l'Environnement qui a en charge la gestion des inondations et des risques des inondations ». **(Directeur provincial du cadastre)**

« C'est la municipalité, donc les élus, car ils sont les premiers magistrats de la ville. Sur le plan national, c'est le ministère de l'Intérieur le responsable sur les questions des risques en général. Mais il faut dire que la question des risques est aussi une question de planification du territoire, donc je peux ajouter au niveau national, le ministère de l'Aménagement ». **(Directeur provincial de l'environnement)**

« Bon ! on a un service provincial de l'environnement parce que tout ce qui est risque et catastrophe, ça c'est dans le domaine de l'environnement. L'administration à une représentation, c'est la brigade sur l'environnement. Mais au niveau de la collectivité locale, on a un service environnement qui devrait intégrer cette hypothèse-là » **(Directeur provincial de l'aménagement)**

Un flou qui entraîne des conséquences sur la vulnérabilité des territoires aux risques. Ce flou juridique se prolonge également dans l'approche de dédommagement. En effet, malgré les mesures d'urgence prises par l'État pour indemniser partiellement les sinistrés en prélevant des fonds d'une ligne budgétaire non définie, ce processus n'est pas réglementé par la législation. Aucune modalité juridique précise n'existe quant au mode d'indemnisation des sinistrés, ni en ce qui concerne les montants à verser. Plus inquiétant encore, cette indemnisation est souvent présentée comme un don du chef de l'État, alors qu'en réalité, il s'agit d'argent public. De plus, c'est fréquemment un représentant politique de la localité sinistrée qui est souvent dépêché pour superviser ces actions d'indemnisation (Ndoulou Loubamono, 2000). Parallèlement, les problèmes de fond à l'origine de la catastrophe ne font l'objet d'aucun examen ni débat, probablement dans le but de préserver les responsables politiques de toute remise en question sur cette question.

8.2.3.2 Le manque de collaboration entre acteurs institutionnels

Comme nous l'avons observé dans la section précédente, il existe un flou juridique et réglementaire dans la gestion des risques au Gabon, surtout lorsqu'il s'agit de risques naturels tels que les inondations par la mer. Cette analyse du flou juridique vient conforter notre hypothèse initiale exposée en introduction. Après avoir révélé les lacunes juridiques entourant la gestion des risques au Gabon, il est important d'examiner comment les acteurs impliqués dans la gestion des risques collaborent et se coordonnent, même si les responsabilités de chacun ne sont pas clairement établies. Ainsi, pour mieux comprendre les processus de coordination de la gestion des risques au Gabon en général, et à Port-Gentil en particulier, nous avons mené des entretiens avec les autorités politico-administratives au niveau local, ainsi que des discussions informelles des autorités nationales. Nous avons réussi, tant bien que mal, à obtenir des informations concernant les difficultés de collaboration entre les différentes administrations, notamment en ce qui concerne les échanges d'informations officielles.

En effet, les acteurs se distinguent par leur échelle de compétence et leur marge de manœuvre dans les actions à entreprendre sur le terrain. Le Gabon a une organisation administrative très centralisée, dans laquelle les structures provinciales et municipales ne font que mettre en œuvre les décisions prises à Libreville. Le type de relation entre les différents acteurs en fonction de l'échelle territoriale d'exécution est de type « top-down », c'est-à-dire du haut vers le bas, avec très peu d'initiatives venant de la base vers le sommet. Ainsi, l'organisation des acteurs suit une structure pyramidale.

En effet, en réponse à la question de savoir si l'administration dispose d'une marge de manœuvre pour prendre des initiatives locales dans la gestion des risques : **« Vous suivez les directives gouvernementales, votre service se limite-t-il simplement à appliquer ces directives ou y a-t-il une place pour l'initiative locale en matière de gestion des risques ? »**, il semble que ce ne soit pas vraiment le cas dans l'ensemble. Bien que des adaptations des politiques générales émanant de l'autorité de tutelle soient parfois effectuées pour répondre au contexte local.

« Nous sommes une direction provinciale et nous appliquons les recommandations de notre tutelle. Mais dans le cadre de certaines rencontres, nous proposons nos recommandations en fonction de notre expérience locale. Mais sans moyen véritable il est difficile de mettre en place des actions. Encore, nous louons l'initiative des entreprises locales qui se battent à nos côtés au quotidien. » **(Directeur provincial de l'environnement)**

Quand c'est dans ce domaine-là on travaille avec la hiérarchie et on met en place un dispositif qui est et va être entériné par Libreville **(Directeur provincial des travaux publics)**

Bon ! Les orientations gouvernementales constituent certes notre base d'action, mais elles sont globales. Les réalités locales ne sont pas les mêmes que l'on soit au nord, au sud, à l'est ou à l'ouest. Donc, il y'a points qu'on ajoute à ces orientations. Donc, on adapte les initiatives locales en fonction des spécificités, car moi je ne peux pas avoir la même vision sur le plan local que mon collègue de Mouila, parce que nous n'avons pas les mêmes problèmes. Ici, nous allons, avec les acteurs locaux essayer de prendre des initiatives qui vont dans le sens de tenir compte des spécificités de la localité dans laquelle nous sommes et donc aller au-delà des orientations du gouvernement en matière de plan d'action... **(Directeur provincial de l'aménagement)**

L'organisation des acteurs chargés de la gestion des risques au Gabon semble relativement simple dans l'ensemble, ce qui pourrait favoriser une collaboration efficace entre eux. En effet, au niveau national, la responsabilité de la gestion des risques relève principalement du gouvernement, notamment du ministère de l'Intérieur à travers la Direction Générale de la Protection Civile et ses différentes sous-directions. Comme indiqué dans le Tableau 8-2 le ministère de l'Intérieur joue un rôle central dans la politique de gestion des risques. En grande partie, cette responsabilité est assurée par les services opérationnels et techniques, tels que la Direction Générale de la Protection Civile, qui est soutenue par la Direction de la Prévention des Risques et Menaces, la Direction des

Opérations et des Moyens, ainsi que la Direction de la Formation, de la Promotion et de la Sensibilisation. En termes d'organisation, la Direction Générale de la Protection Civile est structurée de manière à gérer les risques avant, pendant et après d'éventuels incidents.

Cependant, il est évident que le ministère de l'Intérieur ne coopère pas suffisamment avec les autres administrations potentiellement impliquées, de près ou de loin, dans la gestion des risques. Ceci reflète un autre aspect problématique de l'administration gabonaise, où chaque entité a souvent tendance à opérer de manière isolée. Pour illustrer ce point, on peut avancer que certains déficits observés dans les textes réglementaires auraient probablement été évités si une collaboration effective avait été établie entre le ministère de l'Intérieur, les autres administrations, et même les collectivités en première ligne dans cette situation à risque. Une concertation plus importante entre ces différentes entités aurait sans aucun doute contribué de manière significative à l'amélioration de la future loi d'orientation en matière de risque.

8.2.3.3 Les tentatives de collaboration et de coordination entre les acteurs de la gestion des risques sans véritable impact

La collaboration entre les acteurs dans le cadre de la gestion des risques de catastrophe demeure formelle et s'opère au sein des différents comités et plates-formes interministériels, tels que la commission de contrôle et de suivi de la gestion des espaces non bâtis et des zones à risques dans les villes gabonaises, le Comité interministériel d'Experts en Gestion des Situations d'Urgence ou encore la Plate-forme nationale pour la Prévention et la Réduction des Risques de Catastrophes.

8.2.3.3.1 La commission de contrôle de suivi de la gestion des espaces non bâtis et des zones à risques dans les villes gabonaises

La commission de contrôle et de suivi de la gestion des espaces non bâtis et des zones à risques dans les villes gabonaises, créées par l'arrêté N° 00683/PM du 29/09/2010, est mis en place., comme mentionné précédemment à la sous-section 8.2.2. Une commission interministérielle chargée du contrôle et du suivi de la gestion des espaces non bâtis et des zones à risque, désignée sous le nom de « Commission Espaces Verts ». Sous l'autorité du Premier Ministre, chef du gouvernement, elle a pour mission de formuler des propositions en matière de création, d'équipement et de gestion des espaces publics non bâtis et des zones à risque. Elle assure également le suivi et la coordination des études d'aménagement de ces espaces, ainsi que le contrôle et le suivi des travaux d'aménagement et d'équipement des espaces publics non bâtis exécutés par les ministères dans leurs domaines respectifs. Bien que la démarche de suivi et de contrôle ne soit pas spécifiée, cette commission regroupe plusieurs portefeuilles ministériels.

Néanmoins, dans son organisation (Figure 8-3 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), notamment celle du comité de pilotage, il semble, à la lecture des textes, que cette commission a

été créée uniquement pour résoudre les problèmes enregistrés dans le grand Libreville et non pour l'ensemble du Gabon. Cette situation semble confirmer les propos de certains responsables politico-administratifs au niveau local qui semblent ne pas être inclus dans les questions liées aux risques. Bien qu'il y ait une certaine collaboration entre l'administration ministérielle et les collectivités locales de Libreville et d'Owendo, il ne semble pas, au vu de son organisation, que les collectivités locales de l'intérieur du pays, encore moins de la deuxième plus grande ville du Gabon (Port-Gentil), aient été associées. Cela pose un problème de cohésion dans la gestion de la question des risques à différentes échelles territoriales.

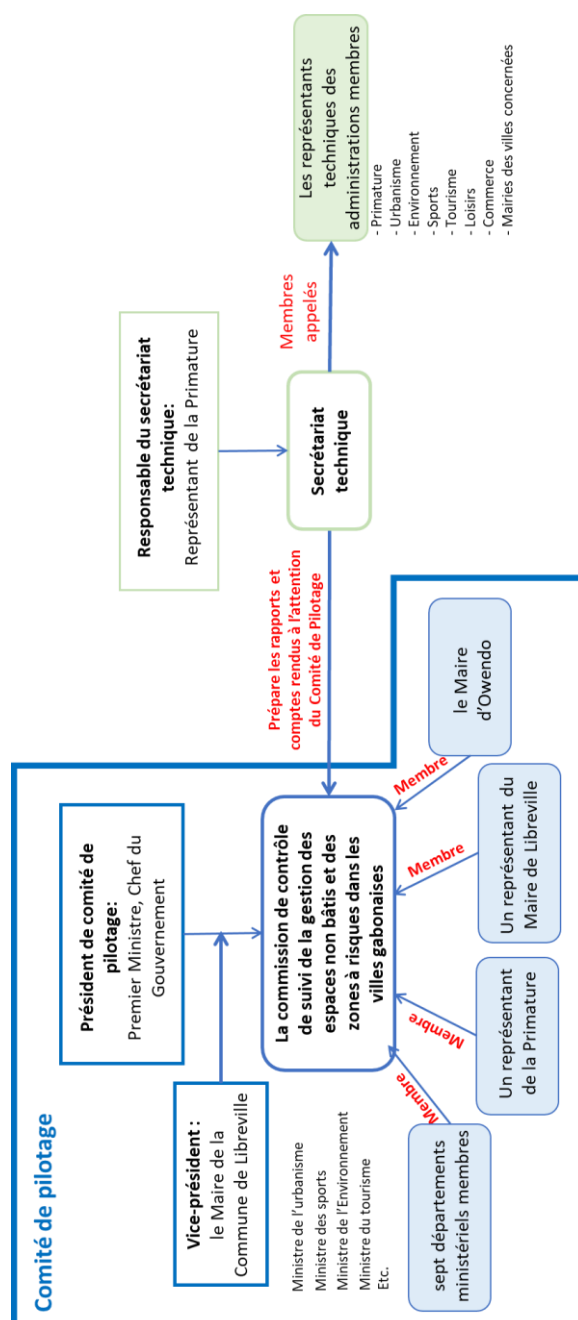


Figure 8-3 : Organisation de la commission de contrôle de suivi de la gestion des espaces non bâtis et des zones à risques dans les villes gabonaises (Réalisation L. YEMBI, 2023)

8.2.3.3.2 Comité interministériel d'Experts en Gestion des Situations d'Urgence

Créé par l'Arrêté n° 00979/PM/MISPID du 11 novembre 2010, le Comité interministériel d'Experts en Gestion des Situations d'Urgence est une structure de l'État, rattachée par son organisation au ministère de l'Intérieur, avec à sa tête le ministre de l'Intérieur et au secrétariat le directeur général de la protection civile, également issu du ministère de l'Intérieur. Ce comité est composé de pratiquement tous les portefeuilles ministériels du Gabon, du moins de leurs représentants (Figure 8-4). Pour pallier les lacunes techniques, le comité peut faire appel à des organismes supra-étatiques ou non gouvernementaux tels que la Croix-Rouge, les ONG et les agences du système des Nations unies. Il a pour mission :

- D'élaborer les plans sectoriels et le plan national de contingence ;
- De préparer et d'organiser les réponses des pouvoirs publics et de la communauté face aux accidents, sinistres, catastrophes et situations d'urgence ;
- De promouvoir le transfert de connaissances, l'échange d'informations et d'expériences sur les situations d'urgence ;
- De procéder à l'identification des risques et à l'évaluation des sinistres ;
- De contrôler l'état des dispositifs de protection et d'assistance des populations face aux catastrophes ;
- De veiller à la sauvegarde des biens et de l'environnement ;
- De promouvoir les programmes de formation et de recherche en matière de prévention et de protection civile ;
- De soutenir la coordination intersectorielle des activités, ressources, compétences et expertises nationales et internationales en matière de prévention et de gestion des catastrophes ;
- De promouvoir la recherche sur les déterminants socioéconomiques de la vulnérabilité des populations face aux accidents, sinistres, calamités, conflits ou catastrophes ;
- De développer et de soutenir toutes initiatives et mesures appropriées visant à promouvoir la coopération internationale en matière d'assistance transfrontalière en cas de catastrophes.

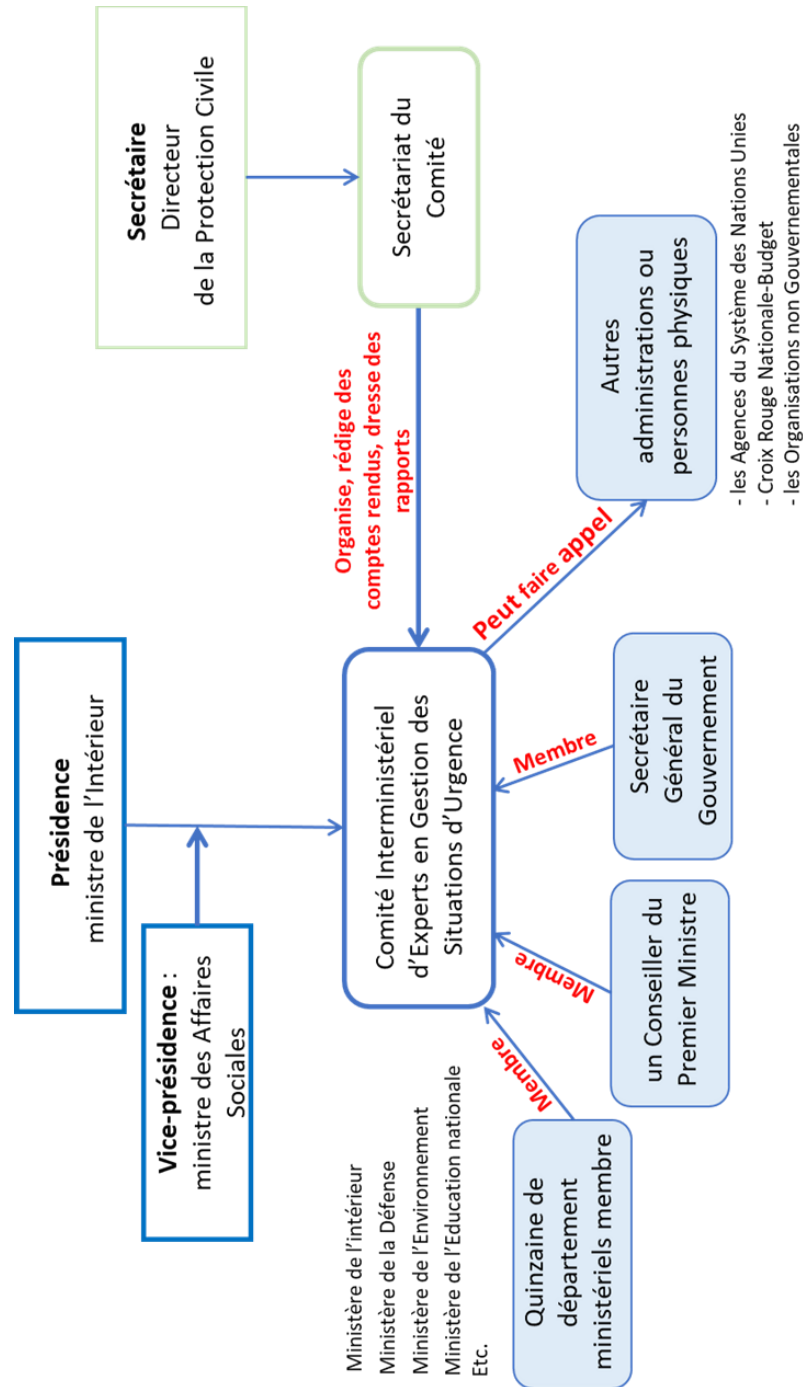


Figure 8-4 : Organisation du Comité interministériel d'experts en gestion des situations d'urgence (Réalisation L. YEMBI, 2023)

8.2.3.3.3 Plate-forme nationale pour la prévention et la réduction des risques de catastrophe

La Plate-forme nationale pour la Prévention et la Réduction des Risques de Catastrophe, établie par le décret n° 0672/PR/MISPID du 16 mai 2011, régissant sa création, ses attributions et son fonctionnement, représente au Gabon la deuxième initiative de collaboration multisectorielle placée sous la tutelle du ministère de l'Intérieur. Son objectif est de coordonner et renforcer la collaboration pluridisciplinaire en vue de soutenir des activités de prévention et de réduction des

risques de catastrophe (Figure 8-5). Pour favoriser la collaboration entre un ensemble d'acteurs publics et privés traitant de la question du risque, un comité de pilotage multisectoriel a été instauré, composé d'environ quinze représentants de divers ministères, de la Croix-Rouge gabonaise, de partenaires au développement, ainsi que d'un coordonnateur national.

Sur le plan opérationnel, la Plate-forme demeure encore difficilement fonctionnelle. Toutefois, elle bénéficie de certaines facilités organisationnelles, notamment avec la présidence assurée par le ministère de l'Intérieur via ses organes opérationnels, en particulier la Direction Générale de la Protection Civile, qui assume la coordination nationale. Les difficultés opérationnelles de la Plate-forme nationale pour la Réduction des Risques de Catastrophe, notamment en ce qui concerne la gestion des risques naturels tels que les inondations par la mer, résultent du manque d'appropriation de cet instrument par les décideurs et de l'absence d'un cadre juridique clair en matière d'inondation marine. Les actions de prévention des inondations par la mer sont ainsi limitées, voire inexistantes, comme en témoigne l'absence de délimitation des zones susceptibles d'être impactées par les inondations marines, une tâche qui relève de la responsabilité de cet organisme chargé de réaliser les cartographies des zones à risque.

Par ailleurs, le secteur de l'éducation des risques, dont la Plate-forme a la charge, reste négligé. Les laboratoires de recherche et les universitaires ne sont pas associés à la coordination de la Plate-forme nationale pour la Réduction des Risques de Catastrophe, car les laboratoires ne figurent pas sur la liste des membres de cette plate-forme. Cela limite les capacités de la Plate-forme, étant donné que le domaine de la recherche regorge d'un savoir-faire en matière de cartographie et d'évaluation des risques au Gabon (par exemple, le LAGRAC du département de Géographie de l'Université Omar Bongo), qui pourrait insuffler une nouvelle dynamique à la coordination des actions et les faciliter sur le terrain avec le nombre important d'étudiants à sa disposition. Malgré la mise en place de cette plate-forme de collaboration, de nombreuses insuffisances et lacunes subsistent, à savoir :

- Absence de concertation entre structures de gestion et de prévention des catastrophes ;
- Absence de cadre juridique qui fixe les domaines et modes d'intervention de chaque structure ;
- Défaut de sensibilisation des populations dans les médias ;
- Insuffisance de ressources humaines et matérielles ;
- Problème d'identification des risques et de cartographie des zones de vulnérabilité ;

- Insuffisance de politique nationale en matière de prévention et de gestion des catastrophes.

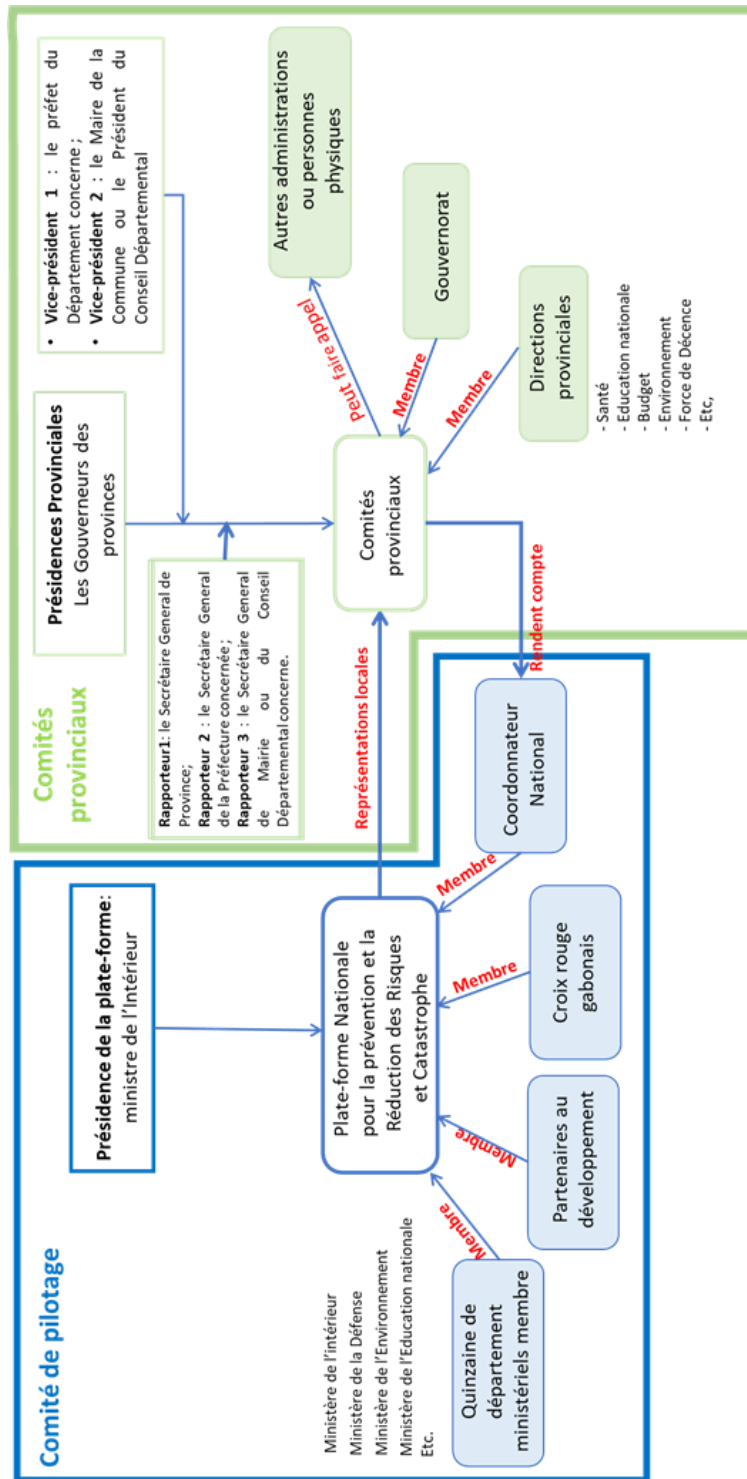


Figure 8-5 : Organisation de la plate-forme nationale pour la prévention et la réduction des risques de catastrophes (Réalisation L. YEMBI, 2023)

8.2.4 La faiblesse des moyens financier et humain.

8.2.4.1.1 Au niveau national

La gestion des risques au Gabon est centralisée et dirigée par le ministère de l'Intérieur, de la Sécurité, chargé de la Décentralisation et du Développement local. La coordination des activités au niveau national est confiée à la Direction Générale de la Prévention des Risques, relevant également du ministère de l'Intérieur. Cependant, ce ministère fait face à une insuffisance tant en termes de ressources humaines que financière. Cette situation, bien que présente dans d'autres administrations, est exacerbée par la crise économique et financière que traverse le pays depuis plusieurs années. Les programmes d'ajustement structurel ont souvent entraîné une diminution significative des budgets des administrations publiques.

Entre 1988 et 1991, le budget de la Direction Générale des Risques et Catastrophes a subi une réduction de 46 %. Outre le manque de personnel, le programme de réduction des risques de catastrophe est sous-financé, en particulier pour la prévention, recevant des moyens encore plus limités que d'autres institutions ministérielles. Cette faiblesse financière entrave l'acquisition de matériel, bien que parfois soutenue par des projets externes.

Selon une évaluation basée sur les chiffres du Ministère du Budget et des Comptes Publics (UNDRR, 2020) entre 2014 et 2017, la part allouée à la réduction des risques de catastrophe dans le budget national sur cette période de quatre ans est en moyenne de 176,48 milliards de FCFA, soit 7,4 % du budget national. Sur ce budget, seulement 2 % sont détenus par des programmes qui ciblent directement la RRC, soit 3,37 milliards de FCFA correspondant à 0,1 % du budget national, tandis que les 98 % concernent des programmes qui ciblent indirectement la RRC, soit 173 milliards de FCFA équivalant à 7,4 % du budget national. Dans ce budget, le secteur social détient la part la plus élevée, marquée par le ministère de la Santé Publique qui bénéficie de 95,2 % de cette part dans le cadre du programme de Lutte contre le VIH/SIDA. Ce secteur détient également la part la plus élevée dans le budget de RRC, à travers trois programmes de soins de santé. La moitié du budget alloué à la gestion des catastrophes au Gabon est consacrée à la prévention et à l'atténuation des risques ; la portion restante est partagée à parts égales entre la préparation et la reconstruction ou le relèvement. Les activités post-catastrophes (réponse et secours, reconstruction et réhabilitation) représentent également la moitié du budget relatif aux catastrophes.

De plus, le pays bénéficie de l'aide de l'Aide Publique au Développement (APD) pour les interventions d'urgence et la reconstruction, la réhabilitation et les secours, avec une moyenne annuelle de 109 millions de FCFA. Cependant, il est important de noter qu'il n'y a que peu de mentions spécifiques des risques naturels dans la politique de RRC, encore moins des risques

d'inondation par la mer. Aucune ligne budgétaire n'est clairement affectée à cette problématique, contrairement au programme de Lutte contre le VIH/SIDA.

8.2.4.1.2 Au niveau communal

Au niveau des collectivités, en particulier à Port-Gentil, la loi organique N° 001/2014 du 14/06/2015 relative à la décentralisation⁴¹ établit des règles générales de fonctionnement et de financement des collectivités sur le territoire gabonais. En son chapitre 44, il est indiqué que les présidents du bureau des conseils locaux en l'occurrence les maires (Article 48) sont chargés de « *prévenir les nuisances et les risques causés par les catastrophes, les calamités naturelles, les maladies endémiques ou contagieuses, les épidémies, en provoquant s'il y a lieu, l'intervention de l'administration centrale* » cependant, malgré ces dispositions juridiques, plusieurs obstacles entravent la capacité des autorités locales à gérer efficacement les risques, notamment ceux liés aux catastrophes naturelles. Tout d'abord, la loi stipule que les présidents du bureau des conseils locaux, notamment les maires, sont chargés de prévenir les nuisances et les risques causés par divers événements. Cependant, la réalité sur le terrain montre que même l'administration centrale manque souvent des ressources financières et humaines nécessaires pour soutenir les collectivités en cas d'incapacité à faire face aux risques. Cette situation souligne les défis auxquels sont confrontées les collectivités, qui doivent souvent agir seules face aux risques sans un soutien adéquat de l'administration centrale.

De plus, les collectivités locales comme la mairie de Port-Gentil font face à des contraintes financières importantes. La majeure partie du budget municipal 85 % est affectée au fonctionnement, en particulier à la masse salariale. De ce budget chaque arrondissement, perçoivent 50 millions pour leur fonctionnement, laissant peu de ressources disponibles pour les opérations de prévention des risques. Cette réalité financière limite la capacité des autorités locales à mettre en œuvre une politique de gestion des risques efficace, en particulier en ce qui concerne les risques d'inondation par la mer. De cette réalité financière s'ajoute le manque de capacités techniques et humaines pour faire face aux défis complexes liés à la gestion des inondations par la mer, bien que la mairie dispose d'un service technique, cette dernière, semble manqué au regard des observations sur le terrain des compétences techniques dans les questions de prévention.

En conséquence, les actions entreprises par la mairie de Port-Gentil en matière de gestion des risques ne sont souvent que partielles et limitées dans leur efficacité (exemple de la construction de la digue d'une partie de la façade est). Bien que les autorités locales puissent avoir l'intention de prévenir les risques, les contraintes financières et les capacités limitées entravent souvent la mise en œuvre de mesures efficaces, si bien que les actions qui sont menées sur le terrain, ne sont que

⁴¹ <https://journal-officiel.ga/2791-001-2014/>

politiques, et pour faire de la publicité dans les médias (Figure 8-6), sans que cela soit véritablement des actions de réduction durable des risques. Par conséquent, les risques, tels que les inondations par la mer, peuvent ne pas être correctement pris en compte, ce qui peut avoir des conséquences néfastes sur les enjeux locaux.

Dans l'ensemble, cette situation met en lumière la nécessité d'une meilleure coordination entre les différents niveaux de gouvernement et d'un soutien accru de l'administration centrale aux collectivités locales. De plus, cela souligne l'importance d'investir dans les capacités locales et de fournir des ressources adéquates pour renforcer la résilience des communautés face aux risques naturels, en assurant ainsi la sécurité et le bien-être des populations locales.



Figure 8-6 : Action politique de gestion des risques

8.3 La gestion des inondations par la mer à l'épreuve de l'urbanisation dans la commune de Port-Gentil

En matière de gestion des risques d'inondation, notamment pour les pays qui ne disposent pas de moyens importants pour entreprendre de vastes projets d'infrastructures, l'une des solutions les plus efficaces consiste à adopter une politique préventive de gestion des inondations marines. Cette approche repose en partie sur la maîtrise de l'urbanisation et de l'occupation du sol. En effet, l'aménagement urbain représente un défi majeur dans la gestion des risques, en particulier au Gabon, où la croissance démographique des villes influence considérablement le processus d'urbanisation. L'implantation anarchique de populations urbaines à Port-Gentil est un exemple, avec une occupation de zones potentiellement inondables, voire déjà affectées par le cycle des

marées. Les collectivités locales (mairie et conseil départemental) partagent la responsabilité de la maîtrise de l'urbanisation vis-à-vis des risques naturels. Elles disposent de plusieurs documents de planification qui fixent les orientations en matière d'aménagement du territoire, résultant à la fois de l'urbanisme, de la préservation du littoral et de l'environnement, ainsi que de la gestion des risques. Sur le plan de l'urbanisme, l'Ordonnance n° 002/PR/2017 du 27 février 2017 portant orientation de l'urbanisme en République gabonaise stipule à son Article 6 les documents de planification urbaine suivants :

- Le **Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme** (SDAU) qui définit les orientations fondamentales de l'aménagement du territoire au niveau d'une commune ou d'un ensemble de communes. Il établit également les programmes de l'État, des collectivités locales et des établissements publics concernés, en tenant compte des interactions avec les régions avoisinantes et de l'équilibre nécessaire entre l'extension urbaine, les activités agricoles et industrielles, ainsi que la préservation des forêts et des sites naturels.
- Les **Plans d'Occupation des Sols** (POS) qui déterminent les règles et les servitudes d'occupation et d'utilisation des sols, en complément et en détail du SDAU. Ils incluent la délimitation des zones d'urbanisation, des zones d'affectation des sols selon leur usage principal ou la nature des activités dominantes, des quartiers, rues, monuments et sites à protéger, des espaces verts, ainsi que des règles concernant le droit d'implanter des constructions et leurs caractéristiques.
- Le **Plan Directeur d'Urbanisme** (PDU) qui fixe les grandes orientations de l'aménagement du territoire au niveau des communes, en précisant la destination générale des sols, le tracé des grands équipements d'infrastructure, le plan d'alimentation en eau, électricité et téléphone, le plan d'assainissement, et le règlement concernant l'utilisation du sol.
- Le **Plan de Secteur, dénommé SMART CODE** qui complète et détaille le PDU dans les limites de son périmètre d'application.
- Le **Plan d'Aménagement de Zone**, (PAZ) est un document d'urbanisme qui réglemente l'occupation des sols à l'intérieur d'une ZAC. Son contenu est le même que celui du POS. Il complète et détaille le PDU à l'intérieur d'une Zone d'Aménagement concerté.

De plus, l'article 38 de la même ordonnance énonce les actes préalables à la construction et à la démolition délivrées par la mairie ou le département après avis des services compétents : le certificat

d'urbanisme, le permis de construire, le permis de lotir, et le permis de démolir. En l'absence du document de planification, le certificat d'urbanisme est délivré par les services déconcentrés de l'urbanisme (Directions provinciales du cadastre ou ANUTTC).

Sur le plan environnemental, la loi n° 007/2014 du 1er août 2014 relative à la protection de l'environnement en République gabonaise, dans sa section 3 concernant le littoral, stipule, à l'article 64, l'interdiction des constructions à proximité des espaces naturels littoraux sensibles ou près du rivage. Ces restrictions doivent être appliquées par les collectivités dans le cadre des constructions dans les zones naturelles littorales sensibles telles que les mangroves, par exemple. De plus, toujours dans le domaine environnemental, la loi n° 14/63 du 8 mai 1963 fixant la composition du domaine de l'État et les règles qui en déterminent les modes de gestion et d'aliénation, toujours en vigueur au Gabon, précise clairement la distance d'installation à ne pas franchir en zone côtière. Les collectivités peuvent utiliser cette loi pour réglementer l'installation des populations dans la commune. En effet, l'article 104 de cette loi crée une réserve domaniale dite « des 100 mètres », constituée par une bande de terrain d'une largeur de cent mètres comptés à partir de la laisse des plus hautes marées, qui fait partie du domaine privé de l'État. Cette zone est donc aliénable et peut faire l'objet de cession. Une telle précaution permettrait de stopper l'extension des constructions aux abords des étangs situés à proximité du littoral, tels que ceux sur l'île Mandji.

8.3.1 L'urbanisation irresponsable des secteurs à risque d'inondation par la mer avérée : un développement urbain absurde qui ignore le danger

Comme nous avons pu le voir dans la sous-section précédente, le Gabon dispose de plusieurs outils d'urbanisme, de gestion foncière et des risques, le plus souvent bien structurés et rendus publics. Cependant, les problèmes de déséquilibre urbain et de restructuration de son environnement ne résident nullement dans le manque de texte réglementaire, mais surtout dans l'application de cette réglementation, qui peut trouver ses origines dans le manque de moyens de mise en œuvre (Djembi-Koumba, 2008). Cette thèse du manque de moyens a souvent été mentionnée par les autorités interrogées au cours de l'enquête sur les représentations du risque d'inondation par la mer réalisée dans cette recherche (voir chapitre 7). Au niveau de Port-Gentil, par exemple, la commune disposait dans les années 1978 d'un plan d'aménagement urbain (PAU), appelé plan philippin. Il avait pour objectif de cadrer le développement de la ville de Port-Gentil en dressant à l'époque les freins et les leviers de développement de la ville. Plus récemment, un outil de planification urbaine, le SDAU (Schéma Directeur d'Aménagement Urbain), a été élaboré afin d'orienter le développement de la ville de Port-Gentil en y intégrant les différents problèmes environnementaux que compte la ville. Cependant, ces deux outils n'ont jamais été appliqués, ou n'ont pas été adoptés au regard de la situation actuelle de la ville. Dans plusieurs secteurs de la ville, des populations sont

installées pratiquement à la limite du trait de côte (Figure 8-7), confirmant en partie une insouciance des populations face aux inondations marines.

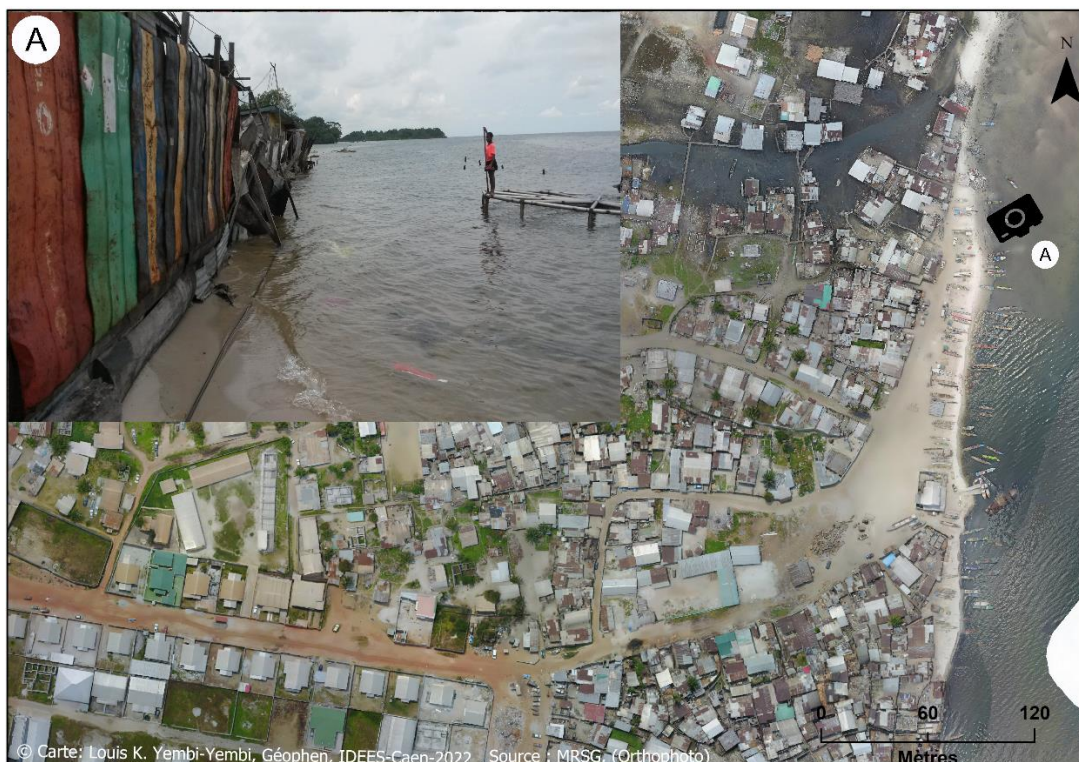


Figure 8-7 : Construction anarchique sur le trait de côte (Photo prise le 12 janvier 2017 à 16h, marée prédite 1,36 m NGCLZ)

8.3.2 Le désarmement des services et direction technique au niveau local : mesures réglementaires insuffisantes, moyen humain et financier faible

En matière de gestion des risques liés à l'inondation par la mer, l'une des stratégies politiques importantes consiste à mettre en place des mesures préventives, impliquant également une maîtrise de l'urbanisation et de l'occupation du sol. Comme nous l'avons démontré au chapitre 6, l'aggravation de la vulnérabilité physique de la ville de Port-Gentil est tributaire de l'urbanisation mal planifiée, voire inexistante. En effet, la concentration des enjeux stratégiques, voire vitaux, dans un secteur très exposé de la première couronne de la ville témoigne d'un manque de prise en compte des risques dans l'aménagement urbain de Port-Gentil.

