



Evaluation économique des impacts des risques côtiers en lien avec le changement climatique sur le littoral de la Guadeloupe – Année 1

Rapport final
BRGM/RP-67868-FR

Avril 2018



Document public

Evaluation économique des impacts des risques côtiers en lien avec le changement climatique sur le littoral de la Guadeloupe – Année 1

Rapport final

BRGM/RP-67868-FR

Avril 2018

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du
BRGM 2017-2018

D. Monfort-Climent, M. Grémont, L. Guillen et Y. Legendre

Vérificateur :

Nom : Rinaudo Jean-Daniel

Fonction : Responsable de
programme scientifique

Date : 18/04/2018



Approbateur :

Nom : Ywenn De la Torre

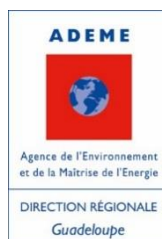
Fonction : Directeur Régional
BRGM Guadeloupe

Date : 19/04/2018



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr



Mots-clés : Risques littoraux, submersion marine, érosion, évaluation économique, coût de l'inaction, changement climatique, Guadeloupe.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Monfort-Climent D., Grémont M., Guillen L. et Legendre Y. (2018), **Évaluation économique des impacts des risques côtiers en lien avec le changement climatique sur le littoral de la Guadeloupe – Année 1**, Rapport final. BRGM/RP- 67868 - FR, 133 p.,69 fig., 2 ann..

© BRGM, 2018, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Situé au centre des Petites Antilles, l'archipel de la Guadeloupe est particulièrement exposé aux risques côtiers dont l'intensité tend à s'accroître avec l'élévation du niveau de la mer et le changement climatique. Dans le même temps, la concentration de sa population et de ses activités le long du littoral rend l'économie de l'île particulièrement vulnérable face aux aléas littoraux.

Ce rapport s'inscrit dans le cadre d'un projet financé par l'ADEME, le BRGM et la Chambre de Commerce et d'Industrie des Iles de Guadeloupe dont l'objectif est d'évaluer le coût de l'inaction face à l'augmentation des risques côtiers sur le littoral de la Guadeloupe à horizon 2050. Il s'agit en particulier d'évaluer l'impact économique que pourraient générer la submersion marine et le recul du trait de côte si aucune action d'adaptation n'est mise en place pour en réduire les effets. À terme, ces résultats permettront d'éclairer les décideurs locaux quant aux stratégies d'adaptation les plus pertinentes à mettre en œuvre pour réduire les impacts des risques côtiers et améliorer la résilience de la Guadeloupe face au changement climatique.

Planifié sur trois ans, ce projet se compose de quatre tâches :

- La tâche 1 vise à caractériser les aléas et les enjeux et à sélectionner trois études de cas représentatives des problématiques rencontrées sur le littoral ;
- La tâche 2 vise à évaluer, sur ces trois sites d'études, les impacts physiques du recul du trait de côte et de la submersion marine ;
- La tâche 3 vise à évaluer, sur les trois sites d'études, les impacts indirects de ces phénomènes sur la population et les activités économiques (pertes d'exploitation pour les entreprises, surcoûts d'approvisionnement pour les ménages, etc.) ;
- La tâche 4 consiste à extrapoler les résultats obtenus sur les sites d'études à l'ensemble du littoral guadeloupéen en vue de fournir un ordre de grandeur du coût de l'inaction à horizon 2050.

La première année de travail a essentiellement été consacrée aux tâches 1 et 2. Ce rapport en présente les principaux résultats.

La caractérisation des aléas et des enjeux sur les 630 km de côtes de l'archipel a permis de construire une typologie de territoires littoraux puis de sélectionner trois sites d'études représentatifs de la diversité des problématiques rencontrées sur le littoral. L'enjeu était de sélectionner un nombre limité de cas d'études sur lesquels pourrait être évaluée une grande diversité d'impacts générés par les aléas littoraux. Les cas d'études doivent ainsi permettre de collecter suffisamment d'éléments d'analyse pour extrapoler les résultats à l'ensemble du littoral, compte tenu des caractéristiques géomorphologiques et socio-économiques des territoires côtiers. Trois sites d'étude ont ainsi été sélectionnés :

- La *zone industrielle de Jarry*, dont le choix se justifie par sa singularité, son poids dans l'économie de l'archipel et sa forte exposition à la submersion marine ;

- Le *centre de Pointe-à-Pitre* qui est fortement exposé au risque de submersion marine, et dont la nature des enjeux est caractéristique des zones urbaines à forte densité de population, composée notamment d'habitats collectifs, de commerces et de patrimoine culturel ;
- Le *bourg de Sainte-Anne* qui est exposé à la fois à la submersion marine et au recul du trait de côte, dont l'occupation du sol se caractérise par une mixité d'usages et dont l'économie dépend fortement du tourisme.

Une méthodologie permettant de caractériser l'évolution des aléas littoraux à horizon 2050 et d'évaluer le *coût direct* résultant des dommages physiques causés par ces aléas a ensuite été développée. Diverses fonctions de dommages ont été utilisées pour évaluer les impacts physiques sur quatre catégories d'enjeux : les logements, les activités économiques (entreprises et établissements publics), les routes et les véhicules personnels. À horizon 2050, le changement climatique a été pris en compte à travers l'élévation du niveau de la mer qui impacte chacun des aléas et dont la valeur est estimée en Guadeloupe, pour un scénario tendanciel d'émissions de gaz à effet de serre, à +0,26 mètres par rapport à un niveau de référence correspondant au niveau marin global moyen sur la période 1986-2005. Cette méthode a été appliquée à deux premières études de cas.

Pour chaque aléa, deux scénarios ont ainsi été construits :

- Le *scénario actuel* qui correspond à l'occurrence de l'évènement de référence en 2015 ;
- Le *scénario 2050* qui correspond à l'occurrence de l'évènement de référence, compte tenu de l'élévation du niveau de la mer à horizon 2050.

Pour chaque scénario, les éléments suivant ont été caractérisés puis évalués :

- L'emprise géographique de la submersion marine et de l'érosion côtière ;
- Le nombre et la nature des enjeux situés en zone inondable ;
- Le coût économique direct des dommages générés par les aléas côtiers sur les quatre catégories d'enjeux étudiées.

Le différentiel de coûts entre scénarios correspond dès lors au surcoût généré par le changement climatique.

Les résultats obtenus offrent un éclairage sur la façon dont les coûts sont répartis géographiquement et par nature d'enjeux sur le territoire.

Sur la zone industrielle de Jarry, le coût direct des risques côtiers est estimé à 21M€ dans le scénario actuel, contre 24 M€ à horizon 2050. L'essentiel des dommages correspond aux pertes de stocks et d'équipements des entreprises des secteurs du commerce, de la réparation de véhicules et de l'industrie manufacturière. La valeur des dommages sur le contenu des bâtiments et les outils de production est ainsi supérieure à la valeur des dommages sur la structure des bâtiments. Les entreprises présentes sur la zone de Jarry ont en effet la particularité de posséder de vastes espaces de stockage en biens et en équipements dont la valeur est plus élevée que la valeur des bâtiments dans lesquels ils sont stockés. En moyenne, les dommages physiques s'élèvent à environ 10 k€/salarié et 120 k€/établissement.

Dans le centre de Pointe-à-Pitre, la densité et la diversité des enjeux exposés à la submersion marine sont plus importantes. Les coûts directs relèvent à la fois de dommages aux ménages (logements et véhicules personnels pour un tiers des coûts) et de dommages aux entreprises (stocks, équipements et structure des bâtiments pour les deux tiers restants). Ils sont estimés à plus de 21 M€ dans le scénario actuel, contre 26 M€ à horizon 2050. Contrairement aux résultats obtenus sur la zone industrielle de Jarry, les stocks contribuent ici relativement peu aux coûts directs sur les activités économiques car la surface des locaux des entreprises, notamment les commerces de proximité, est nettement plus faible à Pointe-à-Pitre. Leur capacité de stockage en biens et équipements est par conséquent limitée. Ceci explique également que les dommages moyens par établissement soient inférieurs à Pointe-à-Pitre (140 k€/établissement) alors que les dommages par salarié sont supérieurs (21 k€/salarié).

Bien que préliminaires, ces résultats tendent à montrer qu'à horizon 2050, le changement climatique génèrerait un surcoût compris entre 16 et 21% pour les seuls dommages physiques des risques côtiers. Cet ordre de grandeur est relativement faible et témoigne de l'importance des impacts d'ores et déjà associés au scénario actuel.

D'un point de vue méthodologique, le principal intérêt de l'approche développée repose sur la possibilité d'exploiter conjointement des fonctions d'endommagement faisant référence au sein de la communauté scientifique et un ensemble de données socio-économiques désagrégées par secteur d'activité et spécifiques à la Guadeloupe. Une attention particulière a ainsi été portée à l'utilisation de données locales, qu'elles soient mises à disposition par des organismes publics puis adaptées aux besoins de l'étude, ou collectées directement sur le terrain par l'équipe de projet.

En termes de résultats, les estimations réalisées fournissent un éclairage quant aux secteurs d'activités les plus enclins à être impactés par les risques côtiers, compte tenu de la localisation géographique des établissements et de la valeur de leurs actifs.

Les prochaines étapes de cette étude consisteront à (i) estimer les coûts directs des dommages physiques sur la troisième étude de cas (Sainte-Anne), en intégrant notamment à la méthode un volet relatif à l'évaluation des dommages causés par le recul du trait de côte, (ii) estimer le coût des dommages indirects sur les trois études de cas, et enfin (iii) extrapoler ces résultats à l'ensemble du littoral.

Sommaire

1. Présentation du projet	17
1.1. CONTEXTE	17
1.2. OBJECTIFS ET DÉROULEMENT DU PROJET	17
1.3. PERIMÈTRE D'ÉTUDE	20
1.4. HORIZON TEMPOREL	20
1.5. TYPOLOGIE DES DOMMAGES ESTIMÉS	20
1.6. COMITE DE PILOTAGE	21
1.7. CONTENU DU RAPPORT INTERMÉDIAIRE	22
2. Caractérisation des aléas sur le littoral de la Guadeloupe	23
2.1. ELEVATION DU NIVEAU DE LA MER	23
2.1.1. Méthodologie	23
2.1.2. Résultats	25
2.2. SUBMERSION MARINE	26
2.2.1. Méthodologie	26
2.2.2. Résultats	27
2.3. REcul DU TRAIT DE COTE	28
2.3.1. Méthodologie	28
2.3.2. Résultats	29
3. Caractérisation des enjeux sur le littoral de la Guadeloupe	31
3.1. ENJEUX CARACTÉRISÉS	31
3.2. SOURCES DES DONNÉES	31
3.2.1. Bâtiments indifférenciés	32
3.2.2. Bâtiments à caractère industriel, agricole ou commercial	35
3.2.3. Bâtiments administratifs, religieux, sportifs, et relatifs au transport	36
3.2.4. Réseau routier	36
3.2.5. Réservoirs d'eau	36
3.2.6. Ports et aéroports	36
3.2.7. Centres de production d'électricité et transformateurs	37

3.2.8. Bâtiments situés dans la bande des 50 pas géométriques.....	37
3.3. RÉSULTATS.....	38
4. Analyse typologique des zones exposées aux aléas littoraux et sélection des études de cas.....	40
4.1. ANALYSE TYPOLOGIQUE DES ZONES EXPOSÉES AUX ALEAS LITTORAUX.....	40
4.1.1. Echelle d'analyse.....	40
4.1.2. Méthodologie.....	41
4.1.3. Résultats.....	44
4.2. SELECTION DES ETUDES DE CAS.....	47
4.2.1. Méthodologie.....	47
4.2.2. Choix de l'étude de cas n°1.....	47
4.2.3. Choix de l'étude de cas n°2.....	47
4.2.4. Choix de l'étude de cas n°3.....	47
5. Méthode pour l'évaluation des coûts directs des risques côtiers.....	55
5.1. CARACTÉRISATION DU REcul DU TRAIT DE CÔTE À HORIZON 2050.....	55
5.2. CARACTÉRISATION DE LA SUBMERSION MARINE À HORIZON 2050.....	56
5.3. CARACTÉRISATION FINE DES ENJEUX EXPOSÉS.....	57
5.4. EVALUATION DES COÛTS DIRECTS DE LA SUBMERSION MARINE.....	60
5.4.1. Coûts directs sur les logements.....	60
5.4.2. Coûts directs sur les bâtiments commerciaux et industriels.....	65
5.4.3. Coûts directs sur les réseaux routiers.....	73
5.4.4. Coûts directs sur les véhicules personnels.....	74
5.5. EVALUATION DES COÛTS DIRECTS DU REcul DU TRAIT DE CÔTE.....	74
5.6. PRINCIPALES LIMITES DE LA MÉTHODE.....	74
6. Études de cas.....	76
6.1. ETUDE DE CAS N°1 : LA ZONE INDUSTRIELLE DE JARRY.....	76
6.1.1. Présentation du site d'étude.....	76
6.1.2. Caractérisation fine des aléas à horizon 2050.....	77
6.1.3. Caractérisation des impacts physiques.....	83
6.1.4. Estimation des coûts directs.....	85

6.2. ETUDE DE CAS N°2 : LE CENTRE DE POINTE-À-PITRE	87
6.2.1. Présentation du site d'étude	87
6.2.2. Caractérisation fine des aléas à horizon 2050	89
6.2.3. Caractérisation des impacts physiques.....	90
6.2.4. Estimation des coûts directs	94
7. Conclusion	98
8. Bibliographie.....	103

Liste des figures

Figure 1. Organisation du projet	19
Figure 2. Déroulement du projet.....	19
Figure 3. Classification des dommages causés par les risques naturels.....	21
Figure 4. Causes des variations du niveau marin relatif (adapté d'après Cazenave et Le Cozannet, 2014).	23
Figure 5. Projections médianes de l'élévation du niveau de la mer (en m par rapport au niveau marin global moyen sur la période 1986-2005). Ces projections régionales prennent en compte les empreintes spatiales des différentes contributions massiques, dans le cadre du scénario RCP 8.5 à horizon 2100 d'après Le Cozannet et al., in prep. (données: IPCC, 2013; Slangen et al., 2014 et Jackson and Jevrejeva, 2016)	24
Figure 6. Projection d'élévation du niveau de la mer pour le RCP 8.5 jusqu'à l'horizon 2100 (d'après Le Cozannet et al., in prep).....	25
Figure 7. Cartographie de l'aléa de submersion marine de l'archipel guadeloupéen d'après les Plans de Prévention des Risques naturels Communaux.....	27
Figure 8. Dynamique du littoral guadeloupéen entre 1950 et 2013 complétée pour les dépendances d'après Guillen et al (2017). En rouge les secteurs en recul, en gris les secteurs à l'équilibre et en bleu les secteurs en avancée.	29
Figure 9. Types d'usage des bâtiments et critères d'identification.....	34
Figure 10. Exemple de cartographie identifiant les usages des bâtiments indifférenciés à Port-Louis (Source : BRGM à partir de BD Topo).....	35
Figure 11: Réseau électrique de la Guadeloupe (source EDF 2017).	37
Figure 12. Exemple d'une parcelle littorale située dans la frange des 50 pas. La parcelle à gauche contient plusieurs bâtiments (Source : BRGM à partir de BD Topo).	38
Figure 13. Représentation géographique des 136 IRIS de Guadeloupe (source INSEE).	40
Figure 14. Liste des critères utilisés dans l'analyse typologique.....	42
Figure 15. Statistiques descriptives des indicateurs utilisés dans l'analyse typologique	43
Figure 16. Valeurs propres associées à chaque facteur	44
Figure 17. Illustration des résultats de l'ACP : Nuage d'IRIS sur un plan F1 / F2.....	45
Figure 18. Illustration des résultats de l'ACP : Nuage d'IRIS sur un plan F1 / F3.....	46
Figure 19. Résultats de l'analyse multicritère.....	49
Figure 20. Caractérisation des sites d'étude au regard des trois critères d'analyse.....	51

Figure 21. Localisation géographique des trois études de cas (Corine Land Cover et Open Street Map)	53
Figure 22. Démarche d'estimation du nombre d'établissements par bâtiment. Nota : M peut se moduler en fonction de la surface de chaque bâtiment du site et N peut se moduler en fonction de la surface occupée par chaque établissement dans le bâtiment.58	
Figure 23. Reconstitution du numéro SIRET des établissements à partir de la BD SIRENE	59
Figure 24. Attribution de l'effectif salarié par établissement à partir de la BD SIRENE	60
Figure 25. Courbes d'endommagement pour la submersion marine appliquées aux logements, adaptées de CEPRI (en € ₂₀₁₅ / m ²)	62
Figure 26. Fonctions d'endommagement pour divers types d'enjeux. Exemple de l'Europe. Source : Huizinga et al., 2017.	63
Figure 27. Fonctions d'endommagement pour divers continents. Exemple des logements. Source : Huizinga et al., 2017.	63
Figure 28. Fonction d'endommagement des logements à St-Marteen, adapté de Huizinga et al., 2017.	64
Figure 29. Valeurs de dommage maximal pour le bâti et le mobilier des logements en Guadeloupe	64
Figure 30. Schéma de la démarche utilisée pour estimer les coûts directs de la submersion marine sur les logements.....	65
Figure 31. Fonctions d'endommagement FLEMOcs pour les bâtiments, les équipements et les stocks spécifiques aux activités économiques. Source : Seifert et al. (2011)...	67
Figure 32. Décomposition de la variable APET700 par niveaux de la classification NAF rév.2.	68
Figure 33. Bases de données et indicateurs mobilisées pour estimer la valeur des stocks et équipements	71
Figure 34. Prix de construction des bâtiments commerciaux et industriels, par code d'activité NAF, à partir des données du CGDD 2009 (en €/m ²).....	72
Figure 35. Démarche adoptée pour l'estimation des coûts directs associés à la submersion marine des bâtiments commerciaux et industriels.....	73
Figure 36. Localisation géographique de la zone industrielle de Jarry et du périmètre de la zone d'étude (en rouge).....	77
Figure 37. Comparaison des positionnements des traits de côte entre 1950 (vert) et 2013 (jaune) sur la zone industrielle de Jarry, sur un fond orthophotographique de 1950 (IGN). 78	
Figure 38. Projection de recul du trait de côte à l'horizon 2050 (érosion et Lmax inclus) sur les secteurs de Jarry et de Pointe-à-Pitre	79
Figure 39. Hauteur d'eau maximale sur la zone industrielle de Jarry pour le scénario cyclonique de référence (1928) avec le niveau marin actuel (à gauche) et celui projeté à horizon 2050 (à droite).....	81
Figure 40. Hauteur d'eau maximale pour le scénario 2050 et comparaison avec le contour de la submersion dans le scénario actuel sur la zone de Jarry.....	82
Figure 41. Différentiel de hauteur d'eau entre les deux scénarios sur la zone de Jarry.	82
Figure 42. Enjeux inondés en lien avec les activités économiques sur la zone industrielle de Jarry, par scénario	83
Figure 43. Répartition du nombre d'établissements dans la zone inondée de Jarry, par secteur d'activité.	83
Figure 44. Coûts directs des risques côtiers sur les activités économiques de la zone industrielle de Jarry (tableau).....	86

Figure 45. Coûts directs des risques côtiers sur les activités économiques de la zone industrielle de Jarry (graphique).....	86
Figure 46. Répartition des dommages liées aux équipements et aux stocks, par secteur d'activité (en k€).....	87
Figure 47. Synthèse des coûts directs sur la zone industrielle de Jarry	87
Figure 48. Périmètre de la zone d'étude de Pointe-à-Pitre.	88
Figure 49. Comparaison des positionnements des trait de cote entre 1950 (vert) et 2013 (jaune) sur le secteur de Pointe à Pitre, sur un fond orthophotographique de 1950 (IGN). ..	89
Figure 54. Nombre de logement inondés dans le centre de Pointe-à-Pitre, par scénario	90
Figure 55. Nombre d'enjeux en lien avec les activités économiques inondés dans le centre de Pointe-à-Pitre, par scénario	90
Figure 50. Submersion marine sur la zone d'étude de Pointe à Pitre pour le scénario actuel. ..	91
Figure 51. Submersion marine sur la zone d'étude de Pointe à Pitre pour le scénario à horizon 2050	91
Figure 52. Hauteur d'eau maximale pour le scénario 2050 et comparaison avec le contour de la submersion dans le scénario actuel sur la zone d'étude du centre de Pointe-à-Pitre.	92
Figure 53. Différentiel de hauteur d'eau entre les deux scénarios sur la zone d'étude du centre de Pointe-à-Pitre.	92
Figure 56. Répartition du nombre d'établissements inondés dans le centre de Pointe-à-Pitre, par secteur d'activité.	93
Figure 57. Nombre de véhicules personnels inondés dans le centre de Pointe-à-Pitre	94
Figure 58. Coûts directs des risques côtiers sur les logements du centre de Pointe-à-Pitre, par méthode d'estimation.....	94
Figure 59. Coûts directs des risques côtiers sur les activités économiques de la zone industrielle de Jarry (tableau).....	95
Figure 60. Coûts directs des risques côtiers sur les activités économiques de la zone industrielle de Jarry (graphique).....	95
Figure 61. Synthèse des coûts directs dans le centre de Pointe-à-Pitre (tableau)	96
Figure 62. Synthèse des coûts directs dans le centre de Pointe-à-Pitre (graphique).....	96
Figure 63. Surfaces inondées dans les zones urbaines par îlots IRIS (PPR houle cyclonique).....	114
Figure 64. Morphologie du littoral – Part du linéaire de côte de type “plage”, par îlots IRIS ...	115
Figure 65. Morphologie du littoral – Part du linéaire de côte de type côte rocheuse de topographie basse, par îlots IRIS.....	116
Figure 66. Erosion du trait de côte (valeur en m/an du recul statistique moyen annualisée du trait de côte) par îlots IRIS. Valeurs négatives : recul. Valeurs positives : accrétion. .	117
Figure 67. Nombre de logements de fortune et de cases, par îlots IRIS (INSEE).	118
Figure 68. Taux de chômage par îlots IRIS (INSEE)	119
Figure 69. Part de résidences secondaires et logements occasionnels par îlots IRIS (INSEE 2013).	120
Figure 70. Surfaces occupées par du bâti industriel et commercial par îlots IRIS (en m ² , BD Topo).	121
Figure 71. Secteurs économiques couverts par les ratios sectoriels IEDOM, la base de données ESANE et les fascicules sectoriels de la Banque de France.	124

Liste des annexes

Annexe 1 Liste des IRIS recensées par l'INSEE en Guadeloupe.....	107
Annexe 2 Cartographies des indicateurs utilisés pour l'analyse typologique des zones exposées aux aléas littoraux.....	113

1. Présentation du projet

1.1. CONTEXTE

L'archipel de la Guadeloupe est exposé à de multiples risques naturels dont les effets tendent à s'accroître avec le changement climatique. Sur les territoires insulaires du bassin Caraïbe, les travaux scientifiques relayés par le Groupement International d'Experts sur l'évolution du Climat (GIEC) montrent que d'ici la fin du XXIème siècle, l'élévation du niveau de la mer et l'intensification des cyclones renforceront les risques côtiers liés au recul du trait de côte (érosion côtière) et aux submersions marines (inondations) (IPCC, 2014). L'occurrence de plusieurs phénomènes météo-marins extrêmes durant la saison cyclonique 2017 témoignent de cette évolution.

Or, la concentration de sa population et de son économie le long du littoral rend la Guadeloupe particulièrement vulnérable face à ces risques côtiers. Cette vulnérabilité relève à la fois de dommages physiques, du fait de l'impact direct qu'auront ces phénomènes sur les bâtiments, les équipements et les infrastructures exposées, et de dommages socio-économiques, du fait de leur impact indirect sur la population et le tissu économique local (interruption du fonctionnement des entreprises, coupures de réseaux, etc.). Ces impacts indirects sur les activités économiques sont particulièrement prégnants en Guadeloupe car le tissu économique de l'île est essentiellement constitué de petites entreprises, peu capitalisées, dont la vulnérabilité face aux risques naturels est d'autant plus importante qu'elles bénéficient de peu de moyens à même d'accroître leur capacité d'adaptation.

À l'échelle de l'île, le coût de ces risques côtiers peut s'avérer considérable si aucune action d'adaptation n'est mise en place pour en réduire les effets. Pour autant, mettre en œuvre et dimensionner des stratégies d'adaptation et d'aménagement efficaces, à un coût adapté aux enjeux économiques exposés, requiert au préalable de comprendre les mécanismes physiques à l'origine de ces impacts et d'évaluer l'ampleur des coûts associés.

1.2. OBJECTIFS ET DÉROULEMENT DU PROJET

Ce rapport s'inscrit dans le cadre d'un projet d'appui aux politiques publiques financé par l'ADEME, le BRGM et la Chambre de Commerce et d'Industrie des Iles de Guadeloupe. L'objectif de ce projet est d'évaluer le coût de l'inaction face aux risques côtiers sur le littoral de la Guadeloupe à horizon 2050.

L'approche développée mobilise les sciences de l'environnement, les sciences humaines et sociales et les sciences économiques. Elle s'appuie sur une chaîne d'analyse combinant :

- Des modèles numériques spatialisés à haute résolution, une analyse historique de la morphodynamique du littoral et des scénarios probabilisés d'élévation du niveau de la mer pour caractériser les aléas littoraux ;
- Des observations de terrain, un travail de photo-interprétation et une analyse SIG pour caractériser les enjeux exposés ;

- Des fonctions d'endommagement, des indicateurs économiques et l'analyse des comportements individuels à l'aide d'enquêtes auprès des acteurs locaux pour mesurer la vulnérabilité des biens et des populations et évaluer le coût des impacts sur le territoire.

Ce projet se compose de quatre tâches :

- La tâche 1 porte sur la caractérisation des aléas littoraux et des enjeux. Elle comporte trois sous-tâches réalisées successivement au cours du projet.
 - o La première consiste à (i) caractériser les aléas de recul du trait de côte¹ et de submersion marine² actuels sur l'ensemble du littoral, (ii) identifier les enjeux exposés à ces aléas, et (iii) sélectionner trois sites d'études représentatifs des problématiques actuellement les plus fortes sur le littoral, en vue d'y réaliser une évaluation économique des dommages.
 - o La seconde consiste à modéliser finement les aléas de recul du trait de côte et de submersion marine sur chacune des études de cas, compte tenu de l'élévation attendue du niveau de la mer à horizon 2050.
 - o La troisième consiste à caractériser les aléas de recul du trait de côte et de submersion marine sur l'ensemble du littoral, compte tenu de l'élévation attendue du niveau de la mer à horizon 2050³.
- La tâche 2 vise à évaluer, sur les trois sites d'études, les impacts physiques du recul du trait de côte et de la submersion marine sur les enjeux exposés (logements, entreprises, bâtiments publics, infrastructures, hors infrastructures spécifiques⁴) et à estimer les *coûts directs* associés à ces dégradations.
- La tâche 3 vise à évaluer, sur ces trois sites d'études, les impacts indirects de ces phénomènes sur la population et les activités économiques et estimer les *coûts indirects*

¹ L'aléa recul du trait de côte n'ayant pas été caractérisé dans la version actuelle des Plans de Prévention des Risques naturels (PPRn), nous avons interprété la susceptibilité du littoral guadeloupéen à l'érosion en nous basant sur l'analyse diachronique de l'évolution historique du trait de côte (Guillen et al., 2017)

² Ce travail repose sur l'interprétation de la cartographie de l'aléa cyclonique correspondant à l'aléa submersion marine d'origine cyclonique issus des Plan de Prévention des Risques Naturels actuellement en vigueur et réalisés pour chaque commune de Guadeloupe entre 1997 et 2009.

³ Ce travail repose notamment sur les résultats de deux projets en cours : (i) la révision de l'ensemble des Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) de la Guadeloupe par la DEAL dont la mise à disposition de la cartographie des aléas ne sera pas disponible avant la fin 2018, et (ii) la projection de l'évolution du trait de côte à horizon 2100 dans le cadre du projet de recherche C3AF dont les premiers résultats ne seront pas disponibles avant mi-2018. Le retard pris sur ces projets au cours de l'année 2017 ne nous a pas permis de caractériser les aléas littoraux liés au changement climatique à horizon 2050 dès le commencement du projet. Une solution alternative a donc consisté à sélectionner les études de cas sur la base des aléas actuels et à intégrer l'élévation du niveau de la mer à horizon 2050 dans les modélisations à l'échelle des études de cas. Cette solution a été approuvée par le COPIL en Juillet 2017. Les aléas littoraux à horizon 2050, compte tenu des impacts du changement climatique, seront caractérisés sur l'ensemble du littoral dès que les résultats de ces projets connexes seront disponibles. C'est bien cette caractérisation à horizon 2050 qui sera utilisée pour extrapoler le coût de l'inaction à l'ensemble de la Guadeloupe.

⁴ Les pertes économiques ne sont pas estimées pour les infrastructures spécifiques (centrale thermique de Jarry notamment), car cela nécessiterait une étude approfondie de leur fonctionnement, ce qui sort du champ de cette étude dont l'objectif est de fournir un ordre de grandeur du coût de l'inaction sur l'ensemble du littoral et non sur quelques infrastructures spécifiques. La démarche permettra néanmoins de lister les enjeux potentiellement impactés par les aléas et de caractériser ces impacts.

associés (pertes d'exploitation pour les entreprises, surcoûts d'approvisionnement pour les ménages, etc.).

- La tâche 4 consiste à extrapoler les résultats sur les coûts directs et indirects obtenus sur les sites d'études à l'ensemble du littoral guadeloupéen en vue de fournir un ordre de grandeur du coût de l'inaction à horizon 2050.

À terme, ce projet permettra d'éclairer les décideurs publics quant aux stratégies d'adaptation les plus pertinentes à mettre en œuvre pour réduire les impacts des risques côtiers et améliorer la résilience de la Guadeloupe face au changement climatique.

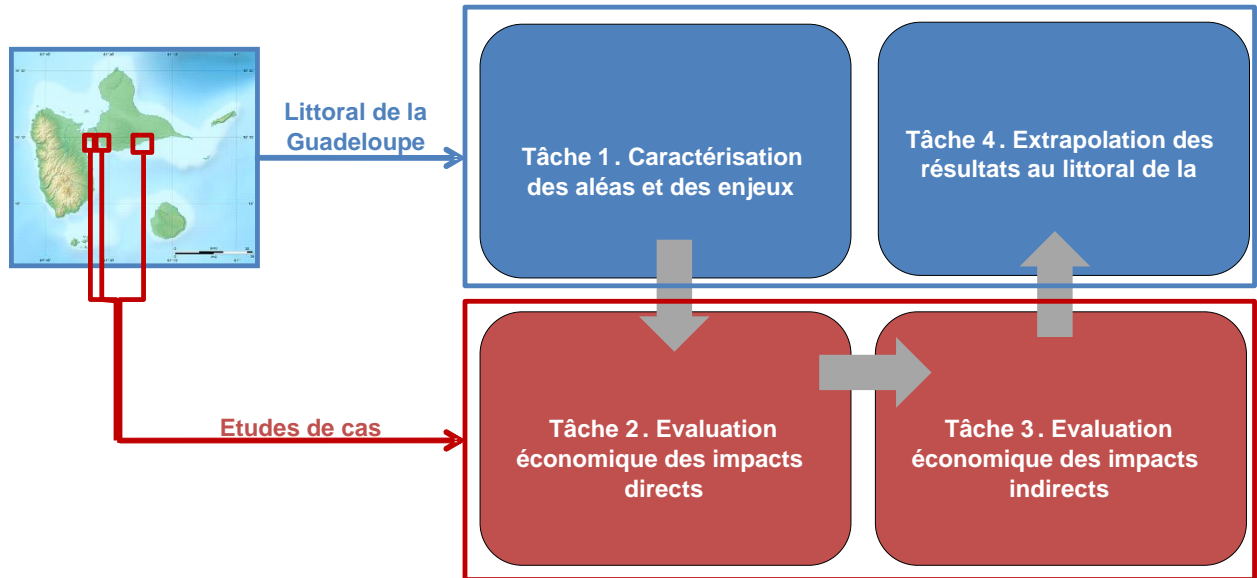


Figure 1. Organisation du projet

La Figure 2 présente l'agencement du travail sur les 3 années du projet (2017-2019).

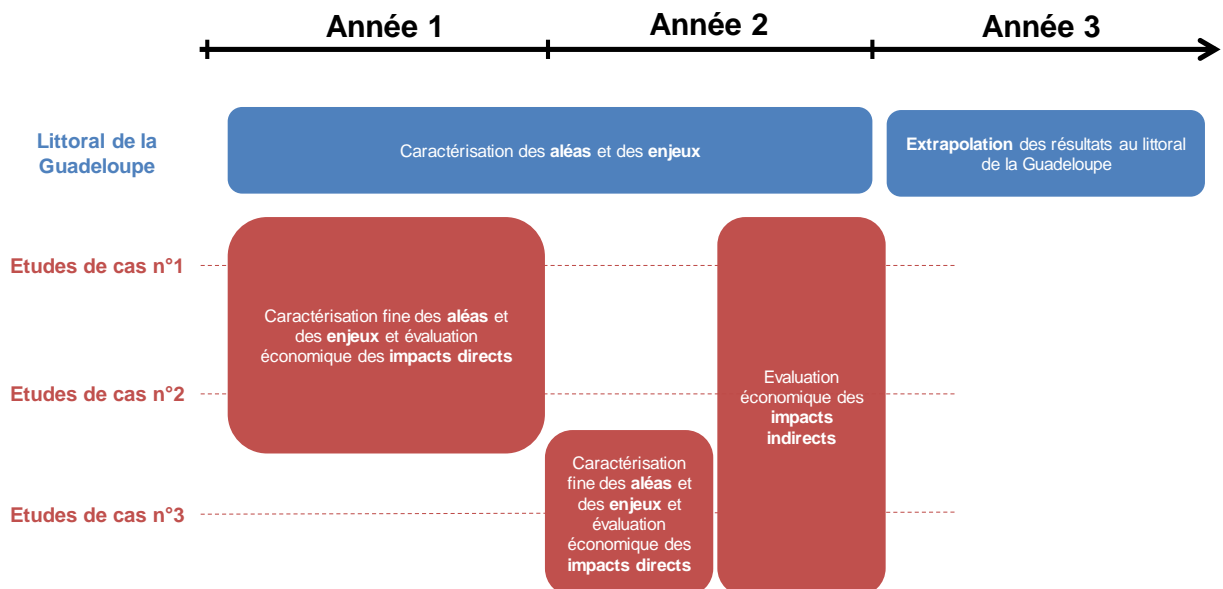


Figure 2. Déroulement du projet

1.3. PERIMÈTRE D'ÉTUDE

Le périmètre d'étude inclut l'ensemble du littoral de l'archipel Guadeloupéen. Les aléas et les enjeux exposés sont caractérisés sur les 630 km de côtes de l'archipel. Parmi les secteurs les plus à risques, plusieurs zones représentatives de la diversité des problématiques rencontrées seront sélectionnées afin d'y réaliser une évaluation des coûts directs et indirects des dommages à l'échelle locale. Ces résultats seront ensuite extrapolés à l'ensemble du littoral en vue de fournir une estimation des coûts de l'inaction face aux risques côtiers à l'échelle de l'île.

1.4. HORIZON TEMPOREL

L'analyse s'effectue à horizon 2050 pour des enjeux constants. Les aléas sont évalués au regard de l'évolution probable de l'élévation du niveau de la mer à horizon 2050 mais les enjeux (localisation géographique des infrastructures, diversification du tissu économique, etc.) sont supposés identiques aux enjeux actuellement présents sur la zone d'étude. Il s'agit donc d'évaluer une situation dans laquelle les aléas de demain se produisent sur la société et les aménagements d'aujourd'hui. Le choix d'un horizon temporel à 2050 permet de mettre en évidence des changements significatifs dans l'occurrence et l'intensité des phénomènes naturels étudiés, tout en maintenant les incertitudes dans une fourchette relativement acceptable, de façon à formuler des recommandations qui s'appuient sur des arguments robustes, et s'inscrivent dans une échéance (environ 30 ans) utile à la prise de décision. L'année de référence pour décrire la situation actuelle est 2015. Il s'agit de l'année pour laquelle les données économiques de l'INSEE étaient les plus récentes lors du lancement de l'étude.

1.5. TYPOLOGIE DES DOMMAGES ESTIMÉS

Les phénomènes naturels génèrent plusieurs types de dommages sur les biens et les populations (Christin et al, 2014 ; Van der Veen, 2004) dont seule une partie est évaluée dans le cadre de ce projet.

Une première distinction provient du caractère tangible ou intangible des dommages :

- Les *dommages tangibles* correspondent à des effets pouvant faire l'objet d'une évaluation monétaire (dégradations physiques de l'habitat, pertes d'exploitations, etc.) ;
- Les *dommages intangibles* reposent sur des mécanismes pour lesquels il n'existe pas de marché (pertes de vies humaines, dégradation des écosystèmes, augmentation de la pénibilité au travail, mise en danger des salariés, détérioration de l'image de l'entreprise, etc.).

Une seconde distinction provient de leur relation au choc initial :

- Les *dommages directs* sont imputables à l'impact physique de l'aléa. Ils correspondent notamment à des dégâts matériels (destruction, endommagement) ou à des dommages aux personnes (mortalité, morbidité) ;
- Les *dommages indirects* sont les effets subis dans l'attente du remplacement des biens détruits. Ces impacts indirects correspondent à la diffusion dans le système économique des impacts directs des phénomènes naturels. Il s'agit par exemple des conséquences économiques des interruptions de réseaux pour leurs usagers (perte de productivité

induite par l'impossibilité pour un salarié de se rendre sur son lieu de travail du fait de la fermeture d'une route, achat d'eau en bouteille par un ménage en cas de coupure du réseau d'eau potable, etc.), ou encore, des pertes d'exploitation des entreprises dont les outils de production sont directement impactés par le phénomène naturel.

- Les *dommages macroéconomiques* (ou secondaires) correspondent à l'ensemble des dommages agrégés sur l'économie nationale. Ils sont liés à la performance globale de l'économie et prennent notamment en compte les relations de substitution entre secteurs de l'économie.

Ce projet s'intéresse aux coûts directs et indirects des dommages tangibles (Figure 3).

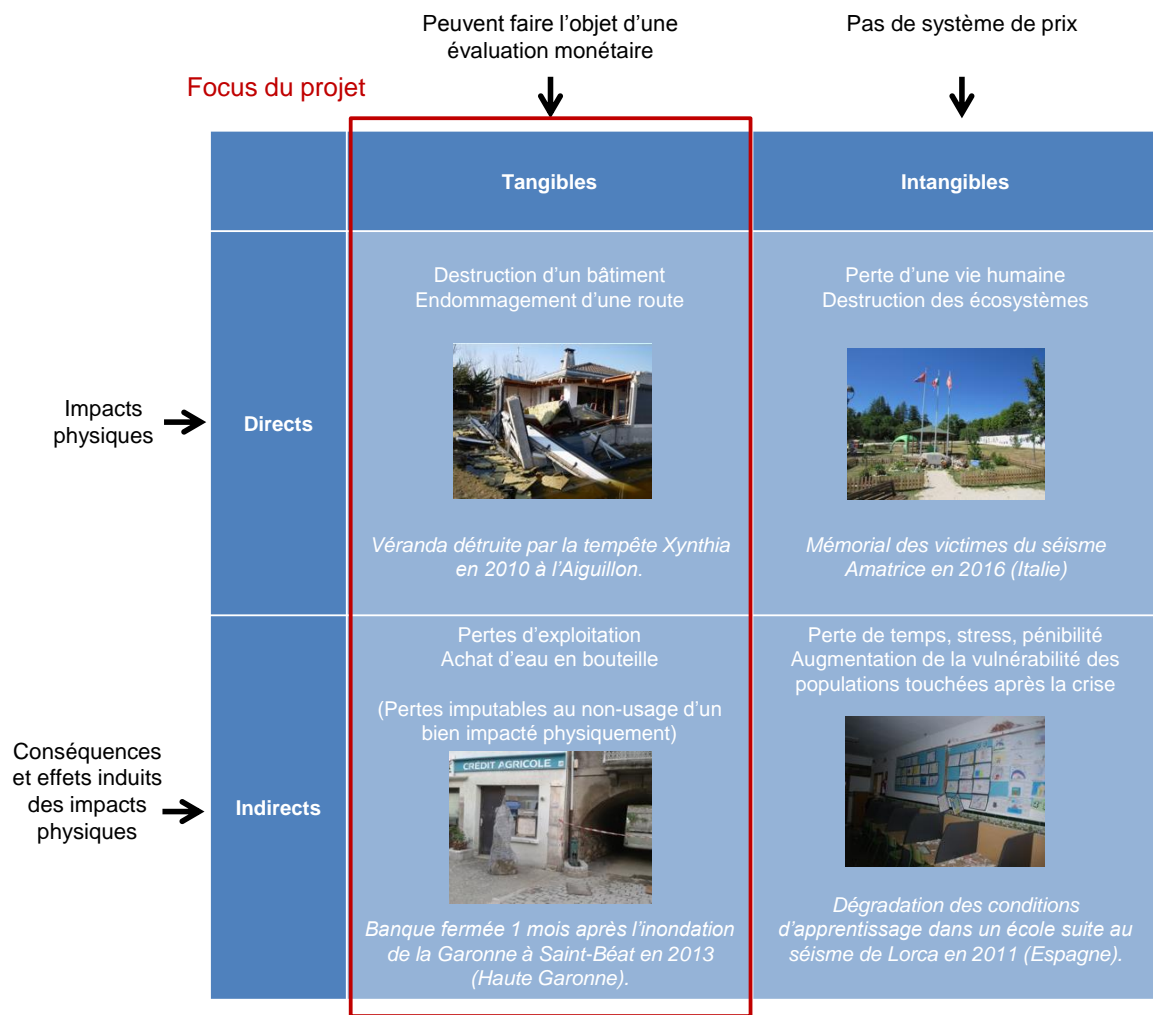


Figure 3. Classification des dommages causés par les risques naturels

1.6. COMITE DE PILOTAGE

Le comité de pilotage du projet est constitué de représentants des organismes suivants :

- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie ;
- Chambre de Commerce et d'Industrie des Iles de Guadeloupe ;

- Agence des 50 pas géométriques ;
- Conseil Régional de Guadeloupe ;
- BRGM.

Les collectivités territoriales impliquées dans la gestion des risques naturels sur les études de cas seront également invitées à participer au Comité de Pilotage les années 2 et 3 (les communautés d'agglomérations de Cap 'Excellence et de la Riviera du Levant, ainsi que les communes de Baie-Mahault, Pointe-à-Pitre et Sainte-Anne).

Trois réunions du Comité de Pilotage ont été organisées durant la première année du projet, en février 2017, juillet 2017 et avril 2018.

Deux notes d'avancement ont également été rédigées en préparation des deux premières réunions du Comité de Pilotage. Ces notes sont en partie reprises dans ce rapport intermédiaire.

1.7. CONTENU DU RAPPORT INTERMÉDIAIRE

Ce rapport présente les principaux résultats de la première année de travail. Il porte sur les tâches 1 et 2 et s'articule comme suit :

- Le chapitre 2 présente les résultats de la caractérisation des aléas (élévation du niveau de la mer, submersion marine et recul du trait de côte) sur l'ensemble du littoral de la Guadeloupe ;
- Le chapitre 3 recense les principaux enjeux exposés à ces aléas sur le littoral de la Guadeloupe ;
- Le chapitre 4 s'appuie sur l'analyse croisée des aléas (chapitre 2) et des enjeux (chapitre 3) pour construire une typologie de zones exposées aux aléas littoraux en Guadeloupe en vue de sélectionner trois sites d'études sur lesquels réaliser une évaluation économique du coût des dommages ;
- Le chapitre 5 présente les résultats de l'évaluation des coûts directs des risques côtiers sur deux études de cas ;
- Le chapitre 6 synthétise les principaux résultats de la première année de travail.

