

Projet de Fin d'Etudes

**Les territoires insulaires face au
risque naturel**

**Mesure de la vulnérabilité indirecte par
l'indicateur de l'accessibilité**



2017 / 2018

Directeur de recherche
GRALEPOIS Mathilde

Haïti Ilies
M'toufy Sana

Les territoires insulaires face au risque naturel

Mesure de la vulnérabilité indirecte par l'indicateur de l'accessibilité

Ce projet de fin d'étude est réalisé sur les deux semestres :

1^{er} semestre :

- Etat de l'art (période de recherche bibliographique)
- Identification et formulation de la problématique
- Formulation des hypothèses
- Collecte des informations et données
- Présentation et élaboration du protocole complète de la méthode - Intégration de la spécialité RÉSEAU

2^{ème} semestre :

- Exécution de la méthode
- Résultats
- Analyse : observation et interprétation

GRALEPOIS Mathilde
2017 / 2018

Haïti Ilies
M'toufy Sana

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Nous tenions à remercier toutes les personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont ainsi contribué à la réalisation de ce travail.

Nous remercions particulièrement Madame M. Gralepois, Maîtres de conférences à l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours et tutrice de ce Projet de Fin d'Études, pour l'aide apportée tout au long de ce projet ainsi que pour tous les conseils et informations qu'elle a pu nous transmettre.

Merci aux différents acteurs qui nous ont accordés leurs temps, leurs nombreux conseils et connaissances qui ont pu ainsi enrichir notre travail :

- Monsieur K.Serrhini, Maître de conférence à l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, de par sa disponibilité, ses conseils ainsi que son aide
- Monsieur M. Maïza pour ses conseils lors de l'oral de mi-parcours
- Monsieur A.Creach, Maître de conférence en Géographie et en Aménagement à l'Université Paris-Sorbonne, pour nos discussions échangées par e-mail ainsi que pour les données fournies

SOMMAIRE

1.1.	Contexte : enjeux pour l'aménagement et l'environnement	7
1.2.	Les différents termes clés de l'étude	9
1.2.1.	La vulnérabilité, une émergence tardive	9
1.2.2.	L'accessibilité, un critère de vulnérabilité du territoire peu exploité	10
1.2.3.	L'approche de la notion d'insularité	11
1.3.	L'île de Noirmoutier : un territoire insulaire conscient du risque d'inondation	11
1.3.1.	Une des îles majeures de l'Océan Atlantique	11
1.3.2.	Une île bien desservie	12
1.3.3.	Une île exposée au risque de submersion marine	14
2.	Etat de l'art de la vulnérabilité d'un territoire	17
2.1.	Travaux existants sur la connaissance de la vulnérabilité	17
2.2.	Formulation de la problématique et des hypothèses	19
2.3.	L'apport au champ de la recherche	20
3.	Méthode pour modéliser les scénarios	21
3.1.	Techniques de collecte de données	21
3.2.	Mesure de la vulnérabilité des flux domicile-travail	23
3.2.1.	Modèle statique à quatre étapes	23
3.2.2.	Détermination des flux quotidiens en provenance et en destinations de la Communauté de l'île de Noirmoutier	25
3.2.3.	Affectation des flux quotidiens sur le réseau routier sous SIG	33
4.	Analyse et Interprétation des résultats	37
4.1.	Résultats scénario 1 : situation actuelle pré-submersion marine	37
4.2.	Résultats scénario 2 : situation actuelle post-submersion marine	39
4.3.	Résultats scénario 3 : situation post-submersion marine à l'horizon 2030	45
4.4.	Résultats communs en cas de submersion marine en 2014 et 2030	47
5.	Limite de la démarche	48
6.	Conclusion	49
7.	Bibliographie	51
8.	Table des Figures	53
9.	Table des Tableaux	53
10.	Annexe 1 : Données de flux observés (Mirabelle) et théoriques (Huff)	54
11.	Annexe 2 : Calcul de la vitesse dans le cas d'une agglomération	59
12.	Annexe 3 : Tableau de comparaison des temps de parcours pré et post-submersion marine	60
13.	Annexe 4 : Tableau des évolutions des flux entre 2014 et 2030	64

INTRODUCTION

1.1. Contexte : enjeux pour l'aménagement et l'environnement

Les catastrophes naturelles sont au cœur des préoccupations des politiques publiques de par leurs multiplicités ces dernières décennies. Le site du SDES¹ du ministère de la Transition écologique et Solidaire note d'ailleurs, que les zones exposées au phénomène de submersion marine, représentent près de 7 000 km² sur la surface totale du territoire français. Aussi, près de 56% de ces territoires se situent sur la côte Atlantique. La Communauté de Communes de l'île de Noirmoutier est sans doute un des espaces les plus exposés aux risques naturels, dans la mesure où il présente deux risques majeurs : la submersion marine et l'érosion du trait de côte. L'étude menée tout le long de ce travail se focalise entièrement sur la submersion marine. Le phénomène d'érosion est donc volontairement écarté.

« La submersion marine désigne une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques (forte dépression et vent de mer) et marégraphiques sévères »². (Medde-Wikhydro). Ce phénomène survient lorsque le niveau de la mer surmonte les digues, franchit les barrages naturels ou débordants sur les territoires littoraux. La submersion marine s'amplifie avec les changements climatiques. Plus la marée sera forte, plus l'occurrence du phénomène de submersion marine sera élevée. Cependant, la marée n'est pas le seul facteur à entrer en compte. La pression atmosphérique et le vent surélève aussi le niveau de la mer par aspiration. Le niveau de la marée attendue est ainsi différent de celui observé en cas de tempête. A cela s'ajoute souvent la houle qui accentue les effets de marée et de surcote. Par exemple, la tempête de Dunkerque de 1953 a entraîné une hauteur atteignant 8.30m alors que le niveau de la mer pré-submersion marine s'élevait à 6.70m selon la préfecture du Nord. Une telle conjonction augmente le niveau marin et a entraîné la formation de la tempête Xynthia du 27 février 2010 provoquant une submersion du littoral. Le MEEDDM³ a qualifié en 2010 cet « événement de rare mais pas exceptionnel » du littoral Atlantique par sa forte occurrence de tempêtes.

Il est donc évident, que de tels phénomènes risquent d'engendrer de lourdes conséquences. D'ailleurs, les récents événements le démontrent, telle la tempête Xynthia ou plus récemment encore les ouragans Irma, José et tant d'autres ; témoignant ainsi de l'importance des dommages causés (humains, matérielles, moral et économique). La tempête Xynthia a, par exemple, présenté d'importants bouleversements, en effet se sont près de soixante-six départements français dont la Vendée qui ont été touchés. Bien que la tempête fût annoncée, la submersion marine n'était pas attendue, entraînant dès lors, la mort de plus d'une quarantaine de personnes. L'étude⁴ sur la localisation de ces victimes démontre qu'ils résidaient sur des zones récemment urbanisés. Exposés au risque de submersion marine par leur situation géographique, ces départements ont connu ces six dernières décennies une urbanisation et périurbanisation importante liées en partie à une forte pression démographique. Les politiques publiques ont alors la responsabilité de communiquer les

¹ SDES : Service de la Donnée et des Études Statistiques

² Medde-Wikhydro

³ MEEDDM : Le ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

⁴ Vinet et al., 2011

enjeux, le degré d'aléa et les zones de refuges en cas de catastrophe naturelle ou technologique d'ailleurs.

Afin d'éviter de telles répercussions, des documents réglementaires d'utilité publique existent et ont pour objectif de communiquer à la population les différents volets des risques. L'un des plus importants est le PPRL⁵ réalisé par l'Etat. La Communauté de Communes de l'île de Noirmoutier l'a adopté en 2008. L'objectif principal est de protéger au mieux les enjeux présents sur le territoire. Il permet aussi au territoire d'obtenir des subventions via le fonds Barnier pour réduire la vulnérabilité humaine et via l'Etat pour les travaux liés aux ouvrages de protection. Cependant, la première carte des zones à risques représentant les différents niveaux d'aléa a été publiée seulement en 2005. D'autres documents existent tels que le DICRIM⁶ et est établi par le maire et son conseil municipal pour les citoyens. Le Décret 90-918 précise que le maire *“recense les mesures de sauvegarde répondant au risque sur le territoire de la commune, notamment celles de ces mesures qu'il a prises en vertu de ses pouvoirs de police”*. Les données présentes dans ce document sont au titre du droit à l'information à caractère préventif, afin que la population soit consciente des risques majeurs auxquelles elle est exposée.

Bien que ces documents ont été établis et mis à la disposition de la population, il s'avère que sur certains territoires la gestion d'évacuation et d'interventions de secours sont peu efficaces. La forte construction d'habitation en forte zone inondable, la sous-estimation du risque de la part des autorités, la construction des services de secours en zones inondables montrent les lacunes de notre société face à l'un des risques naturels les plus importants : l'inondation.

De nombreux travaux ont été effectués sur l'évaluation de la vulnérabilité directe des territoires comme récemment avec l'étude de la vulnérabilité des constructions résidentielles sur l'île de Noirmoutier, se concentrant donc sur les enjeux humains (Creach, 2017). Cependant, parmi elles, peu ont été menés sur la vulnérabilité indirecte et notamment à travers le réseau routier. Pourtant, ce dernier joue le rôle de support physique permettant les échanges ainsi que la circulation des biens et des personnes. Essentiel pour les sociétés, le réseau supporte les interactions et connexions. Étant la base du fonctionnement des activités socio-économiques, il représente une certaine fragilité.

La facilité de se rendre d'un point à un autre (accessibilité spatiale) peut être impacté indirectement par un événement. Par exemple, lors d'une inondation, les routes peuvent être submergées et donc inenvisageables. De ce fait, cette situation peut entraîner l'isolement de certaines communes et l'incapacité de certaines personnes à se déplacer. La population devra alors se reporter vers d'autres tronçons routiers si le réseau est suffisamment maillé. Anticiper alors ces coupures de routes lors d'une montée des eaux permet de prévoir les futurs déplacements afin de proposer ou d'établir un maillage mieux structuré (pouvant passer de l'aménagement et du rehaussement de certaines routes déjà existantes à la création de nouvelles routes voire de nouveaux modes de déplacements). Par ailleurs, le réseau routier est essentiel aussi bien dans la gestion de crise (évacuation) que dans la reprise progressive et remise en état. Il est alors indéniable au regard des différents critères de prendre l'indicateur d'accessibilité comme une des mesures de la vulnérabilité indirecte.

⁵ PPRL : Plan de Préventions des Risque Naturels

⁶ DICRIM : Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs

Dans l'optique d'améliorer et d'enrichir les connaissances liées au caractère inondable des territoires particulièrement insulaires,

Comment évaluer l'impact d'une submersion marine sur les déplacements domicile-travail (à travers trois scénarios : une situation actuelle pré-submersion marine, une situation actuelle post-submersion marine et une situation prévisionnelle à l'horizon 2030 post-submersion marine.

Comment évaluer la vulnérabilité du réseau routier ? Quelles sont les conséquences sur les flux domicile-travail ?

Cette étude commence par une contextualisation actuelle en termes d'enjeux dans l'aménagement urbain. En effet, les explications énoncées précédemment montrent l'importance de telle étude, d'autant plus sur la côte Atlantique. La vulnérabilité, l'accessibilité et l'insularité sont des notions clés importantes et abordées tout au long de cette étude. Leur compréhension est donc essentielle. Ladite étude se concentre sur le département de la Vendée. Ce choix sera alors justifié et résultera d'une présentation du site pour une meilleure connaissance du département. Découlent de cela les enjeux de ce territoire en particulier face au risque de submersion marine.

Ensuite, il est nécessaire de prendre connaissance des études portées sur les principales dimensions de notre sujet. Cette partie présente les travaux et recherches menées principalement sur les inondations et les mesures de vulnérabilités qui nous ont, ensuite, mené en fonction des manques, des lacunes ou de nos interrogations à notre problématique. Ces études se diffèrent selon l'approche, la dimension et l'indicateur envisagés.

La dernière partie vise à expliquer la démarche que nous avons opté afin d'évaluer la vulnérabilité indirecte des flux pendulaires domicile-travail. Il s'agira alors d'analyser l'accessibilité spatiale selon les différents scénarios. Ces derniers permettront d'étudier les changements, conséquences et impacts produits et probables sur le réseau topologique. Cette étude conclut sur les limites de la démarche choisie.

1.2. Les différents termes clés de l'étude

1.2.1. La vulnérabilité, une émergence tardive

Au préalable, il est important de bien définir et de comprendre les différents termes utilisés tout au long de ce rapport pour une meilleure compréhension du risque de submersion marine.

Le risque est considéré comme une mesure de la situation dangereuse qui résulte de la confrontation de l'aléa et des enjeux. L'aléa doit être défini par une intensité, un territoire et une occurrence temporelle. Les enjeux et la vulnérabilité sont liés à la présence humaine (populations, habitations, activités économiques, infrastructures, etc...) et sont difficiles à définir.

Le risque est la résultante de la conjonction de l'aléa et de la vulnérabilité⁷. Selon l'ADEME⁸, le risque naturel résulte et est défini comme la combinaison d'un danger (probabilité d'occurrence d'aléa) à sa vulnérabilité. Cette dernière est donc la deuxième composante du risque. Or, comme le

⁷ Veyret Yvette - Les risques - Rosny-sous-Bois:Bréal, 2004-p24/205

⁸ ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

souligne Provitolo Damienne dans « Vulnérabilité aux inondations méditerranéennes en milieu urbain : une nouvelle démarche géographique », les connaissances sur ces deux concepts ne sont pas égales. Les études consacrées à la notion de vulnérabilité sont récentes et peu nombreuses contrairement à celle réalisée sur les aléas. Toujours selon Provitolo Damienne, les aléas étaient auparavant utilisés uniquement dans la réalisation des cartes dans les Plans de Prévention de Risque.

La définition de la vulnérabilité est différente selon les auteurs et fait état d'un débat scientifique. Toutefois, tous s'accordent sur « une notion d'attaque par un élément extérieur et une notion de difficulté, voir l'impossibilité à y opposer une défense » pour reprendre les mots de Pierre Davoust⁹. Cette exposition ou sensibilité portent sur les enjeux présents sur un territoire. Autrement dit, plus un territoire est vulnérable, plus les dommages et dégradation sur les infrastructures, les biens, les personnes et activités seront importants. Sa stabilité et sa résilience sera alors impactée. La vulnérabilité des territoires est donc directement liée à son degré d'anthropisation et d'urbanisation. Leur ampleur diminue toutefois selon la capacité à faire face à des risques. Certains auteurs comme Gilbert considèrent la vulnérabilité comme « la capacité d'un système à se soustraire ou à surmonter une crise, [...] La vulnérabilité n'est donc plus une composante passive du système de la catastrophe mais une composante active »¹⁰.

1.2.2. L'accessibilité, un critère de vulnérabilité du territoire peu exploité

Le réseau routier est essentiel dans l'évaluation de vulnérabilité du territoire, il est le support physique permettant le passage de flux de personnes et des biens.

*« Un réseau est en quelque sorte le squelette d'un système visant à établir une forme de communication tangible comme les routes, les voies ferrées ou encore les corridors aériens et maritimes. Une route est un lien simple entre deux sommets s'inscrivant à l'intérieur d'un réseau plus vaste. Les réseaux de transport illustrent l'organisation territoriale des activités économiques ainsi que l'effort déployé à dessein de s'affranchir des distances. Ils résultent en un effondrement de l'espace-temps qui repose sur leur technologie comme sur leur structure. »*¹¹

Aujourd'hui, la définition de l'accessibilité varie selon la dimension choisie. Des auteurs tels que Richer Cyprien et Palmier Patrick la définissent comme « la possibilité, la capacité d'un lieu ou de tout autre chose d'être accessible à un individu ; c'est à dire que l'on est en mesure d'atteindre, d'utiliser, de comprendre... »¹². Cette étude fait appel ici à la dimension de la mobilité des individus. Il est donc nécessaire de recadrer le concept d'accessibilité. Nous cherchons donc à étudier l'accessibilité spatiale et temporelle des personnes. Autrement dit, la plus ou moins grande facilité d'accéder d'un point

⁹ Maître de conférences à l'IUT HSE de Lorient

¹⁰Provitolo Damienne, « Vulnérabilité aux inondations méditerranéennes en milieu urbain : une nouvelle démarche géographique », Annales de géographie, 2007/1 (n° 653), p. 23-40. DOI : 10.3917/ag.653.0023. URL : <https://www.cairn.info/revue-annales-de-geographie-2007-1-page-23.htm>

¹¹ www.geog.unuontreal.ca/Geotrans/fr/ch2fr/conc2fr/ch2c3fr.html

¹² Cyprien Richer, Patrick Palmier. Mesurer l'accessibilité territoriale par les transports collectifs. Proposition méthodologique appliquée aux pôles d'excellence de Lille Métropole : Proposition méthodologique appliquée aux pôles d'excellence de Lille Métropole. Cahiers de géographie du Québec, Département de géographie de l'Université Laval, 2012, 56 (158), pp.31.

d'origine à un point de destination grâce au réseau de transport (le support). Ladite notion permet d'évaluer la performance spatiale d'un territoire.

1.2.3. L'approche de la notion d'insularité

En première approche, l'insularité désigne un caractère ou un espace isolé d'un territoire. Mais certains auteurs comme Alexandre Magnan, dans son article « *Systèmes insulaires, représentations pyramidales et soutenabilité* », définit l'insularité comme reposant « *intrinsèquement sur celle d'isolement* » isolation qui n'est cependant pas « *pas plus clairement définie* » selon lui. « *L'isolement est-il physique (cas des îles ou des oasis dans le désert), socioculturel (les minorités ethniques, par exemple) ou économique (groupes marginaux...)? Il est probablement les trois à la fois, ce qui complexifie à l'envi l'objet d'étude. Mais une chose est sûre, l'insularité n'est pas spécifique aux îles, de même que toutes les îles ne répondent pas avec la même intensité à la notion d'insularité* » telles ont été les interrogations de l'auteur en la matière.

1.3. L'île de Noirmoutier : un territoire insulaire conscient du risque d'inondation

1.3.1. Une des îles majeures de l'Océan Atlantique

L'île de Noirmoutier est une île française du département de la Vendée. Composée de 4 communes (Noirmoutier-en-île, L'Epine, la Guérinière et Barbâtre), elle comptabilise selon les derniers chiffres de recensement de l'Insee (2014) 9 455 habitants au total soit :

- 4 627 habitants à Noirmoutier-en-île
- 1 650 habitants à L'Epine
- 1 371 habitants à la Guérinière
- 1 807 habitants à Barbâtre

Située sur la façade Atlantique, la Communauté de Commune de Noirmoutier voit sa population multiplié par un facteur de dix en saison estivale. Le tourisme n'est pas la seule activité sur laquelle repose l'économie de l'île. L'ostréiculture, la conchyliculture, la pêche et l'agriculture rythment le territoire.



Figure 1: Carte représentant les communes et la localisation de l'île de Noirmoutier - Source : Communauté de Commune de Noirmoutier

Cette carte met en évidence la forme particulière de l'île : son caractère filiforme. Sa largeur varie entre 500 et 15 km et sa longueur atteint les 25 km.

1.3.2. Une île bien desservie

Bien que le territoire soit insulaire, des déplacements s'effectuent au sein, en provenance et en destination des quatre communes de l'île grâce un réseau composé de routes 2 X 2 voies et de départementales. Aussi, l'île est accessible par deux chemins possibles : le pont de Noirmoutier et le passage du Gois. Ces derniers permettent d'être connectée au continent.