L'aménagement urbain demeure un enjeu majeur de la gestion des risques, particulièrement au Gabon et spécifiquement à Port-Gentil, où la croissance démographique exerce une influence durable sur le processus d'urbanisation. L'installation anarchique des populations urbaines a entraîné une diminution significative des espaces libres, au point que la ville a depuis plusieurs décennies dépassé son périmètre administratif. Même les zones censées être protégées, telles que

la zone de mangrove, sont désormais sujettes à la fois à des opérations de viabilisation réglementées (Figure 8-8 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** A et B) et à une occupation anarchique (Figure 8-8 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** C et D), entraînant une exposition de plus en plus accrue des personnes et des biens.

Les questions urbaines sont étroitement liées à la planification spatiale du territoire et doivent donc s'inscrire dans un cadre global d'aménagement du territoire qui est régi par des outils de planification et des moyens opérationnels.

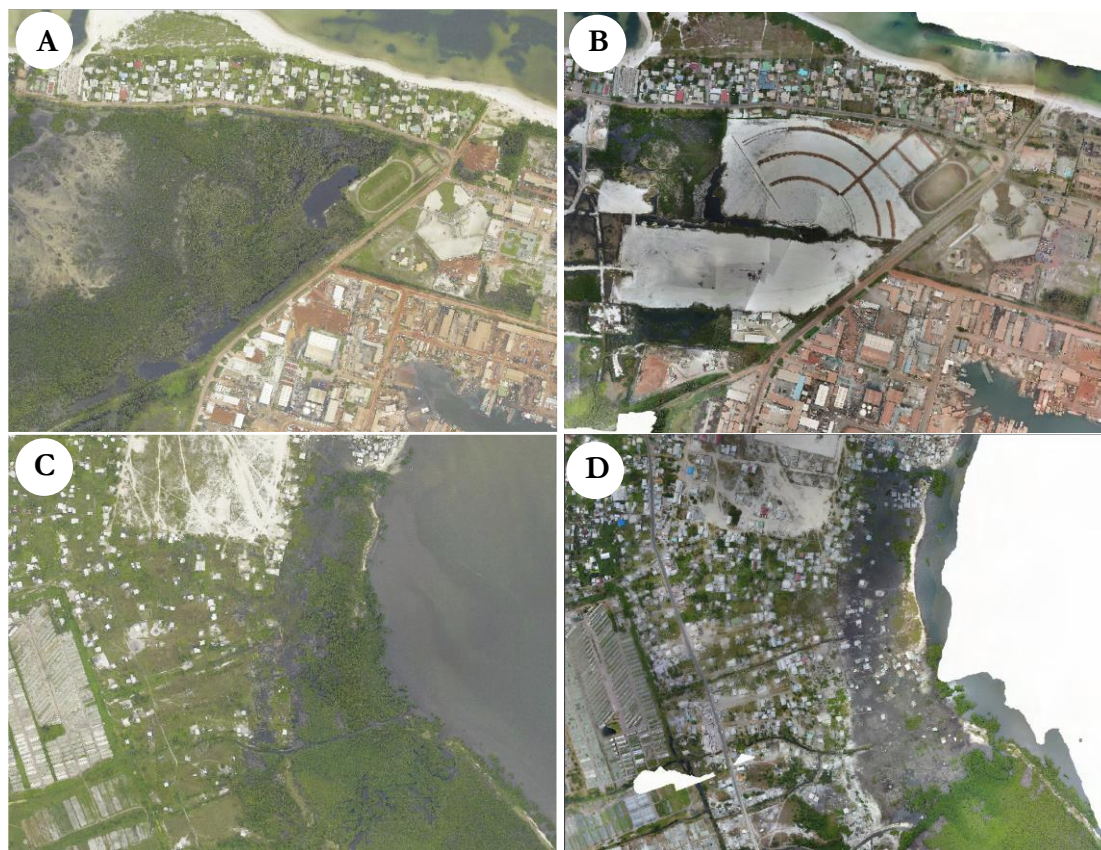


Figure 8-8 : Déforestation de la couverture forestière de mangrove dans la zone du secteur de la SOGARA au nord en 2007 (A) et 2019 (B) à des fins d'aménagement, et au sud dans les quartiers Lippe 1 et 2 entre 2007 (C) et 2019 (D) par une installation anarchique.

Dans cette situation d'urbanisation non maîtrisée, il est important de se demander à quel niveau se situent les responsabilités des différentes administrations sur cet état de fait. Dans cette démarche, il semble important de regarder le processus de demande de permis de construire au Gabon. Lors de nos entretiens avec les autorités politico-administratives, nous avons pu obtenir des informations sur cette démarche légale, mais nous avons également pris connaissance des difficultés liées à la prise en compte du risque d'inondation par la mer dans la planification urbaine de la ville de Port-Gentil, difficultés qui seront abordées dans la suite de ce travail.

Tout d'abord, il faut dire que la démarche d'obtention d'un titre foncier au Gabon relève du parcours du combattant, une situation qui n'est pas sans conséquence dans ce processus d'installation anarchique des populations dans des zones de plus en plus non aedificandi. Avant d'arriver à la délivrance du permis de construire, il convient de signaler que légalement, l'accession à la propriété foncière en République gabonaise est essentiellement régie par la loi n°3/2012 du 13 août 2012 portant ratification de l'ordonnance n°5/2012 du 13 février 2012 fixant le régime de la propriété foncière en République gabonaise. Ainsi, l'accession à la propriété foncière débute par la recherche d'une parcelle, soit par son réseau personnel (familial, amical, professionnel, etc.). À la suite de cette acquisition, le vendeur dresse une attestation de cession de parcelle, signée par les deux parties. Le vendeur retire ledit document auprès de la mairie du lieu de situation du terrain. Cette attestation, sommaire, constitue non seulement la preuve de l'acquisition foncière et confère à l'acquéreur la propriété, mais ne vaut paradoxalement pas titre de propriété, bien que souvent le chef du quartier signe ce document et appose son tampon.

La délivrance d'un titre de propriété ou foncier n'intervient qu'à la suite d'une procédure de régularisation foncière, comportant une phase administrative et une phase judiciaire, d'une part au niveau de l'Agence nationale de l'Urbanisme, des Travaux Topographiques et du Cadastre (ANUTTC) pour ceux qui sont dans le grand Libreville et par la direction provinciale de l'Urbanisme, des Travaux Topographiques, du Cadastre et de l'Habitat dans chaque province, et d'autre part par la conservation foncière. C'est à la suite de toute cette procédure de régulation foncière que le propriétaire peut faire une demande de permis de construire sur sa parcelle. Cette demande est délivrée par la mairie ou le conseil départemental après avis technique de l'ANUTTC.

En réalité, la démarche est tout autre au Gabon ; nous avons une démarche qui est complètement inversée. Pour avoir accompagné plusieurs personnes dans la régulation foncière, la démarche d'acquisition des terrains se fait soit par l'achat d'une portion de terre chez un autre particulier qui lui ne dispose d'aucun document indiquant légalement qu'il est le propriétaire, soit par une appropriation directe d'une forêt ou d'un espace vacant souvent en périphérie de la ville. Ensuite, pour sécuriser le terrain, les personnes entretiennent ce lopin de terre en pratiquant l'agriculture ou en l'assainissant petit à petit dans le temps. Après avoir constitué un capital pour démarrer des travaux de construction, elles vont construire sur ce terrain sans que celui-ci ne soit immatriculé à la conservation foncière ou que des permis de construire ne soient délivrés. Il faut dire que la population gabonaise en général et à Port-Gentil en particulier n'a pas connaissance de l'existence de la procédure de demande de permis de construire. Les mairies et les conseils départementaux ne communiquent pas sur cette démarche. La question a été posée au directeur provincial de l'habitat et du cadastre lors de nos entretiens dans une relance à la question qui consistait à savoir :

si la politique de développement sur la commune tient-elle compte de l'existence du risque submersion marine ? Pourquoi la commune ne communique pas sur la démarche de demande de permis de construire ?

« ... nous sommes dépassés de l'évolution rapide de la ville de Port-Gentil. Nous n'avons pas les outils, et même si ces outils étaient là, nous n'avons pas les moyens de contrôle sur le terrain. Nous n'avons pas assez de moyens roulant pour nous déplacer dans les quatre coins de la ville. Quand je parlais d'outil, il faut savoir qu'aujourd'hui dans notre ville, il n'y a ni schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme souvent appelé SDAU, ni plan directeur d'urbanisme, alors, sur quel bas voulez-vous que les mairies délivrent des permis de construire ? » (**Directeur provincial de l'Habitat et du Cadastre**)

« Après, c'est bien beau de faire du copié-collé des textes des autres, mais à votre avis combien de Gabonais font réaliser leur plan de construction par un architecte ? Il ne faut pas se mentir, nous sommes loin d'imposer la demande de permis de construire à la population » (**Directeur provincial de l'Habitat et du Cadastre**)

Pour délivrer ces permis de construire, il est nécessaire que les maires disposent également de cartes d'exposition aux risques, notamment au risque d'inondation par la mer. Tout comme le SDAU et le PDU, la mairie ne possède pas de carte de risque d'inondation par la mer à une échelle permettant d'examiner les demandes à la lumière de ces cartes, pour délivrer les permis de construire au sein de chaque parcelle en fonction du degré d'exposition. Le Plan d'Exposition aux Risques (PER) ne demeure que dans les textes ; aucune carte n'a été réalisée à ce jour, du moins aucune carte officielle n'est rendue publique par l'administration en charge de sa réalisation. La question de qui est censé réaliser cette cartographie reste donc entière, avec des spéculations persistantes entre la direction générale des risques de catastrophe et une des nouvelles entités techniques au Gabon, notamment l'Agence gabonaise d'Étude et d'Observation Spatiale (AGEOS). Cependant, à la lecture des attributions de la direction générale de la protection civile, notamment de la section consacrée à la direction des risques et catastrophes, la responsabilité de cette tâche semble être évoquée.

Sur le plan financier, le Fonds de Concours pour Risques (FCR) a été initié par la loi n° 021/2004 du 02 février 2005 susmentionnée. Malheureusement, ce fonds destiné au financement des programmes et projets de lutte contre les catastrophes et les calamités, et alimenté à concurrence de 3 milliards de FCFA, n'est plus approvisionné depuis 2012⁴², en raison de l'absence d'alimentation du fonds par les subventions de l'État et des Collectivités locales, ainsi que des fonds propres provenant des amendes et des contributions des opérateurs économiques exerçant une activité susceptible de contribuer à la création ou à l'aggravation des risques selon les dispositions de la loi mentionnée précédemment.

⁴² <https://www.mays-mouissi.com/wp-content/uploads/2022/11/ANNEXE-SUR-LES-RISQUES-BUDGETAIRES.pdf>

8.3.3 Des aménagements protections locaux basés sur des actions individuelles privées peu efficaces contre les inondations marines

Un ouvrages clés de protection de la commune contre les risques côtiers est la digue du front de mer de la côte est. Elle assure une protection sur seulement 1 km. Construite par la mairie de Port-Gentil, elle protège une partie de la route principale en bord de mer ainsi que le centre administratif, principalement contre l'érosion et dans une moindre mesure contre les inondations marines en cas de tempête tropicale. La rénovation et l'extension de cette digue ont débuté dans les années 2000 sous la direction du maire Séraphin Ndaot. Initialement, le projet visait à relier le port Môle (Ancien port) au port industriel de Total Énergies, mais en 2022, il a été interrompu au niveau de la BEAC en raison de contraintes budgétaires rencontrées par la mairie de Port-Gentil.

« ... nous essayons de travailler afin de résoudre les problèmes de la population, il faut savoir que le budget de la mairie de Port-Gentil pour l'exercice 2018 a été fixé à 11,5 milliards de FCFA. Avec ce budget, nous ne pouvons pas tout faire » (Maire du 3e Arrondissement de Port-Gentil)

« Pour réaliser des projets d'envergure dans la ville aujourd'hui, par exemple la construction des remparts de protection, nous avons besoin de nos partenaires, notamment les entreprises pétrolières qui sont implantées dans la ville, comme vous allez certainement l'observer en allant faire votre terrain. Pour la majorité d'entre eux, ils sont sur le front de mer. » (Maire du 1er Arrondissement de Port-Gentil)

La côte est sur l'île, est la plus anthropisée des deux façades. Des ouvrages de protection du littoral sont présents uniquement au niveau de certains linéaires (Figure 8-9 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Plusieurs types existent sur le littoral tels que les quais qui constituent le premier moyen de défense mis en place non pas pour la protection du littoral, mais pour des opérations portuaires depuis les années 1970. Avec le développement commercial et résidentiel le long du littoral, d'autres structures comme les enrochements, les murs de soutènement, et parfois des sacs de sable, sont utilisées contre l'érosion. Cependant, ces structures, souvent installées par des particuliers, sont irrégulières et peu entretenues. Seulement 1 km de protection a été réalisé par les autorités locales, et la plupart de ces ouvrages sont inefficaces contre les inondations marines aussi bien présente que future (Figure 6-23).

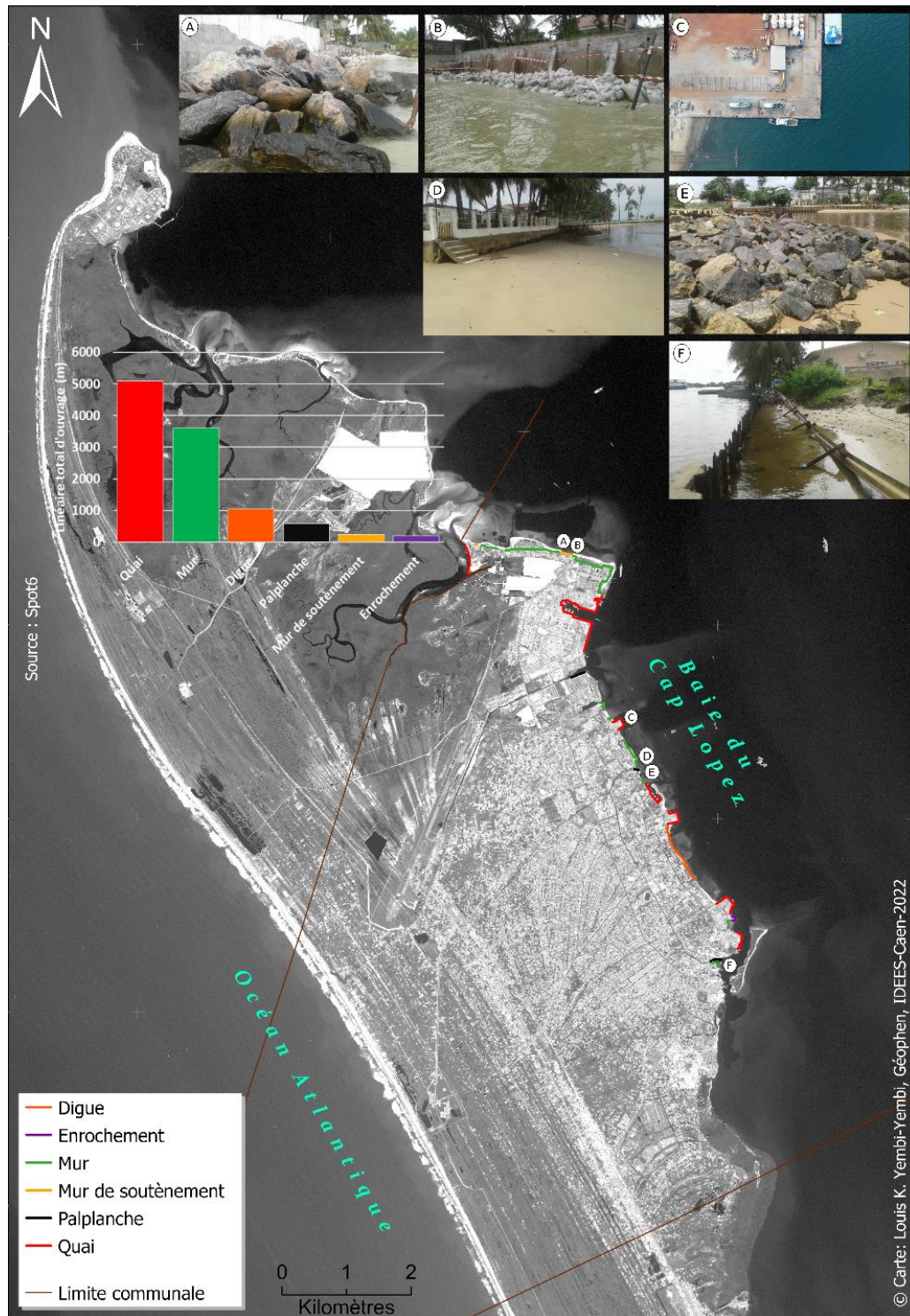


Figure 8-9 : Différents ouvrages de protection contre les assauts de la mer : A) Enrochement, B) Mur de soutènement, C) Quai, D) Mur, E) Enrochement, F) Palplanches dans un état de délabrement (Source : L. YEMBI, enquête de terrain août 2019).

Synthèse du chapitre 8

Ce chapitre a permis de dresser un tableau de la gouvernance du risque au Gabon. Il est important de souligner que tout au long de ce chapitre, l'accent a été mis sur les limites du système de gestion, que ce soit du point de vue de la législation, des réglementations ou de la collaboration des acteurs, ainsi que des moyens mis à disposition dans le cadre de la gestion des risques. En effet, le système de gestion des risques, en particulier celui lié aux inondations par la mer, est encore en cours de construction. Il n'existe pas de loi spécifique sur la gestion des risques côtiers, encore moins sur le risque d'inondation par la mer, et la plupart des décrets et ordonnances sont généralement émis pour définir le cadre légal de création, de fonctionnement et d'attribution des organes censés traiter de la question du risque et des catastrophes au Gabon. De plus, les missions confiées à ces organes de gestion sont principalement axées sur la gestion de crise de manière générale, sans apporter de spécificités particulières concernant la situation des risques côtiers, notamment les inondations par la mer.

Les lacunes de la législation ne suffisent pas à expliquer à elles seules les difficultés rencontrées dans la gestion des risques au Gabon. Bien qu'il n'y ait pas de législation spécifique sur le risque, certains textes législatifs visent à réduire l'exposition des communes littorales du Gabon, telles que la loi sur la mise en œuvre des plans d'exposition aux risques, la loi sur la préservation du littoral avec la création de bandes de 100 mètres entre la limite des plus hautes eaux et l'intérieur des terres, ainsi que d'autres textes législatifs relatifs à la planification du territoire, tels que le SDAU et le PDU, bien que ces derniers peinent à être appliqués. En raison de cet état de fait, les élus ont du mal à faire appliquer la loi, ou imposer la délivrance par exemple des permis de construire par ses services.

En dehors du cadre législatif, l'évaluation des rapports d'acteurs révèle un cloisonnement marqué entre les différents acteurs potentiellement responsables de la gestion des risques. Il n'y a pas véritablement d'échange d'informations entre les différentes administrations gouvernementales, malgré la mise en place de deux structures interministérielles visant à favoriser la collaboration et la coordination des actions en matière de gestion des risques de catastrophe, à savoir le Comité interministériel d'Experts en Gestion des Situations d'Urgence mise en place par décret en 2010 et la Plate-forme Nationale pour la Prévention et la Réduction des Risques de Catastrophe lui aussi mis en place par décret en 2011.

Au niveau de Port-Gentil, les autorités locales ne se sentent pas concernées par les décisions prises à Libreville et ont le sentiment de ne pas être associées au débat sur la question des risques dans leur commune. De plus, en raison de l'architecture pyramidale de l'administration, les

administrations déconcentrées de l'état n'ont pas de marge de manœuvre dans la prise d'initiative en matière de gestion du risque au niveau local. À cela, il faut ajouter le manque de moyens à la fois financier et humain et la formation des personnels à la gouvernance du risque.

L'analyse effectuée dans ce chapitre met en lumière le fait que la gestion des risques n'est pas considérée comme une priorité au sein de l'appareil politico-administratif du pays, et ce, à toutes les échelles administratives. Elle révèle plutôt l'adoption d'une stratégie politique de non-intervention et surtout réactionnaire, tant sur le plan de la gestion urbaine que sur la gestion des risques. Bien que des initiatives aient été lancées sur la côte est avec le renforcement et le prolongement de la digue sur un linéaire de 1 km à Port-Gentil, elles sont principalement axées sur la prévention de l'érosion côtière plutôt que sur la problématique des inondations par la mer. Cette situation générale de la gestion des risques au Gabon accentue davantage la vulnérabilité de la ville de Port-Gentil, car aucune stratégie n'est réellement mise en exécution malgré les nombreuses communications sur la « *Stratégie nationale d'adaptation du littoral gabonais face aux effets des changements climatiques* » (MHUEDD, 2011 ; MEEDD, 2012 ; MEFPEPGDEDD, 2018), mise en place par le ministère de l'habitat, de l'Urbanisme, de l'Écologie et du Développement Durable de l'époque.

Pour relever efficacement ces défis, le Gabon doit s'efforcer de stabiliser ses institutions et de maintenir un engagement constant dans la gestion des risques naturels, en veillant à ce que les outils et les institutions existants soient utilisés de manière cohérente et efficace. Or, l'instabilité institutionnelle au Gabon constitue clairement un frein majeur à la gestion des risques naturels, y compris les inondations par la mer. Les nombreux changements ministériels, les réorganisations administratives et les modifications de dénominations ont sapé la continuité et l'efficacité des initiatives de gestion des catastrophes. Il est essentiel de reconnaître que l'instabilité institutionnelle est un problème courant dans de nombreux pays africains en raison de facteurs tels que les changements politiques fréquents, les pressions budgétaires et les priorités changeantes des gouvernements (Da, 2021). Cependant, cette instabilité a un impact sur la gestion des risques naturels, car elle entraîne souvent une superposition de compétences et une fragmentation des responsabilités, comme cela a pu être observé.

Une gouvernance stable et efficace est nécessaire pour élaborer des politiques de prévention, de préparation et de réponse adéquates et durable. Cependant, lorsque les ministères et les agences gouvernementales responsables de la gestion des risques sont constamment réorganisés ou déplacés d'un ministère à l'autre, cela peut nuire à la coordination des efforts et à la mise en œuvre de mesures de gestion des risques. De plus, cela peut également entraîner une perte de compétences et d'expertise au sein des administrations. Les fonctionnaires et les experts qui travaillent sur les questions de gestion des catastrophes peuvent être constamment affectés à de nouveaux postes ou

évincés lors de changements de gouvernement, ce qui nuit à l'accumulation de connaissances et d'expérience pour faire face efficacement aux risques naturels.

Enfin, l'instabilité institutionnelle peut également décourager les investissements étrangers et l'aide internationale dans la gestion des risques naturels. Les bailleurs de fonds et les partenaires internationaux peuvent hésiter à s'engager dans des projets de long terme lorsque la gouvernance est instable, car cela crée un climat d'incertitude et de risque pour les actions qu'ils peuvent mettre en place.

Conclusion de la troisième partie

Évaluer la vulnérabilité d'un territoire urbain représente un défi complexe, nécessitant la prise en compte des interactions entre le cadre physique et le cadre social. La vulnérabilité se manifeste sous diverses facettes, dépendant du point de vue adopté (Aléa, Enjeux, représentation et politique de gestion) et de l'échelle d'analyse privilégiée (locale, régionale, nationale, etc.). Malgré l'approche systémique de cette thématique, il est important de souligner que nos résultats ne prétendent pas à l'exhaustivité. Dans ce processus, des compromis ont été nécessaires pour prendre en compte la diversité des dimensions de la vulnérabilité. L'analyse a été menée avec une certaine rigueur, tout en reconnaissant que la totalité des aspects ne pouvait être couverte. Les choix opérés ont visé à dépendre de manière approfondie la complexité du contexte spécifique de Port-Gentil. En associant les composantes physique et sociale de la vulnérabilité, cette approche a permis de cerner les enjeux structurants de la ville sous deux angles distincts. D'une part, les sciences physiques ont été exploitées pour évaluer l'aléa et l'impact potentiel sur des éléments cruciaux tels que l'occupation du sol, le bâti et les réseaux. D'autre part, les sciences sociales ont été mobilisées pour analyser les représentations du risque parmi la population et les autorités politico-administratives. Bien que les aspects économiques n'ont pas été abordés, ces résultats et analyses contribuent de manière significative à une compréhension de l'exposition, du niveau de vulnérabilité des enjeux et des dynamiques de gestion des risques au Gabon et particulièrement à Port-Gentil.

Le chapitre 6 a présenté les conclusions d'une analyse effectuée à des échelles moyennes et locales, se concentrant sur l'exposition à travers la cartographie de l'aléa selon divers scénarios, ainsi que sur le niveau d'impact potentiel sur les enjeux. En ce qui concerne l'exposition à l'aléa, **le scénario 11 (S11) indique une exposition de 47 % de la commune dans les conditions morpho-marines de la côte est (C1), tandis que le scénario 12 (S12) révèle une exposition de 62 % dans les mêmes conditions, et 75 % selon le S12, mais dans les conditions de tempête extrême dans golfe de Guinée (C3).** L'impact direct sur ces enjeux a été évalué au moyen d'indicateurs fonctionnels et structurels. Cette évaluation a permis d'identifier les enjeux les plus susceptibles d'être affectés de manière variable par les différents scénarios d'aléa dans la ville. En ce qui concerne les inondations par la mer, plusieurs enjeux stratégiques, revêtant une forte valeur socio-économique et jouant des rôles essentiels, ont été identifiés comme étant les plus susceptibles d'être fortement impactés. Ces enjeux se trouvent à proximité du littoral de la baie du Cap Lopez. Indépendamment du scénario d'aléa envisagé, qu'il s'agisse d'un scénario pessimiste ou optimiste d'élévation du niveau marin d'ici 2100, tel que prédit par le GIEC, les impacts potentiels sur les réseaux routiers et l'occupation du sol prédominent en fonction de leur importance dans le bon fonctionnement du territoire. Ainsi, les principaux axes routiers et les zones

urbanisées, telles que les zones résidentielles denses, administratives, bureaux et services, affichent des indices de vulnérabilité élevés.

Dans le **chapitre 7**, les résultats de l'enquête sur les représentations des risques menée auprès des populations et des acteurs politico-administratifs de Port-Gentil ont été exposés. L'enquête a sollicité l'opinion de 765 chefs de ménage sur des thèmes liés à la perception de la ville de Port-Gentil, aux risques et à leur gestion, notamment : 1) les attraits locaux et l'attachement au territoire, 2) la situation d'occupation du logement, 3) les enjeux environnementaux, le sentiment d'exposition et les représentations du risque à travers la carte mentale, 4) la gestion du risque dans la commune, 5) les caractéristiques démographiques, sociales et économiques des enquêtés, 6) les caractéristiques du bâti. En complément de cette enquête, des cartes mentales ont été présentées aux habitants de Port-Gentil pour mettre en lumière leurs représentations du risque d'inondation par la mer et des éléments à protéger. Les résultats de l'enquête ont permis d'établir un premier bilan de la vulnérabilité sociale de Port-Gentil. **Dans l'ensemble, les résidents sont conscients d'être exposés à un ou plusieurs risques. Parmi ceux-ci, les inondations pluviales, l'insécurité et le risque industriel sont perçus comme les trois risques les plus inquiétants et auxquels ils se sentent exposés. Pour ce qui est du risque d'inondation par la mer, il semble peu préoccupant pour les habitants de Port-Gentil, du moins actuellement. En revanche, il susciterait des préoccupations dans le futur.** Cependant, les habitants de Port-Gentil ont montré une certaine méconnaissance des risques liés aux inondations par la mer, contrairement aux inondations pluviales. Cette bonne perception du risque d'inondation pluviale est principalement liée au vécu quotidien des enquêtés face à cet aléa.

Dans le **chapitre 8**, l'analyse a mis en évidence une instabilité institutionnelle dans le processus de construction de la politique de gestion des risques, entravant la continuité des actions sur le terrain. De 1972, date de l'adhésion du Gabon à l'organisation mondiale de la protection civile, jusqu'en 2015, les institutions chargées de la gestion des risques ont changé de dénomination en fonction des conventions ratifiées par le Gabon ou des changements de gouvernements successifs. Par ailleurs, notre analyse souligne le caractère flou et lacunaire de la réglementation en matière de risque au Gabon. Aucune loi spécifique n'encadre la question des risques naturels, bien que des éléments empruntés au code de l'urbanisme et au code de l'environnement, notamment la réglementation sur la protection du littoral imposant une bande de protection de 1 mètre depuis la ligne des plus hautes eaux, et la loi sur le plan d'exposition aux risques définissant le zonage en matière d'installations sur les zones à risque, pourraient contribuer à réduire l'exposition. Cependant, leur mise en œuvre sur le terrain demeure insuffisante. En ce qui concerne les acteurs et la collaboration entre eux, plusieurs entités sur le territoire sont impliquées dans la gestion des risques naturels, avec le ministère de l'Intérieur comme principale administration. Au niveau des

collectivités, les mairies et les conseils départementaux ont la responsabilité de la gestion des risques dans leurs circonscriptions, mais leur capacité d'action est entravée par des contraintes financières, humaines et techniques. De plus, les responsabilités juridiques en cas de catastrophe ne sont pas clairement définies, car seul l'aléa est considéré comme responsable, sans qu'aucune administration n'assume la responsabilité. Par ailleurs, la collaboration entre les acteurs impliqués dans la gestion des risques n'est pas optimale, notamment entre l'administration centrale et les collectivités. Les services provinciaux manquent de ressources pour accompagner efficacement les collectivités dans leurs démarches de gestion des risques. Malgré la mise en place de deux structures de collaboration multisectorielles, la coordination entre les acteurs n'a pas réellement pris son envol. En outre, il est noté que la gestion des risques est étroitement liée à l'urbanisme. Bien que des documents-cadres en matière d'urbanisme témoignent d'une prise au sérieux de cette question au Gabon, leur mise en œuvre est entravée par le manque de moyens techniques et financiers, ainsi que par le manque de volonté des autorités chargées de les appliquer. Les outils réglementaires censés encadrer l'aménagement du territoire sont soit inexistant, soit obsolètes en raison de la croissance rapide et anarchique des villes, dépassant les capacités des autorités. En conclusion, le chapitre 8 met en lumière les limites d'une politique de gestion des risques basée sur l'attente d'un événement catastrophique pour que les autorités s'emparent de la situation. L'évaluation de la gestion des risques au Gabon révèle une législation lacunaire et floue, marquée par d'importants manquements réglementaires, financiers et techniques, qui n'aident pas actuellement à réduire la vulnérabilité des villes exposées aux risques, telle que Port-Gentil avec la question du risque d'inondation par la mer. Il est donc impératif de renforcer la gouvernance des risques côtiers au Gabon en remédiant à ces problèmes.

En somme, la commune de Port-Gentil comme nous avons pu le voir à, travers les chapitres 3 et 6 précédents est située dans une zone potentiellement exposée fortement aux inondations par la mer. Une exposition d'autant plus forte que le développement urbain n'a cessé de s'étendre anarchiquement et parfois dans le cadre des projets de lotissement vers des secteurs fortement exposés au cours des 20 dernière année (2000 - 2020). Certes ce risque est peu visible à l'heure actuelle, mais il pourrait se relever préjudiciable pour les biens et les populations installées dans ses zones identifiées dans les cartes d'aléas. L'absence de culture du risque d'inondation par la mer est en facteur d'aggravation de la vulnérabilité socio-spatiale de la commune de Port-Gentil. La gestion des risques côtiers constitue un enjeu majeur pour le Gabon. Il est donc indispensable de renforcer la gouvernance des risques côtiers au Gabon. Il faut notamment clarifier les compétences des différents départements ministériels impliqués dans la gestion des risques côtiers, améliorer la collecte et la diffusion des informations sur les risques et renforcer les moyens des administrations chargées de l'application des lois et des mesures de gestion des risques naturels. Il est également important de sensibiliser la population à ces risques et de favoriser une culture de prévention pour

Conclusion de la troisième partie

limiter les conséquences des aléas potentiels. En somme, la bonne gouvernance des risques d'inondation par la mer est un enjeu majeur pour le Gabon, qui doit mobiliser tous les acteurs concernés pour y parvenir.

Conclusion générale

Rappel du contexte de la recherche

Ce travail de thèse se penche sur la manière dont les villes peuvent être vulnérables aux inondations par la mer. Elle met en évidence l'importance d'évaluer une ville dans son ensemble, en considérant à la fois les aspects physiques et sociaux qui contribuent à sa vulnérabilité. À travers l'exemple de Port-Gentil, l'objectif était de déterminer le niveau d'exposition aux inondations et les impacts potentiels sur les enjeux, puis d'analyser comment ce risque est perçu et géré par les habitants et les autorités locales. Cette étude s'inscrit dans la stratégie nationale du Gabon pour s'adapter aux changements climatiques. Ce travail adopte une approche globale qui prend en compte différentes échelles spatiales pour évaluer les risques, identifier les enjeux urbains et évaluer les politiques de gestion des risques.

Comme évoqué précédemment, cette thèse s'est focalisée sur Port-Gentil, la capitale économique du Gabon. L'île de Madji, où se trouve la commune de Port-Gentil, possède une topographie basse. Ces zones basses ont été progressivement urbanisées à tel point que la ville est sortie de ses limites administratives. De plus, la concentration sur cette flèche côtière d'un grand nombre d'enjeux économiques, d'infrastructures stratégiques et humaines, ainsi que le manque d'études abordant la question de la vulnérabilité des villes du Gabon à l'échelle infra-communale, souligne le besoin d'une connaissance fine de l'extension spatiale de cet aléa, du niveau d'impact des enjeux, de la situation des politiques de gestion et de leurs mises en œuvre sur le terrain, ainsi que des représentations de ce risque par les principaux acteurs de ce territoire. Plus largement, cette étude apporte de nouvelles connaissances quant à la spatialisation de l'aléa dans le temps, à l'impact potentiel sur les enjeux et sur la structure sociologique de la gouvernance et des représentations de ce type de risque peu ou pas encore perçu. Comme indiqué au début du manuscrit dans un ensemble de questionnements (cf. Figure ci-dessous), des réponses sont formalisées dans cette conclusion générale.

Conclusion générale

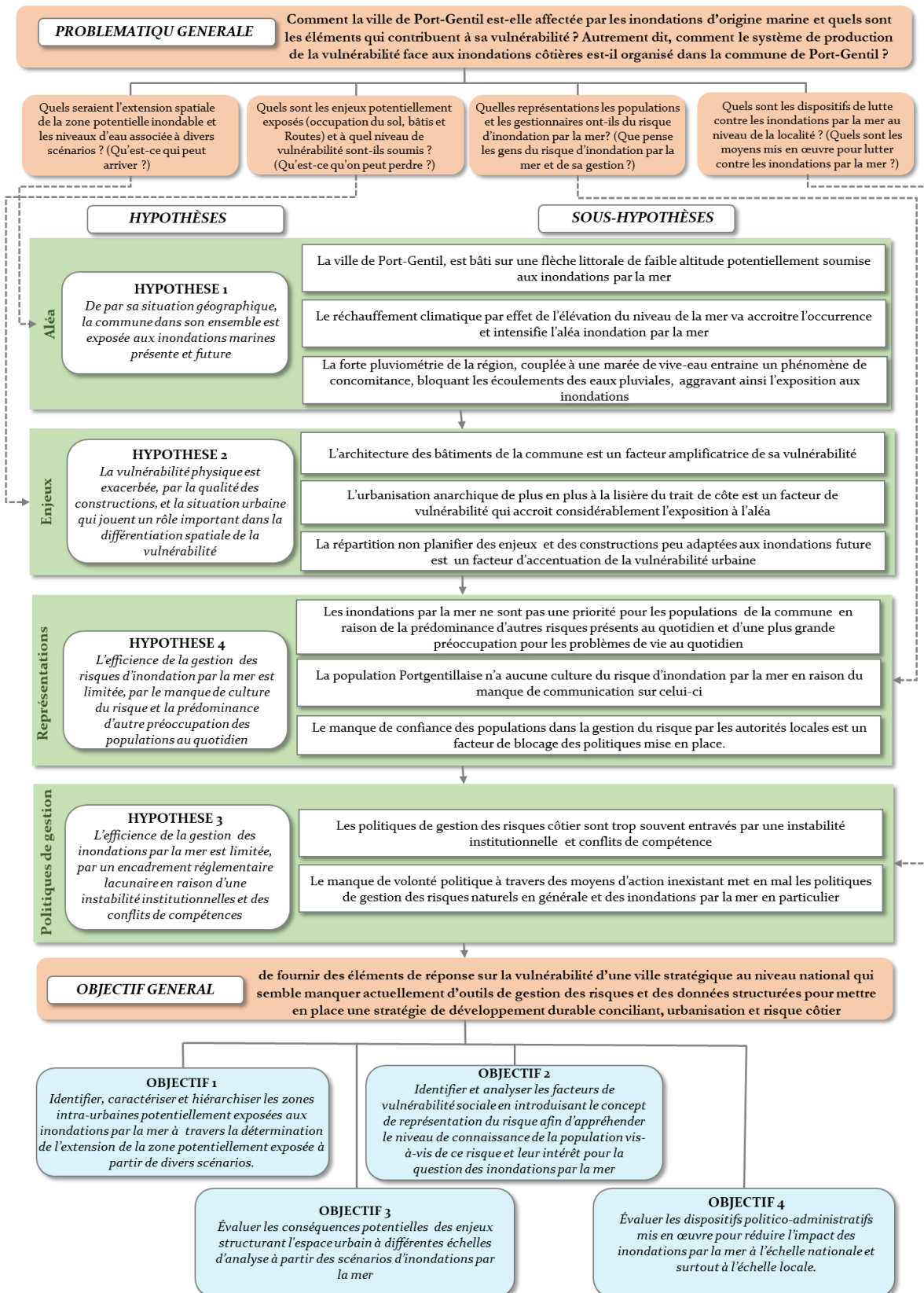


Figure : Diagramme synthétique de la question de recherche, des hypothèses associées et des objectifs visés par cette thèse

Démarche adoptée fondée sur la pratique du terrain et des techniques de géomatique pour répondre à la problématique

Ce travail de recherche a consisté à questionner le concept de vulnérabilité, un concept largement utilisé dans l'étude des risques et qui est désormais considéré comme une composante essentielle et opérationnelle pour comprendre globalement les risques, notamment le risque d'inondation marine, dans la commune littorale jugée la plus vulnérable du Gabon. Cette recherche met en évidence l'intérêt d'une approche globale dans l'évaluation de la vulnérabilité en milieu urbain côtier, en prenant en compte les éléments tels que l'aléa, les enjeux, la gestion et les représentations. Le choix de cette approche est expliqué dans la première partie de ce document, en particulier dans le premier chapitre. Nous avons examiné le concept de vulnérabilité, retracé son évolution récente dans les études sur les risques et souligné son importance en géographie pour le rendre plus opérationnel face aux risques d'inondation par la mer. Dans notre cas, nous nous sommes principalement concentrés sur la spatialisation de l'aléa, l'impact de cet aléa sur les différents enjeux, et la manière dont les autorités politico-administratives locales et les populations perçoivent ce risque. Nous avons privilégié une échelle locale pour rendre compte de la vulnérabilité intra-urbaine. Ainsi, la commune de Port-Gentil a été choisie en raison de son statut de ville stratégique, côtière et de ses caractéristiques physiques (topographie et pédologie) qui la rendent particulièrement vulnérable aux inondations d'origine marine. Cette commune a été présentée du point de vue physique et sociétal au chapitre 2.