2. Caractérisation des aléas sur le littoral de la Guadeloupe

Ce chapitre présente l'élévation attendue du niveau de la mer à horizon 2050 ainsi que les résultats de la caractérisation des aléas recul du trait de côte et submersion marine sur le littoral de la Guadeloupe.

2.1. ELEVATION DU NIVEAU DE LA MER

L'élévation du niveau marin résulte à la fois de la dilatation thermique des océans et de la fonte des glaciers de montagne et des calottes polaires (Figure 4). Ce phénomène présente une importante variabilité régionale du fait notamment de l'hétérogénéité du réchauffement de l'océan d'une part, et des modifications du champ de gravité et des redistributions de masses induites par la fonte des glaciers et des calottes polaires d'autre part.

Dans le cadre du projet de recherche « Conséquences du Changement Climatique dans les Antilles Françaises » (C3AF, 2017-2019) financé par le Fonds Européen de Développement Économique et Régional (FEDER), le BRGM s'est attaché à développer trois scénarios d'élévation du niveau de la mer régionalisée, spécifiques à la Guadeloupe et à horizon 2100 (Le Cozannet et al., in prep.). C'est à partir de ces premiers travaux que l'élévation du niveau de la mer a été projetée à horizon 2050 dans le cadre de la présente étude.

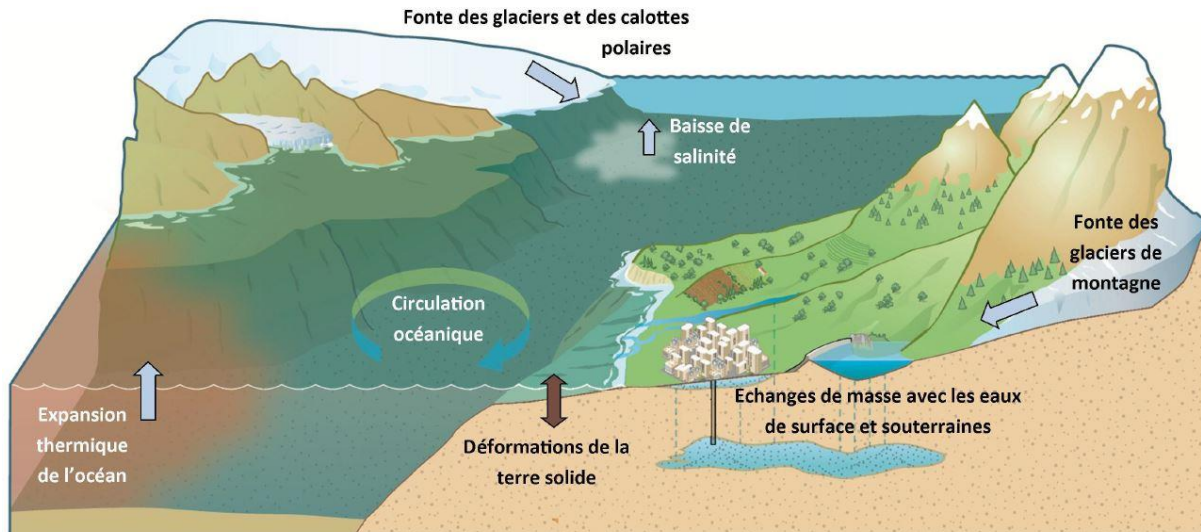


Figure 4. Causes des variations du niveau marin relatif (adapté d'après Cazenave et Le Cozannet, 2014).

2.1.1. Méthodologie

Les scénarios d'élévation du niveau de la mer régionalisée développés dans le cadre du projet C3AF sont basés sur les projections du GIEC (IPCC, 2014). Ils appliquent les méthodes d'analyse les plus récentes, développées dans le cadre du groupe de travail « Régional Sea-Level Change and Coastal Impacts » du *World Climate Research Programme*, auquel le BRGM participe.

La démarche consiste dans un premier temps à définir les distributions de possibilités correspondant aux différents phénomènes en jeu (Figure 4) et aux incertitudes associées (niveau de la mer global, mouvements du sol, événements extrêmes, etc.) (Le Cozannet et al., 2017 ; in prep). Par la suite, les sources d'incertitudes sont analysées de façon à identifier la contribution de chaque paramètre à l'élévation du niveau de la mer pour différentes échéances temporelles. Ces projections globales sont ensuite régionalisées (Figure 5) en sommant les effets de chaque contribution à l'élévation du niveau de la mer à l'échelle régionale (Slangen et al., 2014 ; Le Cozannet et al., 2017) :

- Expansion thermique des océans et effets de changements de circulation océanique et de pression atmosphérique ;
- Pertes de masses des glaciers de montagne ;
- Pertes de masses des calottes de glace antarctiques et groenlandaises ;
- Prélèvements d'eaux souterraines ;
- Réponse de la terre solide à la dernière déglaciation (ajustement isostatique global).

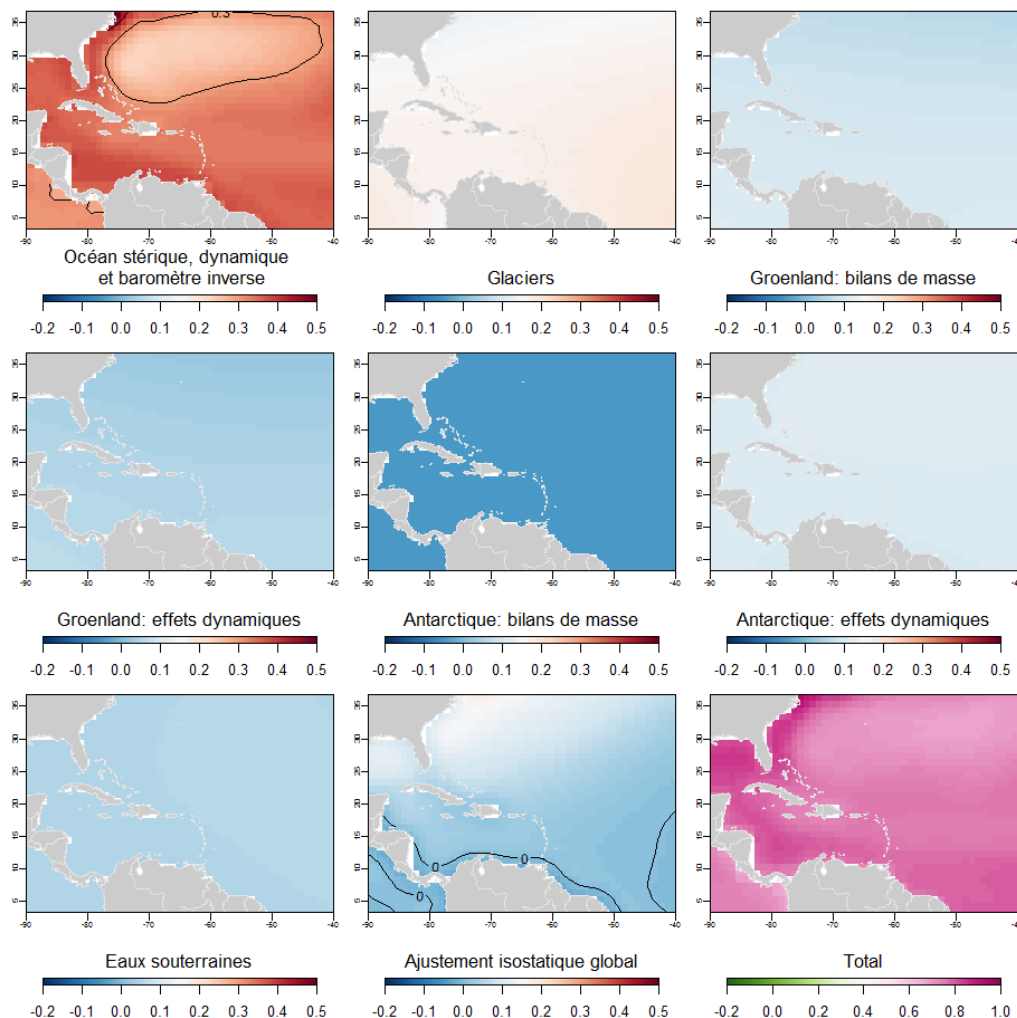


Figure 5. Projections médianes de l'élévation du niveau de la mer (en m par rapport au niveau marin global moyen sur la période 1986-2005). Ces projections régionales prennent en compte les empreintes spatiales des différentes contributions massiques, dans le cadre du scénario RCP 8.5 à horizon 2100 d'après Le Cozannet et al., in prep. (données: IPCC, 2013; Slangen et al., 2014 et Jackson and Jevrejeva, 2016)

Ces scénarios probabilisés d'élévation régionale du niveau de la mer correspondent à trois scénarios RCP (pour *Representative Concentration Pathway*) construits par le GIEC pour décrire l'évolution de la concentration en gaz à effet de serre (GES) au cours du XXI^e siècle en fonction du développement socio-économique et de la politique climatique (IPCC, 2013) : (i) le RCP 2.6 qui décrit un scénario strict d'atténuation permettant un maintien du réchauffement à un niveau inférieur à 2 °C au-dessus des niveaux préindustriels; (ii) le RCP 4.5 qui décrit un scénario intermédiaire et (iii) le RCP 8.5 qui correspond à des émissions élevées de GES, caractérisées par une absence de politique d'atténuation au niveau global.

2.1.2. Résultats

Dans le cadre de ce projet, le comité de pilotage a retenu l'utilisation du scénario le plus pessimiste, à savoir le RCP 8.5. C'est le scénario le moins ambitieux en termes de réduction d'émissions de GES mais il reste probable car il correspond à la prolongation de la tendance actuelle des émissions de GES.

En Guadeloupe, l'élévation du niveau de la mer correspondant à ce scénario est estimée à +0.26 m à horizon 2050 par rapport à un niveau de référence correspondant au niveau marin global moyen sur la période 1986 - 2005 (Figure 5). Il s'agit de la fourchette haute des estimations d'élévation du niveau de la mer à horizon 2050, les valeurs médianes des scénarios RCP 2.6 et 4.5 s'élevant chacune à +0.24 m.

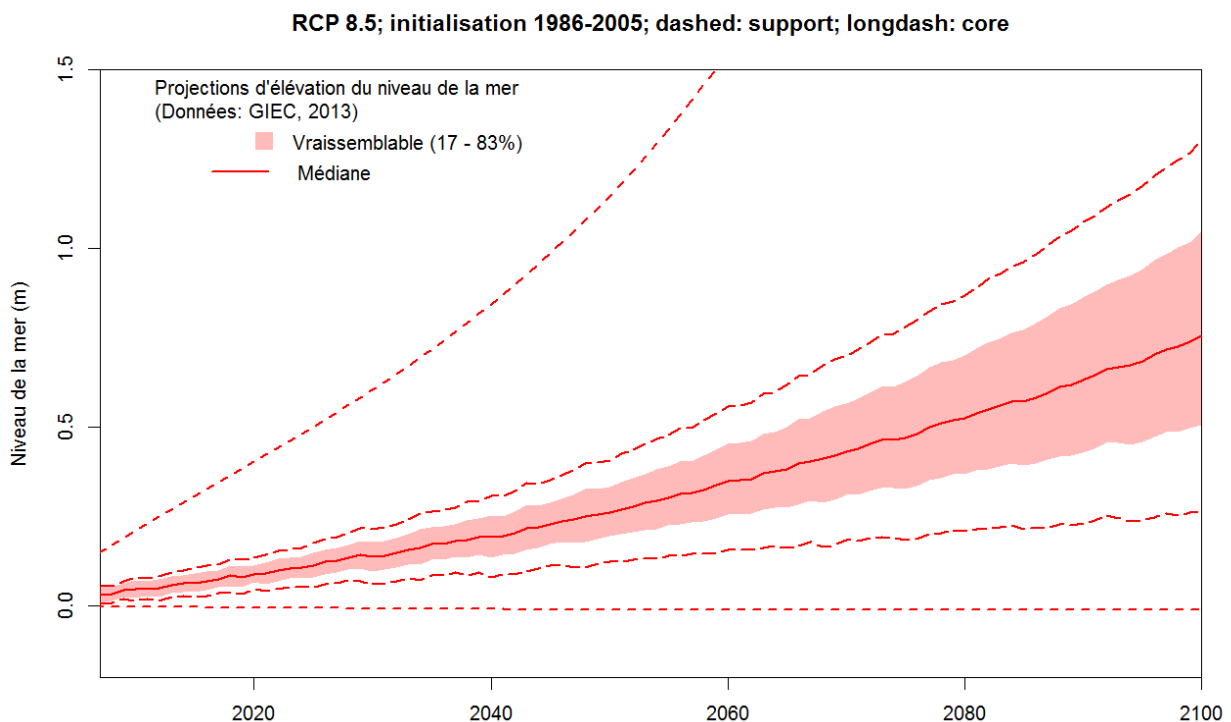


Figure 6. Projection d'élévation du niveau de la mer pour le RCP 8.5 jusqu'à l'horizon 2100 (d'après Le Cozanet et al., in prep).

Ces valeurs d'élévation du niveau moyen de la mer calculées spécifiquement pour les Antilles, sont très comparables aux valeurs moyennes mondiales d'élévation du niveau de la mer fournies par le GIEC (IPCC, 2013) avec respectivement pour les scénarios RCP 2.6, 4.5 et 8.5 des valeurs moyennes d'élévation du niveau moyen de la mer de +0.23m, +0.23m et +0.26m.

Ces résultats seront utilisés pour modéliser les aléas littoraux à horizon 2050 dans les différents sites d'études de cas.

2.2. SUBMERSION MARINE

Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par la mer lors de d'événements météorologiques (tempêtes, cyclones) et océaniques (houle, tsunami⁵) défavorables.

2.2.1. Méthodologie

Pour l'ensemble du territoire guadeloupéen, l'aléa submersion marine considéré correspond à l'aléa cyclonique décrit et cartographié dans les Plans de Prévention des Risques naturels (PPRn) actuellement en vigueur et réalisés pour chaque commune de Guadeloupe entre 1997 et 2009⁶.

Tous les PPRn communaux ne disposent pas de notes techniques précisant la méthodologie mise en œuvre pour caractériser l'aléa submersion marine. Cependant la DEAL indique que (i) l'aléa cyclonique correspond bien à l'aléa submersion marine d'origine cyclonique et que (ii) la méthodologie PPRn utilisée entre 1997 et 2009 est conforme à la méthodologie nationale décrite dans le guide méthodologique des Plan de Prévention des Risques Littoraux (Direction de la prévention des pollutions et des risques, 1997). Ce guide national constitue donc la référence pour apprécier le contenu du zonage de l'aléa submersion marine d'origine cyclonique.

Conformément à la récente analyse comparative des PPR communaux de Guadeloupe menée par Nachbaur et al (2015), la méthode de détermination de l'aléa submersion marine distingue deux zones d'aléas :

- La zone d'aléa fort correspond à la zone d'impact des vagues située dans une bande littorale de 10 m à 50 m (10 m : littoral rocheux surélevé d'au moins 1 à 2 m ; 20 m : littoral protégé par des enrochements ou mur en béton ; 50 m : plage susceptible d'être érodée). Ces valeurs ont été déterminées par retour d'expérience suite aux ouragans Luis et Marylin et les deux dernières valeurs sont pondérées en présence de récif.
- La zone d'aléa moyen correspond à la zone située sous la surcote de référence. La définition de cette surcote de référence repose sur la surcote atmosphérique maximum

⁵ L'aléa tsunami n'est pris en compte dans le cadre de ce projet.

⁶ Depuis 2015, les PPRn sont en cours de révision en Guadeloupe. L'actualisation de l'aléa submersion marine est réalisé par le CEREMA et la DEAL. En attendant la publication des nouvelles données actualisées sur l'aléa submersion marine (données disponibles courant 2018), l'étude se base sur les données d'aléa « cyclonique » des PPRn actuels.

définie par Météo-France en 1995 dans une analyse des surcotes cycloniques en Guadeloupe.

Nachbaur et al (2015) mettent aussi en relief de nombreuses disparités entre les différents PPR quant aux critères de zonage, notamment concernant la méthodologie, la distance par rapport au trait de côte ou encore l'altitude par rapport à une cote de référence. Cela est dû au fait que les PPRn communaux ont été réalisés par différents bureaux d'études sur une large période comprise entre 1997 et 2009.

2.2.2. Résultats

La cartographie de l'aléa de submersion marine des PPRn des communes littorales de Guadeloupe est présentée sur la Figure 7.

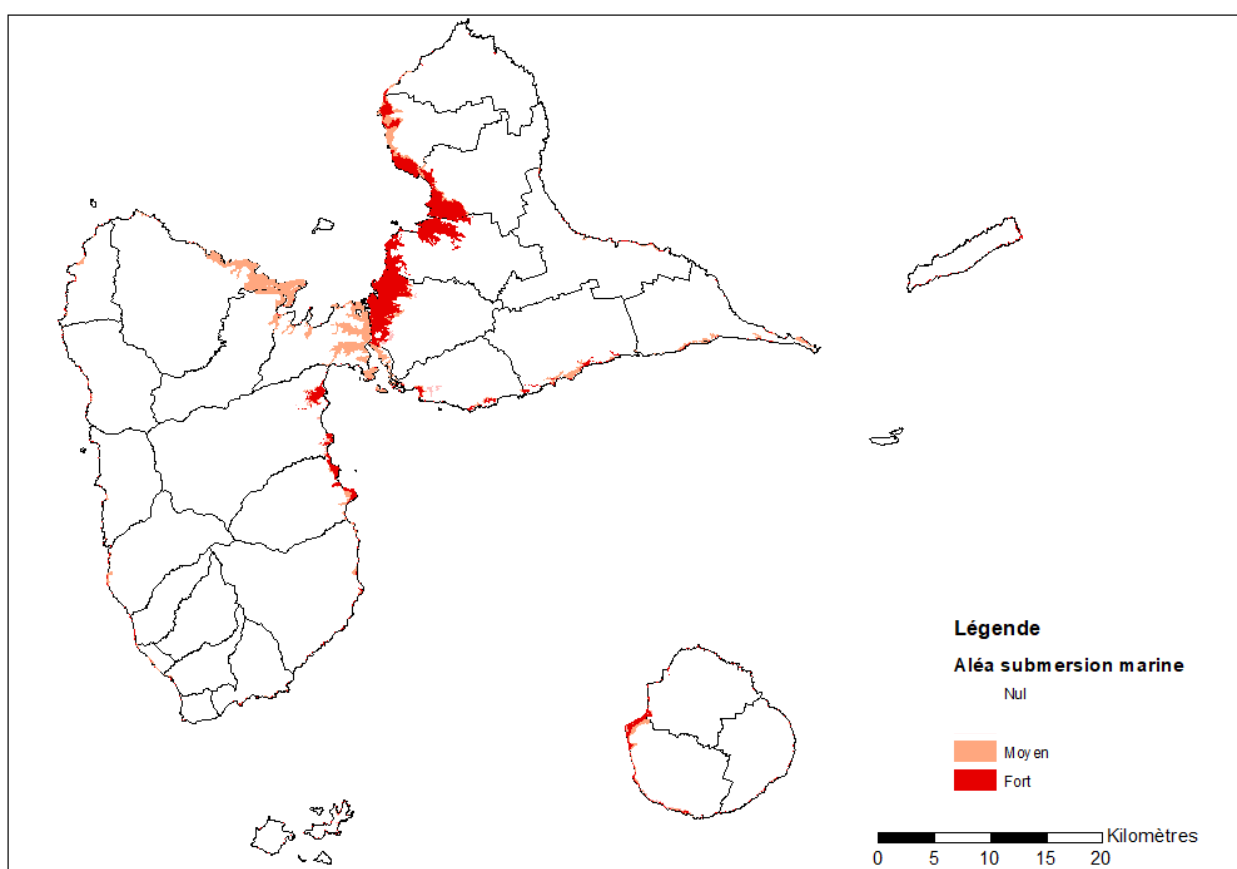


Figure 7. Cartographie de l'aléa de submersion marine de l'archipel guadeloupéen d'après les Plans de Prévention des Risques naturels Communaux

L'aléa fort de submersion marine issu des PPRn communaux concerne principalement les zones basses suivantes :

- Une grande surface de la côte est du Grand Cul-de-Sac Marin (Morne-à-l'Eau, les Abymes, Port-Louis et Petit-Canal) ;
- La Côte-au-Vent, sur les communes de Petit-Bourg, Goyave et Capesterre-Belle-Eau (Sainte-Marie, Carénage et Sarlassonne) ;

- Le sud de Grande-Terre sur les communes de Gosier (Grande Baie), Sainte-Anne (littoral de la Pointe de la Caravelle à l'Anse du Belley, incluant le centre-bourg) et Saint-François (centre-bourg).

L'aléa moyen de submersion marine issu des PPRn communaux touche :

- Le Petit Cul-de-Sac Marin avec la zone industrielle de Jarry à Baie-Mahault ainsi que le territoire de la commune de Pointe-à-Pitre ;
- L'ouest du Grand Cul-de-Sac Marin (Sainte-Rose, Lamentin et le nord de Baie-Mahault) ;
- Des secteurs ponctuels du sud et l'est de Grande-Terre sur les communes de Gosier, Sainte-Anne, Saint-François et le Moule ;
- Des secteurs ponctuels de la Basse-Terre (Deshaies, Pointe-Noire, Vieux-Habitants, Basse-Terre, Gourbeyre, Petit-Bourg et Capesterre-Belle-Eau).

2.3. REcul DU TRAIT DE COTE

Le recul du trait de côte est le déplacement vers l'intérieur des terres, de la limite entre le domaine marin et le domaine continental. Ce phénomène résulte généralement d'une perte de matériaux sous l'effet de l'érosion marine induite par des processus côtiers (houles et courants), combinées parfois à des actions continentales sur les falaises côtières.

Le 5^{ème} rapport de la mission Jouzel (Planton et al., 2015) rappelle que les conséquences de l'élévation du niveau de la mer sur l'érosion côtière et le recul du trait de côte pourraient être très importantes. L'élévation du niveau de la mer affecte le recul du trait de côte à travers deux processus :

- La submersion permanente de zones basses ;
- L'érosion du littoral, définie comme un transport de matériaux (sable, galets, vase, roches), et pouvant se traduire, ou non, par un recul ou une avancée du trait de côte.

2.3.1. Méthodologie

Notre approche pour caractériser la susceptibilité du littoral guadeloupéen à l'érosion repose sur les résultats de l'analyse diachronique de l'évolution historique du trait de côte entre 1950 et 2013 issus du projet : « Morphodynamique du littoral guadeloupéen. Phase 1 – Définition et mise en place d'un réseau d'observation et de suivi du trait de côte : évaluation historique du trait de côte guadeloupéen » (Guillen et al., 2017). Ces résultats ont été étendus aux dépendances (Désirade, Marie-Galante et les Saintes) dans le cadre de la présente étude.

La méthodologie utilisée repose sur la digitalisation de la position du trait de côte à partir d'images aériennes et satellitaires à différentes dates (1950, 1998, 2004, 2010 et 2013). La photo-interprétation de ces images permet d'identifier la position du trait de côte à une date donnée. Pour ce faire des marqueurs reproductibles dans le temps et dans l'espace ont été définis : le pied de falaise en côte rocheuse, la limite de végétation en côte sableuse, le pied des structures de protection pour les côtes aménagées et le front de mangrove.

Dans cette même étude, un calcul statistique est effectué par le biais du logiciel *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) (Thieler et al, 2009) à partir des traits de côtes digitalisés afin d'en déterminer le recul ou l'avancée pour une période de temps donnée, le long de transects espacés tous les 50 m sur le littoral. Le taux de variation annuel moyen obtenu s'exprime en mètres par an. À partir de ces données, trois grandes classes de dynamique sont distinguables : (1) celles en recul, (2) celles qui sont soit à l'équilibre, soit situées dans la marge d'incertitudes, et (3) celles en avancée.

Dans le cadre de la révision des PPRn, le BRGM a été sollicité par la DEAL pour réaliser le zonage de l'aléa recul du trait de côte et dans le cadre du projet de recherche FEDER C3AF, une prise en compte de l'élévation du niveau de la mer pour la cartographie de l'aléa recul du trait de côte sera initiée. Les résultats de ces travaux sont attendus pour septembre 2018 et seront directement pris en compte dans la tâche 4 en vue de fournir un ordre de grandeur du coût de l'inaction à horizon 2050.

2.3.2. Résultats

La Figure 8 présente les tendances d'évolution du trait de côte entre 1950 et 2013 sur l'archipel de la Guadeloupe. Les seuils d'équilibre dynamique et/ou de marge d'incertitudes sont définis à +0.25 m/an et à -0.25 m/an.

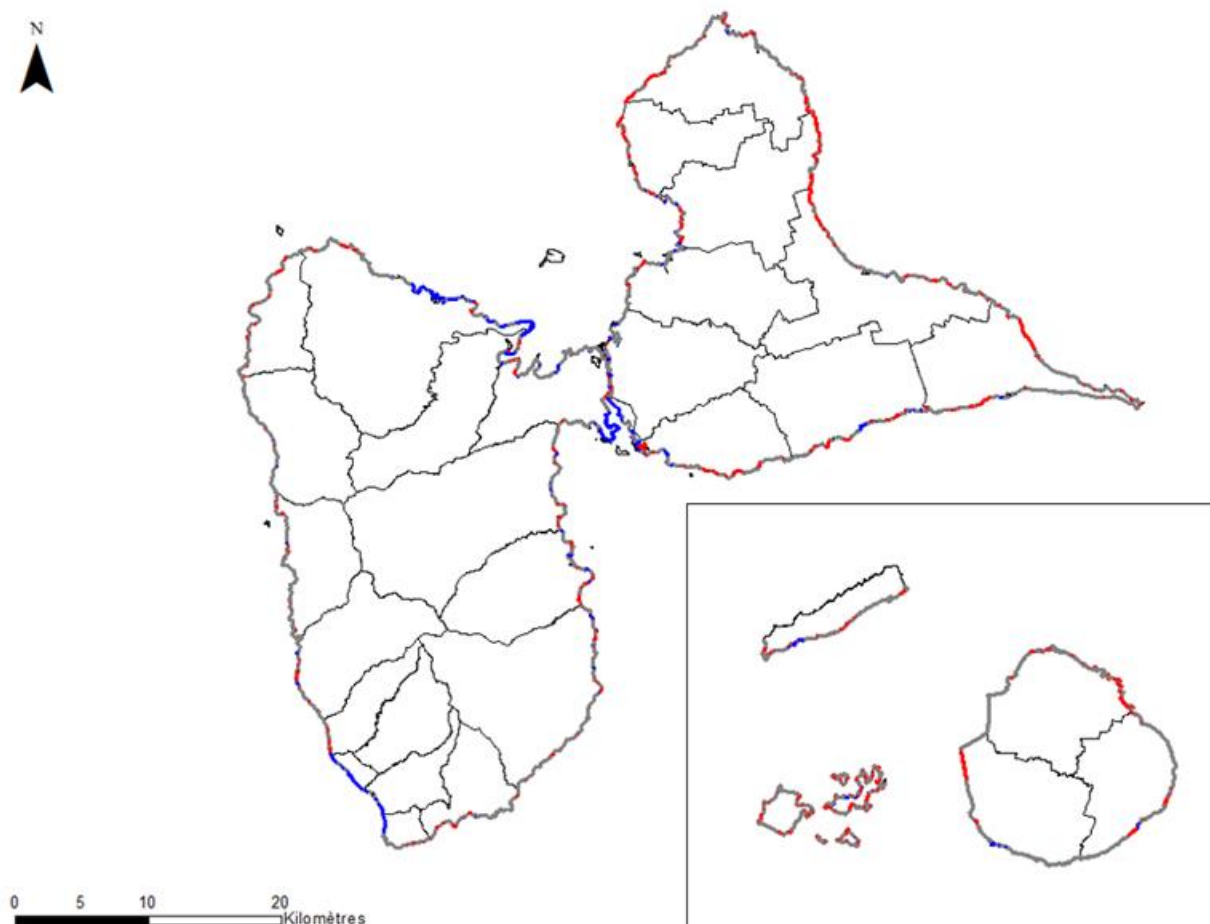


Figure 8. Dynamique du littoral guadeloupéen entre 1950 et 2013 complétée pour les dépendances d'après Guillen et al (2017). En rouge les secteurs en recul, en gris les secteurs à l'équilibre et en bleu les secteurs en avancée.

Les secteurs en recul sont indiqués en rouge. Ils concernent de grandes étendues des côtes est et nord-ouest de la Grande-Terre, représentées des falaises rocheuses ainsi que des secteurs plus localisés répartis sur sa côte nord-est (de Petit-Canal à Anse-Bertrand) et sud (du Gosier à Saint-François) constitués de côtes basses sableuses (Saint-Felix, Les Salines, la Caravelle, La plage du Bourg de Saint-Anne et la plage des Raisins Clairs par exemple). La Basse-Terre est également concernée par des reculs localisés du trait de côte sur l'ensemble de son rivage (essentiellement des plages de poche), excepté le secteur côtier protégé par le Grand-Cul de Sac Marin au nord et le littoral aménagé de la ville de Basse-Terre au sud.

Les secteurs en avancée entre 1950 et 2013 sont localisés dans les secteurs suivants, ils sont principalement le fait d'espaces aménagés gagnés sur la mer :

- le littoral qui a été aménagé de la commune de Basse-Terre ;
- le secteur de Jarry à Baie-Mahault et de Pointe-à-Pitre qui sont tous deux aménagés ;
- les zones de mangroves dans le Grand-Cul de Sac Marin ;
- quelques secteurs plus localisés et ponctuels de la Grande-Terre et de la Basse-Terre (aménagement de zones portuaires principalement).

3. Caractérisation des enjeux sur le littoral de la Guadeloupe

Ce chapitre recense et localise les enjeux exposés aux risques côtiers sur le littoral de la Guadeloupe.

Ces enjeux seront ensuite utilisés pour :

- Construire une typologie de zones exposées à partir de laquelle sélectionner trois études de cas représentatives des problématiques les plus prégnantes sur le littoral de la Guadeloupe (chapitre 4) ;
- Caractériser les impacts physiques des risques côtiers sur les études de cas (chapitre 5) ;
- Extrapoler les résultats des évaluations économiques à l'ensemble de la Guadeloupe (année 3). Selon les besoins de cette dernière étape, des compléments pourront être apportés pour améliorer la robustesse de l'extrapolation (ajout de certains types d'enjeux par exemple).

3.1. ENJEUX CARACTÉRISÉS

Les enjeux caractérisés à ce stade du travail sont les suivants :

- Bâti courant (logements et commerces de proximité) ;
- Services publics (écoles, hôpitaux, etc.) ;
- Bâtiments commerciaux et industriels ;
- Surfaces et bâtiments agricoles ;
- Axes routiers ;
- Centres de production d'électricité ;
- Réservoirs d'eau ;
- Ports, aéroports et aérodromes.

Ces enjeux ont été recensés, caractérisés et cartographiés sous SIG.

3.2. SOURCES DES DONNEES

Les sources d'information suivantes ont été mobilisées :

- La BD Topo de l'IGN, qui est la modélisation 3D du territoire et de ses infrastructures, a été utilisée pour caractériser divers bâtiments ainsi que leur emprise au sol et leur hauteur ;
- L'étude « Scénarios Départementaux de Risque Sismique en Guadeloupe » (Bertil et al. 2009) réalisée par le BRGM dans le cadre du Programme National de Prévention du

Risque Sismique 2005-2010 a été utilisée pour caractériser finement les usages des bâtiments d'habitation ;

- La BD Bati, issue d'un projet mené en 2008 par le BRGM aux Antilles, qui recense et structure dans une unique base de données les bâtiments ayant fait l'objet d'un diagnostic de vulnérabilité face au séisme (établissements scolaires, établissements de santé, gendarmeries, casernes de pompiers et mairies), a été utilisée pour caractériser l'usage des bâtiments de services publics ;
- La base de données Corine Land Cover (2012) a permis de caractériser l'occupation du sol, en particulier les surfaces agricoles ;
- La base de données SIRENE qui regroupe l'ensemble des établissements économiques en activité en France pour lesquels sont notamment caractérisés l'adresse de l'établissement⁷, son nombre d'employés et son type d'activité (classification NAF) a été utilisée pour caractériser les hôtels et hébergements de tourisme ;
- Le recensement de population de l'INSEE pour l'année 2013 à l'échelle des Ilots Regroupés pour l'Information Statistique (IRIS) a été utilisé pour estimer le nombre de logements par habitation ;
- Divers sites internet (EDF Guadeloupe, répertoires d'établissements hôteliers, Open Street Map, etc.) ont été utilisés pour caractériser finement certains enjeux spécifiques (centrales électriques, hôtels, etc.).

Les sections suivantes présentent les informations relatives aux enjeux exposés collectées dans chacune de ces sources.

3.2.1. Bâtiments indifférenciés

Source : BD Topo

Couche : Bâti indifférencié

Description : Cette couche recense les bâtiments à usage courant (habitations, petits commerces de ville, bâtiments annexes aux habitations, etc.) et les services publics (écoles, hôpitaux, etc.) sans en préciser la nature.

Il convient de noter que dans la version la plus récente de la BD Topo, cette couche est alimentée à la fois par l'analyse de prises de vue aériennes et par l'intégration progressive de données du cadastre. De ce fait, il n'est pas possible d'allouer une année de référence homogène à ces données.

⁷ Les informations sur les adresses des établissements permettraient théoriquement de géolocaliser précisément chaque établissement sous SIG. Néanmoins, les logiciels mis à disposition par les services de l'Etat, notamment le site <https://adresse.data.gouv.fr/>, ne permettent pas d'obtenir des résultats suffisamment précis du fait d'un mauvais référencement des adresses en Guadeloupe, un grand nombre d'établissements restant ainsi localisés au niveau du quartier/lieu-dit, voire de la commune. La BD SIRENE a donc été utilisée à l'échelle communale pour la sélection des études de cas. Lors de l'évaluation économique, un travail de terrain permettant de localiser plus finement les établissements économiques a été réalisé sur chacune des études de cas.

Résultats : 249 000 bâtiments indifférenciés sont ainsi dénombrés en Guadeloupe, dont 69 % sont issus du cadastre.

Traitements SIG : La BD Topo caractérise la hauteur du bâtiment et l'incertitude altimétrique associée à cette valeur. Elle ne précise ni la surface de plancher⁸, ni l'usage concret des bâtiments qui doivent donc être caractérisés à l'aide des traitements SIG décrits ci-dessous.

Caractérisation de la surface de plancher

La surface de l'emprise au sol du bâtiment se calcule sous SIG. Elle est ensuite utilisée conjointement avec la hauteur du bâtiment fournie par la BD Topo pour estimer la surface de plancher :

$$\text{Nombre de niveaux du bâtiment} = \text{Hauteur} / 3$$

$$\text{Surface de plancher} = \text{Surface emprise au sol} * \text{Nombre de niveaux du bâtiment}$$

Pour les logements collectifs, 25 % de l'emprise au sol est exclue pour tenir compte des murs, débordements de toits et parties communes.

Caractérisation de l'usage des bâtiments

L'usage des bâtiments (maisons individuelles, habitats collectifs, établissements scolaires, etc.) ainsi que le nombre de logements inclus dans les bâtiments d'habitation ont été caractérisés à l'aide des informations suivantes :

- La BD Bati élaborée par le BRGM lors d'un précédent projet aux Antilles ;
- Le recensement de la population (INSEE 2013) ;
- La BD SIRENE ;
- Le fonds de carte Open Street Map ;
- L'annuaire des établissements hôteliers de la plateforme internet *TripAdvisor*®.

En complément, l'étude « Scénarios Départementaux de Risque Sismique en Guadeloupe », appelée par la suite SDRS (Bertil et al. 2009) a également été utilisée. Cette étude délimite l'ensemble des zones habitées selon le type d'habitat qu'elles concentrent en majorité, à savoir les zones de centre-ville (CV), les zones de lotissements (LOT), les zones d'habitats collectifs verticaux de types « grands ensembles » (COL) et les zones d'habitats disparates (ISO). En Guadeloupe, un total de 1 676 polygones de zones habitées est ainsi délimité, dont une partie a été mise à jour dans le cadre de l'exercice Richter Caraïbes de 2017 (ajout des zones nouvellement construites).

Les hypothèses suivantes ont été utilisées :

⁸ La surface de plancher est l'unité de calcul des surfaces de construction servant à la délivrance des autorisations d'urbanisme.

- *Maisons individuelles* : Les bâtiments n'ont pas plus de deux niveaux (étages). Si leur surface au sol est inférieure à 35m², ces bâtiments sont considérés comme des annexes de maisons individuelles.
- *Résidences en habitat collectif de type « grands ensembles »* (bâtiments avec 2 logements ou plus) : Les bâtiments ont trois niveaux ou plus. L'ensemble des bâtiments situés à l'intérieur des zones identifiées en « COL » par le SDRS est identifié comme de l'habitat collectif.
- *Habitat collectif de ville* : Les bâtiments ont 3 niveaux ou plus et sont situés à l'intérieur des quartiers de type centre-ville dans le SDRS.

Une fois les bâtiments d'habitation identifiés, le nombre de logements par bâtiment a été estimé en utilisant la surface de plancher moyenne par logement de chaque IRIS. Cette méthode est adaptée de la méthode développée par le SOES (2012) pour estimer le nombre de logements en zone inondable. Elle permet d'identifier et de cartographier 166 291 maisons individuelles et 48 202 logements en habitats collectifs sur le territoire de la Guadeloupe. Par comparaison, l'INSEE recensait 162 554 maisons individuelles et 52 100 appartements en 2013. Cela constitue une surestimation de 2% pour les maisons individuelles et une sous-estimation de 7%, ce que l'on considère comme acceptable compte tenu de l'incertitude quant à la date de mise à jour des données du thème « bâti » de la BD Topo.

La Figure 9 rappelle les critères d'identification utilisés pour caractériser chaque type d'usage.

Type d'usage des bâtiments	Critères d'identification
Maison individuelle	Bâtiments indifférenciés de la BD Topo Hauteur < 6 mètres, bâtiments au sein de zones d'habitat disparate, lotissements et centre-ville selon SDRS. 1 bâtiment = 1 logement
Annexe de maisons individuelles	Bâtiments indifférenciés de la BD Topo Surface au sol du bâtiment <35m ² en zones d'habitat
Habitat collectif	Bâtiments indifférenciés de la BD Topo Bâtiments au sein de quartiers « habitat collectif » du SDRS
Habitat collectif de ville	Bâtiments indifférenciés de la BD Topo Bâtiments au sein de quartiers « centre-ville » du SDRS Hauteur > 6 mètres
Etab. scolaires	Bâtiments de type « scolaire » de la BD Bâti BRGM, OSM
Etab. de santé	Bâtiments de type « santé » de la BD Bâti BRGM, OSM
Hôtels, centres de vacances	Identification manuelle à l'aide d'Open Street Map et de répertoires des établissements hôteliers comme la plateforme internet TripAdvisor®
Sécurité	Bâtiments de type « sécurité » de la BD Bâti BRGM
Administration	Bâtiments de type « administratifs » de la BD Bâti BRGM

Figure 9. Types d'usage des bâtiments et critères d'identification

La Figure 10 illustre à Port-Louis le rendu final de ce travail d'identification des usages des bâtiments.

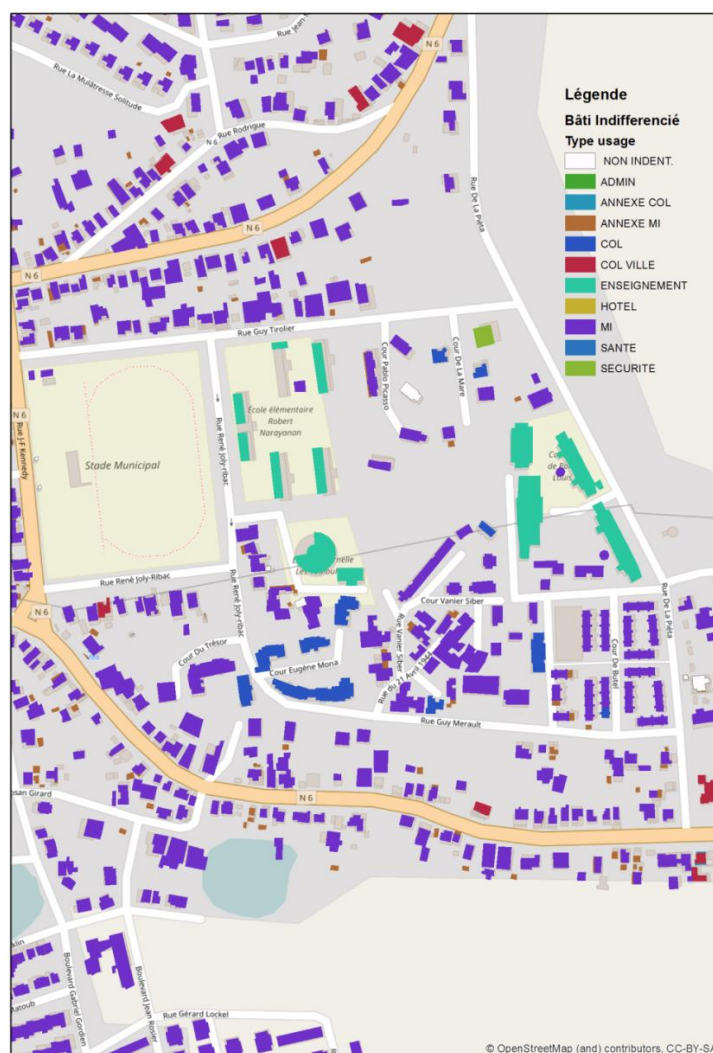


Figure 10. Exemple de cartographie identifiant les usages des bâtiments indifférenciés à Port-Louis (Source : BRGM à partir de BD Topo).

3.2.2. Bâtiments à caractère industriel, agricole ou commercial

Source : BD Topo

Couche : Bâti industriel

Description : Cette couche délimite individuellement les bâtiments industriels, commerciaux, agricoles, les serres et les silos.

Les bâtiments commerciaux sont les bâtiments de *grande surface* réservés à des activités commerciales : centre commercial, hypermarché, magasin (grand, isolé) et parcs des expositions. Les bâtiments industriels sont les bâtiments réservés à des activités industrielles : abattoir, atelier (grand), auvent de quai de gare, auvent de péage, bâtiment industriel (grand),

centrale électrique (bâtiment), construction technique, entrepôt, hangar industriel (grand), scierie, usine.

Résultats : 4 821 bâtiments à caractère industriel, agricole ou commercial sont recensés en Guadeloupe, dont 2 987 sont délimitées à partir du cadastre.

3.2.3. Bâtiments administratifs, religieux, sportifs, et relatifs au transport

Source : BD Topo

Couche : Bâti remarquable

Description : Cette couche recense les bâtiments administratifs (mairies, préfectures, sous-préfectures), religieux, sportifs, et relatifs au transport (notamment les aéroports).

Résultats : En Guadeloupe, 567 bâtiments remarquables de ce type sont recensés.

3.2.4. Réseau routier

Source : BD Topo

Couche : Routes

Description : Cette couche identifie l'ensemble du réseau routier de la Guadeloupe (routes nationales, départementales, locales, chemins, bretelles, etc.).

Résultats : Pour la présente étude, seuls les tronçons de routes départementales et nationales ont été pris en compte. Au total, ces routes représentent 983 km de linéaire.

3.2.5. Réservoirs d'eau

Source : BD Topo

Couche : Réservoirs d'eau.

