

DUT Carrières sociales option Gestion Urbaine

Méthodologie d'élaboration d'une cartographie
de l'exposition au risque de submersion marine du littoral des Alpes Maritimes

MINES ParisTech
Centre de recherche sur les Risques et les Crises (CRC)
Rue Claude Daunesse – CS 10207
06904 Sophia-Antipolis

Rapport de stage présenté par :

Margaux Godfrin

Maître de stage :

Aldo Napoli

Chargé de recherche (HDR)

Tuteur de stage :

Zoé Hagel

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce rapport.

J'adresse mes remerciements à ma professeure Zoé Hegel de l'université d'AIX-MARSEILLE son écoute et ses conseils m'ont permis de structurer mes idées et de réaliser un rapport de stage organisé.

Je tiens aussi à remercier vivement Aldo Napoli pour son accueil, son accompagnement et ses conseils qui m'ont permis de fournir un travail de qualité.

Enfin je remercie toute l'équipe de l'école des Mines pour son accueil, sa gentillesse et sa sympathie et aussi Valérie Sanseverino pour avoir relu et corrigé mon rapport de stage.

Résumé :

L'objet de ce stage est d'effectuer une cartographie du risque de submersion marine des Alpes Maritimes. L'élaboration de cette cartographie nécessite plusieurs étapes pour aboutir à une cartographie cohérente. Dans un premier temps, une recherche terminologique est nécessaire afin de délimiter le cadre de la recherche. Ensuite, il est essentiel de faire une recherche des différents types de zonages et métadonnées déjà utilisés dans les cartographies des documents de prévention du risque de submersion marine. Grâce à cette phase de recherches, j'ai enfin défini une méthodologie de réalisation de cartographie en faisant un choix parmi les zonages et métadonnées étudiés auparavant, en superposant différents zonages rendant compte de différentes variables qui sont la caractérisation de l'aléa et de la vulnérabilité du territoire. La méthode choisie pour réaliser la cartographie s'appuie sur les travaux réalisés au CRC sur les inondations que j'ai par la suite adaptées au risque de submersion marine.

Abstract:

This **training program** is about the **mapmaking** on the **risk of marine submersion** in the Alpes Maritimes. The preparation of **risk mapping** requires a number of steps for result at coherent risk mapping. First of all, I need to make a **terminology research** for delimitate the **research framework**. Afterwards, it was essential to research the different types of compartmentalization and metadata that can use in my **cartography**. Thanks to this step of research, I have outlined the methodology of mapmaking. I had to make a choice among different **zoning and metadata**, study previously, if I superimposing the different zoning, you can see two variables: the vulnerability of territory and the characterization of natural hazard. The methodology chooses for make the map is based on the work of CRC on the inundation adapted at risk of marine submersion.

Abréviation	7
Introduction	9
1. <u>Etat de l'art sur la submersion marine</u>	10-27
1.1- Lexique du risque de submersion marine	13-20
1.1.1- Le lexique du risque	10-13
1.1.2- Le lexique de la submersion marine	13-15
1.1.3- Le lexique de l'inondation	15-18
1.1.4- Le lexiques des tsunamis	18-20
1.2- Différentes outils & actions de prévention des risques majeurs	20-27
1.2.1- Outils de prévention des risques	20-22
1.2.2- Les outils & actions de prévention des risques de submersion marine	20-25
1.2.3- Les outils & actions de prévention des risques d'inondation	25-27
1.2.4- Les outils & actions de prévention des risques de Tsunamis	25-28
2. Zonages pouvant être mis en œuvre dans une cartographie du risque de submersion marine	28-50
2.1.- Les types de données	28-30
2.1.1- Qu'est-ce que la métadonnée ?	28
2.1.2- Les éditeurs des données	28-30
2.2- Cartographies élaborées sur des éléments physiques du territoire	30-40
2.2.1- Zones dites « basses »	30-32

2.2.2- Zonage réalisé au regard de la loi Littoral	32-33
2.2.3- Zonage employé par les PPRL	33-36
2.2.4- Zonage réalisé au regard de la Directive inondation du littoral et AZISM	36-40
2.3- Cartographies élaborées sur des éléments sociaux du territoire	40-50
2.2.1- Vulnérabilité sociale	40-41
2.2.2- Vulnérabilité évaluée post-événement au regard de la mortalité	41-44
2.2.3- Vulnérabilité quantifiée sur des analyses foncières	44-48
2.2.4- Vulnérabilité quantifiée grâce à la méthode de la BECOM	48-49
2.2.5- Détermination des facteurs de vulnérabilité grâce aux ACM (Analyses des correspondances multiples)	49-50
3. Elaboration d'une méthode de zonage afin de cartographier le littoral des Alpes-Maritimes	50-65
3.1- Elaboration d'une méthode de caractérisation de l'aléa et de la vulnérabilité en vue de réaliser une cartographie	50-65
3.1.1- Création d'un tableau comparatif et analytique des méthodes de cartographie les plus pertinentes pour caractériser l'aléa	50-53
3.1.2- Création d'un tableau comparatif et analytique des méthodes de cartographie les plus pertinentes pour évaluer la vulnérabilité du territoire	53-55
3.1.3- Adaptation du modèle d'endommagement du BCEOM au risque de submersion marine	53-59
3.2- cartographie de la vulnérabilité des enjeux face au risque de submersion marine.	53-65
3.2.1 – Méthodologie de cartographie à l'aide du système d'information géographique Qgis.	53-65

Abréviations

Les outils :

AZISM : Atlas des Zones Inondables par Submersion Marine

DICRIM : Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs

DI : Directive Inondation

EPRI : Evaluation Préliminaire des Risques d'Inondations

ERP : Etablissements Recevant du Public

PCS : Plan Communal de Sauvegarde

PDU : Plan de Déplacement Urbain

PGRI : Plan de Gestion des Risques d'Inondation

PLU : Plan Local d'Urbanisme

POS : Plan d'Occupation des Sols

Plan ORSEC : Organisation des Secours

PPRL : Plan de Prévention des Risques Littoral

PPR : Plan de Prévention des Risques naturel

PSR : Plan de Submersion Rapide

SNGRI : Stratégie Nationale de Gestion du Risque d'Inondation

SCOT : Schéma de Cohésion Territoriale

TRI : Territoire à Risque d'Inondation important

Les organismes :

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

ARS : Agences Régionales de Santé

EPCI : Etablissement Public de Coopération Intercommunale

Loi ENE : Engagement National pour l'Environnement

CENALT : Centre National d'ALerte aux Tsunamis

CNES : Centre National d'Etudes Spatial

CNIG : Conseil National de l'information géographique

CEREMA : Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement

CETEF : Centre d'Etude TEchniques et de Forestière

CETMEF : Centre d'Etude Technique Maritime et Fluviale

GEIEC : Groupe d'Expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

IGN : Institut Géographique National

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

MEDDE : Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Environnement

SDIS : Services Départementaux d'Incendie et de Secours

SOeS : Service de l'Observation et des Statistiques

SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

Introduction :

Ce rapport permet d'avoir une vision détaillée de mon travail au CRC (Centre de Recherche sur les Risques et les Crises) durant les deux mois de stage. Ma mission au sein du CRC était de réaliser une recherche innovante construite sur le risque de submersion marine. Réaliser une cartographie de l'exposition au risque de submersion marine de littoral des Alpes Maritimes implique des questionnements comme : quelles sont les phénomènes qui peuvent engendrer un phénomène de submersion marine ? Quelles sont les territoires qui peuvent être le plus affecté par ce risque ? Et comment prévenir les populations ? Ce sujet m'a particulièrement intéressé au vu de mon lieu d'habitation qui se situe dans une ville littorale : Cagnes sur mer. Je me suis alors aperçu que même si j'habite sur le bord de mer je n'avais jamais entendue parler de submersion marine et je ne savais même pas ce que voulait réellement dire ce terme. La problématique de la submersion marine est une question pertinente qui n'a pas pour l'instant fait l'objet de peu de recherches en France, c'est en cela que ma recherche se veut innovante. L'Etat français n'avait pas vraiment pris en œuvre de politique de prévention des risques naturels avant la survenance de la tempête Xynthia en 2011. Dans cette étude il s'agit de savoir comment peut-on réaliser un modèle de cartographie permettant une meilleure lisibilité de la vulnérabilité du territoire des Alpes Maritimes ?

Mon travail se développe en trois grands axes. Dans une première partie, sera exposé le vocabulaire du risque et de la submersion marine.

Dans une seconde partie, mon étude permet de faire une liste non exhaustive des différents types de zonages qui peuvent être pertinents à mettre en application dans la cartographie et qui rendent compte du niveau de risque de la submersion marine mais aussi des enjeux les plus vulnérables.

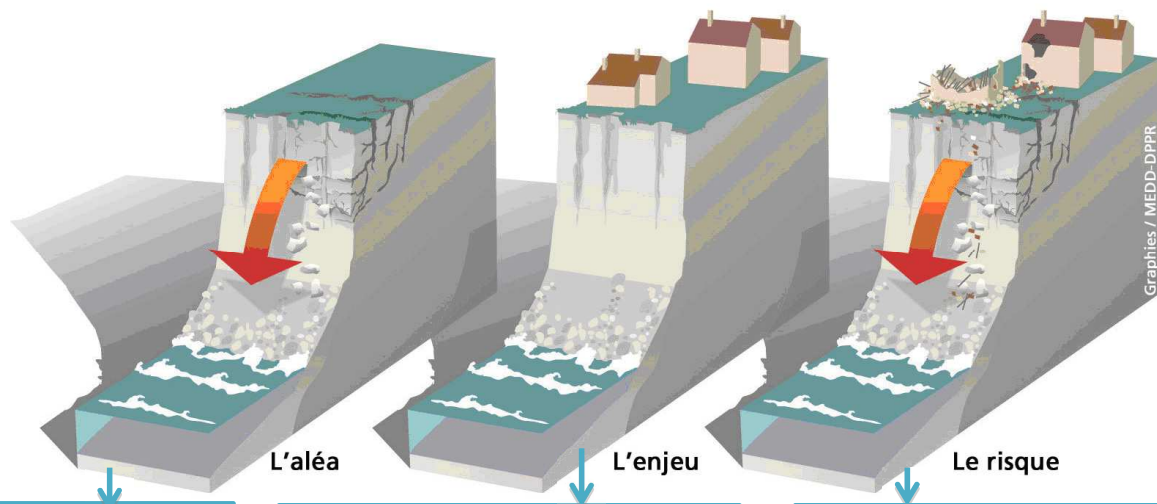
Enfin dans une troisième partie, je mettrai en application un ou plusieurs types de zonages étudiés auparavant, pour produire une cartographie de l'exposition au risque de submersion marine du littoral des Alpes maritimes.