Dans l'ensemble, la méthode proposée pour évaluer d'abord la vulnérabilité physique a impliqué la quantification et la spatialisation de l'aléa à différentes échelles. Le niveau potentiel d'impact sur les enjeux urbains, notamment l'occupation du sol, les bâtiments et les infrastructures routières, a été déterminé à partir d'indices synthétiques. Cette première partie de l'évaluation a fait appel à diverses techniques et méthodes de géomatique.

Plusieurs campagnes de terrain ont été réalisées à Port-Gentil et sur d'autres sites pour la collecte de données nécessaires à la réalisation de ce projet de recherche. Une des premières missions a eu lieu entre janvier et mai 2017, une seconde entre février et août 2018, suivie d'une interruption de thèse d'un an entre septembre 2018 et septembre 2019 dans le cadre d'un contrat professionnel d'ingénieur géomaticien au sein de direction géoscience à Total Énergies EP⁴³ Gabon. Les missions de terrain ont permis de mieux comprendre l'environnement physique et sociétal dans lequel se trouve la ville de Port-Gentil et ses environs, mais aussi d'identifier son exposition aux risques naturels. Des objectifs ont été fixés lors de ces différentes missions. **1) L'acquisition des données historiques au niveau local sur les phénomènes d'inondation par la mer et leurs impacts**

⁴³ EP pour exploration et production

dans le passé. Des informations nécessaires à la compréhension des mécanismes agissant dans la spatialisation de l'aléa. 2) **l'acquisitions d'une orthophoto pour l'ensemble de la commune et la production d'un MNE par drone et par DGPS (Differential Global Positioning System) de haute précision dans un secteur stratégique de la ville.** Ces données ont été acquises afin d'améliorer les données topographiques et identifier finement les zones exposées à l'aléa et particulièrement dans le centre-ville. 3) **l'identification et la caractérisation des enjeux potentiellement exposée dans l'ensemble du site d'étude.** En comparaison avec d'autres études (Dall'Osso *et al.*, 2009 ; Graff, 2020 ; Kappes *et al.*, 2012 ; Martelli, 2011 ; Papathoma et Dominey-Howes, 2003 ; Papathoma-Köhle *et al.*, 2017 ; Tarbotton *et al.*, 2012, 2015) sur la vulnérabilité des enjeux face aux risques d'inondation, submersion, tsunami, une enquête sur la typologie d'usage dominant du sol a été menée. Dans le même temps, une enquête sur les caractéristiques du bâti et des infrastructures, principalement le réseau routier, a été réalisée. 4) **Une enquête par questionnaire auprès des populations et des entretiens semi-directifs avec les élus et les directions territoriales au niveau local sur la représentation du risque et les stratégies de gestion du risque ont été menées.** Ceci afin d'examiner la place du risque d'inondation par la mer à la fois dans les politiques de gestion du risque au niveau du Gabon et auprès des populations, mais aussi de déceler les points bloquants d'une meilleure prise en compte du risque d'inondation par la mer dans le développement de la commune du point de vue sociétal.

Les principaux résultats

Aléas

Pour ce qui est des cartographies d'aléas, la démarche est basée sur une échelle large et une échelle locale à travers une approche statique (SIG). Dans un premier temps, une recherche d'événement historique d'inondation par la mer a constitué la première étape de cette première partie de l'évaluation de la vulnérabilité physique. Cette première partie a permis de recueillir des informations mettant en lumière un événement et les caractéristiques météo-marines qui l'ont accompagné. Il convient de noter que l'archivage des informations sur les événements passés n'est pas une pratique culturellement ancrée dans les administrations locales. Le seul événement relativement bien documenté a été identifié dans le livre « Mémorial du Gabon » (Mapangou, 1985), où un article de presse décrit succinctement l'impact causé par la tempête du 5 mars 1962. Après une enquête sur le terrain et la collecte de récits et de témoignages auprès de personnes-ressources, il semble que cet événement soit l'un des rares à avoir été documenté. Il est également rapporté qu'en 2003 et 2008, une élévation subite du niveau de la mer aurait inondé le marché de la ville et le carrefour de la douane sans qu'il n'y ait eu d'orage. Pour l'événement de 1962, sa confirmation a été obtenue grâce aux données marégraphiques recueillies au SHOM à Brest, en France. Bien que

ces données soient encore au format papier, seuls les marégrammes présentant des anomalies de hauteurs d'eau ont été récupérés. Le niveau d'eau du 5 mars 1962 a été déterminé, révélant une hauteur d'eau entre 15 heures et 16 heures de 2,14 m NGCLZ. Cette hauteur d'eau a été considérée comme la référence pour un événement extrême au niveau de Port-Gentil. Des scénarios de hauteur d'eau en fonction de la temporalité ont été établis et sont résumés ci-dessous.

Malgré le manque de suivi des conditions météo-marines sur le littoral de Port-Gentil pendant de nombreuses années, la reconstitution des données sur les hauteurs d'eau au niveau local a permis une meilleure compréhension du milieu côtier. Différents scénarios ont été élaborés pour créer des cartes d'aléa d'inondation provoquée par la mer dans cette région. Ces cartes ont été réalisées selon une approche statique pour l'ensemble des scénarios. La précision des cartes d'inondation dépend fortement de la résolution spatiale et altimétrique des modèles numériques de terrain, et une attention particulière a été accordée à l'acquisition d'un modèle numérique de terrain (MNT) précis sur le plan spatial et altimétrique. Deux modèles de terrain ont été créés en fonction de l'échelle d'analyse, des objectifs et des moyens disponibles : un Modèle Numérique de Terrain (MNT) et un Modèle Numérique d'Élévation (MNE).

En termes d'aléa, actuellement, la commune de Port-Gentil n'est relativement pas exposée aux inondations marines, principalement en raison de l'implantation des populations dans des zones naturellement inondées par les marées, telles que la mangrove ou les vasières, notamment au sud de la commune. Cependant, avec le changement climatique, la ville pourrait être exposée à 10 % en cas d'élévation du niveau de la mer de 50 cm (scénario SSP1-5.9) et à 25 % en cas d'élévation du niveau de la mer de 1m (scénario SSP5-8.5). En prenant en compte les conditions extrêmes reconstituées des deux façades, avec le niveau de référence plus le wave setup déterminé en fonction des conditions morpho-marines, en plus du scénario pessimiste du GIEC (SSP5-8.5, soit 1 m), la commune pourrait être exposée entre 65 % et 75 %.

Enjeux

Cette étude a permis une identification précise des zones potentiellement vulnérables en utilisant une approche statique de l'inondabilité. Elle s'est appuyée sur des enquêtes sur le terrain, des données provenant d'OpenStreetMap (OSM), ainsi que sur l'interprétation des images aériennes de 2007 et des prises de vue par drone pour caractériser les structures bâties et les infrastructures, en particulier les routes. Toutes ces données ont été compilées pour créer une base de données spatiales à différentes échelles pour la commune, intégrée dans un Système d'Information Géographique (SIG).

En analysant les enjeux, notamment la vulnérabilité physique et fonctionnelle, il est apparu que les centres-villes de Port-Gentil étaient particulièrement exposés en raison de la concentration de nombreux points stratégiques, ainsi que du modèle de construction des bâtiments. À une échelle moyenne, en considérant le scénario S12/C3, il a été démontré que 100 % des bâtiments administratifs seraient affectés, avec 68 % d'entre eux subissant des hauteurs d'eau dépassant 1 mètre. De plus, 79 % des bureaux et services, 67 % des sites industriels, 52 % des zones identifiées comme étant de sécurité et de défense, ainsi que 40 % des sites de stockage d'hydrocarbures seraient impactés par des hauteurs d'eau dépassant 1 mètre. Cette cartographie de la vulnérabilité de ces espaces est une observation statique ; il est raisonnable de supposer que si la tendance à la croissance et à la densification des enjeux se poursuit sans prise en compte du risque d'inondation par la mer, ces chiffres évolueront dans le temps et dans l'espace.

Représentation

Dans la seconde partie de notre recherche, nous avons proposé d'analyser la représentation du risque d'inondation par la mer par les populations et les autorités politico-administratives au niveau de Port-Gentil. Cet aspect de l'évaluation de la vulnérabilité a été proposé pour sortir d'une démarche centrée sur les dommages potentiels, qui considère la vulnérabilité des territoires uniquement sur le plan physique. Or, plusieurs études sur les risques côtiers en particulier ont montré qu'une connaissance du risque et une prise en compte par les populations dans leur fonctionnement quotidien sont essentielles. Du point de vue des préoccupations ou de l'inquiétude, il a été démontré que le risque d'inondation par la mer n'est pas une préoccupation majeure pour la population et les élus de la commune. D'autres risques prépondérants dans la commune tels que les inondations pluviales, le risque d'insécurité et le risque industriel sont les trois risques les plus préoccupants et dont les populations ont le sentiment d'être exposées au quotidien. Le risque d'inondation par la mer, comme évoqué précédemment, n'inquiète pas actuellement, mais semble plutôt perçu comme un problème futur.

Politique de gestion

La gestion du risque d'inondation par la mer au Gabon demeure largement théorique, malgré la création de divers organes dédiés à la gestion des risques et des catastrophes. Les actions concrètes sur le terrain, notamment en matière de gestion des risques naturels, restent peu visibles. En premier lieu, l'application des lois régissant l'urbanisme n'est pas assurée par les autorités compétentes. Du point de vue institutionnel, cette situation entrave la mise en œuvre de la stratégie de réduction de la vulnérabilité des territoires exposés au risque d'inondation par la mer.

Bien que le ministère de l'Intérieur, par le biais de la Direction des Risques et des Catastrophes, soit chargé de la gestion des risques, une collaboration avec d'autres administrations, notamment

le ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme pour faire respecter les règles d'urbanisme, et le ministère de l'Environnement pour assurer la préservation des sites humides tels que les mangroves, est nécessaire. Des chevauchements de responsabilités entre les établissements publics ont été constatés, et une communication insuffisante, tant au sein des établissements qu'entre eux, complique la mise en œuvre de certaines décisions. Le manque de budget dédié à la gestion des risques demeure un problème majeur.

Malgré plusieurs études menées entre 2009 et 2012 par le ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme, de l'Écologie et du Développement Durable, regroupées sous le nom de « Stratégie nationale d'adaptation du littoral gabonais face aux effets des changements climatiques », ces études n'ont pas encore été concrétisées sur le terrain. La gestion apparaît comme l'élément le plus fragile de cette situation.

L'analyse des rares textes législatifs existants ne met pas suffisamment l'accent sur les spécificités des différents risques, et aucun document cartographique concernant les plans d'exposition aux risques n'existe au Gabon. De plus, la façon dont les textes et les organismes sont créés montre clairement que la population n'est pas intégrée dans le processus décisionnel lié à la prévention et à la gestion des risques. Or, les solutions environnementales exigent désormais une approche participative que le système politique est encore loin d'embrasser. Cette approche non participative compromet la mise en œuvre et l'acceptabilité des actions par les populations.

Vers une compréhension du système de production de la vulnérabilité aux inondations par la mer au niveau local

Le concept de la production de la vulnérabilité urbaine est inspiré de celui de la production du risque de Vinet *et al.*, (2012). Il désigne les facteurs et les mécanismes qui contribuent à rendre une ville ou une communauté plus vulnérable aux risques, tels que les inondations marines. Ce processus implique souvent des inégalités socio-spatiales et environnementales qui créent des conditions favorables à la vulnérabilité, comme la densité de population, la précarité des constructions, la mauvaise planification urbaine (urbanisation anarchique), l'absence de réglementation adéquate ou d'application de celles existantes, etc. De plus, le processus de production de la vulnérabilité peut également être lié à des comportements humains, tels que l'ignorance ou la négligence des risques, l'absence de préparation et de réponse appropriées, la discrimination ou l'exclusion de certains groupes sociaux. La compréhension du processus de production de la vulnérabilité est essentielle pour mettre en place des mesures de réduction de la vulnérabilité à une échelle globale et non sectorielle. L'objectif est de renforcer la résilience urbaine face aux risques d'inondation par la mer. Il s'agit d'une approche qui met en évidence le fait que la vulnérabilité n'est pas seulement le résultat de facteurs physiques tels que l'emplacement

Conclusion générale

géographique, mais est également influencée par les facteurs sociaux, économiques et politiques qui façonnent la façon dont les villes sont construites et gérées.

Dans cette logique, nous avons tenté de dresser le processus de production de la vulnérabilité de la ville de Port-Gentil face aux inondations par la mer à partir des informations fournies dans cette thèse. Ainsi, l'évaluation, qui est partie d'une évaluation sectorielle du système de vulnérabilité de la ville de Port-Gentil, a abouti à une analyse systémique qui permet de résumer cette dernière.

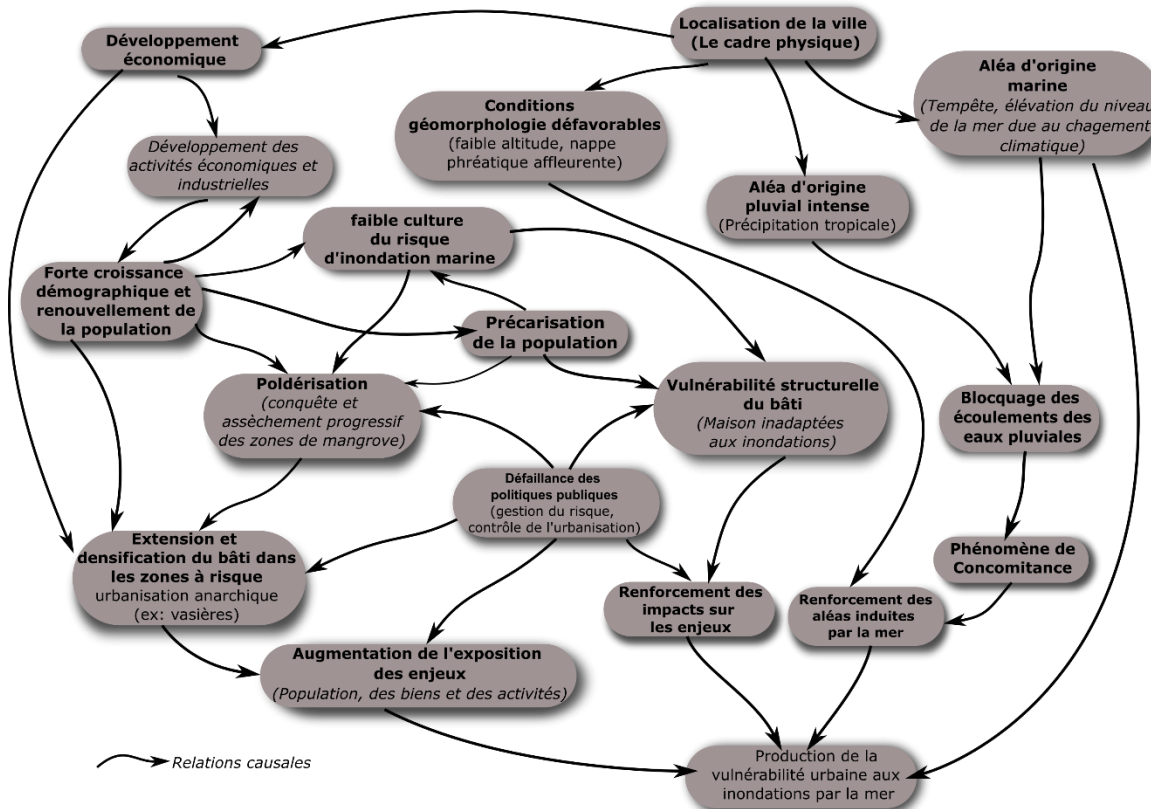


Figure : Système de production de la vulnérabilité à Port-Gentil

En effet, si la proximité à la mer sur une presqu'île pourrait être un atout pour un certain nombre de territoires et pour les populations, il semble que la situation géographique de la commune de Port-Gentil soit le point de départ de sa vulnérabilité aux inondations par la mer. Avec une topographie basse et des fortes précipitations 9 mois sur 12, cette ville se retrouve très facilement inondée. Ainsi, avec l'élévation du niveau de la mer et les inondations par la mer, l'intégrité de la ville de Port-Gentil semble compromise. Actuellement, on assiste à des inondations dues au blocage des écoulements des eaux pluviales vers la mer, notamment lorsque des événements orageux coïncident avec une marée de vive eau. Ces phénomènes concomitants ont pour conséquence de renforcer l'aléa inondation.

De plus, avec le développement économique que connaît la commune en raison de l'activité pétrolière, on assiste à des flux importants de population venant aussi bien de l'intérieur du pays

que de l'extérieur du Gabon, entraînant une forte croissance démographique de la commune, mais aussi une population qui se renouvelle en raison du rythme des emplois et des fluctuations de l'activité pétrolière. Une croissance démographique qui a pour conséquence une installation anarchique des populations nouvellement arrivées sur l'île, pour une grande part venant chercher le mieux-être en raison de leur précarité, pour la plupart, dans leur pays ou dans les autres provinces. Cette précarité de cette partie de la population entraîne dans certains lieux une poldérisation des zones marécageuses aussi bien dans les terres que sur le front du littoral, notamment dans les zones de mangrove. Pour cette population précaire, qui n'a pas toujours le choix du lieu de résidence autre que celui le moins cher, le prix d'une habitation adaptée n'est pas possible. Ainsi, les habitations qui sont construites sont pour la plupart vulnérables du point de vue structurel. De plus, il faut dire que cette population, aussi bien celle qui est installée depuis longtemps que la nouvelle, a une faible culture du risque d'inondation par la mer. De ce point de vue plusieurs raisons peuvent expliquer cet état de fait. Dans un premier temps la prédominance d'autres risques dans le quotidien de la population qui vient éclipser celui des inondations par la mer qui sont uniquement dans l'imaginaire pour les uns et pas assez préoccupantes pour les autres. Cette faible culture du risque a pour conséquence une installation anarchique dans les zones pourtant visiblement à risque. Des lieux d'installation qui ont tendance à se densifier de manière anarchique. Cette densification des enjeux dans ces lieux entraîne une augmentation de l'exposition.

Il faut dire qu'au centre de cette installation anarchique se trouve une défaillance des politiques publiques en matière de contrôle de l'urbanisation et de gestion du risque. Une défaillance qui a pour origine, une instabilité des institutions en charge de la question du risque, mais également dans les politiques d'aménagement du territoire, à cela s'ajoute, un flou juridique et réglementaire en matière de gestion du risque, et des moyens conséquents pour chaque problématique du risque en général et du risque naturel en particulier. Ce qui a pour effet, dans l'ensemble, de renforcer l'impact sur les enjeux. Ainsi, la combinaison de ces facteurs internes et externes au territoire, ont tendance à renforcer l'exposition actuelle et future de l'aléa induit par la mer et favoriser le processus de production de la vulnérabilité de la ville de Port-Gentil.

Proposition d'action pour réduire la vulnérabilité urbaine de la commune de Port-Gentil

Vulnérabilité physique

Cette étude, par son approche physique de la vulnérabilité, a mis en évidence les zones, notamment le centre-ville, qui doivent être protégées en priorité par les autorités politico-administratives nationales et locales, afin de préserver les personnes et les biens potentiellement exposés au risque d'inondation par la mer et induite par celle-ci. La ville s'est étendue dans le temps et dans les

secteurs de balancement de marée, notamment dans les mangroves de la ville de Matanda et N'Tchengué au sud, ainsi que dans la zone de SOGARA au nord, et de plus en plus à la lisière de la côte ouest de la ville. Face à cette situation, il est clair que la réglementation en matière d'urbanisme n'a pas été respectée ni contrôlée par les différents élus qui sont passés à la tête de la mairie de Port-Gentil, ni par l'administration en charge de l'urbanisme. La loi n° 14/63 du 8 mai 1963, fixant la composition du domaine de l'État et les règles qui en déterminent les modes de gestion et d'aliénation, à son article 104, stipule qu'il est interdit de construire ou de délivrer un permis de construire, sauf dérogation, dans une zone de 100 mètres de large à partir de la limite atteinte par les plus hautes marées astronomiques (laisse de plus hautes marées). Au regard de l'expansion de la ville dans ces franges urbaines, il semble qu'aucune gestion ou contrôle n'ait été mise en place. Ainsi, il est primordial que la réglementation urbaine soit strictement appliquée, étant donné l'hyper-exposition de cette zone à l'aléa.

Une grande partie de la population de Port-Gentil habite à des altitudes d'à peine quelques mètres au-dessus du niveau de la mer. Les résultats de la présente étude montrent que l'impact potentiel de l'inondation par la mer sur la partie nord de l'Île Mandji est très important. Par ailleurs, il conviendra à l'avenir de prendre en considération les risques associés aux inondations marines dans les politiques d'aménagement du territoire. De plus, l'urgence ici réside dans la réalisation et le respect strict d'un plan d'exposition aux risques (PER) spécifique aux inondations par la mer, avec les différentes zones réglementées sur les risques (trois zones) prévues par la loi n° 21/2004 du 2 février 2005 relative aux plans d'exposition aux risques à son article 2 des dispositions générales (Voir proposition du PER et du PPRIM à l'annexe 7). De plus, la ville de Port-Gentil peut disposer des ressources financières nécessaires à la mise en place de ce plan d'exposition au risque d'inondation par la mer à travers les fonds de concours pour les risques, en abrégé FCR, destinés au financement des programmes, projets ou microprojets de lutte contre les catastrophes et les calamités (loi n° 21/2004 du 2 février 2005 relative aux plans d'exposition aux risques à son article 16 et 17 au titre 4 : de la mise en œuvre des plans d'exposition aux risques).

Aux côtés des zones exposées aux risques d'inondation par la mer, cette étude a également mis en évidence la vulnérabilité d'une grande partie des infrastructures vitales. Si déjà à la moindre inondation pluviale la vie s'arrête temporairement, particulièrement au centre-ville, on imagine très bien que couplée aux inondations par la mer, la situation sera encore plus catastrophique, accentuant ainsi la vulnérabilité d'une ville déjà fragilisée par sa structure urbaine. Ainsi, les autorités locales, mais pas seulement, les autorités nationales doivent se saisir de la situation de la ville face à ce risque qui est déjà manifeste dans cette localité. Car il n'est pas seulement question de Port-Gentil en tant que ville, mais de la situation domino que cette dernière peut infliger au reste des localités du pays. Dans cette situation de forte vulnérabilité des infrastructures vitales, les autorités à différentes échelles de décision doivent mettre en place une planification stratégique de cette

Conclusion générale

double vulnérabilité infrastructurelle et fonctionnelle des enjeux, afin d'identifier les enjeux et de mettre en place des plans spécifiques d'urgence en cas de perte grave d'un enjeu stratégique et vital aussi bien pour la ville, mais également pour le pays. C'est le cas, par exemple, des banques, hôpitaux, services de secours et de soins, raffinerie, routes principales, zones de stockage de produits polluants, réserves alimentaires, centrale électrique. Ces enjeux imposent de se poser un certain nombre de questions, par exemple : **pendant combien de temps la ville de Port-Gentil serait privée d'électricité en cas d'inondation de la centrale thermique ou des sites fournisseurs de gaz à cette centrale tel que PG1 ? Quels sont les risques économiques et environnementaux en cas d'inondation de la SOGARA ?** L'ensemble des enjeux mentionnés dans ces interrogations sont localisés dans des zones susceptibles d'être impactées par les inondations par la mer. Il serait légitime d'apporter des réponses à ces interrogations afin de réduire la vulnérabilité des habitants de Port-Gentil, surtout à un niveau considéré comme acceptable.

À travers un véritable plan d'urbanisme appliqué, certaines mesures de contre-offensive de réduction de l'impact de l'aléa sur les enjeux pourraient être employées. C'est, par exemple, l'application de la loi sur le domaine public maritime, notamment pour la face ouest qui n'est pas encore totalement occupée, la mise en place d'une politique de déguerpissement/relogement des populations dans les zones à forts niveaux d'exposition présente et future telles que les mangroves (Zone aedificandi). Cela constitue une forme de mesure d'évitement. Il est impératif de changer les habitudes de construction en privilégiant la surélévation au sol des fondations des bâtiments, comme c'est le cas des villas du carrefour de la Douane (Figure ci-dessous).



Figure : Exemple de bâtiment résilient à Port-Gentil

Vulnérabilité sociale

L'acceptation de l'ensemble des propositions de mesures présentées ci-dessus ne peut aboutir sans l'éducation et la sensibilisation de la population au risque encouru. Il a été démontré dans cette étude que les habitants de Port-Gentil, et même les autorités politico-administratives de la commune, n'étaient pas conscients de la réalité du niveau du risque d'inondation par la mer. Actuellement, ce risque n'inquiète pas la population ; il est perçu de manière lointaine. De plus, les habitants de Port-Gentil qui vivent au centre de la ville ne se sentent pas véritablement exposés au risque, ne comprenant pas que l'exposition n'est pas seulement directe, mais également indirecte. La pauvreté et les problèmes quotidiens des populations ont tendance à biaiser la représentation du risque d'inondation par la mer. De plus, les autorités interrogées ont tendance à minimiser ce risque. Les cartes mentales ont permis d'observer cette minimisation du risque ainsi qu'un choix évident de protéger les enjeux économiques, ce qui est contraire à la représentation des populations. Cette divergence de points de vue peut constituer un frein aux mesures de gestion du risque élaborées par les autorités locales. De plus, il est impératif de restaurer un rapport de confiance entre la population et les autorités, car de manière générale, la population n'a pas confiance dans la capacité des autorités locales, voire nationales, à gérer ce problème. Ainsi, il est indispensable de sensibiliser la population et les autorités locales au risque que représentent les inondations par la mer, en présentant clairement les zones potentiellement à risque avec des plans d'exposition aux risques d'inondation par la mer facile à comprendre. Dans l'environnement de la ville de Port-Gentil, il serait souhaitable que les documents d'urbanisme tels que le SDAU en cours intègrent la dimension du risque d'inondation par la mer. À ce niveau, les cartes d'aléa, la cartographie de la vulnérabilité physique des enjeux et les cartes mentales produites dans cette thèse peuvent servir d'instrument de sensibilisation. Il est également nécessaire de stratifier la sensibilisation en fonction des enjeux dans les différents quartiers de la ville.

Les enseignements de cette thèse et les perspectives

Dans ce travail de recherche, nous avons observé que Port-Gentil présente non seulement des caractéristiques physiques et un environnement urbain propice aux inondations marines, mais est également fortement vulnérable à celles-ci. Pour évaluer cette vulnérabilité, nous avons choisi d'entreprendre diverses approches relevant à la fois des sciences physiques et des sciences humaines. Par cette approche, nous avons cherché à comprendre le fonctionnement global du « système de production de la vulnérabilité de Port-Gentil », au-delà de sa seule dimension physique (ce qui est encore trop souvent le cas dans la géographie des risques). Nous n'avons pas négligé l'étude du contexte sociétal en lien avec le risque d'inondation par la mer de Port-Gentil. En analysant les facteurs de vulnérabilité, y compris l'évaluation rétrospective et prospective des aléas

à travers plusieurs scénarios, nous avons contribué à améliorer la connaissance de ces éléments et à clarifier la spéculation sur les zones potentiellement exposées.

Nos travaux ont également contribué à une meilleure compréhension de la société portgentillaise et de sa relation avec les risques, notamment grâce à l'évaluation des représentations du risque. Malgré certaines limites déjà mentionnées à la fin de nos chapitres, cette thèse apporte une contribution importante à l'étude des risques et du processus de production de la vulnérabilité des territoires. De manière plus générale, ces travaux sont une contribution significative à l'étude des risques côtiers. Sur le terrain de Port-Gentil, nous avons eu l'occasion de tester la reproductibilité et l'adaptabilité de plusieurs méthodes développées dans d'autres études portant sur l'exposition à l'aléa d'inondation marine (Le Roy *et al.*, 2014 ; Kergadallan, 2015 ; Lisein, 2016 ; Breilh, 2017 ; Cerema, 2018), la vulnérabilité des enjeux (Dall'Osso *et al.*, 2009 ; Reckien, 2018 ; Graff, 2020 ; Papatoma-Köhle *et al.*, 2022) et la représentation du risque d'inondation par la mer (Goeldner-Gianella *et al.*, 2013 ; Krien, 2014 ; Michel-Guillou et Meur-Ferec, 2014 ; Longépée *et al.*, 2015 ; Baggio et Rouquette, 2006 ; O'Neill *et al.*, 2016). De plus, plusieurs méthodes originales ont été développées dans le cadre de nos travaux (modélisation SIG, acquisition de données par drone, approche photogrammétrique, élaboration de l'indice de vulnérabilité potentielle des enjeux, etc.). Bien que ces méthodes aient été initialement développées pour Port-Gentil, elles pourraient également être utiles dans d'autres régions côtières.

Au-delà de l'aspect purement scientifique, notre travail visait à fournir aux acteurs locaux et aux gestionnaires des risques des connaissances et des données afin de les aider à mettre en place des politiques de résilience pour leurs communautés. En fait, cela était l'objectif principal de ce projet de thèse. Un des objectifs du projet était de mettre à disposition des gestionnaires des outils d'aide à la décision. La plupart des données produites dans le cadre de cette thèse sont stockées dans une base de données SIG (géodatabase).

Cependant, ces travaux de thèse, comme mentionné précédemment, ne sont pas exhaustifs. Dans un système aussi complexe, il y avait de nombreux facteurs à prendre en compte et leurs interactions étaient multiples (par exemple, l'impact indirect des enjeux, l'estimation économique des pertes potentielles, etc.). Étant donné qu'il était impossible de tous les analyser, il a fallu faire des choix. Ainsi, la thématique de la vulnérabilité développée pour Port-Gentil est loin d'avoir révélé tous ses secrets, et il reste encore de nombreux points à explorer ou à affiner. Nous avons rencontré des lacunes dans de nombreuses données de base au cours de ce travail (données hydrauliques, données topographiques détaillées de l'ensemble de la commune, données sur l'ensemble des caractéristiques du bâti). Dans nos travaux futurs, nous prévoyons donc de remédier en premier lieu à ce problème, ce qui nous permettra d'améliorer les différents scénarios d'aléa et les modèles ANA. Plusieurs pistes d'amélioration ont déjà été abordées dans les chapitres

correspondants. Une autre perspective consisterait à approfondir nos travaux en matière prospective. À cet égard, il serait intéressant d'entreprendre des recherches pour intégrer les effets des changements climatiques, notamment la dynamique des précipitations futures et l'élévation du niveau de la mer propre au contexte local, sur les aléas et donc sur les risques. Pour ce faire, il sera nécessaire de disposer de données exhaustives sur les conditions marines en continu, ainsi que de données météorologiques locales précises et non trihoraires, afin de réaliser des modèles hydrauliques combinant les écoulements d'eau pluviale et l'élévation du niveau de la mer. Par ailleurs, sur le plan topographique, nous envisageons de généraliser la création d'un modèle numérique de terrain couvrant l'ensemble de la commune et d'intégrer, dans la modélisation prospective (d'ici 2100), en y intégrant l'influence de la subsidence sur l'aggravation de l'aléa. Étudier ces synergies et trouver un moyen de les représenter pourrait constituer une avancée majeure dans l'étude de l'aléa d'inondation marine et de la vulnérabilité des enjeux.

Références bibliographiques

A

- Adelekan, I. O. (2010). Vulnerability of poor urban coastal communities to flooding in Lagos, Nigeria. *Environment and Urbanization*, 22(2), 433-450. <https://doi.org/10.1177/0956247810380141>
- Adelekan, I. O. et Asiyanbi, A. P. (2016). Flood risk perception in flood-affected communities in Lagos, Nigeria. *Natural Hazards*, 80(1), 445-469. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1977-2>
- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 268-281. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>
- Ageudat, R. (2009). *Étalement urbain et évaluation de son impact sur la biodiversité, de la reconstitution des trajectoires à la modélisation prospective. Application à une agglomération de taille moyenne : Rennes Métropole*. [phdthesis, Université Rennes 2]. <https://theses.hal.science/tel-00553665>
- Ajayi, O. G., Palmer, M. et Salubi, A. A. (2018). Modelling farmland topography for suitable site selection of dam construction using unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 11, 220-230. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.07.007>
- Alexander, D. E. (2002). *Principles of Emergency Planning and Management*. Oxford University Press.
- Almar, R., Ranasinghe, R., Bergsma, E. W. J., Diaz, H., Melet, A., Papa, F., Voudoukas, M., Athanasiou, P., Dada, O., Almeida, L. P. et Kestenare, E. (2021). A global analysis of extreme coastal water levels with implications for potential coastal overtopping. *Nature Communications*, 12(1), 3775. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24008-9>
- Anselme, B., Durand, P., Thomas, Y.-F. et Nicolae-Lerma, A. (2011). Storm extreme levels and coastal flood hazards : A parametric approach on the French coast of Languedoc (district of Leucate). *Comptes Rendus Geoscience*, 343(10), 677-690. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2011.07.006>
- Anselme, B., Goeldner-Gianella, L. et Durand, P. (2008). Le risque de submersion dans le système lagunaire de La Palme (Languedoc, France) : nature de l'aléa et perception du risque. Dans *Colloque international pluridisciplinaire , Les littoraux : subir, dire et agir* (p. 0). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00322366>
- Anton, C. E. et Lawrence, C. (2014). Home is where the heart is : The effect of place of residence on place attachment and community participation. *Journal of Environmental Psychology*, 40, 451-461. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.10.007>
- Arias, J. P., Bronfman, N. C., Cisternas, P. C. et Repetto, P. B. (2017). Hazard proximity and risk perception of tsunamis in coastal cities: Are people able to identify their risk? *PLOS ONE*, 12(10), e0186455. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186455>
- Arnaud, A. Ressentis et vécus d'individus : de la définition à la collecte de données dédiées. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-02952465> 2020.
- Avry, L. (2012). *Analyser les conflits territoriaux par les représentations spatiales : une méthode cognitive par cartes mentales* [Thèse de doctorat, Université Haute-Bretagne Rennes 2]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00808779>

B

- Baggio, S. et Rouquette, M.-L. (2006). La représentation sociale de l'inondation : influence croisée de la proximité au risque et de l'importance de l'enjeu. *Bulletin de psychologie*, 481(1), 103-117.
- Balica, S. F., Wright, N. G. et Van der Meulen, F. (2012). A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Natural Hazards*, 64(1), 73-105. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0234-1>
- Barroca, B., Bernardara, P., Mouchel, J.-M. et Hubert, G. (2006). Indicators for identification of urban flooding vulnerability. *Natural Hazards and Earth System Science*, 6(4), 553-561.
- Barroca, B., DiNardo, M. et Mboumoua, I. (2013). De la vulnérabilité à la résilience : mutation ou bouleversement ? *EchoGéo*, (24). <https://doi.org/10.4000/echogeo.13439>
- Barroca, B., Pottier, N. et Lefort, E. (2005). Analyse et évaluation de la vulnérabilité aux inondations du bassin de l'Orge aval. *Septièmes Rencontres de Théo Quant*, 12.
- Basara, N. (2019). *L'érosion des littoraux à falaises meubles en Bretagne: aléa, enjeux et gestion du risque* [Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02468907/document>
- Battjes, J. A. et Gerritsen, H. (2002). Coastal modelling for flood defence. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 360(1796), 1461-1475. <https://doi.org/10.1098/rsta.2002.1010>
- Becerra, S. (2012). Vulnérabilité, risques et environnement : l'itinéraire chaotique d'un paradigme sociologique contemporain. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, (Volume 12 Numéro 1). <https://doi.org/10.4000/vertigo.11988>
- Beck, E. (2006). *Approche multi-risques en milieu urbain : Le cas des risques sismiques et technologiques dans l'agglomération de Mulhouse (Haut-Rhin)* [Thèse de doctorat, Strasbourg 1]. <http://www.theses.fr/2006STR1GE05>
- Beck, E. et Glatron, S. (2009). *Vulnérabilité socio-spatiale aux risques majeurs : l'approche du géographe*, 331-346.
- Becker, M., Papa, F., Karpytchev, M., Delebecque, C., Krien, Y., Khan, J. U., Ballu, V., Durand, F., Le Cozannet, G., Islam, A. K. M. S., Calmant, S. et Shum, C. K. (2020). Water level changes, subsidence, and sea level rise in the Ganges–Brahmaputra–Meghna delta. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(4), 1867-1876. <https://doi.org/10.1073/pnas.1912921117>
- Béguin, M. et Pumain, D. (2014). *La représentation des données géographiques: statistique et cartographie*. Armand Colin.
- Bercerra, S. et Peltier, A. (dir.). (2009). *Risques et environnement, recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés*. L'Harmattan.
- Bernoussi, M. et Florin, A. (1995). La notion de représentation : de la psychologie générale à la psychologie sociale et la psychologie du développement. *Enfance*, 48(1), 71-87. <https://doi.org/10.3406/enfan.1995.2115>
- Bickerstaff, K. (2004). Risk perception research: socio-cultural perspectives on the public experience of air pollution. *Environment International*, 30(6), 827-840. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.12.001>

- Birkmann (dir.). (2007). *Measuring Vulnerability to Natural Hazards : towards disaster resilient societies*. The Energy and Resources Institute (TERI).
- Birkmann, J. (2006). Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies : Conceptual frameworks and definitions. *Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies*, 1, 9-54.
- Biscara, L. (2011). *Le système turbiditique de l'Ogooué (Gabon, Marge Ouest Africaine) : Évolution Fini- Holocène de la morphologie et de la dynamique sédimentaire* [Thèse de doctorat, Bordeaux 1].
<https://www.theses.fr/2011BOR14368>
- Blin, P. (2001). *Développement d'une nouvelle méthode de cartographie du risque unitaire d'inondation (crue) pour des résidences*. [masters, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique].
<http://espace.inrs.ca/1397/>
- Bloch, H., Chemama, R., Gallo, A., Leconte, P., Le Ny, J.-F., Postel, J., Moscovici, S., Reuchlin, M. et Vurpillot, E. (1992). *Grand dictionnaire de la psychologie* (Larousse). Larousse.
- Bonetti, J., Rudorff, F. de M., Campos, A. V. et Serafim, M. B. (2018). Geindicator-based assessment of Santa Catarina (Brazil) sandy beaches susceptibility to erosion. *Ocean & Coastal Management*, 156, 198-208. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.08.009>
- Bonifay, D. (1987). *Intéraction des accumulations terrigènes et océaniques dans le quaternaire moyen et supérieur des marges profondes du Gabon et de la ride médio-guinéenne* [Thèse de doctorat, Université de Perpignan].
- Bonnet, E. (2002). *Risques industriels : Evaluation des vulnérabilités territoriales, le cas de l'estuaire de Seine* [Thèse de doctorat, Université du Havre].
- Bord, J.-P. (2012). *L'univers des cartes : La carte et le cartographe*. BELIN LITTÉRATURE ET REVUES.
- Boschetti, L. (2020). *Le risque de tsunami dans les Alpes-Maritimes, quelles réalités ? Quelles méthodes d'analyses de l'aléa et de la vulnérabilité ?* [Thèse de doctorat, Université Côte d'Azur].
<http://theses.fr/2020COAZ4050>
- Bouchama, A. (2004). The 2003 European heat wave. *Intensive Care Medicine*, 30(1), 1-3.
<https://doi.org/10.1007/s00134-003-2062-y>
- Bouquerel, J. (1967a). Le pétrole au Gabon. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 20(78), 186-199.
<https://doi.org/10.3406/caoum.1967.2447>
- Bouquerel, J. (1967b). Port-Gentil, centre économique du Gabon. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 20(79), 247-274.
<https://doi.org/10.3406/caoum.1967.2452>
- Bourdiere, V. (2008). *De la gestion des risque aux risques de leur gestion dans les territoires touristiques de montagne: modalités de gestion du risque d'avalanches dans les alpes française et facteurs de vulnérabilité associés* [Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier].
- Bourenane, H. et Bouhadad, Y. (2021). Spatial analysis, assessment and mapping of flood hazard in the alluvial plains of Boumerzoug and Rhumel (city of Constantine, north-eastern Algeria): application to development and urban planning projects: Analyse spatiale, évaluation et cartographie de l'aléa inondation dans les plaines alluviales de Boumerzoug et de Rhumel (ville de Constantine, Nord Est Algérien) : Application aux travaux d'aménagement et d'urbanisme. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 80(2), 1137-1155. <https://doi.org/10.1007/s10064-020-01980-y>

- Breilh, J. François. (2014). *Les surcotes et les submersions marines dans la partie centrale du golfe de Gascogne : les enseignements de la tempête Xynthia* [Thèse de doctorat, Université de la Rochelle].
http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/DRPDLO/doc/IFD/IFD_REFDOC_0535662/les-surcotes-et-les-submersions-marines-dans-la-partie-centrale-du-golfe-de-gascogne-les-enseignemen
- Breilh, J. François. (2017). *L'utilisation de données LiDAR dans l'étude des submersions marines*.
- Breilh, J. F., Chaumillon, E., Bertin, X. et Gravelle, M. (2013). Assessment of static flood modeling techniques: application to contrasting marshes flooded during Xynthia (western France). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(6), 1595-1612. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1595-2013>
- Brooks, N. (2003). Vulnerability, Risk and Adaptation: A Conceptual Framework. *Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper No, 38*.
- Brown, I. (2006). Modelling future landscape change on coastal floodplains using a rule-based GIS. *Environmental Modelling & Software*, 21(10), 1479-1490.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.07.011>
- Brunet, R. (1987). *La carte, mode d'emploi*. Fayard.
- Burningham, K., Fielding, J. et Thrush, D. (2008). 'It'll never happen to me': understanding public awareness of local flood risk. *Disasters*, 32(2), 216-238. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.2007.01036.x>
- Burton, I., Kates, R. W. et White, G. F. (1993). *The environment as hazard* (2nd ed). Guilford Press.