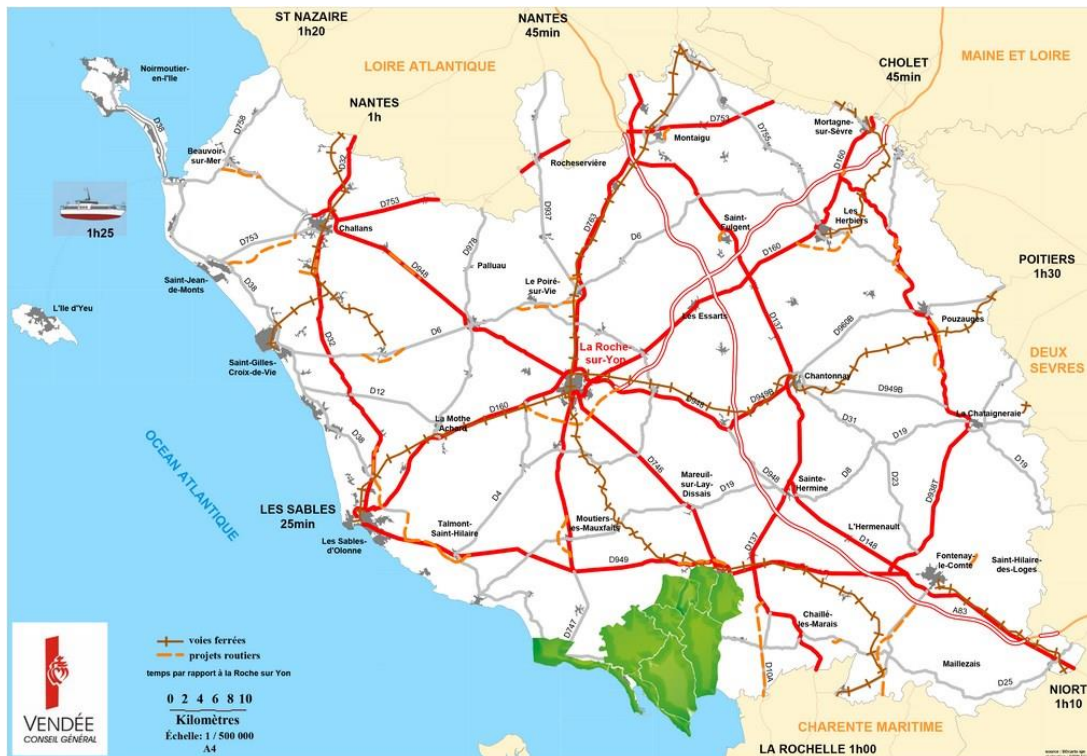


Figure 2 : Réseau routier du département de la Vendée. Source : Communauté de Communes Pays Né de la Mer

Cette accessibilité est récente, elle date de 1986, année durant laquelle la Vendée a commencé à entreprendre des travaux d'infrastructures routières pour la désenclaver :

- 2 autoroutes desservent le département de la Vendée : l'A83 (Nantes/Niort) et l'A87 (Angers/La Roche-sur-Yon). Le projet de l'A831 (Fontenay-le-Compte/Rochefort) reliant l'A83 et l'A10 a été abandonné et la Commission Mobilité 21 le classe dans la catégorie des projets à horizons 2050.
- De nombreuses routes 2 X 2 voies connectent de nombreuses villes du département et notamment reliant La Guérinière au pont de Noirmoutier.
- L'île est reliée au continent grâce à la D38 (La Guérinière/La Barre-de-Monts) avec le pont de Noirmoutier et à la D948 (Barbâtre/Beauvoir-sur-Mer) avec le passage du Gois. Elle est donc accessible facilement en voiture. Le passage du Gois mesure 4,5 km et est accessible environ 3 ou 4 heures en marée basse.
- La ligne 3 de bus régionale relie Nantes à l'île de Noirmoutier en passant par les villes de Fromentine et La Barre-de-Monts. En hiver, les autocars assure quotidiennement 5 allers-retours et en été 14 départs de Nantes en direction des îles du département dont l'île de Noirmoutier.



Figure 3: Schéma des lignes urbaines et interurbaines dans la partie Ouest du département de la Vendée. - Source : CTA44

- Des connexions maritimes permettent de relier La Barre-de-Monts ou Saint-Gilles-Croix-de-Vie à l'île d'Yeu grâce aux ports accessibles par des routes départementales. L'île de Noirmoutier est un lieu intermédiaire sur les navigations de plaisance en provenance des ports du département vers les îles d'Yeu, Belle île et l'île de Ré.

Des déplacements dont ceux liés à l'emploi s'effectuent au sein de la Communauté de Communes de Noirmoutier et s'étendent au-delà de ce périmètre. C'est pourquoi, il a été pris parti d'étendre cette étude sur l'impact de la submersion marine sur une plus large échelle qui est le département de la Vendée.

1.3.3. Une île exposée au risque de submersion marine

La côte Atlantique représente 56% des territoires touchés par les inondations. Il a été recensé de nombreuses submersions marines, tempêtes et ouragans sur le littoral n'épargnant peu l'île de Noirmoutier comme le témoignent les événements de 1978, 1999 et plus récemment la tempête Xynthia en 2010 provoquant d'importants dégâts matériels et humains. En effet, il est l'un des sites insulaires les plus fortement concernés par les risques de submersion marine.

Ces événements ont permis, tout d'abord, en 1978 de découper le territoire entre les zones habitables et naturelles. Par la suite, des ouvrages de protection (digues et polders) ont été construits. Ce sont presque 30% du budget de la communauté de communes qui ont été alloués pour la protection contre les inondations et submersions marines. Les cordons dunaires et des digues d'une trentaine de kilomètres chacun ont donc été réalisés. Aussi, les côtes rocheuses d'une dizaine de kilomètres contribuent à la défense contre la mer.

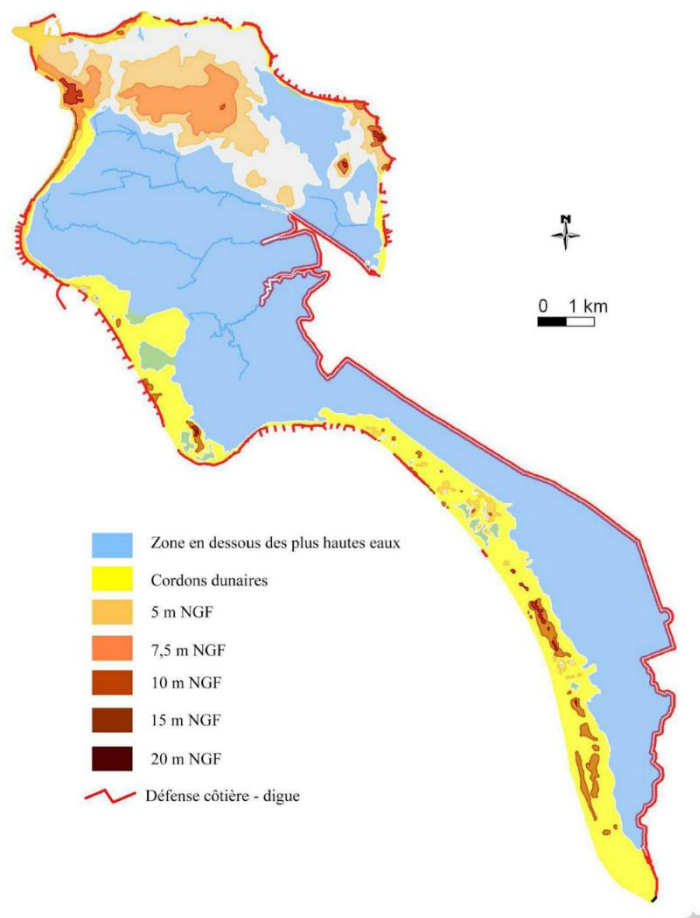


Figure 4: Altimétrie sur l'île de Noirmoutier -
Source : Communauté de Commune de l'île de
Noirmoutier

Ces ouvrages ont fait gagné du terrain sur la mer, raison pour laquelle 60% de son territoire est actuellement en dessous du niveau des plus hautes mers. L'île de Noirmoutier a su diminué le risque de submersion marine et les dommages causés sur l'île de Noirmoutier. En effet, la tempête Xynthia a inondé des sites portuaires. Les digues ont subi d'importants dégâts allant de l'affaissement à l'effondrement. Par ailleurs, les différentes montées des eaux ont provoquées le recul de dunes de défense. Néanmoins, ces dégâts principalement matériels ont été relativement faibles par rapport à d'autres territoires de la côte atlantique. Ainsi, les travaux menés sur l'île lui ont permis de réduire au mieux l'intensité des dommages et plus encore, de s'adapter aux contraintes climatiques.

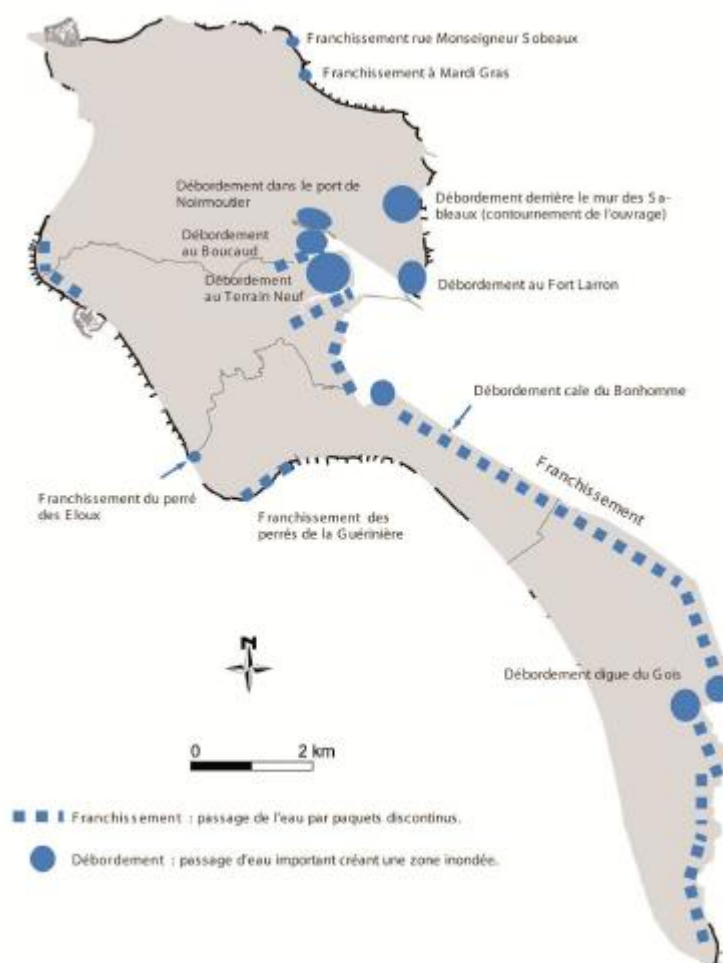


Figure 5: Débordements provoqués par la tempête Xynthia. - Source : Communauté de Commune de l'île de Noirmoutier

A noter que les montées des eaux anormales impactent la dimension sociale plus précisément la mobilité des personnes. Le fonctionnement du site peut être alors perturbé, se retrouver isolée et présenter plusieurs conséquences, c'est ce que l'on cherchera à montrer dans cette étude. Il est alors important de se demander si les infrastructures routières sont alors adaptées face à une submersion marine et ses conséquences sur la mobilité. Cette interrogation fait appel à la notion de vulnérabilité des déplacements. Quelles études ont été menées sur la vulnérabilité des territoires face au risque d'inondation?

De nombreux travaux notamment celle de Chevillot-Miot et Mercier montre l'intérêt d'analyser la vulnérabilité des communes littorales à travers une analyse statistique ACP (Analyse des correspondances multiples). Pour cela, sur les 120 communes identifiées, dont certaines communes insulaires, un degré de vulnérabilité a été opté en fonction de la typologie des communes (topographie, enjeux humains/foncier, historique des submersions marines, analyse du PPRI de chaque commune). Les résultats obtenus pour chaque commune ont permis de classer les territoires étudiés en fonction de leur degré de vulnérabilité en relation avec les 10 critères choisis.

D'autres études dont celle de Creach, Padro et Mercier montrent les conséquences des aménagements réalisés en zones exposées au risque de submersion marine. Les enjeux humains sont indéniables en cas de tels phénomènes naturels. L'étude montre l'importance du nombre de décès

survenus dans des constructions dans des bâtis dépourvus d'étage. L'auteur se penche alors sur la question de vulnérabilité humaine. La population y habitant se retrouve piégée en cas de submersion marine. Il note une corrélation entre le nombre de décès, l'augmentation de constructions en zone inondable et le nombre d'étage du bâti. Ces indicateurs combinés augmentent ainsi la vulnérabilité de la population. Antérieurement aux travaux conduits par l'auteur, des cartographies ont été réalisées pour localiser les constructions les plus dangereuses, donc la localisation des personnes les plus vulnérables.

2. ETAT DE L'ART DE LA VULNERABILITE D'UN TERRITOIRE

2.1. Travaux existants sur la connaissance de la vulnérabilité

Longtemps, les études ont été menées sur la notion d'aléas au détriment de la vulnérabilité. Néanmoins, on voit apparaître, ces dernières années, une tendance à analyser la vulnérabilité. Mais très peu d'études combinent à la fois les aléas et la vulnérabilité du territoire. Toutefois, des méthodes de mesure de vulnérabilité ont été menées. De nombreuses études émergent de plus en plus sur sa connaissance et son évaluation. Axel Creach, Provitolo Damienne et Samuel Rufat se sont notamment penchés sur cette connaissance de vulnérabilité.

L'étude de Provitolo Damienne évalue la vulnérabilité des automobilistes piégés par les crues-éclair méditerranéennes. Un modèle de catastrophe urbaine en cas d'inondation méditerranéenne est présenté ci-dessous. Il inclue les composants du risque (la vulnérabilité, l'aléa et les effets de dominos) en s'appuyant sur les populations et les flux de circulation. Ce modèle permet de déterminer les variables à modifier pour diminuer le nombre de personnes tuées lors des inondations. Les indicateurs choisis sont : « *la qualité de la prévision et de l'annonce de la crue, la perception du danger par la population, la qualité des réactions individuelles de la population, la qualité de l'intervention des secours et la capacité physique de résistance de la population* ».

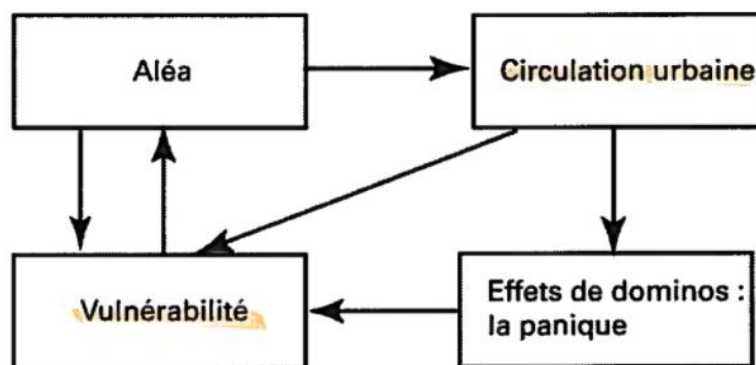


Figure 6: Première conceptualisation du modèle de l'inondation catastrophique

La revue scientifique « *l'estimation de la vulnérabilité urbaine, un outil pour la gestion du risque* » écrite par Samuel Rufat démontre comment une estimation de la vulnérabilité urbaine est possible et en quoi elle est un outil pour la gestion du risque. En effet, à travers le cas de l'agglomération lyonnaise et d'une distinction du risque et de la vulnérabilité, il est possible d'expliquer comment l'estimer. Plusieurs indicateurs sont donc nécessaires comme les aléas présents sur le territoire étudié et leur "portée" d'impact, le recensement de la population et les différentes catégories socio-professionnelles. La vulnérabilité est déterminée en fonction de la typologie de l'agglomération, c'est-à-dire selon les îlots urbains et leur concentration de population. Une fois définis, il est possible de transformer l'ensemble des données en cartographies. Ils font office de supports simples de compréhension et d'analyse afin d'estimer cette vulnérabilité. Ces représentations visuelles peuvent être une meilleure aide à la décision et de gestion en cas de crise.

Axel Creach dans sa récente étude « *Diagnostic préventif de la vulnérabilité des constructions résidentielles pour leurs occupants face au risque de submersion marine appliqué à l'île de Noirmoutier (Vendée, France)* » (Creach, 2017) a décidé de se pencher sur la question de la vulnérabilité humaine et souligne l'importance de décès survenus dans des constructions dépourvus d'étage. Il note une corrélation entre le nombre de décès, l'augmentation de constructions en zone inondable et le nombre d'étage du bâti. Il reprend alors une méthodologie développée par Creach sur l'indice de VIE¹³. Cet indice repose sur quatre critères de localisation et de configuration du bâti (dont le rôle dans la construction de la vulnérabilité a été auparavant démontré par Vinet) :

- La hauteur d'eau potentielle
- La distance des constructions aux ouvrages de protection
- L'architecture des constructions (c'est-à-dire le nombre d'étage ainsi que l'ancienneté du bâti)
- Leur proximité aux zones de refuges

Pour chaque critère et après quelques pondérations, une note de 0 (non vulnérable) à 4 (très vulnérables) a alors été affectée à chaque bâtiment qui a ensuite été classé par un dégradé de couleur selon leur degré de vulnérabilité. Une validation statistique a permis de confirmer la robustesse de l'indice. « *Les résultats ont également été confrontés avec les retours d'expérience de la tempête Xynthia et ont montré une grande cohérence entre les constructions identifiées en noir par l'indice et les constructions où des décès avaient effectivement été enregistrés lors de l'événement* »¹⁴. Cet indice, à travers une cartographie, permet ensuite de détecter rapidement les habitations représentant un haut niveau de danger et est un outil d'aide à la décision pour les politiques publiques. Creach propose ensuite plusieurs alternatives qui passent de la démolition des bâtiments les plus en danger ou à la construction d'étages supplémentaires.

¹³ VIE : Vulnérabilité Intrinsèque Extrême

¹⁴ Creach et al. 2015

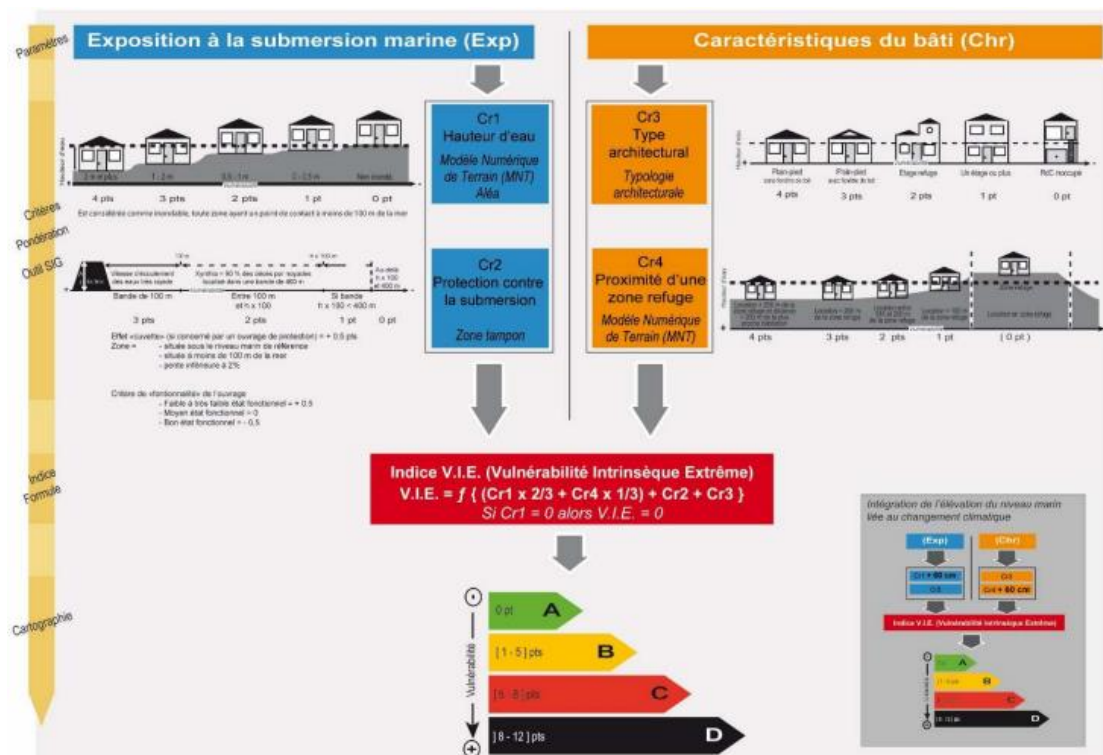


Figure 7: Méthodologie de l'indice V.I.E., présentant les critères retenus et leur définition et leur pondération (Source : Creach et al. 2015a)

Parmi les démarches de ces méthodes d'évaluation, nombreuses sont dédiées entièrement à la vulnérabilité humaine face à des risques par différentes approches et critères. Il est alors difficile de déterminer une vulnérabilité globale. La majorité des études se concentre sur une vulnérabilité sectorielle, avec la prise en compte d'une seule thématique (humaines, des biens, du réseau routier, de communication, de flux etc..).

2.2. Formulation de la problématique et des hypothèses

Très peu d'études sont portées sur la vulnérabilité des réseaux urbains alors qu'ils sont des parties inhérentes et intégrantes du fonctionnement d'un territoire. Leurs dommages impactent considérablement les flux de personnes, de matières, d'énergies ou de biens.

Le réseau urbain représente alors une vulnérabilité pour les territoires. Le réseau routier est le support physique permettant les échanges et activités pour le fonctionnement du territoire. Des personnes et des biens circulent constamment sur le réseau routier d'une origine à une destination. En cas d'événement naturel tel qu'une submersion marine, une partie du réseau peut se retrouver inondée et impraticable. Le réseau ne satisfait plus alors la demande de transport et donc ne permet plus la circulation optimum. Des secteurs géographiques peuvent alors être isolé durant plusieurs heures, empêchant tout flux de circuler notamment les flux de déplacement pendulaires. Ces derniers représentent une vulnérabilité d'autant plus intéressante puisqu'elle impacte indirectement et socio économiquement un territoire voire même à plus grande échelle, un département.

Dans l'optique de répondre à notre objectif, il est alors logique de prendre en compte les coupures de routes comme l'une des caractéristiques de l'accessibilité. Plus les coupures de routes couvrent le réseau routier, plus un territoire est vulnérable. Ces coupures de routes ont des conséquences directes sur l'accessibilité. Et donc plus l'accessibilité sur un réseau routier est faible plus la vulnérabilité du territoire est élevée.

