



**POLYTECH<sup>®</sup>**  
**TOURS**

Département  
Aménagement et Environnement



Ecole d'ingénieurs  
polytechnique  
de l'université de Tours

TOURS

UNIVERSITÉ FRANCIS RABELAIS

CITERES

UMR 6173

Cités, Territoires,  
Environnement et Sociétés

Equipe IPA-PE

Ingénierie du Projet  
d'Aménagement, Paysage,  
Environnement

UMR 7324

**Projet de Fin d'Etudes**

## **Les territoires insulaires face au risque naturel**

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



**Haïti Ilies**  
**M'toufy Sana**

**2017-2018**

**Directeur de recherche**  
**GRALEPOIS Mathilde**

# **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 :**

1ère 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

2ème 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 cette voie, elle vise 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.), ainsi 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 Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 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.**

# Sommaire

<b>1. Introduction</b>	<b>6</b>
1.1 Contexte : enjeux pour l'aménagement et l'environnement	6
1.2 Les différents termes de l'étude	8
1.2.1 La vulnérabilité, une émergence tardive	8
1.2.2 L'accessibilité, un critère de vulnérabilité du territoire peu exploité	9
1.2.3 L'approche de la notion d'insularité	9
<b>2. Etat de l'art de la vulnérabilité d'un territoire</b>	<b>9</b>
2.1 Travaux existants sur la connaissance de la vulnérabilité	9
2.2 Formulation de la problématique et des hypothèses	11
2.3 L'apport au champ de la recherche	12
<b>3. Méthode de collecte de données</b>	<b>12</b>
3.1 Techniques de collecte de données	12
3.2 Modélisation de scénarios afin de mesurer la vulnérabilité des flux domicile-travail	15
3.2.1 Modèle statique à quatre étapes	15
3.2.2 Détermination des flux quotidiens en provenance et en destinations de la Communauté de l'île de Noirmoutier	17
3.2.2 Affectation des flux quotidiens sur le réseau routier sous SIG	20
<b>4. Présentation du terrain d'étude : Ile de noirmoutier</b>	<b>24</b>
4.1 Choix du terrain d'étude	24
4.2 Description et enjeux	24
<b>5. Limite de la démarche</b>	<b>25</b>
<b>6. Plan provisoire S10</b>	<b>26</b>
<b>7. Bibliographie</b>	<b>27</b>
<b>8. Table des Figures</b>	<b>29</b>
<b>9. Table des Tableaux</b>	<b>29</b>

[Sommaire mi-parcours proposé par notre tutrice : GRALEPOIS Mathilde]

# 1. INTRODUCTION

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

Les catastrophes naturelles sont au cœur des préoccupations des politiques publiques avec la multiplication, particulièrement par leurs multiplicité ces dernières décennies. Le site du SDES<sup>1</sup> 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 km<sup>2</sup> 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 l'espace le plus exposé 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 »<sup>2</sup>. Ce phénomène survient lorsque le niveau de la mer surmonte les digues, franchissent les barrages naturels ou débordant 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 tempête Xynthia du 27 février 2010 provoquant une submersion du littoral. Le MEEDDM<sup>3</sup> 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. Leurs conséquences causent également de lourds dommages sur le plan socioéconomique. 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'étude<sup>4</sup> sur la localisation de ces victimes démontrent qu'ils résidaient sur les 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. Raisons pour lesquelles, les politiques publiques ont la responsabilité de la communication en présentant les enjeux, le degré d'aléa et les zones de refuges en cas de catastrophe naturelle ou technologique.

<sup>1</sup> SDES : Service de la Donnée et des Etudes Statistiques

<sup>2</sup> Medde-Wikhydro

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

<sup>4</sup> Vinet et al., 2011

Les documents réglementaires d'utilité publique ont pour objectif de communiquer à la population les différents volets des risques. L'un des plus importants est le PPRL<sup>5</sup> réalisé par l'Etat. La Communauté de Communes de l'île de Noirmoutier l'a adopté en 2008. L'un des objectifs 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. La première carte des zones à risques représentant les différents niveaux d'aléa a été publiée seulement en 2005. Le DICRIM<sup>6</sup> 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 ils sont exposés.

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 des territoires. Cependant, parmi elles, peu ont été menés sur la vulnérabilité du réseau routier. Pourtant, il joue le rôle de support physique permettant les échanges. Essentiel pour les sociétés, le réseau supporte les interactions et connexions. Etant la base du fonctionnement des activités socio-économiques, il représente une certaine fragilité des sociétés.