Description : La couche « réservoirs d'eau » localise tous les réservoirs d'eau répertoriés par l'IGN dans la BD Topo.

Résultats : Cette couche permet d'identifier 354 réservoirs d'eau tous types et usages confondus.

3.2.6. Ports et aéroports

Source : BD Topo

Couche : PAI_Transport

Description : Cette couche recense les bâtiments et les sites liés à une activité de transport routier, ferré ou aérien (aéroports, échangeurs, pont, ports, etc.).

Résultats : 31 ports, 2 gares routières et 14 pistes d'aéroport ou aérodrome sont identifiées, dont celles de l'aéroport international et celles des 7 aérodromes non militaires de l'archipel.

3.2.7. Centres de production d'électricité et transformateurs

Source : BD Topo et EDF

Couche : Poste_transformation

Description : Cette couche recense les enceintes à l'intérieur desquelles le courant transporté par une ligne électrique à haute ou très haute tension est transformé.

Les sites de production d'électricité et leurs caractéristiques ne sont quant à eux pas explicitement identifiés dans une base de données géographique (SIG). Ils sont listés par EDF. Les sites de production en énergie éolienne sont identifiés et caractérisés à partir du Schéma régional guadeloupéen de développement de l'énergie éolienne (Région Guadeloupe, 2012).

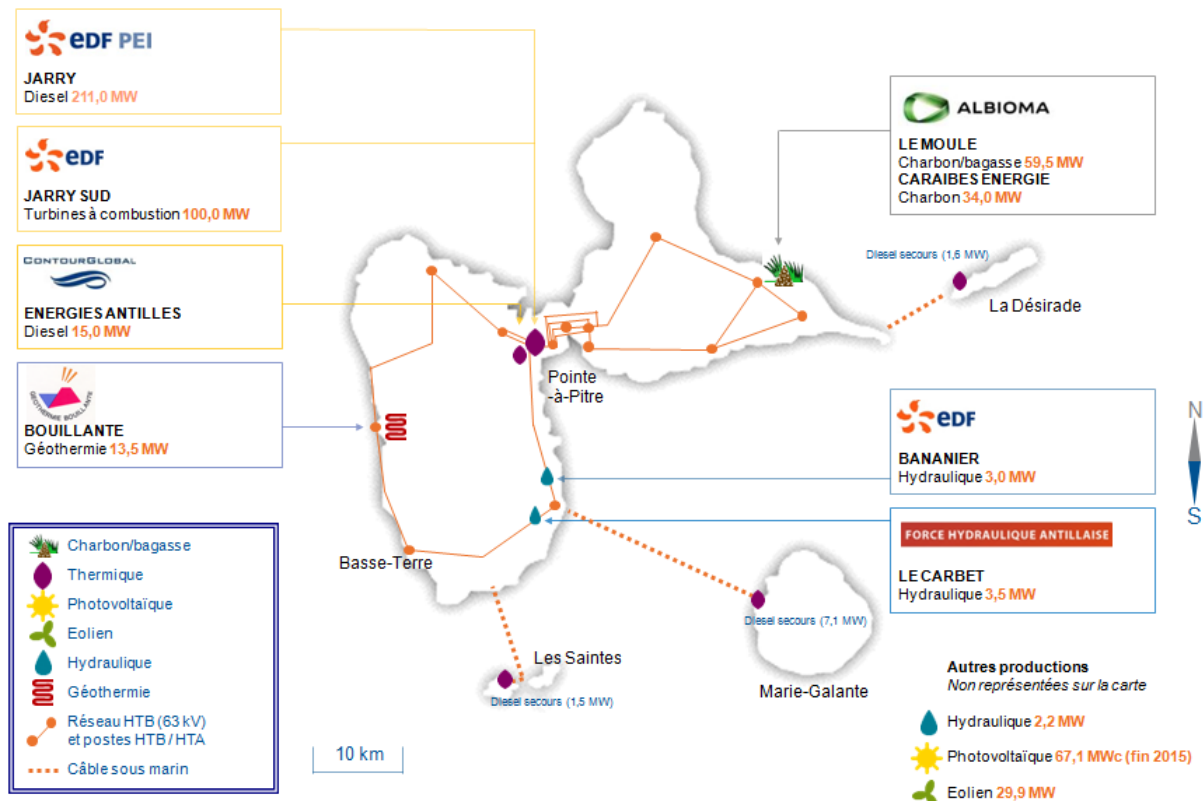


Figure 11: Réseau électrique de la Guadeloupe (source EDF 2017).

3.2.8. Bâtiments situés dans la bande des 50 pas géométriques

Sources : BD Topo et Agence des 50 pas géométriques

Description : La frange des 50 pas géométriques constitue une spécificité des zones habitées littorales aux Antilles. Création de Colbert (XVIII siècle), la zone dite des 50 pas géométriques se

défini comme une bande littorale, de 50 pas de large (81 mètres) comptés à partir du rivage de la mer, relevant du domaine public de l'État, inaliénable et imprescriptible, sur laquelle toute habitation est interdite.

Pour mettre un terme aux problèmes liés à l'occupation sans titre de cette zone, l'Agence des 50 pas géométriques transfère progressivement le contrôle des terrains appartenant au domaine public maritime, aux communes, aux occupants privés, ou à des organismes ayant pour objet la réalisation d'opérations d'habitat social.

Il est important d'intégrer cet enjeu dans l'analyse du coût des risques côtiers pour deux raisons :

- La connaissance de la propriété des terrains est cruciale dans l'estimation des coûts économiques causés par les effets du changement climatique ; sensu stricto, une relocalisation d'une de ces zones n'est pas une expropriation ;
- L'habitat de ces zones est en cours de caractérisation par l'Agence des 50 Pas dont le retour d'expérience sur les quelques opérations déjà menées pourra alimenter la réflexion développée dans le cadre de ce projet.

En Guadeloupe, l'Agence des 50 pas ne dispose pas d'une cartographie globale de tous les sites concernés par cette problématique d'occupation illégale. En revanche, elle dispose d'une liste des actions déjà menées. Ces actions ont été géolocalisées et sont incluses dans la caractérisation des enjeux menée à bien dans le cadre de ce projet.

Les bâtiments situés dans la frange des 50 Pas sont distingués sous SIG. À partir de la délimitation des parcelles du cadastre la plus récente, il est aisé de caractériser les zones du littoral où le parcellaire témoigne de cette frange de 81m. Les parcelles incluses dans cette zone sont aussi bien des parcelles urbaines qu'agricoles.

Résultats : Les bâtiments de la BD Topo concernés par cette frange représentent 3 729 bâtiments, tous usages confondus.



Figure 12. Exemple d'une parcelle littorale située dans la frange des 50 pas. La parcelle à gauche contient plusieurs bâtiments (Source : BRGM à partir de BD Topo).

3.3. RÉSULTATS

Les résultats de ce travail sont structurés sous la forme d'une base de données SIG.

4. Analyse typologique des zones exposées aux aléas littoraux et sélection des études de cas

Ce chapitre s'appuie sur l'analyse croisée des aléas (chapitre 2) et des enjeux (chapitre 3) pour construire une typologie de zones exposées aux aléas littoraux en Guadeloupe. Cette typologie est ensuite utilisée pour sélectionner trois sites d'études représentatifs des principales problématiques rencontrées sur le littoral sur lesquels réaliser une évaluation économique du coût des dommages des risques côtiers.

4.1. ANALYSE TYPOLOGIQUE DES ZONES EXPOSÉES AUX ALEAS LITTORAUX

4.1.1. Échelle d'analyse

L'analyse typologique est réalisée à l'échelle des *Ilots Regroupés pour l'Information Statistique* (IRIS) de l'INSEE qui délimitent des quartiers dont la population est de l'ordre de 2 000 habitants en moyenne. Les IRIS constituent la maille la plus fine disponible à ce jour pour décrire les caractéristiques socio-économiques des communes d'au moins 5 000 habitants. La Guadeloupe compte ainsi 136 IRIS d'une surface moyenne de 1 200 ha, pour un ensemble de 34 communes (Figure 13). La liste exhaustive de ces 136 IRIS figure en Annexe 1.

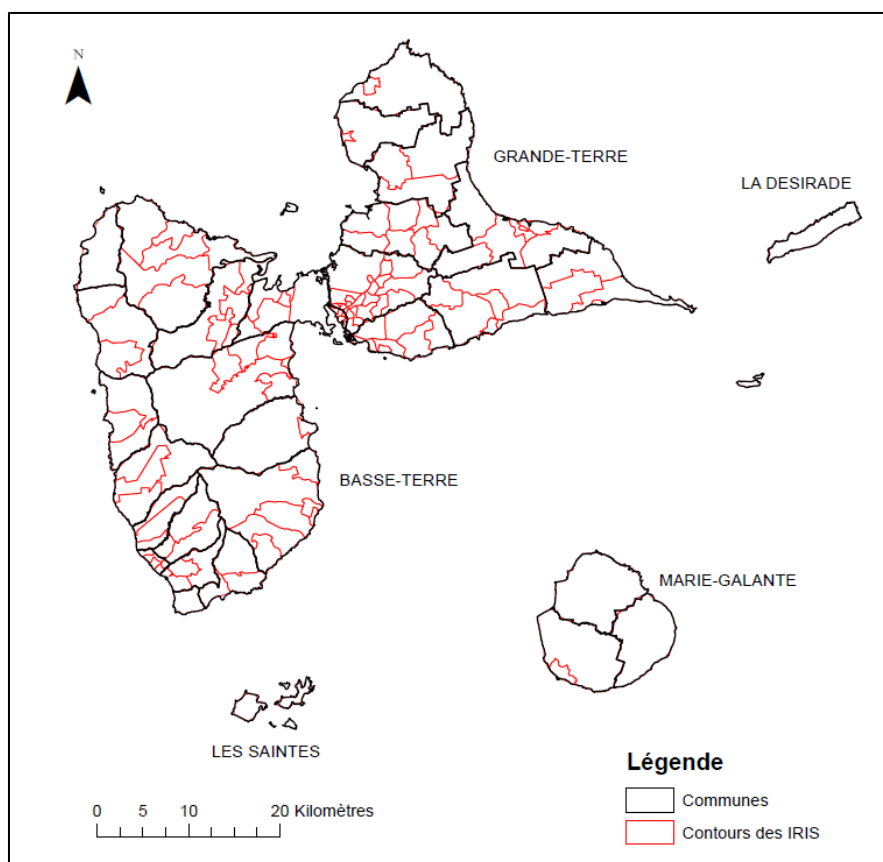


Figure 13. Représentation géographique des 136 IRIS de Guadeloupe (source INSEE).

4.1.2. Méthodologie

La méthode utilisée pour construire une typologie de zones exposées aux aléas côtiers repose sur trois étapes. Les IRIS exposés aux aléas littoraux sont d'abord sélectionnés. L'exposition de leurs enjeux aux aléas est alors caractérisée à l'aide d'indicateurs qui sont ensuite utilisés dans une analyse statistique afin de construire cinq grandes familles de zones aux caractéristiques homogènes.

Sélection des IRIS exposés aux aléas littoraux

Parmi les 136 IRIS recensés en Guadeloupe, les 100 IRIS exposés aux aléas de submersion marine et de recul du trait de côté ont d'abord été sélectionnés. Pour ce faire, les IRIS possédant des côtes caractérisées par une érosion côtière sur la période 1950-2013 et les IRIS intersectant des zones classées en aléas faible, moyen ou fort sur la cartographie de l'aléa de submersion marine ont été retenus. La majorité des IRIS situés sur le littoral a ainsi été sélectionnée. Il a néanmoins été nécessaire d'incorporer manuellement certains îlots possédant des surfaces de mangroves qui ne sont pas prises en compte dans la version actuelle des PPR, à savoir :

- Morne à l'Eau, dont la cartographie de l'aléa submersion marine dans le PPR ne concerne qu'une petite partie de Vieux-Bourg ;
- Certains îlots des Abymes et Pointe à Pitre, qui ne sont actuellement pas concernés par les PPR.

Caractérisation de l'exposition des enjeux aux aléas littoraux

Pour chacun de ces 100 IRIS, l'exposition des enjeux aux aléas littoraux a ensuite été caractérisée par 7 critères et 26 indicateurs renseignés à l'aide des résultats présentés dans les chapitres 2 (aléas) et 3 (enjeux). Ces critères ont été sélectionnés de façon à mettre en évidence la diversité des problématiques rencontrées sur le territoire au regard (i) de l'importance des aléas côtiers et (ii) des types d'enjeux présents sur les côtes. La Figure 14 résume la liste des critères retenus pour cette analyse.

Sauf mention contraire, l'année de référence utilisée est 2013, soit l'année pour laquelle les données IRIS produites par l'INSEE sont les plus récentes. Il convient de noter que seuls les indicateurs discriminants, c'est-à-dire visant à différencier les IRIS en fonction de leurs singularités, ont été retenus.

Une base de données regroupant les informations associées à chacun de ces 26 indicateurs pour les 100 IRIS exposés aux aléas littoraux en Guadeloupe a ainsi été construite. Les figures présentées en Annexe 2 illustrent, sur l'ensemble de la Guadeloupe, les valeurs de certains de ces indicateurs à l'échelle des îlots IRIS. La Figure 15 présente quant à elle les statistiques descriptives associées à ces indicateurs.

Critères	Indicateurs	Unité	Sources
Surfaces inondées dans les PPRL	Inondation en zones naturelles : 0 (sans intersection), 1 (intersection) et 2 (surface inondée considérable).	0/1/2	Corine Land Cover + PPRL communaux
	Inondation en zones agricoles : 0 (sans intersection), 1 (intersection) et 2 (surface inondée considérable).	0/1/2	
	Inondation en zones urbaines : 0 (sans intersection), 1 (intersection) et 2 (surface inondée considérable).	0/1/2	
Morphologie du littoral	Part du linéaire de côte occupé par des plages	%	BRGM
	Part du linéaire de côte occupé par des roches basses	%	BRGM
	Part du linéaire de côte occupé par des falaises	%	BRGM
	Part du linéaire de côte occupé par des terrains artificialisés	%	BRGM
	Part du linéaire de côte occupé par des mangroves et estuaires	%	BRGM
Érosion du trait de côte 1950-2013	Taux annuel d'érosion calculé à partir de l'évolution historique du trait de côte entre 1950 et 2013 : Valeur maximale, minimale et moyenne du WLR (de l'anglais Weighted Linear Regression).	Taux annuel WLR	BRGM
Habitat	Densité de logements	lgts/ha	INSEE
	Nombre d'habitations de fortune et de cases traditionnelles	lgts	INSEE
	Présence d'habitations dans la bande des 50 pas géométriques	0 / 1	BRGM
Activités économiques	Taux de chômage	%	INSEE
	Présence de zones industrielles (CLC 121)	0 / 1	Corine Land Cover
	Surface occupée par du bâti industriel et commercial	m ²	BD Topo
	Nombre d'établissements dans la commune	nb	BD SIRENE
	Nombre de salariés dans la commune	nb	BD SIRENE
Tourisme	Part de résidences secondaires et de logements occasionnels	nb et %	INSEE
Infrastructures	Linéaire de route nationale	mètres	BD Topo
	Linéaire de route départementale	mètres	BD Topo
	Nombre d'infrastructures de transport	Nb	BD Topo
	Nombre de réservoirs d'eau potable	Nb	BD Topo
	Nombre de transformateurs électriques	Nb	BD Topo
	Production électrique au sein de chaque îlot IRIS	Mw	EDF

Figure 14. Liste des critères utilisés dans l'analyse typologique

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type
Zones naturelles / PPR	0,000	2,000	0,860	0,817
Zones agricoles / PPR	0,000	2,000	0,630	0,774
Zones urbaines / PPR	0,000	2,000	1,320	0,764
Plages (%)	0,000	0,596	0,210	0,160
Côtes rocheuses basses (%)	0,000	0,533	0,161	0,144
Falaises (%)	0,000	0,865	0,208	0,238
Côtes artificialisées (%)	0,000	0,905	0,143	0,228
Mangroves/estuaires (%)	0,000	0,984	0,279	0,356
WLR_moy	-0,483	4,320	0,087	0,496
WLR_max	0,000	11,430	0,810	1,388
WLR_min	-7,190	2,600	-0,478	0,884
Densité de logements (lgt/ha)	0,189	69,951	8,856	14,747
Logements de fortunes et cases traditionnelles	0,000	143,059	36,671	27,635
Présence d'habitats dans la bande des 50 pas	0,000	1,000	0,830	0,378
Taux de chômage (%)	0,142	0,482	0,311	0,072
Présence de zones industrielles CLC 121	0,000	1,000	0,180	0,386
Surface de bâti industriel et commercial (m ²)	0	881288	23824	89025
Nombre d'établissements économiques dans la commune	29	2277	796	709
Nombre de salariés dans la commune	41	13639	2726	3843
Résidences secondaires et lgts occasionnels en 2013 (%)	0,003	0,374	0,068	0,080
Routes départementales (km)	0,000	25,187	4,337	4,820
Routes nationales (km)	0,000	28,850	3,401	4,101
Puissance des centres de production d'électricité (MW)	0,000	284,000	4,054	29,055
Nombre de transformateurs électriques	0,000	1,000	0,080	0,273
Nombre d'infrastructures de transport (aéroport, port)	0,000	2,000	0,330	0,514
Nombre de réservoirs d'eau	0,000	9,000	1,830	1,970

Figure 15. Statistiques descriptives des indicateurs utilisés dans l'analyse typologique

Élaboration d'une typologie de zones exposées

Les IRIS ont ensuite été regroupés en grandes familles possédant des caractéristiques homogènes. Pour ce faire, une Analyse en Composante Principale (ACP) a été réalisée sur les données collectées pour chaque critère.

L'ACP est une méthode d'analyse statistique permettant de visualiser et analyser rapidement les corrélations entre divers individus caractérisés par un ensemble de variables quantitatives en vue d'établir des similarités entre eux et construire des groupes d'individus homogènes. La matrice de corrélation de l'ACP met en évidence des facteurs principaux représentatifs d'un ensemble de variables. Chaque facteur se caractérise par une variance exprimée par un coefficient. Plus la valeur de ce coefficient est élevée, plus le caractère explicatif de ce facteur est important, autrement dit, plus la variabilité entre individus est expliquée par l'ensemble de variables représenté par ce facteur. L'analyse consiste alors à interpréter chacun de ces facteurs explicatifs de façon à différencier les individus en fonction des valeurs prises par ces ensembles de variables puis de regrouper les individus au sein de sous-populations relativement homogènes.

4.1.3. Résultats

L'ACP a permis d'identifier trois facteurs qui expliquent 46% de la variance cumulée de l'ensemble des données (Figure 16) :

- Le facteur F1 est lié à la densité de population, la densité de logements et la présence d'une côte artificialisée. Il représente globalement la *concentration de population résidente*.
- Le facteur F2 est fortement corrélé aux surfaces de bâtiments commerciaux et industriels et à la présence d'axes routiers structurants. Il illustre le *dynamisme économique*.
- Le facteur F3 est corrélé à la présence de résidences secondaires et de logements occasionnels ainsi qu'à la présence de plages sur le littoral. Il représente l'*attractivité touristique*.

Variables	F1	F2	F3
Zones naturelles / PPR	-0,221	0,025	-0,090
Zones agricoles / PPR	-0,179	-0,032	-0,063
Zones urbaines / PPR	0,028	0,098	0,265
Plages (%)	-0,095	-0,125	0,350
Côtes rocheuses basses (%)	-0,160	-0,040	0,119
Falaises (%)	-0,113	-0,233	0,012
Artificialisées (%)	0,193	0,104	0,165
Mangroves/estuaires (%)	0,058	0,162	-0,319
WLR_moy	0,127	0,129	0,151
WLR_max	-0,064	0,313	0,028
WLR_min	0,146	0,013	-0,012
Densité de logements (lgt/ha)	0,258	0,126	0,227
Logts de fortunes et cases traditionnelles	-0,164	-0,060	0,119
Présence habitat 50 pas	-0,249	-0,158	-0,014
Taux de chômage (%)	0,152	-0,033	0,155
Présence zone industrielle CLC 121	0,033	0,183	-0,101
Surface de bâti industriel et commercial (m ²)	-0,115	0,325	-0,061
Nombre d'établissements économiques dans la commune	0,196	0,269	0,076
Nb de salariés d'étab dans la commune	0,190	0,240	-0,069
Résidences secondaires et logts occasionnels en 2013 (%)	-0,115	-0,082	0,398
Routes départementales (km)	-0,187	-0,088	-0,066
Routes nationales (km)	-0,217	0,233	-0,066
Puissance des centres de production d'électricité (MW)	-0,122	0,302	-0,059
Nb de transformateurs électriques	-0,038	0,047	0,130
Nb d'infrastructures de transport (aéroport, port)	-0,054	0,007	0,184
Nb de réservoirs d'eau	-0,187	-0,048	-0,059
Valeur propre	7,796	5,221	3,168
Variabilité (%)	22,274	14,917	9,053
Variabilité cumulée (%)	22,274	37,190	46,243

Figure 16. Valeurs propres associées à chaque facteur

Ainsi, ce sont essentiellement les données liées à la présence d'enjeux (population, logements, tourisme, commerces) qui permettent de discriminer les IRIS en fonction de leurs spécificités. Les critères liés aux aléas côtiers et à la morphologie de la côte n'interviennent que relativement peu pour expliquer les données dans les trois facteurs identifiés.

Cinq grandes familles d'IRIS ont été identifiées à partir des trois facteurs explicatifs mis en évidence lors de l'ACP. Les Figure 17 et Figure 18 permettent de visualiser ces familles sur divers nuages de points représentant l'ensemble des IRIS dans un plan constitué de deux facteurs (ici F1 et F2 puis F1 et F3). Les paragraphes suivants présentent chacune de ces familles.

Zone industrielle de Jarry

Sans surprise, la zone industrielle de Jarry se singularise. Elle partage peu de similarités avec les autres IRIS de Guadeloupe. Il s'agit d'une zone commerciale et industrielle, fortement urbanisée, dont la population résidente est faible et qui s'est construite sur des terrains gagnés sur la mer. En conséquence, elle se caractérise par une côte fortement artificialisée. Elle concentre également une grande partie de l'activité économique de la Guadeloupe et de la production électrique de l'archipel.

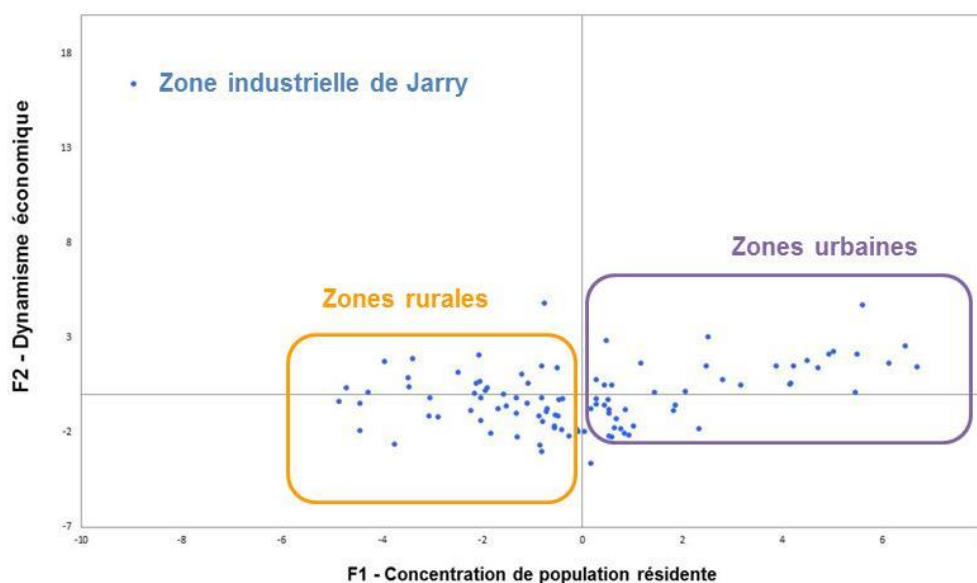


Figure 17. Illustration des résultats de l'ACP : Nuage d'IRIS sur un plan F1 / F2

Zones rurales et urbaines

Les communes antillaises s'organisent traditionnellement autour d'un centre-ville qui concentre un tissu relativement dense d'habitations et de services (écoles, services publics, commerces de proximité), et des extensions ou quartiers périphériques, où la densité de population est relativement moindre et l'habitat tend à être plus disparate, bien que l'on puisse retrouver localement une forte concentration de logements autour de certains lieux-dits ou grands ensembles et lotissements de construction récente.

Parmi ces espaces, l'ACP fait apparaître une distinction entre les *zones urbaines* constituées d'espaces densément peuplés, et les *zones rurales* à faible densité de population et forte

proportion de zones naturelles et agricoles. Les zones urbaines se caractérisent par un fort taux de résidences en habitat collectif et un taux d'urbanisation proche de 100%. Des exemples de ce type de zones sont le centre-ville de Pointe à Pitre, les zones de Grand-Camp et du Raizet aux Abymes, le centre-ville de Basse-Terre et le bourg de Baie-Mahault. A l'inverse, les surfaces commerciales et industrielles sont peu représentées dans les zones rurales qui se caractérisent par une côte faiblement artificialisée. Des exemples de ce type de zones sont les bourgs de Petit-Canal et Pointe-Noire, l'ensemble de Marie-Galante, les zones de Sainte-Marguerite et Baie Cocotier au Moule et la zone du Gros-Cap de Petit-Canal.

Zones touristiques

Les secteurs caractérisés par une forte concentration d'hébergements touristiques et situés à proximité de plages se distinguent clairement de l'analyse. On les trouve aussi bien en ville, qu'en zone rurale. Selon leur attractivité touristique, plusieurs sous-familles peuvent être différenciées :

- Les zones peu touristiques caractérisées par un faible taux de résidences secondaires. On y trouve des zones très urbanisées (quartier le Raizet des Abymes), des bourgs (Vieux-Fort, Anse-Bertrand, Lamentin) et des secteurs d'habitat disparate ou diffus localisés dans les campagnes (Gros-Cap de Petit-Canal, Castel-Jauna du Lamentin).
- Les sites touristiques, où le taux de résidences secondaires est important mais la densité de population résidente est faible. Il s'agit par exemple du bourg de Deshaies, de l'îlot de Fonds-Thézan à Sainte-Anne, de la zone de Cayenne à Saint-François et de la Marina du Gosier, qui est très urbanisée mais accueille peu d'habitants.
- Des zones mixtes, urbaines et touristiques, caractérisées par une forte densité de population et un important taux de résidences secondaires. C'est notamment le cas du centre-ville de Pointe à Pitre, du bourg de Saint-François et du Gosier.

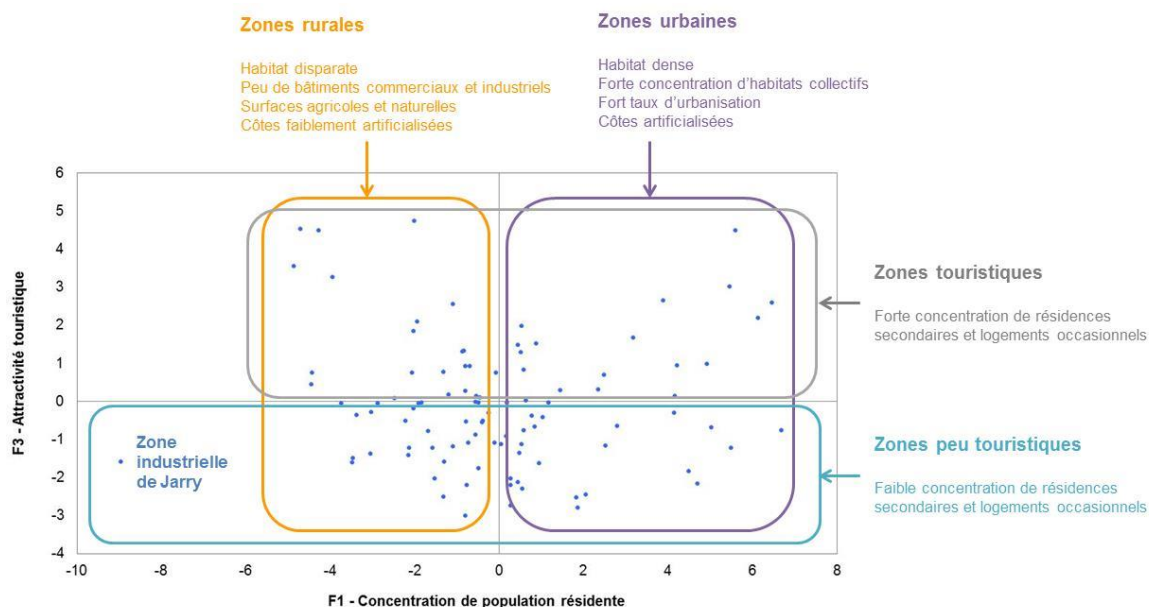


Figure 18. Illustration des résultats de l'ACP : Nuage d'IRIS sur un plan F1 / F3

4.2. SELECTION DES ETUDES DE CAS

La dernière étape de ce travail consiste à sélectionner trois sites pilotes représentatifs de ces grandes familles pour y réaliser des évaluations économiques dont les résultats seront utilisés pour estimer un ordre de grandeur du coût de l'inaction face aux risques côtiers sur l'ensemble du littoral de la Guadeloupe. L'enjeu est donc de sélectionner un faible nombre d'études de cas sur lesquelles pourra être évaluée une grande diversité d'impacts générés par les aléas littoraux de façon à collecter suffisamment d'éléments d'analyse pour extrapoler les résultats à l'ensemble du littoral, compte tenu des caractéristiques géographiques et sociodémographiques des territoires littoraux.

4.2.1. Méthodologie

Les études de cas ont été sélectionnées progressivement durant l'été et l'automne 2017 par le Comité de Pilotage, sur recommandation de l'équipe projet. Les trois types de familles qu'il apparaît le plus pertinent d'analyser dans cette étude ont d'abord été identifiés. Au sein de chaque famille, plusieurs études de cas ont ensuite été considérées. Leur intérêt au regard des besoins du projet a alors été débattu pour parvenir à la sélection finale.

Afin de couvrir une diversité de problématiques, les membres du Comité de Pilotage ont décidé de sélectionner :

- Une zone d'activités économiques exposée au risque de submersion marine ;
- Une zone urbaine à forte densité de population résidente, exposée au risque de submersion marine ;
- Une zone à forte densité touristique, exposée au risque de recul du trait de côte.

4.2.2. Choix de l'étude de cas n°1

La première étude de cas a aisément été sélectionnée. Il s'agit de la *zone industrielle de Jarry*, dont le choix se justifie par sa singularité, son poids dans l'économie de l'archipel et sa forte exposition à la submersion marine.

4.2.3. Choix de l'étude de cas n°2

La seconde étude de cas porte sur le *centre-ville de Pointe-à-Pitre*. Il s'agit d'une zone fortement exposée au risque de submersion marine, dont la nature des enjeux exposés est caractéristique des zones urbaines à forte densité de population, composée notamment d'habitats collectifs, d'infrastructures de tourisme et de patrimoine culturel.

4.2.4. Choix de l'étude de cas n°3

Une analyse multicritère à dire d'experts a été réalisée pour étayer le choix de la troisième étude de cas. Sept sites d'intérêt ont été pré-identifiés par le Comité de Pilotage :

1. Le Raizet (Les Abymes) qui concentre un grand nombre d'infrastructures et une forte densité de population, mais qui est peu représentatif des zones littorales de Guadeloupe;

2. Four à Chaux (Capesterre-Belle-Eau) où sont localisés de nombreux logements et activités économiques (dont une part significative non déclarée et peu touristique) fortement exposés aux risques de submersion marine et de recul du trait de côte ;
3. Le centre-bourg de Deshaies qui se caractérise par une mixité de logements, de zones rurales et d'activités économiques, notamment touristiques, mais dont la côte, largement enrochée, est relativement peu exposée à l'aléa de recul du trait de côte ;
4. Le centre-bourg de Sainte-Anne qui est fortement exposé au recul du trait de côte et qui concentre à la fois des logements et des activités économiques et touristiques ;
5. Les quartiers de Bel-Air et Bovis (Petit Bourg) qui constituent une zone de falaises non-exposée au risque de submersion mais sur laquelle les connaissances scientifiques sont importantes puisqu'elle est étudiée dans le cadre d'autres projets en cours ;
6. Le secteur de Bananier (Capesterre-Belle-Eau), faiblement touristique mais caractérisé par une présence importante de logements « ruraux » et une problématique de route nationale coupée par débordement de la rivière en lien avec la submersion marine ;
7. Le secteur de Caranguaise (Capesterre-Belle-Eau), très faiblement touristique mais qui recèle de nombreux logements « ruraux » fortement exposés à un risque de recul du trait de côte par effondrement de falaise et la double problématique d'une route départementale à forte fréquentation et d'une école potentiellement impactées par le recul du trait de côte.

Chaque site d'étude a été caractérisé à l'aide des critères suivants :

- Critère n°1. Particularités de son contexte naturel et exposition aux aléas littéraux ;
- Critère n°2. Particularités de son contexte socio-économique ;
- Critère n°3. Représentativité du site par rapport aux zones littorales de Guadeloupe.

Une note qualitative de 1 à 5 a ensuite été attribuée à la pertinence du choix du site au regard de chacun de ces critères. La note 1 correspond à un critère au regard duquel le choix de l'étude de cas n'apparaît pas pertinent. Par exemple, un territoire qui ne serait pas exposé aux risques côtiers obtiendrait la note 1 au critère n°1. A l'inverse, la note 5 correspond à un critère au regard duquel le choix de l'étude de cas apparaît particulièrement pertinent. La somme de ces notes permet de classer les sites d'étude par ordre croissant d'intérêt.

Les tableaux suivants présentent les principaux résultats de cette analyse multicritère. Le site qui y apparaît le plus favorable à la réalisation d'une étude de cas est le bourg de Sainte-Anne.

Du point de vue des aléas, le bourg de Sainte-Anne possède un linéaire de plages particulièrement étendu. Ainsi, la géomorphologie de sa côte le rend particulièrement vulnérable à la submersion marine, la quasi-totalité du bourg étant classée en zone inondable par le PPR actuel. De plus, c'est une zone fortement exposée au recul du trait de côte, avec des secteurs en érosion depuis 1950.

La zone est touristique. De nombreuses activités commerciales y sont pratiquées en lien avec la plage (restaurants, marché, boutiques de souvenirs et produits artisanaux, activités nautiques). Bien que les grands ensembles hôteliers se situent en périphérie du bourg (Fonds-Thezan, Belle

Hôtesse), Sainte-Anne possède un taux de logements secondaires plus élevé que la moyenne de la Guadeloupe. Le commerce de proximité y est développé, avec une mixité habitat-commerce, caractéristique des bourgs de la Guadeloupe.

Sainte-Anne est également traversée d'est en ouest par la route nationale N4, qui relie Pointe-à-Pitre à Saint François. La route traverse la zone d'aléa fort de submersion marine du PPR et sépare, par endroits, la plage de la première rangée de maisons. Fortement exposée aux risques côtiers, cette route joue par ailleurs un rôle structurant dans les déplacements en Grande-Terre ce qui lui confère un caractère particulièrement intéressant pour l'évaluation des coûts indirects liés aux ruptures de réseaux.

L'ensemble de ces éléments justifie le choix du *bourg de Sainte-Anne* comme troisième étude de cas.

Figure 19. Résultats de l'analyse multicritère

Sites	Recommandations	Note finale
Bourg (Sainte-Anne)	<u>Sélection</u> Site fortement exposé à la fois à la submersion marine et au recul du trait de côte , dont l'occupation du sol se caractérise par une mixité d'usages (habitations, commerces, réseaux) et dont l'économie dépend fortement du tourisme .	15
Bourg (Deshaies)	<u>Non-sélection</u> Caractéristiques similaires à celles de Sainte-Anne, mais sans exposition au recul du trait de côte.	13
Caranguaise (CBE)	<u>Non-sélection</u>	10
Four à Chaux (CBE)	<u>Non-sélection</u>	10
Bananier (CBE)	<u>Non-sélection</u>	9
Bel-Air et Bovis (Petit-Bourg)	<u>Non-sélection</u>	7
Le Raizet (Abymes)	<u>Non-sélection</u>	6

Figure 20. Caractérisation des sites d'étude au regard des trois critères d'analyse

Site	Particularités du contexte naturel et exposition aux aléas		Particularités socio-économiques		Représentativité	
	Descriptif	Note	Descriptif	Note	Descriptif	Note
Le Raizet (Abymes)	Zone de topographie très basse. Forte exposition à la submersion marine (PPR). Très faible exposition au recul du trait de côte du fait de la présence de la mangrove (> 500m) à l'est et de Pointe-à-Pitre au sud.	3	Forte concentration d'habitats collectifs (HLM).	2	Peu représentatif d'autres zones habitées de la Guadeloupe du fait de sa forte concentration d'habitats collectifs. Type de territoire relativement similaire au quartier Lauricisque évalué sur l'étude de cas de Pointe-à-Pitre.	1
Four à Chaux (CBE)	Forte exposition à la submersion marine (PPR). Forte exposition au recul du trait de côte.	4	Présence de bâtiments dans le périmètre des 50 pas géométriques. Difficultés à récupérer les données sur les aspects socio-économiques	3	Représentatif des quartiers résidentiels exposés aux aléas littoraux occupant la zone des 50 pas.	3
Bourg (Deshaies)	Forte exposition à la submersion marine (PPR). Stabilité du trait de côte.	3	Forte attractivité touristique (35% de logements secondaires). Présence de commerces de proximité. Route nationale située en zone submersible.	5	Représentatif des centres-bourgs touristiques exposés au risque de submersion. Représentatif de la problématique de la rupture de réseaux routiers structurants.	5
Bourg (Sainte-Anne)	Forte exposition à la submersion marine (PPR). Forte exposition au recul du trait de côte. Linéaire de plage important.	5	Forte attractivité touristique (29% de logements secondaires). Présence de commerces de proximité et de commerces dépendant du tourisme. Hôtels en périphérie. Route nationale située en zone submersible.	5	Représentatif des centres-bourgs touristiques exposés au risque de submersion et de recul du trait de côte. Représentatif de la problématique de la rupture de réseaux routiers structurants.	5

Site	Particularités du contexte naturel et exposition aux aléas		Particularités socio-économiques		Représentativité	
	<i>Descriptif</i>	<i>Note</i>	<i>Descriptif</i>	<i>Note</i>	<i>Descriptif</i>	<i>Note</i>
Bel-Air et Bovis (Petit-Bourg)	<p>Problématique d'érosion des falaises même si les vitesses interprétées depuis 1950 restent relativement faibles.</p> <p>Non-exposé à la submersion marine.</p>	3	<p>Présence d'habitations dans le périmètre des 50 pas géométriques avec projets de relocalisation en cours.</p>	2	<p>Représentatif des quartiers résidentiels et peu touristiques occupant la zone des 50 pas.</p>	2
Bananier (CBE)	<p>Habitations exposées à la submersion marine (PPR).</p> <p>Hors évènement extrême, le trait de côte reste relativement stable depuis 1950</p> <p>Petite plage.</p>	3	<p>Quartier résidentiel, présence de quelques commerces.</p> <p>Présence de bâtiments dans le périmètre des 50 pas géométriques.</p> <p>Route nationale en zone submersible.</p> <p>Peu de tourisme.</p>	3	<p>Représentatif des quartiers résidentiels et peu touristiques, occupant la zone des 50 pas.</p> <p>Représentatif de la problématique de la rupture de réseaux routiers structurants.</p>	3
Caranguaise (CBE)	<p>Aléa de submersion marine sur une faible superficie (PPR)</p> <p>Forte exposition au recul du trait de côte par effondrement de falaises.</p>	4	<p>Présence de bâtiments dans le périmètre des 50 pas géométriques.</p> <p>Route fréquentée.</p> <p>Pas de tourisme.</p>	3	<p>Représentatif des quartiers résidentiels et peu touristiques exposés aux aléas littoraux occupant la zone des 50 pas.</p> <p>Représentatif de la problématique de la rupture de réseaux routiers structurants.</p>	3

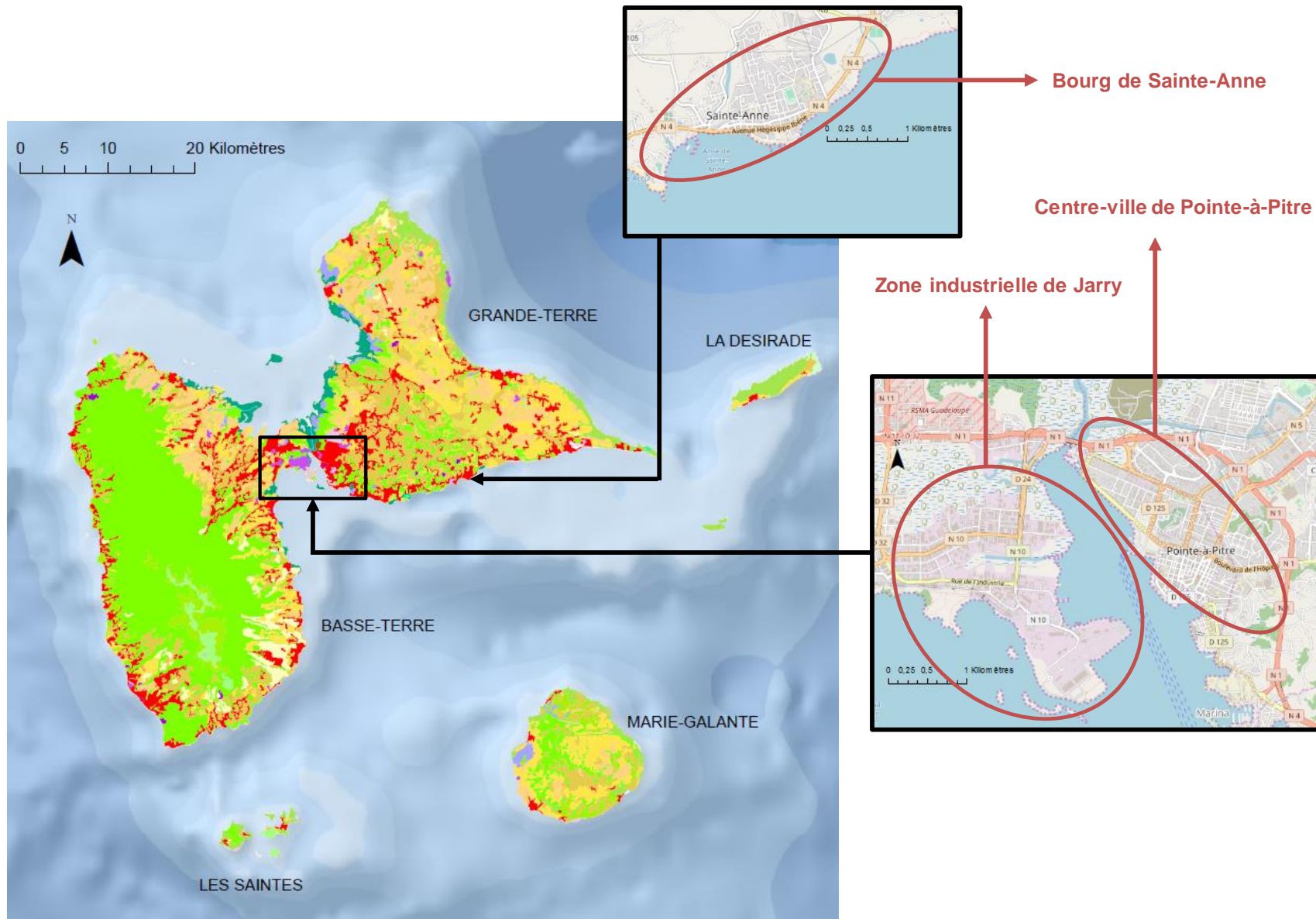


Figure 21. Localisation géographique des trois études de cas (Corine Land Cover et Open Street Map)

5. Méthode pour l'évaluation des coûts directs des risques côtiers

Ce chapitre présente la méthodologie d'évaluation des coûts directs résultant des impacts physiques des risques côtiers.