1. Etat de l'art dans la submersion marine

1.1- Lexique du risque de submersion marine

1.1.1- Le Lexique du risque

Il y a trois définitions essentielles pour intégrer la notion de « risque ». Celles de l'aléa, d'enjeu et de risque qui constituent la définition du risque.



Etymologiquement aléa vient du latin alea qui veut dire « hasard ». L'aléa renvoie donc à la possibilité d'apparition d'un phénomène ou d'un événement qui résulte d'un processus qui échappe à l'Homme. En effet la majorité des aléas naturels ont des causes d'apparition et de développement déterminé par des facteurs naturels comme des éruptions volcaniques, ou une sécheresse. Cependant l'Homme peut avoir sa part de responsabilité dans certains aléas comme un incendie de forêt ou une avalanche.

Les enjeux sont les personnes, les biens et l'environnement pouvant être menacé par un ou plusieurs aléas et sont susceptible de subir des dommages ou des préjudices. L'enjeu le plus important est celui de la vie humaine. On peut quantifier cet enjeu en fonction du nombre de personnes menacées par un phénomène naturel ou anthropique et de leurs vulnérabilités. En effet une crèche est plus vulnérable aux phénomènes naturels qu'une caserne de pompier. Le second enjeu, sont tous les biens matériels possédés par un individu ou une collectivité territoriale et qui représente un certain intérêt comme une maison d'habitation, un champ cultivé ou un tunnel.

Au regard de la loi un risque est un événement dont l'arrivée est aléatoire et susceptible de causer des dommages aux biens et/ou aux personnes. Le risque ne dépend pas de la volonté des parties. Il existe plusieurs types de risque (la liste n'étant pas exhaustive) :

- Le risque majeur
- Le risque naturel
- Le risque industriel

Le risque résulte de la combinaison :

$$\text{Enjeux} + \text{Aléa} = \text{risque.}$$

En effet s'il n'y a pas d'enjeux il n'y a pas de risque. Par conséquent un séisme dans le désert ne comporte pas de risques puisqu'il n'y a pas d'enjeux.

De ces trois définitions découle la définition de la vulnérabilité qui est directement lié à la notion de risque. Etymologiquement la vulnérabilité est empruntée au latin « vulnerabilis » qui signifie « qui peut être blessé ». Elle traduit dans le langage commun une faiblesse, une

déficience, une grande sensibilité qui induit une menace sur un lieu ou une personne. Le petit Robert 2014 donne deux définitions au mot vulnérable :

- « Qui peut être blessé, frappé par un mal physique »
- « Qui peut être facilement atteint, se défend mal »

Ainsi la vulnérabilité traduit ce qui peut être atteint du fait de son exposition, et qui possède des capacités de défense limitées. En 1994 R. d'Ercole définit la vulnérabilité comme étant « La propension d'une société donnée à subir les dommages en cas de manifestation d'un phénomène naturel ou anthropique ». La vulnérabilité représente les dommages susceptibles d'être subis par les enjeux. Elle dépend alors des capacités d'anticipation, de réaction et de résistance d'un territoire.

Toutefois la notion de « risque » se décline sous plusieurs formes. Nous nous intéressons ici au risque majeur, qui se définit comme étant une possibilité d'événement d'origine naturelle ou anthropique dont les effets peuvent mettre en danger un grand nombre de personnes, qui peut occasionner des dommages importants et dépasser les capacités de réaction de la société. Haroun Tazieff volcanologue reconnu définit le risque majeur comme "la menace sur l'homme et son environnement direct, sur ses installations, la menace dont la gravité est telle que la société se trouve absolument dépassée par l'immensité du désastre". Ainsi les sociétés comme les individus doivent s'organiser pour faire faces aux phénomènes naturels et réduire leur vulnérabilité. Le risque majeur peut se décliner en 3 grandes familles :

- Les risques naturels (tout risque lié à un phénomène naturel) : Avalanche, feu de forêt, inondation, mouvement de terrain, cyclone, tempête, séisme, submersion marine et éruption volcanique.
- Les risques technologiques (tout risque lié à des quantités importantes de substances dangereuses dans certains établissements ou certaines installations) : cela regroupe tous les risques industriels, nucléaires et biologiques.
- Les risques de transports collectifs qui sont des risques technologiques liés à des personnes ou des matières dangereuses ; ils se distinguent du risque technologique car les enjeux varient en fonction de l'endroit où se développe l'accident.

On peut caractériser le risque majeur grâce à deux critères :

- Il se manifeste de manière peu fréquente, ce sont des cas considérés comme exceptionnels
- Il représente une situation d'énorme gravité en aval. Suite à une catastrophe induite par un risque majeur on dénombre beaucoup de victimes mais aussi beaucoup de dommages importants sur les biens et l'environnement.

La catastrophe est la rupture du fonctionnement d'une communauté qui s'accompagne par des pertes humaines, matérielles et environnementales. Dans le cas de la catastrophe, la

communauté n'est pas en capacité de faire face par ses propres moyens aux dégâts causés elle peut faire appel à des aides de l'état par exemple. Quand les dommages d'une catastrophe sont directement causés par un phénomène naturel d'une intensité anormale, elle est qualifiée de catastrophe naturelle d'après la loi du 13 juillet 1982.

Enfin la définition de résilience, qui est un terme polysémique utilisé dans différents domaines comme la psychologie, l'écologie ou encore l'économie. A la base c'est un concept physique qui détermine le temps que met un objet à reprendre sa forme initiale après avoir subi une forte pression. Dans le domaine des risques naturels, la résilience décrit l'aptitude d'une organisation ou d'une société à se rétablir après le passage d'un risque majeur. Comme par exemple après la tempête, la résilience est le temps qu'on prit les citoyens et la collectivité pour retrouver une situation dite « normale ».

1.1.2- *Le Lexique de la submersion marine*

La submersion marine se définit comme étant une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques particulières. Les submersions marines peuvent durer de quelques heures à quelques jours. La submersion marine peut être considérée comme un risque au regard de l'exposition des enjeux (constructions et activités économiques situées sur le littoral) à un aléa, la submersion.

On peut distinguer trois types de submersion marine :



L'étude de la submersion marine nécessite d'expliquer le vocabulaire spécifique utilisé dans ce domaine. Un des mots clés pour comprendre le phénomène de submersion est la surcote

qui définit la différence positive entre le niveau marégraphique observé et le niveau prédit. On peut dénombrer plusieurs types de surcote :

- la surcote météorologique, provoquée par le passage d'une dépression et prenant en compte les effets du vent, de la pression et des effets dynamiques liés au déplacement de l'onde de surcote ;
- la surcote liée aux vagues ou set-up qui est une surcote locale provoquée par la dissipation d'énergie liée au déferlement des vagues.

L'onde de surcote désigne une surélévation du niveau de la mer qui résulte de l'action des vents et des basses pressions.

Le niveau marin est défini de plusieurs manières :

- *le niveau marin* intègre en plus du niveau de la mer la surcote liée aux vagues. Le niveau marin désigne la hauteur d'eau aux côtes à marée haute ;
- *le niveau d'eau* intègre au niveau moyen de la mer les effets de la marée et de la surcote météorologique (sans l'effet des vagues) ;
- *le niveau marégraphique* est un indicateur qui rend compte de l'évolution journalière du niveau de la mer.

Pour déterminer les différents niveaux d'eau il a d'abord fallu savoir ce qui faisait partie de l'aspect terrestre et de l'aspect maritime, c'est ce qu'on appelle en cartographie du trait de côte (phrase pas claire). Ce trait de côte est défini comme la ligne séparant la terre et la mer. En fonction de sa position, on peut rendre compte de la dynamique du littoral.

Pour permettre de protéger les enjeux face à l'aléa de submersion marine, de nombreux ouvrages de protection des littoraux ont été édifiés à des époques différentes. Un ouvrage de protection côtière est une structure qui a pour vocation initiale de fixer le trait de côte, en limitant l'érosion, en réduisant les franchissements de la houle et en en réduisant son intensité. Un ouvrage n'a pas une fonction exclusive, il peut en avoir plusieurs. Cependant, ces ouvrages ne permettent pas de lutter à long terme contre les phénomènes d'érosion, ils peuvent même se rompre et créer un danger pour les populations.

On peut dénombrer plusieurs types de protection côtière :

Perré : revêtement en pierres sèches qui protège un ouvrage et empêche les eaux de le dégrader ou les terres d'un talus de s'effondrer



Epi : ouvrage hydraulique rigide construit au bord d'un océan ou d'une mer ou sur les berges d'une rivière. Dans l'océan ou la mer, les épis permettent de créer des plages et évitent de les voir emportées par l'érosion du littoral

Brise-lame : construction établie devant un port, une zone aménagée, une plage ou un littoral vulnérable. C'est un ouvrage élevé pour protéger contre la houle du large



Digue côtière : ouvrage généralement construit de manière longitudinal dont la vocation principale est de faire obstacle aux écoulements et de limiter les entrées d'eau dans une zone protégée. Sa vocation principale est de protéger des submersions marines pour permettre d'éviter les dommages sur les enjeux. Elle peut être située sur le trait de côte pour prévenir directement du danger ou en arrière côte pour une seconde défense.