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. La population devra alors se reporter vers d'autres tronçons routiers si le réseau est suffisamment maillé. Par ailleurs, le réseau routier est essentiels aussi bien dans la gestion de crise (évacuation) que dans la reprise progressive et remise en état.

#### *Objet de la recherche*

---

***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, situation actuelle post-submersion marine, 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 ?***

---

Dans un premier temps, il est nécessaire de prendre connaissance des études portées sur les principales dimensions dont fait appel la problématique. Elle présente les travaux et recherches menées principalement sur les inondations et les mesures de vulnérabilités. Ces études se diffèrent selon l'approche, la dimension et l'indicateur envisagés.

---

<sup>5</sup> PPRL : Plan de Préventions des Risque Naturels

<sup>6</sup> DICRIM : Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs

Ensuite, la seconde partie explique 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 sur le réseau topologique. Cette étude conclut sur les limites de notre démarche.

Découlent de tous cela, la justification du choix du cas d'étude de l'île de Noirmoutier. Une connaissance du territoire d'étude est primordiale et permet d'établir un état des lieux. Les enjeux du territoire seront alors présentés face au risque de submersion marine.

## 1.2 Les différents termes de l'étude

### 1.2.1 La vulnérabilité, une émergence tardive

Avant de rentrer dans le détail de la méthode, il est important de bien définir et de comprendre les différents termes et notions 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 vulnérabilité.<sup>7</sup> Selon l'ADEME<sup>8</sup>, 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 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 Davoust<sup>9</sup>. 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* »<sup>10</sup>.

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

<sup>8</sup> ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

<sup>9</sup> Maître de conférences à l'IUT HSE de Lorient

<sup>10</sup> Provitolo 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>



### 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. »<sup>11</sup>

L'accessibilité peut être définie comme la plus ou moins grande facilité d'accéder d'un point d'origine à un point de destination grâce au réseau de transport. Cette 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.

## 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 a vu 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 inclut 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, la capacité physique de résistance de la population* ».

<sup>11</sup> [www.geog.univmontreal.ca/Geotrans/fr/ch2fr/conc2fr/ch2c3fr.html](http://www.geog.univmontreal.ca/Geotrans/fr/ch2fr/conc2fr/ch2c3fr.html)

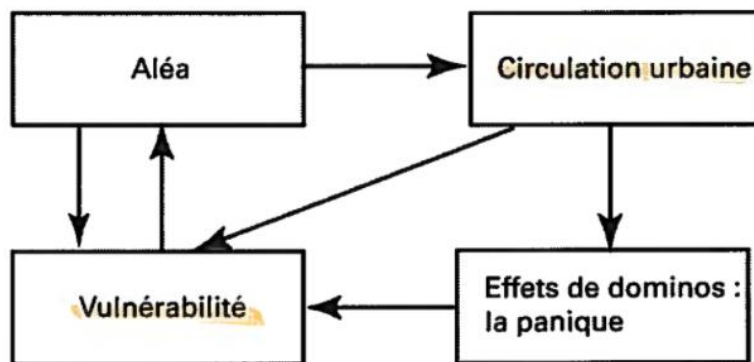


Figure 1: Première conceptualisation du modèle de l'inondation catastrophique

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 pour estimer cette vulnérabilité. Ces représentations visuelles peuvent 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)* » 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 VIE<sup>12</sup>. 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 de zone 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* »<sup>13</sup>. 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

<sup>12</sup> VIE : Vulnérabilité Intrinsèque Extrême

<sup>13</sup> Creach et al., 2015

ensuite plusieurs alternative qui passe de la démolition des bâtiments les plus en danger ou à la construction d'étages supplémentaires.