L'approche développée consiste dans un premier temps à modéliser les aléas de recul du trait de côte et de submersion marine à horizon 2050. Elle mobilise ensuite des observations de terrain pour caractériser finement la structure et l'usage des bâtiments situés en zone inondée. Des fonctions d'endommagement sont alors utilisées pour évaluer les dommages physiques de la submersion marine sur les bâtiments et infrastructures de la zone inondée. Les coûts directs de ces impacts sont finalement estimés en caractérisant la valeur des biens et des bâtiments endommagés à l'aide d'indicateurs économiques.

Sauf mention contraire, toutes les valeurs présentées dans ce rapport sont exprimées en €HT pour l'année de référence 2015. Tous les coûts antérieurs et postérieurs sont exprimés en valeur de l'année de référence en utilisant l'indice annuel des prix à la consommation (IPC) en France, pour l'année de base 2015 (INSEE). Par exemple, une valeur V en €₁₉₉₃ correspond en €₂₀₁₅ à :

$$V_{\text{€}2015} = V_{\text{€}1993} \frac{IPC_{2015}}{IPC_{1993}}$$

5.1. CARACTÉRISATION FINE DU REcul DU TRAIT DE CÔTE À HORIZON 2050

La projection du trait de côte à horizon 2050 repose sur la nouvelle méthodologie nationale d'élaboration des Plans de Prévention des Risques Littoraux (DGPR, 2014) que nous avons adaptée à l'horizon temporel 2050. Dans ce guide méthodologique, deux composantes permettent de cartographier les zones soumises à un aléa fort de recul du trait de côte :

- L'évolution historique tendancielle du trait de côte T_x (exprimée en mètres/an) ;
- Le recul maximal L_{max} (exprimé en mètres) résultant d'un phénomène extrême (recul de falaises ou recul de plage pendant une tempête ou à la suite d'une succession de tempêtes).

La position probable du trait de côte à horizon 2050 correspond à la zone d'aléa de recul du trait de côte, L_r , qui s'écrit ainsi :

$$L_r = N.T_x + L_{\text{max}}$$

Avec :

- L_r , la zone de recul du trait de côte (exprimée en mètres) ;
- T_x , le taux de recul moyen annuel qui est directement issu de l'étude sur l'évolution historique du trait de côte guadeloupéen (Guillen et al., 2017) ;

- L_{max}, valeur de recul ponctuel lié à un évènement de fortes intensités déterminé à dire d'expert à partir des observations réalisées suite au passage de l'ouragan maria en 2017 (Legendre et Guillen., 2017) ;
- N, le nombre d'années entre la date du dernier trait de côte digitalisé (2013 – Guillen et al., 2017) et l'horizon 2050, ici N=37.

Il convient de noter que le trait de côte a peu évolué entre 2013 (année de référence pour la caractérisation du recul du trait de côte) et 2015 (année de référence pour l'estimation des dommages). Pour s'en assurer, nous avons analysé et quantifié les évolutions potentielles entre le trait de côte de 2013, observé directement grâce à une image ortho-satellite et le trait de côte de 2015, estimé par rapport à notre connaissance de la dynamique historique du littoral guadeloupéen.

Pour les deux premiers sites d'études (zone industrielle de Jarry et centre-ville de Pointe-à-Pitre), les variations du positionnement du trait de côte entre 2013 et 2015 sont extrêmement faibles :

- Les sites d'études sont localisés dans un secteur protégé, à savoir le Petit Cul-de-Sac marin relativement bien abrité de la houle ;
- Le linéaire côtier est fortement anthropisé et protégé (enrochement, ouvrages de protection, etc.) de telle sorte que le trait de côte y est considéré comme fixe entre 2013 et 2015 ;
- Les secteurs naturels présents dans la zone d'étude de Jarry (mangrove principalement), sont en légère accrétion sur la période historique (1998-2013) avec un Tx de l'ordre de quelques centimètres/an (entre +8 cm/an et +15 cm/an). On ne recense pas d'évènements de fortes houles à cette période pour enregistrer un recul instantané L_{max} significatif.

L'ensemble de ces éléments incite à considérer une position du trait de côte identique entre 2013 et 2015 pour les deux premiers sites d'études.

Le rendu de cette étape prend la forme d'une cartographie précisant, à horizon 2050, la position probable du trait de côte par rapport à l'année 2013.

5.2. CARACTÉRISATION FINE DE LA SUBMERSION MARINE À HORIZON 2050

La caractérisation fine de l'aléa de submersion marine à horizon 2050 repose également sur la méthodologie nationale des PPRL (DGPR, 2014). Elle consiste à identifier l'évènement naturel de référence sur un secteur géographique homogène (évènement modélisé de période de retour centennal ou évènement historique de référence) puis à caractériser les modes de submersion (débordement, franchissement, rupture) et qualifier le niveau d'aléa (hauteur d'eau, vitesses, durée de la submersion, etc.) pour ce scénario.

Le scénario de référence utilisé pour la modélisation de la submersion marine sur la zone industrielle de Jarry et le centre-ville de Pointe-à-Pitre à l'horizon 2050 est l'évènement historique le plus impactant sur ces zones, à savoir le cyclone du 12 septembre 1928 (Pedreros et al., 2016). En Guadeloupe, ce cyclone a occasionné des nombreuses pertes humaines (environ 1400 morts, d'après Vallée 1929) et des dégâts considérables notamment à Pointe-à-Pitre, Marie-Galante et

sur les Ilets du Petit Cul-de-Sac marin (destructions de maisons et d'infrastructures). Ces dommages ont été générés par la force des vents mais aussi par l'ampleur de la submersion marine. Du fait de ses caractéristiques exceptionnelles (trajectoire, vitesse des vents, dépression, surcote générée, hauteur des vagues, etc.), l'ouragan de 1928 constitue l'événement de référence le plus impactant sur ces secteurs d'études.

La première phase d'une étude menée actuellement par le BRGM, en collaboration avec la Région Guadeloupe, a pour objectif de reproduire, à l'aide de modélisations numériques, l'ouragan de 1928 en termes de submersion marine, et ainsi d'analyser ce que serait l'impact d'un ouragan comparable s'il se produisait aujourd'hui sur les communes du Petit Cul-de-Sac marin et de l'agglomération Pointoise (Pedreros et al., 2016). Ce travail a été mobilisé pour ajouter les effets probables du changement climatique à horizon 2050 à la chaîne de modélisation numérique des effets du cyclone de 1928 (champs de pression atmosphérique, champ de vent, vagues et niveaux d'eau). Les effets du changement climatique pris en compte dans la chaîne de modélisation concernent l'élévation du niveau de la mer pour le scénario RCP 8.5 du GIEC.

La submersion marine a ainsi été modélisée pour un cyclone de catégorie 3 sur l'échelle de Saffir-Simpson (caractérisé par des vents entre 178 et 209 km/h) ayant les mêmes caractéristiques (puissance, trajectoire, etc.) que le cyclone du 12 septembre 1928, avec le niveau marin actuel et pour une élévation du niveau de la mer de 26 cm à horizon 2050.

Le rendu de cette étape prend la forme d'une cartographie précisant, pour le scénario actuel et à horizon 2050 :

- L'étendue de la zone inondée ;
- La hauteur d'eau par mailles régulières de 10 mètres.

5.3. CARACTÉRISATION FINE DES ENJEUX EXPOSÉS

Sur chaque étude de cas, les enjeux situés dans les zones directement impactées par les aléas littoraux ont été caractérisés à l'aide d'une reconnaissance de terrain qui a permis de recenser les principales caractéristiques de chaque bâtiment, notamment :

- Localisation du bâtiment (coordonnées GPS et adresse postale) ;
- Usage du bâtiment (habitation, commerce, industrie, bureaux, agriculture, etc.) ;
- Nombre de niveaux du bâtiment ;
- Structure du bâtiment (système porteur, menuiseries extérieures, surélévation du plancher en rez-de-chaussée, etc.) ;
- Annexes (garage, jardin, piscine, terrasse, etc.) ;

Et pour les bâtiments commerciaux et industriels, le cas échéant :

- Dénomination de (des) l'établissement(s)⁹ présent(s) dans le bâtiment ;

⁹ L'établissement est une unité de production géographiquement individualisée, mais juridiquement dépendante de l'entreprise. Un établissement produit des biens ou des services : ce peut être une usine, une boulangerie, un magasin de vêtements, un des hôtels d'une chaîne hôtelière, la « boutique » d'un réparateur de matériel informatique, etc.

- Type(s) d'activité(s) économique(s) de (des) l'établissement(s) ;
- Nombre d'établissements par bâtiment.

Pour ce dernier indicateur, plusieurs cas de figure ont été distingués :

- Un bâtiment contient plusieurs établissements ;
- Plusieurs bâtiments hébergent un seul établissement ;
- Un seul bâtiment héberge un seul établissement.

Des règles d'allocation ont été élaborées pour préciser finement les activités économiques exercées dans chaque bâtiment et en déduire la part du stock et des équipements de chaque établissement située dans chaque bâtiment. La Figure 22 explique comment les informations relatives aux établissements sont affectées à chaque bâtiment.

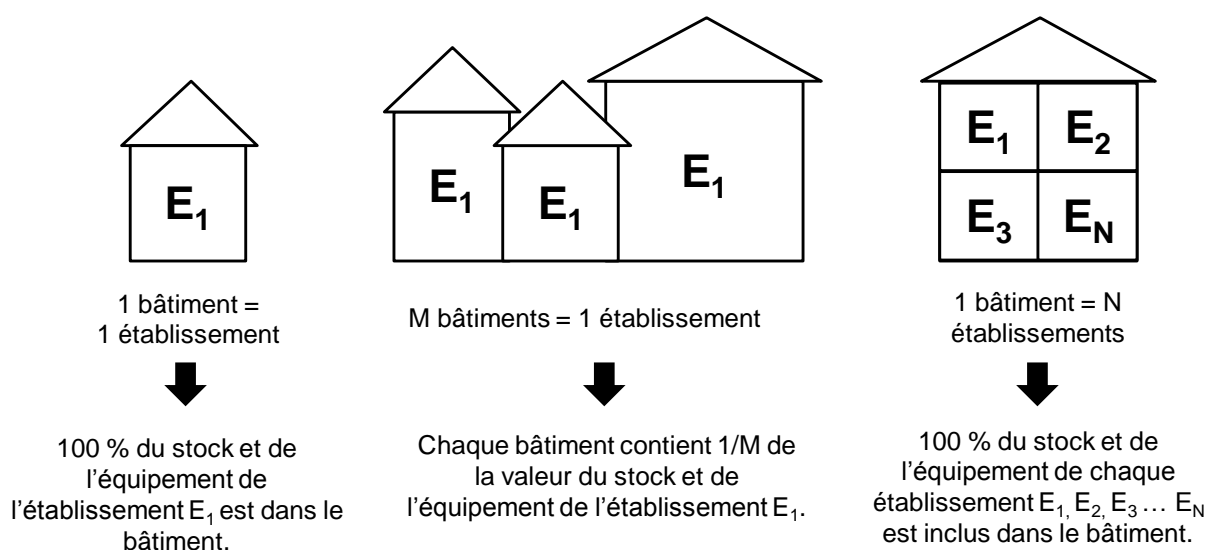


Figure 22. Démarche d'estimation du nombre d'établissements par bâtiment. Nota : M peut se moduler en fonction de la surface de chaque bâtiment du site et N peut se moduler en fonction de la surface occupée par chaque établissement dans le bâtiment.

Chaque établissement identifié sur le terrain a ensuite été relié à un numéro SIRET¹⁰ de la BD SIRENE. Trois grands types de données sont recensés dans la BD SIRENE pour chaque établissement :

- Des données liées à l'identification de l'établissement (numéro SIREN de l'entreprise dont il dépend, numéro interne de classement de l'établissement, adresse de l'établissement, raison sociale et dénomination de l'entreprise, etc.) ;

L'établissement, unité de production, constitue le niveau le mieux adapté à une approche géographique de l'économie (Définition INSEE).

¹⁰ Attribué par l'Insee, le SIRET est le numéro unique d'identification des établissements.

- Des données économiques (code de l'activité principale exercée par l'établissement, tranche d'effectif salarié de l'établissement, chiffre d'affaires de l'entreprise¹¹, etc.) ;
- Des caractéristiques générales (date de création, localisation géographique, etc.).

Les principales variables d'intérêt pour ce projet sont les suivantes :

- Le numéro SIREN qui est le numéro unique d'identification attribué à chaque entreprise (8 chiffres plus 1 chiffre de contrôle permettant de vérifier sa validité) ;
- Le numéro interne de classement de l'établissement (NIC) qui permet de distinguer les établissements d'une même entreprise et qui, associé au SIREN, forme le SIRET ;
- La variable APET700 qui donne l'activité principale exercée par l'établissement selon la Nomenclature d'Activités Française (NAF, Rév. 2) ;
- La variable LIBAPET qui correspond au libellé du code d'activité de l'établissement ;
- La variable EFETCENT qui correspond au chiffre inférieur de la tranche d'effectif salarié de l'établissement, à la centaine près.

Pour reconstituer le numéro SIRET de chaque établissement, la ligne correspondant à l'établissement a d'abord été identifiée dans la BD SIRENE à partir des informations collectées sur le terrain (dénomination de l'entreprise et adresse). Lorsque cela s'est avéré nécessaire, des annuaires gratuits d'informations légales sur les entreprises ont également été consultés pour identifier les établissements selon leur adresse. Le numéro SIREN et le NIC ont ensuite été combinés pour reconstituer le numéro SIRET selon la méthode décrite sur la Figure 23.

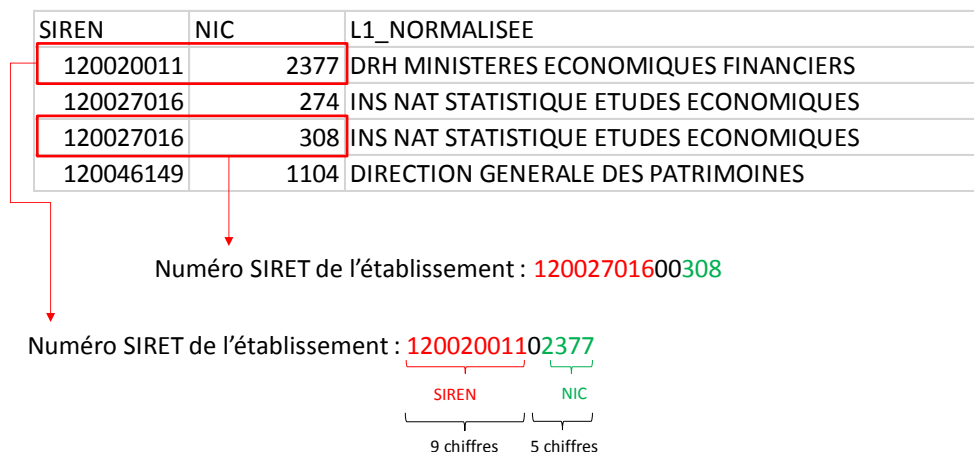


Figure 23. Reconstitution du numéro SIRET des établissements à partir de la BD SIRENE

Cet appariement des données de terrain et de la BD SIRENE a permis de préciser, pour chaque établissement exposé :

- Le code NAF rév. 2, 2008 de l'activité principale de l'établissement (variables APET700 et LIBAPET) ;

¹¹ Uniquement pour les entreprises enquêtées par l'Enquête Sectorielle Annuelle (ESA) et l'Enquête Annuelle de Production (EAP). Cette donnée est peu renseignée en Guadeloupe.

- L'effectif salarié de l'établissement (estimé à partir de la variable EFETCENT). La moyenne de l'effectif salarié de la tranche EFETCENT de chaque établissement lui a été réaffecté selon les modalités suivantes.

EFETCENT	Libellé de EFETCENT	Effectif attribué à chaque entreprise
NN	Unités non employeuses ou sans mise à jour d'effectif ¹²	1
0	0 salarié ¹³	1
1	1 ou 2 salariés	1,5
3	3 à 5 salariés	4
6	6 à 9 salariés	7,5
10	10 à 19 salariés	14,5
20	20 à 49 salariés	34,5
50	50 à 99 salariés	70
100	100 à 199 salariés	149,5
200	200 à 299 salariés	249,5
.../...	De 100 en 100 jusqu'à 999 999	...

Figure 24. Attribution de l'effectif salarié par établissement à partir de la BD SIRENE

Une base de données des bâtiments exposés a ainsi été construite sur chaque étude de cas.

5.4. EVALUATION DES COÛTS DIRECTS DE LA SUBMERSION MARINE

Pour estimer les coûts résultant des dommages physiques générés par les inondations, et par extension, les submersions marines, on utilise une fonction de dommages. Cette fonction mathématique relie une agression (ici, la hauteur d'eau maximale au pied du bâtiment) à un dommage économique exprimé soit en ratio de perte (% de la valeur du bien impacté), soit en valeur monétaire (coût). Les fonctions d'endommagement peuvent être construites à dire d'experts ou empiriquement, à partir de l'observation d'événements passés. Elles varient selon les enjeux considérés (logements, entreprises, surfaces agricoles, etc.) et différencient les contenus (meubles, stocks, équipements) des contenants (structures, murs et fondations des bâtiments).

5.4.1. Coûts directs sur les logements

Deux types de fonction de dommages se référant à deux méthodes d'évaluation distinctes sont utilisées pour estimer les coûts directs de la submersion marine sur les logements :

- Les fonctions de dommages produites par le CEPRI (Centre Européen de prévention de Risque d'Inondation) à l'échelle de la France ;
- Les fonctions de dommages produites par le JRC (*Joint Research Center*) pour la partie néerlandaise de l'île de Saint-Martin.

¹² Pas de salarié au cours de l'année de référence et pas d'effectif au 31/12.

¹³ Unités ayant eu des salariés au cours de l'année de référence mais plus d'effectif au 31/12.

Fonctions de dommages du CEPRI

En France, les fonctions d'endommagement de référence pour estimer les dommages liés aux inondations sur les logements sont celles proposées par le CEPRI (2013)¹⁴. L'usage de ces fonctions est notamment recommandé dans le cadre des Programmes d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI). Construites à dire d'experts et représentatives du parc de logements à l'échelle nationale, les fonctions du CEPRI expriment les dommages des submersions marines soit en valeur surfacique (en €/m²), soit par unité de logement (en €/logement). Ici, les observations de terrain nous permettent de disposer des informations relatives aux caractéristiques de chaque logement (individuel ou collectif, nombre d'étages, etc.), nous utilisons donc les fonctions par unité de logement qui sont les plus précises.

Ces fonctions distinguent le bâti du mobilier et varient selon la durée de la submersion et les types de logement (maison individuelle avec étage, sans étage, et logement collectif). En Guadeloupe, les fonctions du CEPRI ont été utilisées pour une submersion d'une durée inférieure à 48h, ce qui correspond à la moyenne des événements passés, et un taux de vétusté de 50%.

Parce qu'elles correspondent à des dommages moyens nationaux, deux précautions s'appliquent à l'usage de ces fonctions au cas de la Guadeloupe :

- L'architecture, les techniques et les matériaux de construction des logements diffèrent en France métropolitaine et en Guadeloupe. En effet, l'analyse des dommages causés par les tempêtes Xynthia et Johanna (André 2013) a montré que les éléments les plus vulnérables des pavillons inondés en Charente-Maritime et en Vendée étaient les cloisons intérieures des maisons en plaques préfabriquées en plâtre. Or, le plâtre n'est pas un matériau de construction couramment utilisé en Guadeloupe ce qui rend les logements relativement moins vulnérables aux destructions en cas de submersion marine. À contrario, les cases en bois sont plus fréquentes en Guadeloupe qu'en métropole, or elles sont considérablement plus vulnérables aux inondations. Nous faisons ici l'hypothèse que ces deux tendances se compensent et que le coût des dommages au bâti est relativement similaire en France et en Guadeloupe. Cette hypothèse se justifie notamment par l'absence d'écart significatif entre les prix surfaciques de construction des logements neufs dans les DOM et pour la France entière (données Sit@del). En l'absence de fonction d'endommagement spécifiques à la Guadeloupe, l'usage de ces fonctions apparaît donc relativement approprié.
- La valeur nominale des dommages au mobilier a été corrigée pour tenir compte de deux facteurs :
 - o Le différentiel moyen des prix à la consommation entre la métropole et la Guadeloupe qui intègre le fait que la valeur unitaire des équipements des ménages est relativement plus élevée en outre-mer que dans le reste de la France. Ce différentiel est estimé par l'INSEE à 17 % en moyenne pour la Guadeloupe en 2015 (INSEE Première, 2016) ;

¹⁴ Des valeurs actualisées en €2016 ont été publiées en Avril 2018 en complément du Guide méthodologique sur l'analyse multicritère des projets de prévention des inondations (CGDD, 2018).

- Le taux d'équipement en biens durables des ménages guadeloupéens qui est relativement plus modeste pour un logement standard que celui de la métropole, notamment parce que les foyers n'ont pas besoin d'être équipés en systèmes de chauffage et que seuls 60% des logements disposent d'un ballon d'eau chaude en Guadeloupe selon l'INSEE. Ainsi, la valeur du mobilier estimée dans les fonctions de dommages du CEPRI a été dégressée de 25% et nous considérons que ce facteur correctif est similaire pour les maisons en dur, l'habitat collectif et les maisons en bois.

Hauteur d'eau min (cm)	Hauteur d'eau max (cm)	Durée de submersion	Dommages au bâti (€2015)					Dommages au mobilier (€2015)		
			Individuel sans étage	Individuel avec étage	Logement en collectif	Sous-sol individuel	Sous-sol d'un immeuble (cave + garage)	Mobilier individuel sans étage	Mobilier individuel avec étage	Mobilier logement en collectif
0	1	<48h	0	0	0	0	0	0	0	0
1	15	<48h	8352	5661	4326	38	959	3642	2266	1836
15	25	<48h	16703	11322	8652	76	1918	7283	4531	3671
25	35	<48h	16703	11322	8652	76	1918	7283	4531	3671
35	45	<48h	16703	11322	8652	76	1918	7283	4531	3671
45	55	<48h	16703	11322	8652	76	1918	7283	4531	3671
55	65	<48h	17104	11432	8941	76	1918	8278	5248	4257
65	75	<48h	17505	11542	9230	76	1918	9274	5964	4842
75	85	<48h	17906	11652	9518	76	1918	10269	6680	5428
85	95	<48h	18306	11761	9807	76	1918	11264	7397	6013
95	105	<48h	18707	11871	10096	76	1918	12259	8113	6599
105	115	<48h	19522	12671	10369	80	1918	12508	8293	6745
115	125	<48h	20337	13470	10641	84	1918	12756	8472	6891
125	135	<48h	21152	14270	10914	89	1918	13004	8652	7036
135	145	<48h	21967	15070	11187	93	1918	13253	8831	7182
145	155	<48h	22781	15869	11459	97	1918	13501	9010	7328
155	165	<48h	22893	16556	11618	97	1918	13531	9031	7328
165	175	<48h	23005	17242	11777	97	1918	13561	9052	7328
175	185	<48h	23117	17929	11935	97	1918	13591	9073	7328
185	195	<48h	23229	18616	12094	97	1918	13620	9094	7328
195	205	<48h	23341	19302	12253	97	1918	13650	9115	7328
205	215	<48h	24136	19415	12347	409	1918	13650	9115	7328
215	225	<48h	24932	19528	12442	721	1918	13650	9115	7328
225	235	<48h	25727	19641	12537	1034	1918	13650	9115	7328
235	245	<48h	26523	19754	12631	1346	1918	13650	9115	7328
245	255	<48h	27318	19867	12726	1658	1918	13650	9115	7328
255	265	<48h	27647	21391	12754	1667	1918	13650	9220	7328
265	275	<48h	27975	22915	12783	1676	1918	13650	9325	7328
275	285	<48h	28304	24438	12811	1686	1918	13650	9429	7328
285	295	<48h	28633	25962	12840	1695	1918	13650	9534	7328
295	305	<48h	28961	27486	12868	1704	1918	13650	9639	7328

Figure 25. Courbes d'endommagement pour la submersion marine appliquées aux logements, adaptées de CEPRI (en €₂₀₁₅/ m²)

Pour pallier la difficile prise en compte des spécificités locales dans les fonctions élaborées par le CEPRI, une seconde méthode consiste à utiliser des fonctions d'endommagement exprimées en ratio de pertes et à les croiser avec la valeur des biens impactés estimée à l'échelle locale.

Fonctions de dommages du JRC

Le *Joint Research Center* (JRC) européen a reconstitué des fonctions d'endommagement normalisées pour 6 continents sur la base d'une revue bibliographique étendue (Huizinga et al., 2017). Ces fonctions expriment les dommages en ratios de pertes et couvrent divers enjeux

(logements, bâtiments commerciaux, bâtiments industriels, infrastructures de transport, routes et surfaces agricoles) (Figure 26 et Figure 27).

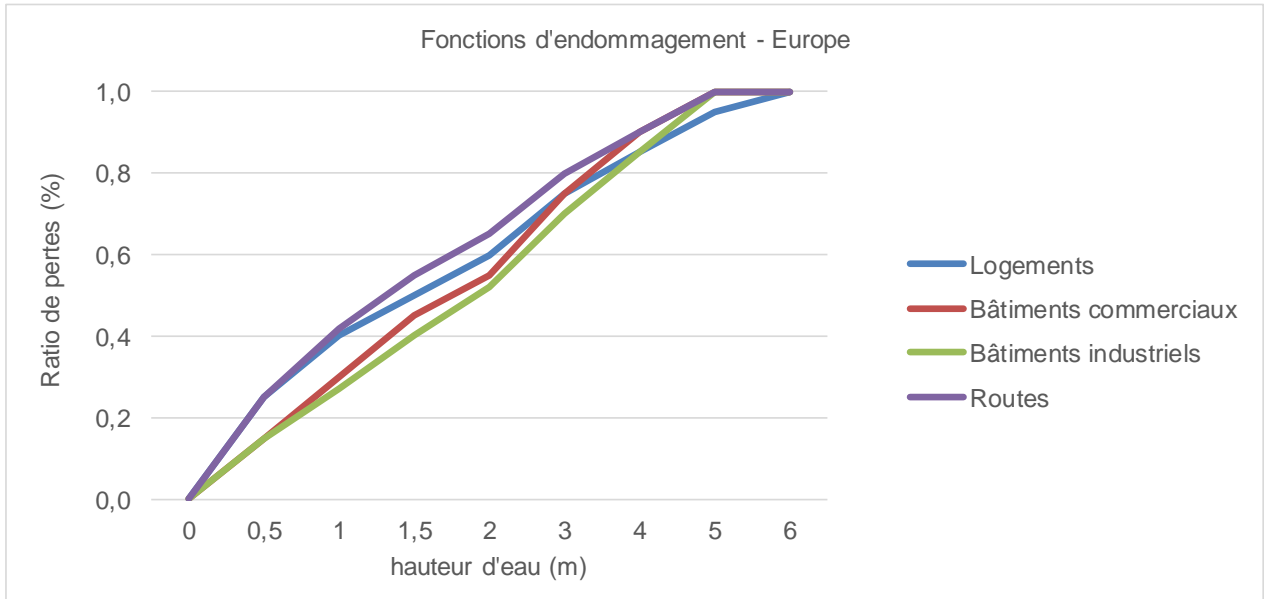


Figure 26. Fonctions d'endommagement pour divers types d'enjeux. Exemple de l'Europe.
Source : Huizinga et al., 2017.

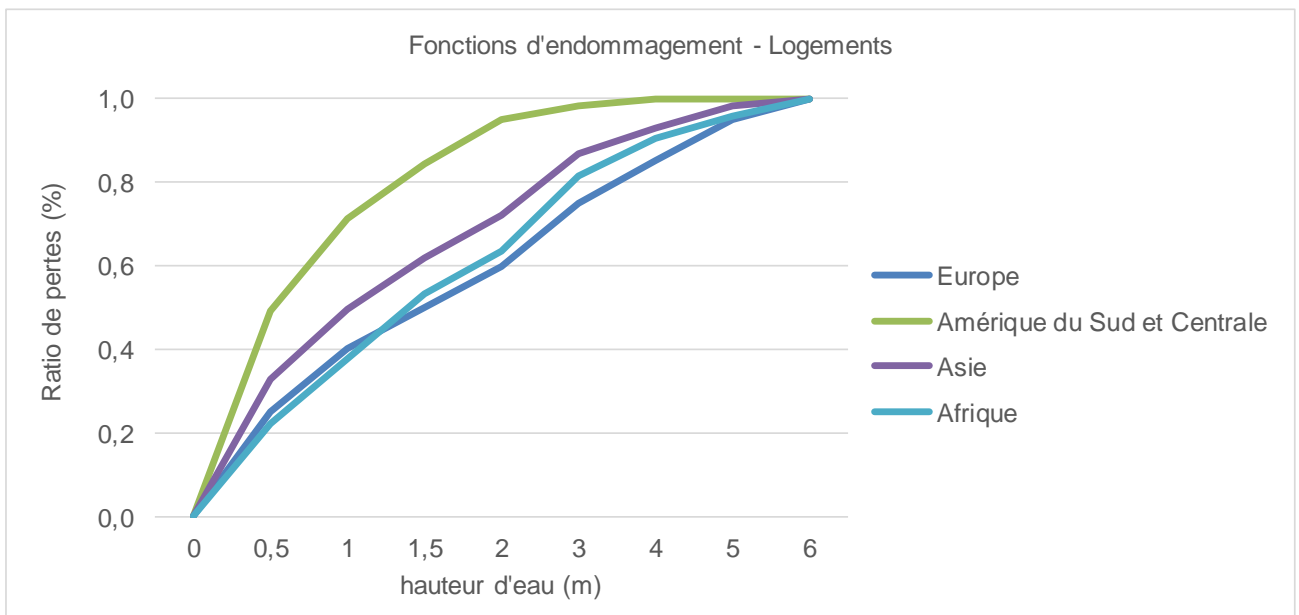


Figure 27. Fonctions d'endommagement pour divers continents. Exemple des logements.
Source : Huizinga et al., 2017.

Les ratios de pertes par continent sont comparés à une valeur de dommage maximal (VDM) déterminée par pays, en fonction des modes de construction, des coûts de construction et du PIB/habitant. Cette étape permet de construire des fonctions d'endommagement par pays. Une fonction est notamment élaborée pour la partie néerlandaise de l'île de Saint-Martin (Figure 28). Les modes et coûts de construction étant relativement proches de ceux de la Guadeloupe, nous

appliquons à cette fonction le PIB/habitant de la Guadeloupe pour l'année 2015 et obtenons les valeurs présentées sur la Figure 29, pour un taux de vétusté estimé à 50%. Pour estimer la VDM du mobilier, le JRC applique un facteur multiplicateur par défaut de 50% à la VDM du bâti. Un facteur correctif de 25% est appliqué ici pour tenir compte du faible taux d'équipement des ménages Guadeloupéen (cf. discussion précédente).

Enfin, on suppose que l'impact sur les marchés fonciers résulte essentiellement du zonage des PPR (CEREMA, 2014). Par conséquent, la valeur foncière des logements n'est pas impactée directement par la submersion marine.

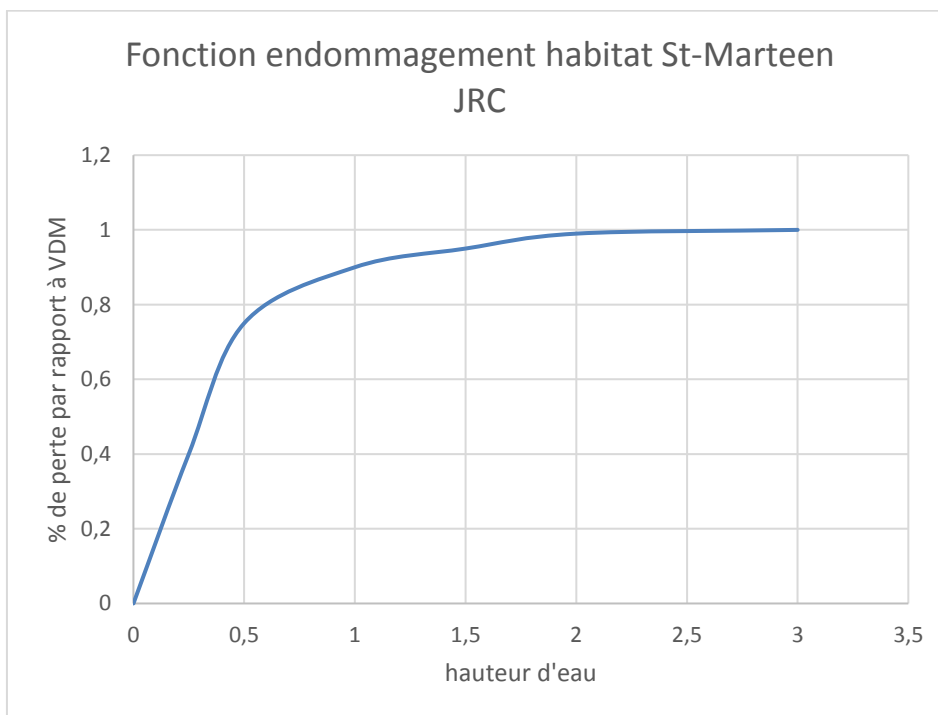


Figure 28. Fonction d'endommagement des logements à St-Marteen, adapté de Huizinga et al., 2017.

		Valeur prise en compte pour la Guadeloupe
Logements en construction en dur (maçonnerie, béton), 40% non-dommageable	VDM bâti	331 €/m ²
	VDM mobilier	138 €/m ²
	VDM totale	469 €/m ²
Logements en construction en bois, 0% non-dommageable	VDM bâti	552 €/m ²
	VDM mobilier	138 €/m ²
	VDM totale	690 €/m ²

Figure 29. Valeurs de dommage maximal pour le bâti et le mobilier des logements en Guadeloupe

Les valeurs issues des fonctions d'endommagement sont alors croisées aux surfaces inondées par types de logements en fonction de la hauteur d'eau pour obtenir les coûts directs des impacts physiques sur les logements. Enfin, sur les études de cas, certains bâtiments ne sont que partiellement inclus dans la zone inondée. Un coefficient *PI* correspondant à la portion effectivement inondée de chaque bâtiment a ainsi été affecté aux ratios de pertes.

La Figure 30 résume la démarche utilisée pour chaque méthode.

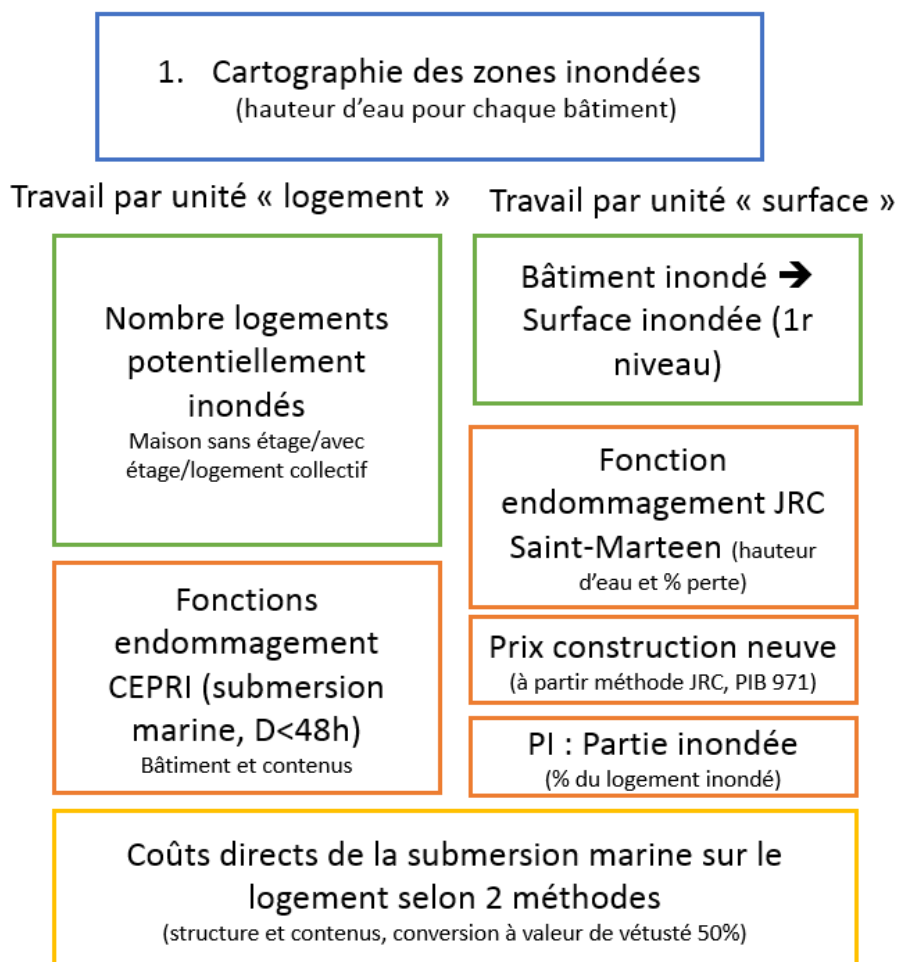


Figure 30. Schéma de la démarche utilisée pour estimer les coûts directs de la submersion marine sur les logements

5.4.2. Coûts directs sur les bâtiments commerciaux et industriels

Comme pour le logement, il n'existe pas de fonctions d'endommagement pour les bâtiments commerciaux et industriels spécifiques à la Guadeloupe. Des fonctions de dommages aux activités économiques ont été récemment élaborées dans le cadre de l'actualisation du guide sur l'analyse multicritères des projets de prévention des inondations (CGDD, 2018). Toutefois, ces fonctions ne sont pas représentatives des spécificités locales et leur adaptation au territoire de la Guadeloupe nécessiterait un travail conséquent qui sort du cadre de cette étude (création de maquettes par type d'entreprises, modification des paramètres monétaires, etc.).

Une alternative consiste à utiliser des fonctions d'endommagement exprimées en ratio de perte construites sur d'autres territoires et dont la pertinence a été validée dans la littérature scientifique. Ici, nous proposons d'utiliser les fonctions d'endommagement empiriques FLEMOcs (*Flood Loss Estimation MOdel for the Commercial Sector*) élaborées par le GFZ Helmholtz Center Postdam (Kreibich et al., 2010 ; Seifert et al ; 2010) sur la base d'informations collectées par enquête auprès de 642 entreprises affectées par les inondations de 2002, 2005 et 2006 dans les bassins versants de l'Elbe et du Danube en Allemagne (Figure 31). Les pertes y sont estimées en fonction de la hauteur d'eau (< 21 cm, 21-60 cm, 61-100 cm, 101-150 cm, >150cm), du secteur d'activité (services, industrie, finance, commerce) et de la taille de l'entreprise (1-10, 11-100, >100 employés). Ces fonctions¹⁵ permettent de distinguer les contenus (stocks et équipements des entreprises), des contenants (bâtiments).

Bien qu'elles soient issues d'évènements survenus en Allemagne, leur utilisation pour la Guadeloupe demeure appropriée. D'une part, l'endommagement généré par les inondations s'avère relativement comparable dans les deux cas car les modes de construction et les matériaux utilisés sur les zones industrielles et commerciales sont relativement similaires en Europe continentale et en outre-mer (prépondérance de structures métalliques et préfabriquées). Leur résistance face aux inondations est donc suffisamment proche. De plus, le recours au transfert de fonctions d'endommagements d'une étude de cas à une autre est une pratique courante dans l'analyse des risques, les principales différences entre pays résidant dans l'estimation de la valeur économique des biens impactés. Les fonctions FLEMOcs ont ainsi été testées sur divers territoires (Eilenburg en Allemagne, Carlisle au Royaume-Uni, Queensland en Australie, etc.) et leur pertinence a été mise en évidence en les comparant aux fonctions issues d'autres modèles (Jongman et al, 2012 ; Hasanzadeh Nafari et al, 2016). À l'avenir, cette méthodologie pourra toutefois être adaptée si des fonctions d'endommagement propres aux bâtiments commerciaux et industriels et adaptables aux spécificités locales sont identifiées dans la littérature.

Les fonctions FLEMOcs peuvent être utilisées avec des facteurs correctifs pour tenir compte de (i) la pollution de l'eau (hydrocarbure, eau de mer) et (ii) la durée d'anticipation du phénomène (existence d'un système d'alerte, possibilité de mise en sécurité des biens). Le premier rend compte du fait qu'une inondation par de l'eau salée rend plus difficile la récupération des biens inondés par un simple séchage-nettoyage que l'eau douce. Ce sur-endommagement provoqué par la submersion marine a également été mis en évidence par André (2013). Nous utilisons ici les fonctions décrivant la situation la plus pessimiste, c'est à dire (i) sans anticipation, ce qui correspond à un scénario d'inaction des pouvoirs publics et de la population face aux risques côtiers, et (ii) avec une eau polluée pour tenir compte du caractère corrosif de l'eau salée. Enfin, en vue de simplifier les calculs, seules les fonctions relatives aux entreprises de taille moyenne ont été considérées.

Pour finir, sur les études de cas, certains bâtiments ne sont que partiellement inclus dans la zone inondée. Un coefficient *PI* correspondant à la portion effectivement inondée de chaque bâtiment a ainsi été affecté aux ratios de pertes.

¹⁵ Les équations ont été collectées auprès de l'auteur de l'article.

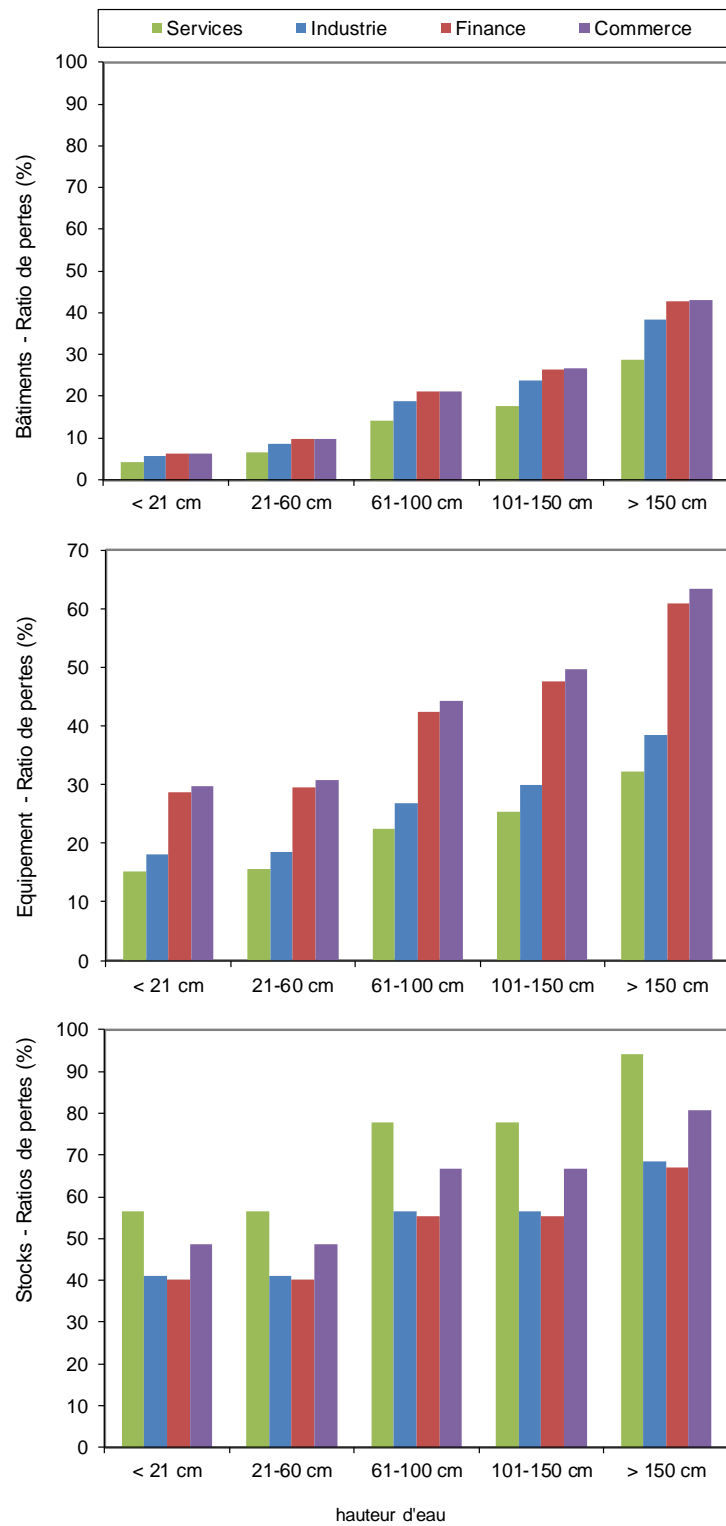


Figure 31. Fonctions d'endommagement FLEMOc pour les bâtiments, les équipements et les stocks spécifiques aux activités économiques. Source : Seifert et al. (2011).