C

- Cariolet, J.-M. (2011a). *Inondation des côtes basses et risques associés en Bretagne : vers une redéfinition des processus hydrodynamiques liés aux conditions météo-océaniques et des paramètres morpho-sédimentaires*.
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00596426>
- Cariolet, J.-M. (2011b). Quantification du runup sur une plage macrotidale à partir des conditions morphologiques et hydrodynamiques. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 17(1), 95-109.
<https://doi.org/10.4000/geomorphologie.9315>
- Cariolet, J.-M. et Suanez, S. (2009). Approche méthodologique pour une cartographie du risque de submersion des côtes basses. *La Houille Blanche*, (2), 52-58. <https://doi.org/10.1051/lhb/2009014>
- Cariolet, J.-M. et Suanez, S. (2013). Runup estimations on a macrotidal sandy beach. *Coastal Engineering*, 74, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2012.11.008>
- Cariolet, J.-M., Suanez, S., Meur-Férec, C. et Postec, A. (2012). Cartographie de l'aléa de submersion marine et PPR : éléments de réflexion à partir de l'analyse de la commune de Guissény (Finistère, France). *Cybergeo: European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.25077>
- Carlier, B. (2019). *Les risques d'origine torrentielle et gravitaire dans la haute vallée du Guil (Queyras, Alpes du Sud, France)* [Thèse de doctorat, Université Paris Cité]. <https://www.theses.fr/2019UNIP7013>
- Carlier, B., Puissant, A., Dujarric, C. et Arnaud-Fassetta, G. (2018). Upgrading of an index-oriented methodology for consequence analysis of natural hazards : application to the Upper Guil catchment (southern French Alps). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(8), 2221-2239.
<https://doi.org/10.5194/nhess-18-2221-2018>

- Carrara, A. et Guzzetti, F. (dir.). (1995). *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards* (vol. 5). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-8404-3>
- Caspar, R., Costa, S., Lebreton, P. et Letortu, P. (2010). Les submersions de tempête de la nuit du 10 au 11 mars 2008 sur la côte d'Albâtre (Haute-Normandie, France) : détermination météo-marine. *Norois. Environnement, aménagement, société*, (215), 115-132. <https://doi.org/10.4000/norois.3273>
- Cauvin, C. (1999). Pour une approche de la cognition spatiale intra-urbaine. *Cybergeo: European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.5043>
- Cazenave, A. et Cozannet, G. L. (2014). Sea level rise and its coastal impacts. *Earth's Future*, 2(2), 15-34. <https://doi.org/10.1002/2013EF000188>
- Cerema. (2018). *Estimation du wave set-up. Formules empiriques et analytiques*.
- CESER. (2015). *Submersion marine et érosion côtière Connaître, prévenir et gérer les risques naturels littoraux sur la façade atlantique*. Conseils Economiques Sociaux et Environnementaux Régionaux.
- Chester, D. K., Degg, M., Duncan, A. M. et Guest, J. E. (2000). The increasing exposure of cities to the effects of volcanic eruptions : a global survey. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 2(3), 89-103. [https://doi.org/10.1016/S1464-2867\(01\)00004-3](https://doi.org/10.1016/S1464-2867(01)00004-3)
- Chevillot-Miot, E. (2017). *La résilience des territoires littoraux face au risque de submersion marine. Application sur les territoires de la Charente-Maritime et de la Somme* [Thèse de doctorat, Université de Nantes (UNAM)]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01659505/document>
- Chionne, D. (2019). Contributions géographiques à la définition d'une culture du risque en milieu littoral : le cas des résidents de l'île d'Oléron (Charente-Maritime, France). *Norois*, (250), 27-48. <https://doi.org/10.4000/norois.7343>
- Chouari, W. (2020). A methodological approach for mapping Tunisia's lower coast's risk of submersion: The case of the coastal sabkhas of Sidi Khlifa and Halq El Minjel (Central-East Tunisia). *Journal of African Earth Sciences*, 162, 103726. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103726>
- Church, J. A. et White, N. J. (2011). Sea-Level Rise from the Late 19th to the Early 21st Century. *Surveys in Geophysics*, 32(4), 585-602. <https://doi.org/10.1007/s10712-011-9119-1>
- Claramunt, C. (1998). *Un modèle de vue spatiale pour une représentation flexible de données géographiques* [Thèse de doctorat, Dijon]. <https://theses.fr/1998DIJOS016>
- Claval, C. (2003). L'enseignement de la cartographie au secondaire. *Bulletin du comité français de cartographie*, (117-118), 9-15.
- Cooper, H. M., Chen, Q., Fletcher, C. H. et Barbee, M. M. (2013). Assessing vulnerability due to sea-level rise in Maui, Hawai'i using LiDAR remote sensing and GIS. *Climatic Change*, 116(3), 547-563. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0510-9>
- Coquet, M. (2019). *La perception du risque de submersion marine par les habitants de communes littorales françaises. Les cas de Barneville-Carteret, Saintes-Maries-de-la-Mer, Châtelailon-Plage et Sainte-Anne (Guadeloupe)* [Thèse de doctorat, Université de Nantes]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02383465>
- Costa, S. (1995). Vulnérabilité des villes côtières normano-picardes face à l'élévation du niveau marin. *Hommes et Terres du Nord*, 1(1), 48-57. <https://doi.org/10.3406/htn.1995.2490>

Costa, S. (1997). *Dynamique littorale et risques naturels : L'impact des aménagements, des variations du niveau marin et des modifications climatiques entre la baie de Seine et la baie de Somme (Haute-Normandie, Picardie ; France)* [Thèse de doctorat, Université de Paris 1]. <http://theses.fr/1997PA010522>

Costa, S. (1998). Élévation du niveau marin et stratégies de réponse : le cas du littoral normano-picard. *Annales de Géographie, Volume 107*(Numéro 600), 179-200.

Crapoulet, A. (2015). *Évolution du trait de côte, bilans sédimentaires et évaluation des zones à risques sur le littoral du Nord-Pas-de-Calais : analyse multi-échelles par LiDAR aéroporté* [Thèse de doctorat]. <http://www.theses.fr/2015DUNK0383>

Creach, A. (2015). *Cartographie et analyse économique de la vulnérabilité du littoral atlantique français face au risque de submersion marine* [Thèse de doctorat, Nantes]. <http://theses.fr/2015NANT3017>

Cutter, S., Boruff, B. et Lynn Shirley, W. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly, 84*, 242-261. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>

D

Da, M. (2021). *Vulnérabilité urbaine au Sabel : Ouagadougou (Burkina Faso) et Bamako (Mali) sous le poids des inondations* [Thèse de doctorat, Université Paris-Saclay ; Université Ouaga]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03545231>

Da, M. L. C., Hangnon, H., Amalric, M., Nikiema, A., Robert, E. et Bonnet, E. (2022). Revealing social vulnerability profiles for urban flood management: the case of Ouagadougou (Burkina Faso). *Cybergeo: European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.38243>

Dall'Osso, F., Gonella, M., Gabbianelli, G., Withycombe, G. et Dominey-Howes, D. (2009). A revised (PTVA) model for assessing the vulnerability of buildings to tsunami damage. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 9*(5), 1557-1565. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-1557-2009>

Dandois, J. P., Olano, M. et Ellis, E. C. (2015). Optimal Altitude, Overlap, and Weather Conditions for Computer Vision UAV Estimates of Forest Structure. *Remote Sensing, 7*(10), 13895-13920. <https://doi.org/10.3390/rs71013895>

Dauphiné, A. (2005). *Risques et catastrophes: observer, spatialiser, comprendre, gérer*. A. Colin.

Daverat, G. (1977). Un producteur africain de pétrole, le Gabon. *Les Cahiers d'Outre-Mer, 30*(117), 31-56. <https://doi.org/10.3406/caoum.1977.2803>

David, G. (dir.). (2004). *Espaces tropicaux et risques: du local au global*. Presses universitaires d'Orléans ; IRD.

Davies, J. L. (1964). A morphogenic approach to world shorelines. *Zeitschrift für Geomorphologie, 8*(5), 127-142. <https://doi.org/10.1127/zfg/mortensen/8/1964/127>

Deboudt, P. et Flanquart, H. (2008). Recherche interdisciplinaire en sciences humaines et sociales sur l'évaluation de la vulnérabilité des territoires cotiers au risque d'érosion. Dans M. Galochet, J. Longuépée, V. Morel et O. Petit (dir.), *L'environnement : discours et pratique interdisciplinaires* (Artois Presses Université, p. 247-271). Marc Galochet, Jérôme Longuépée, Valérie Morel et Olivier Petit. Préface de Marcel Jollivet.

Defossez, S. (2009). *Évaluation des mesures de gestion du risque inondation. Application au cas des basses plaines de l'Aude* [Thèse de doctorat, Université Paul Valéry - Montpellier III]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00542397>

- Deldrève, V., Meur-Ferec, C., Philippe, D., Flanquart, H., Hellequin, A.-P., Herbert, V., Longuépée, J. et Morel, V. (2004). *La vulnérabilité des territoires côtiers : Evaluation, enjeux et politiques publiques*. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00229737>
- Denis, M. et Dubois, D. (1976). La représentation cognitive : quelques modèles récents. *L'Année psychologique*, 76(2), 541-562. <https://doi.org/10.3406/psy.1976.28161>
- D'Ercole, R. (1998). Approches de la vulnérabilité et perspectives pour une meilleure logique de réduction des risques. *Pangea*, (29/30), 10.
- D'Ercole, R. (2014). Vulnérabilité : vers un concept opérationnel ? Dans *Connaissance et compréhension des risques côtiers : aléas, enjeux, représentations, gestion*. Institut Universitaire Européen de la Mer.
- D'Ercole, R., Gluski, P., Hardy, S. et Sierra, A. (2009). Vulnérabilités urbaines dans les pays du Sud. Présentation du dossier. *Cybergeo*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.22151>
- D'Ercole, R. et Pigeon, P. (1999). L'expertise internationale des risques dits naturels : intérêt géographique/Geographical relevance of natural risk assessment on an international scale. *Annales de géographie*, 108(608), 339-357. <https://doi.org/10.3406/geo.1999.21777>
- D'Ercole, R., Thouret, J.-C., Dollfus, O. et Asté, J.-P. (1994). Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse. *Revue de Géographie Alpine*, 82(82), 87-96. <https://doi.org/10.3406/rga.1994.3776>
- Di Matteo, G., Nardi, P., Grego, S. et Guidi, C. (2018). Bibliometric analysis of Climate Change Vulnerability Assessment research. *Environment Systems and Decisions*, 38(4), 508-516. <https://doi.org/10.1007/s10669-018-9687-4>
- Di Méo, G. (1990). De l'espace subjectif à l'espace objectif : l'itinéraire du labyrinthe. *L'Espace géographique*, 19(4), 359-373. <https://doi.org/10.3406/spgeo.1990.3020>
- Dilley, M. (2005). *Natural disaster hotspots: a global risk analysis*. World Bank.
- Direction Générale de la Statistique. (2015). *Résultats globaux du Recensement Général de la Population et des Logements de 2013 du Gabon (RGPL2013) (RGPL-2013)*.
- Djeki, J. (1985). *L'évolution récente de Port-Gentil (Gabon)* [Thèse de doctorat, Université Paul Valéry-Montpellier III].
- Djembi-Koumba, S. (2008). *Gestion de l'environnement, des risques et problèmes d'aménagement urbains de Port-Gentil au Gabon* [Thèse de doctorat, Université Bordeaux Montaigne].
- Drejza, S., Friesinger, S. et Bernatchez, P. (2014). *Vulnérabilité des infrastructures routières Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques : Développement d'une approche et d'un indice pour quantifier la vulnérabilité des infrastructures routières à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques sur 9 sites témoins de l'est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques (X008.1)*. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières,.
- Dubois-Maury, J. (1988). La vulnérabilité de la ville à l'incendie. *Les Annales de la Recherche Urbaine*, 40(1), 65-72. <https://doi.org/10.3406/aru.1988.1407>
- Dubois-Maury, J. (2005). *Les risques naturels et technologiques*. La Documentation Française.

E

- El Asmar, J.-P., Ebohon, J. O. et Taki, A. (2012). Bottom-up approach to sustainable urban development in Lebanon: The case of Zouk Mosbeh. *Sustainable Cities and Society*, 2(1), 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2011.10.002>
- Elineau, S. (2013). *Le risque naturel côtier sur la communauté d'agglomération du Havre (Haute-Normandie) : Une évaluation des aléas*. [Thèse de doctorat, Université du Havre]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00935593>
- Elkhrachy, I. (2018). Vertical accuracy assessment for SRTM and ASTER Digital Elevation Models : A case study of Najran city, Saudi Arabia. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 1807-1817. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2017.01.007>
- Emel, J. et Peet, R. (1989). Gestion des ressources et risques naturels. Dans *Nouveaux modèles en géographie - Vol 1* (p. 31).
- Englhardt, J., de Moel, H., Huyck, C. K., de Ruiter, M. C., Aerts, J. C. et Ward, P. J. (2019). Enhancement of large-scale flood risk assessments using building-material-based vulnerability curves for an object-based approach in urban and rural areas. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(8), 1703-1722.
- Etoundi, J.-C. (2018). *Gestion des risques au Cameroun : représentations sociales et croyance en un monde juste* [Thèse de doctorat, Université d'Angers]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01888714>

F

- Fabiani, J.-L. et Theys, J. (dir.). (1987). *La Société vulnérable : évaluer et maîtriser les risques*. Presses de l'École normale supérieure.
- Faure, F. E. et Rabenkogo, N. (2014). La ville de Port-Gentil et la gestion des risques de submersion marine. *Revue gabonaise de sociologie*, (7), 77-110.
- Fisson, C. et Lemoine, J. P. (2016). *Les niveaux d'eau en estuaire de Seine : risque inondation et changement climatique* (3.5) [Fascicule]. GIP Seine-Aval. <https://www.seine-aval.fr/actu-fascicule-niveaux-deau/>
- Fortunato, A. B., Li, K., Bertin, X., Rodrigues, M. et Miguez, B. M. (2016). Determination of extreme sea levels along the Iberian Atlantic coast. *Ocean Engineering*, 111, 471-482. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.11.031>
- Fuchs, S., Heiss, K. et Hübl, J. (2007). Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7(5), 495-506. <https://doi.org/10.5194/nhess-7-495-2007>
- Fuchs, S., Keiler, M., Ortlepp, R., Schinke, R. et Papatoma-Köhle, M. (2019). Recent advances in vulnerability assessment for the built environment exposed to torrential hazards: Challenges and the way forward. *Journal of Hydrology*, 575, 587-595. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.067>
- Fujisada, H., Urai, M. et Iwasaki, A. (2020). Manual-Based Improvement Method for the ASTER Global Water Body Data Base. *Remote Sensing*, 12(20), 3373. <https://doi.org/10.3390/rs12203373>

G

- Garcin, M., Desprats, J.-F., Fontaine, M., Pedreros, R., Attanayake, N., Fernando, S., Siriwardana, C. H. E. R., Silva, U. de et Poisson, B. (2008). Integrated approach for coastal hazards and risks in Sri Lanka. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, (8), 577-586.
- Garry, G. et Graszka, E. (1999). *Plans de prévention des risques naturels, PPR, risques d'inondation: guide méthodologique*. la Documentation française.
- Gates, S., Hegre, H., Nygård, H. M. et Strand, H. (2012). Development Consequences of Armed Conflict. *World Development*, 40(9), 1713-1722. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2012.04.031>
- GIEC. (1990). *Climate change: the IPCC scientific assessment*. Cambridge University Press.
- GIEC. (1995). *IPCC Second Assessment : Climate Change 1995*. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/2nd-assessment-en-1.pdf>
- GIEC. (2001). *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- GIEC. (2013). *Climate change 2013 : the physical science basis*. Cambridge University Press.
- GIEC. (2014a). *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability: Working Group II contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- GIEC. (2014b). *Climate change 2014 : Synthesis report (IPCC)*. IPCC.
- GIEC. (2021). *Climate Change 2021 : The Physical Science Basis (Cambridge University Press)*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- GIEC. (2022a). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (Cambridge University Press)*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf
- GIEC. (2022b). *The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (1^{re} éd.)*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157964>
- Gilbert, C. (2009). La vulnérabilité: une notion vulnérable? A propos des risques naturels. *L'Harmattan*, 23-40.
- Giresse, P. et Barusseau, J.-P. (1989). Quaternary accumulation rates by hemipelagic and gravity current sedimentation on the Atlantic margin of Africa: control factors of advective and vertical flows. *Marine geology*, 89(3-4), 279-297.
- Glatron, S. (1999). Une évaluation géographique des risques technologiques ... L'exemple du stockage et de la distribution des carburants en Île-de-France. *L'Espace géographique*, 28(4), 361-372. <https://doi.org/10.3406/spgeo.1999.1281>
- Glatron, S. (2009). *Représentations cognitives et spatiales des risques et des nuisances pour les citoyens* [Thèse de doctorat, Université de Strasbourg].
- Gleyze, J.-F. et Reghezza, M. (2007). La vulnérabilité structurelle comme outil de compréhension des mécanismes d'endommagement. *Géocarrefour*, 82(1-2). <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.1411>

- Godfrey, A., Ciurean, R. L., van Westen, C. J., Kingma, N. C. et Glade, T. (2015). Assessing vulnerability of buildings to hydro-meteorological hazards using an expert based approach – An application in Nehoiu Valley, Romania. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 13, 229-241. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.06.001>
- Goeldner-Gianella, L., Bertrand, F. et Pralong, F. (2013). Submersion marine et dépoldérisation : le poids des représentations sociales et des pratiques locales dans la gestion du risque littoral. *Espace populations sociétés. Space populations societies*, (2013/1-2), 193-209. <https://doi.org/10.4000/eps.5464>
- Goeldner-Gianella, L., Grancher, D., Robertsen, Ø., Anselme, B., Brunstein, D. et Lavigne, F. (2017). Perception of the risk of tsunami in a context of high-level risk assessment and management: the case of the fjord Lyngen in Norway. *Geoenvironmental Disasters*, 4(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s40677-017-0068-y>
- Goeldner-Gianella, L. et Humain-Lamoure, A.-L. (2010). Les enquêtes par questionnaire en géographie de l'environnement. *LEspace géographique*, Tome 39(4), 325-344.
- Gotham, K. F., Campanella, R., Lauve-Moon, K. et Powers, B. (2018). Hazard Experience, Geophysical Vulnerability, and Flood Risk Perceptions in a Post-disaster City, the Case of New Orleans: Flood Risk Perceptions in a Post-disaster City. *Risk Analysis*, 38(2), 345-356. <https://doi.org/10.1111/risa.12830>
- Graff, K. (2020). *Contribution à la cartographie multirisques de territoires côtiers : approche quantitative des conséquences potentielles et des concomitances hydrologiques (Normandie, France)* [Thèse de doctorat, Normandie]. <http://www.theses.fr/2020NORMC001>
- Graff, K., Lissak, C., Thiery, Y., Maquaire, O., Costa, S., Medjkane, M. et Laignel, B. (2019). Characterization of elements at risk in the multirisk coastal context and at different spatial scales: Multi-database integration (normandy, France). *Applied Geography*, 111, 102076. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.102076>
- Granger, K., Jones, T., Leiba, M. et Scott, G. (1999). Community Risk in Cairns: A Multi-hazard Risk Assessment. *The Australian journal of emergency management*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Community-Risk-in-Cairns%3A-A-Multi-hazard-Risk-Granger-Jones/c542184ad69c4b6a6da267e8917bfaa9207ee172>
- Grembo, N. (2010). *Risque industriel et représentation des risques : approche géographique de la représentation du risque industriel majeur en région Poitou-Charentes*. [Thèse de doctorat, Université de la Rochelle]. <http://www.theses.fr/2010LAROFO34>
- Grothmann, T. et Reusswig, F. (2006). People at Risk of Flooding: Why Some Residents Take Precautionary Action While Others Do Not. *Natural Hazards*, 38(1), 101-120. <https://doi.org/10.1007/s11069-005-8604-6>
- Gueben-Venière, S. (2011). En quoi les cartes mentales, appliquées à l'environnement littoral, aident-elles au recueil et à l'analyse des représentations spatiales ? *EchoGéo*, (17). <https://doi.org/10.4000/echogeo.12573>
- Guiavarc'h, C. (2007). *Modélisation haute-résolution des courants dans le Golfe de Guinée : étude des oscillations bimensuelles* [Thèse de doctorat, Brest]. <https://archimer.ifremer.fr/doc/2007/these-3647.pdf>
- Guillier, F. (2017). *Evaluation de la vulnérabilité aux inondations : Méthode expérimentale appliquée aux Programmes d'Action de Prévention des Inondations* [Thèse de doctorat, Université Paris-Est]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01759290>

H

- Habel, S., Fletcher, C., Anderson, T. et Thompson, P. (2020a). Sea-Level Rise Induced Multi-Mechanism Flooding and Contribution to Urban Infrastructure Failure. *Scientific Reports*.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-60762-4>
- Habel, S., Fletcher, C. H., Anderson, T. R. et Thompson, P. R. (2020b). Sea-Level Rise Induced Multi-Mechanism Flooding and Contribution to Urban Infrastructure Failure. *Scientific Reports*, 10(1), 3796. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60762-4>
- Harding, T., Romerio-Giudici, F., Rossiaud, J., Wagner, J., Bertrand, S., Frischknecht, C. et Laporte, J.-D. Management des risques majeurs : des disciplines à l'interdisciplinarité.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Management-des-risques-majeurs-%3A-des-disciplines-%C3%A0-Harding-Romerio-Giudici/29f32fc44cf2862c4f6a33a406172e9fd0988f9b> 2001.
- He, L., Páez, A., Liu, D. et Jiang, S. (2015). Temporal stability of model parameters in crime rate analysis: An empirical examination. *Applied Geography*, 58, 141-152.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.02.002>
- Heitz, C. et Shimabuku, M. N. (2017). The role of individuals' risk representations in risk management - case-study on lahars in Arequipa (Peru). *Geoenvironmental Disasters*, 4(1), 28.
<https://doi.org/10.1186/s40677-017-0093-x>
- Hellequin, A.-P., Flanquart, H., Meur-Ferec, C. et Rulleau, B. (2013). Perceptions du risque de submersion marine par la population du littoral languedocien : contribution à l'analyse de la vulnérabilité côtière. *Natures Sciences Sociétés*, 21(4), 385-399. <https://doi.org/10.1051/nss/2014002>
- Hénaff, A., Le Cornec, E., Jabbar, M., Pétré, A., Corfou, J., Le Drezen, Y. et van Vliët-Lanoë, B. (2018). Caractérisation des aléas littoraux d'érosion et de submersion en Bretagne par l'approche historique. *Cybergeo : European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.29000>
- Hénaff, A. et Philippe, M. (2014). *Gestion des risques d'érosion et de submersion marines*.
- Ho, M.-C., Shaw, D., Lin, S. et Chiu, Y.-C. (2008). How do disaster characteristics influence risk perception ? *Risk Analysis: An Official Publication of the Society for Risk Analysis*, 28(3), 635-643.
<https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01040.x>
- Hu, K. H., Cui, P. et Zhang, J. Q. (2012). Characteristics of damage to buildings by debris flows on 7 August 2010 in Zhouqu, Western China. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(7), 2209-2217.

I

- Indjieley, M. (2007). Industrialisation et urbanisation à Port-Gentil et Douala. *Villes en Parallèle*, 40(1), 96-117. <https://doi.org/10.3406/vilpa.2007.1438>

J

- Jansen, J. H. F., Van Weering, T. C. E., Gieles, R. et Van Iperen, J. (1984). Middle and late quaternary oceanography and climatology of the Zaire-Congo fan and the adjacent Eastern Angola basin. *Netherlands Journal of Sea Research*, 17(2), 201-249. [https://doi.org/10.1016/0077-7579\(84\)90048-6](https://doi.org/10.1016/0077-7579(84)90048-6)

- Jocktane, O. (1992). *La plate-forme carbonatée albienne dans le bassin côtier gabonais : dynamique sédimentaire et stratigraphie séquentielle* [Thèse de doctorat, Université de Bourgogne].
<https://www.theses.fr/1992DIJOS054>
- Johnston, A., Slovinsky, P. et Yates, K. L. (2014). Assessing the vulnerability of coastal infrastructure to sea level rise using multi-criteria analysis in Scarborough, Maine (USA). *Ocean & Coastal Management*, 95, 176-188. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.04.016>
- Juigner, M. (2017). *La géomatique au service de l'observation du trait de côte : contribution à l'étude des aléas côtiers sur les littoraux dunaires de la région Pays de la Loire (France)* [Thèse de doctorat, Université de Nantes].
<http://theses.fr/2017NANT2023>

K

- Kalantari, M. et Kasser, M. (2008). Photogrammétrie et vision par ordinateur. *Revue XYZ*, 49-54.
- Kappes, M. S., Papathoma-Köhle, M. et Keiler, M. (2012). Assessing physical vulnerability for multi-hazards using an indicator-based methodology. *Applied Geography*, 32(2), 577-590.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.07.002>
- Kasperson, R. E., Renn, O., Slovic, P., Brown, H. S., Emel, J., Goble, R., Kasperson, J. X. et Ratick, S. (1988). The Social Amplification of Risk: A Conceptual Framework. *Risk Analysis*, 8(2), 177-187.
<https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1988.tb01168.x>
- Kellens, W., Terpstra, T. et Maeyer, P. D. (2013a). Perception and Communication of Flood Risks: A Systematic Review of Empirical Research. *Risk Analysis*, 33(1), 24-49.
<https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01844.x>
- Kellens, W., Terpstra, T. et Maeyer, P. D. (2013b). Perception and Communication of Flood Risks: A Systematic Review of Empirical Research. *Risk Analysis*, 33(1), 24-49.
<https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01844.x>
- Kellens, W., Zaalberg, R., Neutens, T., Vanneuville, W. et De Maeyer, P. (2011). An Analysis of the Public Perception of Flood Risk on the Belgian Coast: An Analysis of the Public Perception of Flood Risk. *Risk Analysis*, 31(7), 1055-1068. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2010.01571.x>
- Kergadallan, X. (2015). *Estimation des niveaux marins extrêmes avec et sans l'action des vagues le long du littoral métropolitain* [Thèse de doctorat, Paris Est]. <http://www.theses.fr/2015PESC1102>
- Khazen, M. (2019). *Perception des risques liés à la pollution de l'air à Beyrouth (Liban)* [Thèse de doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale ; Université Saint-Joseph (Beyrouth). Département de géographie]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02483507>
- Kim, B. J., Jeong, S. et Chung, J.-B. (2021). Research trends in vulnerability studies from 2000 to 2019: Findings from a bibliometric analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 56, 102141.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102141>
- Kim, M.-I. et Kwak, J.-H. (2020). Assessment of Building Vulnerability with Varying Distances from Outlet Considering Impact Force of Debris Flow and Building Resistance. *Water*, 12(7).
<https://doi.org/10.3390/w12072021>
- Komar, P. D. (1998). *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice Hall.

- Konan, E., Abe, J., Aka, K., Neumeier, U., Nyssen, J. et Ozer, A. (2016). Impacts des houles exceptionnelles sur le littoral ivoirien du Golfe de Guinée. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 22(vol. 22 – n° 1), 105-120. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.11241>
- Krien, N. (2014). *Place des risques côtiers dans la représentation du cadre de vie d'individus possédant des enjeux sur des communes "à risque"* [Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01140785>
- Krien, N. et Michel-Guillou, É. (2014). Place des risques côtiers dans les représentations sociales du cadre de vie d'habitants de communes littorales. *Les Cahiers Internationaux de Psychologie Sociale, Numéro 101(1)*, 101-122.
- Krien, Y., Garcin, M., Pedreros, R. et Le Cozannet, G. (2010). *Méthodes pour l'évaluation à l'échelle nationale de l'emprise maximale d'aléa submersion marine* (RP-58101-FR) [rapport méthodologique]. BRGM. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-58101-FR.pdf>

L

- Lamarre, M., Chadenas, C., Chauveau, E., Desse, M., Navarro Carrascal, O., Krien, N., Fleury-Bahi, G. et Guillard, M. (2016). Percevoir les risques côtiers par la carte mentale : exemple sur le littoral des Sables-d'Olonne. *Cahiers nantais*, (2), 21-29.
- Lavigne, F. (1999). SIG et zonage des risques volcaniques : application au volcan Merapi, Java, Indonésie (GIS and zonation of the volcanic hazards : application to Merapi volcano, Java, Indonesia). *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 76(4), 371-382. <https://doi.org/10.3406/bagf.1999.2129>
- Le Duff, M. (2018). *Les risques naturels côtiers en Nouvelle-Calédonie : contribution pour une gestion intégrée : De la caractérisation du risque à la participation citoyenne, quelques perspectives pour la prévention des risques aux îles Loyauté* [Thèse de doctorat, Université de Nouvelle Calédonie]. <http://theses.fr/2018NCAL0005>
- Le Roy, S., Pedreros, R., Andre, C., Paris, F., Lecacheux, S. et Marche, F. (2014). Modélisation de la submersion marine lors de la tempête Johanna (2008) à Gâvres (Morbihan) : phénomène de franchissement en zone urbaine (p. 897-906). Editions Paralia. <https://doi.org/10.5150/jngcgc.2014.099>
- Le Roy, S., Stepanian, A., Pedreros, R., Bulteau, T., Nicolae-Lerma, A. et Balouin, Y. (2016). Modélisation dynamique à haute résolution de la submersion marine : plaine du Ceinturon, Hyères-les-Palmiers, Var (p. 689-698). Editions Paralia. <https://doi.org/10.5150/jngcgc.2016.076>
- Lecacheux, S., Bulteau, T., Pedreros, R., Delvallée, E. et Paris, F. (2013). *Projet ARAI3 : Evaluation probabiliste des boules et des surcotes cycloniques en Polynésie Française. Rapport final* (BRGM/RP-61888-FR) [Rapport Final]. BRGM. <https://docplayer.fr/18696540-Projet-arai3-evaluation-probabiliste-des-houles-et-des-surcotes-cycloniques-en-polynesie-francaise-rapport-final.html>
- Lechowska, E. (2018). What determines flood risk perception? A review of factors of flood risk perception and relations between its basic elements. *Natural Hazards*, 94(3), 1341-1366. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3480-z>
- Lemée, C. (2017). *Le risque de submersion marine : perception du risque et mise en place de stratégies de coping en fonction de l'attachement au lieu, de l'implication personnelle et de l'anxiété-état* [Thèse de doctorat, Université de Nantes]. <http://www.theses.fr/2017NANT2049>

- Lemée, C., Guillard, M., Fleury-Bahi, G., Krien, N., Chadenas, C., Chauveau, E., Desse, M., Coquet, M., Lamarre, M. et Navarro, O. (2019). What meaning do individuals give to coastal risks ? Contribution of the social representation theory. *Marine Policy*, 108, 103629. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103629>
- Leone, F. (1996). *Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain* [Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier Grenoble 1]. https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/721876/filename/These_Leone_1996.pdf
- Leone, F., Asté, J.-P. et Leroi, E. (1996). L'évaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrains : pour une meilleure quantification du risque. *Revue de géographie alpine*, 84(1), 35-46. <https://doi.org/10.3406/rga.1996.3846>
- Leone, F. et Vinet, F. (2006). La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles. Dans *Analyses géographiques. Coll.«Géorisques»*.
- Leone, F., Vinet, F., Denain, J.-C. et Bachri, S. (2007). Développement d'une méthodologie d'analyse spatiale des destructions consécutives au tsunami du 26 décembre 2004 (Banda Aceh, Indonésie). Premiers résultats pour l'élaboration de futurs scénarios de risque. *Géocarrefour*, 82(vol. 82/1-2), 77-90. <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.1501>
- Lerma, A. N., Thomas, Y. F., Saffache, P., Durand, P. et Lamy, M. (2015). Modélisation des niveaux marins extrêmes associés à la circulation des cyclones Lenny (1999) et Omar (2008), commune de saint-pierre, littoral nord-ouest de la Martinique. *VertigO, Volume 14*(Numéro 3). <https://doi.org/10.4000/vertigo.15326>
- Letortu, P. (2013). *Le recul des falaises crayeuses haut-normandes et les inondations par la mer en Manche centrale et orientale: de la quantification de l'aléa à la caractérisation des risques induits* [Thèse de doctorat, Université de Caen Basse-Normandie].
- Letortu, P., Costa, S. et Cantat, O. (2012). Les submersions marines en Manche orientale: approche inductive et naturaliste pour la caractérisation des facteurs responsables des inondations par la mer. *Climatologie*, 9, 31-57.
- Liégeois, M., Arnould, P. et Stanislas Wicherek. (2005). Tous vulnérables ? le diagnostic de vulnérabilité aux aléas de l'érosion : un outil pour l'action collective. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, (Volume 6 Numéro 3). <https://doi.org/10.4000/vertigo.3628>
- Lila Miyagou, G. (2013). *La gestion des risques industriels : l'exemple de l'île Mandji au Gabon* [Thèse de doctorat, Université de Lille 1]. <http://theses.fr/2013LIL10036>
- Lindell, M. K. et Hwang, S. N. (2008). Households' Perceived Personal Risk and Responses in a Multihazard Environment. *Risk Analysis*, 28(2), 539-556. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01032.x>
- Lisein, J. (2016). *Application des techniques de photogrammétrie par drone à la caractérisation des ressources forestières* [Thèse de doctorat, Paris Est]. <http://www.theses.fr/2016PESC1049>
- Lissak, C. (2012). *Les glissements de terrain des versants côtiers du Pays d'Auge (Calvados) : morphologie, fonctionnement et gestion du risque* [Thèse de doctorat, Université de Caen Basse normandie]. <http://theses.fr/2012CAEN1654>
- Liziard, S. (2013). *Littoralisation de la façade nord-méditerranéenne : analyse spatiale et prospective dans le contexte du changement climatique* [Thèse de doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00927492v2/document>