Les ouvrages de protection, diminuant l'intensité de certains événements et évitant certains cas de submersion marine, ont pour vocation de protéger les populations et les biens dans la mesure où ils sont conçus dans les règles de l'art et bien entretenus. Mais, il ne faut pas oublier qu'ils induisent un aléa en cas de rupture. C'est pourquoi l'ouvrage de protection endosse deux caractéristiques :

- il s'agit d'une protection comme nous l'avons vu ;
- il est aussi porteur de danger, dans la mesure où s'il rompt, la submersion est inévitable. En effet, aucun ouvrage ne peut être considéré comme infaillible.

L'ouvrage de protection peut être défaillant à cause :

- d'une brèche, c'est-à-dire une ouverture dans le système d'endiguement consécutive à une perte de matériaux, pouvant générer des entrées venues d'eaux substantielles provoquant ainsi une inondation.
- Ou d'un état de ruine généralisé qui est une hypothèse correspondant à un effacement complet de l'ouvrage. Dans le cas de cette hypothèse, les ouvrages sont comme transparents et arasés au niveau de la terre.

1.1.3- ***Le lexique des inondations***

La tempête Xynthia en 2011 en est l'exemple parfait d'une submersion marine ayant engendré des inondations : la catastrophe a commencé dans la nuit du 27 février sur les côtes de Vendée et de Charente-Maritime, avec un fort vent ce qui a eu pour effet de créer des vagues, une surcote météorologique et une submersion des terres par l'océan. Parallèlement à cette submersion marine et liée à ce phénomène, une inondation s'est produite. En raison des fortes vagues et de la houle, l'eau présente dans les estuaires n'a pas pu s'écouler. Par conséquent le niveau d'eau des estuaires a augmenté et a provoqué une inondation par une rapide montée des eaux.

La tempête Xynthia et les conséquences qui ont suivi montre qu'une inondation peut-être la conséquence directe d'une submersion marine. Il est donc important d'étudier également le phénomène d'inondation et son vocabulaire associé.

L'inondation peut se définir comme un débordement d'eau qui submerge les terrains environnants.

On peut distinguer 5 types d'inondations :

- l'inondation à montée lente : la rivière sort lentement de son lit mineur et inonde la plaine pendant une période relativement longue. La rivière va donc progressivement occuper son lit moyen puis son lit majeur ;
- l'inondation à montée rapide : elle apparaît suite à de fortes précipitations sur le bassin versant. Peuvent s'ajouter les ruissellements qui vont rapidement se concentrer dans les cours d'eau. Ces phénomènes vont entraîner des crues rapides (torrent), brutales et violentes (charriage de matériaux). Ce genre d'inondation transporte des grandes quantités de sédiments et emporte tout sur son passage pouvant créer des barrages (embâcles) ou encore une vague pouvant être dangereuse voire mortelle ;
- l'inondation par remontée de nappe : après une longue période pluvieuse, les nappes phréatiques se gorgent d'eau à tel point que la nappe affleure le terrain, provoquant une inondation ;
- l'inondation par ruissellement pluvial : les différents aménagements anthropiques ont pour effet d'imperméabiliser les sols. Par conséquent, lors de précipitations, l'infiltration des eaux dans les sols est limitée, ce qui accentue le ruissellement d'eaux pluviales et occasionne une saturation des réseaux d'évacuation de ces eaux, puis une montée des eaux ;
- l'inondation par submersion marine : il s'agit d'une inondation temporaire de la zone côtière par la mer, souvent dans des conditions météorologiques extrêmes qui provoquent une montée du niveau de la mer.

Concernant les inondations liées à un cours d'eau, il est important de s'intéresser au phénomène de crue. La crue désigne l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans un cours d'eau. De ce fait, ce cours d'eau peut sortir de son lit mineur pour gagner son lit moyen voire son lit majeur (cf. *infra*) en fonction de la quantité d'eau en circulation. Il faut préciser qu'une crue n'entraîne pas forcément un phénomène d'inondation. On peut distinguer deux facteurs qui influencent les crues :

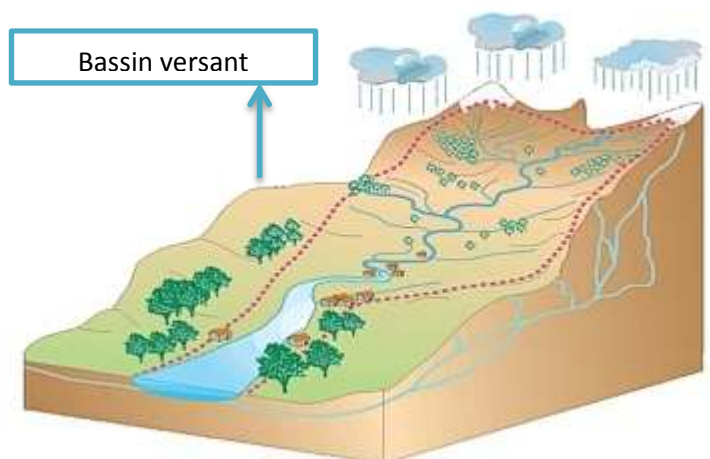
- les facteurs naturels : la quantité, la répartition spatiale et temporelle des pluies dans le bassin versant (cf. *infra*) sont des éléments déterminants de la montée d'une crue. D'autres facteurs sont à prendre en compte comme la nature des sols, leur saturation en eaux et aussi la topographie du lit (sa forme et sa pente) ;
- les facteurs anthropiques : l'imperméabilisation des sols avec l'apparition de l'urbanisme est un facteur important de survenance d'une crue. Par exemple, les aménagements anthropiques qui empiètent sur certains cours d'eau comme la suppression des méandres, accélèrent les crues en aval. Autre exemple, les digues mal entretenues qui peuvent rompre sont aussi des facteurs de montée des eaux.

Le lit mineur et le lit majeur sont des éléments de géomorphologie fluviale qui est une discipline qui consiste à analyser la formation des lits des cours d'eau et des plaines d'inondations. Le lit mineur d'une rivière est compris entre des berges franches dans laquelle la totalité de l'eau s'écoule la plupart du temps. En revanche le lit majeur est le lit maximum que peut occuper l'écoulement des eaux. L'eau s'écoule dans le lit majeur de manière occasionnelle en période de très hautes pluies par exemple.



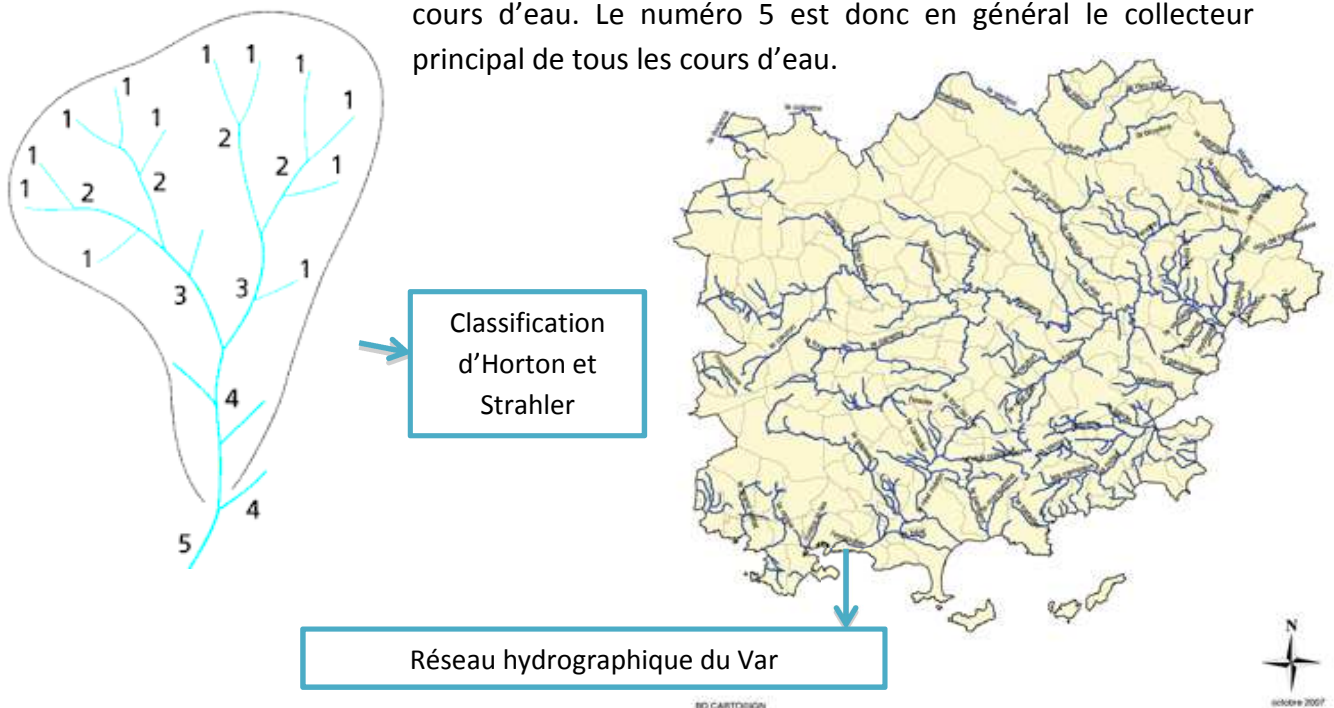
La géomorphologie fluviale fait référence à de nombreux termes essentiels pour la compréhension du phénomène de crue :

Le bassin versant est un territoire qui draine l'ensemble des eaux vers un exutoire commun. Il fait partie d'un ensemble qu'on appelle un réseau hydrographique, constitué par l'ensemble de rivières et



autres cours d'eau permanents ou temporaires, ainsi que les lacs et les réservoirs d'eaux qui interagissent entre eux dans un territoire donné. Le bassin versant constitue le point le plus en aval du réseau hydrographique et est délimité par des frontières naturelles comme des lignes de crêtes par exemple. En 1952 Horton et Strahler détermine une classification du réseau hydrologique en attribuant un numéro pour chaque cours d'eau :

- numéro 1 est pour le cours d'eau qui n'a aucun affluent il est alors dit « d'ordre 1 »
- les numéros 2 à 5 sont attribués en fonction du nombre d'affluents que possède le cours d'eau. Le numéro 5 est donc en général le collecteur principal de tous les cours d'eau.