Les ratios de perte sont ensuite croisés à la valeur des bâtiments commerciaux et industriels (bâti, stock et équipement) qui est estimée en quatre temps.

Étape 1. Identification des secteurs d'activité des établissements

Le croisement de la base de données des bâtiments exposés et de la BD SIRENE permet d'affecter à chaque établissement recensé sur les cas d'études la variable APET700 de la BD SIRENE qui donne l'activité principale exercée par l'établissement selon la classification française NAF rév.2.

La NAF rév.2. a une structure arborescente à 5 niveaux emboîtés dont certains sont communs à la classification européenne NACE (Nomenclature statistique des Activités économiques dans la Communauté Européenne) :

- Niveau 1 : 21 sections, communes à la NAF et la NACE ;
- Niveau 2 : 88 divisions, communes à la NAF et la NACE ;
- Niveau 3 : 272 groupes, communs à la NAF et la NACE ;
- Niveau 4 : 615 classes, communes à la NAF et la NACE ;
- Niveau 5 : 732 sous-classes françaises, codées A, B, C, etc. lorsqu'il y a subdivision de la classe en plusieurs sous-classes ou Z lorsque la sous-classe s'identifie à la classe.

La figure ci-dessous explique la décomposition du code APET700 pour une activité pour laquelle il n'existe pas de subdivision nationale (lettre = Z).

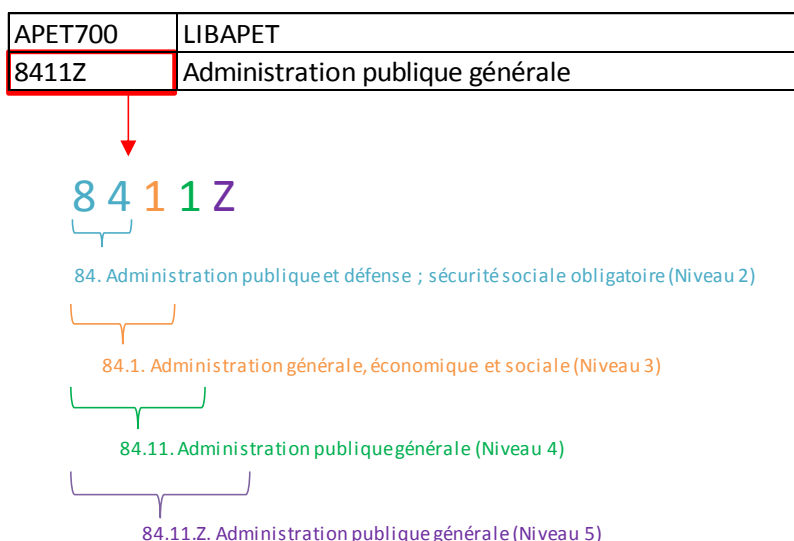


Figure 32. Décomposition de la variable APET700 par niveaux de la classification NAF rév.2.

Le niveau de référence utilisé dans ce projet est le niveau 2 qui décompose l'activité des entreprises et de leurs établissements en 88 secteurs. Le code NAF niveau 2 de chaque établissement est donc extrait de la BD SIRENE (ici, il s'agit du code 84).

Dans cette analyse, les établissements publics (écoles, hôpitaux, etc.) sont considérés comme des établissements économiques. Ils possèdent un numéro SIRET et leurs activités sont classifiées dans la nomenclature NAF Rév.2.

Étape 2. Correspondance entre les secteurs d'activité des entreprises et la classification des FLEMOcs

Les 88 secteurs de la classification NAF rév.2. sont ensuite rattachés à l'un des quatre secteurs pour lesquels des courbes d'endommagement FLEMOcs ont été établies (industrie, commerce, finance, services). La correspondance entre les secteurs FLEMOcs et la classification européenne NACE est fournie dans Sieg et al (2017). Les codes NACE sont ensuite traduits en codes NAF rév.2. niveau 2 afin d'obtenir la table de correspondance présentée dans l'Annexe 4.

Étape 3. Estimation de la valeur vénale des stocks et équipements par secteur d'activité

Plusieurs sources ont été mobilisées pour estimer la valeur des stocks¹⁶ et des équipements¹⁷ des établissements pour chacun des 88 secteurs d'activités couverts dans ce projet (Figure 33):

- Les ratios sectoriels publiés par l'IEDOM (Institut d'Émission des Départements d'Outre-Mer) pour l'année 2015 en Guadeloupe. Basée sur une enquête réalisée chaque année auprès d'entreprises représentatives du tissu économique de Guadeloupe, ces données portent sur 31 secteurs d'activité. Elles se composent d'une série de 30 ratios économiques et financiers regroupés par thèmes (effectif, chiffre d'affaire, valeur ajoutée, poids des stocks, valeur des équipements par salarié, etc.).
- Les données issues de l'ESANE (Élaboration des Statistiques Annuelles d'Entreprises) pour l'année 2015 sur l'ensemble de la France. La base de données ESANE publiée par l'INSEE produit des statistiques structurelles d'entreprises. Les entreprises couvertes sont les sociétés et entreprises individuelles marchandes¹⁸ et exploitantes¹⁹, ou non exploitantes mais participant au système productif. Plusieurs secteurs ne sont donc pas couverts (administrations publiques, activités des ménages en tant qu'employeurs, etc.) ou uniquement partiellement (santé humaine, agriculture, etc.).
- Les fascicules d'indicateurs sectoriels de la Banque de France élaborés chaque année à partir de données provenant du FIBEN (Fichier Bancaire des Entreprises). Ces fascicules présentent la même série de 30 ratios économiques et financiers que ceux de l'IEDOM en Guadeloupe mais ils couvrent un nombre plus important de secteurs et portent sur l'ensemble de la France.

¹⁶ Les **stocks** correspondent à l'ensemble des matières premières, des matières et fournitures consommables, des productions en cours, des produits intermédiaires, des produits finis, des produits résiduels et des emballages non destinés à être récupérés, qui sont la propriété de l'entreprise à la date de l'inventaire et dont la vente en l'état ou au terme d'un processus de production à venir ou en cours permettrait la réalisation d'un bénéfice d'exploitation (comptes 31 à 37 du Plan Comptable Général). Il s'agit de l'ensemble des stocks physiques de marchandises qui pourrait potentiellement être dégradé par le phénomène naturel.

¹⁷ Les **équipements** sont la part des immobilisations corporelles correspondant aux installations techniques, matériels et outillages industriels, matériels de transport, matériels de bureau et informatique, mobilier, installations générales, agencement et installations diverses (comptes 215 et 218 du Plan Comptable Général). Il s'agit de l'actif immobilisé qui pourrait potentiellement être dégradé par le phénomène naturel mais dont sont exclus les terrains et les constructions.

¹⁸ Une unité est considérée comme marchande lorsque ses coûts de production sont couverts à plus de 50% par ses ventes.

¹⁹ Une unité est exploitante si elle exploite elle-même des moyens de production pour produire des biens ou services sur un marché.

La priorité a été donnée aux indicateurs locaux. Lorsqu'elles étaient disponibles, les données de l'IEDOM ont donc d'abord été utilisées. À défaut, les données de la base de données ESANE puis de la Banque de France ont successivement été mobilisées. Sur l'ensemble de la France, ESANE a été privilégié par rapport à la Banque de France car il s'agit d'une base de données plus exhaustive, à partir de laquelle les données primaires relatives aux stocks et équipements peuvent être collectées sur la base des bilans comptables des entreprises alors que les données de la Banque de France, tout comme celles de l'IEDOM, sont des ratios en partie agrégés qui nécessitent par conséquent de recourir à un traitement et à des hypothèses pour en extraire la valeur des biens impactés.

L'ensemble des traitements réalisés sur ces données est décrit dans l'Annexe 3. Les principaux choix méthodologiques effectués sont les suivants :

- Les indicateurs économiques utilisés sont fournis soit à l'échelle des secteurs (ESANE) soit à l'échelle des entreprises (IEDOM et Banque de France) et non des établissements. Pour affecter la part de ces valeurs à chaque établissement en fonction de son secteur d'activité, la valeur des stocks et équipements a été ramenée à l'effectif salarié par secteurs ou entreprises. Cette valeur (exprimée en €/salarié) pourra ensuite être affectée à chaque établissement selon son effectif salarié.
- L'indicateur « Équipement par salarié » de l'IEDOM et la Banque de France rapporte l'ensemble des immobilisations corporelles et incorporelles des entreprises au nombre de salariés. Pour estimer la valeur des équipements correspondant aux seules immobilisations corporelles pertinentes pour notre étude (cf. définition note de bas de page), la part moyenne des équipements dans l'ensemble des immobilisations d'exploitation a été calculée par secteur d'activité, à partir des données ESANE, puis elle a été retranchée aux indicateurs « Équipement par salarié » de l'IEDOM et la Banque de France.
- Les données ESANE et Banque de France ont été corrigées du différentiel moyen des prix à la consommation entre la métropole et la Guadeloupe pour intégrer le fait que la valeur des stocks et équipements est relativement plus élevée en outre-mer que dans le reste de la France. Ce différentiel est estimé par l'INSEE à 17 % en moyenne pour la Guadeloupe en 2015 (INSEE Première, 2016).
- Des valeurs moyennes ont été affectées aux secteurs pour lesquels aucune donnée n'a pu être mobilisée. La valeur moyenne des stocks/salarié et des équipements/salarié de la classe N (activités de services administratifs et de soutien) a été affectée aux classes K (activités financières et d'assurance) et O (administration publiques) en faisant l'hypothèse que ces activités, essentiellement de bureau, requièrent le même type de matériels et d'équipements (ordinateur, chaises, serveur informatique, etc.). Un argumentaire similaire a été utilisé pour affecter les valeurs moyennes et les fonctions d'endommagement de la classe S (autres activités de services) aux classes T (activités des ménages en tant qu'employeurs) et U (activités extraterritoriales).
- Les valeurs médianes des indicateurs IEDOM et Banque de France ont été utilisées.

- Une vétusté de 50% a été considérée pour les équipements qui sont évalués à leur valeur brute comptable (hors amortissements). Aucune vétusté n'est toutefois appliquée aux stocks qui sont supposés neufs.

Source	Couverture géographique	Nb. de secteurs couverts (niv.2)	Indicateurs économiques mobilisés
IEDOM	Guadeloupe	31	<ul style="list-style-type: none"> - Effectif salarié - Chiffre d'affaires (€) - Poids des stocks (jours de chiffre d'affaires) = Stocks / Chiffre d'affaires - Équipement par salarié (€) = Immobilisations d'exploitation / Effectif
ESANE	France	74	<ul style="list-style-type: none"> - Effectif salarié au 31/12 - Stocks (matières premières, en-cours de production, approvisionnements, produits intermédiaire, finis) (€) - Immobilisations corporelles : installations techniques, matériel et outillage industriel (€) - Autres immobilisation corporelles (€) - Immobilisation corporelles (€) - Immobilisations incorporelles (€)
Banque de France	France	69	<ul style="list-style-type: none"> - Effectif salarié - Chiffre d'affaires (€) - Poids des stocks (jours de chiffre d'affaires) = Stocks / Chiffre d'affaires - Équipement par salarié (€) = Immobilisations d'exploitation / Effectif

Figure 33. Bases de données et indicateurs mobilisées pour estimer la valeur des stocks et équipements

La valeur des stocks et des équipements par salarié estimée pour chacun des 88 secteurs d'activité de la NAF rév.2. niveau 2 est présentée dans l'Annexe 4.

Ces ratios sont ensuite croisés à l'effectif salarié des entreprises recensées sur les cas d'étude à l'aide de la base de données SIRENE (variable EFFETCENT traitée) ce qui permet d'estimer la valeur moyenne des stocks et des équipements par établissement.

Étape 4. Estimation de la valeur des bâtiments industriels et commerciaux par secteur d'activité

La valeur économique des bâtiments commerciaux et industriels est estimée à hauteur du coût de reconstruction à neuf des bâtiments existants qui dépend du coût surfacique des constructions neuves et de la surface de plancher des bâtiments. Un taux de vétusté de 50% est ensuite appliqué à cette valeur.

Le calcul de la surface de plancher est présenté dans la section 3.2.1. La valeur du bâtiment s'estime en multipliant cette surface de plancher par le prix au m² des constructions neuves.

En France, aucune base de données publique ne recense les coûts de construction des bâtiments commerciaux et industriels. Des estimations, à dire d'experts, sont disponibles dans la littérature mais elles ne portent pas spécifiquement sur la Guadeloupe. Toutefois, les données fournies par la base de données Sit@del sur les logements ne mettent pas en évidence de différentiel de coût de construction entre la Guadeloupe et la métropole, comme cela est observé pour les prix à la consommation. En effet, dans l'archipel comme en métropole, les matériaux de construction proviennent essentiellement du marché local. De plus, la structure des bâtiments industriels et commerciaux est relativement similaire en Guadeloupe et en métropole (constructions préfabriquées, modulaires ou métalliques). Ainsi, les matériaux et les modalités de construction des bâtiments industriels et commerciaux diffèrent peu entre la métropole et la Guadeloupe. En l'absence de données locales, l'utilisation de données nationales apparaît donc appropriée.

Le coût de construction des bâtiments non résidentiels autorisés en France est estimé par le CGDD (2009). Ces valeurs ont été utilisées pour estimer la valeur des bâtiments en Guadeloupe, par secteur économique²⁰ (Figure 34).

Figure 34. Prix de construction des bâtiments commerciaux et industriels, par code d'activité NAF, à partir des données du CGDD 2009 (en €/m²).

Section NAF Rev. 2.	Division NAF Rev. 2.	Type de bâtiment	Prix en € ₂₀₁₅ /m ² de surface de plancher
C : industrie manufacturière	10-11-12	Agro-alimentaire	1235
	13 à 33	Bâtiments technique	737
F : construction	41 à 43	Bureaux sans spécifications	1095
G : commerce	45	Commerce automobile : bâtiments techniques	737
	46	Commerce de gros : Entrepôts commerce	431
	47	Commerce détail : Bâtiment commerce	778
H : transport	49 à 53	Bâtiment stockage non agricole	483
I : hébergement et restauration	55-56	Cafés-restaurants	1673
J-K-L-M-N : divers activités finances, assurance, immobilière et bureaux d'étude	58 à 82	Bureaux administratifs	1256
O, P, Q : administration, enseignement et santé	84 à 88	Bureaux administratifs	1256
R : arts et spectacles	90 à 93	Bureaux	1214
S : autres activités de services	94 à 96	Bureaux administratifs	1256

²⁰ Les sections NAF B, D et E requièrent une évaluation au cas par cas car les coûts de construction dépendent des spécificités locales (extractions de carrières, centrales de production électrique, usine de potabilisation, etc.).

Les fonctions d'endommagement FLEMOcs sont ensuite appliquées en fonction de la hauteur d'eau au pied du bâtiment et de la valeur des biens impactés. Le résultat obtenu est une estimation du coût direct des impacts physiques sur les bâtiments commerciaux et industriels et leurs stocks et équipements. La Figure 35 résume la démarche appliquée.

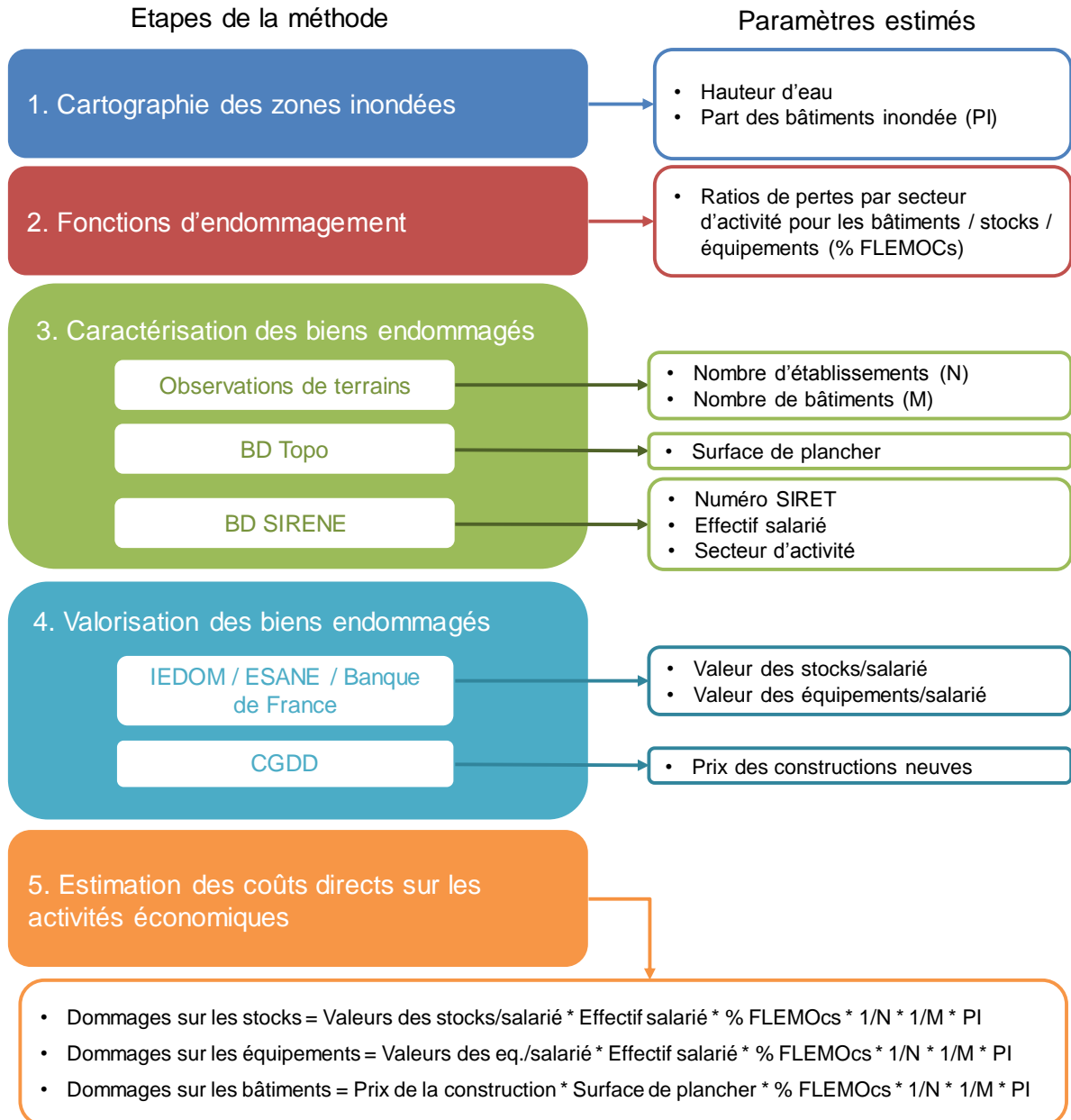


Figure 35. Démarche adoptée pour l'estimation des coûts directs associés à la submersion marine des bâtiments commerciaux et industriels

5.4.3. Coûts directs sur les réseaux routiers

L'endommagement des réseaux routiers est estimé à l'aide de la fonction d'endommagement moyenne des routes européennes produite par le JRC (Huizinga et al., 2017). La surface de routes inondées est quant à elle estimée à partir de la BD Topo.

La valeur de dommage maximale est estimée à 27,6 €₂₀₁₅ /m², ce qui correspond à la valeur d'endommagement maximale (VDM) fournie par le *Joint Research Center* pour le réseau routier en Europe.

5.4.4. Coûts directs sur les véhicules personnels

Les véhicules de sociétés étant inclus dans les équipements des entreprises, seuls les dommages aux véhicules personnels appartenant aux ménages sont estimés dans cette section.

Les sociétés d'assurance estiment le seuil de réparabilité des véhicules inondés au niveau de l'assise du siège. On retient ici une hauteur moyenne de l'assise de 50 cm.

La formule utilisée pour estimer les dommages aux véhicules personnels est la suivante :

*Dommages aux véhicules = Nombre logements zone inondée * Ratio zone inondée H > 50 cm * Ratio moyen véhicules/logement en Guadeloupe * Prix moyen voiture neuve * Vétusté * Taux présence des voitures dans les parkings * Taux de perte*

En Guadeloupe, le parc de voitures particulières était en 2015 de 213 757 véhicules (Ministère des Transports). Rapporté au nombre de foyers guadeloupéens, cela représente 1,25 voitures par foyer. Les voitures d'1 à 6 Cv sont majoritaires dans le parc guadeloupéen (75%).

Le cout moyen d'une voiture neuve s'établit en Guadeloupe à 16 884 €HT (SYNDEX, 2015). La vétusté du parc automobile est estimée à 50%.

Le taux de remplissage des zones de stationnement est estimé à 50%.

Le taux de perte est binaire. Il vaut 1 lorsque la hauteur d'eau est supérieure ou égale à 50 cm et 0 si elle est inférieure.

5.5. EVALUATION DES COÛTS DIRECTS DU REcul DU TRAIT DE CÔTE

Aucun des deux sites d'étude étudiés durant la première année du projet n'est impacté par un recul du trait de côte. La méthode développée pour évaluer les coûts directs de ce phénomène n'est donc pas présentée dans ce rapport.

5.6. PRINCIPALES LIMITES DE LA MÉTHODE

Vents cycloniques

Cette analyse n'intègre pas les dommages provoqués par les vents cycloniques. Or, il est avéré qu'en cas de cyclone de catégorie 3, les dégâts occasionnés par la force des vents sont considérables, comme en atteste l'importance des dégâts sur les toitures, survenus lors des ouragans Irma et Maria en 2017. Les constructions métalliques comme celles de Jarry sont donc particulièrement vulnérables face à cet aléa. L'objectif de l'étude en cours étant de mettre en évidence le surcout lié à l'élévation du niveau de la mer provoquée par le changement climatique sur le littoral de la Guadeloupe, elle ne tient pas compte des impacts liés aux vents qui peuvent toutefois s'avérer conséquents.

Fonctions d'endommagement pour les bâtiments commerciaux et industriels

En l'absence de données spécifiques à la Guadeloupe, les fonctions d'endommagement FLEMOcs construites empiriquement à partir d'évènements survenus en Allemagne ont été utilisées pour caractériser les dommages physiques sur les stocks et les équipements des entreprises et les bâtiments industriels et commerciaux.

Valeurs des stocks et des équipements des entreprises et des bâtiments commerciaux et industriels

De nombreux indicateurs utilisés pour estimer la valeur des stocks, équipements et bâtiments industriels et commerciaux sont issus de données couvrant l'ensemble de la France. Bien qu'elles soient corrigées du différentiel de prix à la consommation moyen entre la métropole et la Guadeloupe, ces données ne reflètent pas les spécificités locales de l'archipel (matériaux de construction, modalités de stockage des marchandises, etc.).

6. Études de cas

Ce chapitre présente les principaux résultats de l'évaluation des coûts directs résultant des dommages physiques causés par les risques côtiers sur deux études de cas : la zone industrielle de Jarry et le centre-ville de Pointe-à-Pitre.

Les résultats sont présentés pour deux scénarios :

- Le *scénario actuel* qui correspond à l'occurrence de l'évènement de référence en 2015 ;
- Le *scénario 2050* qui correspond à l'occurrence de l'évènement de référence, compte tenu de l'élévation du niveau de la mer à horizon 2050.

La variation de coûts entre ces scénarios correspond au surcoût généré par le changement climatique.

Les résultats présentés dans cette section sont issus des simulations mathématiques de ces deux scénarios choisis comme référence. Ces résultats ne constituent pas des prédictions. Ils décrivent un futur probable parmi un ensemble plus large de scénarios plausibles.

6.1. ETUDE DE CAS N°1 : LA ZONE INDUSTRIELLE DE JARRY

6.1.1. Présentation du site d'étude

La zone industrielle et économique de Jarry se situe au cœur du Petit Cul-de-Sac marin, sur la commune de Baie-Mahaut. Troisième plus grande zone d'activités de France, elle accueille de nombreuses entreprises et infrastructures, notamment :

- Le port autonome de la Guadeloupe et ses terminaux à conteneurs qui concentrent 90% du trafic de marchandises de l'île ;
- Une plate-forme logistique ;
- Plusieurs terminaux pétroliers ;
- Deux centrales électriques thermiques ;
- Une zone d'entrepôts francs communautaires qui permet aux entreprises qui y sont implantées de bénéficier d'un régime de stockage de marchandises en franchise de droits et taxes pour leur distribution vers le marché international ;
- Le siège du complexe World Trade center composé de 2500 m² de bureaux et 7300 m² de surface d'exposition.

En 2017, la commune de Baie-Mahaut rassemble 13 853 établissements économiques, soit 16% des établissements de l'île, contre seulement 8% de sa population.

La zone est desservie par la route nationale N1 au nord et la départementale D32 à l'ouest (aussi appelée Voie Verte). En son centre, la route nationale N10 la traverse d'ouest en est. C'est autour de cette nationale que se concentre l'essentiel des activités commerciales. D'un point de vue

environnemental, Jarry comprend deux zones de mangroves. Quelques habitations sont également localisées au nord-ouest.

La zone d'étude est présentée sur la Figure 36. Elle s'étend sur 600 ha, dont 425 ha urbanisés et 175 ha de mangroves.

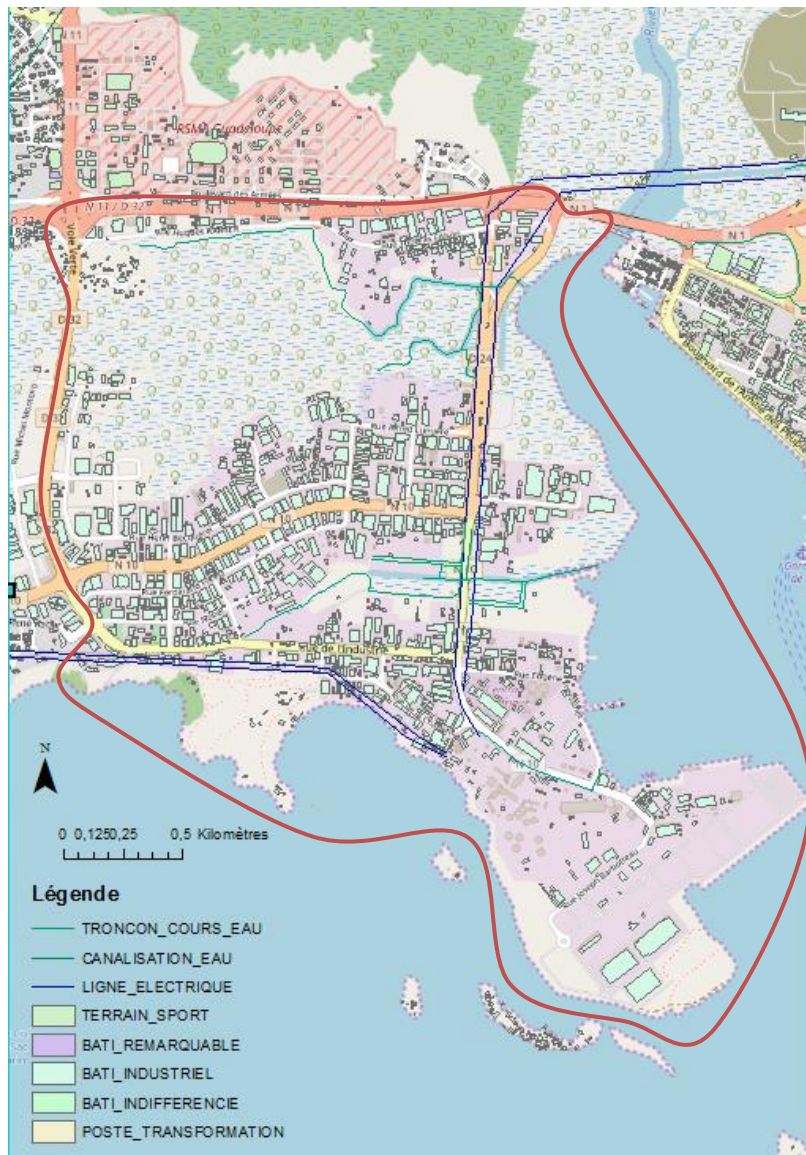


Figure 36. Localisation géographique de la zone industrielle de Jarry et du périmètre de la zone d'étude (en rouge).

6.1.2. Caractérisation fine des aléas à horizon 2050

Recul du trait de côte

La zone industrielle de Jarry est peu exposée au recul du trait de côte. L'essentiel de la zone est bâti sur des remblais protégés par des enrochements et des quais. Le trait de côte se caractérise ainsi par un phénomène d'avancée liés au différents aménagements réalisés sur ce secteurs depuis 1950 (Figure 37).

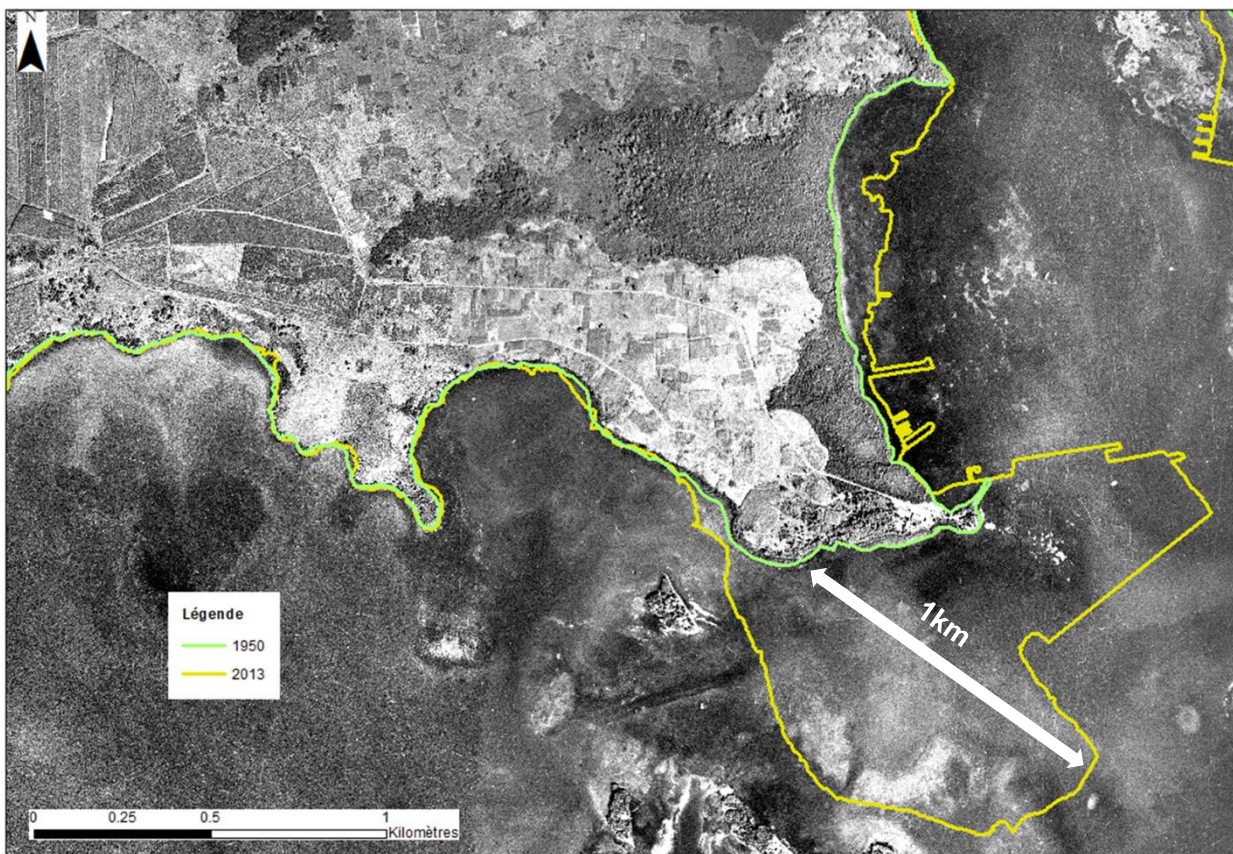


Figure 37. Comparaison des positionnements des traits de côte entre 1950 (vert) et 2013 (jaune) sur la zone industrielle de Jarry, sur un fond orthophotographique de 1950 (IGN).

Suite au retour d'expérience associé au passage de l'ouragan MARIA (Legendre et Guillen., 2017), un recul maximal L_{max} de 5 m résultant d'un phénomène extrême sera désormais pris en compte sur l'ensemble du Petit Cul-de-Sac marin.

Sur les trois secteurs analysés de la zone industrielle de Jarry (Figure 38), différentes dynamiques sont mises en avant :

- Sur le secteur 1, caractérisé par des côtes basses meubles et de la mangrove, le trait de côte a tendance à avancer sur la mer à un taux de 0,15 m/an. Si cette tendance se maintient à horizon 2050, l'avancement pourrait compenser le recul potentiel induit par la submersion marine en cas de forte houle cyclonique : ce trait de côte à horizon 2050 avancerait de + 0.5 m par rapport à celui de 2013.
- Sur le secteur 2, caractérisé par une côte artificialisée, aucun recul n'est survenu depuis les ortho-photographies de 1998 sur lesquelles figure le trait de côte actuel de ce secteur. Nous considérons le trait de côte figé jusqu'à l'horizon 2050.
- Sur le secteur 3, caractérisé par une côte de mangrove, la tendance du trait de côte est à l'avancée estimée à + 0.08 m/an entre 1998 et 2013. Si cette tendance se maintient à l'horizon 2050, le trait de côte aura avancé de 3 m environ. En cas de houle cyclonique induisant un recul de 5 m, le trait de côte aura reculé de - 2 m. Toutefois, il s'agit d'une zone de mangroves sans présence d'enjeux économiques et sociaux. A enjeux constant, ce recul n'aurait pas d'impact sur le coût des dommages à horizon 2050.

Sur les secteurs 1 et 3, le taux d'évolution du trait de côte estimé est faible et sous le seuil d'incertitudes de la méthode (fixé à 0.25 m/an, soit 9 m pour la période de 37 ans entre 2013 et 2050). De ce fait, ces résultats ne sont pas robustes et doivent être considérées avec prudence.

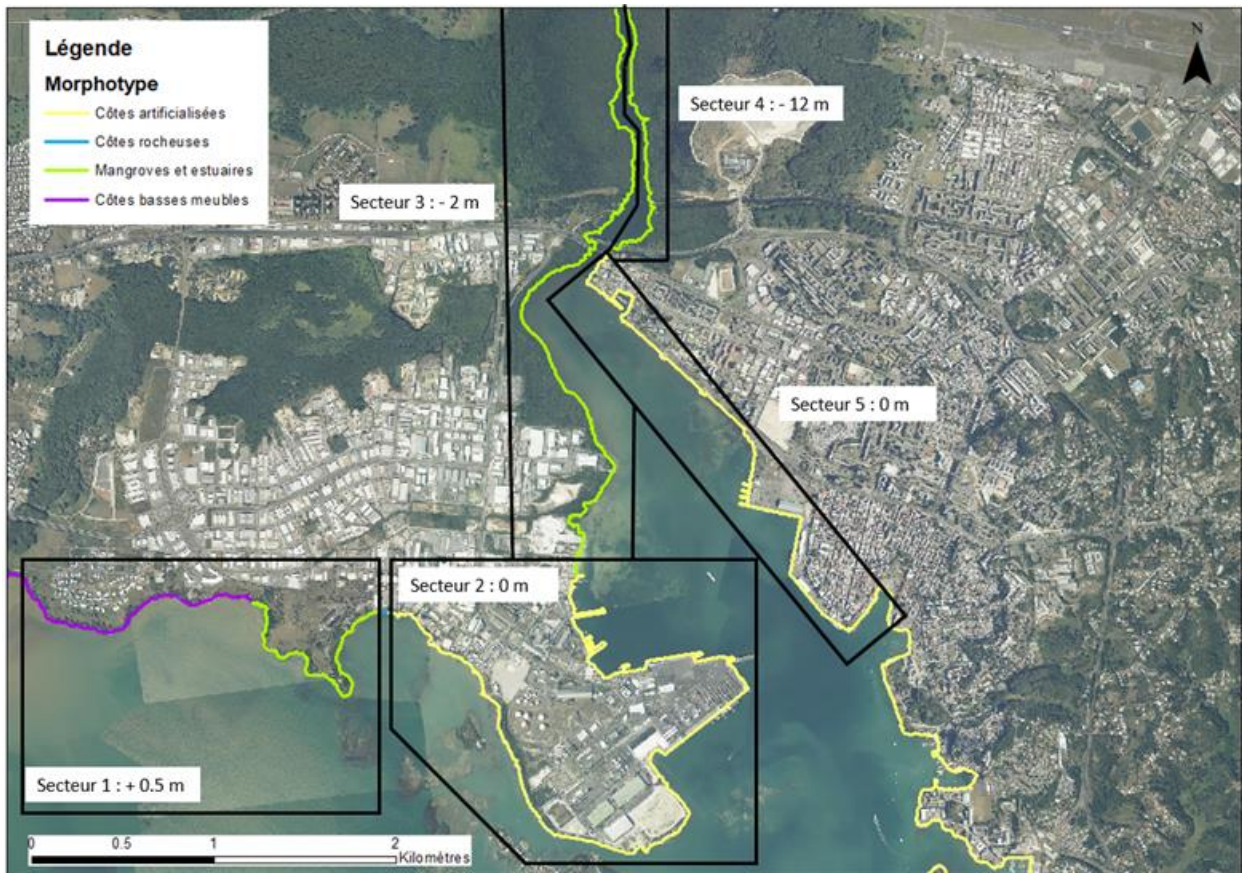


Figure 38. Projection de recul du trait de côte à l'horizon 2050 (érosion et L_{max} inclus) sur les secteurs de Jarry et de Pointe-à-Pitre

Submersion marine

La Figure 39 présente la cartographie de l'étendue de l'inondation (exprimée en fonction des hauteurs d'eau maximales) associée à la submersion marine pour chaque scénario. La Figure 40 présente l'étendue de la submersion pour le scénario 2050 en superposant le contour d'inondation pour le scénario actuel. La Figure 41 présente la différence d'hauteur entre les 2 scénarios sur les deux sites d'étude.

À cette échelle graphique, les différences entre les deux horizons sont peu significatives. La principale différence concerne l'étendue des surfaces urbanisées inondées qui est estimée à 79 ha dans le scénario actuel, contre 96 ha dans le scénario 2050, soit une augmentation de 21% de la surface inondée.

À horizon 2050, la submersion ira au-delà de la Voie Verte (D32) à l'ouest de la zone, tandis que dans le scénario actuel, elle s'arrête en bordure de route.