- Longépée, E., Goeldner-Gianella, L., Defossez, S., Gherardi, M., Anselme, B., Durand, P., Alexandre, N.-L. et Elineau, S. (2015). *Perception, représentation et gestion du risque de submersion marine sur la côte languedocienne française : le cas de la station balnéaire récente de Leucate*.
- Longuet-Higgins, M. S. (1956). The refraction of sea waves in shallow water. *Journal of Fluid Mechanics*, 1(2), 163-176. <https://doi.org/10.1017/S0022112056000111>
- Lotito, G. (1970). Le développement économique du Gabon. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 23(92), 425-439. <https://doi.org/10.3406/caoum.1970.2568>
- Loubamono, S. et Faugères, L. (1993). Risques naturels en Afrique équatoriale. L'exemple du Gabon (Natural Hazards in Equatorial Africa. Gabon case). *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 70(2), 114-128. <https://doi.org/10.3406/bagf.1993.1677>
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60(2), 91-110. <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94>
- Lu, C.-H. et Chyi, S.-J. (2020). Using UAV-SfM to monitor the dynamic evolution of a beach on Penghu Islands. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 31(3), 283-293. <https://doi.org/10.3319/TAO.2019.09.25.01>
- M**
- Malet, J.-P., Thiery, Y., Maquaire, O. et Puissant, A. (2006). Analyse spatiale, évaluation et cartographie du risque glissement de terrain. *Revue Internationale de Géomatique*, 16, 499-525. <https://doi.org/10.3166/rig.16.499-525>
- Maloba Makanga, J. D. (2011). *Les précipitations au Gabon : climatologie analytique en Afrique*. L'Harmattan.
- Mancini, F., Dubbini, M., Gattelli, M., Stecchi, F., Fabbri, S. et Gabbianelli, G. (2013). Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for High-Resolution Reconstruction of Topography: The Structure from Motion Approach on Coastal Environments. *Remote Sensing*, 5(12), 6880-6898. <https://doi.org/10.3390/rs5126880>
- Mapangou, L.-B. (1985). *Mémorial du Gabon. Tome 1 : 1960-1964 : Les chemins de l'indépendance* (Société Internationale d'Édition et de Diffusion (SIED), Multipress-Gabon, G. Comman, vol. 1). <http://fr.calameo.com/read/000001567f69e1636fa79>
- Maquaire, O., Thiery, Y., Malet, J.-P. et Puissant, A. (2006). Evaluation et cartographie par SIG du risque "glissements de terrain". Application aux Alpes du Sud. Dans *Colloque international Interactions Natures et Sociétés* (vol. <http://letg.univ-nantes.fr/colloque/actes.htm>, p. 5 p.). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00276913>
- Martelli, K. (2011). *The physical vulnerability of urban areas facing the threat of inundation from lahars and flash floods : application to the case study of Arequipa, Peru* [Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00881754>
- Mazzoleni, M., Paron, P., Reali, A., Juizo, D., Manane, J. et Brandimarte, L. (2020). Testing UAV-derived topography for hydraulic modelling in a tropical environment. *Natural Hazards*, 103(1), 139-163. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03963-4>
- Mbadinga, M. (2000). Elf et Port-Gentil (Gabon). *NETCOM : Réseaux, communication et territoires / Networks and communication studies*, 14(3), 267-282. <https://doi.org/10.3406/netco.2000.1474>

- Mbadinga, M. (2006). *État, entreprises et développement au Gabon : contribution à une étude géographique* [Thèse de doctorat, Université Montpellier III].
- Mbina Mounguengui, M., Baudin, F., Lang, J. et Jocktane, O. (2003). Paléoenvironnements et caractérisation des roches mères pétrolières des séries pré-salifères du bassin intérieur du Gabon. *Comptes Rendus Geoscience*, 335(3), 327-334. [https://doi.org/10.1016/S1631-0713\(03\)00051-8](https://doi.org/10.1016/S1631-0713(03)00051-8)
- Mbina Mounguengui, M. et Guiraud, M. (2009). Neocomian to early Aptian syn-rift evolution of the normal to oblique-rifted North Gabon Margin (Interior and N’Komi Basins). *Marine and Petroleum Geology*, 26(6), 1000-1017. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2008.11.001>
- MEDDE, M. de l’Écologie, du Développement durable, et de l’Energie. (2014). *Guide méthodologique : Plan de prévention des risques littoraux*. <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide%20PPRL%20-%20version%20finale%20mai%202014.pdf>
- Medjkane, M., Maquaire, O., Costa, S., Roulland, Th., Letortu, P., Fauchard, C., Antoine, R. et Davidson, R. (2018). High-resolution monitoring of complex coastal morphology changes: cross-efficiency of SfM and TLS-based survey (Vaches-Noires cliffs, Normandy, France). *Landslides*, 15(6), 1097-1108. <https://doi.org/10.1007/s10346-017-0942-4>
- MEEDD. (2012). *Stratégie nationale d’adaptation du littoral gabonais face aux effets des changements climatiques* (Section n°3) [Rapport technique].
- MEFPEPGDEDD, M. de l’Economie forestière, de la Pêche et de l’Environnement, chargé de la Protection et de la Gestion Durable des écosystèmes et du Développement Durable. (2018). *Troisième communication nationale du gabon sur les changements climatiques* (Rapport final).
- Mengual, P.-G. (2008). *La réduction de la vulnérabilité des PME-PMI aux inondations*. Éd. Tec & doc.
- Menie Ovono, Z. (2010). *Evolution de la flèche Mandji de l’holocène à l’actuel. Analyse et cartographie du risque côtier* [Thèse de doctorat, Université de Nantes].
- Menié Ovono, Z. et Pottier, P. (2019). Le risque inondation dans les petits bassins-versants côtiers urbains de Libreville (Gabon) : exemple d’Ogombié et d’Indongui. *Cahiers Nantais*. <http://cahiers-nantais.fr/index.php?id=1166>
- Messner, F. et Meyer, V. (2006). Flood damage, vulnerability and risk perception – challenges for flood damage research. Dans J. Schanze, E. Zeman et J. Marsalek (dir.), *Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures* (p. 149-167). Springer Netherlands.
- Metton, A. et Gabert, P. (1995). *Commentaire de documents géographiques de la France. 119 documents couleurs*. CDU SEDES.
- Metzger, P. Connaissance et relations de pouvoir : les sciences sociales, les risques et l’environnement. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers19-02/010074656.pdf#search=%22evaluation%20de%20la%20vulnerabilite%20urbaine%20aux%20inondation%22 2017.
- Metzger, P. et D’Ercole, R. (2008). Enjeux territoriaux et vulnérabilité : une approche opérationnelle. Dans *Colloque interdisciplinaire “Vulnérabilités sociales, risques et environnement : comprendre et évaluer”*. Université de Toulouse Le Mirail and Université Paul Sabatier and CNRS and OMP and GEODE and CERTOP and LMT and Ministère de l’écologie du développement et de l’aménagement durables and Région Midi-Pyrénées. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01196979>

- Metzger, P. et D'Ercole, R. (2011). Les risques en milieu urbain : éléments de réflexion. *EchoGéo*, (18).
<https://doi.org/10.4000/echogeo.12640>
- Meur-Férec, C., Berre, I. L., Cocquempot, L., Guillou, É., Henaff, A., Lami, T., Dantec, N. L., Letortu, P., Philippe, M. et Noûs, C. (2020). Une méthode de suivi de la vulnérabilité systémique à l'érosion et la submersion marines. *Développement durable et territoires*, (Vol. 11, n°1).
<https://doi.org/10.4000/developpementdurable.16731>
- Meur-Férec, C., Deboudt, P. et Morel, V. (2008). Coastal Risks in France : An Integrated Method for Evaluating Vulnerability. *Journal of Coastal Research*, 2, 178-189. <https://doi.org/10.2112/05-0609.1>
- Meur-Férec, C. et Guillou, E. (2020). Interest of Social Representations Theory to grasp coastal vulnerability and to enhance coastal risk management. *PsyEcology*, 11(1), 78-89.
<https://doi.org/10.1080/21711976.2019.1644003>
- MHUEDD. (2011). *Seconde communication nationale du Gabon sur les changements climatiques au titre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) [Rapport final]*.
- Michael-Leiba, M., Baynes, F., Scott, G. et Granger, K. (2002). Quantitative landslide risk assessment of Cairns. *Australian Geomechanics: Journal and News of the Australian Geomechanics Society*, 37(3), 1-13.
- Michel-Guillou, É., Lalanne, P.-A. et Krien, N. (2015). Hommes et aléas : appréhension des risques côtiers par des usagers et des gestionnaires de communes littorales. *Pratiques Psychologiques*, 21(1), 35-53.
<https://doi.org/10.1016/j.prps.2014.12.001>
- Michel-Guillou, E. et Meur-Férec, C. (2014). Représentations des risques côtiers et stratégies d'adaptation : une manière d'appréhender la dimension humaine des risques côtiers. *Représentations des risques côtiers et stratégies d'adaptation : une manière d'appréhender la dimension humaine des risques côtiers*, 339-352.
- Michel-Guillou, E. et Meur-Férec, C. (2017). Representations of coastal risk (erosion and marine flooding) among inhabitants of at-risk municipalities. *Journal of Risk Research*, 20(6), 776-799.
<https://doi.org/10.1080/13669877.2015.1119181>
- Mignard, S. (2017). *Transport et accumulation de matière organique dans le système turbiditique de l'Ogooné (Gabon) [Thèse de doctorat, Université de Bordeaux]*. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01755049>
- Mombo, J.-B. (2016). Les reliefs des régions littorales du gabon. Dans *Les régions littorales du Gabon: Eléments de réflexion pour une planification stratégique du territoire* (p. 85-103).
- Moran, P. A. P. (1950). Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika*, 37(1/2), 17-23.
<https://doi.org/10.2307/2332142>
- Morel, V., Deboudt, P., Meur-Férec, C., Herbert, V. et Hellequin, A.-P. (2006). Regard rétrospectif sur l'étude des risques en géographie à partir des publications universitaires (1980-2004). *L'information géographique*, 70(1), 6-23.
- Mpounza, M. et Samba-Kimbata, M. J. (1990). Aperçu sur le climat de l'Afrique centrale occidentale. Dans R. Lanfranchi et D. Schwartz (dir.), *Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique* (p. 31-41). Éditions de l'ORSTOM.
- Müller, A., Reiter, J. et Weiland, U. (2011). Assessment of urban vulnerability towards floods using an indicator-based approach – a case study for Santiago de Chile. *Natural Hazards and Earth System Science*, 11(8), 2107-2123. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-2107-2011>

N

- Navarro Carrascal, O. (2022). *Psychologie environnementale: enjeux environnementaux, risques et qualité de vie*. De Boeck supérieur.
- Ndoulou Loubamono, E. S. (2000). *Risques naturels d'inondation et problèmes d'environnement au Gabon* [Thèse de doctorat, Université Paris 1]. <http://www.theses.fr/2000PA010507>
- Ngo, A. T. (2014). *Évaluation environnementale du risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh (centre Viêt-Nam)* [Thèse de doctorat, Université d'Orléans].
- Ngolle III, P. E. (2015). *La sécurité civile dans les Etats de la Communauté Economique et Monétaire de l'Afrique Centrale (CEMAC)* [Thèse de doctorat, Montpellier]. <https://www.theses.fr/2015MONTD069>
- Nichols, C. R., Wright, L. D., Bainbridge, S. J., Cosby, A., Hénaff, A., Loftis, J. D., Cocquemot, L., Katragadda, S., Mendez, G. R., Letortu, P., Le Dantec, N., Resio, D. et Zarillo, G. (2019). Collaborative Science to Enhance Coastal Resilience and Adaptation. *Frontiers in Marine Science*, 6. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2019.00404>
- Nicolae-Lerma, A., Pedreros, R., Balouin, Y. et Bulteau, T. (2017). *Cinétique de la submersion marine: Comparaison des méthodes de détermination de la submersion marine par modélisation numérique. Rapport final*. (BRGM/RP-67361-FR). BRGM. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-67361-FR.pdf>
- Nikolakopoulos, K. G., Kamaratakis, E. K. et Chrysoulakis, N. (2006). SRTM vs ASTER elevation products. Comparison for two regions in Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 27(21), 4819-4838. <https://doi.org/10.1080/01431160600835853>
- Noin, D. (1999). La population des littoraux du monde. *L'Information Géographique*, 63(2), 65-73. <https://doi.org/10.3406/ingeo.1999.2632>
- November, V. (2006). Le risque comme objet géographique. *Cahiers de géographie du Québec*, 50(141), 289-296. <https://doi.org/10.7202/014868ar>

O

- OCDE. (2008). *Indicateurs clés de l'environnement de l'OCDE*. Direction de l'Environnement de l'OCDE. <https://www.oecd.org/fr/env/indicateurs-modelisation-perspectives/40601692.pdf>
- O'Grady, J. et McInnes, K. (2010). Wind waves and their relationship to storm surges in northeastern Bass Strait. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 60(04), 265-275. <https://doi.org/10.22499/2.6004.004>
- Ondo Assoumou, E. (2006). *Dynamique des paysages végétaux du littoral centre-ouest du Gabon autour de Port-Gentil: Approche spatiale et analyse des données du terrain* [Thèse de doctorat, Université Paul Valéry Montpellier III].
- O'Neill, E., Brereton, F., Shahumyan, H. et Clinch, J. P. (2016). The Impact of Perceived Flood Exposure on Flood-Risk Perception: The Role of Distance. *Risk Analysis*, 36(11), 2158-2186. <https://doi.org/10.1111/risa.12597>
- Openshaw, S. (1981). Le problème de l'agrégation spatiale en géographie. *L'Espace géographique*, 10(1), 15-24. <https://doi.org/10.3406/spgeo.1981.3599>

- Otto, I. M., Reckien, D., Reyer, C. P. O., Marcus, R., Le Masson, V., Jones, L., Norton, A. et Serdeczny, O. (2017). Social vulnerability to climate change: a review of concepts and evidence. *Regional Environmental Change*, 17(6), 1651-1662. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1105-9>
- Ouma, Y. O. et 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. <https://doi.org/10.3390/w6061515>
- Overton, M. F. et Fisher, J. (2005). *NC Coastal Highway Vulnerability* (NC 27695-7908). North Carolina State University Department of Civil, Construction and Environmental Engineering Raleigh.

P

- Papathoma, M. et Dominey-Howes, D. (2003). Tsunami vulnerability assessment and its implications for coastal hazard analysis and disaster management planning, Gulf of Corinth, Greece. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3(6), 733-747. <https://doi.org/10.5194/nhess-3-733-2003>
- Papathoma-Köhle, M., Gems, B., Sturm, M. et Fuchs, S. (2017). Matrices, curves and indicators: A review of approaches to assess physical vulnerability to debris flows. *Earth-Science Reviews*, 171, 272-288. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.007>
- Papathoma-Köhle, M., Schlögl, M., Dossler, L., Roesch, F., Borga, M., Erlicher, M., Keiler, M. et Fuchs, S. (2022). Physical vulnerability to dynamic flooding: Vulnerability curves and vulnerability indices. *Journal of Hydrology*, 607, 127501. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127501>
- Papathoma-Köhle, M., Thaler, T. et Fuchs, S. (2021). An institutional approach to vulnerability: evidence from natural hazard management in Europe. *Environmental Research Letters*, 16(4), 044056. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe88c>
- Paulet, J.-P. (2002). *Les représentations mentales en géographie* (ECONOMICA). ECONOMICA.
- Paulet, J.-P. (2009). Le développement urbain durable : des obstacles insurmontables ? Dans *Manuel de géographie urbaine* (p. 307-334). Armand Colin. <https://www.cairn.info/manuel-de-geographie-urbaine--9782200355708-page-307.htm>
- Peacock, W. G., Brody, S. D. et Highfield, W. (2005). Hurricane risk perceptions among Florida's single family homeowners. *Landscape and Urban Planning*, 73(2-3), 120-135. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.11.004>
- Peretti-Watel, P. (2000). *Sociologie du risque*. Armand Colin.
- Perherin, C., Azzam, C. et Kergadallan, X. (2012). Révision du guide méthodologique Plans de Prévention des Risques Littoraux : Une meilleure prise en compte de l'ensemble des phénomènes pour la connaissance de l'alea submersion marine (p. 9). Évènements extrêmes fluviaux et maritimes. https://www.researchgate.net/publication/314197646_Revision_du_guide_methodologique_Plans_de_Prevention_des_Risques_Littoraux_Une_meilleure_prise_en_compte_de_l_ensemble_des_phenomenes_pour_la_connaissance_de_l_alea_submersion_marine
- Perini, L., Calabrese, L., Salerno, G., Ciavola, P. et Armaroli, C. (2016). Evaluation of coastal vulnerability to flooding: comparison of two different methodologies adopted by the Emilia-Romagna region (Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(1), 181-194. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-181-2016>
- Petitjean, L. (2016). *Etude des plages sableuses : Relations entre les vagues, le niveau d'eau, la nappe et la morphologie*. [Thèse de doctorat, Université de Toulon]. <https://www.theses.fr/2016TOUL0016>

- Piaget, J. (2013). *La représentation du monde chez l'enfant*. Presses Universitaires de France.
<https://doi.org/10.3917/puf.piaget.2013.01>
- Pichon, M. (2015). Espace vécu, perceptions, cartes mentales : l'émergence d'un intérêt pour les représentations symboliques dans la géographie française (1966-1985). *Bulletin de l'association de géographes français. Géographies*, 92(92-1), 95-110. <https://doi.org/10.4000/bagf.502>
- Pigeon, P. (2005). *Géographie critique des risques*. Economica : Anthropos.
- Poortinga, W. et Pidgeon, N. (2003). Public perceptions of risk, science and governance. *Centre for Environmental Risk, University of East Anglia, Norwich, UK*.
- Pottier, P., Menie Ovono, Z., Faure, F. E. et Bignoumba, G.-S. (2016). *Les régions littorales du Gabon : éléments de réflexion pour une planification stratégique du territoire*. LETG-Nantes Géolittomer, UMR 6554 CNRS ; Éditions Raponda-Walker.
- Prasannakumar, V., Vijith, H., Charutha, R. et Geetha, N. (2011). Spatio-Temporal Clustering of Road Accidents : GIS Based Analysis and Assessment. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 21, 317-325. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.07.020>
- Puissant, A. (2003). *Information géographique et images à très haute résolution : Utilité et applications en milieu urbain* [Thèse de doctorat, Strasbourg 1]. <https://theses.fr/2003STR1GEO8>
- Puissant, A., Malet, J.-P. et Maquaire, O. (2006). Mapping landslide consequence in mountain areas: a tentative approach with a semi quantitative procedure (p. 16). SAGEO 2006, Proceedings International Conference on Spatial Analysis and Geomatics, Weber C. & Gancarski P.
- Puissant, A., Van Den Eeckhaut, M., Malet, J.-P. et Maquaire, O. (2014). Landslide consequence analysis: a region-scale indicator-based methodology. *Landslides*, 11(5), 843-858. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0429-x>
- Pumain, D. (2006). *Systèmes de villes et niveaux d'organisation*, 239.

Q

- Qasim, S., Nawaz Khan, A., Prasad Shrestha, R. et Qasim, M. (2015). Risk perception of the people in the flood prone Khyber Pukhthunkhwa province of Pakistan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 373-378. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2015.09.001>

R

- Rabenkogo, N. (2007). *Le littoral du Nkomi (Gabon) : contribution géographique à la conservation des milieux naturels* [Thèse de doctorat, Montpellier 3]. <http://theses.fr/2007MON30022>
- Rakotoarisoa, M. (2017). *Les risques hydrologiques dans les bassins versants sous contrôle anthropique : modélisation de l'aléa, de la vulnérabilité et des conséquences sur les sociétés. : Cas de la région Sud-ouest de Madagascar* [Thèse de doctorat, Université d'Angers]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02066645>
- Raparelli, E. et Bajocco, S. (2019). A bibliometric analysis on the use of unmanned aerial vehicles in agricultural and forestry studies. *International Journal of Remote Sensing*, 40(24), 9070-9083. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1569793>

- Reckien, D. (2018). What is in an index? Construction method, data metric, and weighting scheme determine the outcome of composite social vulnerability indices in New York City. *Regional Environmental Change*, 18(5), 1439-1451. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1273-7>
- Reghezza, M. (2006). *Réflexions autour de la vulnérabilité métropolitaine : la métropole parisienne face au risque de crue centennale*. [Thèse de doctorat, Université Paris X Nanterre].
- Rey-Valette, H., Rulleau, B., Meur-Férec, C., Flanquart, H., Hellequin, A. et Sourisseau, E. (2012). Les plages du littoral languedocien face au risque de submersion : définir des politiques de gestion tenant compte de la perception des usagers. *Géographie, économie, société*, Vol.14(4), 369-392.
- Richards, T. B. (1999). Information technology. Geographic information systems and public health: mapping the future. *Public Health Reports*, 114(4), 359-373. <https://doi.org/10.1093/phr/114.4.359>
- Rimbert, S. (1990). *Carto-graphies*. Hermes Science Publications.
- Ritschard, L. (2017). *Représentations spatiales et Processus de Gestion Intégrées des Zones Côtières (GIZC) : application à deux territoires côtiers bretons* [Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01512946>
- Robert, B. et Morabito, L. (2011). *Reducing vulnerability of critical infrastructures: methodological manual*. Presses Internationales Polytechnique.
- Roche, S., Caron, C. et Saada, M. (2006). The Spatiograph: A Classification Framework for Geospatial Representations. *Spatial Cognition & Computation*, 6(2), 107-143. https://doi.org/10.1207/s15427633scc0602_1
- Rodríguez, E., Morris, C. S. et Belz, J. E. (2006). A global assessment of the SRTM performance. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(3), 249-260. <https://doi.org/10.14358/PERS.72.3.249>
- Roques, J. M. (2013). *Etude hydro-sédimentaire du site de relocalisation des pêcheurs dans la baie de Pointe Noire*. AMENIS. <http://www.amenis.fr/wp-content/uploads/Rapport-Pointe-NoireV2.pdf>
- Roumégous, M. (1966). Port-Gentil : Quelques aspects sociaux du développement industriel. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 19(76), 321-353. <https://doi.org/10.3406/caoum.1966.4144>
- Rufat, S. (2015). Towards a Social and Spatial Risk Perception Framework. *Cybergeo: European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.27010>
- Ruggiero, P., Komar, P. D., McDougal, W. G., Marra, J. J. et Beach, R. A. (2001). Wave runup, extreme water levels and the erosion of properties backing beaches. *Journal of Coastal Research*, 17(2), 407-419.
- Rulleau, B., Rey-Valette, H., Flanquart, H., Hellequin, A.-P. et Meur-Férec, C. (2015). Perception des risques de submersion marine et capacité d'adaptation des populations littorales. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, (Hors-série 21). <https://doi.org/10.4000/vertigo.15811>
- Ruz, M.-H., Rufin-Soler, C., Héquette, A., Révillon, R., Hellequin, A.-P., Deboudt, P., Herbert, V., Cohen, O., Lebreton, F., Le Goff, L., Schmitt, F. G. et Marin, D. (2020). Climate Change and Risk Perceptions in Two French Coastal Communities. *Journal of Coastal Research*, 95(sp1), 875. <https://doi.org/10.2112/SI95-170.1>

S

- Sagala, S. A. H. (2006). *Analysis of Flood Physical Vulnerability in Residential Areas. Case Study: Naga City, the Philippines* [Thèse de doctorat]. Scopus.
- Sampath, D. M. R., Boski, T., Loureiro, C. et Sousa, C. (2015). Modelling of estuarine response to sea-level rise during the Holocene: Application to the Guadiana Estuary–SW Iberia. *Geomorphology*, 232, 47-64. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.12.037>
- Sari, D. A. P., Innaqa, S. et Safrilah. (2017). Hazard, Vulnerability and Capacity Mapping for Landslides Risk Analysis using Geographic Information System (GIS). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 209, 012106. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/209/1/012106>
- Scarwell, H.-J. et Laganier, R. (2017). Chapitre 1 : Les excès hydrologiques : processus, rythmes et impacts anthropiques. Dans *Risque d'inondation et aménagement durable des territoires* (p. 21-53). Presses universitaires du Septentrion. <http://books.openedition.org/septentrion/15682>
- Scheuer, S., Haase, D. et Meyer, V. (2013). Towards a flood risk assessment ontology – Knowledge integration into a multi-criteria risk assessment approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 37, 82-94. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.07.007>
- Smith, K. (2013). *Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster* (Sixth edition). Routledge Taylor & Francis Group.
- Snelder, M. (2010). *Designing Robust Road Networks: A general design method applied to the Netherlands* [Thèse de doctorat, TRAIL Research School]. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A82881390-1db0-46ca-8d38-9f89e15c2a92>
- Stammer, D., Cazenave, A., Ponte, R. M. et Tamisiea, M. E. (2013). Causes for contemporary regional sea level changes. *Annual Review of Marine Science*, 5, 21-46. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-121211-172406>
- Stockdon, H. F., Holman, R. A., Howd, P. A. et Sallenger, A. H. (2006). Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coastal Engineering*, 53(7), 573-588. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2005.12.005>

T

- Tamisiea, M. et Mitrovica, J. (2011). The Moving Boundaries of Sea Level Change: Understanding the Origins of Geographic Variability. *Oceanography*, 24(2), 24-39. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2011.25>
- Tarbotton, C., Dall'Osso, F., Dominey-Howes, D. et Goff, J. (2015). The use of empirical vulnerability functions to assess the response of buildings to tsunami impact: comparative review and summary of best practice. *Earth-Science Reviews*, 142, 120-134.
- Tarbotton, C., Dominey-Howes, D., Goff, J. R., Papathoma-Kohle, M., Dall'Osso, F. et Turner, I. L. (2012). GIS-based techniques for assessing the vulnerability of buildings to tsunamis: current approaches and future steps. *Geological Society, London, Special Publications*, 361(1), 115-125. <https://doi.org/10.1144/SP361.10>
- Texier, P. (2009). *Vulnérabilité et réduction des risques liés à l'eau dans les quartiers informels de Jakarta, Indonésie. Réponses sociales, institutionnelles et non institutionnelles*. [Thèse de doctorat, Université Paris-Diderot - Paris VII]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00441988>

- Thiéblemont, D., Castaing, C., Billa, M., Bouton, P. et Préat, A. (2009). *Notice explicative de la carte géologique et des ressources minérales de la république gabonaise à 1/1 000 000*. DGMG - Ministère des Mines, du Pétrole, des Hydrocarbures.
- Thiery, Y. (2007). *Susceptibilité du bassin de Barcelonnette (Alpes du Sud, France) aux 'mouvements de versant' : cartographie morphodynamique, analyse spatiale et modélisation probabiliste* [Thèse de doctorat, Université de Caen Basse-Normandie]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00259135>
- Thirard, G. (2019). *Évaluation de la marge d'erreur liée au ré-échantillonnage des données Litto3D® et du RGE Altir® de l'IGN*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02421418>
- Thouret, J.-C. et D'Ercole, R. (1996). Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effets, facteurs et réponses sociales. *Cahiers des sciences humaines*. ORSTOM, 32(2), 407-422.
- Tiggeloven, T., de Moel, H., Winsemius, H. C., Eilander, D., Erkens, G., Gebremedhin, E., Diaz Loaiza, A., Kuzma, S., Luo, T., Iceland, C., Bouwman, A., van Huijstee, J., Ligtvoet, W. et Ward, P. J. (2020). Global-scale benefit–cost analysis of coastal flood adaptation to different flood risk drivers using structural measures. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(4), 1025-1044. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1025-2020>
- Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J. X., Luers, A., Martello, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A. et Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8074-8079. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>

U

- UNDRR. (2020). *Rapports-pays de l'UNDRR sur la Planification des Investissements Publics pour la Réduction des Risques de Catastrophe*. UN Office for Disaster Risk Reduction. <https://www.undrr.org/media/47288/download?startDownload=true>
- United Nations. (1992). *Internationally agreed glossary of basic terms related to Disaster Management (DHA/93/36)*. United Nations.
- Usman Kaoje, I., Abdul Rahman, M. Z., Idris, N. H., Razak, K. A., Wan Mohd Rani, W. N. M., Tam, T. H. et Mohd Salleh, M. R. (2021). Physical Flood Vulnerability Assessment using Geospatial Indicator-Based Approach and Participatory Analytical Hierarchy Process: A Case Study in Kota Bharu, Malaysia. *Water*, 13(13), 1786. <https://doi.org/10.3390/w13131786>

V

- Valy, J. (2010). *Croissance urbaine et risque inondation en Bretagne* [Thèse de doctorat, Université Rennes 2 ; Université Européenne de Bretagne]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00624646>
- Veen, A. van der, Dopheide, E. J. M. et Al, U. [et. (2009). *ENSURE : Enhancing resilience of communities and territories facing natural and na-tech hazards : WP 1 : state - of - the - art on vulnerability types : del 1.1.3. methodologies to assess vulnerability of structural, territorial and economic systems : task 1.3 : state - of - the art on vulnerability of socio - economic systems*, 101.
- Verlynde, N. (2018). *De la perception du risque d'inondation aux propositions d'adaptation en territoire de côtes basses densément peuplées : le cas de la communauté urbaine de Dunkerque* [Thèse de doctorat, Université Littoral Côte d'Opale]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02085107>
- Véron, J. (2007). La moitié de la population mondiale vit en ville. *Population & Sociétés*, (435), 1-4.

- Veyret, Y. (2004). *Géographie des risques naturels en France* (Librairie Eyrolles).
<https://www.eyrolles.com/Sciences/Livre/geographie-des-risques-naturels-en-france-9782218749940/>
- Veyret, Y. et Reghezza, M. (2005). Aléas et risques dans l'analyse géographique. *Annales des mines*, 61-69.
- Veyret, Y. et Reghezza, M. (2006). Vulnérabilité et risques. L'approche récente de la vulnérabilité. Dans *Annales des mines* (vol. 43, p. 9-13).
- Vinet, F., Defossez, S., Rey, T. et Boissier, L. (2012). Le processus de production du risque « submersion marine » en zone littorale : l'exemple des territoires « Xynthia ». *Norois. Environnement, aménagement, société*, (222). <https://doi.org/10.4000/norois.3834>
- Vinet, F., Leone, F., Lahache, G. et Cancel, P. (2015). La protection du bâti individuel et des commerces contre l'inondation. Opportunités et obstacles. *Norois. Environnement, aménagement, société*, (236), 69-90. <https://doi.org/10.4000/norois.5723>

W

- Wahlstrom, M. (2017). Social work and the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction. *European Journal of Social Work*, 20(3), 333-336. <https://doi.org/10.1080/13691457.2017.1314936>
- Ward, P. J., Jongman, B., Weiland, F. S., Bouwman, A., van Beek, R., Bierkens, M. F. P., Ligtoet, W. et Winsemius, H. C. (2013). Assessing flood risk at the global scale: model setup, results, and sensitivity. *Environmental Research Letters*, 8(4), 044019. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/4/044019>

Y

- Yan, K., Di Baldassarre, G. et Solomatine, D. P. (2013). Exploring the potential of SRTM topographic data for flood inundation modelling under uncertainty. *Journal of Hydroinformatics*, 15(3), 849-861. <https://doi.org/10.2166/hydro.2013.137>
- Yembi-Yembi, L., Costa, S. et Bonnet, E. (2022). Perceptions et représentations socio-spatiales des risques dans les communes multirisques : le cas de la place du risque d'inondation par la mer chez les habitants de Port-Gentil au Gabon. *Cybergeog*. <https://doi.org/10.4000/cybergeog.38919>
- Yoo, G., Kim, A. R. et Hadi, S. (2014). A methodology to assess environmental vulnerability in a coastal city: Application to Jakarta, Indonesia. *Ocean & Coastal Management*, 102, 169-177. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.09.018>

Z

- Zhang, K., Gann, D., Ross, M., Robertson, Q., Sarmiento, J., Santana, S., Rhome, J. et Fritz, C. (2019). Accuracy assessment of ASTER, SRTM, ALOS, and TDX DEMs for Hispaniola and implications for mapping vulnerability to coastal flooding. *Remote Sensing of Environment*, 225, 290-306. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.028>

Liste des figures

Figure 0-1 : Nombre annuel moyen de (millions) personnes affectées par type de désastre entre 2001 - 2020 (source : United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR))	12
Figure 0-2 : Villes d’Afrique à risque face à l’élévation du niveau marin (Source : ReliefWeb tiré de www.PopulationData.net (Modifiée par L. YEMBI, 2022)).....	14
Figure 0-3 : Localisation des zones basses au Gabon (-5 mètres).....	15
Figure 0-4 : Diagramme synoptique de la structure du manuscrit de thèse	20
Figure 1-1 : Aléa plus enjeux, égale au risque (https://www.georisques.gouv.fr/articles/definition-generale-du-risque-majeur)	33
Figure 1-2 : Confrontation entre l’aléa et la vulnérabilité (modifiée et traduit d’Alexander, 2002)	34
Figure 1-3 : La composition complexe du risque (GIEC, 2022a).....	36
Figure 1-4 : Courbe de Farmer, montrant le lien entre la fréquence et la gravité (Glatron, 1999).....	39
Figure 1-5 : Hauteur d’eau impactant le bâti (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	40
Figure 1-6 : Rapport hauteur d’eau et vitesse d’écoulement dans le déplacement des personnes (source : Direction départementale de l’Équipement du Vaucluse)	41
Figure 1-7 : Représentations schématiques des différentes modes de submersions marines générées par des tempêtes de surcote. Avec une submersion marine par franchissement de paquets de mer à gauche, submersion marine par débordement au centre et submersion par ouverture d’une brèche sur un cordon dunaire à droite (Cariolet, 2011a).....	46
Figure 1-8 : Surcote (Source : http://refmar.shom.fr/fr/applications_maregraphiques/niveaux-extremes)	47
Figure 1-9 : Changements observés du niveau moyen mondial de la mer depuis 1993. Les données proviennent des enregistrements altimétriques par satellite du projet européen Copernicus Marine Service Information (https://marine.copernicus.eu/access-data/ocean-monitoring-indicators/time-series-mean-sea-level-trends-over-global-ocean)	49
Figure 1-10 : Projection du niveau marin à l’horizon 2100 selon les différents scénarios SSP (GIEC, 2021)	50
Figure 1-11 : Exemple d’évolution du niveau de la mer relatif entré 2000 et 2100 en considèrent l’élévation du niveau de la mer et le mouvement isostatique du sol	50
Figure 1-12 : Tendances des articles de recherche traitant de l’évaluation de la vulnérabilité au changement climatique de 1996 à 2016 (Di Matteo <i>et al.</i> , 2018).	53
Figure 1-13 : Sphères clés du concept de vulnérabilité (modifié d’après Birkmann, 2006)	56
Figure 1-14 : Les composantes de la vulnérabilité systémique, leurs interactions et leurs places dans les différentes approches d’évaluation de la vulnérabilité (modifiée de Meur-Ferec <i>et al.</i> , 2020).....	65

Figure 2-1 : Localisation de la commune de Port-Gentil (Réalisation : L. YEMBI, 2022).....	74
Figure 2-2 : Géologie du bassin sédimentaire côtier gabonais (modifiée de carte géologie du Gabon 2011) (Réalisation : L. YEMBI, 2022).....	75
Figure 2-3 : Coupe synthétique de la marge (modifié d'après Jocktane, (1992) cité dans Biscara, (2011)). Le tracé de la coupe se trouve dans la Figure 2-2.....	76
Figure 2-4 : Carte topo-bathymétrique de la partie nord de l'île Mandji réalisé par traitement SIG (A) et la photo aérienne de l'île Mandji (1956) présentant les cordons littoraux correspondant aux traits de côte successifs ainsi que le raccordement des bancs perpendiculaire en forme d'éventail nettement visible (B) (tirée de Biscara, 2011).....	77
Figure 2-5 : Profil topographique schématique de l'île Mandji (0 : NGCLZ).....	79
Figure 2-6 : Dynamique climatique : circulation générale des basses couches à l'origine des variations saisonnières (Modifié de Mpounza et Samba-Kimbata, 1990, (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	81
Figure 2-7 : Répartition spatiale des précipitations annuelles sur le bassin sédimentaire côtier gabonais, Modifié de Menie Ovono, 2010, (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	83
Figure 2-8 : Diagramme ombrothermique de la commune de Port-Gentil et le régime des saisons : les normales climatiques sont calculées sur la période 2004 - 2015 (Données : ASECNA, (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	85
Figure 2-9 : Nombre de jours de pluie mensuels et variation de la pression atmosphérique mensuelle calculés sur la période 2004 - 2015 (données ASECNA, (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	86
Figure 2-10 : Direction et intensité moyenne des vents au niveau du Cap Lopez du 19/09/2008 au 09/10/2010 (Donnée : Total Gabon, 2011 (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	87
Figure 2-11 : Vitesse et direction du vent moyennées sur 10 minutes (Source : Total Gabon, 2011).....	88
Figure 2-12 : Évolution des températures interannuelle (A) et mensuelle (B) durant la tranche temporelle 1978 à 2007 par rapport à la normale 1961-1990 (Données : Direction de la Météorologie Nationale, modifiée de M.U.E.D.D, 2011).....	89
Figure 2-13 : Variation interannuelle des précipitations durant la tranche temporelle 1978 à 2007 par rapport à la normale climatique (Données : Direction de la Météorologie Nationale, modifiée de M.U.E.D.D, 2011).....	90
Figure 2-14 : Localisation du golfe de Guinée et Port-Gentil ainsi que les circulations de surface et de sub-surface, la zone grise sur la carte en médaillon correspond à la présence de l'upwelling équatoriale (tiré de Mignard, 2017 d'après Jansen <i>et al.</i> , 1984) (A). La zone sur l'île Mandji présente la dérive littorale (B).	91
Figure 2-15 : Évolution temporelle de la hauteur significative, de la direction et du temps de pic de la houle observée au large de la côte atlantique dans une zone de -893m de profondeur du 01/07/1999 au 31/12/2006 (Source : Total Gabon, 2011).....	92
Figure 2-16 : Rose des houles aux alentours de l'île Mandji (source : Total Gabon, 2011).....	94
Figure 2-17 : Distribution des manges moyens de vive-eau à l'échelle mondiale (d'après Davies, (1964) tiré de Crapoulet, (2015)).....	95

Figure 2-18 : Caractéristiques de la marée dans la baie du cap Lopez en fonction des différents nivellements du Cap Lopez (-34m) et de Port-Gentil (-24 m) (source : Fugro et le SHOM, réalisation L. YEMBI, 2022)	96
Figure 2-19 : Élévation du niveau des mers entre 1992 et 2014 (Source : NASA Earth Obsevatory).....	97
Figure 2-20 : Évolutions passée et future du niveau moyen global de la mer (GIEC, 2022a).....	98
Figure 2-21 : Prise de vue oblique du parc à bois et de la construction du port Môle en béton dans la baie du Cap Lopez (source : https://www.delcampe.net/fr/collections/).....	100
Figure 2-22 : Evolution de la population du Gabon entre 1960 et 2020 (source : Banque Mondiale 2021)	102
Figure 2-23 : Représentation de l'effectif de la population et de la superficie du territoire national selon le milieu de résidence (DGS, 2015)	103
Figure 2-24 : Évolution démographique de la ville de Port-Gentil depuis 1904 (Réalisation L. YEMBI, 2022)	104
Figure 2-25 : Façade de la factorerie de la SHO et de celle de l'hôpital européen à Port-Gentil (Source : https://www.delcampe.net/ , consulté le 08/02/2022).....	105
Figure 2-26 : La croissance urbaine de la commune de Port-Gentil de 1949 à 2018 (Réalisation L. YEMBI, 2022)	107
Figure 2-27 : L'évolution spatiale de la ville de Port-Gentil. La photo du haut, vue oblique de Port-Gentil en 1959 (https://www.delcampe.net/fr/collections/) et en bas prise de vue oblique par drone (orientation nord-est vers sud- ouest) (Photo prise le 27 mars 2021 à 13h14 par Charles Yembé)	109
Figure 2-28 : Différentes couronnes de développement urbain, (A) première couronne, (B) deuxième couronne, (C) troisième couronne et leurs superficies (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	111
Figure 2-29 : Inondation pluviale dans les anciens marécages de la zone d'arrière la SEEG (photo prise le 06 janvier 2017 à 11h).....	112
Figure 2-30 : Inondation par la mer et installation précaire des câbles électriques (Photo prise le 12/01/2017 à 16h, marée prédite 2,2m en ZH).....	112
Figure 2-31 : Inondation au centre-ville de Port-Gentil le 30 mars 2013 (source : http://herxav.canalblog.com/).....	113
Figure 3-1 : Paramètres responsables des inondations directes de la mer (inspiré de Graff, (2020), (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	130
Figure 3-2 : Description de la méthodologie de cartographie des inondations directes par la mer à partir des différentes données acquises et les scénarios possibles. (Réalisation L. YEMBI, 2022)	131
Figure 3-3 : Localisation des deux zones d'expérimentations, représentant les deux niveaux d'échelle d'analyse (Réalisation L. YEMBI, 2022)	135
Figure 3-4 : Coupure de presse présentant l'événement historique de référence ayant causé des inondations par la mer dans la commune de Port-Gentil avec d'importants dégâts sur la façade est.	137