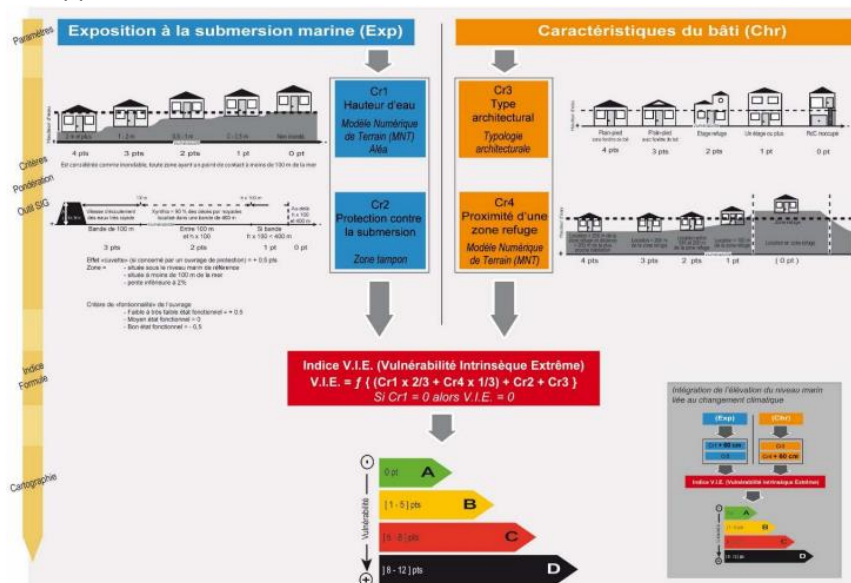


Figure 2 : Méthodologie de l'indice VIE, présentant les critères retenus et leur définition et leur pondération (Source : Creach et al. 2015a)

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 que la 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 retrouvent 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. Les déplacements liés à l'emploi permettent d'évaluer les conséquences économiques sur le territoire. De plus, l'étude de Garnier et Surville note que les mois de janvier, février, et novembre sont des périodes durant lesquelles la probabilité qu'une submersion marine survienne sont les plus forts. Ce phénomène se manifeste donc principalement hors saison estivale, raison pour laquelle il a été décidé d'écarter les flux touristiques.

## **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 DE COLLECTE DE DONNEES**

### **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'Insee<sup>14</sup> (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 : limite 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

---

<sup>14</sup> 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 l'iles / Mtoufy Sans  
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 $F_{DT}$

Donnée INSEE - Mirabelle

Echelle communal (contrôle)

$M_{OO}$  observée

### Etape 2 : Affectation des flux $F_{DT}$

Réseau topologique

Affectation  
Calcul du chemin le plus rapide sur le réseau pré submersion marine

Matrice des flux  $M_{OO}$

But : Calcul des itinéraires DT avant submersion marine

## Scénario 2 : Situation actuelle post submersion marine

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

Réseau routier

Croisement entre l'ALEA et le réseau routier

ALEA

Coups de route sans rupture de digues

Réseau routier sur l'alea

Hauteur des routes

Sélection des routes au-dessus de la hauteur maximale selon chaque site

Hauteur d'eau

Dynamique non prise en compte

Réseau routier post-submersion

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

Matrice des flux  $M_{OO}$

Affectation  
Calcul du chemin le plus rapide sur le réseau après submersion marine

Réseau topologique post-submersion

But : Calcul des itinéraires DT après submersion marine

## Scénario 3 : Situation prévisionnelle post submersion marine

### Etape 1 : Calcul des flux prévisionnels $F_{DT}$

Calcul théorique

① Génération

Tri des flux

② Répartition modale

Tous modes confondus

③ Distribution

Modèle d' Huff sous testier:  
Plus probables que tous les individus fréquentent un lieu (et lieu de travail)

- Population active
- Prise en compte du nombre d'emploi dans le pôle (potentiel d'attraction)
- Délai temporelle (chemin le plus rapide)

Matrice des flux théoriques  $M_{OO}$

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

Réseau topologique post-submersion

Affectation  
Calcul du chemin le plus rapide sur le réseau après submersion marine

Matrice des flux théoriques  $M_{OO}$

But : Calcul des itinéraires DT après submersion marine

Modélisation à 4 étapes ① → ④

### 3.2 Modélisation de scénarios afin de mesurer 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 amené 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 de transport.

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 »<sup>15</sup>.

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

---

<sup>15</sup> Insee

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* » nous montre la récurrence de la submersion marine. La côte atlantique a été touchée à plusieurs reprises par ce phénomène depuis le XXème 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 Boucholiers, 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

Figure 3 : Submersions marines sur les littoraux charentais et vendéens au cours du XXème siècle –  
Source : Freddy Vinet

Les mois de janvier, février, et novembre sont des périodes durant lesquelles la probabilité qu'une submersion marine survienne sont les plus forts. Ce phénomène se manifeste 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). 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 est 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. Jusque 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 près d'un quart de la mobilité quotidienne tous modes et motifs confondus. Les flux quotidiens peuvent donc être estimés à quatre fois supérieures à ceux domicile-travail.