1.1.4- Le lexique du tsunami

Le tsunami est un mot Japonais signifiant « vague de port ». Ce mot désigne une vague gigantesque qui peut atteindre les 40 mètres de haut. La plupart de tsunamis se forment à la suite d'un tremblement de terre mais il peut aussi être déclenché par une éruption volcanique sous-marine ou un glissement de terrain. Le brusque déplacement de deux plaques tectonique provoque une puissante onde qui va se propager et va créer une grosse masse d'eau. Le tsunami est en fait une masse d'eau/ vague qui va grossir au fur et à mesure de son parcours. Quand elle se forme en pleine océan, la vague peut être minuscule, mais en se rependant elle devient de plus en plus grosse pour atteindre son apogée au bord des côtes, car moins il y a de profondeur, plus la vagues est élevée.

Le tsunami est consécutif à un séisme dues au fait que deux plaques tectoniques se percutent, se chevauchent ou s'écarte. Les mouvements émis par le sol terrestre peuvent être enregistré sur un sismomètre. De plus, pour pouvoir mesurer l'intensité du phénomène il existe l'échelle de Richter, elle évalue l'énergie des séismes grâce à leur magnitude. La magnitude d'un tremblement de terre est la mesure de la quantité d'énergie libérée au foyer d'un séisme. Mais, l'échelle de Richter n'est pas la seule échelle à pouvoir mesurer un séisme. Il existe aussi l'échelle de Mercalli qui permet une classification des séismes en fonction de l'étendue de dégâts provoqué et des intensités engendré par ce phénomène.

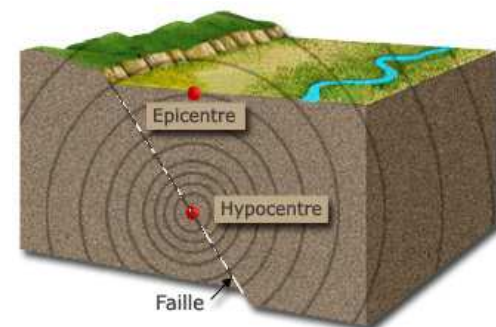
Intensité	Dégât
I	secousse non ressentie, mais enregistrée par les instruments
II	secousse partiellement ressentie, notamment par des personnes au repos et aux étages
III	secousse faiblement ressentie, balancement des objets suspendus
IV	secousse largement ressentie dans et hors les habitations, tremblement des objets
V	secousse forte, réveil des dormeurs, chute d'objets, parfois légères fissures dans les plâtres
VI	légers dommages, parfois fissures dans les murs, frayeur de nombreuses personnes
VII	dégâts, larges lézardes dans les murs de nombreuses habitations, chûtes de cheminées
VIII	dégâts massifs, les habitations les plus vulnérables sont détruites, pres que toutes subissent des dégâts importants
IX	destructions de nombreuses constructions, quelquefois de bonne qualité, chute de monuments et de colonnes
X	destruction générale des constructions, même les moins vulnérables (non parasismiques)
XI	catastrophe, toutes les constructions sont détruites (ponts, barrages, canalisations enterrées...)
XII	changement de paysage, énormes crevasses dans le sol, vallées barrées, rivières déplacées...

Echelle de Mercalli

Magnitude	Description	Effets constatés	Fréquence
moins de 2,0	Micro	Microtremblement de terre, non ressenti	8 000 par jour
2,0 à 2,9	Très mineur	Généralement non ressenti, mais détecté par les sismographes	1 000 par jour
3,0 à 3,9	Mineur	Souvent ressenti, mais causant très peu de dommages	50 000 par an
4,0 à 4,9	Léger	Objets secoués à l'intérieur des maisons, bruits de chocs, dommages importants	6 000 par an
5,0 à 5,9	Modéré	Dommages majeurs à des édifices mal conçus dans des zones meubles. Légers dommages aux édifices bien construits	800 par an
6,0 à 6,9	Fort	Destructeur dans des zones jusqu'à 180 kilomètres de l'épicentre	120 par an
7,0 à 7,9	Majeur	Dommages sévères dans des zones plus vastes	18 par an
8,0 à 8,9	Important	Dommages sérieux dans des zones à des centaines de kilomètres de l'épicentre	1 par an
9,0 et plus	Exceptionnel	Dommages très sérieux dans des zones à des centaines de kilomètres de l'épicentre	2 par siècle

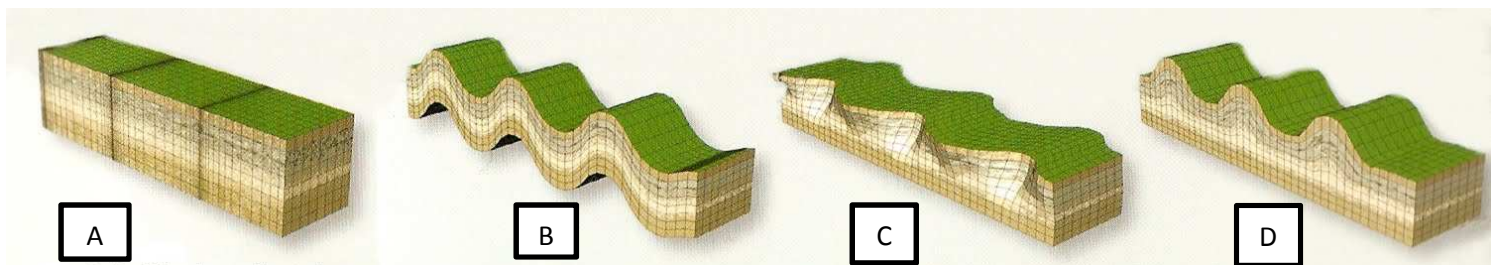
Echelle de Richter

Lors d'un séisme on distingue plusieurs zones d'action. La première est le foyer/l'hypocentre qui désigne le point de départ de la rupture sismique. A la surface de la terre on appelle épicentre, la projection à la surface de la terre de l'hypocentre l'épicentre représente donc la verticale exacte du foyer. De ce fait l'épicentre est l'endroit où la magnitude est la plus élevée.



Les secousses dans un séisme sont dues à l'énergie générée par le séisme qui voyage sous forme d'onde à travers les différentes strates de la terre. On peut distinguer 4 formes d'ondes :

- A • l'onde primaire/ de compression se déplace rapidement de l'intérieur de la terre vers la surface. Ce sont les premières ondes ressenties lors d'un séisme ;
- B • l'onde secondaire/ de cisaillement qui provoquent des mouvements de sol perpendiculaire au sens de propagation. Elle se déplace deux fois moins vite que l'onde primaire ;
- C • l'onde de love provoquent un ébranlement horizontal à la surface de la terre. Elles peuvent causer de gros dégât ;
- D • l'onde de Rayleigh provoque la déformation de la surface du sol comme les vagues d'un océan.



Souvent l'amalgame entre une marée de tempête et un tsunami est faite. Or le tsunami est une succession de vagues qui engendre des dégâts matériels, humains et environnementaux et la marée de tempête désigne une élévation du niveau de la mer à cause de condition météorologique extrême.

L'étude des lexiques m'a permis de me familiariser avec les différents domaines appréhendés. Ainsi, nous allons maintenant pouvoir définir les outils et actions que peuvent mettre en place les autorités publiques pour prévenir les populations des risques majeurs.

Dire aussi que ça t'a permis d'étudier des risques pouvant être associés au risque de submersion marine (inondation, séisme).

1.2- Différents outils & actions de prévention des risques majeurs

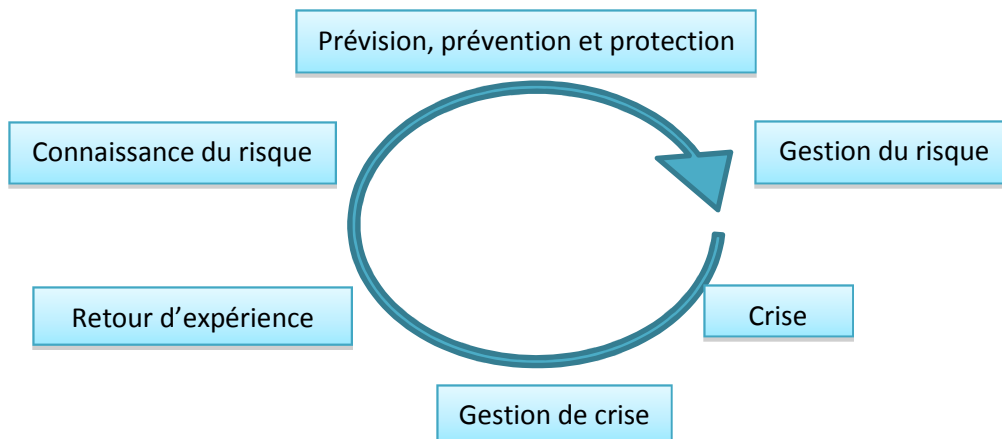
La prévention des risques est l'ensemble des dispositions à mettre en œuvre pour réduire l'impact d'un phénomène naturel prévisible sur les biens et les personnes. La prévention des risques doit s'inscrire dans une démarche de développement durable pour limiter les

conséquences économiques, sociales et environnementales du développement imprudent de nos sociétés. Le dispositif français de prévention des risques repose sur sept axes :