Figure 3-5 : Chronologie des observations marégraphiques sur le littoral gabonais (Sources : SHOM, GPM, (Reconstitution par L. YEMBI, 2022).....	138
Figure 3-6 : Exemples de marégramme provenant du SHOM du 19/02/ au 06/03/ 1962, soit 16 jours (A) et des tableaux climatologiques mensuels provenant de l'ASECNA (B).....	139
Figure 3-7 : État de la marée à Port-Gentil lors de l'événement du lundi 5mars 1962 (Source SHOM)....	140
Figure 3-8 : Conditions météo-marins de l'événement de référence du 5 mars 1962 reconstituée. Avec la reconstitution de la marée et des surcotes7décotes observées (A), les conditions météorologiques enregistrées à la station de Port-Gentil (B) (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	141
Figure 3-9 : Histogramme des houles significatives et de périodes des ondes de houle pour la bouée à la pointe du Cap Lopez situé à -15 m de profondeur en haut et la bouée au large de la côte ouest situé à 893 m de profondeur en bas (Figure 2-15 Chapitre 2) (Total Energies, 2011).....	145
Figure 3-10 : Démarche schématique de détection et de correction des points aberrants (réalisation L.Yembi, 2022)	150
Figure 3-11 : Exemple de détection des points aberrants (A) et d'ajustement d'altitude des points aberrants (B) (Réalisation L. YEMBI).....	151
Figure 3-12 : Schéma du principe de photogrammétrie(le trait plein en noir représente la surface du sol sous différentes perspectives (modifiée de Basara (2019))	153
Figure 3-13 : Protocoles d'acquisition et de traitement photogrammétrique SfM drone (Réalisation L. YEMBI)	154
Figure 3-14 : Drone Mavic Pro	155
Figure 3-15 : Phénomène de réflectance de la luminosité sur les toitures des bâtiments en aluminium (A) et sur des plans d'eau (B).	157
Figure 3-16 : Schéma du plan de vol et des conditions de recouvrement des imagettes	157
Figure 3-17 : Démarche de collecte des points de contrôle et de calage. La fiche signalétique présentant les informations sur la technique de collecte et la localisation du point levé, ainsi que le mobile du DGPS (A). L'emplacement du point sur l'ortophoto produite (B1). Un zoom sur l'angle du regard qui a été levé devant la chambre de commerce de Port-Gentil (B2) et en la présentation de la base du DGPS Stonex S800 (C) (Réalisation L. YEMBI).....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 3-18 : Démarche de collecte des points de contrôle et de calage. La fiche signalétique présentant les informations sur la technique de collecte et la localisation du point levé, ainsi que le mobile du DGPS (A). L'emplacement du point sur l'ortophoto produite (B1). Un zoom sur l'angle du regard qui a été levé devant la chambre de commerce de Port-Gentil (B2) et en la présentation de la base du DGPS Stonex S800 (C) (Réalisation L. YEMBI).....	159
Figure 3-19 : Répartition spatiale des points de calages et de contrôles. Les chiffres sur les points de contrôle indépendant (PCI) correspondent aux identifiants des points.	161
Figure 3-20 : Phase d'importation et d'alignement des photographies (B.1) ; positionnement automatique des points repères en vue du géoréférencement (B.2) ; ajustement du repère sur l'angle du regard levé sur le terrain (B.2.1).....	163

Figure 3-21 : Les différentes sorties des étapes B.1, B.4 à B.6 nécessaires à la construction du MNE de l'orthomosaïque du secteur d'application à une échelle fine. Le B.1 correspond au nuage de points épars ; B.4 correspond au nuage de points denses ; B.5 illustre le résultat de l'étape de la construction du maillage ; B.6 illustre la texture sur le maillage.....	165
Figure 3-22 : Illustration de l'étape B.7 et B.8. L'étape B.7 correspond à la réalisation du MNE à partir du nuage de points denses ; B.8 illustre la réalisation de l'orthomosaïque.....	166
Figure 3-23 : Nuage de points denses bruts (C.1) Nuage de points nettoyés (C.2)	167
Figure 3-24 : Différence d'altitude des modèles topographiques en fonction des points de référence (PCI) levés au DGPS (trait rouge).la bande grise représente les altitudes max et min connues de de l'île Mandji (réalisation L.Yembi 2022).....	169
Figure 3-25 : Outil de géotraitement pour automatiser la détermination des zones inondables, ainsi que les hauteurs d'eaux associées. A gauche me model Builder et à droite l'outil développé.....	171
Figure 3-26 : Approche utilisée pour déterminer les zones inondables ayant une connexion hydrographique avec l'océan (Inspirée de Cooper <i>et al.</i> , (2013), (rRéalisation L. YEMBI, 2022).....	172
Figure 3-27 : Intersection de l'étendue des zones inondables par la mer (zone bleue) à partir du PMVE et la limite de la laisse de mer (Trait rouge). (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	173
Figure 3-28 : Illustration des marquages physiques utilisés sur le terrain pour délimiter la limite des plus hautes eaux identifiées sur le terrain image du haut à gauche (photo prise le 5 février 2019 à 17h30) et par orthophoto drone sur l'image en haut à droite, ainsi que les hauteurs à certains points (quartier Matanda).	174
Figure 3-29 : Extension spatiale de la mer vers les terres pour un niveau de pleines mers de vives-eaux. (A) cartographie des zones inondables avec conservation des secteurs non connectés aux eaux de mer ou avec des ouvrages d'assainissement. (B), cartographie après nettoyage des plans d'eau non connectés aux eaux de mer ou avec des ouvrages d'assainissements (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	176
Figure 4-1 : Étape d'évaluation de la vulnérabilité physique à partir d'indices synthétiques (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	188
Figure 4-2 : Chaîne de traitement en vue de la production de la couche d'occupation du sol dominant à une échelle moyenne (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	191
Figure 4-3 : Les grands ensembles d'occupation du sol de base de 2015 (Réalisation L. YEMBI, 2022) ..	193
Figure 4-4 : Capture d'écran de la plateforme OSM localisée sur la ville de Port-Gentil (20/06/2022). ...	196
Figure 4-5 : Cartographie des bâtiments de la zone d'expérimentation à grande échelle (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	197
Figure 4-6 : Différents types de route avec et sans revêtement à Port-Gentil. Route bitumée du boulevard Léon MBA (Route principale) (A), Route pavée à la nouvelle route de Pentecôte (Route secondaire) (B), Route sans revêtement sur du sable derrière l'église Pentecôte (Route tertiaire) (C), Route en latérite dégradée par les inondations pluviales aux abords de la centrale de traitement de l'eau potable au quartier Bac-Aviation(D).....	200

Figure 4-7 : Processus technique d'enquête de terrain sur la collecte des caractéristiques des enjeux (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	201
Figure 4-8 : modèle d'agrégation pour la production de l'indice de vulnérabilité physique de l'occupation du sol à l'échelle moyenne (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	207
Figure 4-9 : Modèle d'agrégation des indicateurs pour la production des indices de vulnérabilité du bâti (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	209
Figure 4-10 : Modèle d'agrégation des indicateurs pour la production des indices de vulnérabilité du réseau routier (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	209
Figure 4-11 : Toolbox Building vulnerability index (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	210
Figure 4-12 : Détail d'affectation des hauteurs d'eau aux enjeux bâti et route. AN1 : Aléa niveau 1, AN2 : Aléa niveau 2, VRN1 : Vulnérabilité Routière avec Niveau d'eau 1, VRN2 : Vulnérabilité Routière avec	211
Figure 5-1 : Complexité de la représentation du risque : facteurs de représentation et projections de la représentation (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	222
Figure 5-2 : Répartition des ménages enquêtés dans la commune de Port-Gentil (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	234
Figure 5-3 : Pyramide des âges de la population enquêtée.....	237
Figure 5-4 : Fond de carte des alentours de Port-Gentil présenté aux autorités politico-administratives et aux populations.....	241
Figure 5-5 : Exemple de représentation graphique des zones exposées aux inondations marines en bleu et les secteurs de la ville à forts enjeux en Rouge et la croix bleue qui indique la position de la résidence selon l'enquêté ayant pour code 1385 (carte de gauche). Ensemble des représentations graphiques des cartes mentales réalisées par les enquêtés (Population), montrant les zones considérées à risque d'inondation marine (ZRI) après traitement SIG (carte de droite).....	244
Figure 5-6 : schéma méthodologie de l'évaluation de la vulnérabilité physique des enjeux en fonction des différents scénarios d'aléa (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	250
Figure 5-7 : Ensemble du processus d'acquisition et de traitement des données de l'enquête par questionnaire et deux enquêtrices dans les quartiers de Port-Gentil (Réalisation L. YEMBI, 2021).....	251
Figure 6-1 : Différentes légendes Bivarié avec la lecture des différentes cases pour chaque enjeu. IHE : indicateur de Hauteur d'Eau, IVIOSD : Indicateur de Vulnérabilité intrinsèque de l'Occupation du Sol Dominant, IVIR : Indicateur de Vulnérabilité intrinsèque de la Route, IVIB : Indicateur de Vulnérabilité intrinsèque du Bâti.....	260
Figure 6-2 : Cartes d'aléa inondation par la mer selon les scénarios S1 (A) et S2 (B) dans les conditions C.1, avec la topographie de 1974 (Niv. Observés 1962).....	261
Figure 6-3 : Cartographie de l'aléa inondation par la mer selon les scénarios S8 (A), S10(B), S11(C), et S2 (D) dans les conditions C.1 avec la topographie de 1974. (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	263
Figure 6-4 : Inondation des quartiers Matanda et Lippe lors des fortes Marées en saison sèche.....	264

Figure 6-5 : Vue aérienne de l'anthropisation de la côte ouest entre 2007 (A) et 2018 (B) (emprise sur la carte ci-dessous).....	265
Figure 6-6 : Cartographie de l'aléa inondation par la mer selon le scénario S12 dans les conditions C.3 avec la topographie de 1974. (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	267
Figure 6-7 : statistiques descriptives de l'occupation du sol dominant sur l'ensemble de la partie nord de l'île Mandji (A), statistiques descriptives de l'occupation du sol dominant des limites communales de Port-Gentil (B). (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	269
Figure 6-8 : Cartographie de l'occupation du sol dominant sur la partie nord de l'île Mandji (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	270
Figure 6-9 : Véhicule bloqué sur une route inondée par les eaux de pluie au quartier SIBI.....	272
Figure 6-10 : Le réseau routier de la partie nord de l'île Mandji, (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	273
Figure 6-11 : Statistique descriptive des variables des indicateurs sur le réseau routier. (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	274
Figure 6-12 : Cartographie de l'indicateur de vulnérabilité intrinsèque de l'utilisation du sol dominant (A) et du réseau routier (B) (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	276
Figure 6-13 : Cartographies de la vulnérabilité physique de l'occupation du sol dominant en fonction des scénarios S8, S10, S11 S12, sous les conditions C.1. (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	277
Figure 6-14 : Proportion du niveau de vulnérabilité des superficies d'occupation du sol dans la partie nord de l'île Mandji, en relation avec les scénarios S8, S10, S11, S12 sous les conditions C.1. (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	279
Figure 6-15 : Cartographie de la vulnérabilité physique de l'occupation du sol dominant en fonction du scénario S12, sous les conditions C.3. (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	280
Figure 6-16 : Proportion du niveau de vulnérabilité des superficies d'occupation du sol dans la partie nord de l'île Mandji, en relation avec le scénario S12 sous les conditions C.3. (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	281
Figure 6-17 : Cartographies de la vulnérabilité du réseau en relation avec les scénarios S8, S10, S11 et S12 sous les conditions C.1. (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	285
Figure 6-18 : proportion de la vulnérabilité du réseau routier en fonction des combinaisons IHE et IVIR pour les scénarios S8, S10, S11, S12 dans les conditions C.1. (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	286
Figure 6-19 : proportion de la vulnérabilité du réseau routier en fonction des combinaisons IHE et IVIR pour le scénario S12 dans les conditions C.3. (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	287
Figure 6-20 : Niveau de vulnérabilité du réseau routier en relation avec le scénario S12 sous les conditions C.3. (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	288
Figure 6-21 : synthèse des indices de vulnérabilité intrinsèque de la commune de Port-Gentil à l'échelle du quartier : (A) indice de hauteur d'eau (scénario S12/C.3) ; (B) indice de vulnérabilité intrinsèque de l'occupation du sol dominant (IVIOSD) ; (D) indice de vulnérabilité intrinsèque du réseau routier (IVIR) ; (C) indice de vulnérabilité intrinsèque général des quartiers (IVIQ). (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	290

Figure 6-22 : carte de synthèse de la vulnérabilité physique des quartiers de Port-Gentil en prenant le scénario extrême dans les conditions C.3. (Réalisation L. YEMBI, 2022)	292
Figure 6-23 : Vue du front de mer de la côte est au niveau de de l'hôtel Mandji (Extraits d'une vidéo sur les réseaux sociaux).....	294
Figure 6-24 : Vue de la principale route du front de mer de la côte est au niveau de la BEAC en dégradation en raison des travaux de la digue inachevés.....	294
Figure 6-25 : Cartographie de l'aléa inondation marine selon les scénarios S1(A) et S2 (B) dans les conditions C.1 (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	295
Figure 6-26 : Etat des Palplanches des canaux de la ville comme facteur d'aggravation des inondations dans le centre-ville (photo prise le 5 décembre 2021 à 14h48, Niveau de la marée prédite 1,3 m (NGCLZ)marée montante avec un niveau absolu prédit à 1,79 m (NGCLZ).....	296
Figure 6-27 : Cartographies des zones inondables par la mer dans le centre-ville selon les scénarios S8 (A), S10 (B), S11 (C) et S12 (D) dans les conditions C.1 à partir du MNE généré par photogrammétrie. (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	297
Figure 6-28 : Cartographies des zones inondables par la mer dans le centre-ville selon les scénarios S12 dans les conditions C.3 à partir du MNE généré par photogrammétrie. (Réalisation L. YEMBI, 2022)	298
Figure 6-29 : Vue transversale des niveaux d'eau sur les profils topographiques P1, P2 et P3 du secteur pilote (réalisation L. YEMBI, 2022).....	299
Figure 6-30 : Vue transversale des niveaux d'eau sur les profils topographiques P4, P5, P6 et P7 du secteur pilote (réalisation L. YEMBI, 2022).....	300
Figure 6-31 : statistique descriptive de la fonction du bâti	302
Figure 6-32 : Répartition spatiale des enjeux dans le centre-ville de Port-Gentil et vue oblique de la concentration des enjeux stratégiques dans un secteur d'environne 50 ha (Prise de vue oblique par drone, le 15 mars 2019) (Réalisation : L. YEMBI, 2022).....	302
Figure 6-33 : Statistique des types de matériaux utilisés dans la construction à Port-Gentil.....	303
Figure 6-34 : Statistique descriptive sur le bâti du centre-ville de Port-Gentil. (A) statistique des hauteurs des fondations des bâtiments et (B) la statistique du nombre d'étages des bâtiments à Port-Gentil.....	304
Figure 6-35 : Proportion de bâtiment exposé en fonction des scénarios S8, S10, S11 et S12 dans les conditions C.1 et selon les hauteurs d'eau.....	305
Figure 6-36 : Proportion du niveau de vulnérabilité des bâtiments dans le centre-ville de Port-Gentil, en relation avec les scénarios S8, S10, S11 et S12 sous les conditions C.1. (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	306
Figure 6-37 : Vulnérabilité du bâti, selon le scénario S8, S10, S11 et S12 sous les conditions C.1. (Réalisation L. YEMBI, 2022).....	307
Figure 6-38 : Part des bâtiments impactés par niveau d'eau selon de S12 des conditions C.1	308
Figure 6-39 : Proportion du niveau de vulnérabilité des bâtiments dans le centre-ville de Port-Gentil, en relation avec le scénario S12 sous les conditions C.3. (Réalisation L. YEMBI, 2022)	309

Figure 6-40 : Vulnérabilité du bâti, selon le scénario S12 sous les conditions C.3. (Réalisation L. YEMBI, 2022)	309
Figure 6-41 : Phénomène de blocage des écoulements des eaux pluviale par un fort coefficient de marée (réalisation L. YEMBI, 2022).....	314
Figure 6-42 : Sortie des ouvrages d'assainissement des eaux de ruissellement vers la mer (Côte est).	315
Figure 7-1 : Le temps passé dans la commune (Depuis combien de temps vivez-vous à Port-Gentil ? (Q1) (Gauche). Le temps passé dans le quartier (depuis combien de temps habitez-vous dans ce quartier ? (Q2)) (Droite). (Source : Enquête de terrain 2018-2019, Louis YEMBI, 2022).....	319
Figure 7-2 : Fréquence des thèmes qui justifient le choix de résidence des populations interrogées : Pourquoi habitez-vous ici ? (Trois raisons au plus) (Q3).....	320
Figure 7-3 : Si vous aviez l'opportunité de vivre dans un logement identique, mais ailleurs, est-ce que vous déménageriez ? (Q8). (A) Si (oui) Où précisément ? (Q9) (B)	321
Figure 7-4 : Si l'on déclare votre zone d'habitation à risque, allez-vous partir ? (Q12) Si (oui), vous allez : (Q13).....	322
Figure 7-5 : Moyenne des notes d'appréciation du quartier où les enquêtés vivent « En fin de compte, pouvez-vous donner une note de 0 à 5 pour dire si vous êtes satisfait du lieu où vous résidez ? » (Q7)....	325
Figure 7-6 : Nuage de mot en lien avec le risque à Port-Gentil.	327
Figure 7-7 : mot et expression expriment le « Risque » pour les enquêtés dans la commune	328
Figure 7-8 : Impacte des inondations pluviales dans la commune de Port-Gentil. Inondation de la principale voie routière du quartier Bac-Aviation, précisément au niveau du marché SIBI dans troisième couronne urbaine (A). Inondation en plein centre-ville, précisément devant le trésor public la direction provinciale de la documentation (B).....	329
Figure 7-9 : Positionnement du risque d'inondation par la mer dans le plan inquiétude/exposition par rapport aux autres risques (Source : enquête de terrain 2018-2019, L. YEMBI, 2022).....	331
Figure 7-10 : Pensez-vous que Port-Gentil soit particulièrement sensible aux inondations venant de la mer (Q35) ?.....	333
Figure 7-11 : Selon vous, quels sont les mois de l'année où l'on a le plus de chance de subir les inondations ? (Q32) (A). Selon vous quels sont les mois de l'année où l'on a le plus de chance de subir les inondations venant de la mer ? (Q36) (B).....	334
Figure 7-12 : Sur une échelle de 0 à 5, comment évaluez-vous votre degré d'inquiétude actuelle vis-à-vis du risque inondation par la mer (Q44) (A) ? Sur une échelle de 0 à 5, comment évaluez-vous votre degré d'inquiétude futur vis-à-vis du risque inondation par la mer (Q45) (B) ?	335
Figure 7-13 : Moyenne du sentiment d'inquiétude aux risques d'inondation par la mer présente (A) et future (B) par quartier.....	336
Figure 7-14 : Inondation marine par le jeu de la marée dans le quartier lippe (image de gauche) et Matanda (image de droite) (photos prises 12/01/2017 à 15h, marée 1,95 SHOM).....	337

Figure 7-15 : Représentation cartographique des points chauds et froids indépendants pour chaque risque auquel la population se sent exposée (Yembi-Yembi <i>et al.</i> , 2022).....	344
Figure 7-16 : Représentation des emprises des zones à risque d'inondation par la mer (A) et à très forts enjeux (B) selon les autorités politico-administratives locales	347
Figure 7-17 : Représentation des emprises des zones à risque d'inondation par la mer (A) et des zones à très forts enjeux (B) selon les populations enquêtées.....	349
Figure 7-18 : Organisme le mieux placé pour lutter contre les inondations marines selon les enquêtés	351
Figure 7-19 : Pensez-vous que le gouvernement ou les autorités locales font des efforts pour régler le problème des inondations par la mer à Port-Gentil ? (A), Pensez-vous que la mairie de Port-Gentil gère les risques d'inondation dans la commune ? (B).....	352
Figure 7-20 : Pensez-vous que les autorités locales devraient se saisir du problème des inondations marines actuellement ? (Q56).....	353
Figure 7-21 : Pour lutter contre les inondations d'origine marine, quelle méthode aimeriez-vous voir aboutir ? (Q57).....	354
Figure 7-22 : Si les autorités locales décident de prélever 10 000 francs CFA de taxe par ménage et par an pour la construction des ouvrages de protection, allez-vous accepter de payer ? (Q58).....	355
Figure 7-23 : Part des enquêtés acceptant de payer pour la construction d'ouvrages de protection selon les méthodes de protection qu'ils aimeraient voir aboutir	355
Figure 7-24 : Part des enquêtés acceptant de payer pour la construction d'ouvrages de protection selon les dépenses mensuelles des ménages.....	356
Figure 7-25 : Organismes à qui les enquêtés feraient le plus confiance dans la prise en compte de leurs préoccupations en matière de gestion du risque (Q55).....	357
Figure 7-26 : Selon vous, quel l'organisme est le mieux placé pour lutter contre les inondations marines (Q49) ? (Couleur rouge), A qui feriez-vous le plus confiance dans la prise en compte de vos préoccupations en matière de gestion des risques (Q55) ? (Couleur bleue).....	358
Figure 7-27 : Organismes auxquels les enquêtés font le plus confiance et les raisons pour lesquelles ils ne veulent pas payer pour la construction d'ouvrages de protection.....	358
Figure 8-1 : Frise de la construction de la gouvernance des risques de catastrophe au Gabon (Réalisée par L. YEMBI, 2022).....	374
Figure 8-2 : Installation anarchique dans les zones de mangrove (zone quartier Lippe 2 et 3 au sud de la commune de Port-Gentil).....	379
Figure 8-3 : Organisation de la commission de contrôle de suivi de la gestion des espaces non bâtis et des zones à risques dans les villes gabonaises (Réalisation L. YEMBI, 2023).....	387
Figure 8-4 : Organisation du Comité interministériel d'experts en gestion des situations d'urgence (Réalisation L. YEMBI, 2023).....	389

Figure 8-5 : Organisation de la plate-forme nationale pour la prévention et la réduction des risques de catastrophes (Réalisation L. YEMBI, 2023).....391

Figure 8-6 : Action politique de gestion des risques.....394

Figure 8-7 : Construction anarchique sur le trait de côte (Photo prise le 12 janvier 2017 à 16h, marée prédite 1,36 m NGCLZ).....397

Figure 8-8 : Déforestation de la couverture forestière de mangrove dans la zone du secteur de la SOGARA au nord en 2007 (A) et 2019 (B) à des fins d'aménagement, et au sud dans les quartiers Lippe 1 et 2 entre 2007 (C) et 2019 (D) par une installation anarchique.....398

Figure 8-9 : Différents ouvrages de protection contre les assauts de la mer : A) Enrochement, B) Mur de soutènement, C) Quai, D) Mur, E) Enrochement, F) Palplanches dans un état de délabrement (Source : L. YEMBI, enquête de terrain août 2019).....402

Figure 8-10 : Les grandes étapes de la gestion des risques au Gabon.....**Erreur ! Signet non défini.**

Liste des tableaux

Tableau 1-1 : Synthèse des enjeux évaluer dans les études pourtant sur le risque (Hénaff et Philippe, 2014)	37
Tableau 1-2 : Critère de classification de l'aléa d'après les caractéristiques Durée, hauteur, Vitesse. (Source : Scarwell et Laganier, 2017)	42
Tableau 1-3 : Récapitulatif des caractéristiques de la vulnérabilité biophysique (Reghezza, 2006).....	60
Tableau 1-4 : Facteurs de vulnérabilité territoriale (Thouret et D'Ercole, 1996 cité par Chionne, 2019).....	64
Tableau 2-1 : Présentation du régime des marées à l'île Mandji en fonction du zéro hydrographique du SHOM, et rapporté au Nivellement du Cap Lopez (CLZ) et de Port-Gentil (POG) (Réalisation L. YEMBI, 2022)	96
Tableau 3-1 : Différentes anomalies relevées sur les marégrammes de la période 1961-1965(Source : SHOM).....	138
Tableau 3-2 : Formules empiriques du wave setup les plus utilisés dans la littérature	143
Tableau 3-3 : Paramètres de contrôle et résultat du modèle de Komar.....	145
Tableau 3-4 : Calcul des différents paramètres en fonction d'un niveau extrême historique, ayant servi à estimer les niveaux d'eau extrême en fonction de plusieurs scénarios. η : niveau exceptionnel déterminé à partir de la marée observé en 1962 et le Wave setup ; NM : Niveau Moyen ; PMVE : Pleines Mers de Vives-Eaux. L'ensemble des hauteurs d'eau (Réalisation L. YEMBI, 2022)	147
Tableau 3-5 : Altitude des points des MNE/MNT et des PCI (en italique).....	168
Tableau 4-1 : Description des indices utilisés.....	192
Tableau 4-2 : Récapitulatif des catégories d'occupation du sol	195
Tableau 4-3 : Les différents indicateurs et les variables qui caractérisent le bâti enquêté	198
Tableau 4-4 : Les différents indicateurs et les variables qui caractérisent le réseau routier enquêté	200
Tableau 4-5 : Comparaison des variables des indicateurs définie dans l'évaluation de la vulnérabilité physique aux inondations. IFB : Indicateur de la Fonction du Bâti, INE : Indicateur Nombre d'Étages, IHF : indicateur hauteur des fondations, IMC : Indicateur des Matériaux de Construction, IEC : Indicateur État des Constructions, ITR : indicateur du Type de Route, IR : Indicateur de revêtement, INV : Indicateur du Nombre de Voies, IER : Indicateur d'Etat de la Route.....	205
Tableau 5-1 : Facteurs influençant la représentation du risque	222
Tableau 5-2 : Récapitulatif des personnes rencontrées dans les administrations à Port-Gentil.....	227
Tableau 5-3 : Caractéristiques socio-économiques de la population enquêté (source : enquête de terrain 2018-2019, L. YEMBI).....	238
Tableau 6-1 : Récapitulatif des scénarios pertinents retenu pour analyse.....	259

Tableau 6-2 : Synthèse des surfaces impactées par les inondations par la mer en fonction des différents scénarios retenus et les auteurs d'eau associées sur la partie nord de l'île Mandji.....	268
Tableau 6-3 : Proportion des superficies d'occupation du sol affectées dans la partie nord de l'île Mandji, en relation avec le scénario S12 sous les conditions C.3.....	282
Tableau 6-4 : Proportion du réseau routier affecté dans la partie nord de l'île Mandji, selon le type de route et de revêtement en relation avec le scénario S12 sous les conditions C.3.	289
Tableau 6-5 : Proportion des bâtiments affectés dans le centre-ville, selon leur fonction, en relation avec le scénario S12 sous les conditions C.3.....	310
Tableau 7-1 : Les avantages (tableau de gauche (Q4)) et les inconvénients (tableau de droite (Q5)) qui résument le mieux les différents quartiers de Port-Gentil. Le descriptif des codes des réponses est en Annexe 5.....	324
Tableau 7-2 : Variables mobilisées et leurs codifications (Yembi-Yembi <i>et al.</i> , 2022).....	339
Tableau 7-3 : Modèles de régression logistique binaire (Yembi-Yembi <i>et al.</i> , 2022).....	340
Tableau 8-1 : Type d'occupation du sol présent dans la bande des 100 m à partir de la limite des plus hautes marées.....	377
Tableau 8-2 : Les acteurs de la gestion des risques au Gabon et leurs missions.....	382

Annexes

Annexe 1 : Position et présentation de l'ancien marégraphe de Port-Gentil

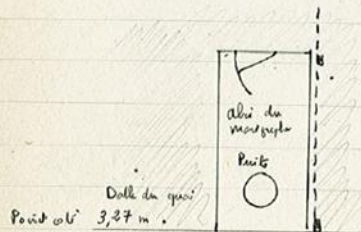
74.

Zéro de réduction des sondes.

Le zéro de réduction des sondes est le niveau de référence du Service du cadastre de Port-Gentil. Toutes les cotes indiquées ci-dessus sont rapportées à ce niveau dont l'origine est par ailleurs inconnue.

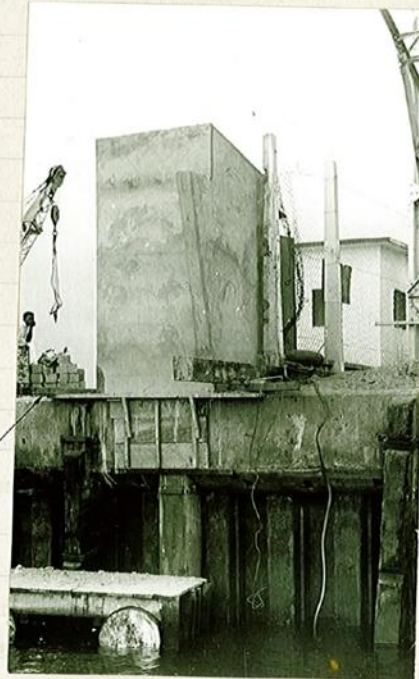
Remarque supplémentaire.

La dalle du quai à proximité du marégraphe comme indiqué sur le schéma ci-contre a été nivelée pour permettre des comparaisons de hauteurs d'eau à l'intérieur du puits et dans le port.



Marégraphe Brille

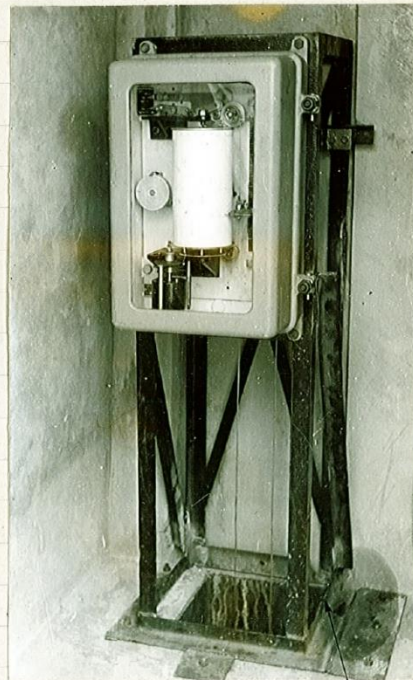
Point coté 3.27m.



70

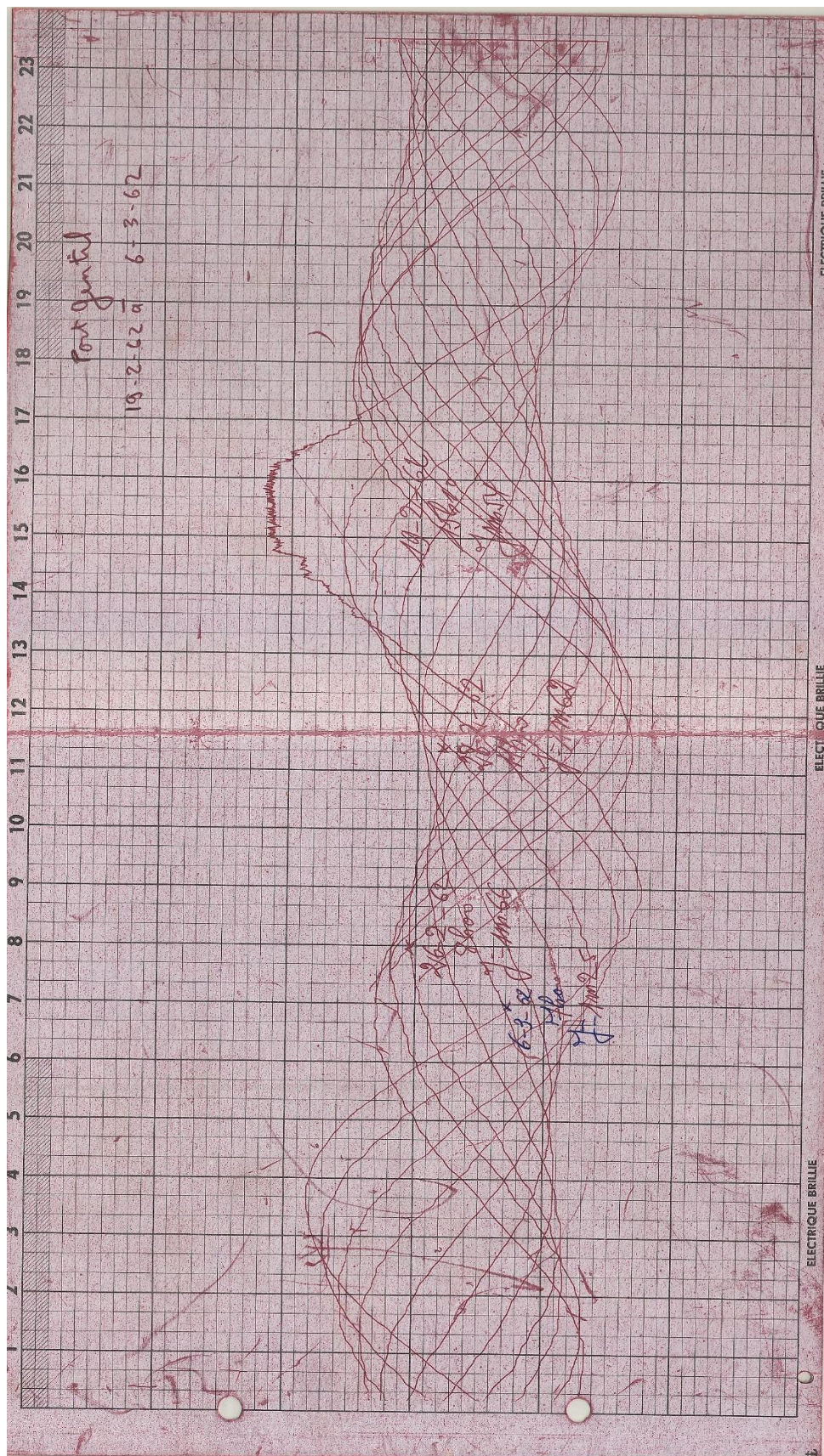


Repère du hangar B₂ (Gorge du 3^{ème} boulon à partir du sol)

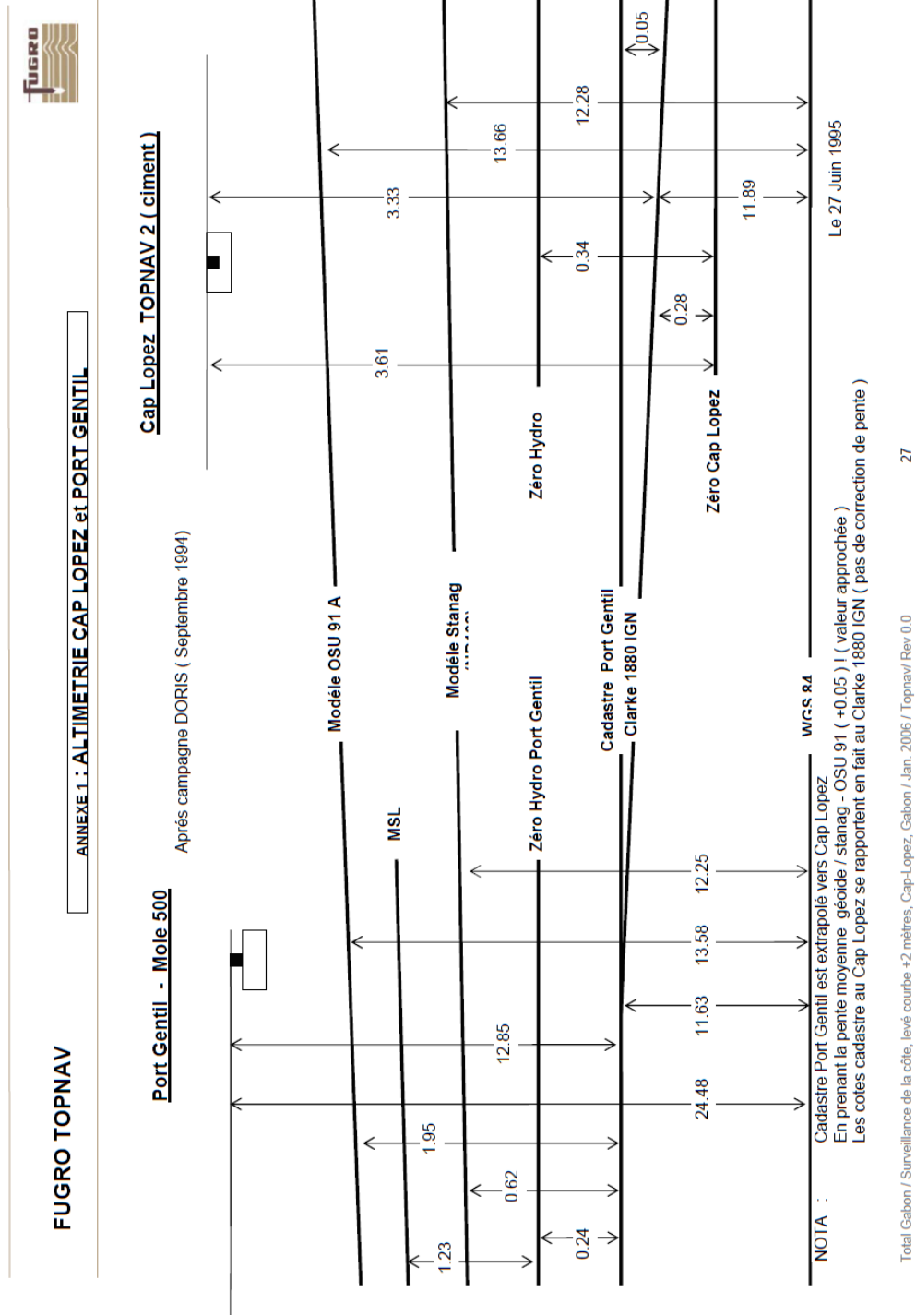


*Repère de la jouge (B₂)
(Trait de scie sur la cornière)*

Annexe 2 : Marégramme mettant en évidence l'anomalie du 5/03/1962
(source SHOM)



Annexe 3 : Altimétrie du Cap Lopez et Port-Gentil



Guide d'entretien soumis aux élus locaux et gestionnaires du territoire

Commune de Port-Gentil

Évaluation de la vulnérabilité urbaine face aux inondations d'origine marine : cas de la ville de Port-Gentil

Organisme :

Fonction de la personne interviewée :

Durée de l'entretien : heure début : ____ heure fin : ____.