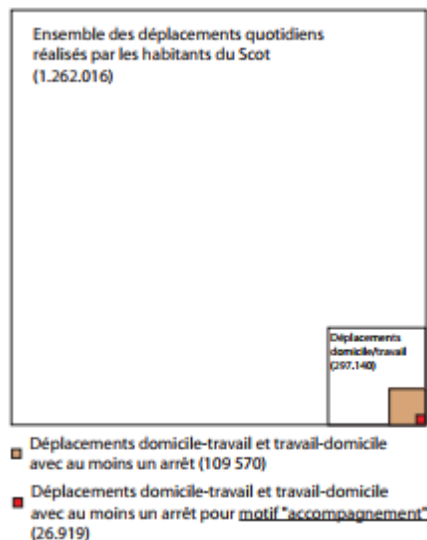


Figure 4 : Part des déplacements Domicile Travail par rapport au déplacement quotidiens (Source : ATU37)

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 arcs 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 existés 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). De ce fait, seront créés des couples origines-destinations et seront affectés 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.

- 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 l'attractivité relative et non maximale. 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.

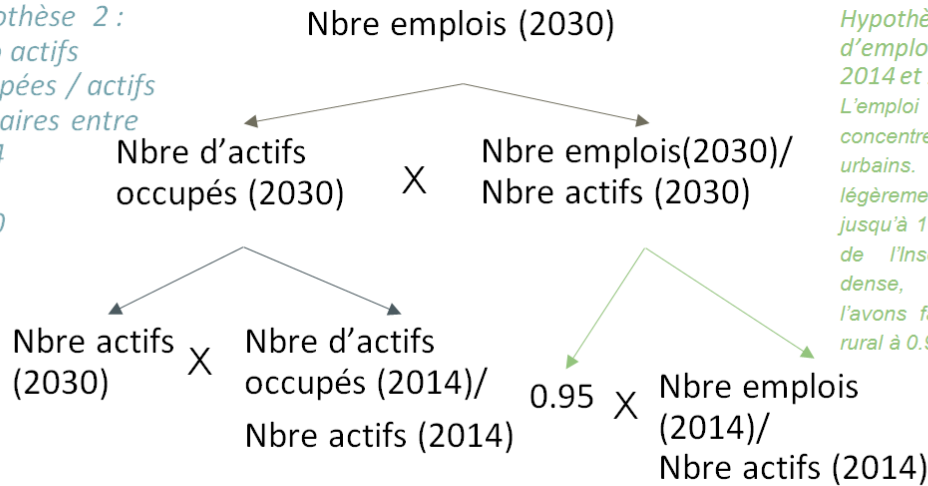
La difficulté est que les données d'entrée sont méconnues. En effet, le nombre d'emplois et de population active en 2030 restent à être prédit. La population active en 2030 est déterminée en fonction de leur évolution selon les projections entre 2014 et 2030 de l'Omphale réalisé par l'Insee dans le tableau 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
<b>Pays de la Loire</b>	<b>11,12</b>
Aquitaine	11,42
Rhône-Alpes	12,02
Languedoc-Roussillon	15,79

Tableau 1: Evolution de la population active par région entre 2014 et 2030

Le nombre d'emplois est calculé selon le schéma suivant :

*Hypothèse 2 :  
ratio actifs  
occupés / actifs  
similaires entre  
2014  
et  
2030*



*Hypothèse 1 : taux  
d'emploi diminue entre  
2014 et 2030:*

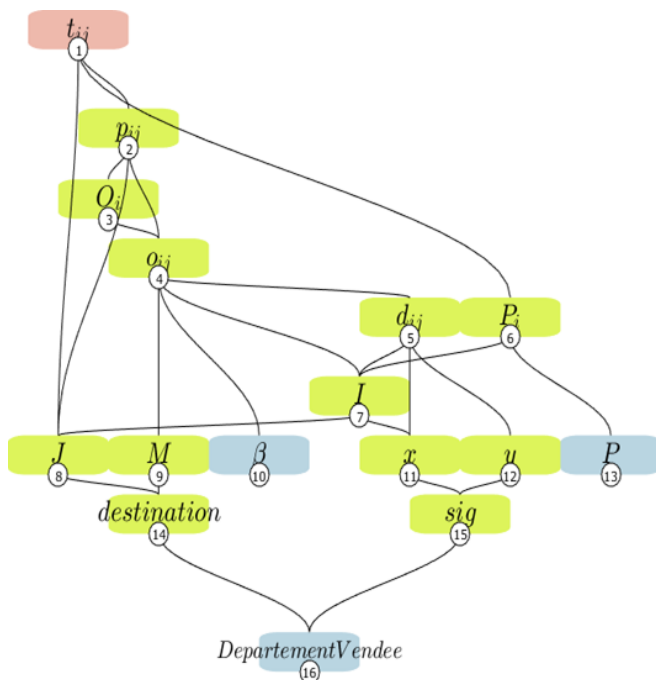
*L'emploi tend à se  
concentrer dans les centres  
urbains. L'idée est de  
légèrement augmenter  
jusqu'à 1.05 le taux d'emploi  
de l'Insee dans l'urbain  
dense, tandis que nous  
l'avons fait baisser dans le  
rural à 0.95.*