Un tel risque peut suspendre les activités économiques durant de longues durées. La population qu'elle soit locale ou non ne peuvent s'y rendre, revenir à leur lieu de résidence ou se déplacer d'autant plus si le territoire se retrouve totalement isolé. Il est alors question de la difficulté de se déplacer pour la population. Dans certains cas, le chemin le plus court n'est plus alors envisagé nécessitant une déviation. Et pourtant, les études consacrées à la vulnérabilité du territoire n'utilisent peu voire en aucun cas l'accessibilité comme critère de vulnérabilité.

Nous avons alors cherché à connaître l'impact d'une submersion marine sur les migrations pendulaires. En outre, cela revient à identifier les flux de déplacement les plus réalistes possibles ainsi que les itinéraires les plus probables en fonction du réseau topologique pré et post submersion marine. Lors d'une catastrophe naturelle telle qu'une submersion marine, le réseau routier va augmenter la vulnérabilité du territoire du fait de la perte d'accessibilité.

Ce travail se focalise uniquement sur les déplacements domicile-travail malgré qu'ils représentent en moyenne un peu moins de la moitié des déplacements quotidiens totaux selon l'ATU37. Les déplacements liés à l'emploi permettent d'évaluer les conséquences économiques sur le territoire, néanmoins ils ne feront pas objet dans cette étude. Cette dernière se concentre sur les difficultés rencontrées lors des déplacements et auront probablement une répercussion sur l'économie territoriale.

2.3. L'apport au champ de la recherche

La vulnérabilité indirecte est souvent une des notions oubliées par la plupart des acteurs de la gestion de crise. En effet, les politiques locales ont pour habitude de se concentrer sur les enjeux directs à travers notamment le DICRIM. Cette notion de vulnérabilité indirecte qui ne laisse percevoir directement le danger, comparé à une vulnérabilité directe comportant des enjeux humains forts, peut, cependant, engendrer des conséquences socio-économiques importantes sur une commune, voire même un espace de plus grande échelle. C'est pourquoi, et au vu des faibles recherches sur le sujet, il a été décidé de prendre l'accessibilité, notamment à travers le réseau de transport routier, comme indicateur de la vulnérabilité (indirecte) face au risque de submersion marine.

L'intérêt d'une évaluation de vulnérabilité du territoire est de prévoir les déplacements et les temps d'accessibilité en cas de phénomène de submersion marine. Une telle évaluation permet d'élaborer des pistes d'actions envisageables tant sur le plan préventif que sur l'évacuation pré et post-événement. A long terme, l'idée est de diminuer la vulnérabilité du territoire, réduisant les perturbations socio-économiques occasionnées sur les territoires d'autant plus insulaires :

- Réflexion sur l'infrastructure routiers et ouvrages de protection
- Permission de construire en zone inondables (habitation, entreprises)

3. METHODE POUR MODELISER LES SCENARIOS

3.1. Techniques de collecte de données

Le sujet est d'évaluer l'impact d'une submersion marine sur les déplacements domicile-travail. Comment estimer le problème de coupures de routes de l'aléa pour une meilleure évacuation de la population ?

- Les connaissances des flux sont nécessaires
 - Les données de Mirabelle de l'Insee¹⁵ (issues d'observations sur le terrain et de comptage)
 - Des calculs de flux domicile travail probables. Modèle statique à 4 étapes
 - P_i : population active dans chaque commune de départ (données Insee)
 - M_j ou P_j : nombre d'emplois dans chaque commune d'arrivée (données Insee)

Ces données permettent de calculer les flux probables en fonction du potentiel d'attractivité de la commune d'arrivée.

- Pour construire le réseau topologique avant submersion marine
 - BD TOPO IGN : Réseau routier (pour calculer les vitesses, temps de parcours (minute= [longueur du tronçon]*60/ (1000*[vitesse]) et le sens de circulation)
- Pour affecter les flux sur le réseau routier avant submersion marine
 - Flux
 - Réseau topologique
 - BD TOPO IGN : limites communales
- Pour construire le réseau topologique après submersion marine
 - BD TOPO IGN : Réseau routier (pour calculer les vitesses, temps de parcours et sens de circulation, hauteur des tronçons routiers)
 - Aléa de submersion marine (hauteur d'eau pour chaque type d'aléa)
- Pour affecter les flux sur le réseau routier après submersion marine (après coupure de routes)
 - Flux
 - Réseau topologique après submersion marine

¹⁵ INSEE : L'Institut national de la statistique et des études économiques

Légende :

Commentaire

Hypothèses de calcul

Limite de la démarche

Donnée existante sur la submersion marine

Donnée existante sur les flux domicile-travail

Donnée existante sur le réseau routier

Donnée calculée sur le réseau post-submersion marine

Donnée calculée sur le réseau post-submersion marine

Géotraitement SIG

Haïti Ilies / Mtoufy Sana

2017/2018

Evaluation de la vulnérabilité indirecte sur l'île de Noirmoutier :

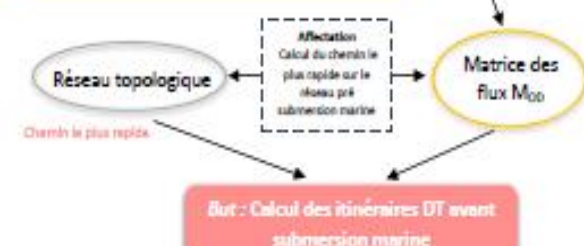
- Impact des inondations sur la mobilité domicile-travail
- Impact des inondations sur les itinéraires minimaux : vulnérabilités directe et indirecte des infrastructures (coupures de routes et accessibilité du réseau routier)

Scénario 1 : Situation pré submersion marine

Etape 1 : Détermination des flux F_{DT}



Etape 2 : Affectation des flux F_{DT}



Scénario 2 : Situation actuelle post submersion marine

Etape 1 : Identification du nouveau réseau routier – Connaître les routes praticables

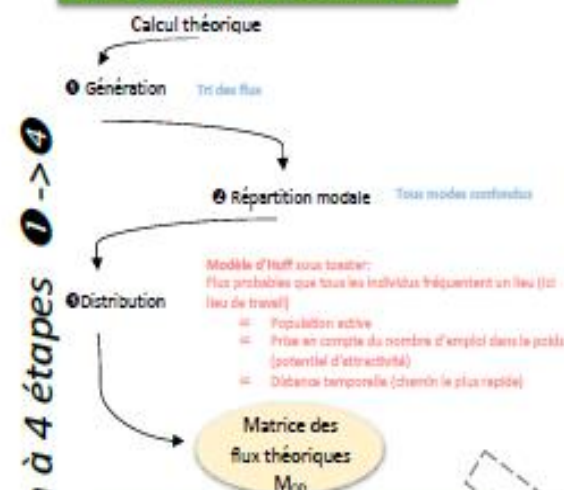


Etape 2 : Affectation des flux F_{DT} sur le nouveau réseau routier



Scénario 3 : Situation prévisionnelle post submersion marine

Etape 1 : Calcul des flux prévisionnels F_{DT}



Etape 2 : Affectation des flux F_{DT} sur le nouveau réseau routier



Modélisation à 4 étapes 1 -> 4

3.2. Mesure de la vulnérabilité des flux domicile-travail

Après avoir formalisé et contextualisé notre problématique, qui n'est autre que la mesure de la vulnérabilité indirecte à travers l'accessibilité, il vient de suite de décrire le raisonnement de la démarche pour l'évaluer. Pour rendre compte des conséquences d'une submersion marine en termes d'accessibilité, des simulations sont réalisées. Découlent de ces modélisations, l'analyse spatiale de trois situations:

- La première correspond aux flux de personnes affectés sur le réseau routier avant submersion marine.
- La deuxième situation prend en compte l'apparition d'une submersion marine.
- La troisième envisage l'hypothèse de l'avènement d'une submersion marine à l'horizon 2030 dont les flux ont été modifiés.

3.2.1. Modèle statique à quatre étapes

Sachant que la submersion marine est un événement de court-terme, comment et par quels itinéraires la population est amenée à se déplacer actuellement et à l'avenir ? Pour évaluer cette vulnérabilité du territoire, nous avons alors établi une méthodologie basée sur divers modèles mathématiques, d'outils tels que le système d'information géographique et d'hypothèses. Pour cela, il est utilisé un modèle de simulation de déplacements pour examiner l'offre et la demande de transport.

Très souvent utilisé par les bureaux d'études et les CETE¹⁶ tant sur l'évaluation que sur la projection de trafic, le modèle à quatre étapes est un schéma visant l'étude des flux dans le domaine des transports. Il est composé en différentes phases successives. La « génération » est la première étape du modèle et détermine les pratiques de mobilité. Ces dernières dépendent de plusieurs facteurs. La situation personnelle influe sur la mobilité et fluctue d'un individu à un autre. En effet, le secteur de résidence (urbain, périurbain ou rural), le statut (actif, inactif, étudiant, etc ...), le mode de transport (disposition d'une voiture particulière, véhicules motorisés à 2 roues, etc...), et autres telles que les revenus, situation familiales pour ne citer qu'eux vont conditionner les pratiques de mobilité de chaque individu. La mobilité dépend de la fréquence et des horaires de déplacements liés aux activités de l'individu.

L'individu a à sa disposition une offre de transport qui se différent selon les territoires. Le « choix mode de transport » conditionne le déplacement et sera privilégié d'un autre selon différents critères : distance à parcourir, temps de trajets, facilité de stationner, fréquence et offre du réseau de transport collectif, confort, contraintes, déplacement cumulés. Dans le cas des déplacements domicile-travail sur le territoire d'étude, la voiture est le principal mode de transport, en effet, « 70 % des actifs de France métropolitaine utilisent leur voiture pour aller travailler »¹⁷.

Les déplacements s'effectuent entre une origine et une destination et ce pour différents motifs, cette troisième étape est appelé « distribution selon les motifs de déplacements ». Ils peuvent être à destination contrainte (travail, étude, accompagnement, santé) ou choisie (achats, loisirs etc...).

¹⁶ Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement

¹⁷ Source Etude Insee "La distance séparant le domicile du lieu de travail ne cesse de s'agrandir"

Ces motifs vont être alors des sources d'attractivité pour les territoires. La destination est aussi conditionnée par les itinéraires (rapidité, coût, distance etc...).

Il a été pris parti d'utiliser les motifs de déplacements domicile-travail. En effet, l'étude menée par Garnier et Surville sur « *La tempête Xynthia face à l'histoire. Submersions et tsunamis sur les littoraux français du Moyen Age à nos jours* » (2010) nous montre la récurrence de la submersion marine. La côte atlantique a été touchée à plusieurs reprises par ce phénomène depuis le XX^{ème} siècle comme le retrace le tableau ci-dessous.

Date de l'événement	Conditions naturelles (hauteur d'eau, surcote, vents...)	Principales conséquences
9 janvier 1924	Hauteur d'eau : 6,23 m à La Rochelle Coefficient de marée : 100 Barométrie : 973 hPa	Routes coupées, caves et maisons inondées aux Boucholers, des ruptures de digues à Châtelailon-plage et sur la pointe de l'Aiguillon
16 novembre 1940	Hauteur d'eau : 5,91 m à La Rochelle Coefficient de marée : 91 Barométrie : 983 hPa Vitesses des vents : 120 km/h	Dégâts à Châtelailon-plage, Fouras, 20 brèches dans les digues de l'île de Ré (surtout aux portes), submersion entre Esnandes et Charron, rupture de digue à l'Aiguillon
15 février 1957	Hauteur d'eau : 6,65 m à La Rochelle Coefficient de marée : 115 Vitesses des vents : 150 km/h	Les communes les plus touchées : Esnandes, Charron, Châtelailon-Plage ; multiples brèches dans les digues
28 février 2010	Hauteur d'eau : 4,5 m à La Rochelle Coefficient de marée : 102 Vitesse des vents : 130 km/h	La Faute-sur-Mer, Charron, Châtelailon-plage, île de Ré, brèches et ruptures de digues

Tableau 1: Submersions marines sur les littoraux charentais et vendéens au cours du XX^{ème} siècle – Source : Freddy Vinet

L'étude montre que les mois de janvier, février, et novembre sont des périodes durant lesquelles la probabilité qu'une submersion marine survienne sont les plus forts, raison pour laquelle il a été décidé d'écarter les flux touristiques malgré leur importance au sein de l'île de Noirmoutier. Ce phénomène se manifeste donc principalement hors saison estivale. Cette hypothèse se confirme par les récents événements climatiques (vents violents, fortes pluies etc...) touchant actuellement la France lors de la rédaction de ce rapport (Décembre 2017 et Janvier 2018). Bien que l'île voit son nombre de population augmenter fortement durant la saison estivale, les flux touristiques sont donc à exclure. Durant ces mois, la population se déplace quotidiennement pour se rendre dans un lieu.

Un territoire va émettre ou attirer des déplacements, ainsi jouant le rôle de générateurs de déplacements. Les potentiels d'attraction des zones sont alors à déterminer. L'idée est que plus une commune est peuplée, plus ses potentiels d'attractivité y seront importants. L'étude de ce travail se concentrera sur une partie de la mobilité quotidienne : les flux domicile-travail. L'activité professionnelle influe sur le quotidien, la répartition temporelle et spatiale des déplacements de chaque actif. Pour estimer ces flux, l'hypothèse émise est la corrélation entre l'importance du nombre de la population et le nombre d'emplois. Ces données peuvent alors mesurer le potentiel d'attractivité en termes d'emploi.

Les déplacements domicile-travail représentent une partie de la mobilité quotidienne, ils restent cependant inférieurs à la majorité des déplacements quotidiens totaux. En effet, des études ont montré que la part des flux domicile-travail tend à s'amoinrir ces dernières années. L'étude « Questions Mobilité n°8 » réalisée par l'Agence d'Urbanisme de l'Agglomération de Tours (ATU37) explique que « *même si la part des déplacements domicile-travail a diminué au cours de la dernière décennie (ils ne représentent plus qu'au maximum le tiers de l'ensemble des déplacements. Jusqu'à dans les années 90, ils comptaient au moins pour la moitié), ils forment le « noyau » de la mobilité*

sur un territoire.” Ces déplacements liés au travail représentent actuellement dans l’agglomération tourangelle, par exemple, près d’un quart de la mobilité quotidienne tous modes et motifs confondus. A ordre d’idée, les flux quotidiens peuvent donc être estimés à quatre fois supérieures à ceux des domicile-travail.

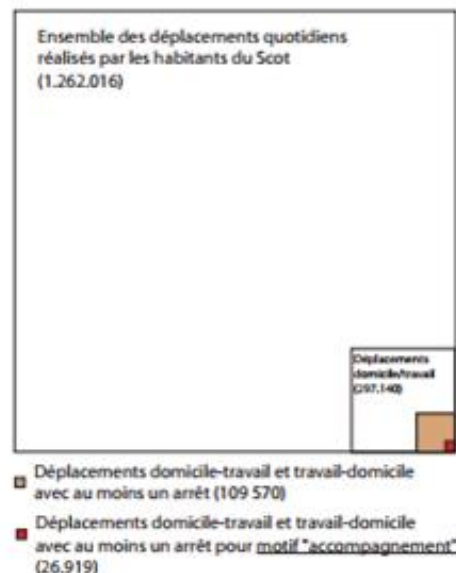


Figure 8 : Part des déplacements Domicile Travail par rapport au déplacement quotidiens (Source : ATU37)

Cette tendance de changements de comportements de la population active est liée en partie par la ventilation des tranches horaires et l'aplatissement des pics d'heures de pointes. Les flux pendulaires peuvent établir une base de réflexion et d'analyse dans l'estimation des flux quotidiens, ou encore remplacés par d'autres flux aux motifs différents (achats, loisirs, études, santé etc...).

Le modèle à quatre étapes se termine par « l'affectation », étape visant à estimer la charge sur chaque arc du réseau en fonction du choix du mode de transport.

3.2.2. Détermination des flux quotidiens en provenance et en destinations de la Communauté de l'île de Noirmoutier

La modélisation des scénarios nécessite l'appropriation des flux quotidiens de la population partante ou se rendant à la Communauté de Communes de l'île de Noirmoutier. Selon le scénario, la quête des flux différera. Dans un autre temps, il est nécessaire de calculer les itinéraires minimaux expliqués dans l'étape de l'affectation. Par exemple, les communes de la presqu'île seront émettrices et réceptrices de flux. La modélisation des trois scénarios s'achèvera par l'affectation des flux de personnes.

Les flux peuvent exister et donc provenir de données Mirabelle, issue d'une base d'informations à l'échelle nationale. Les données Mirabelle sont élaborées par l'Insee. Elles représentent des flux actuels entrants et sortants d'un territoire selon les motifs de déplacement domicile-travail. L'idée dans cette partie est d'extraire tous les déplacements en provenance et à destination de l'île. Ces flux sélectionnés auront le format de matrice (les lignes représentent les communes d'origine et les colonnes celles de destinations).

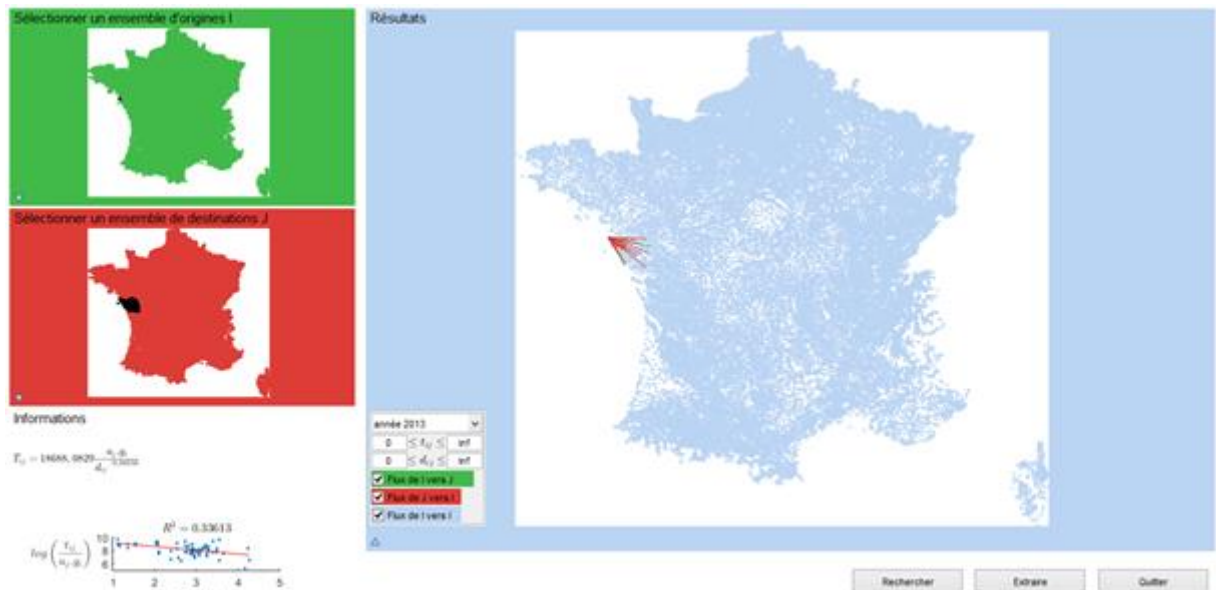


Figure 9: Extraction des données Mirabelle

Code INSEE (origine)	Code INSEE (destination)	Flux
85163 Noirmoutier en île	85106	37.87
85011 Barbâtre	85011	1581.46
85083 L'Epine	85012	129.10
85106 La Guérinière	85018	96.82
	85047	96.82
	85083	516.39
	85106	774.59
	85163	1290.99
	85164	32.27
...	...	...
85280	85083	32.00
85280	85106	32.00
85280	85163	128.00
85284	85011	63.61

Tableau 2 : Matrice couple origine-destination en provenance et en destination de l'île de Noirmoutier

De ce fait, seront créés des couples origines-destinations et seront affectés sur le réseau topologique.

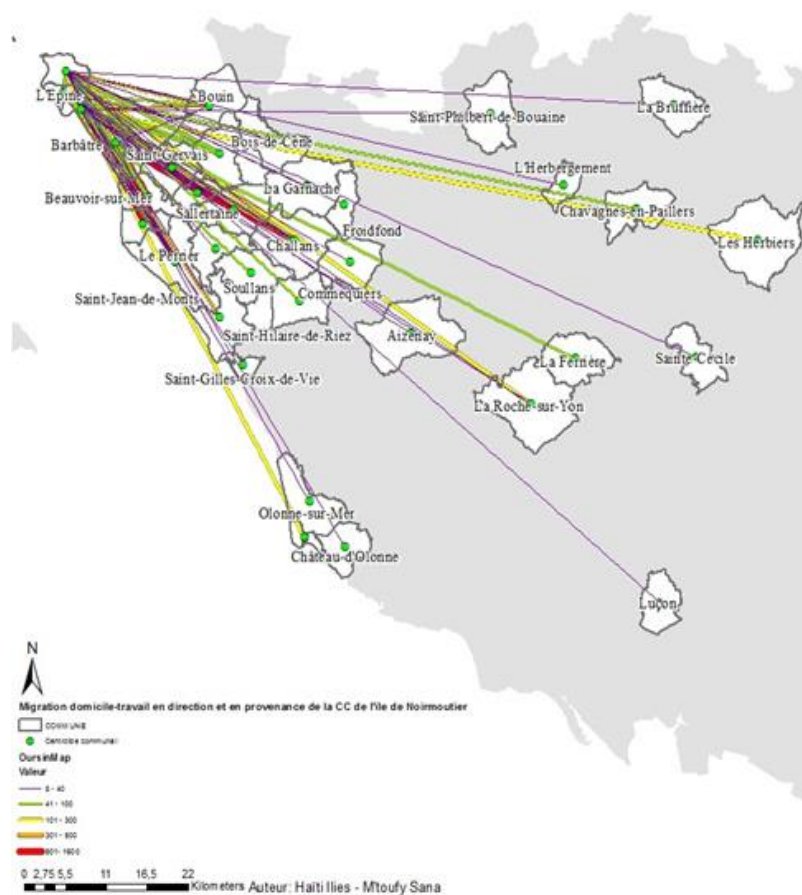


Figure 10 : Oursins représentant les flux domicile-travail avant l'étape de l'affectation sur le réseau topologique

Dans le cas d'estimation de flux effectifs à l'horizon 2030, les données sont inexistantes. L'hypothèse émise est qu'il y ait une modification des flux domicile-travail entre 2014 et 2030. Il vient alors la production de données grâce à des modèles théoriques (modélisation à 4 étapes).