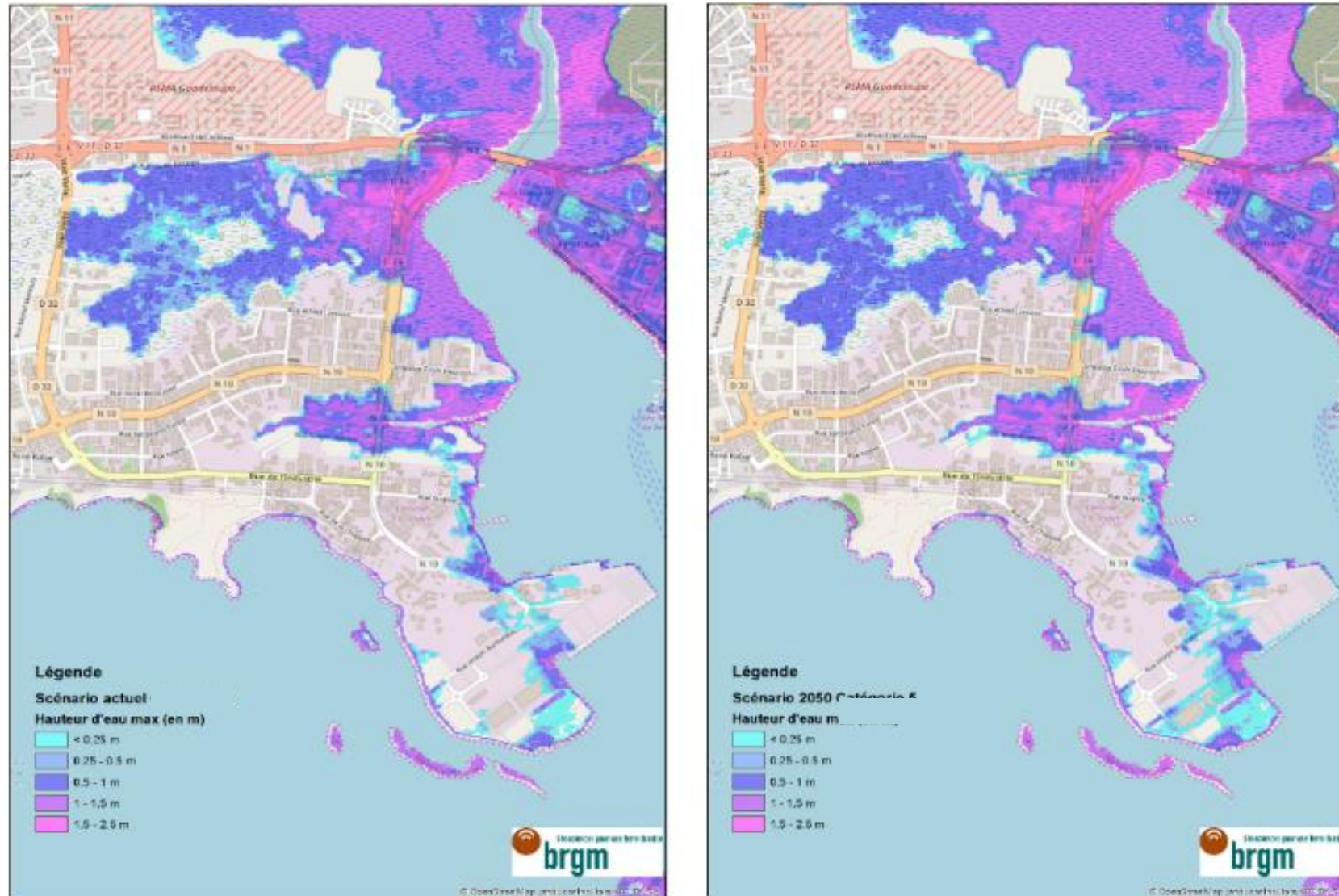


Figure 39. Hauteur d'eau maximale sur la zone industrielle de Jarry pour le scénario cyclonique de référence (1928) avec le niveau marin actuel (à gauche) et celui projeté à horizon 2050 (à droite)

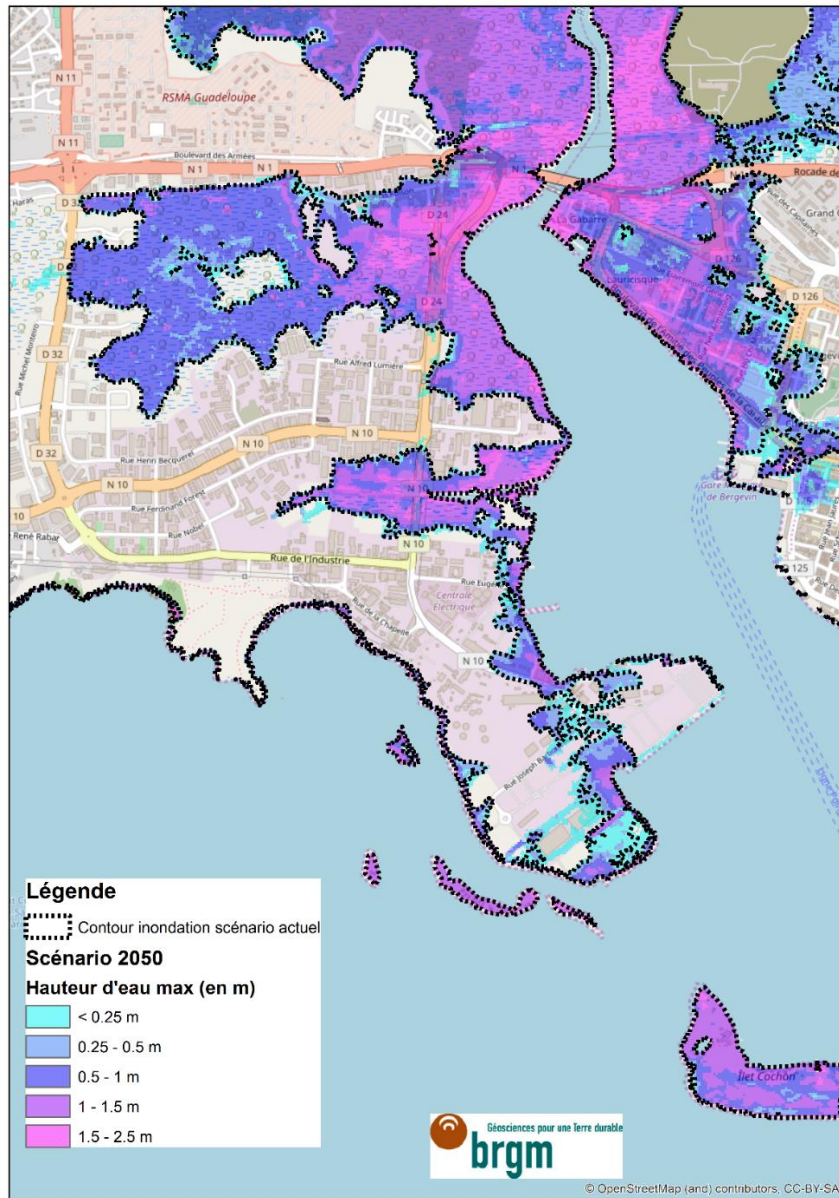


Figure 40. Hauteur d'eau maximale pour le scénario 2050 et comparaison avec le contour de la submersion dans le scénario actuel sur la zone de Jarry.

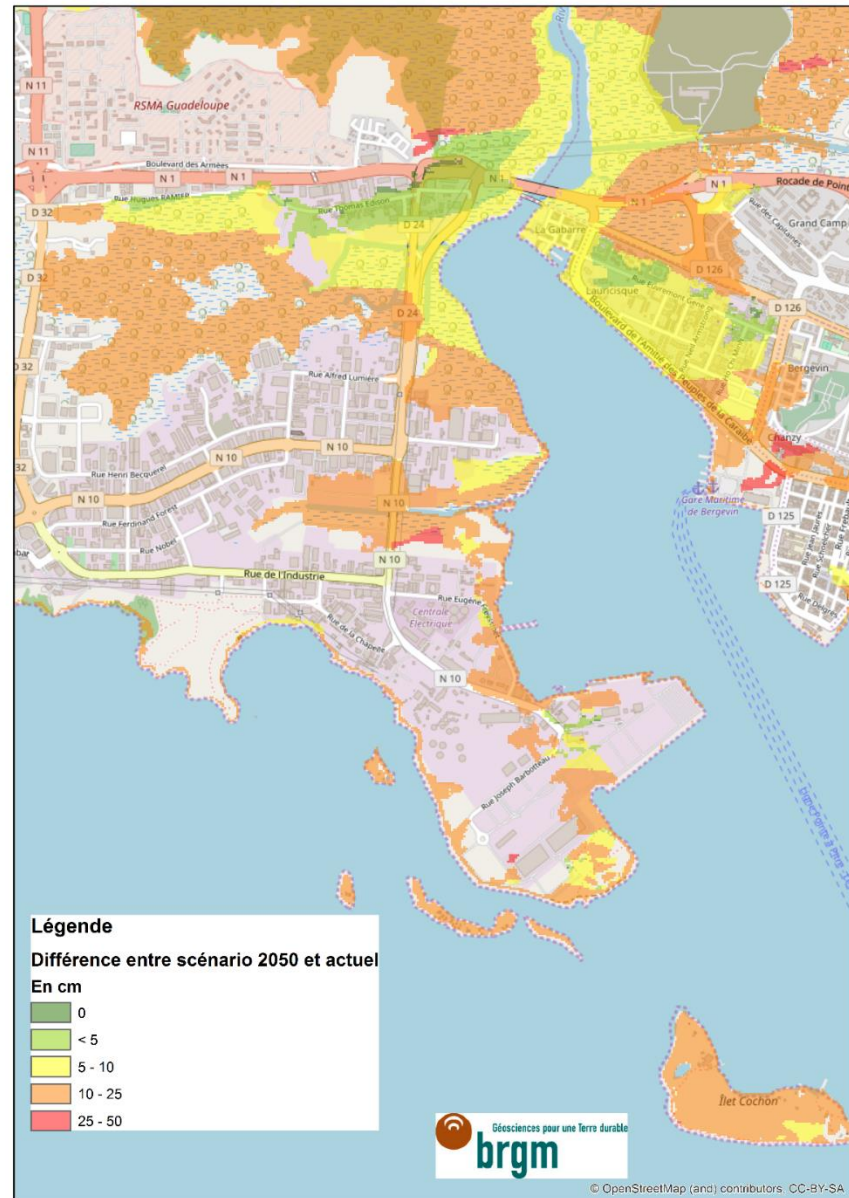


Figure 41. Différentiel de hauteur d'eau entre les deux scénarios sur la zone de Jarry.

6.1.3. Caractérisation des impacts physiques

Impacts sur les logements

Aucune habitation ne serait inondée, dans aucun des scénarios.

Impacts sur les activités économiques

Les Figure 42 et Figure 43 présentent les activités économiques impactées par la submersion marine dans chaque scénario.

Enjeux inondés	Scénario actuel	Scénario 2050	Variation entre scénarios
Nombre d'établissements ²¹	171	195	+ 14%
Effectif salarié	2 085	2 355	+ 13%
Nombre de bâtiments commerciaux et industriels	93	106	+ 14%
Emprise au sol des bâtiments (BD TOPO, en m ²)	107 417	121 217	+ 13 %

Figure 42. Enjeux inondées en lien avec les activités économiques sur la zone industrielle de Jarry, par scénario

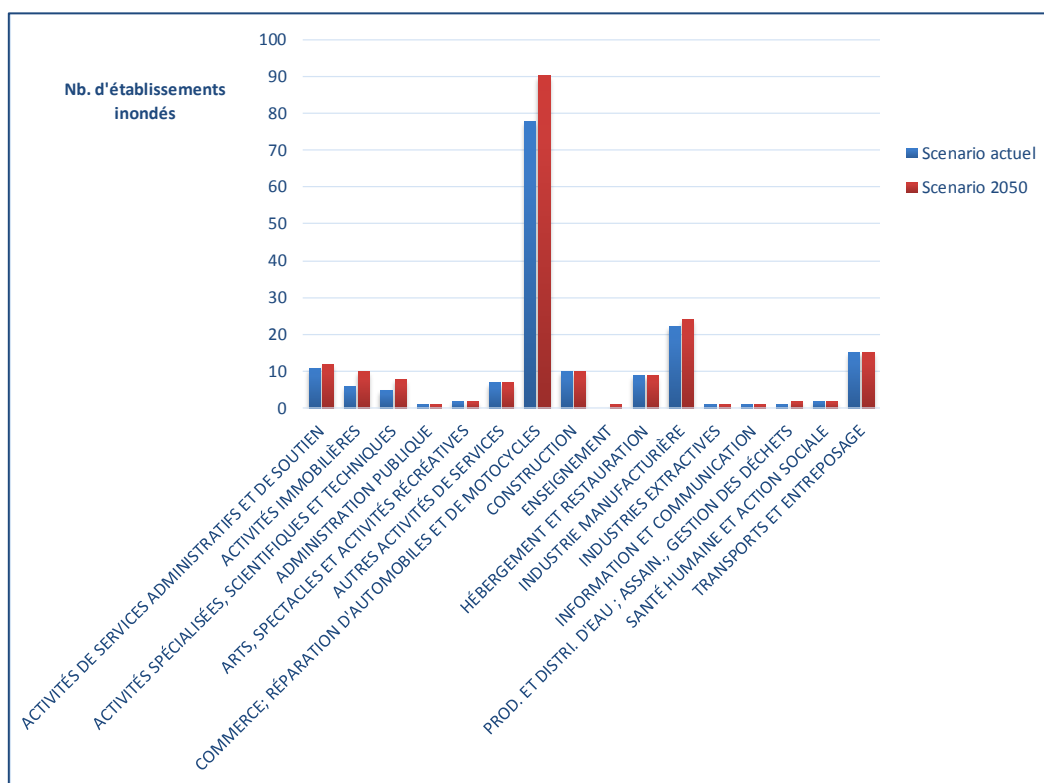


Figure 43. Répartition du nombre d'établissements dans la zone inondée de Jarry, par secteur d'activité.

²¹ Il convient de noter que l'appariement n'a pas été possible pour 5 % des établissements impactés identifiés sur le terrain car l'établissement recensé sur le terrain ne correspond à aucun établissement de la BD SIRENE (nom et adresse). Il est probable que ces établissements qui paraissent en exercice lors des observations de terrain (existence d'une enseigne, présence d'un nom d'entreprise sur la boîte aux lettres, etc.) soient en réalité fermés, en cessation d'activité, en liquidation judiciaire ou en cours de changement de propriétaire.

À horizon 2050, les effets du changement climatique induisent une augmentation de 14 % du nombre d'établissements et de 13% du personnel salarié impactés sur la zone industrielle de Jarry. Les secteurs du commerce (détail et gros) et de la réparation de véhicules sont les plus impactés, suivis de l'industrie manufacturière (notamment l'imprimerie) et du transport et entreposage (Figure 43). Plus de la moitié des établissements qui ne seraient inondés qu'à horizon 2050 exercent dans l'un de ces secteurs.

Impacts sur le réseau routier

Sur les 65 km de route (toutes catégories confondues) que contient la zone industrielle de Jarry, environ 21 km seraient submergés dans le scénario actuel, dont les principales entrées à Jarry :

- La N1, axe majeur de la Guadeloupe qui délimite la zone de Jarry au nord, serait inondée au niveau de la Rivière Salée et l'entrée nord-est de Jarry ;
- La N10, qui relie l'extrême ouest de Jarry au port autonome de Pointe-à-Pitre, serait coupée en deux points. En revanche, une grande partie de cet axe principal de la zone ne serait pas inondée ;
- La D24, qui relie Pointe-à-Pitre à Jarry, serait coupée à l'extrême nord-est de Jarry.

Globalement, les principales voies d'accès au port autonome seraient donc inondées (accès par la D24 et la N10). On identifie également deux ouvrages d'art qui seraient inondés. La rue de l'Industrie, où se situent de nombreuses entreprises, ne serait quant à elle pas inondée.

Le différentiel de surfaces inondées entre le scénario actuel et le scénario à horizon 2050 est négligeable. Seule la Voie Verte (D32), qui constitue l'entrée dans la zone de Jarry par le nord-ouest, serait uniquement inondée dans le scénario à horizon 2050.

La surface de routes inondée s'élève dans les deux scénarios à 79 900 m².

Impacts sur les réseaux d'eau potable

Les réseaux d'alimentation en eau potable sont enterrés et suivent les grands axes routiers. Ils ne seraient pas impactés par la submersion marine.

Impacts sur les réseaux d'électricité

Plus vulnérable aux vents cycloniques qu'à la submersion, le réseau électrique serait peu impacté par la submersion marine.

La centrale EDF de Jarry est le principal point de production d'électricité de l'île. En conséquence des lignes électriques à haute tension sortent de cette centrale et suivent la route D24. Plusieurs pylônes de cette ligne sont situés en zone inondée. La ligne électrique qui sort de la centrale EDF de Jarry vers l'ouest ne serait toutefois pas impactée.

Enfin, la zone inondée de Jarry ne recèle aucun transformateur.

Impacts sur les installations spécifiques

Aucun scénario ne prévoit la submersion de la raffinerie SARA et de ses réservoirs en hydrocarbures et de la centrale EDF Pointe Jarry, pourtant située à proximité du littoral.

Une partie des installations de la cimenterie Lafarge, qui dispose d'un quai de déchargement, serait inondée dans les deux scénarios. Ce site n'est pas considéré ici comme une industrie mais comme une activité de commerce qui stocke des produits finis (i.e. des matériaux de construction tels que le ciment).

Trois infrastructures spécifiques seraient également inondées dans les deux scénarios :

- La centrale à béton de la Société Antillaise de Granulats située dans la zone est de Jarry ;
- Une partie des quais et des installations du Port Autonome ;
- Les silos de Grands Moulins des Antilles, situés sur le Port Autonome, dont une partie des installations serait inondée.

Il convient de noter qu'il n'existe pas de fonctions d'endommagement pour ce type d'installations. Or, la spécificité de ces sites ne leur confère aucun intérêt pour l'extrapolation des résultats à l'échelle du littoral. Ainsi, comme cela a été convenu dès le lancement de l'étude, ces infrastructures n'ont pas été intégrées à l'estimation des dommages économiques. Leur estimation nécessiterait une évaluation approfondie qui sort du champ de cette étude dont l'objectif est de fournir un ordre de grandeur du coût de l'inaction sur l'ensemble du littoral et non sur quelques installations spécifiques.

6.1.4. Estimation des coûts directs

Coûts directs sur les activités économiques

Dans le scénario actuel, les coûts directs moyens des risques côtiers sur les bâtiments commerciaux et industriels de la zone industrielle de Jarry sont estimés à près de 20,3 M€, soient 119 k€ par établissement et 10 k€ par salarié. Les pertes de stocks et d'équipements contribuent à 78% des coûts, contre 22% pour les destructions physiques sur la structure des bâtiments. Ainsi, la valeur des dommages sur le contenu des bâtiments et les outils de production est supérieure à la valeur des dommages sur la structure. Cela s'explique par le type d'entreprises présentes sur la zone de Jarry qui comprennent de vastes espaces de stockage en biens et en équipements dont la valeur est plus élevée que la valeur des bâtiments dans lesquels ils sont stockés.

À horizon 2050, les coûts directs moyens sont estimés à 23,6 M€, avec une répartition par postes similaire à celle du scénario actuel. Cela représente 121 k€ par établissement et 10 k€ par salarié en moyenne. Ainsi, le changement climatique augmente de 16 % les coûts directs de la submersion marine sur les activités économiques. Cette augmentation est répartie de façon relativement homogène entre les postes, bien que les dommages aux stocks augmentent davantage que les dommages aux équipements et à la structure. Les dommages par établissement et par salarié restent quant à eux relativement stables entre les scénarios.

	Scénario actuel	Scénario 2050	Variation entre scénarios
Dommages aux équipements	5 659 k€	6 514 k€	+15%
Dommages aux stocks	10 112 k€	12 148 k€	+20%
Dommages à la structure	4 505 k€	4 955 k€	+10%
Total	20 276 k€	23 617 k€	+16%

	Scénario actuel	Scénario 2050	Variation entre scénarios
Dommages par établissement	119 k€	121 k€	2%
Dommages par salarié	10 k€	10 k€	3%

Figure 44. Coûts directs des risques côtiers sur les activités économiques de la zone industrielle de Jarry (tableau)

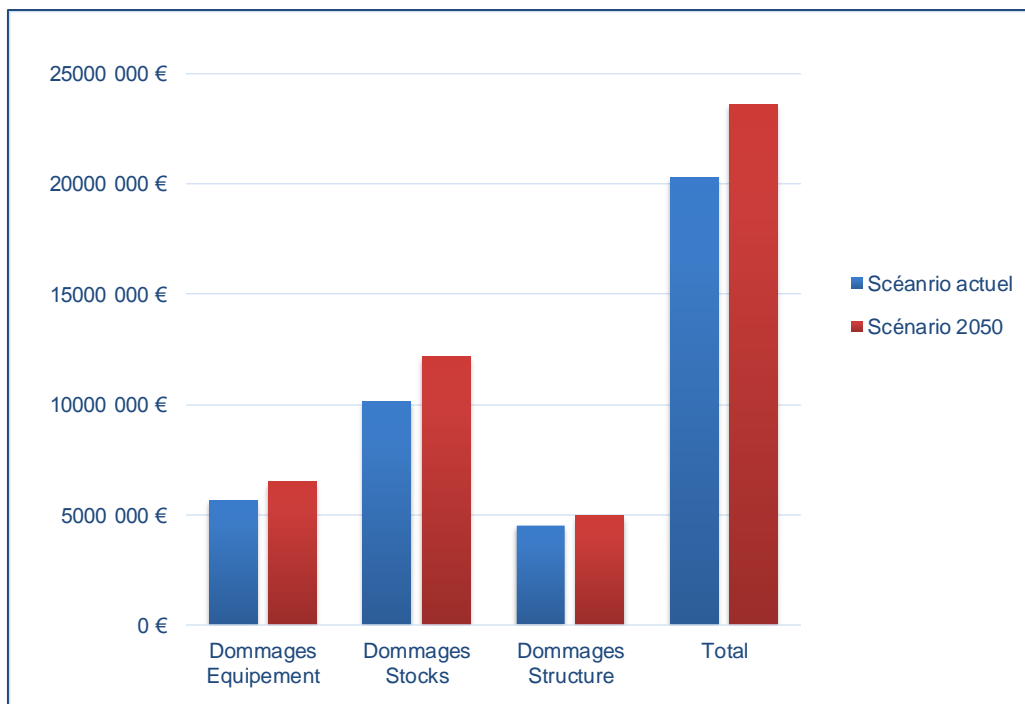


Figure 45. Coûts directs des risques côtiers sur les activités économiques de la zone industrielle de Jarry (graphique)

La répartition des dommages liés aux pertes d'équipements et de stocks par secteur d'activité confirme la forte exposition des entreprises du secteur du commerce qui contribuent à plus de 66% de la valeur des dommages physiques aux stocks et équipements. À horizon 2050, les 90 entreprises des secteurs du commerce et de la réparation de véhicules dont les locaux seraient submergés subiraient ainsi des pertes estimées à 12,6M€ pour les seuls dommages sur leurs stocks et équipements.

Secteurs d'activités	Scénario actuel		Scénario 2050	
COMMERCE; RÉPARATION D'AUTOMOBILES ET DE MOTOCYCLES	10 429	66%	12 628	68%
TRANSPORTS ET ENTREPOSAGE	2 708	17%	2 827	15%
INDUSTRIE MANUFACTURIÈRE	1 013	6%	1 031	6%
ACTIVITÉS DE SERVICES ADMINISTRATIFS ET DE SOUTIEN	730	5%	912	5%
PROD. ET DISTRI. D'EAU ; ASSAIN., GESTION DES DÉCHETS	362	2%	541	3%
INDUSTRIES EXTRACTIVES	166	1%	332	2%
HÉBERGEMENT ET RESTAURATION	120	1%	124	1%
CONSTRUCTION	82	1%	84	0%
ACTIVITÉS IMMOBILIÈRES	70	0%	73	0%
SANTÉ HUMAINE ET ACTION SOCIALE	41	0%	58	0%
ADMINISTRATION PUBLIQUE	26	0%	26	0%
AUTRES ACTIVITÉS DE SERVICES	23	0%	24	0%

Secteurs d'activités	Scénario actuel		Scénario 2050	
	Coût (k€)	Impact (%)	Coût (k€)	Impact (%)
ACTIVITÉS SPÉCIALISÉES, SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES	0,8	0%	1,0	0%
ARTS, SPECTACLES ET ACTIVITÉS RÉCRÉATIVES	0,4	0%	0,8	0%
ENSEIGNEMENT	-	0%	0,0	0%
INFORMATION ET COMMUNICATION	0,2	0%	0,2	0%
Coût total (€)	15 771	1	18 662	1

Figure 46. Répartition des dommages liées aux équipements et aux stocks, par secteur d'activité (en k€)

À titre de comparaison, les dommages physiques ont également été estimés à l'aide des fonctions d'endommagement construites par le *Joint Research Center (JRC)* pour l'île de Saint-Martin. Les résultats obtenus sont du même ordre de grandeur.

Coûts directs sur les réseaux routiers

Les coûts directs moyens de la submersion marine sur les réseaux routiers sont estimés à 424 k€ dans les deux scénarios.

Le surcoût du scénario 2050 est négligeable bien que d'un point de vue fonctionnel, les quelques dizaines de mètres de voie verte inondés à horizon 2050 constituent une rupture majeure en terme d'accessibilité au site.

Synthèse

Les dommages physiques causés par les aléas littoraux sur la zone industrielle de Jarry s'élèvent à 20,7 M€ dans le scénario actuel, contre 24 M€ dans le scénario 2050. Cela représente une densité de dommages à l'hectare de surface inondée située entre 251 et 261 k€/ha. Cet indicateur est plus faible à horizon 2050 que dans le scénario actuel car la densité d'établissements est plus faible sur le surplus de surface inondée à horizon 2050 que sur l'ensemble de la zone inondée dans le scénario actuel.

La densité de dommages à l'hectare d'emprise au sol des bâtiments inondés s'élève quant à elle à environ 2 M€/ha.

	Scénario actuel	Scénario 2050	Variation entre scénarios
Surface urbanisée inondée (ha)	79,2	95,9	+21,1%
Dommages directs totaux (k€)	20 700	24 041	+16,1%
Densité de dommages (k€/ha) sur la surface inondée	261	251	-4,1%
Densité de dommages (k€/ha) sur l'emprise au sol des bâtiments inondés	1 927	1 983	+2,9%

Figure 47. Synthèse des coûts directs sur la zone industrielle de Jarry

6.2. ETUDE DE CAS N°2 : LE CENTRE DE POINTE-À-PITRE

6.2.1. Présentation du site d'étude

Le site d'étude de Pointe à Pitre comprend plusieurs quartiers :

- La Gabarre est située à l'extrême nord-ouest de la commune de Pointe-à-Pitre. Il s'agit d'un ancien quartier de pêcheurs composé majoritairement de zones résidentielles d'habitat individuel.
- À vocation résidentielle et commerciale, le quartier de Lauricisque est constitué essentiellement d'habitats collectifs et de logements sociaux construits dans les années 70, et pour partie en cours de rénovation. Classés en zone urbaine sensible, les bâtiments se caractérisent par une forte obsolescence et un taux de vacance élevé.
- La Cité Bergevin comprend de grands ensembles de logements sociaux en habitat collectif ainsi qu'une zone d'activité.
- Le centre-ville ancien constitue une zone d'habitat très dense et disparate (individuel et petit collectif, présence de cases traditionnelles) dotée de nombreux commerces de proximité (marchés, commerces d'alimentation, restaurants, services), d'établissements publics et de quelques bâtiments culturels. Ce type de tissu socio-économique est relativement similaire à celui présent dans les centres bourgs d'autres communes de l'île (Sainte-Anne, Saint-François, Basse-Terre, Deshaies). Le quartier du centre-ville est délimité au nord par le boulevard Faidherbe et au sud par le bord de mer et le port de Pointe-à-Pitre.



Figure 48. Périmètre de la zone d'étude de Pointe-à-Pitre.

Le bord de mer comprend l'esplanade du port et le boulevard Chanzy qui est aménagé en zone de promenade. Du fait de leurs spécificités, la gare maritime et les parkings associés sont exclus du périmètre d'étude.

Le site se compose ainsi d'une diversité d'enjeux (logements, activités économiques, infrastructures de tourisme, patrimoine culturel) dont l'évaluation par type d'enjeux contribuera à l'extrapolation des résultats sur l'ensemble du littoral.

6.2.2. Caractérisation fine des aléas à horizon 2050

Recul du trait de côte

La côte de Pointe-à-Pitre est peu exposée à l'érosion du trait de côte, compte tenu de sa localisation dans un environnement protégé (Petit Cul-de-Sac marin) et de son artificialisation importante et continue depuis la Gabarre au nord-ouest jusqu'à la marina au sud-est. Dans la zone d'étude de Pointe-à-Pitre, le trait de côte à horizon 2050 est supposé fixe et identique à celui de 2013, le littoral n'étant plus exposé à l'érosion naturelle (Figure 49).



Figure 49. Comparaison des positionnements des trait de côte entre 1950 (vert) et 2013 (jaune) sur le secteur de Pointe à Pitre, sur un fond orthophotographique de 1950 (IGN).

De la mangrove est présente en dehors de notre zone d'étude, au nord de la commune de Pointe-à-Pitre, au niveau de la déchèterie et de l'aéroport (secteur 4 de la

Figure 39). Celle-ci présente un taux de recul entre 1998 et 2013 de -0.20 m/an, soit environ - 7 m à l'horizon 2050 par rapport au trait de côte de 2013. Si l'on prend en compte un recul maximal

Lmax de 5m résultant d'un phénomène extrême, le trait de côte reculerait de 12 m dans le secteur 4.

Submersion marine

Les Figure 52 et Figure 53 présentent les résultats de la submersion marine respectivement pour le scénario actuel et pour le scénario à horizon 2050. Les surfaces urbanisées inondées passent ainsi de 42 ha à 48 ha avec le changement climatique. La principale différence entre les deux scénarios porte sur l'extrême nord-ouest du centre-ville qui serait fortement inondé à horizon 2050 alors qu'il ne serait pas affecté par l'évènement de référence dans le scénario actuel.

6.2.3. Caractérisation des impacts physiques

Impacts sur les logements

Du fait de la forte densité de bâtiments d'habitation collectifs comportant plusieurs étages dans la zone d'étude, le nombre de logement situés en zone inondée diffère du nombre de logement effectivement inondés. Parmi les logements situés en zone inondée (estimation cf. 3.2.1.), seuls les logements en rez-de-chaussée sont physiquement endommagés par la submersion. Les ménages habitant dans les logements situés dans les étages ne sont impactés que de façon indirecte, du fait des effets cascades et de la gêne occasionnée par la submersion.

À horizon 2050, 173 logements seraient directement inondés tandis que la submersion affecterait indirectement 1 129 logements, soit une augmentation respective de 20% et 16% par rapport au scénario actuel.

Enjeux inondés	Scénario actuel	Scénario 2050	Variation entre scénarios
Nombres de logements inondés	144	173	+20%
Nombre de logements situés en zone inondée	973	1129	+16%

Figure 50. Nombre de logement inondés dans le centre de Pointe-à-Pitre, par scénario

Impacts sur les activités économiques

Les Figure 51 et Figure 56 présentent les activités économiques impactées par la submersion marine dans chaque scénario.

Enjeux inondés	Scénario actuel	Scénario 2050	Variation entre scénarios
Établissements inondés (entreprises et établissements publics)	89	121	+ 36 %
Effectif salarié	665	766	+ 15%

Figure 51. Nombre d'enjeux en lien avec les activités économiques inondés dans le centre de Pointe-à-Pitre, par scénario

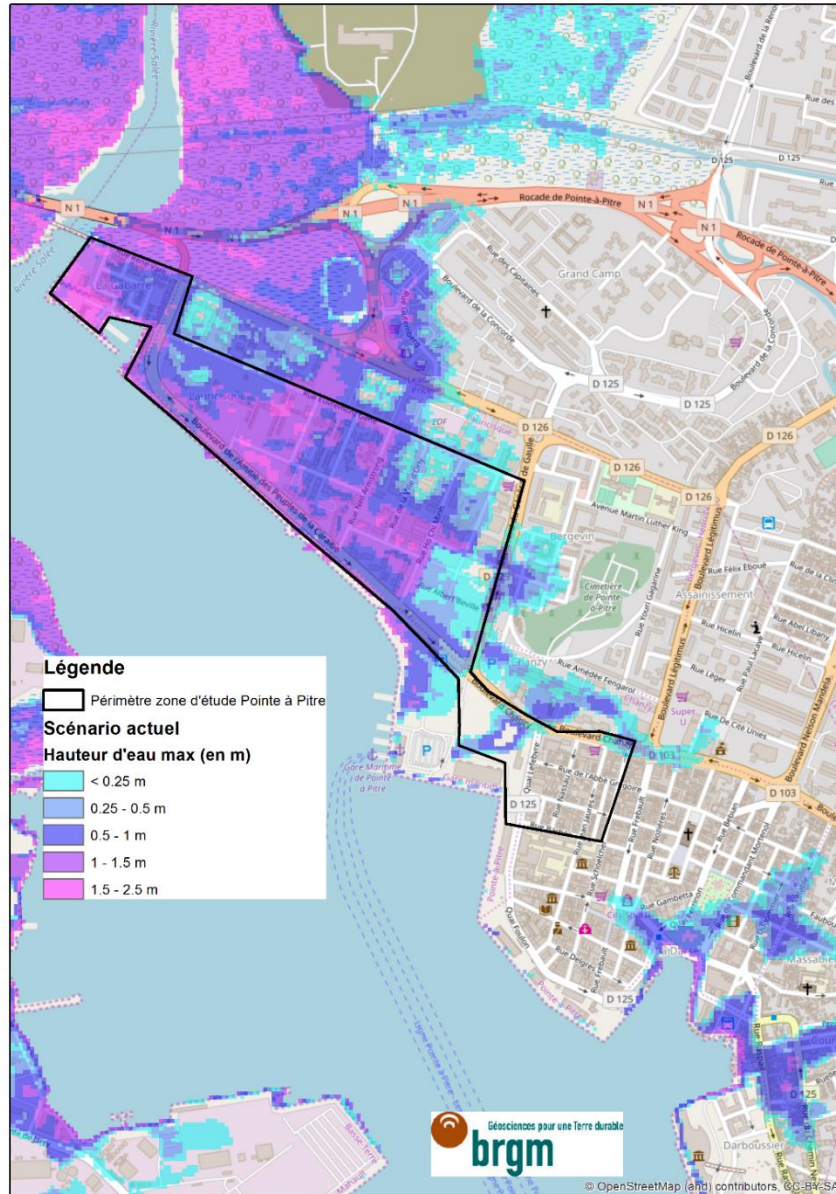


Figure 52. Submersion marine sur la zone d'étude de Pointe à Pitre pour le scénario actuel.

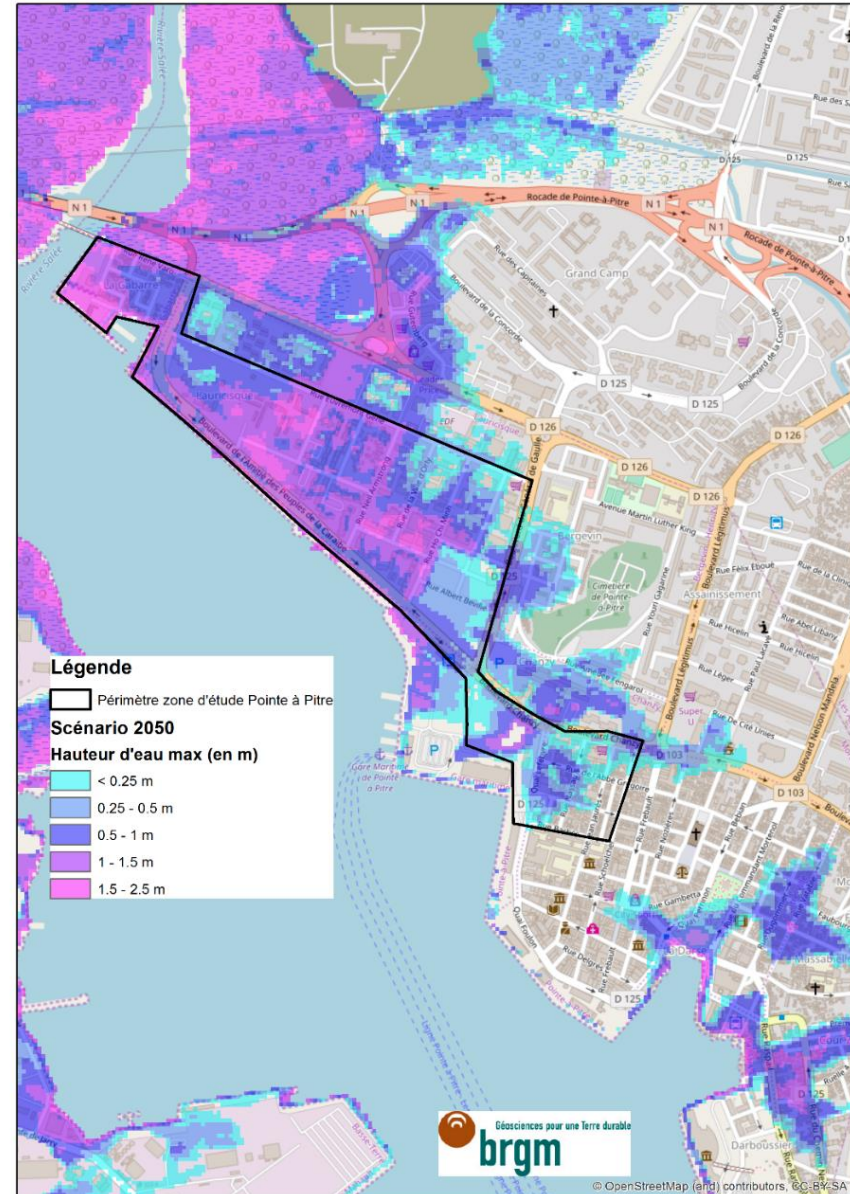


Figure 53. Submersion marine sur la zone d'étude de Pointe à Pitre pour le scénario à horizon 2050

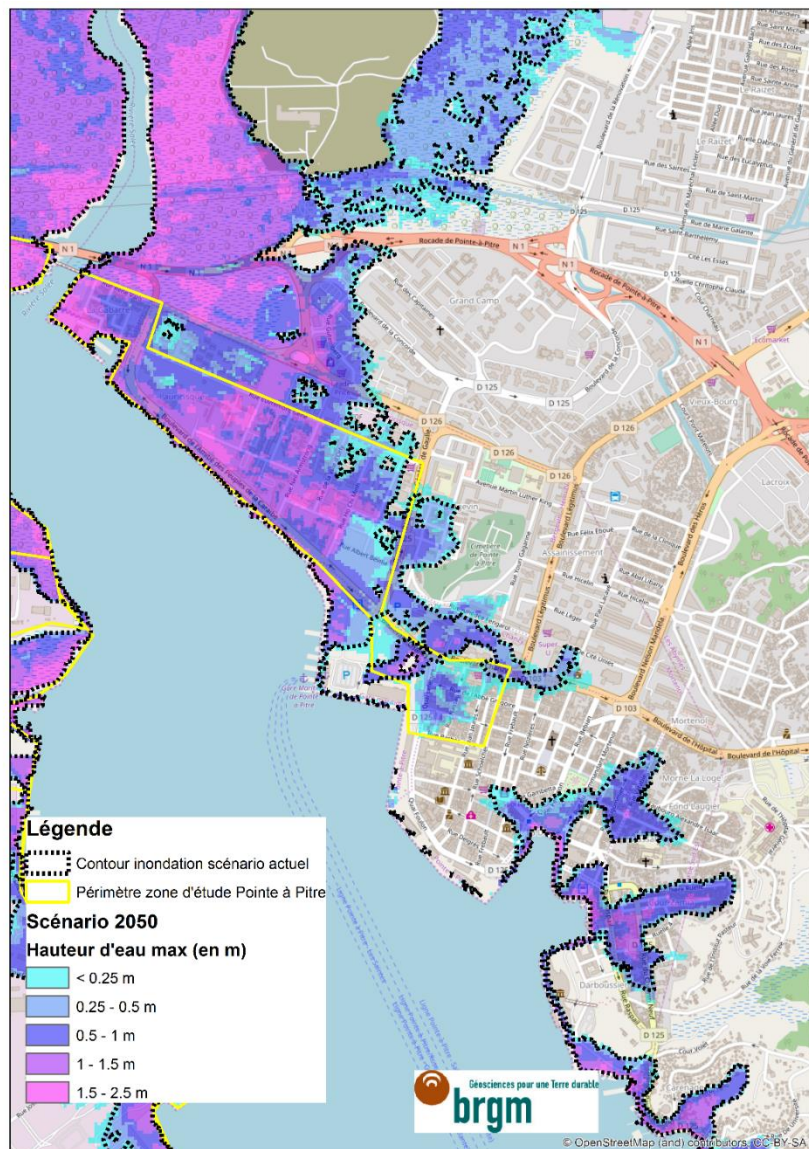


Figure 54. Hauteur d'eau maximale pour le scénario 2050 et comparaison avec le contour de la submersion dans le scénario actuel sur la zone d'étude du centre de Pointe-à-Pitre.

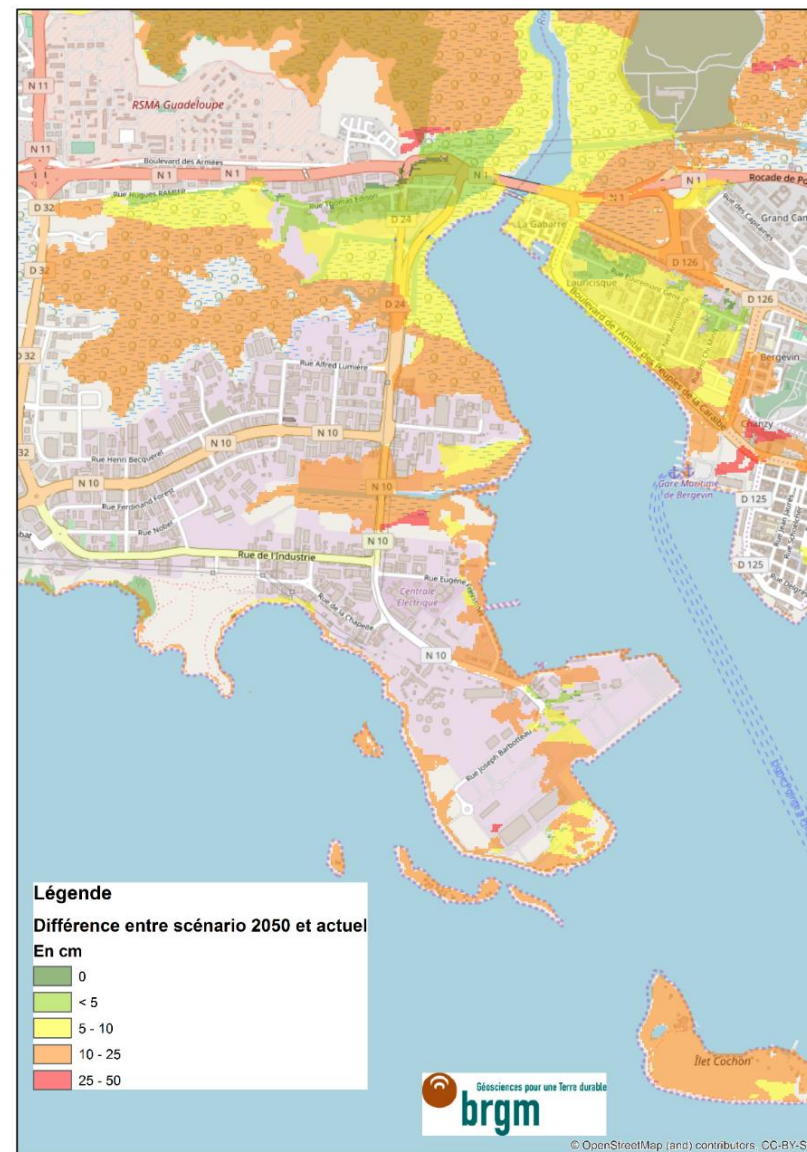


Figure 55. Différentiel de hauteur d'eau entre les deux scénarios sur la zone d'étude du centre de Pointe-à-Pitre.

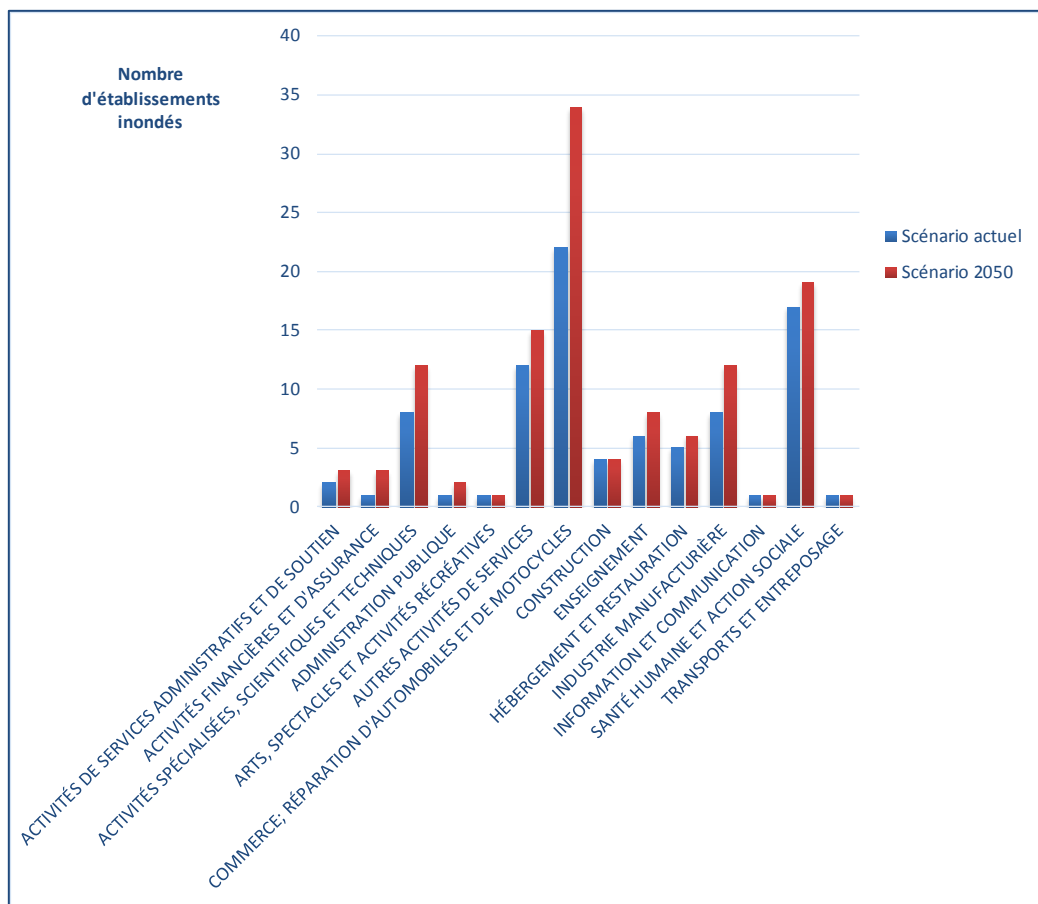


Figure 56. Répartition du nombre d'établissements inondés dans le centre de Pointe-à-Pitre, par secteur d'activité.