Figure 5 : Raisonement des étapes du calcul du nombre d'emplois probables en 2030

Avec l'hypothèse 2, le territoire du département de la Vendée se déclinera entre zones urbaines, périurbaines, rurales. Le coefficient multipliant le ratio nombre d'emplois(2014)/nombre d'actifs (2014) sera donc compris entre 0.95 et 1.05. Ainsi, un poids individuel sera établi pour chaque zone et le taux d'emploi sera différent selon les zones.

- *Formalisation sous Toaster®*

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



$t_{ij}$ : Flux probable des flux domicile-travail entre les points i et j en pers	
1	$t_{ij} = P_i \cdot p_{ij}$
$p_{ij}$ : Probabilité de se rendre d'un point i à un point j en unité	
2	$p_{ij} = o_{ij} / O_i$
$O_i$ : Opportunité de destination que possède chaque actif situé en un point i	
3	$O_i = \sum (o_{ij}, 2)$
$o_{ij}$ : Opportunité d'un actif de se rendre depuis un point i au point j en unité	
4	$o_{ij} = M_j / (d_{ij}^\beta)$
$d_{ij}$ : Distance du point i au point j (avec i différent de j) en m	
5	$d_{ij} = ((x(i) - x(j))^2 + (y(i) - y(j))^2)^{0.5}$
$P_i$ : Nombre de la population active situé en un point i en pers	
6	$P_i = P(I)$
$M$ : Masse d'attraction de destination j (nombre d'emplois) en pers	
9	$12.81 \leq M \leq 36072$
$\beta$ : Frein au déplacement en unité	
10	$1 \leq \beta \leq 2$
$x$ : coordonnées x des origines i et destinations j en m	
11	$291830 \leq x \leq 422375$
$y$ : coordonnées y des origines i et destinations j en m	
12	$6586971 \leq y \leq 6667932$
$P$ : Nombre de personnes qui voyagent en unité	
13	$33.3 \leq P \leq 26985.6$
destination : Définition en unité	
14	destination = appartient (DepartementVendee)
sig : Définition en unité	
15	sig = appartient (DepartementVendee)
DepartementVendee : structure : DepartementVendee.mat en -	
16	DepartementVendee = 0

Figure 6 : Présentation du modèle de Huff sous le logiciel Toaster®

Les flux dépendent des variables d'entrées :  $P$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $J$ ,  $M$ , et  $\beta$ . 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 harversines). L'exposant  $\beta$  reste à fixer.

- *Calage des flux observés sur les flux théoriques de 2014*

Cette partie vise à déterminer la valeur de l'exposant  $\beta$  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  $\beta$  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  $\beta$  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.

### **3.2.2 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 :

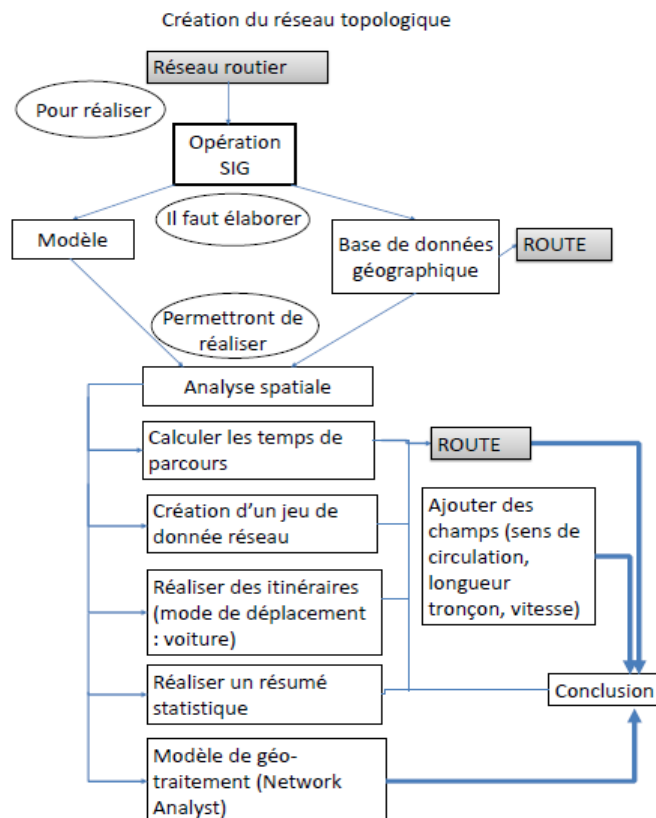


Figure 7 : Logigramme des étapes pour la création du réseau topologique

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  $\text{MINUTES} = [\text{longueur du tronçon}] * 60 / (1000 * [\text{vitesse}])$ .