- **Choix du modèle de Huff**

Différents modèles d'interactions spatiales existent pour prévoir des flux entre objets. Ces flux décroissent avec la distance. Les flux observés ont servi de base de réflexion pour aboutir à des modèles mathématiques permettant de les déterminer. Le raisonnement repose sur des lois gravitationnelles. Les modèles fondés sur ces lois calculent l'intensité ou volume d'interaction/ forces exercées par deux masses, comme le modèle de Newton. Ces modèles gravitaires ont longtemps fait objet d'étude pour calculer les flux effectifs entre des territoires. Mais les territoires n'exercent pas des interactions de même volume. Alors que les modèles de Reilly ou encore de Huff se fondent sur l'attractivité relative (Huff) ou maximale (Reilly) d'un lieu et donc l'interaction territoriale économique. Ces interactions vont être affaiblies selon un coût de déplacement (distance kilométrique, distance temporelle et coût financiers). Ces modèles calculent la probabilité qu'un individu situé en un point i aille fréquenter un site j . Il a été fait le choix de prendre en compte non pas l'attractivité maximale mais plutôt relative (au nombre d'emploi). Par analogie et transposition des zones de chalandises du modèle de Huff, l'idée est de calculer la probabilité qu'un actif situé dans sa commune de résidence

de se rendre à un lieu de travail. Cette probabilité dépend de plusieurs paramètres que sont l'attractivité du lieu de travail et l'éloignement (la distance entre les lieux de résidence et de travail). Entre les deux scénarios, le motif de déplacement est le même : domicile-travail.

L'hypothèse émet qu'il y existe une certaine corrélation entre la population active ayant un emploi et le nombre d'emplois. Les communes localisées en j (lieu de travail) vont attirer des actifs présents en i (lieu de résidence). Le nombre d'emplois représente alors le poids ou la masse d'attractivité. L'attraction des actifs dépend peu de l'éloignement (distance kilométrique). L'idée est que cette distance freine peu les déplacements domicile-travail car ce sont des déplacements contraints et non choisis comme pour les achats ou les loisirs par exemple.

La difficulté résulte dans la méconnaissance des données d'entrées. En effet, le nombre d'emplois et de population active en 2030 restent à être prédit. L'Omphale émet la conjecture que la population active en 2030 évoluera de + 11.12 % dans la région du Pays de la Loire, comme l'indique le tableau ci-dessous.

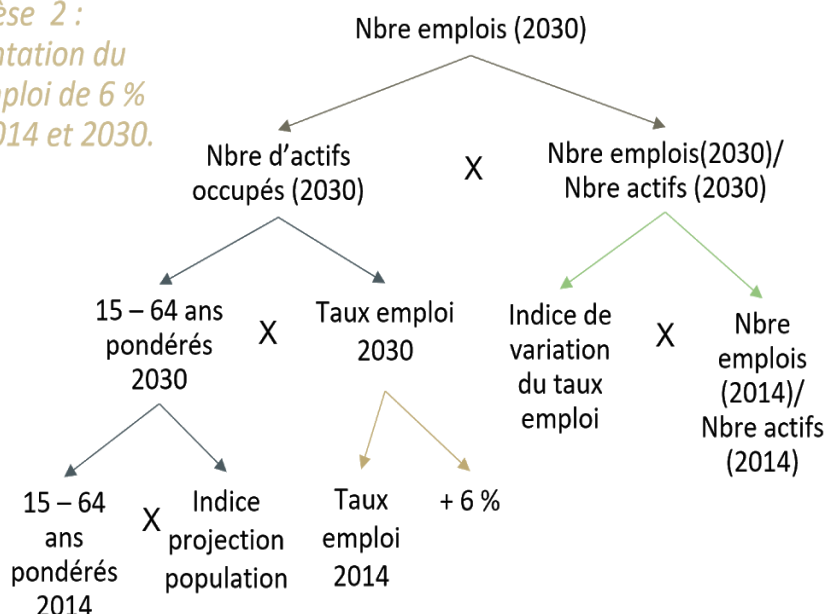
Région	Évolution par région de la population active entre 2014 et 2030
Franche-Comté	2,23
Alsace	2,58
Centre	2,68
Limousin	2,86
Île-de-France	6,01
Provence - Alpes - Côte d'Azur	8,88
Corse	10,17
Bretagne	10,54
Pays de la Loire	11,12
Aquitaine	11,42
Rhône-Alpes	12,02
Languedoc-Roussillon	15,79

Tableau 3 Evolution de la population active par région entre 2014 et 2030

Cependant, cette hypothèse ne suffit pas pour estimer son évolution. L'évolution de la population active peut être différente au sein de la région. Des communes peuvent voir leur nombre d'actifs diminué tandis que d'autres augmenté. Il ne serait pas alors judicieux d'appliquer ce pourcentage à l'ensemble de la région puisque cela engendrait une augmentation ou une diminution proportionnelle aux données déjà existantes. Les estimations doivent être déterminées en fonction des

communes. C'est pourquoi une autre méthode bien plus adéquate sera établie afin d'estimer le nombre d'emplois et d'actifs sur le territoire.

*Hypothèse 2 :
Augmentation du
taux emploi de 6 %
entre 2014 et 2030.*



Hypothèse 1 : L'emploi ou la population tend à se concentrer dans les centres urbains. L'idée est de les légèrement augmenter jusqu'à 1.05 dans l'urbain dense, tandis que nous l'avons fait baisser dans le rural à 0.95.

Figure 11: Raisonnement des étapes du calcul du nombre d'emplois probables en 2030

Avec l'hypothèse 1, le territoire du département de la Vendée se déclinera entre zones urbaines, périurbaines, rurales. Le coefficient multipliant le rapport nombre d'emplois (2014) / nombre d'actifs (2014) sera donc compris entre 0,95 et 1,05. Le même raisonnement sera appliqué pour la variation de population. Ainsi, un poids individuel sera établi pour chaque zone. Le taux d'emploi et la population sera différent selon les zones par des indices :

Classification des zones	Indice attribué pour projection des 15 - 64 ans 2030	Indice attribué pour variation du taux emploi 2030 (rapport emploi/actif entre 2014 et 2030)
Littoral	0.95	0.95
Espace rural	1.00	0.95
Urbain dense	1.05	1.05
Périurbain dense	1.00	1.00
Périurbain éloigné	0.95	1.00
Pôle secondaire	1.00	1.00

Tableau 4 : Indices attribués pour les projections de population et du taux d'emploi en 2030

La classification des zones dépend de plusieurs paramètres. Dans cette étude, les communes ont été classées dans les zones (littoral, espace rural, urbain dense, périurbain dense, périurbain éloigné

et pôle secondaire) en fonction de la densité de population. Par exemple, une commune de plus de 8 452 habitants âgés entre 15 et 64 ans est alors considérée comme de l'urbain dense. Cependant, cette classification est relative à l'échelle choisie (départementale pour notre cas). Une étude sur la région Pays de la Loire ne prendrait la commune de la Roche-sur-Yon comme de l'urbain dense comparé par exemple aux autres villes telles que Nantes, Angers ou bien Le Mans.

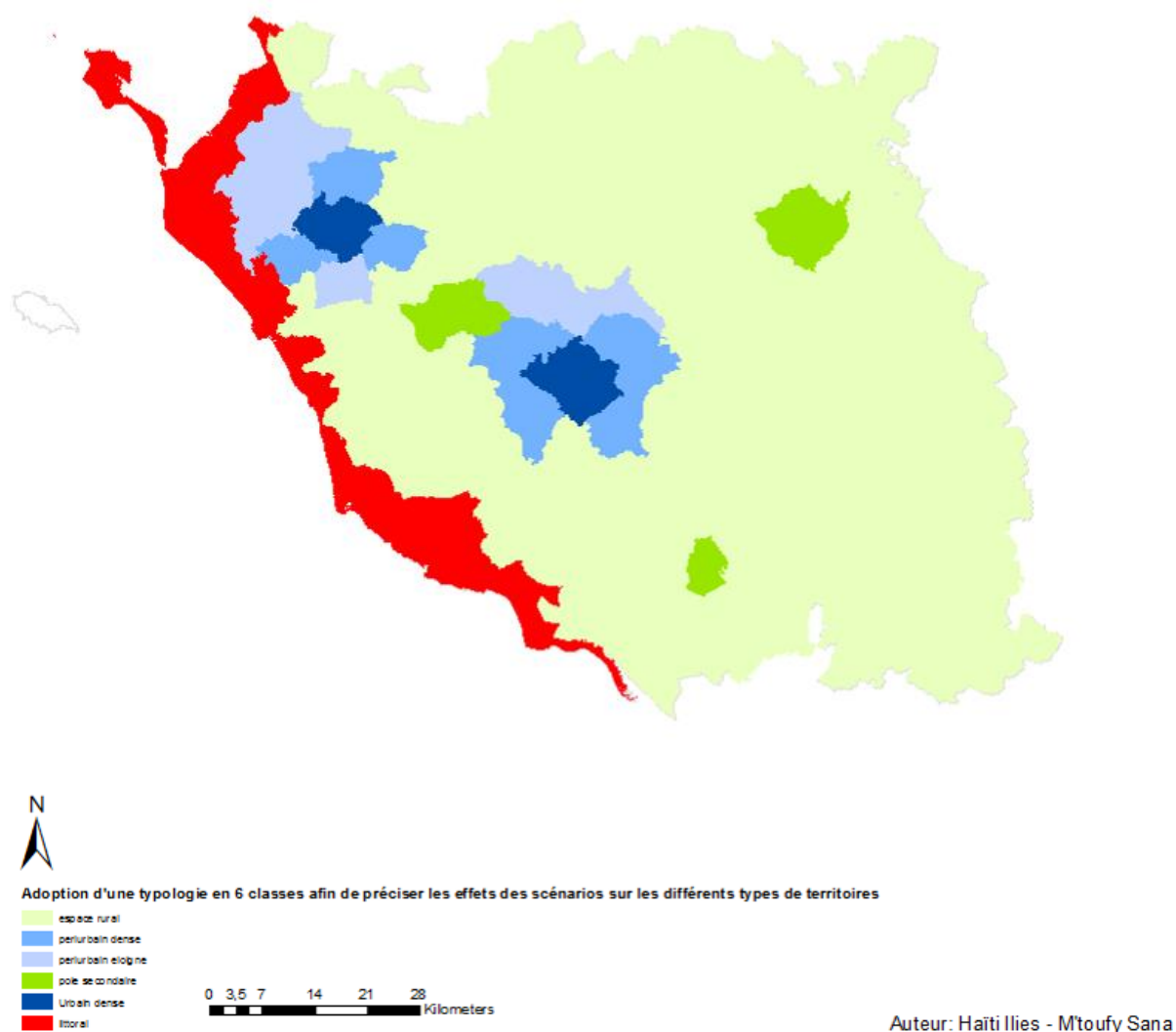


Figure 12 : Découpage du département de la Vendée en zones selon les projections Omphale

Découlent de tout cela, le tableau avec les données finales de 2030 que sont les nombres d'emploi et d'actifs occupés.

Taux d'emploi ajusté en 2030

15 – 64 ans pondérés selon la commune

Taux emploi 2014 (rapport emploi 2014/ actifs 2014)	Taux d'emploi 2030 (hypothèse +6% selon Omphale entre 2014 et 2030)	Classification (indice de population basé sur l'omphale)	Classification (indice de population basé sur l'omphale)	Classification (indice de variation du taux d'emploi du CGPC)	15-64 ans pondérés 2030 (selon indice de population)	Actifs occ 2030 (15-64 ans pondérés 2030 * taux emploi 2030)	Rapport emploi 2030/actifs 2030 (selon indice de variation du taux d'emploi)	Emplois 2030 (actifs occ 2030 * rapport emploi / actifs 2030)
117,42	123,42	espace rural	1,00	0,95	936,11	1155,34	1,115	1288,765397
47,94	53,94	espace rural	1,00	0,95	1062,76	573,27	0,455	261,0937212
81,66	87,66	pôle secondaire	1,00	1,00	5626,13	4931,94	0,817	4027,486084
61,61	67,61	espace rural	1,00	0,95	1350,00	912,67	0,585	534,1434999
134,29	140,29	espace rural	1,00	0,95	640,66	898,76	1,276	1146,583793
58,66	62,66	espace rural	1,00	0,95	1092,59	686,84	0,540	371,0357912
34,35	40,35	périurbaine dense	1,00	1,00	3897,01	1572,26	0,343	539,994295
14,45	20,45	espace rural	1,00	0,95	396,67	81,11	0,137	11,33216511
40,77	46,77	espace rural	1,00	0,95	743,02	347,53	0,387	134,6098658
43,04	49,04	littoral	0,95	0,95	901,56	442,09	0,409	180,7437435
62,08	68,08	littoral	0,95	0,95	1137,76	774,53	0,590	456,7516827
38,59	42,59	espace rural	1,00	0,95	847,03	360,75	0,348	125,3970962

Littoral	0.95	0.95	Estimation nombre d'actifs en 2030	Estimation nombre d'emplois en 2030
Espace rural	1.00	0.95		
Urbain dense	1.05	1.05		
Périurbain dense	1.00	1.00		
Périurbain éloigné	0.95	1.00		
Pôle secondaire	1.00	1.00		

Tableau 5 : Raisonnement de la détermination des nombres d'emplois et actifs en 2030

- **Formalisation sous Toaster®**

Le système ci-dessous permet de modéliser les flux probables par le modèle de Huff. Ces flux correspondent à la variable t_{ij} .

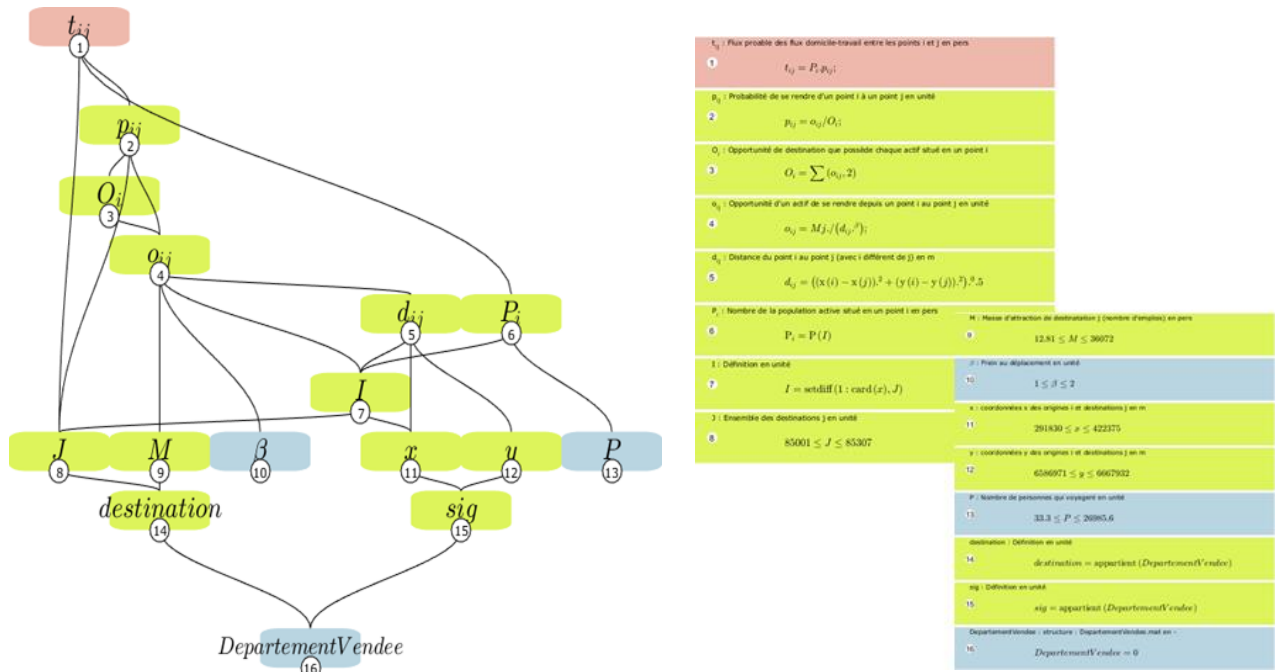


Figure 13 : Présentation du modèle de Huff sous le logiciel Toaster®

Les flux dépendent des variables d'entrées : P , x , y , J , M , et β . Les variables x et y représentent les coordonnées des centroïdes des communes issues du système d'information géographique (SIG). Elles permettent de calculer la distance D_{ij} à vol d'oiseau (dans ce cas c'est une distance euclidienne car elle utilise des coordonnées SIG en mètre contrairement au GPS utilisant les coordonnées en degré et donc fait référence à des distances haversiennes). Les résultats des hypothèses selon chaque commune décrite précédemment (nombre d'actifs et nombre d'emplois) sont ainsi intégrés dans ce modèle afin d'appliquer des poids différents. L'exposant β reste à fixer selon notre calage.

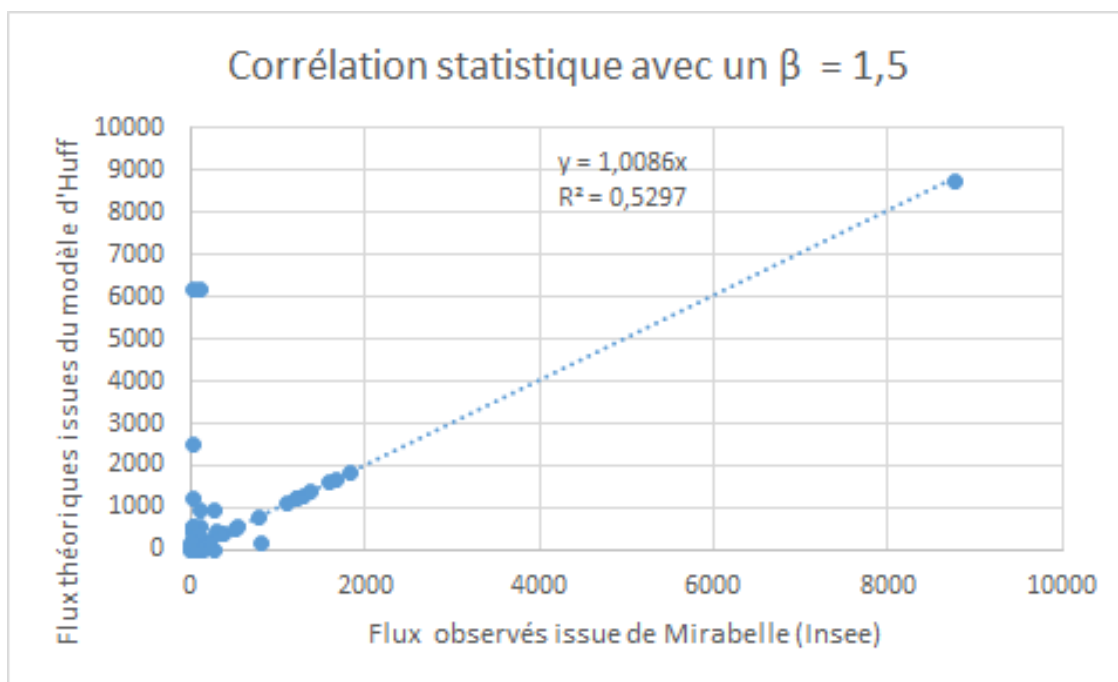
• Calage des flux observés sur les flux théoriques de 2014

Cette partie vise à déterminer la valeur de l'exposant β permettant de croître ou décroître les flux avec la distance. Pour cela, il est intéressant de caler notre modèle de manière à ce qu'il se rapproche des flux observés des plus récentes données, c'est-à-dire de l'année 2014. Autrement dit, le calage vise à amoindrir au mieux les résidus entre la situation calculée et la situation réelle. Plus cet exposant est élevé plus la distance représente un frein au déplacement.

Il est attendu à ce que l'exposant avoisine la valeur de 1 puisque ce sont des déplacements contraints contrairement à ceux choisis. Afin de trouver la valeur du β de manière à ce que notre modèle se rapproche le plus possible à la réalité, l'objectif est alors de confronter les valeurs théoriques (sur l'axe des abscisses, obtenue grâce au modèle de Huff) aux valeurs observées (sur l'axe des ordonnées, obtenue suite aux données de l'INSEE) sur une même année.