Bonjour Madame (Monsieur)

Nous allons procéder à un entretien d'une quarantaine de minutes, concernant la manière dont vous appréhendez l'environnement socio-environnementale de la ville de Port-Gentil et la manière dont vous vous représentez le risque d'inondation par la mer. Je vais donc vous poser quelques questions auxquelles vous pourrez choisir de répondre ou non et de les développer. Notre objectif n'est pas de vous juger ou de vous évaluer. Aussi, il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse ; certaines questions sont volontairement larges pour vous donner la possibilité de répondre sans vous influencer. Répondez donc de la manière la plus spontanée et la plus précise possible.

Afin de vous aider à visualiser le déroulement de cet entretien, je voudrais vous en présenter les grandes lignes. Tout d'abord, nous parlerons de vous et du poste que vous occupez. Ensuite, nous parlerons de l'environnement socio-environnementale de la ville de Port-Gentil. Puis la problématique des inondations en général et celles d'origine marine en particulier. Enfin, nous parlerons des dispositions réglementaires relatives aux risques côtiers, notamment les inondations marines du point de vue de leur gestion. Cet entretien sera enregistré afin de procéder à une bonne retranscription pour une analyse du contenu.

Avant de commencer, avez-vous des questions ?

En italiques (indications pour l'enquêteur : orientation des questions supplémentaires si la réponse de l'intervinté n'est pas développée)

En bleu : question destinée spécialement aux services territoriaux (cadastre, direction de l'environnement, urbanisme...)

En vert : question destinée spécialement aux élus locaux

PRESENTATION DE L'ENQUETE ET DES FONCTIONS OCCUPEES

« Pouvez- vous me parler de Vous ? »

- pouvez-vous me décrire en quelques mots à quoi consiste votre travail

- Quelles sont les qualités nécessaires pour occuper cette fonction ?

- De quel parti politique appartenez-vous ?

- Quelles sont les motivations qui sous-tendent votre choix de participer à la vie politique de la municipalité (Maire, député, sénateur)

- Quelle est votre formation professionnelle ?

- Quels sont les principaux objectifs du budget de la municipalité (de votre direction) ?

- Depuis quand travaillez-vous aux services de la ville de Port-Gentil ? Vous avez suivi quelle formation ?

DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT GENERAL DE PORT-GENTIL

« Pouvez-vous me décrire la commune de Port-Gentil et son environnement ? »

Quels sont les atouts et les inconvénients de la commune de Port-Gentil ?

Comment définissez-vous cette commune ?

Pensez-vous que c'est une belle ville à l'état actuelle ? et pourquoi ?

Y'a-t-il des points d'amélioration pour la rendre encore plus belle ? lesquels ?

Pouvez-vous décrire l'environnement de la commune du point de vue naturel, social, culturel, économique... ?

Quelle place occupe la mer dans la commune ?

Quel usage est fait du front de mer et de la mer ?

LE PROBLEME DES INONDATIONS

« Pouvez-vous nous parler des inondations au niveau de la commune ? »

Quel est votre rôle et votre champ d'action en matière d'inondation de votre direction ?

Selon vous à quoi est due les inondations au niveau de la ville de Port-Gentil de manière générale ?

Pensez-vous que la commune soit concernée par les inondations d'origine marine ? pourquoi ?

A quoi peut être due une inondation d'origine marine selon vous ?

Pensez-vous que Port-Gentil est vulnérable aux inondations marines ? De quelle manière ?

Est-ce un problème majeur ou mineur sur la commune ?

Quelles seraient les conséquences des inondations marines selon vous ?

D'où tenez-vous vos sources d'information sur ce type d'inondation ?

Avez-vous un souvenir d'un événement d'inondation par la mer à Port-Gentil ?

Avez-vous vécu des événements d'inondation par la mer sur la commune ? Lesquels (*une date*) ?

Quelles en ont été les conséquences ?

Selon vous quelles sont les zones de la commune qui sont les plus vulnérables aux inondations marines ? (Présentation d'un fond de carte ou image aérienne). Quels sont ceux où les enjeux sont les plus forts ?

Selon vous quels sont les mois de l'année où on a le plus de chance de subir les inondations par la mer ?

Pensez-vous que Port-Gentil pourrait disparaître par une augmentation du niveau de la mer à l'avenir ?

GESTION DES INONDATIONS ET PROPOSITIONS D'ACTIONS

Avez-vous connaissance de la réglementation relative à la gestion des inondations ?

Est-elle appliquée ? si non, pourquoi selon vous ?

Selon vous en quoi consiste la gestion des inondations ?

Qui est responsable de cette gestion au niveau de la commune ? Et au niveau national ?

Au sein de la commune, qui est concerné par la gestion des risques côtiers, particulièrement des inondations marines ?

La politique de développement sur la commune tient-elle compte de l'existence du risque submersion marine ? *Si oui, de quelle manière ? (Restriction des constructions, adaptation des habitations : matériaux, prescriptions particulières). Pouvez-vous donner des exemples ?*

En tant qu'élu local, êtes-vous associé aux programmes de gestion du littoral et de son aménagement ? si oui de quelle manière ? si non pourquoi selon vous ?

Vous suivez les directives gouvernementales, votre service se limite-t-il simplement à appliquer ces directives ou y a-t-il une place pour l'initiative locale en matière de gestion des risques ?

Selon vous quel est le ministère à même de mieux gérer le problème des inondations au Gabon ?

Selon vous au niveau de Port-Gentil quelle direction serait le mieux placée pour lutter contre les inondations en général et ceux d'origine marine en particulier ?

Actuellement, qui est le premier responsable en matière de gestion de risque dans la commune ?

Pensez-vous avoir les moyens nécessaires pour lutter contre ce type d'inondation au niveau local ?

Selon vous les actions menées actuellement sont-elles adaptées à la situation actuelle ? si oui, sont-elles aussi adaptées aux situations avenir ? (*Augmentation du niveau marin dû au réchauffement climatique*)

Que faudrait-il faire à l'avenir pour réduire ou ne pas aggraver la vulnérabilité des biens et des personnes aux inondations marines au niveau communal ?

Souhaitez-vous ajouter un commentaire sur l'entretien ou sur la problématique évoquée lors de cet entretien ?

Je vous remercie Madame, Monsieur pour votre patience et votre participation, surtout pour l'intérêt que vous avez porté à cet entretien.

Annexe 5 : Extrait du questionnaire géolocalisé réalisé sur smartphone au près des populations

Représentation du Risque d'Inondation par la Mer à Port- Gentil (RIMPOG)

LES ATTRAITS LOCAUX ET ATTACHEMENT AU TERRITOIRE

Depuis combien de temps vivez-vous à Port-Gentil?

- Moins de 2 ans
- 2 à 5 ans
- 6 à 10 ans
- 10 à 20 ans
- 20 à 30 ans
- Plus de 30 ans
- Depuis toujours

Depuis combien de temps vivez-vous dans ce quartier?

- Moins de 2 ans
- 2 à 5 ans
- 6 à 10 ans
- 10 à 20 ans
- 20 à 30 ans
- Plus de 30 ans
- Depuis toujours

Pourquoi habitez-vous ici?(Trois raisons au plus)

- | | | |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> Terrain bon marché | <input type="checkbox"/> La famille | <input type="checkbox"/> Le travail |
| <input type="checkbox"/> La convivialité de la commune | <input type="checkbox"/> La sécurité | <input type="checkbox"/> La tranquillité |
| <input type="checkbox"/> La mer | <input type="checkbox"/> Le coût de la vie | <input type="checkbox"/> Qualité de la vie |
| <input type="checkbox"/> Je n'ai pas le choix | <input type="checkbox"/> Autre | |

Parmi les avantages suivants, quels sont les deux qui résument le mieux votre lieu de résidence?

- Terrain bon marché
- Proximité au lieu de travail
- Facilité de transport
- Présence de commerce proche
- Accès facile à la route
- Proximité de la forêt
- Proximité d'établissements scolaires
- Proximité à la mer
- Bon voisinage
- Tranquillité
- Aucun de ceux-là

Parmi les inconvénients suivants, quels sont les deux qui résument le mieux votre lieu de résidence?

- Terrain cher
- Absence de route
- Mauvais voisinage
- Insalubrité
- La proximité avec la mer
- Manque de commerce
- Eloignement des établissements scolaires
- Eaux stagnantes
- Manque d'eau courante
- Manque d'électricité
- Inondations
- Aucun de ceux-là

De manière générale, êtes-vous satisfait de votre lieu de résidence?

- Oui
- Non
- Pas vraiment

En fin de compte, pouvez-vous donner une note de 0 à 5 pour dire si vous êtes satisfait du lieu où vous résidez:

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Si vous aviez l'opportunité de vivre dans un logement identique mais ailleurs, est-ce que vous déménageriez?

- Oui
- Non
- Déjà prévu

Où précisément?

- Dans un autre quartier
- Peut importe sauf mon quartier actuel
- Surtout proche du littoral
- Surtout pas proche du littoral

Où pensez-vous résider dans 20 ans?

- Dans le même logement
- Dans la même commune, mais pas dans le même logement
- Dans une autre commune du Gabon
- Ailleurs qu'au Gabon

Dans quelle ville?

- Ville côtière de préférence
- Ville de l'intérieur du Gabon

Si on déclare votre zone d'habitation à risque, allez-vous partir?

- Oui
- Non

Si (oui), Vous allez:

- Partir de la commune
- Partir dans un autre quartier

Si (Non) pourquoi?

Aimeriez-vous que vos proches viennent vivre à Port-Gentil?

- Oui
 Non

SITUATION D'OCCUPATION DU LOGEMENT

Quel est votre statut dans ce logement?

- Propriétaire
 Locataire

Pouvez-vous situer votre logement sur ce fond de carte?

- Oui
 Non

Avez vous un titre foncier?

- Oui
 Non

En quelle année ce bâtiment à été construit?

yyyy

Depuis combien de temps vivez-vous dans ce logement?

- Moins de 2 ans
 2 à 5 ans
 5 à 10 ans
 10 à 20 ans
 20 à 30 ans
 Plus de 30 ans

ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX, SENTIMENT D'EXPOSITION ET REPRESENTATION DU RISQUE

Donnez-moi un mot ou expression qui vous vient à l'esprit quand je dit "Risque" à Port-Gentil?

Pensez-vous que la ville de Port-Gentil soit concernée par les risques suivants?

- Risque industriel
- Risque d'inondation dû à la pluie
- Risque sanitaire
- Risque d'inondation par la mer
- Risque lié au changement climatique
- Risque d'érosion
- Risque de conflit ethnique
- Risque de pollution de l'air
- Risque de pollution de l'eau
- Risque d'insécurité
- Autre
- Aucun

Quels sont les trois risques qui vous inquiètent le plus au niveau de la commune ?

- Risque industriel
- Risque d'inondation dû à la pluie
- Risque sanitaire
- Risque d'inondation par la mer
- Risque lié au changement climatique
- Risque d'érosion
- Risque de conflit ethnique
- Risque de pollution de l'air
- Risque de pollution de l'eau
- Risque d'insécurité
- Autre
- Aucun

Diriez-vous qu'ils y a des risques autour de chez vous?

- Oui
- Non

si oui lesquels?

- Risque industriel
- Risque d'inondation dû à la pluie
- Risque sanitaire
- Risque d'inondation par la mer
- Risque lié au changement climatique
- Risque d'érosion
- Risque de conflit ethnique
- Risque de pollution de l'air
- Risque de pollution de l'eau
- Risque d'insécurité
- Autre
- Aucun

Pensez-vous qu'il y a un autre endroit dans la commune où il y a les mêmes risques que chez vous?

- Oui
- Non

Où précisément?

Diriez-vous que vous êtes le plus souvent exposé au quotidien aux:

- Risque industriel
- Risque d'inondation dû à la pluie
- Risque sanitaire
- Risque d'inondation par la mer
- Risque lié au changement climatique
- Risque d'érosion
- Risque de conflit ethnique
- Risque de pollution de l'air
- Risque de pollution de l'eau
- Risque d'insécurité
- Autre
- Aucun

Pensez-vous que Port-Gentil soit particulièrement sensible aux inondations ?

- Oui
 Non

Avez-vous déjà vécu une inondation chez vous?

- Oui
 Non

Selon vous, pour parler d'inondation il faut que l'eau reste au moins

- Quelques minutes
 Quelques heures
 Une journée
 Plusieurs jours

Selon vous quels sont les mois de l'année où on a le plus de chance de subir les inondations ?

- Janvier
 Février
 Mars
 Avril
 Mai
 Juin
 Juillet
 Août
 Septembre
 Octobre
 Novembre
 Décembre
 Aucune idée

Suite à des inondations avez vous eu des problèmes de santé

- Oui
 Non

lesquels?

- Paludisme
- Choléra
- Diarrhée
- Gale
- Autre

Pensez-vous que Port-Gentil soit particulièrement sensible aux inondations venant de la mer ?

- Oui
- Non

Selon vous quels sont les mois de l'année où l'on a le plus de chance de subir les inondations venant de la mer ?

- Janvier
- Février
- Mars
- Avril
- Mai
- Juin
- Juillet
- Août
- Septembre
- Octobre
- Novembre
- Décembre
- Aucune idée

Sur une échelle de 0 à 5, comment évaluez-vous votre degré d'exposition aux inondations par la mer?

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

<p>Selon-vous y'a t-il des parties du littorale qui sont particulièrement sensibles aux inondations par la mer que d'autres?</p> <p><input type="radio"/> Oui</p> <p><input type="radio"/> Non</p>
<p>Pouvez-vous dessiner sur la carte, les zones littorales où il y a des risques d'inondation par la mer ?</p> <p><input type="radio"/> Oui</p> <p><input type="radio"/> Non</p>
<p>Pouvez-vous dessiner sur la carte, les zones côtières où il y a plus d'enjeux (concentration de population, activité économique, loisir...)au niveau de Port-Gentil?</p> <p><input type="radio"/> Oui</p> <p><input type="radio"/> Non</p>
<p>Selon vous quelles sont les causes des inondations venant de la mer</p> <p><input type="checkbox"/> Aménagement du front de mer/ digue</p> <p><input type="checkbox"/> Changement climatique</p> <p><input type="checkbox"/> Dieu</p> <p><input type="checkbox"/> Absence de canaux</p> <p><input type="checkbox"/> Urbanisation des zones trop proche de la côte</p> <p><input type="checkbox"/> Autre</p>
<p>Pensez-vous à long terme que Port-Gentil pourrait être englouti par les eaux?</p> <p><input type="radio"/> Oui</p> <p><input type="radio"/> Non</p> <p><input type="radio"/> peut être</p>
<p>Pensez-vous être en danger face aux inondations d'origine marine actuellement?</p> <p><input type="radio"/> Oui</p> <p><input type="radio"/> Non</p>

Sur une échelle de 0 à 5, comment évaluez-vous votre degré d'inquiétude actuelle vis-à-vis du risque inondation par la mer?

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Sur une échelle de 0 à 5, comment évaluez-vous votre degré d'inquiétude future vis-à-vis du risque inondation par la mer?

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Avez vous peur pour

- Votre vie et celle de votre famille
- Votre Maison
- Votre travail

Selon vous à quelle distance pensez-vous être de la mer?

- Très proche
- Proche
- Eloigné
- Très éloigné

Selon vous, quelle est la façade maritime qui est plus exposée aux risques d'inondation par la mer?

- Façade Atlantique (Bac-Aviation)
- Façade de la Baie du Cap Lopez (centre ville)
- Les deux au même niveau

GESTION DES RISQUES DANS LA COMMUNE

Selon vous, quel est l'organisme le mieux placé pour lutter contre les inondations marines?

- Organisation sous-régionale
- La présidence de la République
- Gouvernorat
- Mairie de Port-Gentil
- Ministère de l'intérieur, de la sécurité, chargé de la décentralisation et du développement local
- Ministère de la forêt, de la mer et l'environnement
- Ministère de la protection sociale et de la solidarité nationale
- Le ministère des TP et l'aménagement du territoire
- Ministère de l'habitat, de la ville et de l'urbanisme
- Associations et ONG
- Ministère de l'économie, de la prospective et de la programmation du développement durable
- Aucun
- Aucune idée

Pensez-vous que le gouvernement ou les autorités locales font des efforts pour régler le problème des inondations par la mer à Port-Gentil?

- Oui
- Non

En quoi faisant par exemple ?

.....

Avez-vous connaissance d'une réglementation sur la gestion des inondations?

- Oui
- Non

Pensez-vous que la mairie de Port-Gentil gère les risques d'inondation dans la commune ?

- Oui
- Non

De quelle manière?

- imposition des contraintes de construction
- Construction d'ouvrage de protection
- Déguerpissement
- inconstructibilité
- Autre

En matière de mise en place de politique de prévention des risques, à qui feriez-vous le plus confiance dans la prise en compte de vos préoccupations?

- Organisation sous-régionale
- Gouvernement
- Gouvernorat
- La municipalité
- Association et ONG
- Aucun organisme
- Autre

Pensez-vous que les autorités locales devraient se saisir du problème des inondations marines actuellement?

- Oui
- Non

Pour lutter contre les inondations d'origine marine, quelle méthode aimeriez-vous voir aboutir ?

- Construction des digues
- Ensablement des plages
- Relocalisation des biens et des activités
- Laisser-faire
- Autre
- Pas d'avis

Si les autorités locales décident de prélever 1000 franc cfa de taxe par ménage et par an pour la construction des ouvrages de protection, allez-vous accepter de payer ?

- Oui
- Non

Si (Non) pourquoi?

- Taxe trop cher
- C'est pas à moi de payer
- La municipalité à déjà des moyens
- Pas confiance à la gestion de cette taxe
- La situation économique actuelle ne le permet pas
- Autres

LES CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES, SOCIALES ET ECONOMIQUES DES ENQUETES

Sexe

- Femme
- Homme

Dans quelle tranche d'âge vous situez-vous?

- moins de 24 ans
- De 25 à 30 ans
- De 31 à 40 ans
- De 40 à 50 ans
- De 50 à 60 ans
- Plus de 60 ans

Nationalité

- Gabonaise
- Etranger

Si étranger, de quelle région?

- Afrique de l'ouest
- Afrique centrale
- Europe
- Autre

Combien de personne vivent de façon permanente dans ce logement?

Quel est votre niveau d'études?

- Primaire
- Collège
- Lycée
- Supérieur/Universitaire
- Jamain scolarisé

Quelle est votre profession?

- Etudiant
- Pêcheur/éleveur
- Agriculteur/maraîcher
- Artisan
- Commerçant (e)
- Employeur/salarié du public
- Employeur/salarié du privé
- Profession libérale
- Retraité
- Sans activité professionnelle
- Autre

Dans quelle tranche environ se situe l'vos dépence mensuel de votre ménage?

- Moins de 100.000
- De 100 à 500
- De 500 à 1.000.000
- De 1.000.000 à 1.500.000
- De 1.500.000 à 2.000.000
- Plus de 2.000.000

CARACTERISTIQUES DU BATI

Type de bâti

- Précaire
- Bas standing
- Moyen standing
- Haut standing

Types matériaux de construction

- Contreplaqué
- Planche
- Parpaing (Brique)
- Mixte (demi-dur)

Type de fondations

- Sur pilotis
- Sans soubassement apparent
- Avec soubassement apparent


Hauteur des fondations

- Moins de 0.3 m
- 0.5 m
- 1 m
- 1.5 m
- 2 m
- Plus de 2 m

Nombre d'étage

- Plein pied
- 1
- 2
- 3
- Plus de 3

IDENTIFICATION DU QUESTIONNAIRE

Code enquêteur	*
Date et Heure	*
yyyy-mm-dd	hh:mm
Numéro de la zone	*
Quartier	*
Coordonnées GPS	*
latitude (x.y °)	
longitude (x.y °)	
altitude (m)	
précision (m)	
vue d'ensemble du bâti	
Cliquez ici pour téléverser un fichier. (< 5MB)	
Scane de la carte mentale	
Cliquez ici pour téléverser un fichier. (< 5MB)	

Annexe 6 : Tableau des indices de vulnérabilité des classes d'occupation du sol dominant dans la commune de Port-Gentil

Rang	Classe	Description	Indice
1	Surface en eau	Comme son nom l'indique, cette catégorie représente l'ensemble des plans d'eau	0,04
2	Sol nu	L'ensemble des zones présentant aucune construction ou n'étant recouvert de végétation	0,09
3	Végétation basse	Cette catégorie représente l'emprise des surfaces recouverte d'herbacé, souvent appelé par les populations locale la plaine,	0,13
4	Mangrove	Cette classe représente la typologie de forêt maritime que l'on trouve dans les zones tropicales et qui sont des véritables barrières naturelles de protection du littoral contre l'érosion et l'action de la houle	0,17
5	Forêt	Cette classe forêt représente des surfaces dominées par un couvert végétale dense et haut,	0,22
6	Agriculture	Classe d'occupation du sol qui délimite le périmètre d'espace agroalimentaire ou de pratique de jardin	0,26
7	Cimetière	Catégorie qui regroupe l'ensemble des lieux où	0,30
8	Abandonnée ou en construction	Terrain nu délimité a usage d'habitation ou des terrains avec des maisons en construction.	0,35
9	Loisir/sport	Cette catégorie regroupe et isole l'ensemble des parcelles à usage exclusif ou dominant d'équipement sportif (Stade ou terrain de foot) ou de loisir (parc)	0,39
10	Religion	Ensemble des parcelles abritant une église	0,43
11	Décharge	Cette classe d'occupation du sol considère la zone actuelle sur laquelle s'étend les ordures de la décharge publique.	0,48
12	Aéroport	Cette catégorie correspond à la zone sous contrôle de la SECNA en l'absence de zone de forêt	0,52
13	Bureau et service	Emprise spatiale dominé par des bureaux à usage commerciale ou d'activité tertiaire commerciale	0,57
14	Résidentielle dense	Tissu urbain dominée par des bâtiments à usage exclusivement d'habitation et relativement continue	0,61
15	Résidentielle peu dense	Tissu urbain dominé par des bâtiments à usage d'habitation et discontinu	0,65
16	Résidentielle et commerciale	Cette catégorie regroupe d'un ensemble de bâtiments avec un double usage. Notamment les bâtiments dont l'avant est consacré aux activité commerciale et l'arrière réservé au logement	0,70
17	Industrielle et Atelier	Cette classe présente les îlots dont l'activité dominante est soit un atelier de mécanique auto de grande taille, des zones de stockage de matérielles et de produits pour l'activité industrielle et les zone de production pétrolière	0,74
18	Dépôt hydrocarbure	Cette classe présente les parcelles où sont stocké les produits issus d'hydrocarbures (pétrole, gaz, etc.) tel que les stations-services et les réservoirs atmosphériques, réservoirs sous pression, les réservoirs horizontaux, etc.	0,78

19	Administrative	Regroupe l'ensemble des parcelles et bureau administrative dans la commune	0,83
20	Commerciale	Cette catégorie regroupe et isole l'ensemble des activités économiques présentes dans la commune, Il est composé des grandes surfaces commerciales, appelé communément grossiste) ainsi que des détaillants	0,87
21	Education	Cette classe considère l'ensemble des concessions des établissement à usage d'apprentissage. Pré-primaire, primaire, secondaire centre de formation et les établissements supérieurs	0,91
22	Energie	Cette catégorie représente l'emprise des installations des usine de production d'électricité	0,96
23	Soin et sécurité	Cette catégorie correspond à l'ensemble des services de santé (hôpitaux, clinique, dispensaire, pharmacie,) et aux services de sécurité (commissariat, pompier, casernes militaires)	1,00

Annexe 7 : Proposition de cartographie du Plan d'Exposition au Risque (PER) versus Inondations marines

La mise en œuvre de Plans de Prévention de Risque Inondation Marine (PPRIM) à Port-Gentil vise à délimiter les zones exposées en se basant sur les cartes d'occupation du sol dominant, d'aléa et de vulnérabilité élaborées dans cette thèse. Ces cartes contiennent des prescriptions concernant la vulnérabilité actuelle et future des divers enjeux, qui pourraient être appliquées dans le cadre des PPRIM. Si les PPRIM étaient instaurés, leur principal objectif serait d'assurer une protection effective des populations en déterminant les zones à forte et très forte exposition à partir de l'urbanisation existante. Des mesures foncières pourraient être envisagées selon le niveau d'impact potentiel de l'aléa et le contexte local, avec pour intention de limiter l'exposition des enjeux en cas d'inondation. Par exemple, des zones de déguerpissement pourraient être définies dans les secteurs fortement exposés. Dans d'autres zones vulnérables, la commune ou le gouvernement pourrait accorder des droits de délaissement aux propriétaires. De plus, des préemptions foncières pourraient être effectuées dans certaines zones lors de transferts de propriété. L'idée serait de créer des espaces vides entre le littoral et les constructions pour éloigner les habitants des zones exposées et de protéger les écosystèmes aquatiques comme les mangroves.

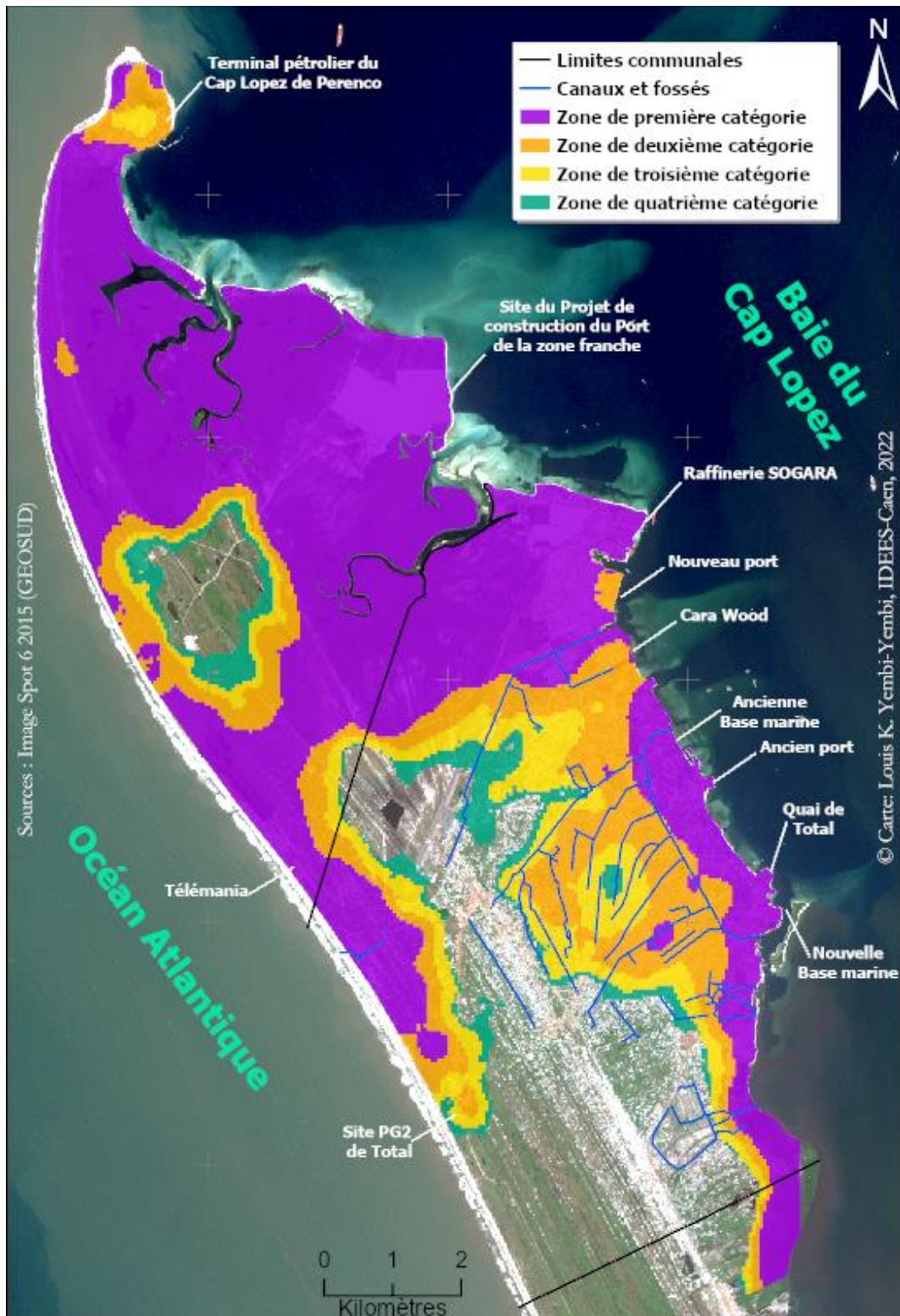
Cependant, il est important de reconnaître que malgré de telles mesures, les populations choisissent souvent de s'installer dans les zones inondables, parfois par nécessité et en raison du manque de contrôle des autorités. Il est également déterminant de souligner l'interdépendance entre la prévention, les secours et la réparation dans la gestion des risques d'inondation par la mer. Les Plans de Prévention de Risque Inondation Marine pourraient jouer un rôle clé en intégrant la législation sur l'urbanisation, la maîtrise de l'urbanisation et l'information préventive des populations sur le risque.

Enfin, il est envisageable que les PPRIM fournissent des recommandations sur les actions à entreprendre en cas d'inondation. Cependant, leur efficacité pourrait être limitée en raison de leur caractère non contraignant. Ainsi, il est nécessaire d'envisager d'autres aménagements urbains pour réduire le risque d'inondation par la mer à Port-Gentil. Actuellement, le principal défi de la gouvernance du risque au Gabon réside dans l'absence d'outils réglementaires pour évaluer le niveau d'exposition au risque d'une zone donnée. Bien que des lois existent, telles que la mise en carte du zonage réglementaire, leur application nécessite un croisement simple entre les classes d'aléa et le zonage des enjeux pour déterminer les différentes zones réglementaires.

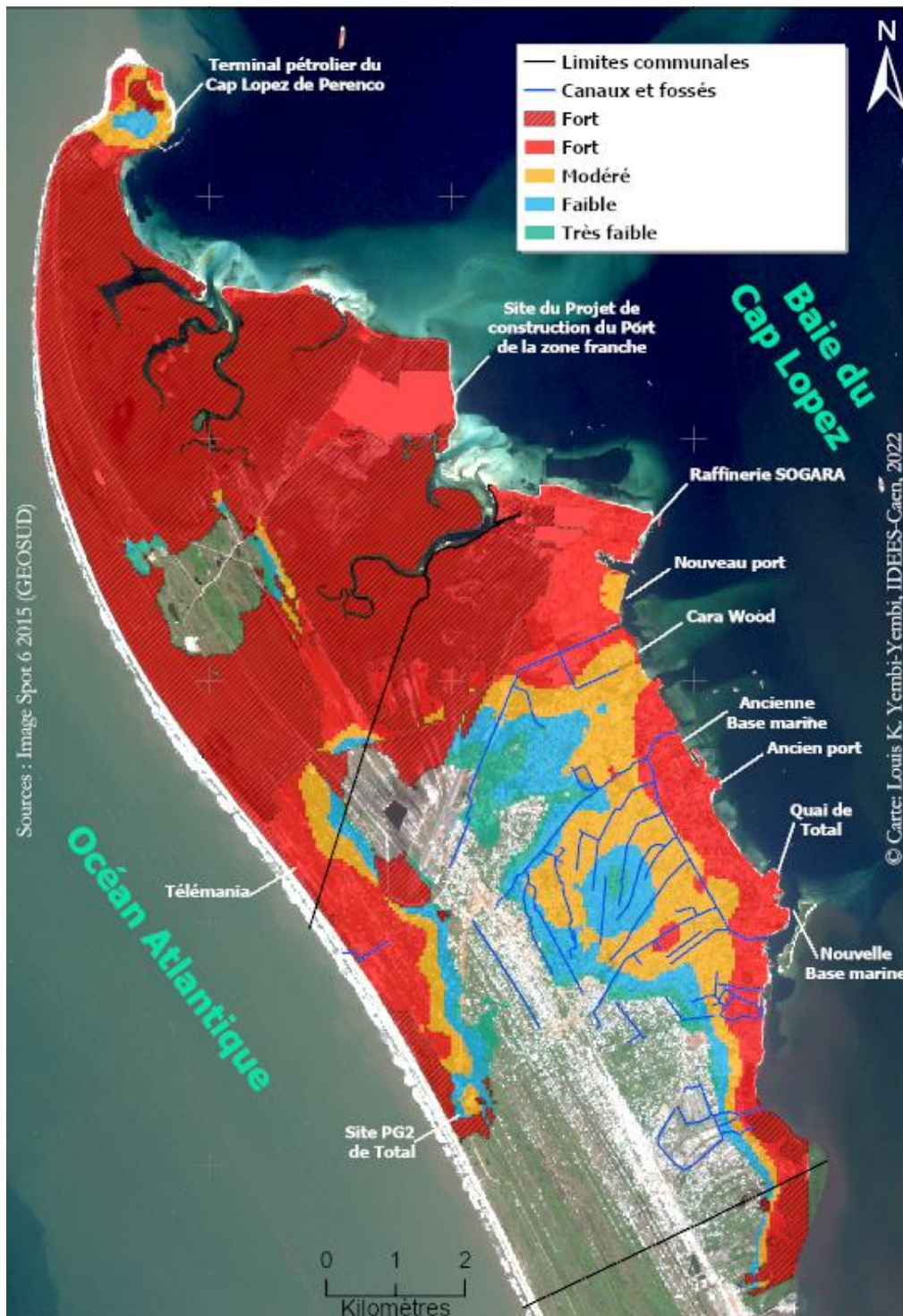
Le Plan d'Exposition aux Risques (PER) dans la mise en place du PPRIM est une première étape, car il prend uniquement en compte le niveau d'eau sans considérer l'occupation du sol existant. Il faut dire qu'il permet déjà d'identifier les zones à fort impact.

Niveau d'eau	Zone d'aléa	Zonage selon le plan d'exposition aux risques gabonais	Stratégies de précaution
> 1	Très fort	Zone de première catégorie	<p>Zone dans laquelle la probabilité d'occurrence du risque et son intensité sont si fortes qu'il n'existe aucune mesure de protection</p> <ul style="list-style-type: none"> • Interdire tous types de constructions nouvelles dans la zone • Interdire tout type de construction pouvant recevoir du public et déplacer celles vitales, telle que les services de santé • Interdire toutes les activités humaines lorsqu'ils n'en n'existent pas • Interdire la construction des structures recevant du public ne doivent pas être autorisées. • Les espaces naturels (mangrove, forêt, etc.) Doivent être maintenu et protégé. <p>Interdire toute construction à risque écologique et déplacer celles existantes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les opérations de reconstructions des habitations existantes devant être soumises à des études techniques préalables détaillées et valider par la mairie de POG. • Contrôler et limiter le développement de l'urbanisation dans ces zones • Les structures doivent être protégées contre les inondations. • Un redimensionnement des ouvrages d'assainissements • Exiger l'entretien des installations de drainage et des canaux naturels. • L'introduction de règles d'aménagement du territoire appropriées. • Un programme communautaire de gestion des inondations devrait être mis en place. • Se débarrasser des obstacles et constructions anarchiques dans ces zones • Protéger les développements existants par des mesures physiques d'atténuation • Des densités de développement modérées peuvent être maintenues et préconiser des constructions avec des soubassement réhaussés de plus de 0,5 m • Les structures nécessaires devraient être placées sur des endroits plus élevés. • Exiger un entretien et un nettoyage appropriés des installations d'eaux pluviales en temps utile. • Faire des études techniques qualitatives pour les activités industrielles autorisées dans ces zones. • Réaménager les voiries d'une manière qui permet l'évacuation et la circulation rapide des eaux. • Doiter les réseaux d'évacuation des eaux avec des canalisations avec des dimensions qui permettra l'autocourage. • Des densités de développement élevées sont autorisées à condition que des ouvrages d'assainissement des eaux soient construits et que les constructions soient réhaussées.
		Zone de deuxième catégorie	
0,3 - 0,5 m	Faible	Zone de troisième catégorie	<p>Zone dans laquelle l'incidence du risque sur la sécurité des biens et des personnes est faible</p>
		Zone de quatrième catégorie	
0 - 0,3 m			

Stratégies de gestion dans la ville de Port-Gentil et ses environs (inspiré de Bourenane et Bouhadad, 2021)



Proposition d'un Plan d'Exposition aux Risques Submersion marine (PER)



Nature de la zone	Aléa extrême (S12/C.3)			
	Très faible	Faible	Modéré	Fort
	0,3 m	0,3 m – 0,5 m	0,5 m – 1 m	1 m
Naturelle	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
Urbain	Verte	Bleu	Orange	Rouge

Proposition d'un Plan de Prévention des Risque d'Inondation Marine (PPRIM)

Annexe 8 : Poster de communication lors du séminaire des doctorants UMR : LETG

YEMBI YEMBI Louis Kadryl

Evaluation de la vulnérabilité urbaine face aux inondations induites par la mer: exemple de la ville de Port-Gentil (Gabon)

Stéphane Costa¹, Emmanuel Bonnet²

¹Normandie Univ, UNICAEN, CNRS, LETG, 14000 Caen, France

²IRD, Unité Mixte Internationale, Résilience, 93143 Bondy, France

1 Contexte

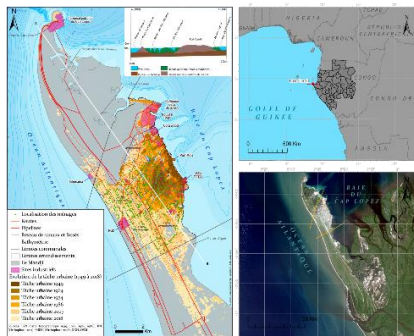


Figure 1: présentation du site d'étude et localisation des ménages

Faible topographie et croissance urbaine anarchique

Le site d'étude est la commune de Port-Gentil, ville industrielle-portuaire, mais aussi capitale économique du Gabon (Fig. 1), se distingue par:

- un contexte **socio-démographique** marqué par une forte croissance démographique (4500 habitants en 1947 et 136460 habitants en 2013) et une urbanisation mal maîtrisée, précaire par endroit;
- des **enjeux économiques importants et stratégiques**: (17) multinationales dans le domaine pétrolier (1) raffinerie et plus de (70) entreprises directement rattachées à l'activité pétrolière et plusieurs entreprises de l'industrie du bois;
- un contexte **physique** influencé par sa localisation sur la **flèche littorale** de l'île Mandji qui se caractérise par:
- des formations **sablonneuses et vaseuses**;
- une **faible topographie** (3,5m en moyennes) entrecoupée de mares, de canaux et de fossés

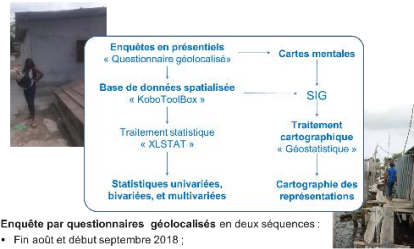


Figure 2: Inondation par la marée au quartier Luppe



Figure 3: Proximité des constructions au bord de mer

2 Matériel et méthode



Enquête par questionnaires géolocalisés en deux séquences:

- Fin août et début septembre 2018;
 - Août 2019.
- Exploitation des données concernant:**
- Le profil des enquêtés (771 chefs de ménage); 49% femmes et 51% des hommes; 60,33% niveau secondaire et 33,29% universitaire
 - Les réponses aux questions « quelle place occupe le risque d'inondation par la mer dans la commune » et « quelle est le sentiment d'exposition et sa variabilité spatiale »

Cartographie:

- Des hot spots de population ayant un fort et un faible niveau d'inquiétude vis-à-vis des inondations par la mer

Structure du questionnaire

- les attraits locaux et attachements au territoire
Nombre de terres possédées dans la commune, les raisons du choix du lieu d'habitation, le niveau de satisfaction du lieu d'habitation (Q1 à Q16).
- situation d'occupation du logement
Statut dans le logement, possession d'un titre foncier, la date de construction du bâtiment (Q16 à Q20).
- enjeux environnementaux, sentiment d'exposition et représentation du risque
Le risque dans l'esprit des portgentillais, la connaissance du risque, le risque auquel ils sont exposés, le niveau d'inquiétude présent et futur, le niveau d'exposition, la représentation des zones exposées (Q21 à Q45).
- gestion des risques dans la commune
Connaissance de la gestion du risque, la place des collectivités locales dans la gestion du risque, la volonté de participer à l'action publique, la confiance aux autorités locales (Q46 à Q59).
- les caractéristiques démographiques, sociales et économiques des enquêtés
Genre, classe d'âge, niveau d'étude, catégorie socioprofessionnelle, montant des dépenses mensuelles (Q60 à Q67).
- caractéristiques du bâti
Standing du bâti, matériaux de construction, hauteurs des fondations, nombre d'étages (Q68 à Q72).