- la connaissance des phénomènes, de l'aléa, des enjeux et du risque. Il faut donc mettre au point certains outils afin de collecter des données sur les phénomènes. Les données récoltées sont ensuite réunies dans une base de données, un atlas ou autres types de documents. Ces documents permettent notamment d'identifier les enjeux et d'en déterminer la vulnérabilité face aux aléas. Il y a donc une meilleure compréhension des risques majeurs. Si on comprend mieux, le risque il est plus facile de l'anticiper et de limiter les dégâts ;
- la surveillance permet d'anticiper les risques et de pouvoir alerter la population à temps. La surveillance implique donc des dispositifs d'analyses et de mesures de l'aléa. La difficulté réside dans le fait que certains phénomènes sont peu prévisibles comme un feu de forêt, par exemple. Par conséquent, il est difficile d'en informer les populations et de pouvoir prendre des mesures de sécurité ;
- l'information préventive et l'éducation permet de limiter la vulnérabilité des enjeux. L'Etat met en place une campagne d'information et de prévention des risques pour que les citoyens puissent adopter des comportements adaptés aux menaces. L'article du L.152-2 du code de l'environnement indique que : « *Les citoyens ont un droit à l'information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis dans certaines zones du territoire et sur les mesures de sauvegarde qui les concernent. Ce droit s'applique aux risques technologiques et aux risques naturels prévisibles. [...]* » Il instaure un droit des citoyens à une information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis sur un territoire. Et initie le développement d'une culture du risque. La culture du risque est le fait d'informer tous les citoyens des risques encourus sur un territoire mais aussi sur les réactions et les gestes qui sauvent pour éviter les grands nombres de mort lors de catastrophes ;
- la prise en compte des risques dans l'aménagement pour protéger les populations. Il est nécessaire de maîtriser l'aménagement pour éviter d'augmenter les enjeux dans les zones à risques. L'instrument de l'Etat pour la prévention des risques est le PPR (plan de prévention des risques naturels) (cf. Infra)
- la mitigation qui est l'action qui conduit à réduire les dommages sur les enjeux pour les rendre plus supportable par la société. Elle agit en :
 - En réduisant l'intensité de certains aléas (digue, débroussaillage) ;
 - En réduisant la vulnérabilité des enjeux.
 Elle suppose donc la formation de divers intervenants (architecte, entrepreneurs etc...) en matière de conception et de prise en compte des phénomènes ainsi que la définition de règles de construction. La mitigation implique aussi les particuliers qui doivent agir personnellement afin de réduire la vulnérabilité de leurs propres biens ;
- la planification de l'organisation des secours. Les pouvoirs publics ont le devoir d'organiser des moyens de secours pour faire face aux crises éventuelles ;

- la prise en compte du retour sur expérience est une étape qui après la catastrophe.. Ces rapports rédigés par des experts peuvent être établis aussi bien au plan local qu'au plan national quand surgit des événements majeurs. Ils permettent de tirer un bilan de chaque catastrophe et ainsi de pouvoir rédiger une analyse globale, afin d'améliorer les actions en amont et en aval de la catastrophe.

C'est donc grâce aux prévisions et au retour d'expérience que les politiques de prévention de risques peuvent se mettre en place. Selon le cycle suivant :



1.2.1- Outils de prévention des risques

Pour pouvoir prévenir des risques et limiter la vulnérabilité des enjeux les autorités publiques peuvent avoir recours à différents outils. La liste des outils présentés utilisés par les autorités publiques n'est pas exhaustive ce n'est qu'un aperçu de ce que l'Etat ou les collectivités peuvent appliquer sur le territoire national. L'un des documents le plus connu pour prévenir des risques naturels est le PPR (Plan de Prévention de Risques) en vigueur depuis la loi du 2 février 1995 (loi Barnier), Il est réalisé par l'Etat qui va réglementer l'utilisation des sols. Le PPR sera donc l'outil le plus utilisé dans les politiques de prévention des risques car il délimite les zones de construction en fonction des risques naturels. En effet ce document permet de faire connaître les zones à risques aux municipalités, aux aménageurs et aux habitants (aspect préventif). Le PPR s'impose aux documents de planification urbaine comme le Plan Local d'Urbanisme, le Plan d'Occupation des Sols, le Plan de Déplacement Urbain, le Schéma de Cohésion Territoriale etc. ... Ainsi il permet d'orienter les choix des aménageurs et des collectivités pour réduire les dommages et la vulnérabilité des certains lieux (aspect aménagement). Le PPR s'applique à tous (particuliers, entreprises, collectivités, Etat) et est reconnu d'utilité publique.

Les communes « à risques » ont aussi le pouvoir de faire de la prévention grâce au DICRIM (*document d'information communal sur les risques majeurs*) qui est un outil d'information des populations sur les zones à risque de la commune. Le DICRIM est consultable par tous les habitants à la mairie et doit contenir :

- une présentation claire du DICRIM ;

- la liste des risques majeurs présents sur la commune et leurs conséquences éventuelles sur les populations ;
- les mesures de protection et de gestion de crises prévue par la mairie ;
- les réflexes que devrait avoir la population en cas d'aléa ;
- les principaux numéros de téléphone en cas d'urgence ;

Le DICRIM participe à la culture du risque au sein des collectivités territoriale mais aussi pour les habitants.

Le Plan Local d'Urbanisme (PLU) fait aussi partie des documents de prévention des risques. Il s'agit d'un document de planification urbaine qui fixe les principales règles applicables pour l'utilisation des sols. Il est élaboré par une commune ou une EPCI (Etablissement Public de Coopération Intercommunale) et participe à la prévention des risques car il impose un cadre juridique pour l'aménagement des zones à risque.

Les autorités publiques ont le devoir de prévenir des risques mais elles doivent aussi protéger en cas de crise. C'est pourquoi les outils de gestion de crises sont élaborés. Contrairement aux outils de gestion de crises les outils vus précédemment servent à prévenir des risques avant qu'ils n'arrivent. L'outil national de gestion de crise est le plan ORSEC (Organisation des Secours) qui prévoit l'organisation des secours en cas de catastrophe. Il définit alors les actions nécessaires pour rétablir une situation dite « normal ». Ces dispositifs peuvent être mis en place à l'initiative du préfet ou du premier ministre en fonction de la propension que prend la catastrophe. Le plan ORSEC comporte plusieurs plans de secours qui permettent de répondre avec efficacité et rapidité à n'importe quelle situation de crise de manière très simple.

Il existe aussi des plans de gestion de crise à l'échelle de la commune afin que les dispositifs soient plus adaptés au territoire puisque chaque territoire est différent. Le plan communale de sauvegarde (PCS), élaboré sous l'autorité du maire, prévoit l'organisation de la commune lors de situation d'alerte c'est-à-dire l'information, la protection et le soutien à la population au regard des risques qu'elle encoure.

1.2.2- Les outils & actions de prévention des risques de submersion marine

Certains documents sont adaptés pour certains risques spécifiques, c'est le cas du PLU (plan local d'urbanisme). Il contient certains articles pour la protection du littoral et la préservation des populations face au risque de submersion marine. Le 13 décembre 2000, la loi SRU est adoptée par le gouvernement, à compter de ce jour le PLU remplace le POS (plan d'occupation des sols). Le PLU fixe les principales règles applicables à l'utilisation des sols sur un territoire donné. C'est la commune ou l'EPCI (établissement public de coopération intercommunale) en charge du territoire qui élabore le zonage du PLU. Le PLU permet de définir un cadre juridique pour l'aménagement des zones de submersion marine :

- Article L.121-1 du code de l'urbanisme : « Les schémas de cohérence territoriale, les plans locaux d'urbanisme et les cartes communales déterminent les conditions permettant d'assurer, dans le respect des objectifs du développement durable [...] :
3° [...] la prévention des risques naturels prévisibles, des risques miniers, des risques technologiques, des pollutions et des nuisances de toute nature. »

Cet article montre que les documents de planification urbaine doivent prendre en compte les risques naturels et par conséquent, le risque de submersion marine en fait partie. Les risques naturels doivent donc être pris en compte dans l'élaboration du zonage du PLU.

- Article L.121-10 du code de l'urbanisme : [...] « Font également l'objet de l'évaluation environnementale prévue au premier alinéa du I les documents qui déterminent l'usage de petites zones au niveau local suivants :
o 1° Les plans locaux d'urbanisme :
a) Qui sont susceptibles d'avoir des effets notables sur l'environnement, au sens de l'annexe II à la directive 2001/42/ CE du Parlement européen et du Conseil, du 27 juin 2001, précitée, compte tenu notamment de la superficie du territoire auquel ils s'appliquent, de la nature et de l'importance des travaux et aménagements qu'ils autorisent et de la sensibilité du milieu dans lequel ceux-ci doivent être réalisés [...] ; »

Sur la base de cet article le Conseil d'Etat a confirmé la possibilité d'annulation d'un plan d'aménagement de zone du PLU s'il ne décrit pas assez les zones à risque dans son zonage cartographique et qu'il ne détermine pas les conditions de construction ou de non construction de la zone.