Un ajustement par traitement statistique devra ensuite être mené en faisant varier la variable du frein β permettant de choisir, par la suite, la valeur du coefficient de détermination R^2 se rapprochant le plus possible de 1 (qualité de la prédiction d'une régression linéaire). Une fois la valeur

du frein au déplacement trouvée, elle sera ensuite utilisée dans le modèle de Huff pour calculer la matrice des flux DT prévisionnels en 2030.



Trouver le meilleur R^2 afin que le modèle se rapproche au mieux de la réalité.

β	0,5	1	1,5	2	2,5
R^2	0,43	0,31	0,52	0,39	0,32
R	0,65574385	0,55677644	0,72111026	0,6244998	0,56568542

Figure 14 : Graphique permettant de déterminer la valeur du frein au déplacement. Voir tableau des données en **Annexe 1 : Données de flux observés (Mirabelle) et théoriques (Huff)**

Par application avec les valeurs théoriques et observées, il a été déterminé la valeur du β en fonction du R^2 le plus proche de 1. Pour une meilleure précision de β , il serait préférable de le varier non pas au pas de 0,5 mais plutôt à 0,1. Néanmoins, le frein au déplacement rapprochant au maximum les flux observés et théoriques avoisine un β de 1,5 soit un R^2 de 0,52. Cette valeur permet d'estimer les flux prévisionnels et sera donc entrer dans la variable « frein de déplacement » du modèle prévisionnelle de Huff afin d'estimer les flux 2030.

Cette modélisation représente quelques limites. Nous tenons à signaler que les valeurs prévisionnelles ne peuvent faire office de données fiables à viser d'interprétation ou d'analyse. Ces données sont issues d'une modélisation de Huff présentée ci-dessus, leur véracité doit prendre en compte un ajustement des paramètres tels que les nombres d'emplois et d'actifs.

3.2.3. Affectation des flux quotidiens sur le réseau routier sous SIG

Les données des flux en matrice origine-destination observés et effectifs vont permettre de les affecter sur le réseau topologique. A savoir que ces flux quantifient le nombre de personnes et non en nombre de véhicules. Selon l'estimation des circulations de l'Enquête Nationale Transports réalisé par Sétra, le taux d'occupation d'un véhicule avoisine de 1,1 personne par voiture pour se rendre à son lieu de travail. Autrement dit, « l'immense majorité des conducteurs sont seuls dans le véhicule lors des déplacements quotidiens domicile-travail ». Les simulations d'affectations permettent de comparer spatialement et statistiquement les itinéraires empruntés selon les différents scénarios. Ces itinéraires seront mesurés à partir de l'algorithme de Dijkstra, permettant de résoudre le problème du plus court chemin pour se rendre d'un objet spatial (ville, département, région, ...) à un autre à travers le réseau routier. Des cartographies, pour une meilleure compréhension, seront réalisées sur le département de la Vendée pour mieux visualiser les simulations.

- **Réseau topologique pré-submersion marine**

Le raisonnement concernant la réalisation du réseau topologique est décrit sur le schéma ci-dessous :

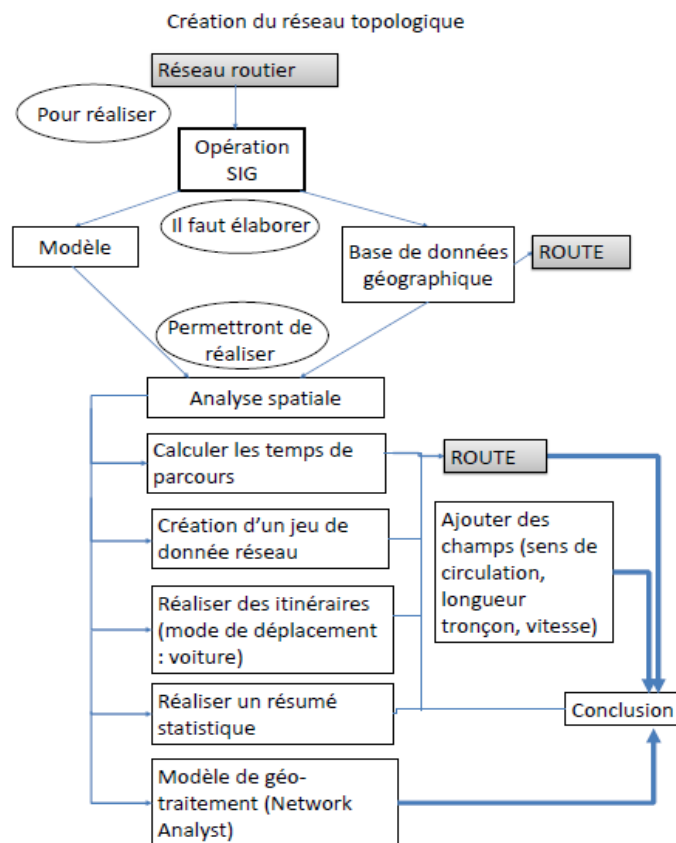


Figure 15: Logigramme des étapes pour la création du réseau topologique

Plusieurs logiciels permettent de calculer des itinéraires. Pour ce projet, l'affectation des flux calculés et prévisionnelles sur le réseau topologique (réseau routier retravaillé en fonction des vitesses de chaque tronçon, des sens de circulation etc...) se fera sur le logiciel de SIG appelé ArcGis.

Pour ce faire, plusieurs méthodes et un long travail doit être réalisé au préalable. Tout d'abord afin d'estimer les itinéraires et le temps de parcours, le réseau routier doit être transformé en réseau

topologique. C'est à dire qu'il faut affecter plusieurs paramètres au réseau routier de base tels que la vitesse, le sens de circulation, le mode de déplacement etc... Une fois la vitesse et la longueur de tronçon connue pour chaque tronçon de route, le temps de parcours peut donc être calculé $MINUTES = [longueur\ du\ tronçon] * 60 / (1000 * [vitesse])$.

- Vitesse

L'objectif est de déterminer la vitesse autorisée sur chaque tronçon de route du réseau routier. Le but est alors par la suite d'affecter les flux domicile-travail en y intégrant le réseau et ces caractéristiques.

L'IGN met à disposition une base de données intégrant certaines caractéristiques des routes : le sens de déplacement, les croisements ou non, leur largeur, leur longueur etc... Un attribut tel que la vitesse n'est en revanche pas disponible de manière publique. Il faut alors soit l'acheter (certaines entreprises peuvent vendre leurs données) ou l'estimer. Ils existent plusieurs moyens de l'estimer. Soit tout simplement en attribuant la vitesse maximale réglementaire pour chaque type de routes (Autoroute = 130 km/h, route à 1 chaussée = 50 km/h etc...). Néanmoins, cette méthode ne prend pas en compte les portions de route où la vitesse n'est pas la même. Soit alors en l'"estimant" à partir de la densité du bâti et de la nature des routes afin de prendre en compte les portions de routes où la vitesse réglementaire n'est pas la même. Etant donné que notre terrain d'étude ne comporte pas de grande agglomération (souvent sujet à des portions de routes où les limitations de vitesses changent), nous avons décidé de simplifier l'estimation et d'appliquer la première méthode. Le calcul du temps de parcours se verrait alors vrai dans notre cas mais pas dans les agglomérations telles que par exemple Tours où la vitesse dépend fortement de la densité linéaire (voir **Annexe 2 : Calcul de la vitesse dans le cas d'une agglomération**).

- Minutes et Oneway

Afin de pouvoir calculer le temps de parcours dans Network Analyst, il faut préalablement créer 2 nouveaux champs avec comme attributs MINUTES et ONEWAY (système Américain). L'algorithme de Dijkstra permettra ensuite de calculer le chemin le plus court.

- **Réseau topologique post-submersion marine**

L'hypothèse émise est l'occurrence d'une submersion marine en 2030 qui perturbera le fonctionnement du territoire. Il est rappelé que le réseau routier est le support physique permettant la circulation des biens et des personnes. Cependant en cas de montées des eaux, des routes peuvent se retrouver submergées et donc engendrer une modification du réseau routier. De ce fait, cela aura une conséquence directe sur l'accessibilité. Le réseau routier sert de fondement pour déterminer le réseau topologique. Si le réseau routier est modifié alors le réseau topologique et donc les itinéraires minimaux aussi. Une submersion marine peut vulnérabiliser, sensibiliser les activités socio-économiques du territoire.

Pour se rendre compte de l'impact d'une submersion marine, il est important de faire une simulation sur les tronçons routiers risquant d'être touchés. Pour cela, plusieurs solutions sont alors possibles. La première idée est de croiser toutes les routes en fonction des différents niveaux d'aléa,

afin d'avoir un aperçu des routes impactés selon chaque type d'aléa. Mais cette première idée ne semble pas être judicieuse puisqu'elle ne prend pas en compte la hauteur des routes. Une route sur remblai ne sera forcément inondée malgré sa présence dans la zone d'aléa. L'idée est alors de croiser l'altitude des routes (connu pour chaque nœuds des arcs routiers) et de les croiser avec une hauteur d'eau. Une simulation des hauteurs de crues dans les zones à risques (à 1m, 2m, 3m et 4m de hauteur d'eau) permettrait ainsi de voir le pourcentage de route inondés en fonction des différentes hauteurs d'eau. L'altitude des routes est alors prise en fonction de chaque extrémité d'un arc. On émet l'hypothèse que si une partie de la route (un des deux nœuds de l'arc) a son altitude inférieure au niveau d'eau simulé alors c'est tout le segment routier qui est impraticable.

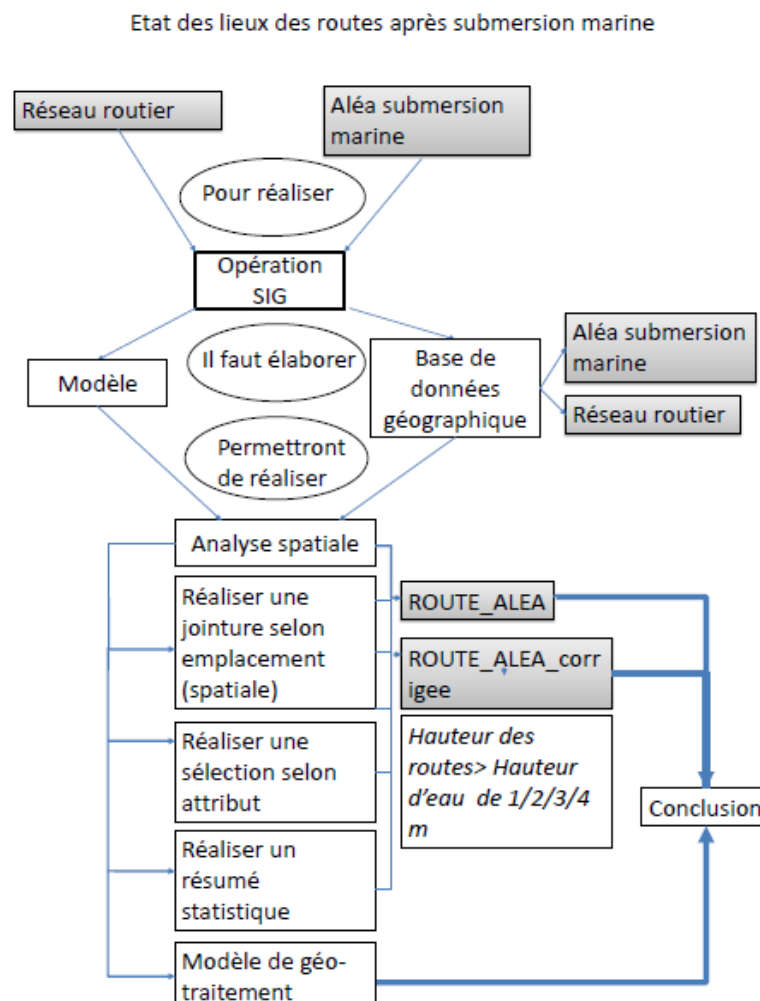


Figure 16 : Logigramme des étapes pour la détermination des routes inondées

4. ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

4.1. Résultats scénario 1 : situation actuelle pré-submersion marine

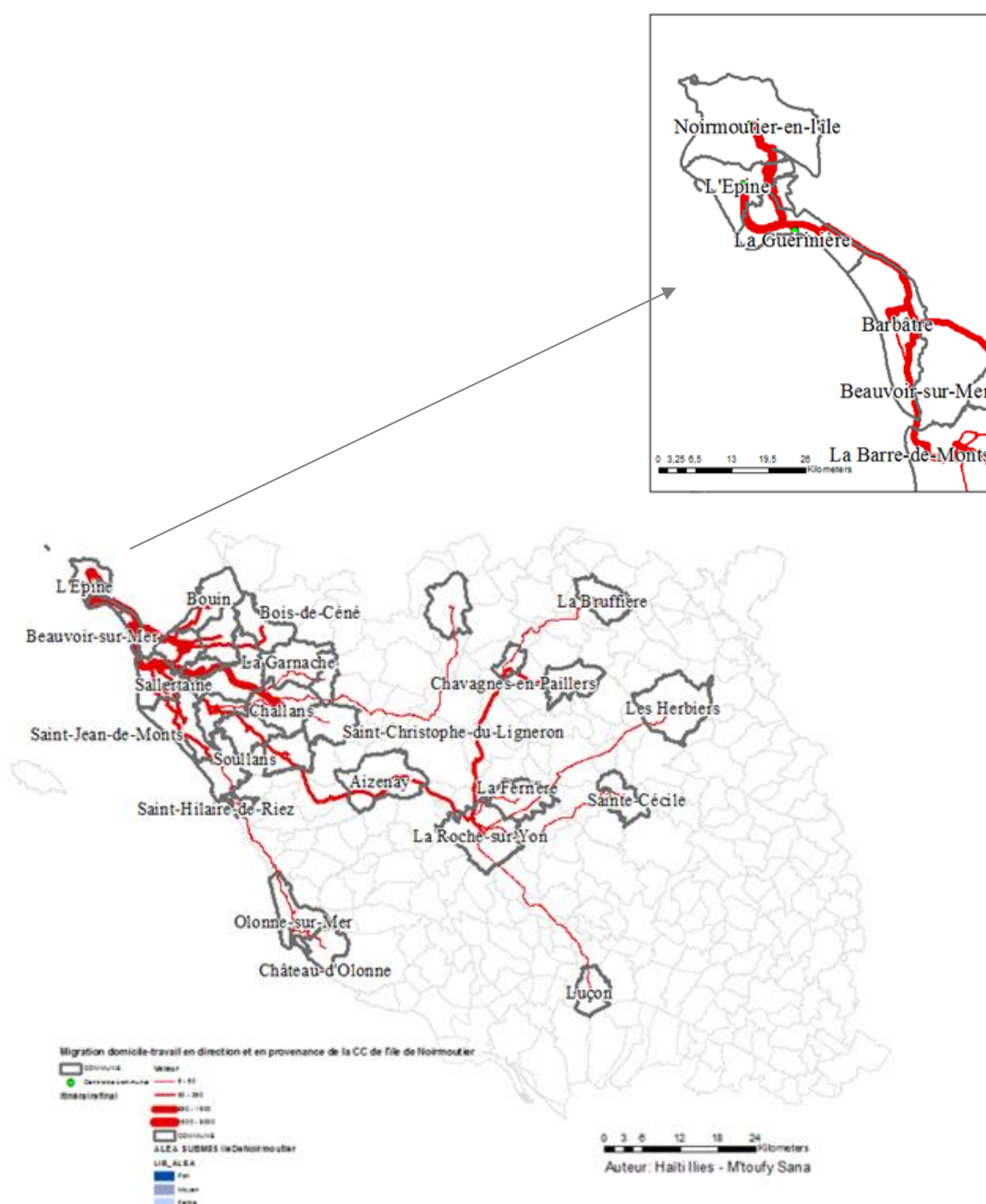


Figure 17: Carte représentant les migrations domicile-travail en 2014 en provenance et en destination de la CC de l'île de Noirmoutier sur le réseau topologique

Cette cartographie représente l'affectation des flux liés à l'emploi sur le réseau topologique en prenant l'hypothèse que les individus empruntent le chemin le plus court. Réalisée à partir d'Arcgis, elle met en évidence le volume de déplacements en nombre de personnes. Les plus importants s'effectuent entre les quatre communes de l'île et celles du continent (dont La Barre-de-Monts, Beauvoir-sur-Mer, Sallertaine, Challans, Saint Gervais). A savoir que ces communes ne sont pas forcément des communes d'origines et destinations mais des villes intermédiaires faisant partie du parcours.

Par ailleurs, parmi les déplacements totaux du département, environ 4 411 personnes se déplacent quotidiennement vers l'île pour se rendre à leur lieu de travail et 6 000 individus effectuant le trajet inverse (soit de l'île vers le continent).

Pour réaliser ces déplacements, s'offrent aux individus deux possibilités pour traverser l'Atlantique : le pont de Noirmoutier et le passage du Gois. Cependant, ce dernier est submersible et donc peut modifier les itinéraires habituels de certains individus.

La cartographie ci-dessous superpose les zones inondables (en différentes nuances de bleu selon l'aléa) sur la Communauté de Commune de l'île de Noirmoutier et les flux actuels. Elle met en évidence le caractère inondable et la fragilité des flux en cas de submersion marine. En effet, elle indique que les quatre communes de l'île peuvent être touchées par les inondations, du moins les routes permettant le passage des flux de personnes pour se rendre à l'île ou inversement peuvent être impactées. A savoir que la route départementale D96 reliant directement Noirmoutier-en-Ile et l'Epine n'est pas représenté sur la carte car elle ne représente pas le chemin le plus court.

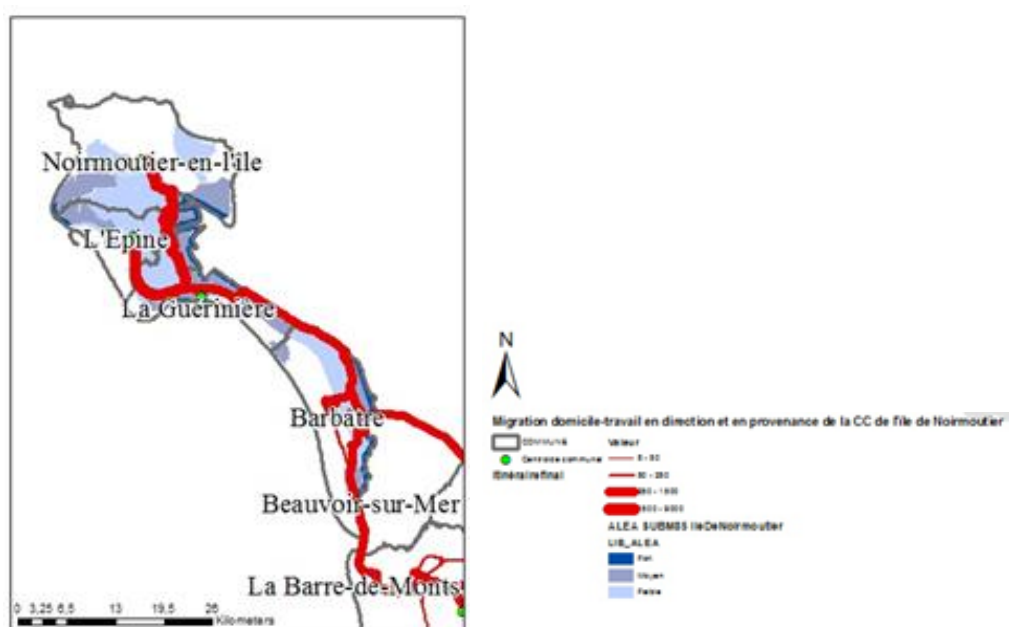


Figure 18 : Cartographie superposant les aléas de submersion marine aux itinéraires actuels

4.2. Résultats scénario 2 : situation actuelle post-submersion marine

La réflexion permettant d'évaluer les tronçons routiers submergés durant les crues a été réalisée en fonction des routes. Les tronçons ont été sélectionnés en comparant leur hauteur à celle des routes. Il a alors été décidé de simuler des hauteurs de crues dans les zones à risques (allant de 1 à 4 mètres) afin de visualiser quelles routes allaient être submergées. Nous avons supposé que si une partie de la route voyait son altitude inférieure à celle de l'eau alors tout le segment routier est inopérant.