4 Conclusions

- Le risque d'inondation par la mer dans la commune de Port-Gentil n'est pas considéré comme une priorité par les populations (Fig. 4)
- L'inondation pluviale est celle qui est spontanément présente dans la conscience de la population (Fig. 4). C'est aussi celle qui suscite le plus d'inquiétude (Fig. 6) et dont les populations se sentent le plus souvent impactées (Fig. 7). Cette situation prépondérante des inondations pluviales tend à biaiser la représentation du risque d'inondation par la mer.

3 Résultats

1/ Un risque très peu présent dans l'esprit des portgentillais...

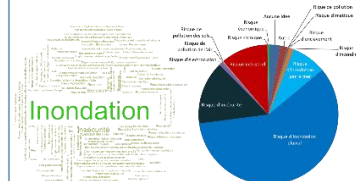


Figure 4: Nuage de mot. De manière spontanée, le mot « Risque » fait référence le plus souvent chez les populations aux inondations.

Figure 5: Nuage de mot regroupé dans 13 classes de risque.

Figure 5: Nuage de mot regroupé dans 13 classes de risque. Le risque d'inondation dû à la pluie, 53%, suivi de l'insécurité (15%), du risque industriel (10%) et de l'inondation par la mer (8%).

2/ ... et non prioritaire

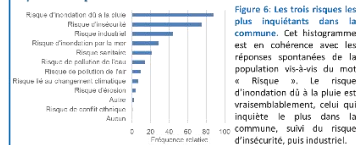


Figure 6: Les trois risques les plus inquiétants dans la commune. Cet histogramme est en cohérence avec les réponses spontanées de la population vis-à-vis du mot « Risque ». Le risque d'inondation dû à la pluie est vraisemblablement, celui qui inquiète le plus dans la commune, suivi du risque d'insécurité, puis industriel.

5/ Un risque qui n'inquiète pas présentement, mais plus pour le futur

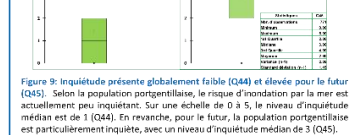


Figure 9: Inquiétude présente globalement faible (Q44) et élevée pour le futur (Q45). Selon la population portgentillaise, le risque d'inondation par la mer est actuellement peu inquiétant. Sur une échelle de 0 à 5, le niveau d'inquiétude médian est de 1 (Q44). En revanche, pour le futur, la population portgentillaise est particulièrement inquiète, avec un niveau d'inquiétude médian de 3 (Q45).

ZOOM Objectifs et hypothèses

- Évaluer la place du risque d'inondation par la mer dans la commune de Port-Gentil.
- Évaluer le sentiment d'exposition et d'inquiétude aux inondations par la mer.
- Évaluer les facteurs spatiaux de différenciation de la représentation du risque.

Ce travail s'articule autour de trois hypothèses:

- Dans ce contexte de ville à faible topographie exposée à des risques multiformes, le risque d'inondation par la mer est peu perçu et peu pris en compte par la population portgentillaise (H1);
- Tout comme l'altitude et la distance à la source de danger influencent les représentations du risque, il va s'en dire que l'insalubrité et la faible topographie généralisée du site d'étude sont des déterminants spatiaux d'un niveau uniforme d'inquiétude en matière de risque (H2);
- L'exposition quotidienne à un risque particulier entraîne un biais dans la représentation d'un autre risque potentiel ou avéré, tel que le risque d'inondation par la mer (H3).

3/ un sentiment d'exposition toujours dominé par les inondations pluviales



Figure 7: Le risque auquel la population se sent le plus exposé au quotidien. Cet histogramme est cohérent avec les réponses spontanées de la population par rapport à la relation qu'elle établit avec le mot « Risque », en particulier pour les trois premiers risques. En revanche, l'inondation par la mer est reléguée à la septième place.

4/ un sentiment d'exposition influencé par la localisation et le cadre de vie des ménages

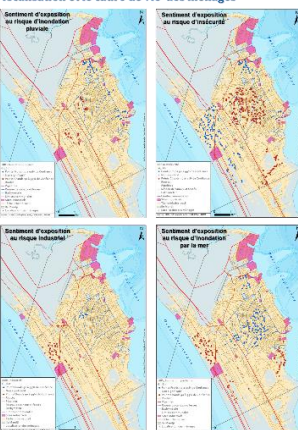


Figure 8: Analyses des points chauds indépendants pour chaque risque auquel la population se sent exposée. Les points rouges ou bleus identifient les valeurs respectivement de la concentration des personnes qui ont mentionné le risque correspondant, codé (1) et ceux qui n'ont pas mentionné le risque, codé (0). Les points gris signifient qu'il n'y a pas de concentration aussi bien des rouges que des bleus (non significatif).

Table des matières

REMERCIEMENTS	3
SOMMAIRE	7
LISTE DES SIGLES ET ABBREVIATIONS	8
INTRODUCTION GENERALE	11
CONTEXTE DE LA RECHERCHE.....	12
QUESTIONNEMENT ET OBJECTIFS DE LA THESE	16
<i>Question principale et hypothèse</i>	17
<i>Questions spécifiques</i>	17
<i>Objectifs de la thèse</i>	18
POSITIONNEMENT METHODOLOGIQUE.....	19
STRUCTURE DE LA THESE.	19
PREMIERE PARTIE : ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE LIEE AUX INONDATIONS PAR LA MER DANS UN CONTEXTE URBAIN AFRICAIN : CONCEPTS ET CONTEXTE	25
INTRODUCTION DE LA PARTIE 1.....	27
CHAPITRE 1 : REFLEXION AUTOUR DE LA VULNERABILITE URBAINE AUX INONDATIONS PAR LA MER : DEFINITIONS ET IMPLICATIONS PRATIQUES	29
INTRODUCTION DU CHAPITRE 1	30
1.1 LE RISQUE, UN CONCEPT MULTIDIMENSIONNEL : POINT DE DEPART DE L'ÉMERGENCE DU CONCEPT DE VULNERABILITE...31	31
1.1.1 <i>La notion de risque : des terminologies multiples</i>	31
1.1.1.1 La confrontation Aléa avec les enjeux.....	32
1.1.1.2 La confrontation aléa avec la vulnérabilité.....	34
1.1.1.3 Deux visions complémentaires	34
1.1.2 <i>Définir les éléments constitutifs du risque</i>	36
1.1.2.1 Les enjeux au cœur de la définition du risque.....	36
1.1.2.2 L'aléa	38
1.2 DE QUELS RISQUES S'AGIT-IL ?.....	42
1.2.1 <i>Les inondations d'origine marine : aléas aux multiples facettes</i>	44
1.2.1.1 Inondation marine directe	45
1.2.1.2 Inondation marine indirecte (concomitance).....	45
1.2.2 <i>Les différentes formes d'inondation marine</i>	45
1.2.2.1 Les forçages à l'origine de l'élévation du plan d'eau.....	46
1.2.2.2 Les forçages météo-marin	46
1.2.2.3 Les forçages climatiques	47
1.3 LA VULNERABILITE : UN AUTRE COMPOSANT DU RISQUE AUX MULTIPLES DEFINITIONS.....	52
1.3.1 <i>La montée d'un concept dans les travaux de recherche sur le risque</i>	53
1.3.2 <i>Problème de consensus définitionnel : Une vulnérabilité polysémique</i>	54
1.3.2.1 L'existence de plusieurs sphères dans l'évaluation de la vulnérabilité.....	55
1.3.2.2 Les différentes formes de la vulnérabilité en fonction des enjeux : approche analytique	57
1.3.3 <i>Hypothèse d'une double approche d'évaluation de la vulnérabilité</i>	59
1.3.3.1 La dimension physique de la vulnérabilité : approche quantitative	59
1.3.3.2 La dimension sociale de la vulnérabilité : approche qualitative.....	61
1.4 QUELLE APPROCHE ENVISAGER DANS CETTE RECHERCHE ?.....	61
1.4.1 <i>La vulnérabilité territoriale : la ville comme support d'étude dans un contexte africain</i>	62
1.4.2 <i>La vulnérabilité systémique</i>	63
1.4.2.1 La composante représentation dans l'évaluation de la vulnérabilité	66
1.4.3 <i>Une approche systémique pour Port-Gentil</i>	68
SYNTHESE DU CHAPITRE 1	69
CHAPITRE 2 : CONTEXTE SOCIO-ENVIRONNEMENTAL DU SITE D'ÉTUDE : UNE ILE PREDISPOSEE AUX INONDATIONS PAR LA MER	71

INTRODUCTION DU CHAPITRE 2	72
2.1 CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET MORPHOLOGIQUE.....	73
2.1.1 <i>Le cadre géographique et administratif</i>	73
2.1.2 <i>Le contexte morphologique : du bassin sédimentaire à l'île Mandji</i>	74
2.1.2.1 Contexte topo-bathymétrique de l'île Mandji.....	77
2.2 LE CONTEXTE CLIMATIQUE.....	79
2.2.1 <i>Mécanismes climatiques</i>	80
2.2.1.1 Mécanisme climatique régional.....	80
2.2.1.2 Mécanisme climatique du bassin sédimentaire côtier gabonais.....	82
2.2.2 <i>Climat sur l'île Mandji</i>	83
2.2.2.1 La pluviométrie locale.....	84
2.2.2.2 Les températures locales	84
2.2.2.3 Vents dominants.....	86
2.2.2.4 Évolution climatique sur l'île Mandji	88
2.3 CONTEXTE MARIN	90
2.3.1 <i>Les courants de surface</i>	90
2.3.2 <i>Les conditions de la houle le long de l'île Mandji</i>	92
2.3.3 <i>Les marées et les niveaux d'eaux et tendance d'évolution</i>	94
2.3.3.1 Les marées.....	94
2.3.3.2 Les niveaux d'eaux et tendance d'évolution	96
2.4 TRAJECTOIRE DE DEVELOPPEMENT URBAIN ET PROBLEMES SOCIO-ENVIRONNEMENTAUX ASSOCIES.....	98
2.4.1 <i>Contexte historique en lien avec l'activité économique</i>	99
2.4.1.1 La petite histoire du développement de la cité pétrolière.....	99
2.4.1.1.1 La naissance de la cité pétrolière	99
2.4.1.1.2 La première période économique.....	99
2.4.1.1.3 La deuxième période économique.....	101
2.4.2 <i>Croissance démographique et étalement urbain en détail</i>	101
2.4.2.1 Croissance démographique	102
2.4.2.2 Dynamique et ségrégation socio-spatiale entretenue dans la cité pétrolière.....	105
2.4.3 <i>Les problèmes environnementaux dus à l'anthropisation anarchique du milieu</i>	108
SYNTHESE DU CHAPITRE 2	114
CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE	117

DEUXIEME PARTIE : APPROCHE TRANSVERSALE, EMPREINTE DE PLURIDISCIPLINARITE : ENTRE ALEA, EXPOSITION DES ENJEUX ET REPRESENTATION SOCIO-SPATIALE DU RISQUE A L'ECHELLE COMMUNALE121

INTRODUCTION DE LA PARTIE 2.....	122
----------------------------------	-----

CHAPITRE 3 : ÉVALUATION DE L'ALEA : CARACTERISATION ET SPATIALISATION SELON PLUSIEURS SCENARIOS ET DIFFERENTES ECHELLES SPATIO-TEMPORELLES125

INTRODUCTION CHAPITRE 3	126
3.1 LE CHOIX D'UNE APPROCHE ADAPTEE A LA REALITE DU TERRAIN D'ETUDE ET A LA DISPONIBILITE DES DONNEES.....	127
3.1.1 <i>Des approches de mise en carte de l'aléa influencée par la disponibilité des données, des outils et de l'échelle d'analyse</i>	128
3.1.2 <i>Choix de la démarche appliqué à la réalité du terrain d'étude</i>	129
3.1.2.1 Approche méthodologique de la mise en carte de l'aléa inondation marine.....	129
3.1.3 <i>Choix des échelles spatiales d'évaluation</i>	132
3.1.3.1 Évaluation à l'échelle moyenne	133
3.1.3.2 Évaluation à grande échelle ou fine.....	134
3.2 DETERMINER LE NIVEAU D'EAU DE REFERENCE ET DIFFERENTS SCENARIOS.....	136
3.2.1 <i>Partir d'événements historiques connus et documentés pour déterminer les niveaux d'eau de référence et les niveaux d'eau scénarisés</i>	136
3.2.2 <i>Reconstitution de l'événement d'historique de 1962</i>	138
3.2.2.1 Déterminer le niveau d'eau extrême : la prise en compte du wave setup, par une approche empirique.....	141
3.2.2.2 Détermination du wave setup à partir d'une approche empirique	142

3.2.2.3	Les niveaux d'eau extrêmes marins selon plusieurs scénarios.....	144
3.3	LES DONNEES TOPOGRAPHIQUES ACQUISES ET/OU CREEES AU COURS DU PROJET DE RECHERCHE.....	148
3.3.1	<i>Données topographiques acquises</i>	148
3.3.1.1	SRTM.....	148
3.3.1.2	ASTER.....	149
3.3.2	<i>Construction du MNT alternatif à l'échelle moyenne</i>	149
3.3.2.1	Géoréférencement et digitalisation des points cotés	149
3.3.2.2	Détection et correction des points cotés aberrants	150
3.3.2.3	Méthode d'interpolation et construction du MNT	151
3.3.3	<i>Construction d'un MNT à grande échelle : Apport de la photogrammétrie « SfM » par drone.</i> 152	
3.3.3.1	Principe de la photogrammétrie.....	152
3.3.3.2	Processus d'acquisition et de traitement de la donnée topographique (SfM) drone.....	154
3.3.3.2.1	Le protocole terrain (A).....	155
3.3.3.2.2	Le protocole de traitement (B).....	161
3.3.3.2.3	Post-traitement du nuage de points denses (C)	166
3.3.3.2.4	Évaluation de la qualité des MNT et MNE acquis et produits (D).....	167
3.3.4	<i>Choix des modèles numériques de terrain</i>	169
3.4	VERS UNE CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION MARINE.....	170
3.4.1	<i>Outil de mis en carte de l'aléa à des échelles spatiales différentes et en fonction de différents scénarios</i>	170
3.4.2	<i>Évaluation qualitative des cartes d'aléa à l'échelle moyenne et à grande échelle</i>	172
3.4.2.1	Une cartographie à l'échelle moyenne plus ou moins fidèle à la réalité morphologique de la zone d'étude.....	172
3.4.2.2	La grande échelle pour affiner l'évaluation de l'exposition de commune aux inondations par la mer.175	
	SYNTHESE DU CHAPITRE 3	178
CHAPITRE 4 : IDENTIFICATION, CARACTERISATION ET EVALUATION DE LA VULNERABILITE PHYSIQUE DES ENJEUX EN MILIEU URBAIN : APPROCHE PAR INDICES.....181		
	INTRODUCTION DU CHAPITRE 4	182
4.1	CHOIX D'UNE METHODE COMPATIBLE AVEC LES CONDITIONS REELLES DU TERRAIN.....	183
4.1.1	<i>Les principales approches permettant d'évaluer la vulnérabilité physique des enjeux</i>	184
4.1.2	<i>Exploitation des indicateurs afin de produire des indices</i>	185
4.1.2.1	Notion d'indicateur... ..	185
4.1.2.2	... et celle d'indice.....	186
4.1.3	<i>Quelle approche pour la production d'indices de vulnérabilité physique des enjeux ?</i>	186
4.1.4	<i>Méthodologie globale</i>	187
4.2	ACQUISITION ET CARACTERISATION DES ENJEUX EXPOSES SELON DEUX ECHELLES SPATIALES.....	188
4.2.1	<i>Identification des enjeux à des échelles variables d'analyse</i>	189
4.2.2	<i>Identification des indicateurs pertinents, acquisition et production des données sur les enjeux</i>	189
4.2.2.1	Construction de la base de données sur l'utilisation dominante des sols : identification des enjeux à l'échelle moyenne.....	189
4.2.2.1.1	Caractérisation de l'utilisation du sol dominant	190
4.2.2.1.2	Classification d'image satellite SPOT7.....	191
4.2.2.2	Détail d'information sur l'occupation du sol dans la zone bâtie.....	193
4.2.2.3	Enquête sur les enjeux à une échelle locale.....	195
4.2.2.3.1	Enquête sur les caractéristiques du bâti.....	195
4.2.2.3.2	Enquête sur les infrastructures routières	198
4.2.2.4	Outils d'enquête sur le terrain.....	201
4.3	PRODUCTION DES INDICES DE VULNERABILITE PHYSIQUE DES ENJEUX.....	202
4.3.1	<i>Affectation des valeurs du niveau d'importance des variables des enjeux</i>	202
4.3.2	<i>Normalisation des valeurs des variables des enjeux</i>	203
4.3.3	<i>Agrégation des indicateurs et production d'indices</i>	205
4.3.3.1	Agrégation à moyenne échelle	207
4.3.3.2	Agrégation à grande échelle	208
	SYNTHESE DU CHAPITRE 4	212

CHAPITRE 5 : ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE SOCIALE A TRAVERS LES REPRESENTATIONS DU RISQUE A PORT-GENTIL : CADRE METHODOLOGIQUE.....	215
INTRODUCTION CHAPITRE 5.....	216
5.1 RAPPEL CONCEPTUEL ET DES HYPOTHESES.....	218
5.1.1 <i>La place de la vulnérabilité sociale dans l'évaluation de la vulnérabilité urbaine aux inondations par la mer.....</i>	<i>218</i>
5.1.2 <i>Représentations ou perception du risque ?.....</i>	<i>219</i>
5.1.3 <i>Les facteurs socio-spatiaux déterminants dans la représentation du risque</i>	<i>221</i>
5.1.4 <i>Déclinaison des hypothèses.....</i>	<i>223</i>
5.2 APPROCHE MIXE TIRÉE DES SCIENCES SOCIALES ET ENVIRONNEMENTALES.....	224
5.2.1 <i>Enquête qualitative par entretien semi-directif.....</i>	<i>225</i>
5.2.1.1 Les Choix des acteurs interrogés pour la représentation et la gestion du risque d'inondation par la mer.....	226
5.2.1.2 Construction et passation de la grille d'entretien.....	227
5.2.2 <i>L'enquête par questionnaire</i>	<i>228</i>
5.2.2.1 Élaboration d'un questionnaire géolocalisé.....	228
5.2.2.2 La structure du questionnaire.....	229
5.2.2.3 Échantillonnage et spatialisation des enquêtés	231
5.2.2.4 La passation du questionnaire	234
5.2.2.5 Les caractéristiques sociodémographiques des chefs de ménage interrogé.....	236
5.2.3 <i>La carte mentale un outil d'expression de représentation graphique du risque</i>	<i>238</i>
5.2.3.1 La carte comme outil de représentation privilégié des géographes, mais subjectif.....	238
5.2.3.2 La carte mentale : son utilisation et sa mise en œuvre dans la compréhension des représentations du risque.....	239
5.3 LES DIFFERENTS TRAITEMENTS.....	241
5.3.1 <i>Traitement des entretiens</i>	<i>241</i>
5.3.2 <i>Traitement des questionnaires</i>	<i>242</i>
5.3.3 <i>Traitement des cartes mentales</i>	<i>243</i>
SYNTHESE DU CHAPITRE 5	245
CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE.....	248
TROISIEME PARTIE : VERS UNE CONNAISSANCE OBJECTIVE DE LA VULNERABILITE DE LA COMMUNE DE PORT-GENTIL FACE AUX INONDATIONS PAR LA MER	253
INTRODUCTION DE LA PARTIE 3.....	254
CHAPITRE 6 : EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE PHYSIQUE DE PORT-GENTIL FACE AUX INONDATIONS PAR LA MER : UNE REALITE TERRITORIALE.....	255
INTRODUCTION DU CHAPITRE 6	256
6.1 LES CHOIX OPERES DANS LA PRESENTATION DES RESULTATS DE LA PHASE EVALUATION DE LA VULNERABILITE PHYSIQUE	256
6.1.1 <i>Rappel méthodologique et les scénarios d'aléa retenus</i>	<i>256</i>
6.1.2 <i>Les modes de présentation cartographique des différentes légendes</i>	<i>259</i>
6.2 ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE PHYSIQUE A L'ÉCHELLE MOYEN	260
6.2.1 <i>Cartographie de l'aléa à moyenne échelle</i>	<i>260</i>
6.2.1.1 Spatialisation de l'aléa selon les scénarios S1 et S2 reconstitué avec les conditions C.1 : cartographie d'inondation potentielle actuelle	260
6.2.1.2 Spatialisation de l'aléa selon les scénarios S8, S10, S11, S12 dans les conditions C.1 ; cartographie prospective.	262
6.2.1.3 Scenarios S12 du C.3 : événement de 1962 reconstitué avec le wave setup dans les conditions du C.3 et l'hypothèse SSP5-8.5	266
6.2.2 <i>Vers une meilleure connaissance des enjeux dans la partie nord de l'île.</i>	<i>268</i>
6.2.2.1 Une connaissance globale de la distribution des enjeux occupation du sol dominant dans la partie nord.....	268
6.2.2.2 Une meilleure caractérisation du réseau routier de la commune	271
6.2.3 <i>Degré de vulnérabilité physique des enjeux à l'échelle moyenne</i>	<i>275</i>

6.2.3.1	Vulnérabilité physique de l'occupation du sol dominant à partir des cinq scénarios pertinents identifiés.....	275
6.2.3.2	Rappel de l'approche	275
6.2.3.3	Vulnérabilité physique de l'utilisation du sol dominant de l'île Mandji Nord : le cas du scénario S8, S10, S11 et S12 dans les conditions C.1	276
6.2.3.4	Vulnérabilité physique de l'utilisation du sol de l'île Mandji Nord : le cas du scénario S12 dans les conditions C.3	279
6.2.3.5	Vulnérabilité physique du réseau routier : description des résultats	283
6.2.3.6	Vulnérabilité physique du réseau routier du nord de l'île Mandji selon le scénario S8, S10, S11 et S12 avec les conditions C.1.....	283
6.2.3.7	Vulnérabilité physique du réseau routier du nord de l'île Mandji selon le scénario S12 avec les conditions C.3	286
6.2.4	<i>Synthèse à l'échelle de la commune</i>	289
6.3	ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE PHYSIQUE A GRANDE ECHELLE.....	292
6.3.1	<i>Cartographie de l'aléa focalisée sur le centre-ville</i>	292
6.3.1.1	Spatialisation de l'aléa selon les scénarios S1 et S2 reconstitué avec les conditions C.1 et le MNE haute précision : cartographie d'inondation potentielle actuelle.....	293
6.3.1.2	Spatialisation de l'aléa selon scénario S8, S10 et S11reconstitué avec les conditions C.1 et le MNE haute précision : cartographie prospective.....	295
6.3.1.3	Spatialisation de l'aléa selon scénario S12 dans les conditions C.1 et S12 dans les conditions C.3 : cartographie prospective	298
6.3.2	<i>Vers une meilleure connaissance des enjeux sur les bâtiments dans le centre-ville</i>	301
6.3.3	<i>Vulnérabilité physique du Bâti du centre-ville de Port-Gentil : description des résultats</i>	304
6.3.3.1	Vulnérabilité physique du bâti du centre-ville selon le scénario S8, S10, S11 et S12 avec les conditions C.1.....	304
6.3.3.2	Vulnérabilité physique du bâti du centre-ville selon le scénarioS12 avec les conditions C.3	308
	SYNTHESE DU CHAPITRE 6	311
CHAPITRE 7 : LES REPRESENTATIONS SOCIO-SPATIALES DU RISQUE D'INONDATION PAR LA MER : REVELATRICE D'UNE VULNERABILITE SOCIETALE		316
	INTRODUCTION DU CHAPITRE 7	317
7.1	ANCRAGE TERRITORIAL MALGRE UN ENVIRONNEMENT URBAIN PEU APPRECIE.	318
7.1.1	<i>Une population avec un fort ancrage territorial...</i>	318
7.1.2	<i>...motivée par des liens familiaux, la quiétude, les opportunités professionnelles, et parfois le manque d'alternatives...</i>	319
7.1.3	<i>...qui préfère demeurer dans leurs lieux de résidence malgré les risques éventuels</i>	321
7.1.4	<i>...et qui ont une perception de la commune qui peut varier entre positivité et négativité en fonction du lieu de résidence</i>	322
7.2	LA HIERARCHISATION DES RISQUES CHEZ LES PORTGENTILLAIS : LA PLACE DU RISQUE D'INONDATIONS PAR LA MER.....	326
7.2.1	<i>Un risque d'inondation par la mer peu présente chez les portgentillais</i>	326
7.2.2	<i>Le risque d'inondation par la mer : quatrième risque le plus inquiétant et sixième risque dont les populations se sentent exposées</i>	330
7.2.3	<i>Le risque d'inondation par la mer : véritable sujet pour Port-Gentil, mais dont le niveau de connaissance renforce la vulnérabilité des populations</i>	332
7.2.3.1	Aucune connaissance du phénomène d'inondation par la mer par les populations	333
7.2.3.2	Évaluation du niveau d'inquiétude présente et future aux inondations par la mer	334
7.3	UNE REPRESENTATION DU RISQUE D'INONDATION PAR LA MER DIFFERENCIEE.....	338
7.3.1	<i>Les facteurs de différenciation de la représentation du risque</i>	338
7.3.1.1	Les facteurs résidentiels déterminants dans la représentation du risque auprès des populations.	339
7.3.1.2	La position spatiale comme facteur déterminant la différenciation de la représentation de la population face au risque	343
7.3.2	<i>La carte mentale révélatrice d'une divergente de représentation du risque entres les autorités et la population</i>	346
7.3.2.1	Représentation graphique des ZRI et des ZTFE par les autorités politico-administratives.....	346
7.3.2.2	Représentation graphique des ZRI et des ZTFE par les populations	348
7.4	UN REGARD MITIGE DE LA GESTION DES RISQUES NATURELS DANS LA COMMUNE PAR LES POPULATIONS.....	350

7.4.1	<i>Connaissance des acteurs en charge de la gestion des risques et le regard de populations dans la politique de gestion du risque</i>	350
7.4.2	<i>Solution préconisée par les portgentillais et volonté de participer</i>	353
7.4.3	<i>Une confiance aux autorités locales mitigées</i>	356
	SYNTHESE DU CHAPITRE 7	359
CHAPITRE 8 : LES FREINS ET LES LEVIERS DE LA GOUVERNANCE EFFICACE DU RISQUE D'INONDATION PAR LA MER AU GABON		362
	INTRODUCTION DU CHAPITRE 8	363
8.1	UN SYSTEME DE GOUVERNANCE HERITE DE LA PROTECTION CIVILE ET SUR LA REDUCTION DES RISQUES DE CATASTROPHES (RRC)	364
8.1.1	<i>Les politiques internationales de réduction du risque</i>	364
8.1.1.1	<i>Cadre d'actions de Hyōgo (2005-2015)</i>	365
8.1.1.2	<i>Cadre d'action de Sendai (2015-2030)</i>	366
8.1.2	<i>Les stratégies au niveau sous-régional</i>	367
8.1.3	<i>Les limites du cadre d'action de la politique internationale en matière de gestion des risques naturels</i>	369
8.1.4	<i>La déclinaison de la gouvernance des risques naturels au niveau national</i>	370
8.2	UNE GOUVERNANCE LIMITEE SUR PLAN INSTITUTIONNEL, REGLEMENTAIRE ET FINANCIER	371
8.2.1	<i>Une gouvernance marquée par une instabilité institutionnelle</i>	371
8.2.2	<i>Une législation floue et lacunaire en matière de gestion du risque au Gabon</i>	375
8.2.3	<i>La gestion des risques est entachée de conflits de compétences et d'un manque de collaboration et de coordination</i>	380
8.2.3.1	<i>Des responsabilités pas souvent précisées</i>	380
8.2.3.2	<i>Le manque de collaboration entre acteurs institutionnels</i>	384
8.2.3.3	<i>Les tentatives de collaboration et de coordination entre les acteurs de la gestion des risques sans véritable impact</i>	386
	les villes gabonaises	386
8.2.3.3.2	<i>Comité interministériel d'Experts en Gestion des Situations d'Urgence</i>	388
8.2.3.3.3	<i>Plate-forme nationale pour la prévention et la réduction des risques de catastrophe</i>	389
8.2.4	<i>La faiblesse des moyens financier et humain</i>	392
8.2.4.1.1	<i>Au niveau national</i>	392
8.2.4.1.2	<i>Au niveau communal</i>	393
8.3	LA GESTION DES INONDATIONS PAR LA MER A L'EPREUVE DE L'URBANISATION DANS LA COMMUNE DE PORT-GENTIL	394
8.3.1	<i>L'urbanisation irresponsable des secteurs à risque d'inondation par la mer avérée : un développement urbain absurde qui ignore le danger</i>	396
8.3.2	<i>Le désarmement des services et direction technique au niveau local : mesures réglementaires insuffisantes, moyen humain et financier faible</i>	397
8.3.3	<i>Des aménagements protections locaux basés sur des actions individuelles privées peu efficaces contre les inondations marines</i>	401
	SYNTHESE DU CHAPITRE 8	403
	CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE	407
CONCLUSION GENERALE		412
	RAPPEL DU CONTEXTE DE LA RECHERCHE	413
	DEMARCHE ADOPTEE FONDEE SUR LA PRATIQUE DU TERRAIN ET DES TECHNIQUES DE GEOMATIQUE POUR REpondre A LA PROBLEMATIQUE	415
	LES PRINCIPAUX RESULTATS	416
	<i>Aléas</i>	416
	<i>Enjeux</i>	417
	<i>Représentation</i>	418
	<i>Politique de gestion</i>	418

<i>Vers une compréhension du système de production de la vulnérabilité aux inondations par la mer au niveau local</i>	419
PROPOSITION D’ACTION POUR REDUIRE LA VULNERABILITE URBAINE DE LA COMMUNE DE PORT-GENTIL.....	421
<i>Vulnérabilité physique</i>	421
<i>Vulnérabilité sociale</i>	424
LES ENSEIGNEMENTS DE CETTE THESE ET LES PERSPECTIVES	424
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	428
LISTE DES FIGURES	454
LISTE DES TABLEAUX	465
ANNEXES	467
<i>Annexe 1 : Position et présentation de l’ancien marégraphe de Port-Gentil</i>	468
<i>Annexe 2 : Marégramme mettant en évidence l’anomalies du 5/03/1962 (source SHOM)</i>	470
<i>Annexe 3 : Altimétrie du Cap Lopez et Port-Gentil</i>	471
<i>Annexe 4 : Guide d’entretien des présenté aux autorités politico-administratives locales</i>	472
<i>Annexe 5 : Extrait du questionnaire géolocalisé réalisé sur smartphone au près des populations</i>	477
<i>Annexe 6 : Tableau des indices de vulnérabilité des classes d’occupation du sol dominant dans la commune de Port-Gentil</i>	493
<i>Annexe 7 : Proposition de cartographie du Plan d’Exposition au Risque (PER) versus Inondations marines</i>	495
<i>Annexe 8 : Poster de communication lors du séminaire des doctorants UMR : LETG</i>	499
TABLE DES MATIERES	500

Evaluation de la vulnérabilité urbaine face aux inondations induites par la mer : le cas de la commune de Port-Gentil (Gabon)

Localisée dans la province de l'Ogooué Maritime au Gabon, plus précisément sur l'île de Mandji, la ville de Port-Gentil est exposée à une variété de risques naturels et anthropiques. Parmi ces risques, les inondations marines, bien que moins fréquentes que les inondations pluviales, constituent une menace sérieuse pour les aspects économiques et sociaux de la ville. Cette menace est exacerbée par l'expansion continue de la ville dans les zones à risque, en particulier le long de la côte et dans les zones sujettes aux inondations dues aux marées. Ainsi, cette recherche vise à comprendre l'impact actuel et futur des inondations marines sur Port-Gentil, ainsi que les facteurs contribuant à sa vulnérabilité. Cette thèse propose une évaluation multidimensionnelle de la vulnérabilité des zones urbaines confrontées aux risques naturels, en mettant l'accent sur les inondations induites par la mer. Pour ce faire, elle adopte une approche pluridisciplinaire et systémique afin d'intégrer autant que possible tous les éléments pertinents dans cette évaluation. Cette démarche méthodologique, à la fois pluri et/ou transdisciplinaire, permet de structurer cette évaluation en deux phases complémentaires. La première phase propose une évaluation de la vulnérabilité physique en examinant l'aléa d'un point de vue historique, prospectif et cartographique. Elle propose également une évaluation des enjeux structurants l'espace urbain, tels que l'utilisation des sols, les réseaux routiers et les bâtiments, à l'aide d'indices synthétiques de vulnérabilité physique. La deuxième phase propose une évaluation de la vulnérabilité sociétale en analysant la représentation du risque par la population et les autorités locales, à l'aide d'outils et de techniques d'enquête couramment utilisés en sciences sociales. Les résultats révèlent une exposition importante de la ville aux inondations marines, actuelles et futures. Selon le scénario le plus extrême, environ 75 % de la partie nord de l'île de Mandji serait exposée aux inondations marines d'ici 2100, le centre-ville historique étant le secteur le plus exposé et le plus vulnérable. De nombreuses infrastructures stratégiques de la ville pourraient être affectées, notamment à des niveaux de vulnérabilité physique élevés. Le réseau de canaux agirait comme un amplificateur de la propagation des inondations. Au niveau sociétal, il apparaît que les inondations marines ne constituent pas une priorité majeure pour la population et les autorités locales, ce qui augmenterait la vulnérabilité de la ville. L'étude met également en évidence des différences de représentation entre la population et les autorités quant à l'ampleur du risque. De plus, la confiance entre la population et les autorités locales est faible en ce qui concerne la gestion et son financement. Les lacunes du système de gouvernance sont observées en raison de l'instabilité institutionnelle, du chevauchement des compétences, de l'inadéquation des réglementations en matière de risques et du manque de ressources humaines et financières pour les actions locales. Cette thèse offre des éclairages précieux aux acteurs impliqués dans la gestion des risques naturels à Port-Gentil, soulignant l'importance d'une approche holistique dans les zones urbaines pour une évaluation plus efficace de la vulnérabilité dans les villes côtières, particulièrement en Afrique.

Mots clés : Vulnérabilité urbaine, Inondations marines, Représentation du risque, Port-Gentil, Gabon

Assessment of urban vulnerability to flooding induced by the sea: the case of the municipality of Port-Gentil (Gabon)

Located in the Ogooué Maritime province in Gabon, specifically on the island of Mandji, the city of Port-Gentil is exposed to a variety of natural and anthropogenic risks. Among these risks, marine flooding, although less frequent than rainfall-induced flooding, poses a serious threat to the city's economic and social aspects. This threat is exacerbated by the city's continued expansion into risk-prone areas, particularly along the coast and in areas prone to tidal flooding. Therefore, this research aims to understand the current and future impact of marine flooding on Port-Gentil, as well as the factors contributing to its vulnerability. This thesis proposes a multidimensional evaluation of the vulnerability of urban areas facing natural risks, focusing on sea-induced flooding. To do so, it adopts a multidisciplinary and systemic approach to integrate as many relevant elements as possible in this assessment. This methodological approach, both multidisciplinary and/or transdisciplinary, allows for the structuring of this evaluation into two complementary phases. The first phase offers an evaluation of physical vulnerability by examining hazard from a historical, prospective, and cartographic perspective. It also provides an assessment of the structural issues in urban space, such as land use, road networks, and buildings, using synthetic indices of physical vulnerability. The second phase proposes an evaluation of societal vulnerability by analyzing the population's and local authorities' representation of risk, using tools and survey techniques commonly used in social sciences. The results reveal a significant exposure of the city to marine flooding, both current and future. According to the most extreme scenario, approximately 75% of the northern part of Mandji Island would be exposed to marine flooding by 2100, with the historic downtown area being the most exposed and vulnerable sector. Many strategic city infrastructures could be affected, particularly at high levels of physical vulnerability. The canal network would act as an amplifier of flood propagation. Societally, it appears that marine flooding is not a major priority for the population and local authorities, which would increase the city's vulnerability. The study also highlights differences in representation between the population and authorities regarding the extent of the risk. Moreover, trust between the population and local authorities is low regarding management and financing. Governance system gaps are observed due to institutional instability, overlapping competencies, inadequacy of risk regulations, and lack of human and financial resources for local actions. This thesis provides valuable insights to stakeholders involved in natural risk management in Port-Gentil, emphasizing the importance of a holistic approach in urban areas for a more effective assessment of vulnerability in coastal cities, particularly in Africa.

Keywords: Urban vulnerability, Marine flooding, Risk representation, Port-Gentil, Gabon