- Article R.111-2 du code de l'urbanisme : « Le projet peut être refusé ou n'être accepté que sous réserve de l'observation de prescriptions spéciales s'il est de nature à porter atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique du fait de sa situation, de ses caractéristiques, de son importance ou de son implantation à proximité d'autres installations. »

Le conseil municipal à travers ce document peut et doit imposer des prescriptions adaptées aux risques naturels. Les prescriptions peuvent aller de l'interdiction de toute construction nouvelle à des restrictions plus limitées comme :

- Interdiction de construction de niveau souterrain ;
- Obligation de créer un niveau refuge ou un accès au toit ;
- Obligation de surélever le premier niveau de plancher.
- L.111-3 du code de l'urbanisme : « La reconstruction à l'identique d'un bâtiment détruit ou démoli depuis moins de dix ans est autorisée nonobstant toute disposition d'urbanisme contraire, sauf si la carte communale, le plan local d'urbanisme ou le plan de prévention des risques naturels prévisibles en dispose autrement, dès lors qu'il a été régulièrement édifié.

Peut également être autorisée, sauf dispositions contraires des documents d'urbanisme et sous réserve des dispositions de l'article L. 421-5, la restauration d'un bâtiment dont il reste l'essentiel des murs porteurs lorsque son intérêt architectural

ou patrimonial en justifie le maintien et sous réserve de respecter les principales caractéristiques de ce bâtiment. »

L'article permet à un individu de reconstruire son bien pendant une période de dix ans même si la parcelle est devenue inconstructible par le biais d'un document de planification urbaine. Toutefois ce droit ne constitue pas un droit absolu, le Conseil d'Etat a rappelé qu'un permis de construire peut être refusé si les occupants étaient exposés à un risque certain et prévisible de la nature. Sur les fondements de la l'article L112-2 du code de l'urbanisme même si le PLU ne comporte pas de règle spécifique à la construction, le permis pourra toujours être refusé en cas de risque d'aléa.

Ce n'est pas le seul outil que les autorités publiques ont à leurs dispositions. En effet, le 13 juillet 2010, à la suite de la tempête Xynthia, l'Etat décide de mettre en place un plan national en faveur des digues ou Plan de prévention des submersions marines étant donné que l'incident montre un état déplorable des digues françaises. Ce plan compte 6 grands axes :

- maîtrise de l'urbanisation dans les zones à risques :
 - établir d'ici fin 2010 une liste des territoires pour lesquels le PPR sera créé en 3 ans ;
 - fixer une doctrine générale d'élaboration des PPR en prenant en compte la future hausse du niveau de la mer ;
- améliorer la chaîne prévision, vigilance et alerte :
 - mettre en place au niveau du département un volet vigilance sur les fortes vagues et les risques de submersion dans la vigilance météorologique ;
 - doter chaque commune concernée par les risques de submersion d'un Plan Communal de Sauvegarde ;
- renforcer les digues et systèmes de protection :
 - accéléré le recensement des digues ;
 - sélectionner les projets de renforcement des digues de manières prioritaires en fonction des territoires ;
- organiser la maîtrise d'ouvrage des digues :
 - formuler des propositions d'ici fin 2010 sur les bases des conclusions d'un groupe de travail (association de collectivités, les gestionnaires et l'Etat) ;
- renforcer les contrôles de sécurité des ouvrages de protection :
 - le respect des obligations imposées au maître d'ouvrage feront l'objet d'un contrôle renforcé des services de l'Etat ;
- améliorer la connaissance, le retour sur expérience et la culture du risque :
 - mieux connaître le fonctionnement du milieu marin à l'origine de la submersion ;
 - développer des exercices de terrain ;

Enfin suite à la tempête Xynthia, l'Etat a mis en place un Plan de Submersion Rapide (PSR) pour renforcer la prévention des submersions qu'elles soient marines ou liées à des phénomènes de ruissellement, crues torrentielles, etc... Le PSR a 4 buts principaux :

- la maîtrise et l'adaptation du bâti aux risques de submersion marine ;
- une amélioration des systèmes de surveillance, prévision et d'alerte ;
- la fiabilité des ouvrages et des systèmes de protection ;
- mieux préparé les populations afin qu'il y ait une amélioration de résilience des populations ;

1.2.3- Les outils & actions de prévention du risque d'inondation

Les inondations, comme je l'ai cité précédemment, peuvent être un élément d'aggravation des submersions marines. Certains documents réalisés pour les inondations et repensés dans une optique de submersion marine peuvent apporter des pistes et des éléments de recherche pour ma cartographie. Trois documents de prévention peuvent servir à l'élaboration de ma cartographie.

La Directive d'Inondation est une directive européenne 2007/60/CE adaptée au droit français en 2010 avec la loi Grenelle 2 ou Engagement National pour l'Environnement (ENE). Elle permet d'identifier les territoires à fort potentiel de risque d'inondation pour aboutir à des diagnostics et des stratégies permettant d'améliorer la gestion du risque d'inondation. Ses orientations peuvent être appliquées parfois au risque de submersion marine grâce, à une étude du Centre d'Etude TEchniques et de Forestière (CETEF) et le Centre d'Etude Technique Maritime et Fluviale (CETMEF) à présent ces deux entités ont fusionné pour devenir le centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA). La mise en œuvre de la directive d'inondation se fait en 4 étapes :

- Evaluation préliminaire des risques d'inondations (EPRI): c'est le descriptif de l'hydrologie du territoire, l'hydrologie étant la connaissance historique des cours d'eau et des inondations. L'EPRI établit un descriptif des inondations passé et une évaluation des conséquences négatives de ces dernières. C'est une sorte de diagnostic des territoires à risque ;
- Territoire à risque d'inondation important (TRI): il s'agit de sélectionner les territoires les plus fortement exposés aux aléas d'inondation et qui présentent des enjeux importants ;
- Cartographie des aléas et enjeux: En fonction des TRI arrêtés, trois scénarios d'inondation sont cartographiés :
 - une probabilité faible de retour de crue, c'est-à-dire une période de retour supérieure à 1000 ans ;

- une probabilité moyenne de retour de crue, c'est-à-dire une période de retour entre 100 et 300 ans ;
 - une probabilité forte de retour de crue c'est-à-dire une période de retour entre 10 et 30 ans.
- Mise en place de stratégies de gestion des risques des inondations grâce à plusieurs outils comme la Stratégie nationale de gestion du risque d'inondation ou plans de gestion des risques d'inondation (SNGRI, PGRI) sur les zones identifiées en amont comme zone à risque.

L'Etat peut mettre en place plusieurs stratégies de prévention :

- SNGRI cette stratégie nationale est née sous deux impulsions. Premièrement, le nombre accru de catastrophes naturelles entre 2010 et 2013 (Xynthia, les inondations du Var etc...) qui ont eu l'effet d'un électrochoc pour l'Etat Français. En effet, après l'évaluation préliminaire des risques d'inondation environ 1 français sur 4 serait potentiellement exposé à un risque d'inondation. La seconde impulsion eût été de répondre à la problématique posée par la directive inondation qui était de mettre en place des stratégies aussi bien nationales que locales face au risque d'inondation.

L'ambition de cette stratégie est de porter une attention particulière aux secteurs très exposés au risque (TRI) mais aussi l'élaboration de la SNGRI qui est issue d'une concertation nationale du public parce que cette stratégie concerne tous les acteurs : citoyens, élus collectivités territoriales, service de l'Etat. La SNGRI a trois grands objectifs :

- augmenter la sécurité des populations ;
 - réduire le coût des dommages ;
 - augmenter la résilience des territoires
- La seconde stratégie est le PGRI, le territoire français est divisé en grandes zones géographiques appelées districts hydrographiques (découpage en fonction du réseau hydrographique). Le PGRI s'appuie sur ses districts pour définir les objectifs de la politique de gestion du risque d'inondation. Il intègre des objectifs spécifiques pour les territoires à haut risque d'inondation. Les PGRI traitent de nombreuses problématiques liées aux inondations :
 - la prévention des inondations dans une optique de gestion plus équilibrée et plus durable des eaux ;
 - la surveillance des zones susceptibles d'être inondées ;
 - la prévision et l'information des phénomènes d'inondation ;

- la réduction de la vulnérabilité des territoires avec notamment un mode de développement durable de l'occupation au sol et de l'aménagement.

Les PGRI permettent de développer l'intégration de la gestion des risques au sein des politiques d'aménagement et de territoire.

1.2.4- Les outils & actions de prévention des risques de tsunamis

En décembre 2004 suite au tsunami survenu en Indonésie, la ministre de l'écologie décide de mettre en place un quatrième chantier au programme national de prévention du risque sismique ou plan séisme. Ce quatrième chantier porte sur la prévention du risque de tsunami, il doit répondre à 3 objectifs :

- l'évaluation de l'aléa ;
- la mise en place d'un système d'alerte ;
- la sensibilisation des populations au risque de tsunami.

Le ministère de l'Ecologie a délégué cette tâche au Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), qui dans un premier temps a dû constituer une base de données informatique destinée au recensement des tsunamis en France. Ce catalogue est consultable sur internet et indique pour chaque tsunami :

- la date et l'heure du phénomène ;
- sa situation géographique ;
- la cause et l'origine du déclenchement ;
- les conséquences, c'est-à-dire la sévérité des dommages ;
- son amplitude.

Pour la mise en place de l'alarme, le Centre National d'Alerte aux Tsunamis pour l'atlantique nord-est et la Méditerranée (CENALT) a pour mission l'exploitation d'un centre d'alerte aux tsunamis. Le CENALT est composé de spécialistes en analyse de données géophysiques qui surveillent en permanence la sismicité du littoral français. Ils élaborent des bulletins quotidiens pour prévenir les populations des variations sismiques du littoral français. En cas de risques imminents, ils doivent transmettre les informations de sismicité inquiétante aux collectivités territoriales au maximum 15 minutes après les premières informations. Ils doivent aussi confirmer l'information de risque de tsunami en précisant l'heure d'arrivée et la magnitude estimée au bord des côtes. Il n'y a pas de délai de transmission de ces informations mais, il est nécessaire qu'elles parviennent rapidement aux autorités publiques.