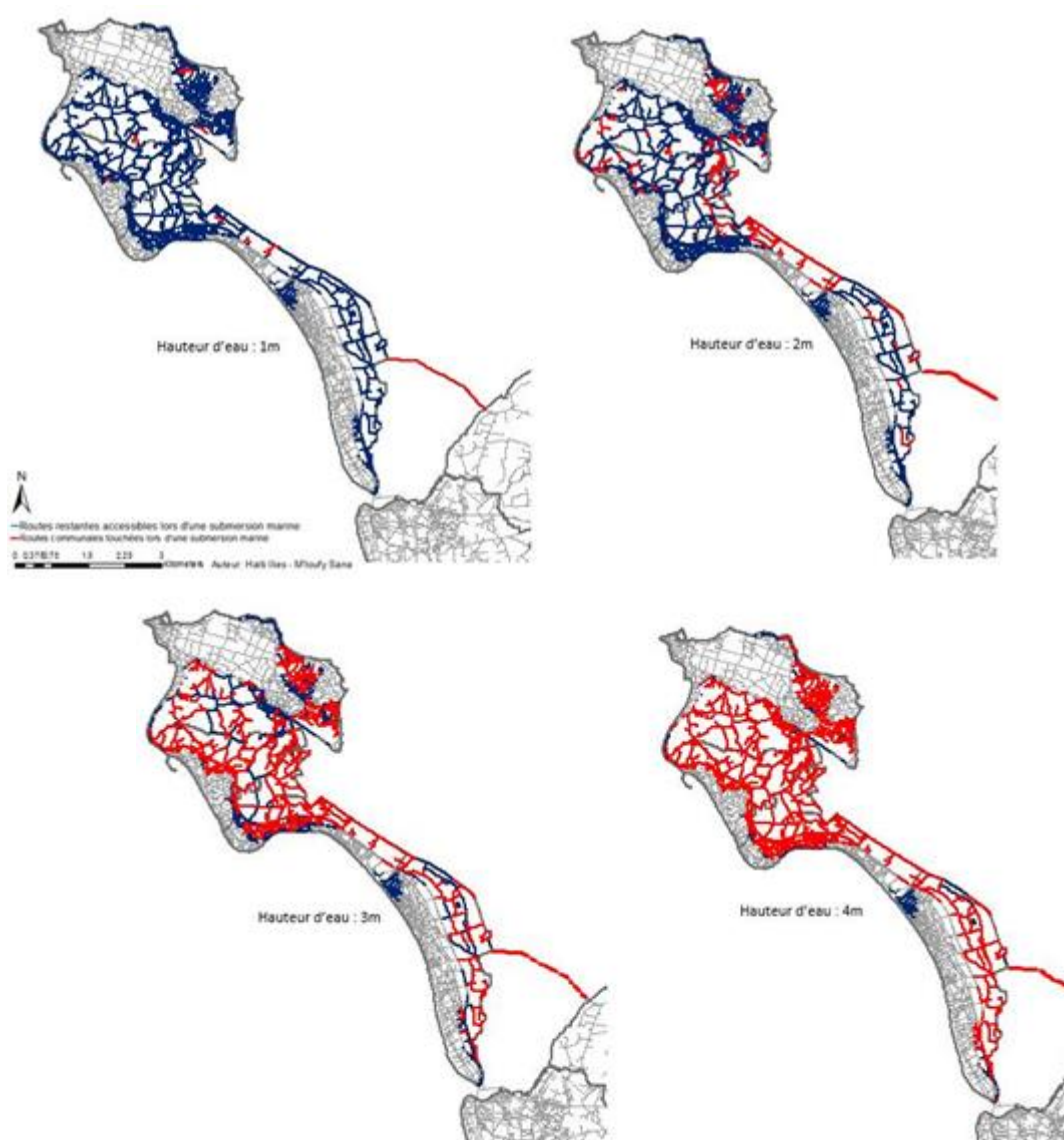


Figure 19 : Cartes représentant les tronçons routiers touchées en fonction de la hauteur d'eau. Le réseau routier non impacté en cas de submersion marine est en bleu.

Ainsi, il est observé qu'à partir d'une hauteur d'eau de :

- 1 mètre ce sont près de 1.7 km soit 0.3% de routes risquent d'être touchées.
- 2 mètres ce sont près de 50.7 km soit 8.7 % de routes risquent d'être touchées.
- 3 mètres ce sont près de 179.7 km soit 30.8 % de routes risquent d'être touchées.
- 4 mètres ce sont près de 257 km soit 44% de routes risquent d'être touchées.

L'offre du réseau routier dépend alors fortement de la hauteur d'eau. A partir de quatre mètre, presque la moitié du réseau routier de l'île de Noirmoutier est inondé. Par ailleurs, on note qu'à partir d'une montée des eaux d'un mètre, le passage du Gois est submergé et donc impraticable. Le passage du Gois est alors inaccessible spatialement et temporellement. Les personnes empruntant ce passage sont donc amenées à se reporter sur le pont de Noirmoutier et ce durant la durée de l'inondation ainsi que lors de la décrue. Ce dernier a été construit de manière à ce qu'il y ait toujours dans l'idéal une connexion entre l'île et le continent quel que soit la hauteur d'eau.

Une fois l'affectation des flux pré-submersion marine effectuée, il vient à modifier le réseau routier en fonction des coupures de route obtenus précédemment après une submersion marine d'une hauteur de quatre mètre.

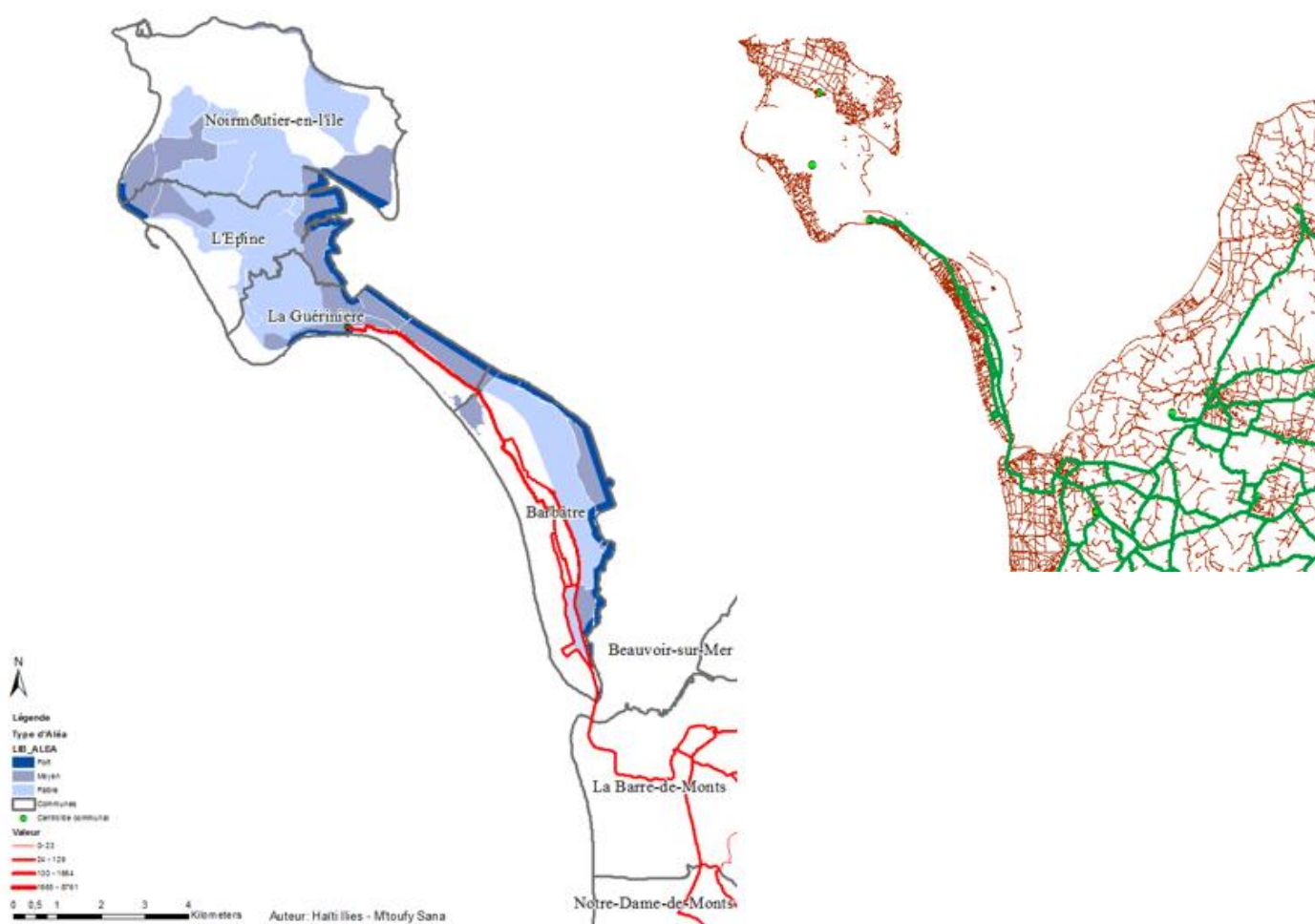


Figure 29 : Carte représentant l'affectation des flux prévisionnels (en vert ou rouge) sur le réseau topologique lors d'une montée des eaux d'une hauteur de 4 m

On constate qu'en cas d'une submersion marine d'une hauteur d'eau dépassant 4 mètres, les communes de Noirmoutier-en-île et de L'Épine vont être complètement isolées durant de longues durées comme l'indique le tableau ci-dessous. En effet, aucun itinéraire n'est possible pour ses habitants de se déplacer vers les autres communes de l'île ainsi que vers le continent.

Itinéraire (les 2 sens confondus)	Temps de trajet avant submersion marine (min)	Temps de trajet après submersion marine (min)
Barbâtre - L'Epine	4,13	impraticable
Barbâtre - Noirmoutier-en-l'Ile	5,25	impraticable
Beauvoir-sur-Mer - L'Epine	15,76	impraticable
Beauvoir-sur-Mer - Noirmoutier-en-l'Ile	16,87	impraticable
Bouin - L'Epine	21,98	impraticable
Bouin - Noirmoutier-en-l'Ile	23,10	impraticable
Challans - L'Epine	36,77	impraticable
Challans - Noirmoutier-en-l'Ile	37,89	impraticable
Chavannes-en-Paillers - L'Epine	96,77	impraticable
La Barre-de-Monts - L'Epine	8,90	impraticable
La Barre-de-Monts - Noirmoutier-en-l'Ile	10,02	impraticable
La Guérinière - L'Epine	1,21	impraticable
La Guérinière - Noirmoutier-en-l'Ile	2,33	impraticable
La Roche-sur-Yon - Noirmoutier-en-l'Ile	66,48	impraticable
L'Epine – Barbâtre	4,02	impraticable
L'Epine - Beauvoir-sur-Mer	15,75	impraticable
L'Epine - Bois-de-Céné	32,06	impraticable
L'Epine - Challans	36,71	impraticable
L'Epine - La Barre-de-Monts	8,91	impraticable
L'Epine - La Guérinière	1,22	impraticable
L'Epine - Noirmoutier-en-l'Ile	2,45	impraticable
L'Epine - Saint-Christophe-du-Ligneron	47,11	impraticable
L'Epine - Saint-Gervais	19,96	impraticable
L'Epine - Saint-Jean-de-Monts	22,15	impraticable
L'Epine - Saint-Urbain	17,23	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Barbâtre	5,08	impraticable

Noirmoutier-en-l'Ile - Beauvoir-sur-Mer	16,80	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Bois-de-Céné	33,12	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Bouin	23,05	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Challans	37,76	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Château-d'Olonne	72,10	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Commequiers	43,16	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Froidfond	48,17	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - La Barre-de-Monts	9,97	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - La Bruffière	107,35	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - La Garnache	40,96	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - La Guérinière	2,28	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Le Perrier	25,10	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - L'Herbergement	82,85	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - L'Epine	2,39	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Luçon	105,85	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile- Notre-Dame-de-Monts	13,52	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Olonne-sur-Mer	61,60	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Sainte-Cécile	96,27	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Saint-Gervais	21,02	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Saint-Hilaire-de-Riez	35,83	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Saint-Jean-de-Monts	23,20	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Saint-Urbain	18,29	impraticable
Saint-Gervais - Noirmoutier-en-l'Ile	21,07	impraticable
Saint-Jean-de-Monts - L'Epine	22,11	impraticable

Tableau 6 : Comparaison des temps de parcours pré et post-submersion marine des lieux impraticables (voir Annexe 3 pour le tableau en entier)

Il est alors question de difficulté voire d'empêchement de se déplacer pour la population. Le réseau routier n'assurera plus 50 sur les 85 itinéraires. Cela représente un empêchement de 59 % des déplacements domicile-travail. Seule la commune de Barbâtre et une partie de La Guérinière restent encore connecté au continent grâce au pont.

Dans certains cas, le chemin le plus court n'est plus alors envisagé nécessitant une déviation comme le montre le tableau ci-dessous. Ceux touchés par la submersion marine voient leur temps de trajet encore possible durant une submersion marine de 4 mètres. Mais cela a un impact sur les durées de trajet. En effet, la submersion marine augmente d'environ 6 minutes le temps de parcours. Cela est dû au fait que le passage du Gois n'est plus accessible et donc les actifs sont contraints de se reporter sur le pont de Noirmoutier. Les itinéraires concernés sont en direction et en provenance de :

- Bouin,
- Bois de Céné,
- La Barre-de-Monts,
- Beauvoir-sur-Mer,
- Sallertaine,
- Challans,
- Saint Gervais,
- La Ferrière,
- La Roche-sur-Yon,
- Notre-Dame-de-Monts,
- Saint Gilles-Croix,
- Saint Hilaire de Riez,
- Saint Jean de Monts,
- Saint Philbert de Bouaine,
- Saint Urbain,
- Les Herbiers,
- Les Sables d'Olonne.

Ce sont près de 29 sur 85 trajets (les 2 sens confondus) qui verraient leur temps de trajets augmenter soit environ 34% des trajets domicile-travail en provenance et destination de l'île. Les durées de trajet peuvent augmenter de 2,67 à 13,33 minutes, représentant parfois un allongement assez conséquent notamment pour le trajet Bouin - La Guérinière (13,33 minutes).

Itinéraire (les 2 sens confondus)	Temps de trajet avant submersion marine (min)	Temps de trajet après submersion marine (min)	Différence de temps de parcours (min)
Barbâtre - Bouin	22,07	24,74	2,67
Barbâtre - La Guérinière	4,01	8,30	4,29
Beauvoir-sur-Mer - Barbâtre	14,29	16,94	2,66
Beauvoir-sur-Mer - La Guérinière	15,64	24,79	9,15
Bouin - La Guérinière	21,86	35,20	13,33
Challans - Barbâtre	35,15	37,80	2,66
Challans - La Guérinière	36,66	45,65	8,99

La Barre-de-Monts - Barbâtre	7,28	9,93	2,66
La Barre-de-Monts - La Guérinière	8,79	17,78	8,99
La Guérinière - Barbâtre	3,90	8,22	4,32
La Guérinière - Beauvoir-sur-Mer	15,62	21,75	6,13
La Guérinière - Bouin	21,87	32,14	10,28
La Guérinière - Challans	36,58	42,46	5,87
La Guérinière - La Barre-de-Monts	8,79	14,66	5,87
La Guérinière - La Ferrière	73,26	79,13	5,87
La Guérinière - La Roche-sur-Yon	64,47	70,34	5,87
La Guérinière - Notre-Dame-de-Monts	12,34	18,22	5,87
La Guérinière - Saint-Gervais	19,84	28,37	8,53
La Guérinière - Saint-Gilles-Croix-de-Vie	41,12	46,99	5,87
La Guérinière - Saint-Hilaire-de-Riez	34,65	40,53	5,87
La Guérinière - Saint-Jean-de-Monts	22,02	27,90	5,87
La Guérinière - Saint-Philbert-de-Bouaine	98,91	104,78	5,87
La Guérinière - Saint-Urbain	17,11	22,98	5,87
Les Herbiers - La Guérinière	110,30	119,30	8,99
Les Sables-d'Olonne - La Guérinière	63,96	72,95	8,99
Notre-Dame-de-Monts - Barbâtre	10,81	13,47	2,66
Saint-Gervais - La Guérinière	19,84	31,42	11,58
Saint-Hilaire-de-Riez - La Guérinière	34,82	43,81	8,99
Saint-Jean-de-Monts - Barbâtre	20,49	23,15	2,66

impraticable
> 8,53 min
>2,66 min

Tableau 7: Comparaison des temps de parcours pré et post-submersion marine des itinéraires prolongeant (voir **Annexe 3 : Tableau de comparaison des temps de parcours pré et post-submersion marine pour le tableau en entier**)

Cependant des trajets ne sont pas impactés par la survenue d’une submersion marine, notamment pour la commune de Barbâtre qui se situe au plus près du pont de Noirmoutier :

Itinéraire (les 2 sens confondus)	Temps de trajet avant submersion marine (min)	Différence de temps de parcours (min)
Barbâtre - Beauvoir-sur-Mer	14,35	inchangé
Barbâtre - Challans	35,05	inchangé
Barbâtre - La Barre-de-Monts	7,26	inchangé
Barbâtre - La Roche-sur-Yon	62,94	inchangé
Barbâtre - Saint-Jean-de-Monts	20,49	inchangé
Barbâtre - Soullans	31,48	inchangé

Tableau 8 : Comparaison des temps de parcours pré et post-submersion marine des itinéraires inchangés (voir **Annexe 3 : Tableau de comparaison des temps de parcours pré et post-submersion marine** pour le tableau en entier)

Seulement 6 sur 85 trajets soit 7% des déplacements domicile-travail ne semblent pas être impactés par une submersion marine d’une hauteur d’eau de 3 mètres.

Temps de parcours	Pourcentage
Inchangés	7 %
Prolongés	34 %
Impraticables	59 %

Tableau 9 : Pourcentage de l’impact d’une submersion marine sur les itinéraires domicile-travail.

4.3. Résultats scénario 3 : situation post-submersion marine à l’horizon 2030

Rappelons que le troisième scénario est une prévision et peut donc servir d’aide à la décision. Les hypothèses émettent d’un changement de flux de déplacement domicile-travail entre les années 2014 et 2030. Par ailleurs, on estime que le réseau est probablement modifié à cause de l’avènement d’une submersion marine. Autrement dit, le réseau reste inchangé hormis en cas de montée des eaux. La carte ci-dessous montre les itinéraires probables à l’horizon 2030 en fonction du modèle de Huff.

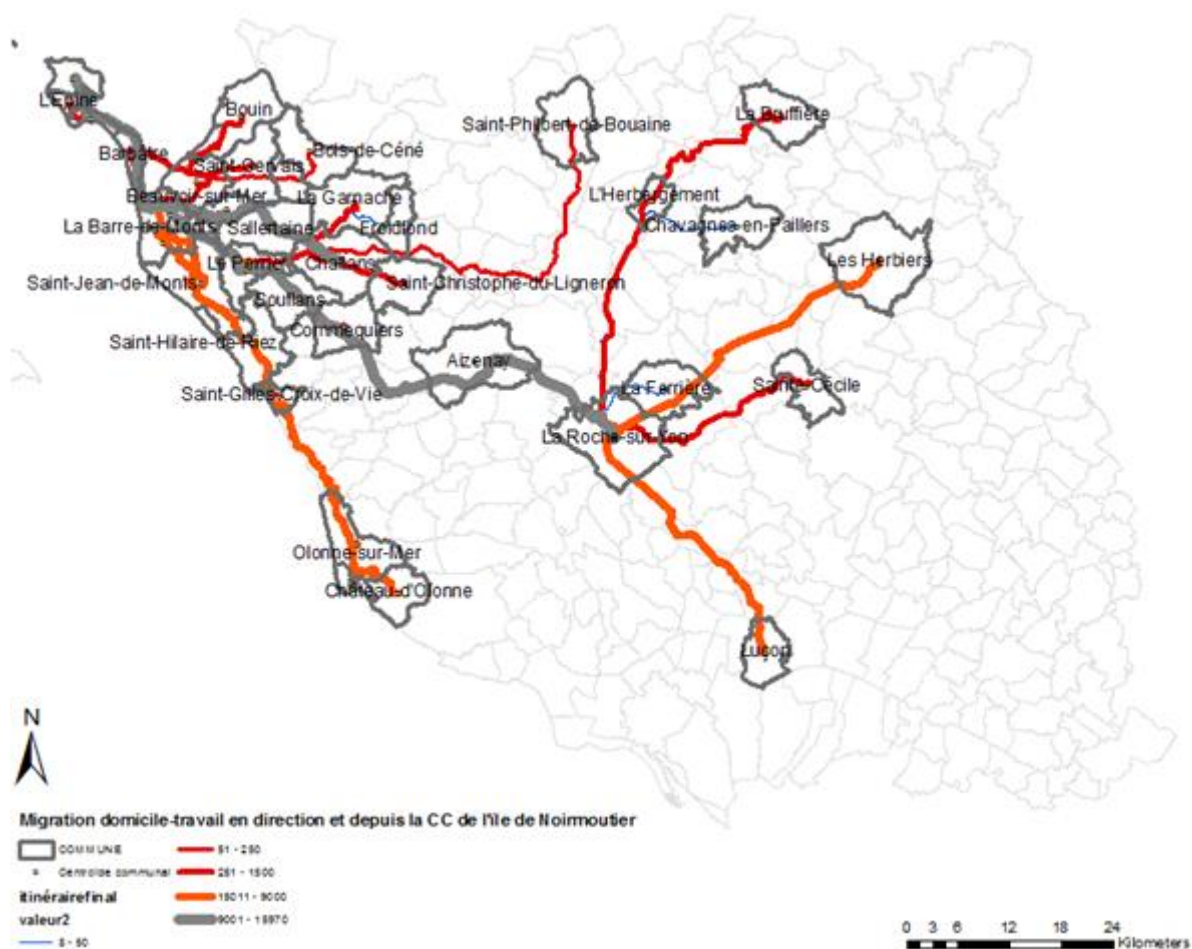


Figure 20 : Carte représentant les migrations domicile-travail en 2030 en provenance et en destination de la CC de l'île de Noirmoutier sur le réseau topologique

Bien que les itinéraires de 2014 soient semblables à ceux de 2030, leur nombre d'actifs se déplaçant d'une commune à une autre peut varier. La carte ci-dessous montre l'évolution des nombres d'actifs sur les itinéraires empruntés.