- 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, route à 1 chaussée =50 etc...). Mais cette méthode ne prends pas en compte les portions de route où la vitesse n'est pas la même. Le calcul du temps de parcours se verrait alors faux dans notre cas. Ce détail n'aurait pas posé problème si nous avions décidé de se concentrer uniquement sur les déplacements dans l'île puisque les vitesses des routes sont en générale constantes. Etant donné que nous travaillons aussi avec la connexion avec le continent, les vitesses ne sont pas les mêmes partout. Nous allons donc réaliser une estimation plus "juste" à partir de la densité du bâti et de la nature des routes.

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.

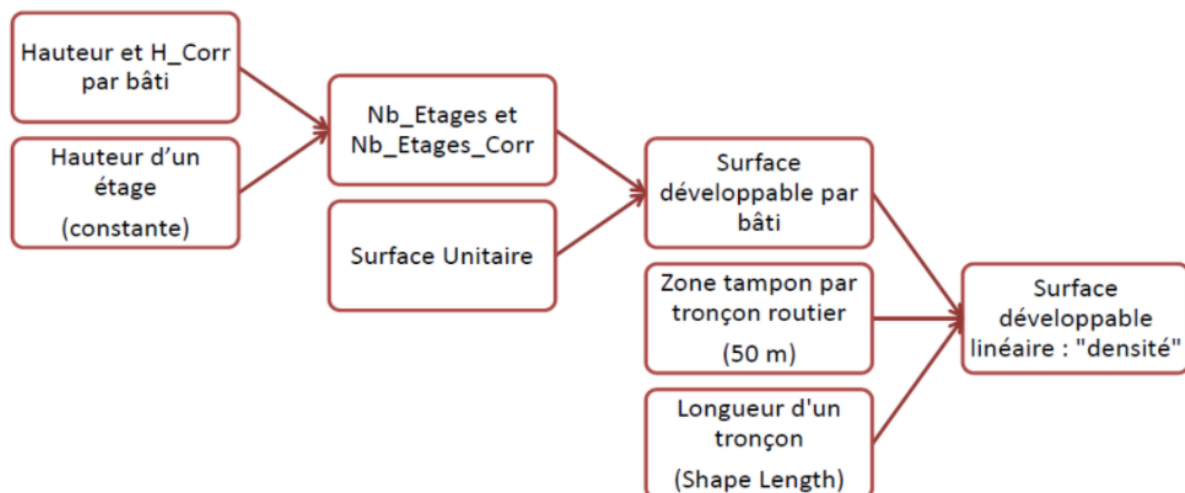


Figure 8 : Logigramme permettant de déterminer les vitesses - Source : Atelier RESEAU

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.

#### ▪ 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 engendrera une modification du réseau routier. De ce fait, cela aura une conséquence directe sur l'accessibilité. D'après la méthode décrite dans la partie précédente, 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.