2. Zonages pouvant être utilisés pour la réalisation d'une cartographie exposée au risque de submersion marine

A la suite de mes recherches préliminaires sur les définitions et les outils du domaine des risques, il m'a fallu chercher des zonages qui caractérisent l'aléa de submersion marine qui sont susceptibles d'être utilisés pour la réalisation d'une cartographie, mais qui prennent également en compte la vulnérabilité des enjeux sur le littoral méditerranéen. Les zonages peuvent être issus de documents administratifs comme des PPR ou des études réalisées par des chercheurs. Il est aussi important de collecter les métadonnées de ces différents documents ce qui constituera le socle de la réalisation de ma cartographie.

2.1- Les types de données de l'information géographique

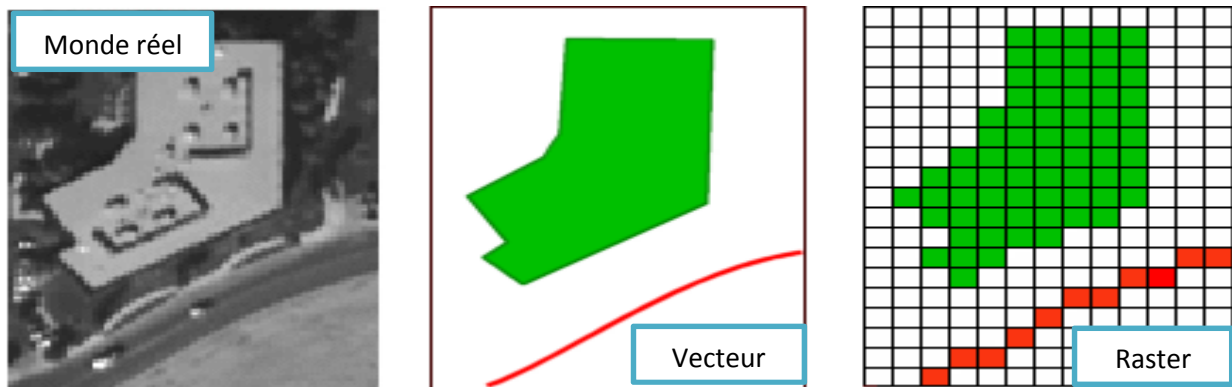
Le mot « métadonnée » vient initialement du mot grec meta qui signifie « après » ou « ce qui dépasse/englobe » et aussi du latin data qui se traduit par « informations ». Les métadonnées sont donc des informations structurées décrivant une donnée. Elles peuvent aussi bien décrire de l'information géographique comme d'autres types de données. Les métadonnées sont par exemple très utilisées dans l'archivage et procurent notamment les informations suivantes :

- Qui ? (l'auteur)
- Quoi ? (le titre)
- Quand (la date de publication)

2.1.1- Qu'est-ce qu'une métadonnée ?

L'offre de données pour les SIG est en pleine expansion. On trouve deux grands types de données pour modéliser le territoire :

- les premiers sont les rasters ou cartes scannées. Ces données sont exclusivement constituées d'objets ponctuels et ne peuvent en aucun cas être modifiés. Le plus souvent ce sont soit des cartes scannées, soit une photo de vue aérienne numérisée. Les images sont livrées en espace divisé de manière régulière (en pixel). A chaque pixel sont associées à une ou plusieurs valeurs décrivant les caractéristiques de l'espace sélectionné ;
- les secondes sont les données dites vecteurs ou les bases de données cartographiques vectorisées. On appelle « couche vecteur » une représentation mathématique d'objets situés dans l'espace qui porte donc les coordonnées de la donnée puisque les vecteurs sont intégrés à un système géoréférencé géographique. La modélisation de la carte peut donc être représentée soit par des lignes, des points ou des surfaces. Le vecteur contrairement au raster peut changer d'échelle, de résolution.



Il existe aussi les bases de données alphanumériques, les bases contiennent des informations de type toponymique ou numérique que l'on peut rattacher à la cartographie. C'est ce que l'on appelle des tables d'attributs. Elle se présente sous l'apparence d'un tableau répertoriant un certain nombre de données que l'on peut géoréférencer sur la carte grâce aux données stockées dans le tableau.

Table attributaire - PONCTUEL_HYDROGRAPHIQUE :: Total des entités : 130, filtrées : 130, sélectionnées : 0

	ID_BDCARTO	TYPE	NATURE	TOPONYME	COTE
0	116948	Noeud hydrographique	Source simple	NULL	9999
1	117110	Noeud hydrographique	Source simple	NULL	9999
2	117117	Noeud hydrographique	Changement d'attribut	NULL	9999
3	117121	Noeud hydrographique	Changement d'attribut	NULL	9999
4	117172	Noeud hydrographique	Source simple	NULL	9999
5	117292	Noeud hydrographique	Source simple	NULL	9999
6	117354	Noeud hydrographique	Source simple	NULL	9999
7	117643	Noeud hydrographique	Changement d'attribut	NULL	9999
8	117660	Noeud hydrographique	Source simple	NULL	9999
9	117691	Noeud hydrographique	Source simple	NULL	9999
10	117874	Noeud hydrographique	Source simple	NULL	9999

Montrer toutes les entités

Base de données alphanumérique/ table d'attributs

2.1.2- Les éditeurs des données

Les éditeurs de données ont été répertoriés, en 1995, par le Conseil National de l'information géographique (CNIG). Depuis 1995 la liste de ces sources a bien augmenté. En voici une liste non exhaustive :

- l'institut géographique national (IGN) qui est un établissement public de l'Etat ayant pour vocation de réaliser l'équipement géographique du territoire ;
- Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Environnement (MEDDE) propose certaines métadonnées téléchargeables notamment grâce à la plateforme Corine land cover qui fournit les données sur l'occupation au sol ;
- le service de l'observation et des statistiques (SOeS) qui est anciennement IFEN (2008), organise la collecte et le traitement des données sur l'environnement, les risques naturels et technologiques en vue de la production et de la diffusion de certaines informations à ce sujet ;
- l'institut national de la statistique et des études économiques (INSEE) est chargé de la production, de l'analyse et des publications officielles en France. Il peut

notamment fournir certaines tables d'attributs nécessaires à la réalisation d'une cartographie ;

- Météo France fournit des données et des informations météorologiques sur le territoire français.
- le bureau de recherches géologiques (BRGM) est le seul établissement public dans le domaine des géosciences. Ils peuvent fournir de la donnée sur la qualité des sols ou leurs compositions etc... ;
- SPOT Image est une société anonyme, créée en 1982, par le CNES (centre national d'études spatial). Il fournit des données vues du ciel ;
- le service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM) est un établissement public français. Ces missions sont de publier les ouvrages nautiques dont les cartes marines et il doit soutenir les politiques publiques de la mer et du littoral.

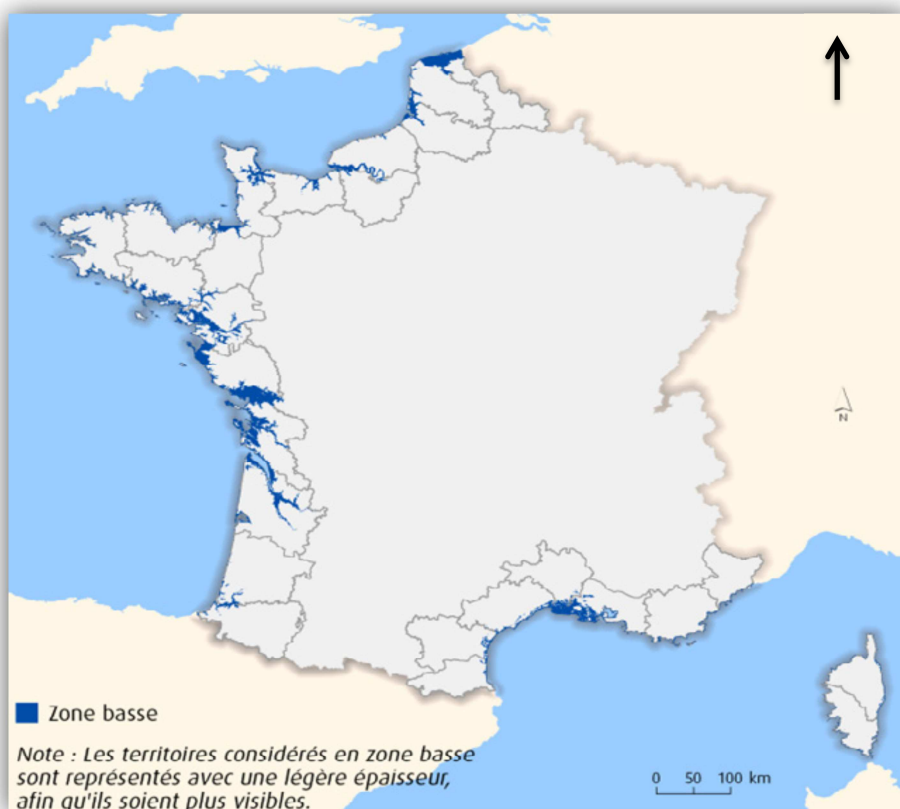
2.2- Cartographies élaborées sur des éléments physiques du territoire

Après avoir défini les différents outils nécessaires à la prévention des risques, j'en ai extrait les différentes méthodes de zonages pour me donner des pistes de réflexion pour la cartographie des risques de submersion marine.