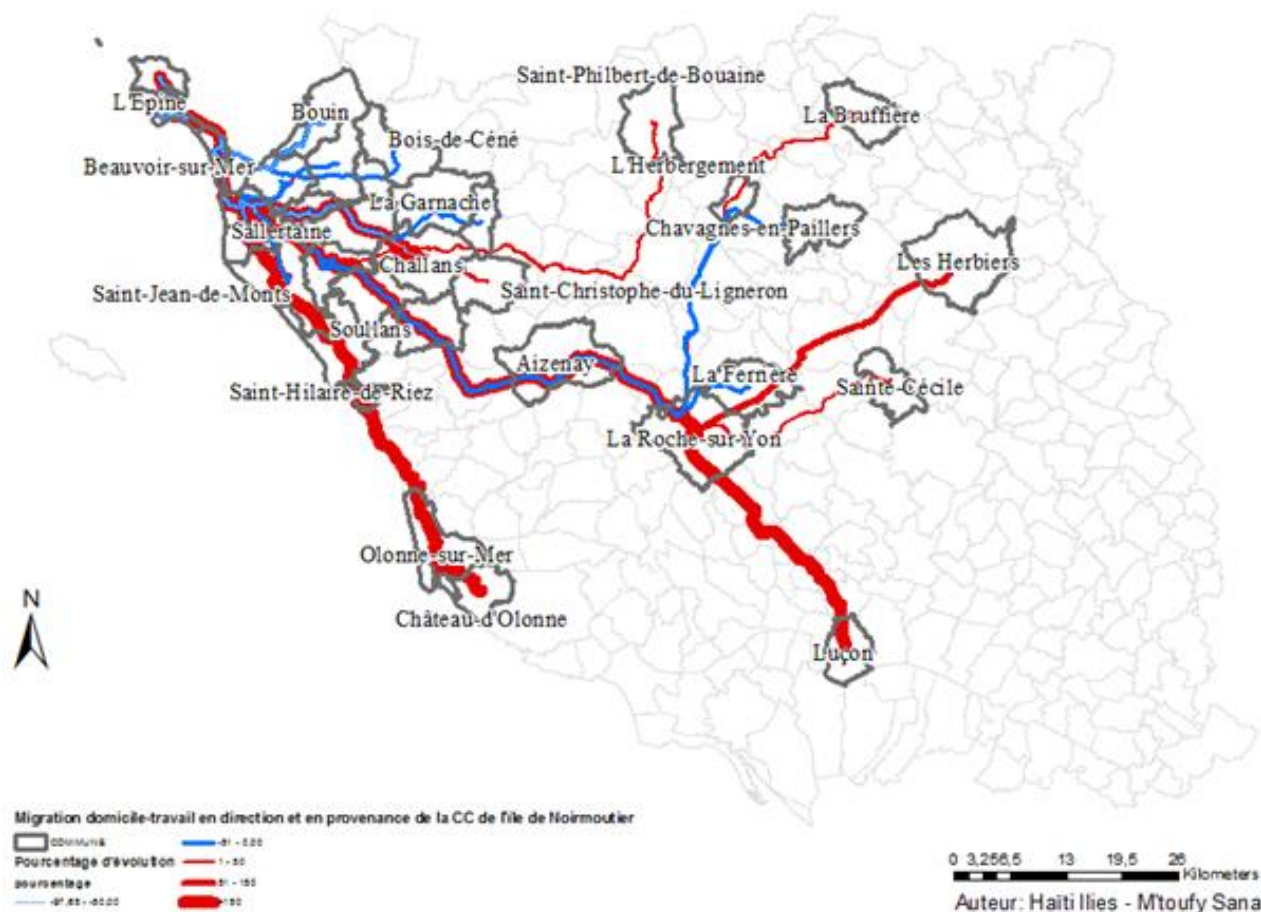


Figure 21 : Carte représentant les évolutions de migrations domicile-travail entre 2014 et 2030 en provenance et en destination de la CC de l'île de Noirmoutier sur le réseau topologique

Les détails des chiffres sur les évolutions des migrations domicile entre 2014 et 2030 figurent en **Annexe 4 : Tableau des évolutions des flux entre 2014 et 2030**.

Concernant le caractère inondable, les itinéraires impraticables, inchangés et prolongeaient sont semblables à ceux de 2014 en cas de submersion marine. En effet, rappelons que le réseau topologique est le même, ce sont seulement le nombre d'actifs se déplaçant qui varie.

4.4. Résultats communs en cas de submersion marine en 2014 et 2030

Un tel risque peut alors suspendre les activités notamment économiques durant de longues durées. La population qu'elle soit locale ou non ne peuvent revenir à leur lieu de résidence ou se déplacer d'autant plus si le territoire se retrouve partiellement isolé. Les plus concernés sont ceux venant ou partant de L'Épine ou de Noirmoutier-en-île.

On comprend donc l'importance de la localisation des lieux de travail et le réseau routier permettant de les relier. Le fonctionnement des activités socio-économiques du territoire se retrouvent temporairement suspendus à cause de l'inaccessibilité. Le réseau routier joue le rôle de base dans les échanges, interactions et connexions entre les espaces, il représente une vulnérabilité du territoire aussi bien à l'échelle insulaire que départementale.

Ces simulations permettent d'élaborer des pistes d'actions envisageables tant sur le plan préventif que sur l'évacuation pré et post-événement notamment pour les communes de l'Epine et Noirmoutier-en-île. A long terme, l'idée est de diminuer la vulnérabilité de ces territoires, réduisant les perturbations socio-économiques occasionnées sur les territoires d'autant plus insulaires :

- Réflexion sur l'infrastructure routiers et ouvrages de protection à l'Epine et Noirmoutier-en-île
- Permission de construire en zone inondables (habitation, entreprises)
- Gestion en cas de crise
- Report vers d'autres modes de transport (maritimes) pour évacuer la population et/ou permettre le déplacement aussi bien pour les actifs que le reste des habitants.

5. LIMITE DE LA DEMARCHE

Comme tous travaux de recherche, les démarches comportent quelques limites. Tout d'abord, il a été considéré que les itinéraires entre 2014 et 2030 sont identiques bien que le nombre d'actifs quant à lui varie. Cette hypothèse représente une limite, autrement dit, des itinéraires auraient pu se créer ou supprimés. En effet, la création ou suppression d'un parc d'activités économiques dans une commune peut changer le nombre de navetteurs mais aussi ajouter ou supprimer des flux entre communes.

Par ailleurs, il a été choisi de ne pas prendre en compte la dynamique de l'aléa pour la réalisation des simulations car elle nécessite des données de la DREAL qui sont inexistantes. Les flux sont déterminés en fonction du centroïde de chaque commune du territoire d'étude. Cette hypothèse permet de visualiser des flux à l'échelle départementale. Il est vrai que dans la réalité, les déplacements domicile-travail ne s'effectuent pas exactement au point du centroïde mais à moindre échelle (adresse du lieu de résidence). En effet, il a été simplifié car la localisation par individu est méconnue. Il faudrait alors s'intéresser par découpage Iris permettant de ventiler les flux. Cette méthode est plus précise que celle avec les centroïdes cependant les connaissances du nombre d'emploi par Iris sont aussi méconnues mais à disposition à l'échelle communale.

Par ailleurs, bien que la capacité des routes soit importante dans le trafic routier ou dans l'évacuation, elles n'ont pas été prises en compte. En effet, la démarche est dédiée à l'impact sur les déplacements domicile-travail et non sur la gestion post-crise.

6. CONCLUSION

La vulnérabilité indirecte est souvent une des notions oubliées par la plupart des acteurs de la gestion de crise. En effet, les politiques locales ont pour l'habitude de se concentrer sur les enjeux directs à travers notamment le DICRIM. Cette notion de vulnérabilité indirecte qui ne laisse percevoir directement le danger, comparé à une vulnérabilité directe comportant des enjeux humains forts, peut, cependant, engendrer des conséquences socio-économiques importantes sur une commune, voire même un espace de plus grande échelle. C'est pourquoi, et au vu des faibles recherches sur le sujet, nous avons décidé de prendre l'accessibilité, notamment à travers le réseau de transport, comme indicateur de la vulnérabilité (indirecte) face aux risques de submersion marine.

Notre travail s'est alors concentré sur un cas d'étude précis qui est la Communauté de Commune de l'Île de Noirmoutier. Nous avons alors cherché à connaître l'impact d'une submersion marine sur les migrations pendulaires. En outre, connaître l'impact d'une submersion marine sur les déplacements domicile travail revient à identifier les flux les plus réalistes possibles ainsi que les itinéraires les plus probables en fonction du réseau topologique pré et post submersion marine. Lors d'une catastrophe naturelle telle qu'une submersion marine, le réseau routier va augmenter la vulnérabilité du territoire du fait de la perte d'accessibilité. Pour évaluer cette vulnérabilité du territoire, nous avons alors établi une méthodologie basée sur divers modèles mathématiques, d'outils tels que le système d'information géographique et d'hypothèses.

La première méthode de notre travail a consisté à déterminer tous les flux Domicile-Travail impactant la presqu'île de Noirmoutier, c'est-à-dire tous les flux en provenance ou destination de la presqu'île. Un modèle probabiliste d'estimation des flux permet de comparer les données théoriques obtenues avec les données réelles, d'adapter et de caler notre modèle. Il permettra donc d'établir des scénarios de flux prévisionnistes pour le futur.

Une fois les flux obtenus, l'autre partie de notre travail consiste à construire le réseau topologique. La construction de ce réseau s'est réalisée en fonction de plusieurs hypothèses telles que la prise en compte de la distance temporelle et du plus court chemin. Les flux obtenus précédemment sont alors affectés au réseau topologique afin de générer une carte en oursin des déplacements domicile-travail en fonction des itinéraires à partir ou en destination des centroïdes communales.

En situation post submersion marine, le but est alors d'identifier le nouveau réseau routier confronté à l'aléa, afin de connaître les routes praticables. Une sélection des routes au-dessus de la hauteur maximale selon chaque type d'aléa permet de sélectionner les routes encore accessibles. Il suffit alors de réaffecter le flux calculé auparavant au nouveau réseau routier afin de calculer les itinéraires Domicile-Travail après submersion marine.

Les cartes générées ont permis de montrer que la submersion marine sur l'île de Noirmoutier impacte non seulement les déplacements au sein de la communauté de communes mais aussi le département de la Vendée. Dans un tel contexte, 34 % des itinéraires voient leur temps de trajets prolongeait et 59 % des itinéraires ne sont plus accessibles autrement dit ceux ayant en provenance ou destination l'Epine et/ou Noirmoutier-en-île. Uniquement 7 % des migrations pendulaires totaux

depuis ou vers l'île ne sont pas impactés par la submersion marine, bien que la communauté de communes ait entrepris des travaux de protection contre le phénomène d'inondation. Ces chiffres sont identiques pour les situations de submersion marine en 2014 et 2030.

Comme tout travail de recherche, notre méthode peut être discutable (en plus des hypothèses d'études) et possède quelques limites. Tout d'abord, le modèle de Huff calcule les flux probables entre des communes. Cependant, ces valeurs peuvent être discutés bien que l'étape du calage a été réalisé afin d'affiner les flux théoriques de 2030. En effet, des paramètres autres que les nombres d'actifs ou d'emplois peuvent être utilisés. Par ailleurs, le nombre d'itinéraires entre 2014 et 2030 est le même. Cette hypothèse représente une limite, autrement dit, des itinéraires auraient pu se créer ou supprimés.

Au-delà de toutes les difficultés que nous avons pu rencontrer, ce Projet de Fin d'Études nous a permis d'avoir une première approche d'un travail de recherche malgré la courte durée. De plus, il nous a permis d'accentuer et de développer nos connaissances que ce soit à travers d'outils ou à la notion du risque. Cette dernière semble être, au vue de la multiplication de catastrophes naturelles ces dernières années et de l'importance des dégâts qu'elles occasionnent, une préoccupation de plus en plus importante qui ne cessera de grandir dans l'avenir.

7. BIBLIOGRAPHIE

❖ Thèses électroniques

- Alaeddine, H.; Serrhini, K.; Maizia, M.; Néron, E. "A spatiotemporal optimization model for the evacuation of the population exposed to flood hazard" [Natural Hazards & Earth System Sciences] . 2015, Vol. 15 Issue 3, p687-701. 15p., published 30 March 2015, [Consulté le 4 Octobre 2017]. Disponible sur : <https://doi.org/10.5194/nhess-15-687-2015>, 2015
- Alexandre Magnan, « Systèmes insulaires, représentations pyramidales et soutenabilité : approche comparative océan Indien/Petites Antilles », Les Cahiers d'Outre-Mer [En ligne], 248 | Octobre-Novembre 2009, mis en ligne le 01 octobre 2012, consulté le 30 septembre 2017. URL : <http://com.revues.org/5791> ; DOI : 10.4000/com.5791
- Aucher Gwendoline, Chenuet Romain, « Vulnérabilité comparée de territoires face à différents aléas d'inondation : Aléa lent pour Orléans et rapide pour Saint-Etienne » PFE Polytech Tours (2012, 2013), [consulté le 10 novembre 2017]. Disponible sur : http://memoires.scd.univ-tours.fr/index.php?fichier=EPU_DA/2013PFE_AucherGwendoline_ChenuetRomain.pdf
- Axel Creach, Sophie Pardo et Denis Mercier, « Diagnostic préventif de la vulnérabilité des constructions résidentielles pour leurs occupants face au risque de submersion marine appliqué à l'île de Noirmoutier (Vendée, France) », Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Volume 17 Numéro 1 | mai 2017, mis en ligne le 25 mai 2017, consulté le 29 septembre 2017. Disponible sur : <http://journals.openedition.org/vertigo/18457>
- Elie Chevillot-Miot et Denis Mercier "La vulnérabilité face au risque de submersion marine : exposition et sensibilité des communes littorales de la région Pays de la Loire (France)" [Vertigo] La revue électronique en sciences de l'environnement 142 (2014): None–None, consulté le 30 septembre 2017
- Freddy Vinet, Stéphanie Defossez, Tony Rey et Laurent Boissier, « Le processus de production du risque « submersion marine » en zone littorale : l'exemple des territoires « Xynthia » », Norois [En ligne], 222 | 2012, mis en ligne le 30 mars 2014, consulté le 12 décembre 2017. URL : <http://journals.openedition.org/noroi/3834>
- Garnier E., Surville, F (dir.), 2010 « La tempête Xynthia face à l'histoire. Submersions et tsunamis sur les littoraux français du Moyen Âge à nos jours ». Paris, Le Croît Vif, 176 p.
- Meyer, V., Kuhlicke, C., Luther, J., Fuchs, S., Priest, S., Dorner, W., Serrhini, K., Pardoe, J., McCarthy, S., Seidel, J., Palka, G., Unnerstall, H., Viavattene, C., and Scheuer, S.: "Recommendations for the user-specific enhancement of flood maps", Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 1701-1716, <https://doi.org/10.5194/nhess-12-1701-2012>, 2012, consulté le 4 Octobre 2017
- Provitolo Damienne, "Vulnérabilité aux inondations méditerranéennes en milieu urbain : une nouvelle démarche géographique", [Cairn.Info], Annales de géographie 2007/1 n°653, p23-40. DOI: 10.3917/ag.653.0023

- Richer Cyprien, Palmier Patrick. *“Mesurer l’accessibilité territoriale par les transports collectifs. Proposition méthodologique appliquée aux pôles d’excellence de Lille”* Métropole : Proposition méthodologique appliquée aux pôles d’excellence de Lille Métropole. Cahiers de géographie du Québec, Département de géographie de l’Université Laval, 2012, 56 (158), pp.31. Disponible sur : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00798642/document>
- Rufat Samuel, « *L’estimation de la vulnérabilité urbaine, un outil pour la gestion du risque* », Géocarrefour [En ligne], vol. 82/1-2 | 2007, mis en ligne le 01 juin 2010, consulté le 10 octobre 2017. Disponible sur : <http://geocarrefour.revues.org/1397>

❖ Sites consultés

- DICRI, Georisques [Consulté le 4 octobre 2017]. Disponible et accès sur : <http://www.georisques.gouv.fr/articles/le-document-dinformation-communal-sur-les-risques-majeurs-dicrim>
- Hypergeo, définition de l’insularité. [Consulté le 05 octobre 2017]. Disponible et accès sur : <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article322>
- Les services de l’Etat dans le Nord [Consulté le 12 octobre 2017]. Disponible et accès sur : <http://www.nord.gouv.fr/Politiques-publiques/Prevention-des-risques-naturels-technologiques-et-miniers/La-typologie-des-risques-dans-le-Nord/La-submersion-marine>
- PPR, Les services de l’Etat en Vendée [Consulté le 23 octobre 2017]. Disponible et accès sur : <http://www.cdc-iledenoirmoutier.com/environnement/protection-face-a-la-mer/plan-de-prevention-des-risques-littoraux-ppr>
- Submersion marine, Statistiques-développement [Consulté le 6 novembre 2017]. Disponible et accès sur <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/368/1239/submersion-marine-lerosion-cotiere.html>

❖ Articles électroniques

- « Connaître et réduire la vulnérabilité du territoire aux inondations » (Octobre 2014) [Consulté le 3 novembre 2017]. Disponible sur : <http://www.scot-rivesdurhone.com/wp-content/uploads/2015/07/Note-p%C3%A9dagogique-vuln%C3%A9rabilit%C3%A9-inondations.pdf>
- Questions de Mobilité n°8, « L’usage de la voiture pour aller au travail entre choix et nécessité », SCOT et SITCAT (2011). Disponible sur : <http://www.atu37.org/Download/pdf/QMobilite-8.pdf>
- Les modèles statiques à quatre étapes, J. Bougnol, Département villes et territoires, Ministère du Transport [Consulté le 2 décembre 2017]. Disponible sur : http://www.ouest.cerema.fr/IMG/pdf/04_-_Presentation_Modeles_4_etapes_JB_cle2b3c3f.pdf
- Taux d’occupation : http://www.infra-transports-materiaux.cerema.fr/IMG/pdf/1125w_Fiche_MOBILITE_05.pdf

8. TABLE DES FIGURES

Figure 1: Carte représentant les communes et la localisation de l'île de Noirmoutier - Source : Communauté de Commune de Noirmoutier	12
Figure 2 : Réseau routier du département de la Vendée. Source : Communauté de Communes Pays Né de la Mer	13
Figure 3: Schéma des lignes urbaines et interurbaines dans la partie Ouest du département de la Vendée. - Source : CTA44	14
Figure 4: Altimétrie sur l'île de Noirmoutier - Source : Communauté de Commune de l'île de Noirmoutier	15
Figure 5: Débordements provoqués par la tempête Xynthia. - Source : Communauté de Commune de l'île de Noirmoutier	16
Figure 6: Première conceptualisation du modèle de l'inondation catastrophique	17
Figure 7: Méthodologie de l'indice VIE, présentant les critères retenus et leur définition et leur pondération (Source : Creach et al. 2015a)	19
Figure 8 : Part des déplacements Domicile Travail par rapport au déplacement quotidiens (Source : ATU37)	25
Figure 9: Extraction des données Mirabelle	26
Figure 10 : Oursins représentant les flux domicile-travail avant l'étape de l'affectation sur le réseau topologique	27
Figure 11: Raisonnement des étapes du calcul du nombre d'emplois probables en 2030	29
Figure 12 : Découpage du département de la Vendée en zones selon les projections Omphale	30
Figure 13 : Présentation du modèle de Huff sous le logiciel Toaster®	32
Figure 14 : Graphique permettant de déterminer la valeur du frein au déplacement. Voir tableau des données en Annexe 1	33
Figure 15: Logigramme des étapes pour la création du réseau topologique	34
Figure 16 : Logigramme des étapes pour la détermination des routes inondées	36
Figure 17: Carte représentant les migrations domicile-travail en 2014 en provenance et en destination de la CC de l'île de Noirmoutier sur le réseau topologique	37
Figure 18 : Cartographie superposant les aléas de submersion marine aux itinéraires actuels	38
Figure 19 : Cartes représentant les tronçons routiers touchés en fonction de la hauteur d'eau. Le réseau routier non impacté en cas de submersion marine est en bleu.	39
Figure 20 : Carte représentant les migrations domicile-travail en 2030 en provenance et en destination de la CC de l'île de Noirmoutier sur le réseau topologique	46
Figure 21 : Carte représentant les évolutions de migrations domicile-travail entre 2014 et 2030 en provenance et en destination de la CC de l'île de Noirmoutier sur le réseau topologique	47

9. TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1: Submersions marines sur les littoraux charentais et vendéens au cours du XXème siècle – Source : Freddy Vinet	24
Tableau 2 : Matrice couple origine-destination en provenance et en destination de l'île de Noirmoutier	26
Tableau 3 Evolution de la population active par région entre 2014 et 2030	28
Tableau 4 : Indices attribués pour les projections de population et du taux d'emploi en 2030	29
Tableau 5 : Raisonnement de la détermination des nombres d'emplois et actifs en 2030	31
Tableau 6 : Comparaison des temps de parcours pré et post-submersion marine des lieux impraticables (voir Annexe 3 pour le tableau en entier)	42
Tableau 7: Comparaison des temps de parcours pré et post-submersion marine des itinéraires prolongeaient (voir Annexe 3 pour le tableau en entier)	44
Tableau 8 : Comparaison des temps de parcours pré et post-submersion marine des itinéraires inchangés (voir Annexe 3 pour le tableau en entier)	45
Tableau 9 : Pourcentage de l'impact d'une submersion marine sur les itinéraires domicile-travail.	45

10. ANNEXE 1 : DONNEES DE FLUX OBSERVES (MIRABELLE) ET THEORIQUES (HUFF)

Flux observés 2014 (Mirabelle Insee)	Flux théoriques 2014 (Modèle de Huff)
37,9	541,4
1581,5	1463,2
129,1	19,5
96,8	97,2
96,8	94,9
516,4	694,8
774,6	436,7
1291,0	1318,3
32,3	15,0
32,3	3,1
32,3	17,0
64,3	19,5
96,4	64,0
96,4	534,7
803,7	141,2

96,0	97,2
64,0	300,0
32,0	360,1
288,0	407,9
35,1	103,8
70,1	30,1
32,0	14,3
32,0	499,3
64,0	221,9
32,2	1211,9
8,1	94,9
51,7	258,2
25,0	6201,3
282,3	911,9
24,7	2495,9
75,9	383,5
96,0	85,4
32,0	64,0
32,0	488,0
32,0	39,0

96,0	258,2
64,0	99,5
1664,0	1598,1
352,0	269,7
1824,0	1963,2
64,0	3,2
44,3	4,0
32,8	0,2
32,8	0,7
121,5	115,4
40,5	534,7
81,0	360,0
40,5	499,3
121,5	6201,3
364,6	496,2
1361,3	1397,5
40,5	3,2
1199,3	1216,8
1199,3	1359,2
40,5	4,1

40,5	0,1
40,5	4,6
32,0	4,9
32,1	8,6
117,9	162,3
39,3	141,0
78,6	407,9
39,3	221,9
117,9	911,9
550,0	569,3
1100,0	1236,6
8761,5	8631,0
117,9	32,1
39,3	0,1
32,0	0,3
224,0	200,0
8,3	7,9
32,5	2,6
32,0	54,8
8,2	150,3

38,3	0,6
39,9	2,9
66,5	1,5
66,5	0,0
133,1	0,1
39,7	2,2
8,3	4,6
143,1	159,4
38,7	3,1
116,0	3,2
77,3	14,5
116,0	2,9
32,0	19,6
39,5	0,2
79,1	80,0
276,8	0,1
32,0	29,8
32,0	0,4
128,0	0,8
63,6	1,8

11. ANNEXE 2 : CALCUL DE LA VITESSE DANS LE CAS D'UNE AGGLOMERATION

Afin d'estimer la vitesse sur chaque tronçon de route, il faut commencer par calculer la densité du bâti autour de chaque tronçon. En effet, il y a souvent corrélation entre la vitesse et la densité du bâti : un secteur dense aura une vitesse moins élevée qu'un secteur moins dense (l'exemple des zones "30"). Afin d'estimer au plus juste la vitesse, nous utiliserons aussi la nature de chaque voies. Dans un premier temps, il s'agit de sélectionner et de corriger les données de base et plus particulièrement la hauteur des bâtiments et la surface au sol occupée par ceux-ci. Quelques corrections de données invalides doivent au préalable être effectuées.

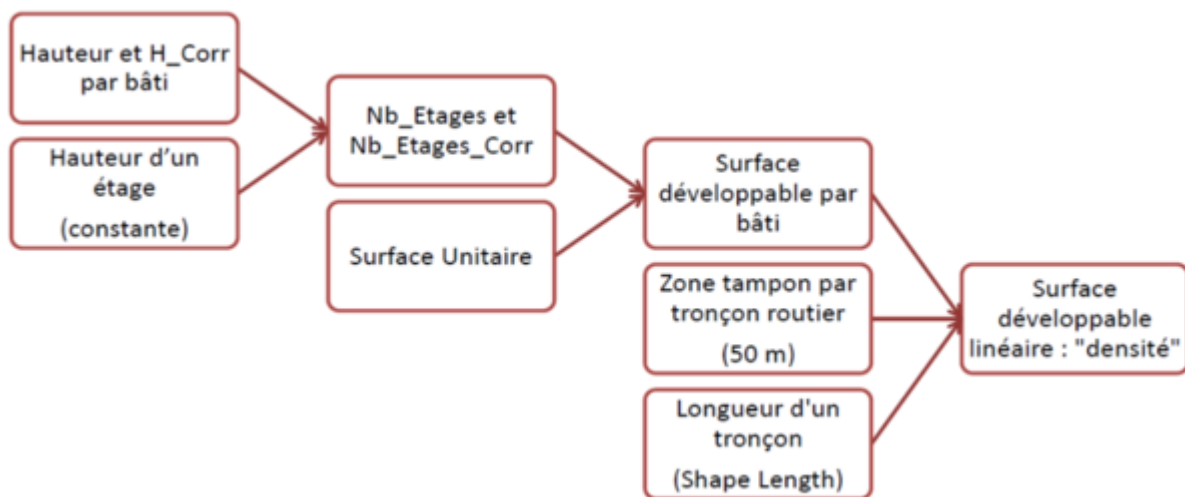


Figure 22 : Logigramme permettant de déterminer les vitesses - Source : Atelier RESEAU

Pour commencer, il est nécessaire de calculer la surface développable par bâtiment en fonction du nombre d'étages et de sa surface unitaire (surface au sol). Ensuite, l'objectif est d'associer à chaque tronçon du réseau routier une densité correspondant à la densité du bâti avoisinant ce tronçon.

Il s'agit d'associer à chaque tronçon de route les bâtiments avoisinant (création de zone tampon), permettant ensuite de connaître la somme des surfaces des bâtiments contenu dans la zone tampon.

On obtient ainsi la densité linéaire. Afin de déterminer la vitesse le plus fidèlement possible, la vitesse sur chaque tronçon de route est établie selon deux attributs : la nature de chaque tronçon ainsi que la densité linéaire qui lui est associée.

12. ANNEXE 3 : TABLEAU DE COMPARAISON DES TEMPS DE PARCOURS PRE ET POST-SUBMERSION MARINE

Itinéraire (les 2 sens confondus)	Temps de trajet avant submersion marine (min)	Temps de trajet après submersion marine (min)	Différence de parcours (min)
Barbâtre - Beauvoir-sur-Mer	14,35	14,35	inchangé
Barbâtre - Bouin	22,07	24,74	2,67
Barbâtre - Challans	35,05	35,05	inchangé
Barbâtre - La Barre-de-Monts	7,26	7,26	inchangé
Barbâtre - La Guérinière	4,01	8,30	4,29
Barbâtre - La Roche-sur-Yon	62,94	62,94	inchangé
Barbâtre - L'Epine	4,13	impraticable	impraticable
Barbâtre - Noirmoutier-en-l'Ile	5,25	impraticable	impraticable
Barbâtre - Saint-Jean-de-Monts	20,49	20,49	inchangé
Barbâtre - Soullans	31,48	31,48	inchangé
Beauvoir-sur-Mer - Barbâtre	14,29	16,94	2,66
Beauvoir-sur-Mer - La Guérinière	15,64	24,79	9,15
Beauvoir-sur-Mer - L'Epine	15,76	impraticable	impraticable
Beauvoir-sur-Mer - Noirmoutier-en-l'Ile	16,87	impraticable	impraticable
Bouin - La Guérinière	21,86	35,20	13,33
Bouin - L'Epine	21,98	impraticable	impraticable
Bouin - Noirmoutier-en-l'Ile	23,10	impraticable	impraticable
Challans - Barbâtre	35,15	37,80	2,66
Challans - La Guérinière	36,66	45,65	8,99
Challans - L'Epine	36,77	impraticable	impraticable
Challans - Noirmoutier-en-l'Ile	37,89	impraticable	impraticable

Chavagnes-en-Paillers - L'Epine	96,77	impraticable	impraticable
La Barre-de-Monts - Barbâtre	7,28	9,93	2,66
La Barre-de-Monts - La Guérinière	8,79	17,78	8,99
La Barre-de-Monts - L'Epine	8,90	impraticable	impraticable
La Barre-de-Monts - Noirmoutier-en-l'Ile	10,02	impraticable	impraticable
La Guérinière - Barbâtre	3,90	8,22	4,32
La Guérinière - Beauvoir-sur-Mer	15,62	21,75	6,13
La Guérinière - Bouin	21,87	32,14	10,28
La Guérinière - Challans	36,58	42,46	5,87
La Guérinière - La Barre-de-Monts	8,79	14,66	5,87
La Guérinière - La Ferrière	73,26	79,13	5,87
La Guérinière - La Roche-sur-Yon	64,47	70,34	5,87
La Guérinière - L'Epine	1,21	impraticable	impraticable
La Guérinière - Noirmoutier-en-l'Ile	2,33	impraticable	impraticable
La Guérinière - Notre-Dame-de-Monts	12,34	18,22	5,87
La Guérinière - Saint-Gervais	19,84	28,37	8,53
La Guérinière - Saint-Gilles-Croix-de-Vie	41,12	46,99	5,87
La Guérinière - Saint-Hilaire-de-Riez	34,65	40,53	5,87
La Guérinière - Saint-Jean-de-Monts	22,02	27,90	5,87
La Guérinière - Saint-Philbert-de-Bouaine	98,91	104,78	5,87
La Guérinière - Saint-Urbain	17,11	22,98	5,87
La Roche-sur-Yon - Noirmoutier-en-l'Ile	66,48	impraticable	impraticable
Les Herbiers - La Guérinière	110,30	119,30	8,99
Les Sables-d'Olonne - La Guérinière	63,96	72,95	8,99
L'Epine - Barbâtre	4,02	impraticable	impraticable
L'Epine - Beauvoir-sur-Mer	15,75	impraticable	impraticable
L'Epine - Bois-de-Céné	32,06	impraticable	impraticable
L'Epine - Challans	36,71	impraticable	impraticable
L'Epine - La Barre-de-Monts	8,91	impraticable	impraticable
L'Epine - La Guérinière	1,22	impraticable	impraticable
L'Epine - Noirmoutier-en-l'Ile	2,45	impraticable	impraticable

L'Epine - Saint-Christophe-du-Ligneron	47,11	impraticable	impraticable
L'Epine - Saint-Gervais	19,96	impraticable	impraticable
L'Epine - Saint-Jean-de-Monts	22,15	impraticable	impraticable
L'Epine - Saint-Urbain	17,23	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Barbâtre	5,08	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Beauvoir-sur-Mer	16,80	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Bois-de-Céné	33,12	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Bouin	23,05	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Challans	37,76	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - ChRteau-d'Olonne	72,10	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Commequiers	43,16	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Froidfond	48,17	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - La Barre-de-Monts	9,97	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - La Bruffi0re	107,35	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - La Garnache	40,96	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - La Guérinière	2,28	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Le Perrier	25,10	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - L'Herbergement	82,85	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - L'Epine	2,39	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Luçon	105,85	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Notre-Dame-de-Monts	13,52	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Olonne-sur-Mer	61,60	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Sainte-C0cile	96,27	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Saint-Gervais	21,02	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Saint-Hilaire-de-Riez	35,83	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Saint-Jean-de-Monts	23,20	impraticable	impraticable
Noirmoutier-en-l'Ile - Saint-Urbain	18,29	impraticable	impraticable
Notre-Dame-de-Monts - Barbâtre	10,81	13,47	2,66
Saint-Gervais - La Guérinière	19,84	31,42	11,58
Saint-Gervais - Noirmoutier-en-l'Ile	21,07	impraticable	impraticable
Saint-Hilaire-de-Riez - La Guérinière	34,82	43,81	8,99

Saint-Jean-de-Monts - Barbâtre	20,49	23,15	2,66
Saint-Jean-de-Monts - L'Epine	22,11	impraticable	impraticable

impraticable
>8,53
>2,66
inchangé

13. ANNEXE 4 : TABLEAU DES EVOLUTIONS DES FLUX ENTRE 2014 ET 2030

Itinéraires	Flux 2030	Flux 2014	Evolution (%)
Barbâtre - Barbâtre	76,00	224,00	-194,74
Barbâtre - Bouin	5911,00	8,30	99,86
Saint-Jean-de-Monts - Barbâtre	15970,00	24,95	99,84
La Barre-de-Monts - Barbâtre	5068,00	8,24	99,84
Notre-Dame-de-Monts - Barbâtre	2183,00	8,35	99,62
La Guérinière - Saint-Urbain	6378,00	32,06	99,50
Barbâtre - La Roche-sur-Yon	57,00	70,12	-23,01
Noirmoutier-en-l'Ile - Froidfond	3602,00	24,71	99,31
Barbâtre - Noirmoutier-en-l'Ile	33,00	44,26	-34,13
La Guérinière - Bouin	15971,00	121,55	99,24
Barbâtre - Soullans	27,00	35,06	-29,84
Beauvoir-sur-Mer - Barbâtre	23,00	32,27	-40,32
Beauvoir-sur-Mer - La Guérinière	96,00	96,00	0,00
Beauvoir-sur-Mer - L'Epine	51,00	96,82	-89,85
La Guérinière - Noirmoutier-en-l'Ile	10073,00	117,86	98,83

Bouin - La Guérinière	3,00	129,10	-4203,29
Challans - L'Epine	2767,00	40,52	98,54
Noirmoutier-en-l'Ile - Beauvoir-sur-Mer	4250,00	77,33	98,18
L'Epine - Challans	2184,00	40,52	98,14
La Guérinière - Saint-Gervais	1476,00	32,16	97,82
Chavagnes-en-Pailers - L'Epine	1231,00	32,00	97,40
Noirmoutier-en-l'Ile - Saint-Urbain	1544,00	40,52	97,38
L'Epine - Saint-Urbain	1204,00	32,00	97,34
La Guérinière - Saint-Philbert-de-Bouaine	1231,00	40,52	96,71
La Barre-de-Monts - La Guérinière	28,00	96,45	-244,46
La Barre-de-Monts - L'Epine	29,00	32,00	-10,34
Challans - Barbâtre	750,00	32,00	95,73
Barbâtre - Challans	617,00	32,00	94,81
La Guérinière - Beauvoir-sur-Mer	51,00	96,00	-88,24
Barbâtre - Beauvoir-sur-Mer	609,00	32,49	94,66
La Guérinière - Challans	550,00	1824,00	-231,64
L'Epine - Saint-Jean-de-Monts	671,00	40,52	93,96
Barbâtre - Saint-Jean-de-Monts	515,00	32,00	93,79
La Guérinière - La Guérinière	97,00	133,05	-37,17
Noirmoutier-en-l'Ile - Bois-de-Céné	457,00	32,80	92,82

La Guérinière - L'Epine	3,00	64,30	-2043,28
La Guérinière - Saint-Gilles-Croix-de-Vie	510,00	38,28	92,49
La Guérinière - Notre-Dame-de-Monts	22,00	32,84	-49,28
Noirmoutier-en-l'Ile - La Guérinière	1877,00	143,07	92,38
L'Epine - La Guérinière	750,00	64,00	91,47
Noirmoutier-en-l'Ile - Le Perrier	617,00	81,03	86,87
Barbâtre - L'Epine	293,00	39,29	86,59
Challans - Noirmoutier-en-l'Ile	860,00	117,86	86,30
Barbâtre - La Guérinière	282,00	39,93	85,84
L'Epine - Noirmoutier-en-l'Ile	671,00	96,45	85,63
Beauvoir-sur-Mer - Noirmoutier-en-l'Ile	534,00	78,57	85,29
La Guérinière - Barbâtre	778,00	116,00	85,09
Barbâtre - La Barre-de-Monts	39,00	8,12	79,19
L'Epine - Beauvoir-sur-Mer	39,00	96,82	-148,27
L'Epine - Bois-de-Céné	5,00	32,00	-540,00
Noirmoutier-en-l'Ile - Commequiers	293,00	64,00	78,16
L'Epine - La Barre-de-Monts	28,00	32,00	-14,29
La Guérinière - La Ferrière	129,00	32,00	75,19
Noirmoutier-en-l'Ile - Sainte-Cécile	258,00	66,53	74,21
L'Epine - Barbâtre	294,00	75,93	74,17

L'Epine - Saint-Gervais	172,00	51,75	69,91
Noirmoutier-en-l'Ile - La Bruffi0re	860,00	282,29	67,18
Noirmoutier-en-l'Ile - La Barre-de-Monts	98,00	39,29	59,91
Bouin - L'Epine	66,00	32,00	51,52
Noirmoutier-en-l'Ile - Barbâtre	169,00	276,84	-63,81
Bouin - Noirmoutier-en-l'Ile	124,00	64,00	48,39
La Barre-de-Monts - Noirmoutier-en-l'Ile	76,00	39,29	48,31
Noirmoutier-en-l'Ile - Bouin	47,00	64,00	-36,17
Les Sables-d'Olonne - La Guérinière	534,00	288,00	46,07
Noirmoutier-en-l'Ile - ChRteau-d'Olonne	77,00	803,73	-943,80
Saint-Gervais - Noirmoutier-en-l'Ile	72,00	39,65	44,93
La Guérinière - La Barre-de-Monts	172,00	96,00	44,19
Noirmoutier-en-l'Ile - Challans	185,00	117,86	36,29
Saint-Hilaire-de-Riez - La Guérinière	741,00	550,01	25,78
Noirmoutier-en-l'Ile - La Garnache	50,00	66,53	-33,05
Saint-Jean-de-Monts - L'Epine	50,00	40,52	18,97
Noirmoutier-en-l'Ile - Olonne-sur-Mer	1473,00	1290,99	12,36
Noirmoutier-en-l'Ile - L'Herbergement	112,00	121,55	-8,52
Noirmoutier-en-l'Ile - L'Epine	49,00	79,10	-61,42
Noirmoutier-en-l'Ile - Luçon	1250,00	1361,32	-8,91

Noirmoutier-en-l'Ile - Noirmoutier-en-l'Ile	1432,00	1581,46	-10,44
Noirmoutier-en-l'Ile - Notre-Dame-de-Monts	23,00	38,67	-68,11
Noirmoutier-en-l'Ile - Saint-Gervais	45,00	39,55	12,11
Les Herbiers - La Guérinière	856,00	774,59	9,51
La Guérinière - La Roche-sur-Yon	1324,00	1199,25	9,42
La Roche-sur-Yon - Noirmoutier-en-l'Ile	1789,00	1664,00	6,99
L'Epine - Saint-Christophe-du-Ligneron	68,00	63,61	6,45
Noirmoutier-en-l'Ile - Saint-Jean-de-Monts	124,00	116,00	6,45
L'Epine - L'Epine	369,00	352,00	4,61
Saint-Gervais - La Guérinière	18,00	32,27	-79,30
Noirmoutier-en-l'Ile - Saint-Hilaire-de-Riez	368,00	364,64	0,91
La Guérinière - Saint-Jean-de-Monts	1109,00	1100,01	0,81
La Guérinière - Saint-Hilaire-de-Riez	520,00	516,39	0,69
Challans - La Guérinière	8798,00	8761,51	0,41

**Directeur de recherche :
GRALEPOIS Mathilde**

**Haïti Ilies
M'toufy Sana
Projet de Fin d'Etudes
DA5
2017-2018**

Les territoires insulaires face au risque naturel : Mesure de la vulnérabilité indirecte par l'indicateur de l'accessibilité

Résumé :

Les catastrophes naturelles sont au cœur des préoccupations des politiques publiques de par leurs multiplicités ces dernières décennies. Les études consacrées à la notion de vulnérabilité sont récentes et peu nombreuses, contrairement à celles réalisées sur les aléas. De nombreux travaux ont été effectués sur l'évaluation de la vulnérabilité directe des territoires. Cependant, parmi elles, peu ont été menés sur la vulnérabilité indirecte et notamment à travers le réseau routier. Il est alors indéniable de prendre l'indicateur d'accessibilité comme une des mesures de la vulnérabilité indirecte.

Nous avons alors cherché à connaître l'impact d'une submersion marine sur les migrations pendulaires. En outre, cela revient à identifier les flux de déplacement les plus réalistes possibles ainsi que les itinéraires les plus probables en fonction du réseau topologique pré et post submersion marine. Lors d'une catastrophe naturelle telle qu'une submersion marine, le réseau routier va augmenter la vulnérabilité du territoire du fait de la perte d'accessibilité.

Notre travail s'est alors concentré sur un cas d'étude précis qui est la Communauté de Commune de l'île de Noirmoutier. Pour évaluer cette vulnérabilité du territoire, nous avons alors établi une méthodologie basée sur divers modèles mathématiques tels que le modèle à 4 étapes, d'outils d'analyse de système d'information géographique et d'hypothèses.

Mots Clés : Insularité / Noirmoutier / Submersion marine / Vulnérabilité indirecte / Modélisation à 4 étapes / Accessibilité / Réseau routier