Etat des lieux des routes après submersion marine

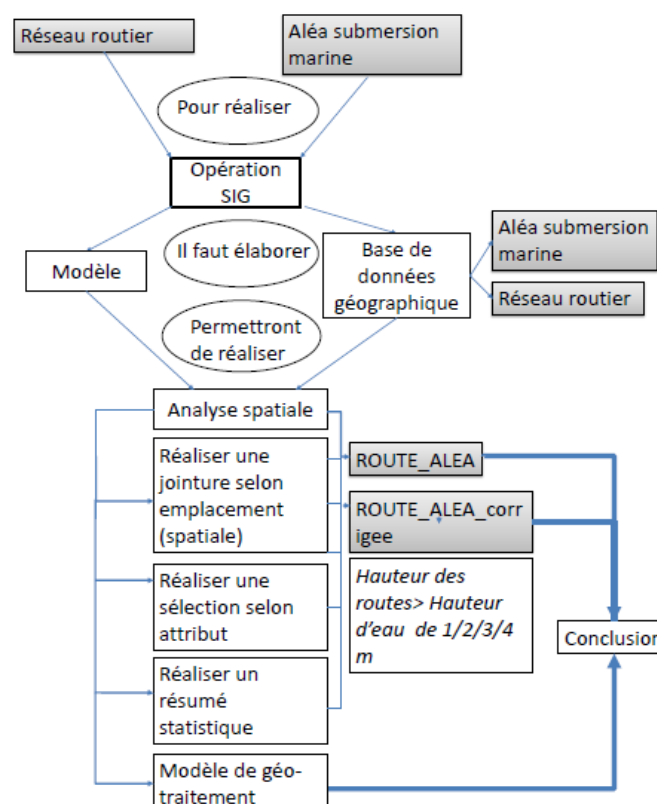


Figure 9 : Logigramme des étapes pour la détermination des routes inondées

## 4. PRESENTATION DU TERRAIN D'ETUDE : ILE DE NOIRMOUTIER

### 4.1 Choix du terrain d'étude

L'île de Noirmoutier est une île française du département de la Vendée. Située sur la façade atlantique c'est l'un des sites insulaires les plus fortement concernés par les risques de submersion marine. Composée de 4 communes (Noirmoutier-en-île, L'Epine, la Guérinière et Barbâtre) des déplacements s'effectuent au sein, en provenance et en destination de celles-ci. Ce territoire exposé à des montées des eaux peut être perturbée et probablement isolée. Il faut savoir que 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 10 : Carte représentant les communes et la localisation de l'île de Noirmoutier - Source :

Bien que les déplacements domicile travail s'effectuent au sein de la Communauté de Communes de Noirmoutier, ils s'étendent au-delà de ce périmètre. 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.

### 4.2 Description et enjeux

Plusieurs submersions marines dont la tempête Xynthia qui a submergé de nombreux territoires Atlantique en 2010, ont provoqué d'importants dégâts matériels et humains. 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 permettent 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. L'auteur 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. Cependant, elle n'a été effectuée que sur les communes touchées par la tempête Xynthia de 2010.

## 5. LIMITE DE LA DEMARCHE

Comme tous travaux de recherche, les démarches comportent quelques limites. En premier lieu, la réalisation des simulations nécessite la prise en compte la dynamique de l'aléa. Cette donnée est normalement réalisée par la DREAL.

Les flux sont déterminés en fonction du centroïde de chaque commune du territoire d'étude. Les déplacements domicile-travail ne s'effectuent pas exactement au point du centroïde mais à moindre échelle. 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. PLAN PROVISOIRE S10