À horizon 2050, les effets du changement climatique induisent une augmentation de 36% du nombre d'établissements impactés par les risques côtiers, et une augmentation de 15 % de l'effectif salarié. Ce différentiel s'explique par la structure du tissu économique du nord du centre-ville (principale zone nouvellement submergée à horizon 2050) qui comprend de petits établissements dont le nombre moyen de salariés est deux fois moins élevé que le nombre de salariés des établissements situés dans le reste de la zone inondée. Le commerce, essentiellement le commerce de détail, et les établissements de santé, notamment les centres médicaux, sont les secteurs les plus impactés en nombre d'établissement dans les deux scénarios.

Parmi les établissements publics situés en zone inondée figurent une école primaire et un collège.

Impacts sur les véhicules personnels

Le nombre de véhicules personnels situés en zone inondée est estimé à 608 dans le scénario actuel et 705 dans le scénario 2050. Cette estimation ne tient pas compte des voitures de passage. Seule les véhicules dont la hauteur d'eau est supérieure à l'assise du véhicule sont supposés endommagés. Le nombre de véhicules endommagés est ainsi estimé à 494 véhicules dans le scénario 2050, soit une augmentation de 55% par rapport au scénario actuel.

Enjeux inondés	Scénario actuel	Scénario 2050	Variation entre scénarios
Véhicules en zone inondée	608	705	+16%
Véhicules endommagés	319	494	+55%

Figure 57. Nombre de véhicules personnels inondés dans le centre de Pointe-à-Pitre

Ce résultat doit toutefois être interprété avec prudence, le nombre de véhicules endommagés étant probablement surévalué. En effet, la méthode d'estimation consiste à appliquer uniformément le ratio de l'ensemble de la surface inondée de la zone d'étude dont la hauteur d'eau est supérieure à 50 cm (hauteur moyenne de l'assise des véhicules) au nombre de véhicules situés en zone inondée. Une alternative plus fine consisterait à utiliser le ratio de surfaces de stationnement inondées et de tenir compte du moment de la journée, de l'efficacité du système d'alerte, des possibilités d'évacuation, etc. Cela permettrait d'exclure les zones dont la hauteur d'eau dépasse 50 cm (bord de mer notamment) qui ne constituent pas des zones de stationnement pour les véhicules.

Impacts sur les réseaux routiers

Les surfaces de voiries inondées sont estimées à 114 000 m² dans le scénario actuel, contre 128 000 m² dans le scénario 2050.

6.2.4. Estimation des coûts directs

Coûts directs sur les logements

Les dommages physiques aux logements s'élèvent en moyenne à 4,1 M€ dans le scénario actuel et 4,8 M€ dans le scénario 2050. Les résultats varient toutefois selon les méthodes utilisées. La méthode du JRC aboutit à des dommages plus élevés que la méthode du CEPRI. Ceci s'explique par les fonctions de dommages utilisées par le JRC dont les pertes sont très élevées pour les faibles hauteurs d'eau.

Les dommages moyens par logement sont compris entre 29 k€ dans le scénario actuel et 28 k€ à horizon 2050.

Le changement climatique génère un surcoût de 16% à horizon 2050.

Logements inondés	Scénario actuel	Scénario 2050	Variation entre scénarios
Méthode CEPRI	2 718 k€	3 415 k€	+26%
Méthode JRC	5 534 k€	6 168 k€	+11%
Moyenne des deux méthodes	4 126 k€	4 792 k€	+16%
Dommages par logement	29 k€	28 k€	-3%

Figure 58. Coûts directs des risques côtiers sur les logements du centre de Pointe-à-Pitre, par méthode d'estimation

Coûts directs sur les activités économiques

Les dommages sur les activités commerciales et les établissements sont estimés à 13,9 M€ dans le scénario actuel et 16,2 M€ à horizon 2050, soit un surcoût de 16% lié à

l'élévation du niveau de la mer. Les pertes de stocks et d'équipements contribuent respectivement à 20% et 33% des coûts, contre 47% pour les destructions physiques sur les bâtiments. Contrairement aux résultats obtenus sur la zone industrielle de Jarry, les stocks contribuent ici relativement peu aux coûts directs sur les activités économiques car la surface des locaux des entreprises, notamment les commerces de proximité, est nettement plus faible à Pointe-à-Pitre. Leur capacité de stockage en biens et équipements est donc réduite. Ceci explique également que les dommages par établissement et par salarié soient inférieurs à Pointe-à-Pitre (autour de 140 k€ par établissement, contre plus de 170 k€ par établissement à Jarry).

À contrario, de nombreux établissements exerçant dans le secteur des services et de la finance sont situés dans la zone inondée. C'est notamment le cas de la Poste centrale de Bergevin dont la valeur des équipements est considérable (camions, machines, etc.). La Poste de Bergevin est ainsi le plus grand établissement (en nombre de salariés) exposé à la submersion marine dans le secteur d'étude. Les dommages associés aux équipements étant estimés en fonction de l'effectif salarié, la Poste contribue à près de 30% du total des dommages aux équipements de la zone.

	Scénario actuel	Scénario 2050	Variation entre scénarios
Dommages aux équipement	4 704 k€	5 368 k€	+20.5%
Dommages aux stocks	2 665 k€	3 212 k€	+14.1%
Dommages à la structure	6 525 k€	7 604 k€	+16.5%
Total	13 894 k€	16 183 k€	+16%
Dommages par établissement	156 k€	134 k€	-14%
Dommages par salarié	21 k€	21 k€	+1%

Figure 59. Coûts directs des risques côtiers sur les activités économiques de la zone industrielle de Jarry (tableau)

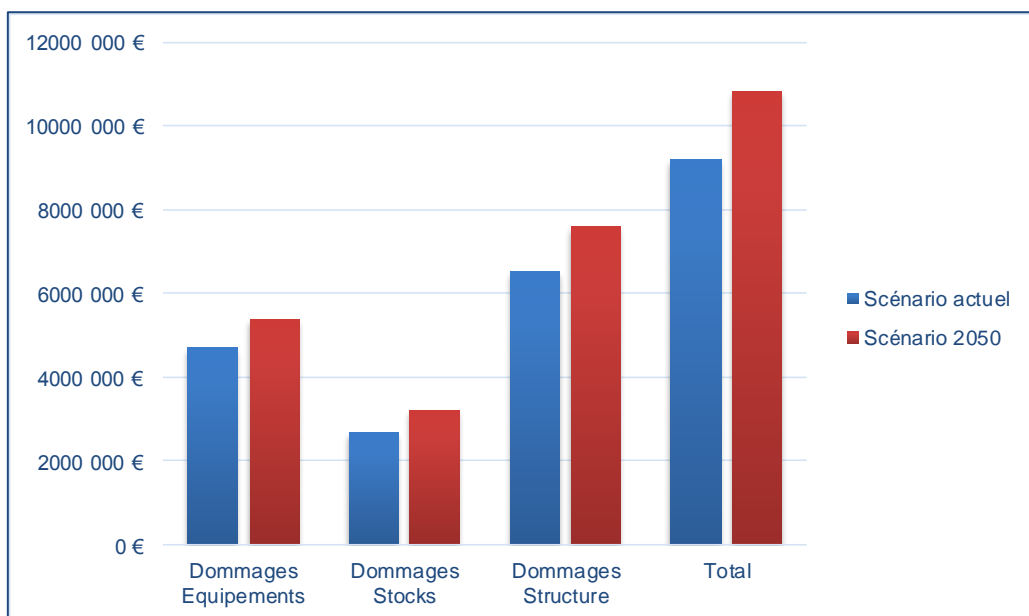


Figure 60. Coûts directs des risques côtiers sur les activités économiques de la zone industrielle de Jarry (graphique)

Coûts directs sur les réseaux routiers

Les coûts directs liés à l'endommagement des voiries sont estimés à 695 k€ pour le scénario actuel et 806 k€ pour le scénario 2050.

Coûts directs sur les véhicules personnels

Les coûts directs liés à l'endommagement des véhicules personnels sont estimés à 2,7 M€ dans le scénario actuel et 4,2 M€ à horizon 2050.

Synthèse

Le coût direct des risques côtiers dans le centre de Pointe-à-Pitre est compris entre 21,4 M€ dans le scénario actuel et 26 M€ dans le scénario 2050. Cela représente une densité de dommages à l'hectare situées entre 514 k€ et 544 k€, selon les scénarios.

	Scénario actuel		Scénario 2050		Variation entre scénarios
Dommages aux logements	4 126	19%	4 792	18%	+16%
Dommages aux activités économiques	13 894	65%	16 183	62%	+16%
Dommages aux véhicules personnels	2 695	13%	4 170	16%	+55%
Dommages à la voirie	695	3%	806	3%	+16%
Dommages directs totaux (k€)	21 411	100%	25 951	100%	+21%
Surface urbanisée inondée (ha)	41,7		47,7		14%
Densité de dommages (k€/ha)	514		544		6%

Figure 61. Synthèse des coûts directs dans le centre de Pointe-à-Pitre (tableau)

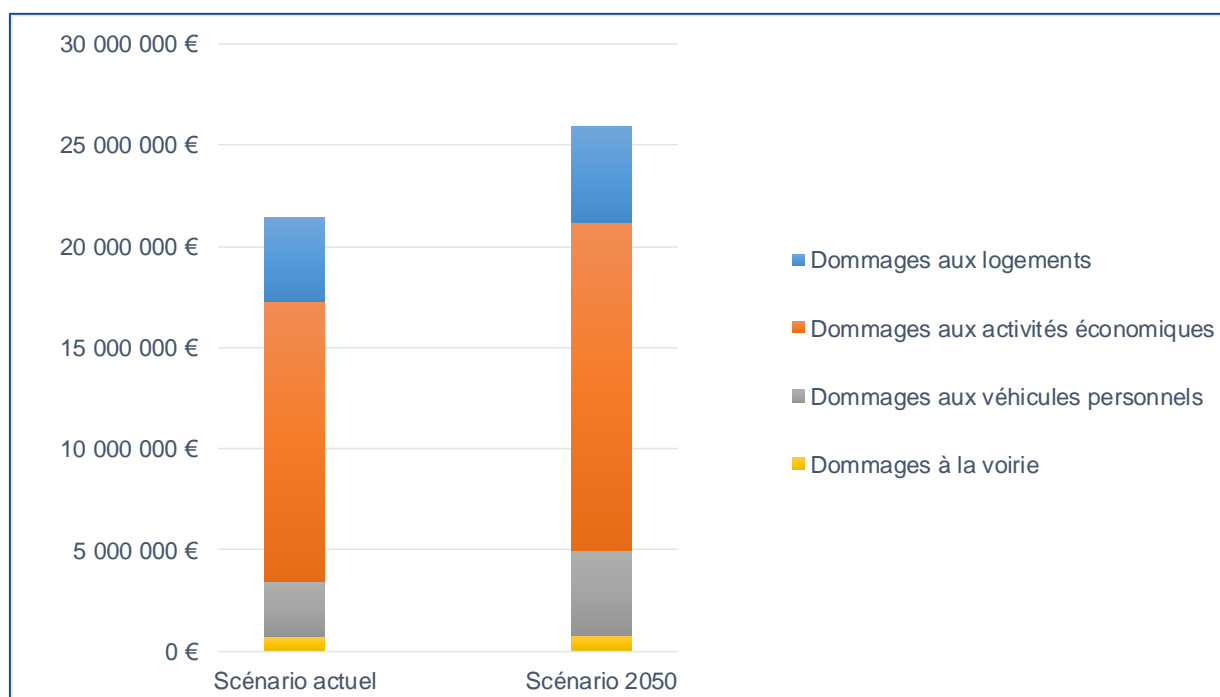


Figure 62. Synthèse des coûts directs dans le centre de Pointe-à-Pitre (graphique)

Les dommages à l'hectare sont largement supérieurs aux dommages estimés sur la zone industrielle de Jarry car la densité d'enjeux exposés est plus importante. A Jarry, la zone urbanisée inondée comprend des friches, des quais ou encore des parkings au sein desquels aucun enjeu n'est recensé. À Pointe-à-Pitre, l'occupation du sol se caractérise à la fois par une diversité et une forte densité d'enjeux. De plus, les surfaces des logements et des établissements économiques étant relativement plus faibles, une plus grande part d'entre eux est intégralement inondée à Pointe-à-Pitre qu'à Jarry. Le coefficient *PI* attribué à chaque enjeu impacté est donc plus élevé à Pointe-à-Pitre.

Enfin, le changement climatique génère une augmentation des coûts directs proche de 16%. Les dommages aux véhicules génèrent à eux seuls une augmentation de 55% mais cette valeur est vraisemblablement surévaluée du fait des incertitudes liées à la méthode d'estimation.

7. Conclusion

Ce rapport présente les résultats de la première année de l'étude portant sur l'évaluation économique des impacts des risques côtiers en lien avec le changement climatique sur le littoral de la Guadeloupe. Cette première année a essentiellement été consacrée à la sélection de trois études de cas et au développement d'une méthode d'évaluation des dommages physiques de la submersion marine adaptée aux spécificités locales d'un département d'outre-mer.

Le travail s'est articulé autour de trois grandes étapes :

- **La sélection des trois études de cas sur lesquelles évaluer les coûts directs et indirects des risques côtiers.** Cette étape a nécessité au préalable de caractériser les aléas littoraux ainsi que les enjeux exposés sur l'ensemble des 630 km de côtes de l'archipel. L'enjeu était de sélectionner un faible nombre d'études de cas sur lesquelles pourraient être évaluée une grande diversité d'impacts générés par les aléas littoraux de façon à collecter suffisamment d'éléments d'analyse pour extrapoler les résultats à l'ensemble du littoral, compte tenu des caractéristiques géomorphologiques et socioéconomiques des territoires côtiers de Guadeloupe. Trois sites d'étude ont ainsi été sélectionnés :
 - La *zone industrielle de Jarry*, dont le choix se justifie par sa singularité, son poids dans l'économie de l'archipel et sa forte exposition à la submersion marine ;
 - Le *centre de Pointe-à-Pitre* qui est fortement exposé au risque de submersion marine, et dont la nature des enjeux est caractéristique des zones urbaines à forte densité de population, composée notamment d'habitats collectifs, de commerces et de patrimoine culturel.
 - Le *bourg de Sainte-Anne* qui est exposé à la fois à la submersion marine et au recul du trait de côte, dont l'occupation du sol se caractérise par une mixité d'usages et dont l'économie dépend fortement du tourisme.
- **Le développement d'une méthodologie permettant de caractériser l'évolution des aléas littoraux à horizon 2050 et d'évaluer les dommages physiques associés.** Cette méthode comprend :
 - La caractérisation de deux aléas : la submersion marine et le recul du trait de côte. À horizon 2050, le changement climatique est pris en compte à travers l'élévation du niveau de la mer qui impacte chacun des aléas et dont la valeur est estimée en Guadeloupe, pour un scénario tendanciel d'émissions de gaz à effet de serre, à +0.26m par rapport à un niveau de référence correspondant au niveau marin global moyen sur la période 1986-2005. Pour chaque aléa, deux scénarios ont ainsi été construits :
 - Le *scénario actuel* qui correspond à l'occurrence de l'évènement de référence en 2015 ;
 - Le *scénario 2050* qui correspond à l'occurrence de l'évènement de référence, compte tenu de l'élévation du niveau de la mer à horizon 2050.
 - L'évaluation des coûts directs résultant des impacts physiques de la submersion marine, les deux premiers sites d'études n'étant pas impactés par le recul du trait

de côte. La méthode développée permet d'évaluer, à l'aide de fonctions de dommages, les impacts physiques sur quatre catégories d'enjeux : les logements, les activités économiques (entreprises et établissements publics), les routes et les véhicules personnels. Son principal intérêt repose sur la possibilité d'exploiter conjointement des fonctions d'endommagement faisant référence au sein de la communauté scientifique et un ensemble de données socio-économiques désagrégées par secteur d'activité et spécifiques à la Guadeloupe.

- **L'application de cette méthode d'évaluation économique à deux premiers sites d'études.** Pour chaque scénario, les éléments suivant ont été caractérisés puis évalués :
 - o L'emprise géographique de la submersion marine et de l'érosion côtière ;
 - o Le nombre et la nature des enjeux situés en zone inondable ;
 - o Le coût économique direct des dommages générés par les aléas côtiers sur les quatre catégories d'enjeux étudiées.

Les résultats offrent un éclairage sur la façon dont les coûts sont répartis géographiquement et par nature d'enjeux sur le territoire.

Sur la zone industrielle de Jarry, le coût direct des risques côtiers est estimé à 21M€ dans le scénario actuel, contre 24 M€ à horizon 2050. L'essentiel des dommages correspond aux pertes de stocks et d'équipements des entreprises des secteurs du commerce, de la réparation de véhicules et de l'industrie manufacturière. La valeur des dommages sur le contenu des bâtiments et les outils de production est ainsi supérieure à la valeur des dommages sur la structure des bâtiments. Les entreprises présentes sur la zone de Jarry ont en effet la particularité de posséder de vastes espaces de stockage en biens et en équipements dont la valeur est plus élevée que la valeur des bâtiments dans lesquels ils sont stockés. En moyenne, les dommages physiques s'élèvent à environ 10 k€/salarié et 120 k€/établissement.

Dans le centre de Pointe-à-Pitre, la densité et la diversité des enjeux exposés à la submersion marine sont plus importantes. Les coûts directs relèvent à la fois de dommages aux ménages (logements et véhicules personnels pour un tiers) et de dommages aux entreprises (stocks, équipements et structure des bâtiments pour les deux tiers restants). Ils sont estimés à plus de 21 M€ dans le scénario actuel, contre 26 M€ à horizon 2050. Contrairement aux résultats obtenus sur la zone industrielle de Jarry, les stocks contribuent ici relativement peu aux coûts directs sur les activités économiques car la surface des locaux des entreprises, notamment les commerces de proximité, est nettement plus faible à Pointe-à-Pitre. Leur capacité de stockage en biens et équipements est donc limitée. Ceci explique également que les dommages moyens par établissement, tous scénarios confondus, soient inférieurs à Pointe-à-Pitre (140 k€/établissement) alors que les dommages par salarié sont supérieurs à ceux de Jarry (21 k€/salarié).

Bien que préliminaires, ces résultats tendent à montrer qu'à horizon 2050, le changement climatique générerait un surcoût compris entre 16 et 21% pour les seuls dommages physiques des risques côtiers. Cet ordre de grandeur est relativement faible et témoigne de l'importance des impacts d'ores et déjà associés au scénario actuel.

Une étude de propagation des incertitudes associées aux principaux paramètres de l'analyse (hauteur d'eau, valeur des biens impactés, ratios de perte, etc.) sera effectuée lors de la phase

d'extrapolation des résultats. Dans cette attente, il est conseillé d'interpréter les résultats produits sur les études de cas de façon relative, en vue de comparer les scénarios qui, en utilisant les mêmes hypothèses de calcul des coûts directs, permettent de mettre en évidence le surcoût provoqué par la surélévation du niveau marin.

Les principales difficultés rencontrées dans le cadre de cette étude ont trait à la disponibilité des données. D'une part, il existe peu d'indicateurs économiques détaillés spécifiques à la Guadeloupe (valeurs des stocks et équipements des entreprises par secteur d'activité, coûts de construction des logements par type, etc.) tandis que l'exploitation de bases de données publiques (ESANE, BD SIRENE) s'avère peu adaptée en outre-mer à un traitement spatial de la donnée à cause du mauvais référencement des adresses postales. D'autre part, il n'existe pas de fonctions de dommages liées à la submersion marine qui tiennent compte à la fois des particularités architecturales et des matériaux utilisés dans la construction en Guadeloupe et du sur-endommagement provoqué par le caractère salin des eaux de submersion. Ceux-ci impliquent pourtant une vulnérabilité spécifique qui doit être prise en compte dans les fonctions d'endommagement.

Durant la rédaction de ce rapport, le groupe de travail national sur l'analyse multicritères des inondations (CEREMA, IRSTEA, CEPRI et Ministère de l'environnement) a publié un guide actualisé visant à mieux couvrir la diversité des situations rencontrées sur les territoires, notamment via la prise en compte des dommages des submersions marines sur les activités économiques et le trafic routier (CGDD, 2018). Si les fonctions de dommages produites dans le cadre de ces travaux sont des fonctions « moyennes nationales » difficilement adaptables à l'échelle locale, la méthode utilisée repose sur la même démarche générale que la méthode adoptée dans la présente étude (pertes de stocks et équipements par salariés, croisement des BD TOPO, SIRENE et ESANE, etc.).

Enfin, la saison cyclonique 2017 dans l'océan Atlantique Nord a été particulièrement active. L'archipel des Petites Antilles a notamment été exposé aux cyclones Irma et Maria qui ont causé d'importants dommages, notamment sur les îles de la Guadeloupe, Saint-Barthélemy et Saint-Martin. Ainsi, les premiers bilans des pertes relatives aux biens assurés font état de dommages considérables²². La prise en compte des dommages non assurés (pertes d'exploitation des TPE et PME, dommages indirects, etc.) pourrait toutefois augmenter le coût social de ces événements météo-marins dont l'intensité (hauteur d'eau, vitesse des vents) tend à s'accroître avec le changement climatique. Les résultats finaux de cette étude permettront de compléter ces évaluations économiques de façon à aider les acteurs et décideurs locaux à mieux anticiper la multitude d'impacts générée par ces phénomènes à l'échelle locale. Les résultats présentés dans ce rapport offrent d'ores et déjà un éclairage quant aux secteurs d'activités les plus enclins à être impactés par les risques côtiers, compte tenu de la localisation géographique des établissements et de la valeur de leurs actifs.

²² La Caisse Centrale de Réassurance estime à près de 1,2 milliards d'euros le coût des dommages assurés de l'ouragan Irma sur les îles de Saint-Martin et Saint-Barthélemy (CCR, 2017).

8. Bibliographie

André, C. (2013). Analyse des dommages liés aux submersions marines et évaluation des coûts induits aux habitations à partir de données d'assurance. Thèse de doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale.

Bertil D. avec la collaboration de M. Bengoubou-Valérius, J. Péricat et S. Auclair (2009) – Scénarios Départementaux de Risque Sismique en Guadeloupe. Rapport BRGM/RP57488-FR. 88 p., 32 fig. 14 tab. 3 annexes

Cazenave A. & Le Cozannet G. (2014). Sea level rise and its coastal impacts. *Earth's Future*, 2, pp.15-34.

CEREMA (2014), Risque de submersion marine et marchés fonciers et immobiliers sur le littoral du Nord-Pas-de-Calais.

CEPRI (2013), Evaluation des dommages liés aux inondations sur les logements.

Christin, N., Peinturier, C., & Mangier, C. (2014). Analyse multicritères des projets de prévention des inondations, guide méthodologique, commissariat général au développement durable, juillet 2014.

Commissariat Général au Développement Durable (2009), Le prix de construction des bâtiments non résidentiels autorisés en 2008, Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer CGDD/SEEIDD/SDIDDDAE convention n° 0910682 du 27 mars 2009.

Commissariat Général au Développement Durable (2018). Analyse multicritère des projets de prévention des inondations. Guide méthodologique 2018.

CCR (2017), Hurricane Irma: CCR estimates at approximately 1.2 billion euros the cost of insured damages for Saint Martin and Saint Barthelemy Islands, Press release, Spet. 9, 2017.

Direction de la Prévention des pollutions et des risques (1997) Plan de Prévention des Risques Littoraux - Guide Méthodologique.

Direction Générale de la Prévention des Risques (2014), Guide méthodologique : Plans de Prévention des Risques Littoraux.

Guillen L., Pallardy M., Legendre Y., De La Torre Y., Loireau C. (2017) – Morphodynamique du littoral Guadeloupéen. Phase 1 : Définition et mise en place d'un réseau d'observation et de suivi du trait de côte. Évaluation historique du trait de côte Guadeloupéen. Rapport Final. BRGM/RP-66653-FR, 109p, 49 ill. 21 ann.

Hasanzadeh Nafari R. , Ngo T., Lehman W., (2016), Development and evaluation of FLFA cs – A new Flood Loss Function for Australian commercial structures, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, ISSN: 2212-4209, Vol: 17.

Huizinga, J., Moel, H. de, Szewczyk, W. (2017). Global flood depth-damage functions. Methodology and the database with guidelines. EUR 28552 EN. doi: 10.2760/16510

IEDOM (2017), Ratios sectoriels en Guadeloupe. FASCICULE DE RÉSULTATS SECTORIELS Méthodologie. <http://www.iedom.fr/guadeloupe/entreprises/ratios-sectoriels/>

INSEE Première (2016), N°1589, Avril 2016. Disponible à l'adresse : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1908163>

IPCC (2014), Small Islands. Nurse, L.A., R.F. McLean, J. Agard, L.P. Briguglio, V. Duvat-Magnan, N. Pelesikoti, E. Tompkins, and A. Webb, 2014: Small islands. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1613-1654.

Jackson L. P. et S. Jevrejeva (2016) – A probabilistic approach to 21st century regional sea-level projections using RCP and High-end scenarios. Global and Planetary Change, Vol 146, Nov 2016, pp 179-189. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.10.006>

Jongman, B., Kreibich, H., Apel, H., Barredo, J. I., Bates, P. D., Feyen, L., Gericke, A., Neal, J., Aerts, J. C. J. H., and Ward, P. J. (2012), Comparative flood damage model assessment: towards a European approach, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 3733-3752, <https://doi.org/10.5194/nhess-12-3733-2012>, 2012.

Kreibich H., Seifert I., Merz B., Annegret H. Thieken (2010) Development of FLEMOcs – a new model for the estimation of flood losses in the commercial sector, Hydrological Sciences Journal, 55:8, 1302-1314, DOI: 10.1080/02626667.2010.529815.

Kreibich, H., Piroth, K., Seifert, I., Maiwald, H., Kunert, U., Schwarz, J., Merz, B., and Thieken, A. H. (2009), Is flow velocity a significant parameter in flood damage modelling?, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 1679–1692, doi:10.5194/nhess-9-1679-2009, 2009.

Le Cozannet, G., Maspataud, A., Desmazes, F. (2017) – Méthodes d'estimation de l'aléa « recul du trait de côte » prenant en compte l'élévation du niveau de la mer. Rapport final. BRGM/RP-67403-FR, 83 p., 32 Illustrations.

Le Cozannet G., et al., (in prep.). Using possibilistic sea level scenarios to assess future nuisance flooding in Guadeloupe

Legendre Y. et Guillen L. (2017) – Caractérisation des impacts liés à la houle sur le littoral guadeloupéen au passage de l'ouragan Maria. Rapport final. BRGM/RP-67519-FR, 187 p., 25 ill., 10 tab., 4 ann.

Nachbaur A., Lecacheux S., Fontaine M., Le Roy M., Garcin M. (2015). Expertise des études d'aléas réalisées pour l'Agence des 50 pas géométriques de Guadeloupe et applicabilité de la loi Letchimy. Rapport final. BRGM/RP- 62204-FR, p 119, 63 illustrations, 1 annexeR. Pedreros, S. Lecacheux, F. Paris, J. Lambert, S. Le Roy, M. Garcin et J.M. Mompelat (2016) – OURAGAN 1928 : Modélisation de la submersion marine que générerait aujourd'hui un ouragan de type 1928 sur le Petit-Cul-de-Sac marin et l'agglomération Pointoise. Rapport final, BRGM/RP-63706-FR, 78 p., 42 ill., 1 ann.

Planton S., Le Cozannet G., Cazenave A., Costa S., Douez O., Gaufrès P., Hissel F., Idier D., Laborie V., Petit V., Sergent P. (2015) - *Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises*, Rapport DGEC sous la direction de Jean Jouzel, Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, Mars 2015 ; <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/154000211.pdf>

Région Guadeloupe (2012), Schéma régional guadeloupéen de développement de l'énergie éolienne. Disponible à l'adresse : http://www.guadeloupe-energie.gp/wp-content/uploads/4181_SRE-final-121008.pdf

Pedrerros R., Lecacheux S., Paris F., Lambert J., Le Roy S., Garcin M. et Mompelat J.M. (2016) – OURAGAN 1928 : Modélisation de la submersion marine que générerait aujourd'hui un ouragan de type 1928 sur le Petit-Cul-de-Sac marin et l'agglomération Pointoise. Rapport final, BRGM/RP-63706-FR, 78 p., 42 ill., 1 ann.

Service de l'Observation et des Statistiques (2012), méthodes d'estimation de population et de logements en zone inondable, Document de travail n°8, Novembre 2012. Disponible à l'adresse : http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Documents_de_travail/2012/Doc-travail-8-zone-inondable.pdf

Seifert, I., Kreibich, H., Merz, B. & Thielen, A. H. (2010) Application and validation of FLEMOcs – a flood-loss estimation model for the commercial sector. *Hydrological Sciences Journal*. **J. 55**(8), 1315–1324.

Sieg, T., K. Vogel, B. Merz, and H. Kreibich (2017), Tree-based flood damage modeling of companies: Damage processes and model performance, *Water Resour. Res.*, 53, 6050–6068, doi:[10.1002/2017WR020784](https://doi.org/10.1002/2017WR020784).

Slangen A., Church J. A., Zhang X., Monselesan D. (2014) - Detection and attribution of global mean thermosteric sea level change. *Geophysical Research Letters*, vol. 41, no 16, p. 5951–5959.

Syndex (2015), Le coût de possession et d'usage d'une automobile, Comparatif entre la Guadeloupe et la Métropole, rapport final.

Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J.L. and Ergul, Ayhan (2009). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278. *current version 4.3

Van der Veen, A. (2004). Disasters and economic damage: Macro, meso and micro approaches. *Disaster Prevention and Management*, 13(4), 274-279. doi:[10.1108/09653560410556483](https://doi.org/10.1108/09653560410556483)

Annexe 1

Liste des IRIS recensées par l'INSEE en Guadeloupe

Commune	Libellé de l'IRIS
Les Abymes	B. Plaine-Pte d'Or-Dothemare-Boisripeaux
Les Abymes	Dothemare-Boisripeaux
Les Abymes	Providence-Salle d'Azile-Bazin-Neree
Les Abymes	Grand Camp Ouest
Les Abymes	Grand Camp Nord
Les Abymes	Grand Camp Sud Est
Les Abymes	Cour Charneau-Raizet (les Esses-Carbet)
Les Abymes	Dom. Pub.-Lac.-Raizet (seuils-Quartiers)
Les Abymes	Morne Vergain-Raizet
Les Abymes	Quatre Chemins-Tamarin-Pointe d'Or Est
Les Abymes	Bazin-Cocoyer-Jaspard
Les Abymes	Sarazin-Papin B.-B. Sol.-Celigny-Bazin
Les Abymes	Caduc-Double-Chazeau-Beausoleil
Les Abymes	Fond Logier-Carenage-Blanchard
Les Abymes	Chauvel-Dugazon
Les Abymes	Boissard-Morne Flory
Les Abymes	Vieux Bourg
Les Abymes	Anquetil-Dugazon
Les Abymes	Petit-Perou
Les Abymes	Besson-Pages-Peinnel
Les Abymes	Besson-Caraque
Les Abymes	Celigny-Bois de Rose-Caraque
Anse-Bertrand	LE BOURG
Anse-Bertrand	PTE GV-PORTLANDS-CAMPECHE-BEAU VOISIN
Baie-Mahault	Calvaire-Bragelogne
Baie-Mahault	Plaisance-Convenance
Baie-Mahault	Wonche
Baie-Mahault	Belcourt-Destrellan
Baie-Mahault	Zone Industrielle de Jarry-La Jaille
Baie-Mahault	Le Bourg-Trioncelle
Baillif	PERES BLANCS
Baillif	LE BOURG
Baillif	SAINT-ROBERT
Basse-Terre	Centre-Bourg
Basse-Terre	Prefecture-Carmel
Basse-Terre	Petit-Paris-Desmarais
Basse-Terre	Mallian-Morne à Vache
Basse-Terre	Bologne-Riviere des Peres
Bouillante	Monchy-Matone-Thomas
Bouillante	Bourg-descoudes-Courbaril
Bouillante	Pigeon-Malendure-Caféière
Capesterre-Belle-Eau	Bananier-Haute Plaine
Capesterre-Belle-Eau	St-Sauveur-l'Habituee
Capesterre-Belle-Eau	Moulin à Eaux-Routhiers-Concession
Capesterre-Belle-Eau	Ste-Marie-Four à Chaux
Capesterre-Belle-Eau	Cambrefort-Moravie
Capesterre-Belle-Eau	Le Bourg
Capesterre-Belle-Eau	Sarlassone-Petit Perou
Capesterre-de-Marie-Galante	Capesterre-de-Marie-Galante (commune non irisée)
Gourbeyre	RIVIERE SENS
Gourbeyre	Blanchet-Le Bourg

Gourbeyre	Champfleury-Palmiste
La Désirade	La Désirade (commune non irisée)
Deshaies	Deshaies (commune non irisée)
Grand-Bourg	Le Bourg
Grand-Bourg	Trois-Ilets-Cadet-Gagneron-Beauregard- Basses
Le Gosier	Marina-Bas du Fort-Grand Baie
Le Gosier	Montauban-Belle Plaine-Perinet
Le Gosier	Le Bourg
Le Gosier	Dampierre-Saline-Pliane-Dunoyer
Le Gosier	Grand Bois-Port Blanc
Le Gosier	Mathurin-Poucet-Blanchard-Labrousse
Le Gosier	Mare Gaillard-Petit Havre
Goyave	LE BOURG
Goyave	SARCELLE-MOREAU-CHRISTOPHE
Lamentin	Le Bourg
Lamentin	Castel-Jaula
Lamentin	Boisbert-Pichon
Lamentin	Grosse Montagne
Lamentin	Pierrette
Morne-à-l'Eau	Vieux Bourg
Morne-à-l'Eau	Perrin Belle Esperance
Morne-à-l'Eau	Bosredon Lebraire Gensolin
Morne-à-l'Eau	Chateau St-Cyr
Morne-à-l'Eau	Lasserre Jabrun Blanchet
Morne-à-l'Eau	Bourg Bonne Terre
Morne-à-l'Eau	Bourg Marieulle
Le Moule	Sainte-Marguerite-La Houssaie
Le Moule	Chateau Gaillard
Le Moule	Baie Cocotier
Le Moule	Darmencourt-Champ Grille 1
Le Moule	Champ Grille 2
Le Moule	Le Bourg
Le Moule	l'Autre Bord-Deprez
Le Moule	Zevallos-Gardel
Petit-Bourg	Duquerry-Grande Savanne
Petit-Bourg	Vernou-Lezarde
Petit-Bourg	Carrere-Montebello
Petit-Bourg	Bel Air-Desrozieres
Petit-Bourg	Bourg
Petit-Bourg	Arnouville-Vince
Petit-Canal	Bourg
Petit-Canal	Balin-Bazin
Petit-Canal	Les Mangles-Gros Cap
Pointe-à-Pitre	Riviere Salee
Pointe-à-Pitre	Lauricisque-Za Bergevin Hochiminh
Pointe-à-Pitre	Henri Iv-Cite Bergevin
Pointe-à-Pitre	Centre Ville
Pointe-à-Pitre	Mairie
Pointe-à-Pitre	Chemin Neuf-Carenage-Darboussier
Pointe-à-Pitre	Morne La Loge-Fond Laugier
Pointe-à-Pitre	Mortenol
Pointe-Noire	Mahault-Acomat
Pointe-Noire	Le Bourg-Les Plaines
Pointe-Noire	Baillargent-Beausoleil

Port-Louis	Bourg
Port-Louis	St-Pierre-Philipsburg-Beauplan-Lalanne
Saint-Claude	Ducharmoy-Monterand
Saint-Claude	Morin-Gallard-Choisy
Saint-Claude	Le Bourg-Matouba
Saint-François	Bourg
Saint-François	Cayenne-Pointe des Chateaux
Saint-François	Bragelogne-Blonval
Saint-François	Pombiray-Dubedou
Saint-Louis	Saint-Louis (commune non irisée)
Sainte-Anne	Bourg
Sainte-Anne	Ffrench-Gissac-Courcelles
Sainte-Anne	Douville-Poirier de Gissac
Sainte-Anne	Riche Plaine-Saint Protais
Sainte-Anne	Les Grands Fonds
Sainte-Anne	Fonds-Thezan-Eucher-Belle Hotesse
Sainte-Rose	Cadet
Sainte-Rose	La Boucan
Sainte-Rose	Morne Rouge
Sainte-Rose	Viard
Sainte-Rose	Le Bourg
Sainte-Rose	Duzer
Terre-de-Bas	Terre-de-Bas (commune non irisée)
Terre-de-Haut	Terre-de-Haut (commune non irisée)
Trois-Rivières	Grande Anse
Trois-Rivières	Bourg-Chemin neuf
Trois-Rivières	La Regrettée-Réduit
Vieux-Fort	Vieux-Fort (commune non irisée)
Vieux-Habitants	Beausoleil-Cousinière
Vieux-Habitants	Le Bourg
Vieux-Habitants	Géry-Marigot

Annexe 2

Cartographies des indicateurs utilisés pour l'analyse typologique des zones exposées aux aléas littoraux

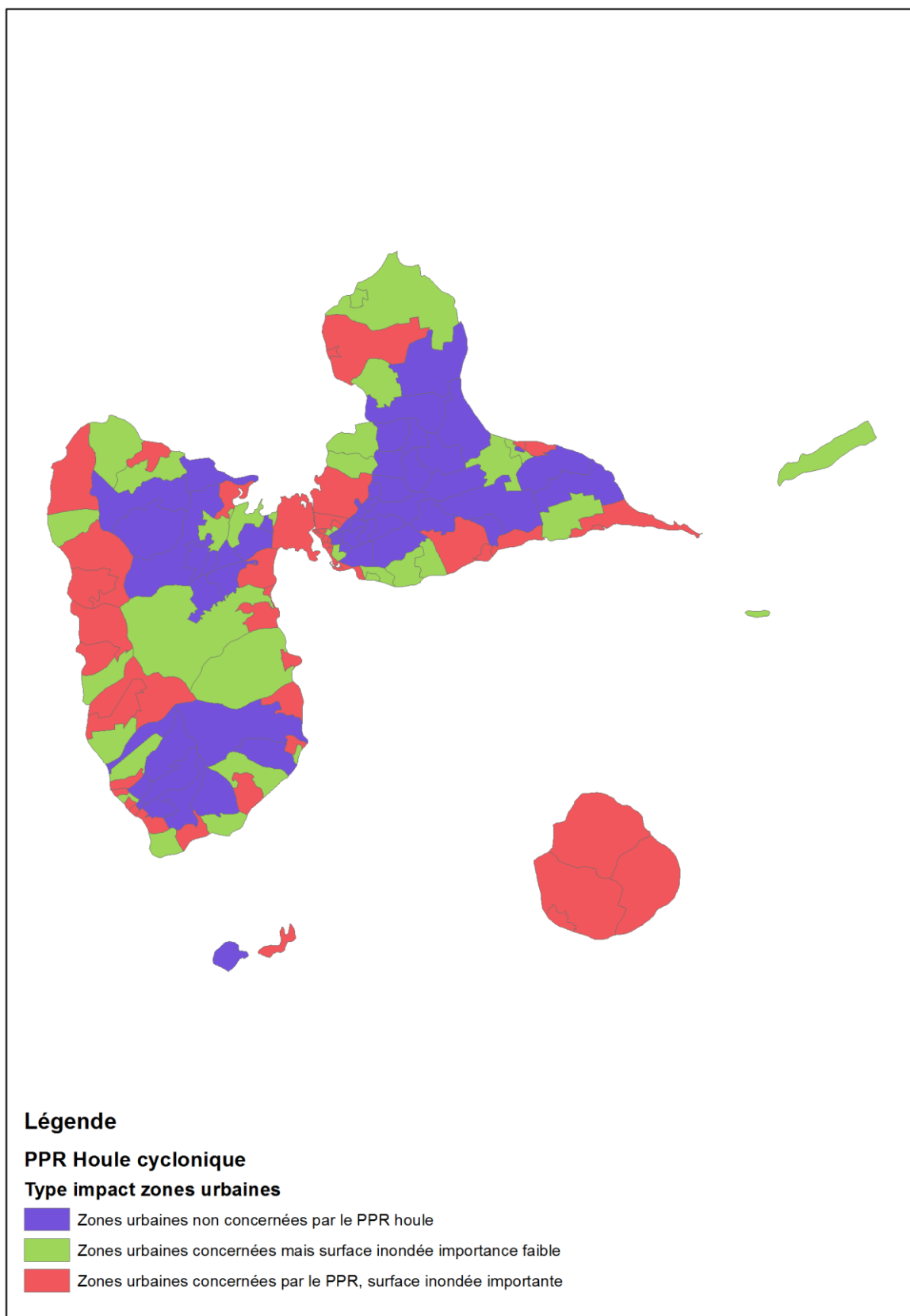


Figure 63. Surfaces inondées dans les zones urbaines par îlots IRIS (PPR houle cyclonique)

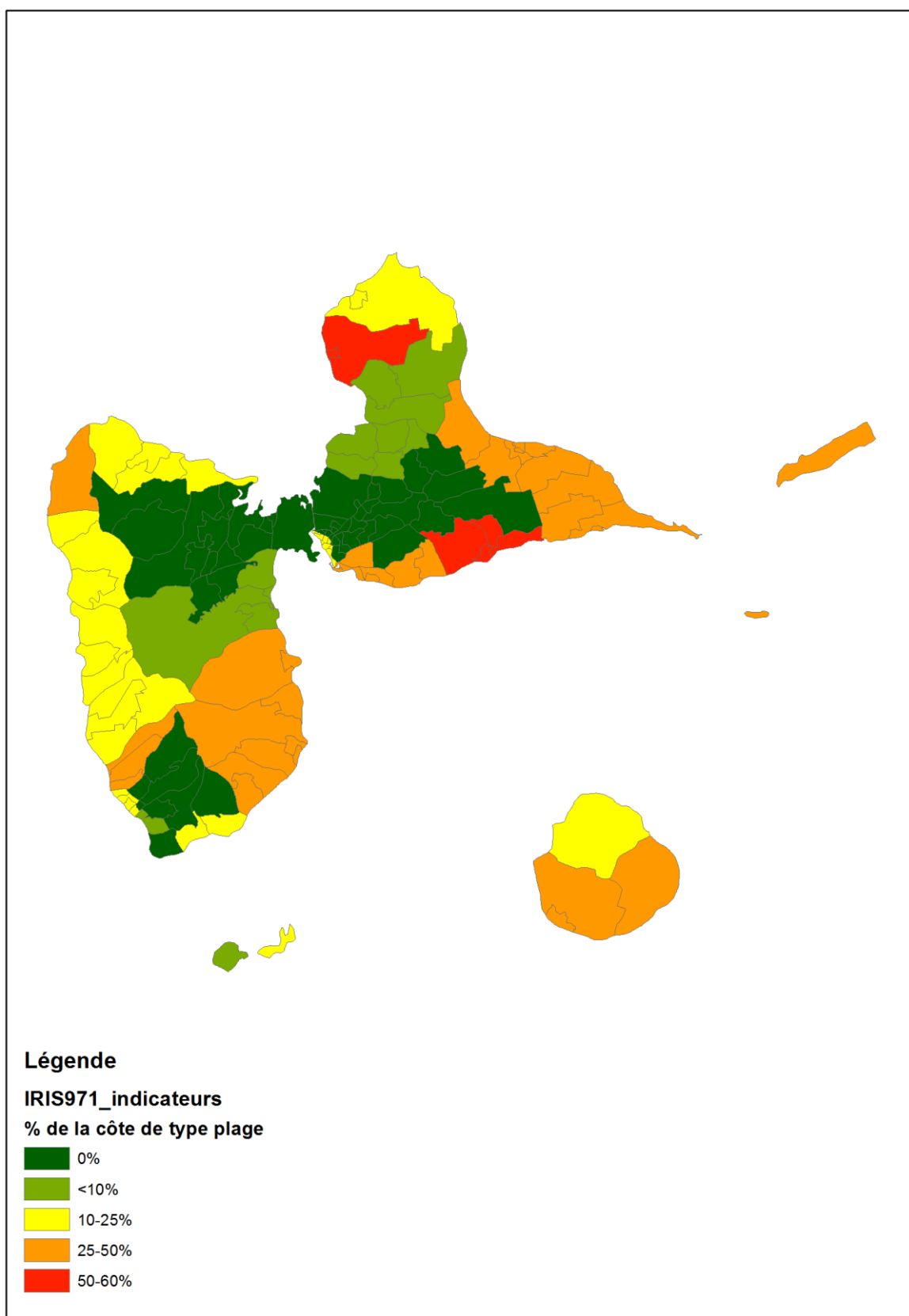


Figure 64. Morphologie du littoral – Part du linéaire de côte de type “plage”, par îlots IRIS