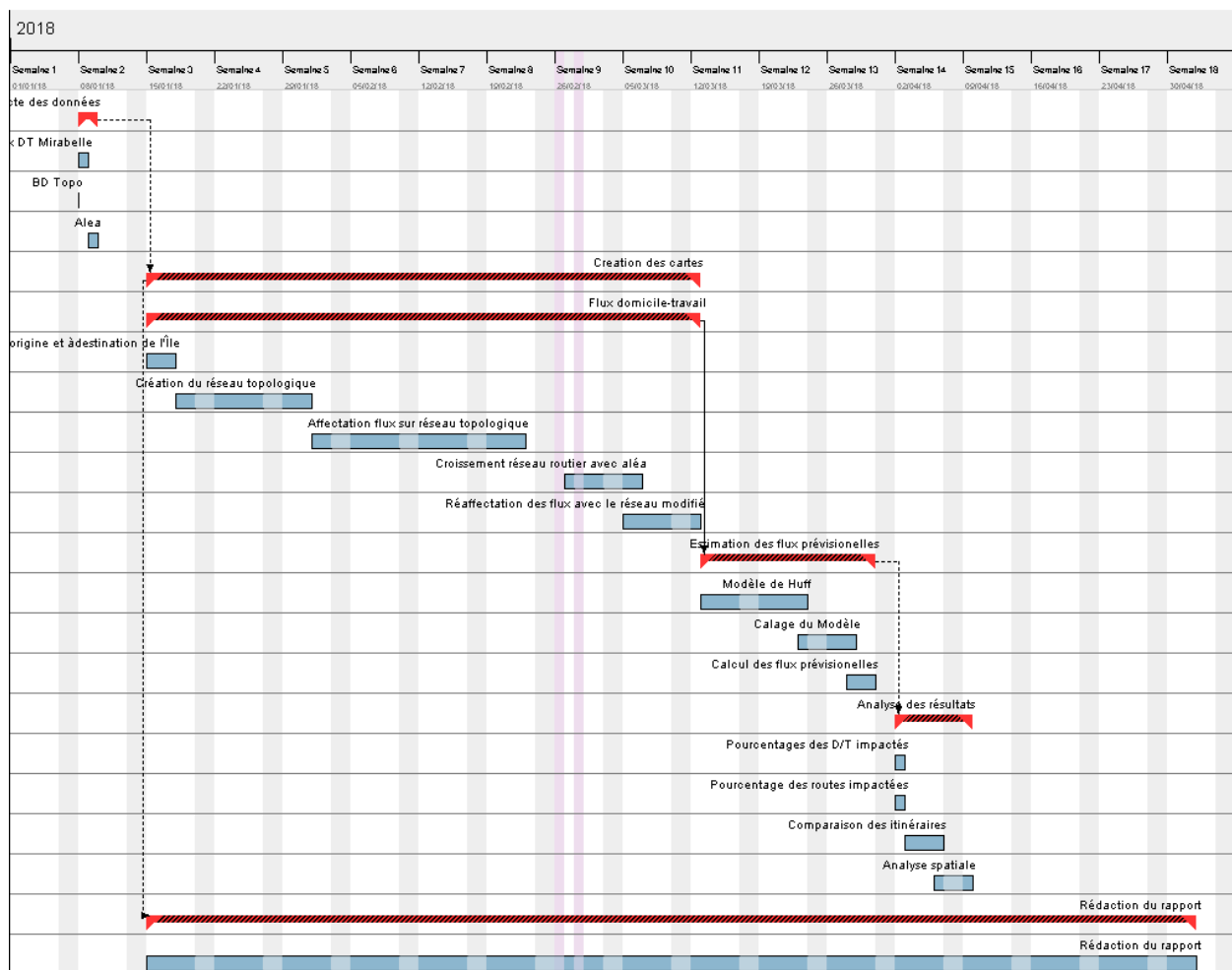


Figure 11 : Planning provisoire S10

Gantt project		
Nom	Date de début	Date de fin
Collecte des données	08/01/18	09/01/18
Flux DT Mirabelle	08/01/18	08/01/18
BD Topo	08/01/18	08/01/18
Alea	09/01/18	09/01/18
Création des cartes	15/01/18	12/03/18
Flux domicile-travail	15/01/18	12/03/18
Travail des flux à l'origine et à destination de l'île	15/01/18	17/01/18
Création du réseau topologique	18/01/18	31/01/18
Affectation flux sur réseau topologique	01/02/18	22/02/18
Croisement réseau routier avec aléa	26/02/18	06/03/18
Réaffectation des flux avec le réseau modifié	05/03/18	12/03/18
Estimation des flux prévisionnelles	13/03/18	30/03/18
Modèle de Huff	13/03/18	23/03/18
Calage du Modèle	23/03/18	28/03/18
Calcul des flux prévisionnelles	28/03/18	30/03/18
Analyse des résultats	02/04/18	09/04/18
Pourcentages des D/T impactés	02/04/18	02/04/18
Pourcentage des routes impactées	02/04/18	02/04/18
Comparaison des itinéraires	03/04/18	06/04/18
Analyse spatiale	06/04/18	09/04/18
Rédaction du rapport	15/01/18	02/05/18
Rédaction du rapport	15/01/18	02/05/18

## 7. BIBLIOGRAPHIE

### ❖ Thèse électronique

- 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](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
- Samuel Rufat, « *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-ppri>
- 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/QMobilité-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](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](http://www.infra-transports-materiaux.cerema.fr/IMG/pdf/1125w_Fiche_MOBILITE_05.pdf)

## 8. TABLE DES FIGURES

Figure 1: Première conceptualisation du modèle de l'inondation catastrophique	10
Figure 2 : Méthodologie de l'indice VIE, présentant les critères retenus et leur définition et leur pondération (Source : Creach et al. 2015a)	11
Figure 3 : Submersions marines sur les littoraux charentais et vendéens au cours du XXème siècle – Source : Freddy Vinet	16
Figure 4 : Part des déplacements Domicile Travail par rapport au déplacement quotidiens (Source : ATU37)	17
Figure 5 : Raisonnement des étapes du calcul du nombre d'emplois probables en 2030	19
Figure 6 : Présentation du modèle de Huff sous le logiciel Toaster®	19
Figure 7 : Logigramme des étapes pour la création du réseau topologique	21
Figure 8 : Logigramme permettant de déterminer les vitesses - Source : Atelier RESEAU	22
Figure 9 : Logigramme des étapes pour la détermination des routes inondées	23
Figure 10 : Carte représentant les communes et la localisation de l'île de Noirmoutier - Source :	24
Figure 11 : Planning provisoire S10	26

## 9. TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1: Evolution de la population active par région entre 2014 et 2030	18
--	----