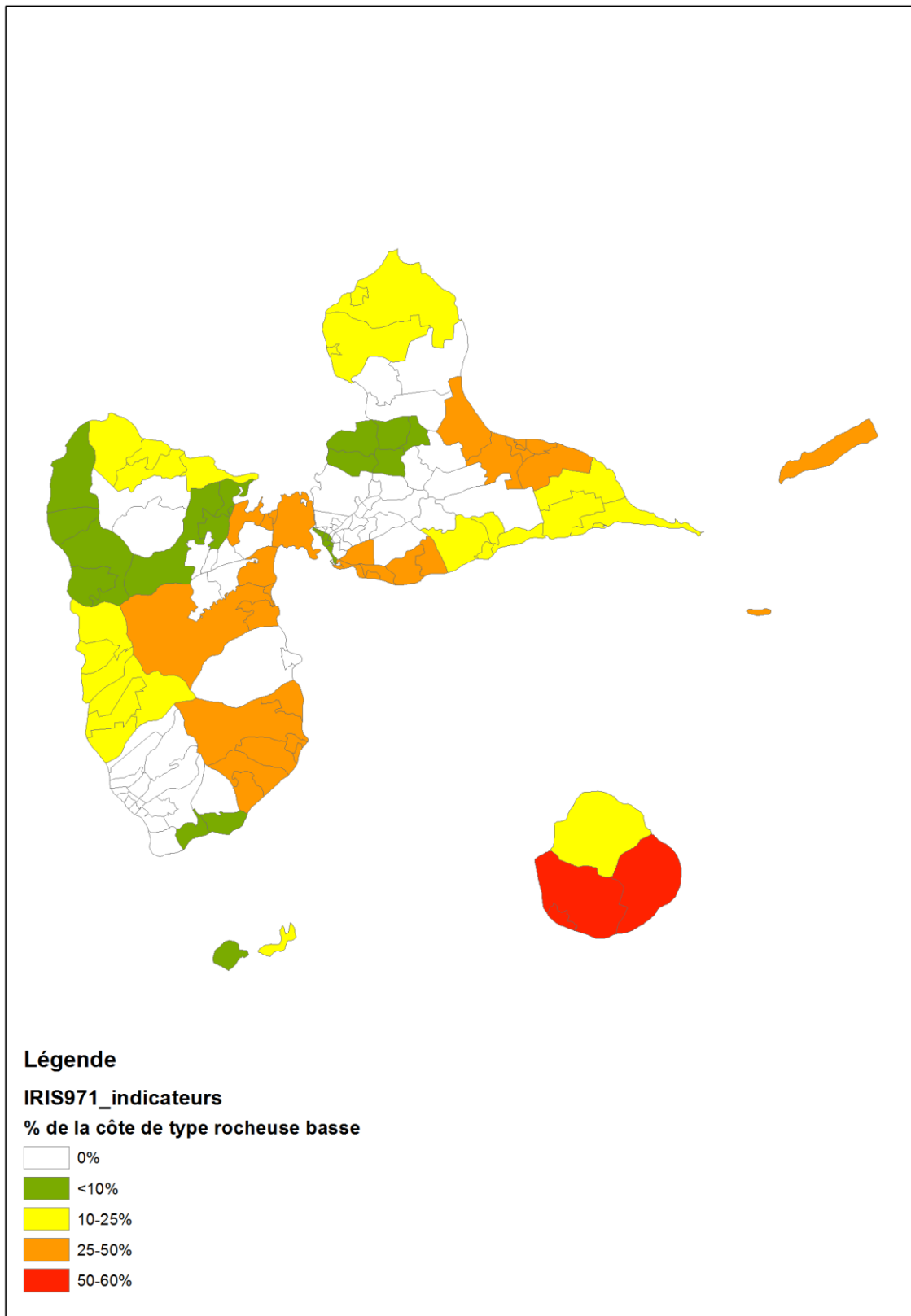


Figure 65. Morphologie du littoral – Part du linéaire de côte de type côte rocheuse de topographie basse, par îlots IRIS

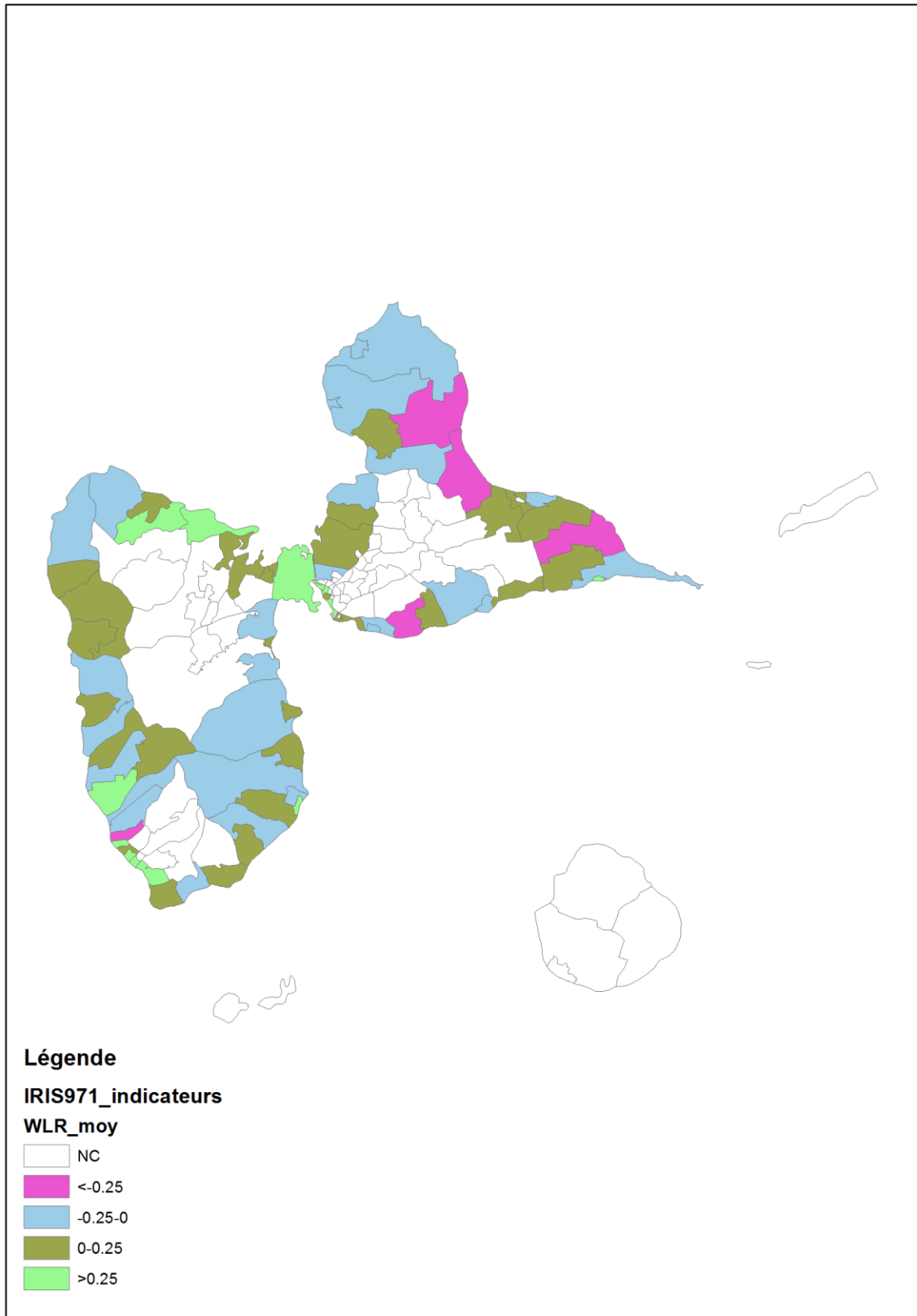


Figure 66. Erosion du trait de côte (valeur en m/an du recul statistique moyen annualisée du trait de côte) par îlots IRIS. Valeurs négatives : recul. Valeurs positives : accrétion.

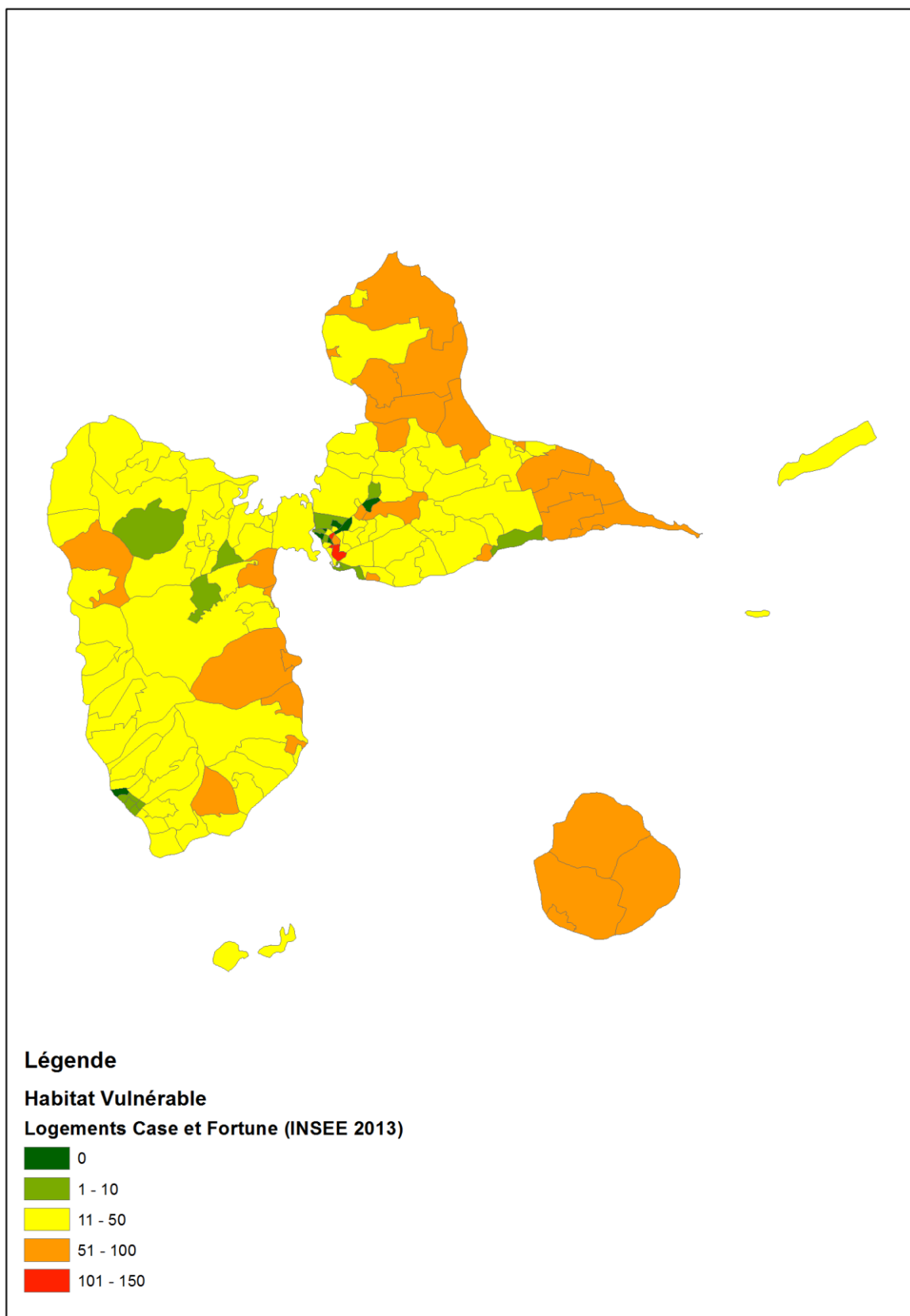


Figure 67. Nombre de logements de fortune et de cases, par îlots IRIS (INSEE).

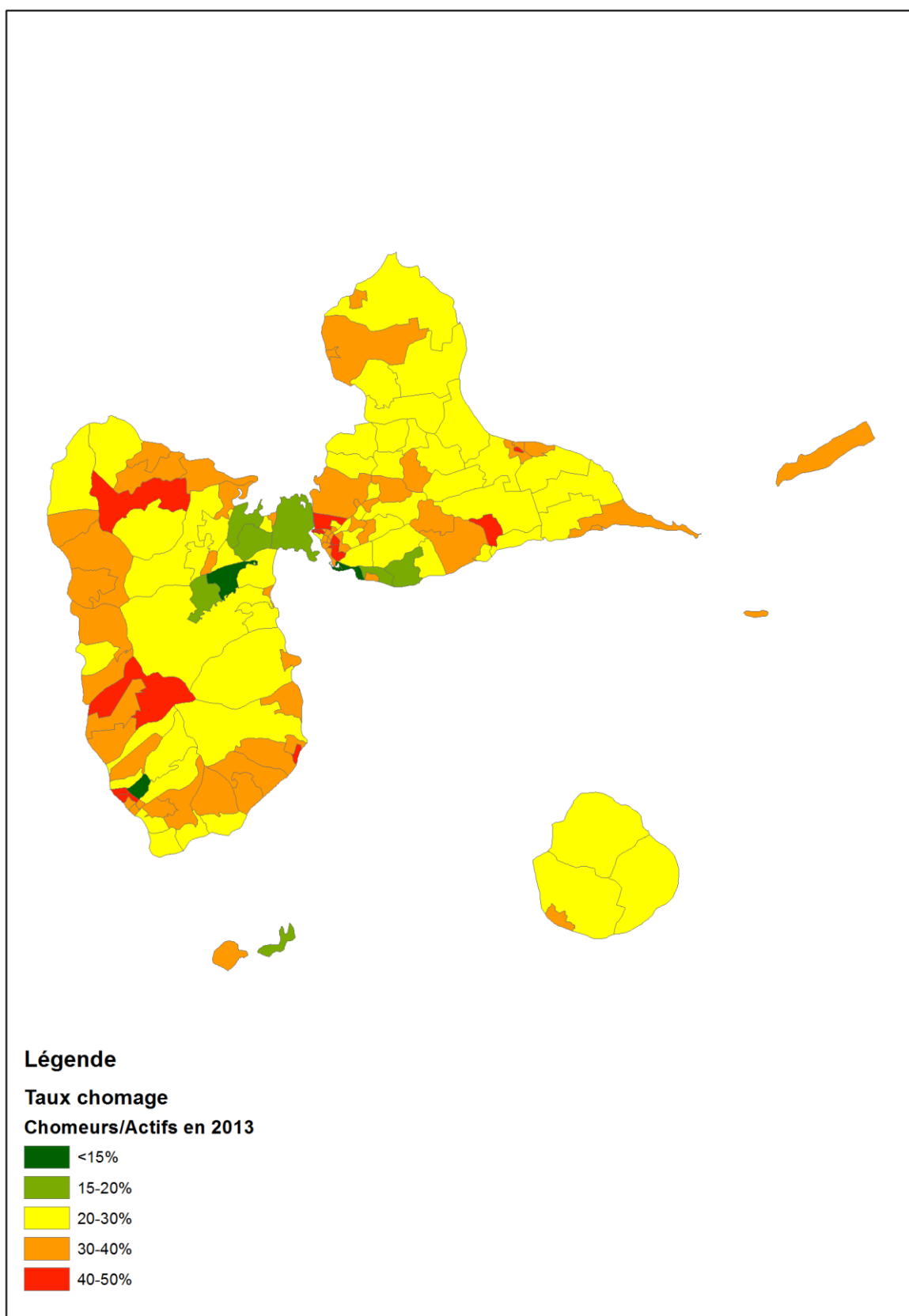


Figure 68. Taux de chômage par îlots IRIS (INSEE)

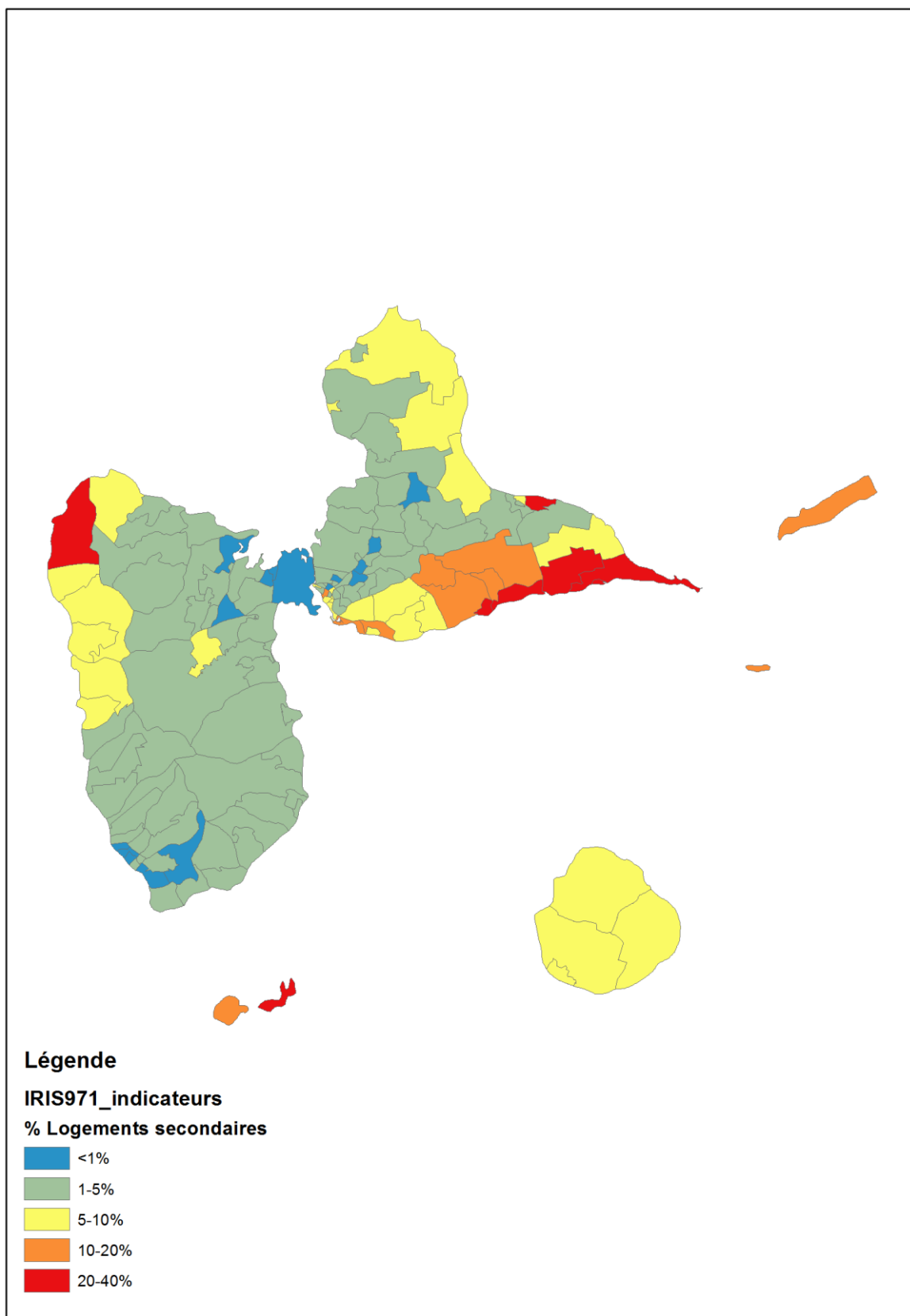


Figure 69. Part de résidences secondaires et logements occasionnels par îlots IRIS (INSEE 2013).

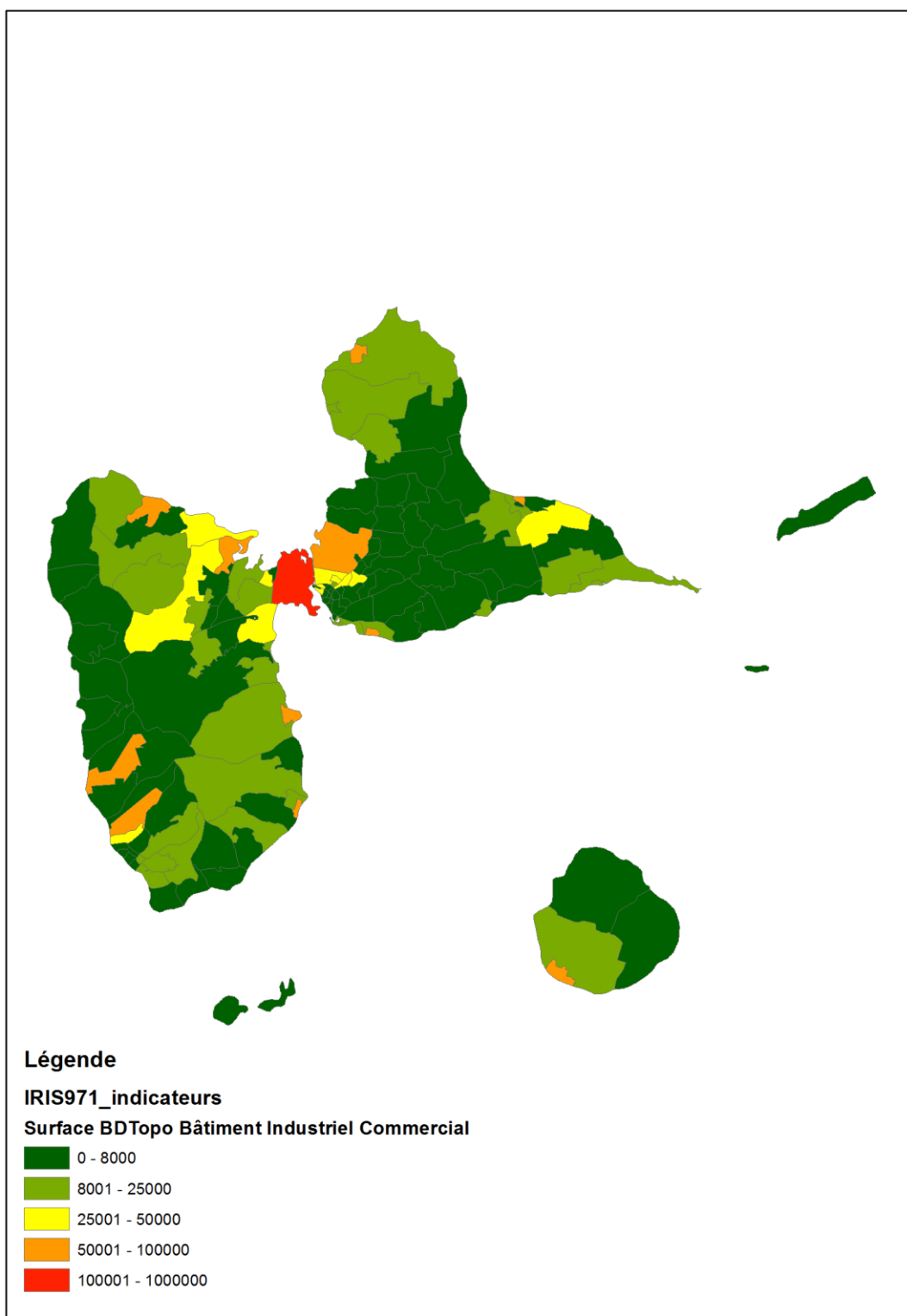


Figure 70. Surfaces occupées par du bâti industriel et commercial par îlots IRIS (en m², BD Topo).

Annexe 3

Méthodologie d'estimation de la valeur vénale des stocks et des équipements

Cette annexe présente la méthode utilisée pour traiter les données collectées dans les bases de données IEDOM, ESANE et Banque de France afin d'estimer la valeur vénale des stocks et des équipements des établissements par secteur d'activité. La Figure 33 rappelle les indicateurs mobilisés dans chacune des bases de données.

1. Secteurs économiques couverts

Les secteurs économiques couverts par les ratios sectoriels IEDOM, la base de données ESANE et les fascicules sectoriels de la Banque de France sont présentés ci-dessous. Les cases marquées d'une croix ou dans lesquelles le numéro d'un secteur est inscrit représentent les secteurs couverts.

Section	Libellé des sections	Code Division	Intitulé	IEDOM	ESANE	Banque de France
A	AGRICULTURE, SYLVICULTURE ET PÊCHE	01	Culture et production animale, chasse et services annexes	-	-	X
		02	Sylviculture et exploitation forestière	-	02.2	X
		03	Pêche et aquaculture	-	-	X
B	INDUSTRIES EXTRACTIVES	05	Extraction de houille et de lignite	-	X	X
		06	Extraction d'hydrocarbures	-	X	X
		07	Extraction de minerais métalliques	-	X	X
		08	Autres industries extractives	-	X	X
		09	Services de soutien aux industries extractives	-	X	X
C	INDUSTRIE MANUFACTURIÈRE	10	Industries alimentaires	X	X	X
		11	Fabrication de boissons	X	X	X
		12	Fabrication de produits à base de tabac	X	X	X
		13	Fabrication de textiles	X	X	X
		14	Industrie de l'habillement	X	X	X
		15	Industrie du cuir et de la chaussure	X	X	X
		16	Travail du bois et fabrication d'articles en bois et en liège, à l'exception des meubles ; fabrication d'articles en vannerie et sparterie	X	X	X
		17	Industrie du papier et du carton	X	X	X
		18	Imprimerie et reproduction d'enregistrements	X	X	X
		19	Cokéfaction et raffinage	X	X	X
		20	Industrie chimique	X	X	X
		21	Industrie pharmaceutique	X	X	X
		22	Fabrication de produits en caoutchouc et en plastique	X	X	X
		23	Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques	X	X	X
		24	Métallurgie	X	X	X
		25	Fabrication de produits métalliques, à l'exception des machines et des équipements	X	X	X
		26	Fabrication de produits informatiques, électroniques et optiques	X	X	X
		27	Fabrication d'équipements électriques	X	X	X
		28	Fabrication de machines et équipements n.c.a.	X	X	X
		29	Industrie automobile	X	X	X
		30	Fabrication d'autres matériels de transport	X	X	X
		31	Fabrication de meubles	X	X	X
		32	Autres industries manufacturières	X	X	X
33	Réparation et installation de machines et d'équipements	X	X	X		
D	PRODUCTION ET DISTRIBUTION D'ÉLECTRICITÉ, DE GAZ, DE VAPEUR ET D'AIR CONDITIONNÉ	35	Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné	-		
E	PRODUCTION ET DISTRIBUTION D'EAU ; ASSAINISSEMENT, GESTION DES DÉCHETS ET DÉPOLLUTION	36	Captage, traitement et distribution d'eau	-	X	X
		37	Collecte et traitement des eaux usées	-	X	X
		38	Collecte, traitement et élimination des déchets ; récupération	-	X	X
		39	Dépollution et autres services de gestion des déchets	-	X	X
F	CONSTRUCTION	41	Construction de bâtiments	X	X	X
		42	Génie civil	X	X	X
		43	Travaux de construction spécialisés	X	X	X
G	COMMERCE ; RÉPARATION D'AUTOMOBILES ET DE MOTOCYCLES	45	Commerce et réparation d'automobiles et de motocycles	X	X	X
		46	Commerce de gros, à l'exception des automobiles et des motocycles	X	X	X
		47	Commerce de détail, à l'exception des automobiles et des motocycles	X	X	X
H	TRANSPORTS ET ENTREPOSAGE	49	Transports terrestres et transport par conduites	-	X	X
		50	Transports par eau	-	X	X
		51	Transports aériens	-	X	X
		52	Entreposage et services auxiliaires des transports	-	X	X
		53	Activités de poste et de courrier	-	X	X
I	HÉBERGEMENT ET RESTAURATION	55	Hébergement	X	X	X
		56	Restauration	X	X	X

J	INFORMATION ET COMMUNICATION	58	Édition	-	X	X
		59	Production de films cinématographiques, de vidéo et de programmes de télévision ; enregistrement sonore et édition musicale	-	X	X
		60	Programmation et diffusion	-	X	X
		61	Télécommunications	-	X	X
		62	Programmation, conseil et autres activités informatiques	-	X	X
		63	Services d'information	-	X	X
K	ACTIVITÉS FINANCIÈRES ET D'ASSURANCE	64	Activités des services financiers, hors assurance et caisses de retraite	-	64.20.Z	-
		65	Assurance	-	-	-
		66	Activités auxiliaires de services financiers et d'assurance	-	66.1 et 66.2	-
L	ACTIVITÉS IMMOBILIÈRES	68	Activités immobilières	-	X	X
M	ACTIVITÉS SPÉCIALISÉES, SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES	69	Activités juridiques et comptables	-	X	X
		70	Activités des sièges sociaux ; conseil de gestion	-	X	X
		71	Activités d'architecture et d'ingénierie ; activités de contrôle et analyses techniques	-	X	X
		72	Recherche-développement scientifique	-	X	X
		73	Publicité et études de marché	-	X	X
		74	Autres activités spécialisées, scientifiques et techniques	-	X	X
		75	Activités vétérinaires	-	X	X
N	ACTIVITÉS DE SERVICES ADMINISTRATIFS ET DE SOUTIEN	77	Activités de location et location-bail	-	X	X
		78	Activités liées à l'emploi	-	X	X
		79	Activités des agences de voyage, voyagistes, services de réservation et activités connexes	-	X	X
		80	Enquêtes et sécurité	-	X	X
		81	Services relatifs aux bâtiments et aménagement paysager	-	X	X
		82	Activités administratives et autres activités de soutien aux entreprises	-	X	X
O	ADMINISTRATION PUBLIQUE	84	Administration publique et défense ; sécurité sociale obligatoire	-	-	-
P	ENSEIGNEMENT	85	Enseignement	-	X	X
Q	SANTÉ HUMAINE ET ACTION SOCIALE	86	Activités pour la santé humaine	-	X	X
		87	Hébergement médico-social et social	-	X	X
		88	Action sociale sans hébergement	-	X	-
R	ARTS, SPECTACLES ET ACTIVITÉS RÉCRÉATIVES	90	Activités créatives, artistiques et de spectacle	-	X	X
		91	Bibliothèques, archives, musées et autres activités culturelles	-	X	X
		92	Organisation de jeux de hasard et d'argent	-	X	X
		93	Activités sportives, récréatives et de loisirs	-	X	X
S	AUTRES ACTIVITÉS DE SERVICES	94	Activités des organisations associatives	-	X	X
		95	Réparation d'ordinateurs et de biens personnels et domestiques	-	X	X
		96	Autres services personnels	-	X	X
T	ACTIVITÉS DES MÉNAGES EN TANT QU'EMPLOYEURS ; ACTIVITÉS INDIFFÉRENCIÉES DES MÉNAGES EN TANT QUE	97	Activités des ménages en tant qu'employeurs de personnel domestique	-	-	-
		98	Activités indifférenciées des ménages en tant que producteurs de biens et services pour usage propre	-	-	-
U	ACTIVITÉS EXTRA-TERRITORIALES	99	Activités des organisations et organismes extraterritoriaux	-	-	-

Figure 71. Secteurs économiques couverts par les ratios sectoriels IEDOM, la base de données ESANE et les fascicules sectoriels de la Banque de France.

Les sources suivantes ont été utilisées pour identifier les secteurs couverts :

- IEDOM, Méthodologie de Fascicules Sectoriels ;
- Méthodologie de la statistique annuelle d'entreprises - Description du système «ESANE», Insee Méthodes n° 130- octobre 2017
- Banque de France, Méthodes, Les fascicules sectoriels.

2. Estimation de la valeur des stocks par secteur de la NAF rév.2. niveau 2

→ Ratios sectoriels IEDOM

Valeur des stocks par salarié (k€) = [Chiffre d'affaires / 360 * Poids des stocks] / Effectif salarié

→ Bilans comptables ESANE

Valeur des stocks par salarié (k€) = Stocks (matières premières, en cours de production, approvisionnements, produits intermédiaires, produits finis) / Effectif au 31.12 * (1 + Différentiel de prix à la consommation)

→ **Fascicules sectoriels de la Banque de France**

Valeur des stocks par salarié (k€) = (Chiffre d'affaires / 360 * Poids des stocks) / Effectif salarié * (1 + Différentiel de prix à la consommation)

3. Estimation de la valeur des équipements par secteur de la NAF rév.2. niveau 2

→ **Ratios sectoriels IEDOM**

Valeur des équipements par salarié (k€) = P_eq_immo_ESANE * Eq_eff_IEDOM

Avec :

- P_eq_immo_ESANE = (Compte 215 + Compte 218) / (Compte 20 + Compte 21)
- Eq_eff_IEDOM : le ratio « équipement par salarié » fournit par l'IEDOM couvrant l'ensemble des immobilisations d'exploitation

→ **Bilans comptables ESANE**

Valeur des équipements par salarié (k€) = (Comte 215 + Compte 218) * (1 + Différentiel de prix à la consommation)

→ **Fascicules sectoriels de la Banque de France**

Valeur des stocks par salarié (k€) = P_eq_immo_ESANE * Eq_eff_BDF * (1 + Différentiel de prix à la consommation)

Avec :

- P_eq_immo_ESANE = (Compte 215 + Compte 218) / (Compte 20 + Compte 21)
- Eq_eff_BDF : le ratio « équipement par salarié » fournit par la Banque de France couvrant l'ensemble des immobilisations d'exploitation

Annexe 4

Valeur vénale des stocks et des équipements par salarié et par secteur d'activité

Section NAF rév.2.	Libellé des sections	Code Division NAF. Rév.2.	Intitulé du secteur d'activité	Classification FLEMOcs	Stock par salarié (k€)	Equipement par salarié (k€)	
A	AGRICULTURE, SYLVICULTURE ET PÊCHE	01	Culture et production animale, chasse et services annexes	-	55,79	145,44	
A		02	Sylviculture et exploitation forestière	-	50,91	58,93	
A		03	Pêche et aquaculture	-	50,84	118,10	
B	INDUSTRIES EXTRACTIVES	05	Extraction de houille et de lignite	Industrie	61,07	423,74	
B		06	Extraction d'hydrocarbures	Industrie	61,07	423,74	
B		07	Extraction de minerais métalliques	Industrie	61,07	423,74	
B		08	Autres industries extractives	Industrie	61,07	423,74	
B		09	Services de soutien aux industries extractives	Industrie	61,07	423,74	
C	INDUSTRIE MANUFACTURIÈRE	10	Industries alimentaires	Industrie	9,53	39,77	
C		11	Fabrication de boissons	Industrie	9,53	39,77	
C		12	Fabrication de produits à base de tabac	Industrie	9,53	39,77	
C		13	Fabrication de textiles	Industrie	24,94	57,77	
C		14	Industrie de l'habillement	Industrie	8,65	36,94	
C		15	Industrie du cuir et de la chaussure	Industrie	8,65	36,94	
C		16	Travail du bois et fabrication d'articles en bois et en liège, à l'exception des meubles ; fabrication d'articles en vannerie et sparterie	Industrie	24,94	57,77	
C		17	Industrie du papier et du carton	Industrie	24,94	57,77	
C		18	Imprimerie et reproduction d'enregistrements	Industrie	8,65	36,94	
C		19	Cokéfaction et raffinage	Industrie	24,94	57,77	
C		20	Industrie chimique	Industrie	24,94	57,77	
C		21	Industrie pharmaceutique	Industrie	8,65	36,94	
C		22	Fabrication de produits en caoutchouc et en plastique	Industrie	24,94	57,77	
C		23	Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques	Industrie	24,94	57,77	
C		24	Métallurgie	Industrie	24,94	57,77	
C		25	Fabrication de produits métalliques, à l'exception des machines et des équipements	Industrie	18,24	23,46	
C		26	Fabrication de produits informatiques, électroniques et optiques	Industrie	8,65	36,94	
C		27	Fabrication d'équipements électriques	Industrie	18,24	23,46	
C		28	Fabrication de machines et équipements n.c.a.	Industrie	18,24	23,46	
C		29	Industrie automobile	Industrie	18,24	23,46	
C		30	Fabrication d'autres matériels de transport	Industrie	18,24	23,46	
C		31	Fabrication de meubles	Industrie	8,65	36,94	
C		32	Autres industries manufacturières	Industrie	24,94	57,77	
C		33	Réparation et installation de machines et d'équipements	Industrie	24,94	57,77	
D		PRODUCTION ET DISTRIBUTION D'ÉLECTRICITÉ, DE GAZ, DE VAPEUR ET D'AIR CONDITIONNÉ	35	Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné	Industrie	78,02	1 552,59
E		PRODUCTION ET DISTRIBUTION D'EAU ; ASSAINISSEMENT, GESTION DES DÉCHETS ET DÉPOLLUTION	36	Captage, traitement et distribution d'eau	Industrie	8,34	369,70
E			37	Collecte et traitement des eaux usées	Industrie	8,34	369,70
E			38	Collecte, traitement et élimination des déchets ; récupération	Industrie	8,34	369,70
E			39	Dépollution et autres services de gestion des déchets	Industrie	8,34	369,70
F		CONSTRUCTION	41	Construction de bâtiments	Industrie	3,13	18,98
F			42	Génie civil	Industrie	4,09	25,81
F			43	Travaux de construction spécialisés	Industrie	3,13	18,98
G		COMMERCE; RÉPARATION D'AUTOMOBILES ET DE MOTOCYCLES	45	Commerce et réparation d'automobiles et de	Commerce	38,99	18,15
G	46		Commerce de gros, à l'exception des automobiles et des motocycles	Commerce	64,50	16,14	
G	47		Commerce de détail, à l'exception des automobiles et	Commerce	28,69	20,27	
H	TRANSPORTS ET ENTREPOSAGE	49	Transports terrestres et transport par conduites	Commerce	2,68	149,38	
H		50	Transports par eau	Commerce	2,68	149,38	
H		51	Transports aériens	Commerce	2,68	149,38	
H		52	Entreposage et services auxiliaires des transports	Commerce	2,68	149,38	
H		53	Activités de poste et de courrier	Commerce	2,68	149,38	
I	HÉBERGEMENT ET RESTAURATION	55	Hébergement	Commerce	16,32	35,64	
I		56	Restauration	Commerce	2,00	58,97	

Section NAF rév.2.	Libellé des sections	Code Division NAF - Rév.2.	Intitulé du secteur d'activité	Classification FLEMOcs	Stock par salarié (k€)	Equipement par salarié (k€)
J	INFORMATION ET COMMUNICATION	58	Édition	Finance	6,84	155,39
J		59	Production de films cinématographiques, de vidéo et de programmes de télévision ; enregistrement sonore et édition musicale	Finance	6,84	155,39
J		60	Programmation et diffusion	Finance	6,84	155,39
J		61	Télécommunications	Finance	6,84	155,39
J		62	Programmation, conseil et autres activités informatiques	Finance	6,84	155,39
J		63	Services d'information	Finance	6,84	155,39
K	ACTIVITÉS FINANCIÈRES ET D'ASSURANCE	64	Activités des services financiers, hors assurance et caisses de retraite	Finance	0,60	59,34
K		65	Assurance	Finance	0,60	59,34
K		66	Activités auxiliaires de services financiers et d'assurance	Finance	0,60	59,34
L	ACTIVITÉS IMMOBILIÈRES	68	Activités immobilières	Finance	61,39	232,73
M	ACTIVITÉS SPÉCIALISÉES, SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES	69	Activités juridiques et comptables	Finance	7,25	27,68
M		70	Activités des sièges sociaux ; conseil de gestion	Finance	7,25	27,68
M		71	Activités d'architecture et d'ingénierie ; activités de contrôle et analyses techniques	Finance	7,25	27,68
M		72	Recherche-développement scientifique	Finance	7,25	27,68
M		73	Publicité et études de marché	Finance	7,25	27,68
M		74	Autres activités spécialisées, scientifiques et techniques	Finance	7,25	27,68
M		75	Activités vétérinaires	Finance	7,25	27,68
N	ACTIVITÉS DE SERVICES ADMINISTRATIFS ET DE SOUTIEN	77	Activités de location et location-bail	Finance	0,70	59,34
N		78	Activités liées à l'emploi	Finance	0,70	59,34
N		79	Activités des agences de voyage, voyagistes, services de réservation et activités connexes	Finance	0,70	59,34
N		80	Enquêtes et sécurité	Finance	0,70	59,34
N		81	Services relatifs aux bâtiments et aménagement paysager	Finance	0,70	59,34
N		82	Activités administratives et autres activités de soutien aux entreprises	Finance	0,70	59,34
O	ADMINISTRATION PUBLIQUE	84	Administration publique et défense ; sécurité sociale obligatoire	Services	0,70	59,34
P	ENSEIGNEMENT	85	Enseignement	Services	0,99	17,27
Q	SANTÉ HUMAINE ET ACTION SOCIALE	86	Activités pour la santé humaine	Services	1,47	42,26
Q		87	Hébergement médico-social et social	Services	0,19	15,95
Q		88	Action sociale sans hébergement	Services	0,72	27,70
R	ARTS, SPECTACLES ET ACTIVITÉS RÉCRÉATIVES	90	Activités créatives, artistiques et de spectacle	Services	3,01	105,55
R		91	Bibliothèques, archives, musées et autres activités culturelles	Services	3,01	105,55
R		92	Organisation de jeux de hasard et d'argent	Services	3,01	105,55
R		93	Activités sportives, récréatives et de loisirs	Services	3,01	105,55
S	AUTRES ACTIVITÉS DE SERVICES	94	Activités des organisations associatives	Services	3,26	48,10
S		95	Réparation d'ordinateurs et de biens personnels et domestiques	Services	3,26	48,10
S		96	Autres services personnels	Services	3,26	48,10
T	ACTIVITÉS DES MÉNAGES EN TANT QU'EMPLOYEURS ; ACTIVITÉS INDIFFÉRENCIÉES DES MÉNAGES EN TANT QUE PRODUCTEURS DE BIENS ET SERVICES POUR USAGE PROPRE	97	Activités des ménages en tant qu'employeurs de personnel domestique	Services	3,26	48,10
T		98	Activités indifférenciées des ménages en tant que producteurs de biens et services pour usage propre	Services	3,26	48,10
U	ACTIVITÉS EXTRA-TERRITORIALES	99	Activités des organisations et organismes extraterritoriaux	Services	3,26	48,10



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Guadeloupe
ZAC Colin – la Lézarde
97170 – Petit-Bourg
Guadeloupe - France
Tél. : 05 90 41 35 48