2.2.1- Zones dites « basses »

Les zones basses sont l'ensemble des territoires littoraux dont l'altitude est inférieure aux niveaux atteints par la mer lors des conditions météorologiques extrêmes. Les zones basses sont des terrains très sujets aux risques de submersion marine. Les zones basses littorales correspondent à environ 7.000 km de côtes françaises dont 16 % en Méditerranée. 850.000 personnes résident dans les zones basses dont 10 % (soit 85.000 personnes) en Méditerranée. Pour l'ensemble des zones basses, l'augmentation d'habitants a été de 1 % entre 1999 et 2006, mais en région PACA, il y a eu une augmentation de 14 %. Comme on peut le voir avec les chiffres ci-dessus, les zones basses en Méditerranée sont des zones plus occupées que dans le reste de la France, la zone Méditerranéenne présente donc une vulnérabilité importante aux phénomènes de submersion marine. Une cartographie a été réalisée par le CEREMA pour délimiter ces zones. Les organismes ont pris en compte plusieurs variables :

- la morphologie des côtes et la bathymétrie pour pouvoir caractériser les vagues, leurs modes de propagations et de déferlements et le niveau extrême marin ;
- l'altimétrie ;
- l'existence d'ouvrage de protection ;



Cartographie
des zones basses
réalisées par le
CEREMA en
2010 à l'échelle
1/250.000

Cette carte ne prend pas en compte l'aléa de submersion marine alors dans un second temps, le CEREMA a mis au point un zonage afin de prendre en compte le risque de submersion marine sur les zones basses :

Type d'aléa	Couleur de la cartographie	Caractérisation de l'aléa
Fort	Violet	Zones situées à + d'1 mètres sous le niveau marin de référence (NMR)
Moyen	Orange	Zone situé entre 1 et 0 mètres sous le NMR
Lié au changement climatique	Jaune	Zone situé 0,40 centimètres au-dessus du niveau de la mer

Pour pouvoir réaliser cette cartographie, nous avons besoin de plusieurs données qui sont :

Outils	Source	Couverture	Echelle	Informations	Mise à jour	Dernière mise à jour
Litto 3D	SHOM et IGN	L'ensemble du territoire métropolitain	Grille régulière d'un pas de 1 mètre ou 5 mètres	C'est une base de données altimétrique donnant une représentation tridimensionnelle de la forme et de la position du sol sur la frange littoral	1 à 3 ans	2015 (PACA)
Scan 25	IGN	L'ensemble du territoire métropolitain	1/25.000 Lecture toponyme → 1/50.000	C'est une image numérique. Elle constitue un fond de référence pour visualiser et localiser les données	Environ tous les 4 ans	10/01/2014

2.2.2- Zonage réalisé au regard de la loi Littoral

La loi littoral est votée le 3 janvier 1986, cette loi a initialement pour objectif la préservation du littoral face à l'aménagement et l'urbanisme. Cette loi a trois finalités :

- l'encadrement de l'aménagement du littoral ;
- la protection du littoral ;
- la mise en valeur du littoral.

Elle n'a pas de lien direct avec l'aléa de submersion marine, son but n'étant pas de protéger les citoyens de cet aléa. Cependant, certaines dispositions de cette loi vont permettre indirectement d'intervenir dans la prévention des risques de submersion marine, en limitant les constructions et les aménagements sur le littoral. Aussi l'article L.146-4-III édité du code de l'urbanisme indique : « En dehors des espaces urbanisés, les constructions ou installations sont interdites sur une bande littorale de cent mètres à compter de la limite haute du rivage ou des plus hautes eaux pour les plans d'eau intérieurs désignés à l'article 2

de la loi n° 86-2 du 3 janvier 1986 précitée. ». La loi impose une limite de constructibilité sur les abords du littoral. En effet, la construction est interdite dans une bande de 100 mètres à compter de la limite d'eau la plus haute.

Cet article est complété par l'article du même code, issue de la loi L 146-4, en 1998 « Le plan local d'urbanisme peut porter la largeur de la bande littorale visée au premier alinéa du présent paragraphe à plus de cent mètres, lorsque des motifs liés à la sensibilité des milieux ou à l'érosion des côtes le justifient ». Cet article permet à la collectivité, si elle juge le lieu trop à la sensible au risque de submersion marine et/ou l'érosion des côtes trop importantes, d'étendre la bande de 100 mètres d'constructibilité même si la parcelle est considérée comme constructible dans le PLU. Le zonage établi selon la loi littoral est zonage très simple à réaliser :

	Bande de 100 mètres après la limite d'eau la plus haute	Bande de + de 100 mètres après la limite d'eau la plus haute	Bande < 100 mètres
Zonage	Inconstructible	Inconstructible si collectivité la considère comme zone dangereuse	Constructible

Le problème de ce zonage est premièrement, que le dispositif de la loi littoral ne prend pas en compte le phénomène de submersion marine : elle sert uniquement à la préservation du littoral par conséquent aucune caractérisation de l'aléa n'est mentionnée. Deuxièmement, cette loi ne peut s'appliquer que dans le cas d'un littoral non aménagé étant donné qu'il ne prévoit aucune disposition concernant les zones déjà aménagées. Troisièmement, la décision de rallonger la bande de plus de 100 mètres dépend du bon vouloir des collectivités, il serait pour moi beaucoup plus intéressant de caractériser l'aléa de submersion marine. Ainsi lorsqu'un littoral se retrouve caractérisé d'un risque de forte de submersion marine le rallongement de la zone deviendrait obligatoire.

2.2.3- Zonage employé par les PPRL

Pour qualifier l'aléa de submersion marine, je m'inspire des travaux déjà réalisés pour l'élaboration d'un PPRL. Pour qualifier l'aléa on distingue deux zones :

- la zone immergée (l'aléa peut être fort ou moins fort dans ces zones) ;
- la zone d'action mécanique des vagues (qui correspond au lieu où se brisent les vagues).

En période de réchauffement climatique, il faut également prendre en compte pour établir un zonage les travaux du GIEC (Groupe d'Expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) qui démontrent que le niveau de la mer va augmenter d'environ 60 cm à horizon 2100.

On distingue plusieurs aléas, le premier est l'aléa de référence, qui a une période de retour décennale. Pour déterminer l'aléa de référence, il faut évaluer le niveau marin de référence. Il comprend :

- le niveau moyen de la côte qui intègre la surcote barométrique et le set-up ;
- une marge de sécurité pour prévoir les incertitudes et les erreurs des modèles de calculs ;
- une élévation de 20 cm du niveau de la mer due au réchauffement climatique. D'après l'étude du GIEC le niveau de la mer va augmenter de 60 cm à horizon 2100 et ce même rapport a prévu que dans 10 ans le niveau de la mer augmentera de 20 cm.

Les études historiques et de modélisation, on conduit à l'affirmation que le niveau marin de l'aléa de référence est de 1 mètre 80 en intégrant les marges d'incertitude auxquels s'ajoute les 20 cm d'élévation marine due au réchauffement climatique. Le niveau de la mer à prendre en compte est de → +2m NGF

L'aléa 2100 détermine les circonstances de l'événement qui a une période de retour de 100 ans. Il est déterminé à partir du niveau marin de référence +2 m NGF auquel on ajoute les effets du réchauffement climatique soit 40 cm (60 - 20 cm) → L'aléa 2100 → +2.40 m NGF

Le PPRL propose une qualification de l'aléa de deux types :

- fort ;
- modéré.

Dans la zone de déferlement des vagues, l'aléa est toujours considéré comme fort, parce que c'est le lieu où la vague se brise et par conséquent c'est le lieu où l'action de la vague est la plus violente. Si la zone étudiée n'est pas dans la zone de déferlement des vagues, on se reporte à deux caractéristiques :

- la hauteur d'eau pour l'aléa de référence ;
- la côte du terrain naturel ;

Aléa de référence	Cote du terrain naturel (Zn)	Hauteur d'eau (H)	Qualification de l'aléa
Action mécanique des vagues	Définir au cas par cas	$H > 0$ mètre	FORT
Submersion hors zone d'action mécanique des vagues	$Zn < 1,5$ m NGF	$H > 0,5$ mètre	FORT
	$1,5 \text{ m NGF} < Zn < 2 \text{ m NGF}$	$H < 0,5$ mètre	Modéré

Par la suite en croisant les études sur le niveau d'aléa et la nature des enjeux présents sur le territoire, on peut ainsi déterminer un zonage. Ce zonage compte 2 zones :

- Rouge : inconstructible (la zone d'action mécanique des vagues/ déferlement des vagues quels que soient les enjeux est toujours inconstructible)
- Bleue : constructible sous conditions

	Aléa	Espace non ou peu urbanisé	Lidos	Espaces urbanisés
Zone d'action mécanique des vagues	FORT	ROUGE	ROUGE	ROUGE
Submersion hors zone d'action mécanique des vagues	FORT	ROUGE	ROUGE	ROUGE
	MODERE	ROUGE	ROUGE	BLEUE



Lido : Cordon littoral en position avancée à l'entrée d'une baie et pouvant isoler une lagune.

Cependant, seul le premier zonage est constructif pour ma recherche puisque le second zonage ne traite que de la variable aménagement en fonction de la submersion marine.

Pour pouvoir réaliser cette cartographie, il faut plusieurs métadonnées et données :

Document	Source	Couverture	Echelle	Informations	Mise à jour	Dernière mise à jour
BD TOPO	IGN	Tout le territoire français	1 /5.000 a 1/50.000	-Le réseau routier -Le réseau ferroviaire -Le réseau de transport d'énergie -Le réseau hydrographique -Les bâtiments et autres constructions -La végétation arborée -Le relief -La structure administrative -Les toponymes de lieux-dits, des reliefs, du réseau ferré et du réseau routier -Les points d'activité ou d'intérêt	-Réseau routier → 6 Mois - Toponyme routier → 1 an -Réseau ferroviaire → 1 an -Bâti → 3 à 5 ans - In formation par vue aérienne → 3 à 5 ans	Décembre 2014
BD ALTI	IGN	Tout le territoire français	1/50.000	Modèle numérique de terrain (MNT) qui décrit le relief du territoire français à moyenne échelle.		2001
La cartographie des niveaux extrêmes d'eau	SHOM	Les côtes françaises (sauf méditerrané)		Il renseigne sur les niveaux maximum atteints par les eaux sur le territoire grâce à une étude statistique des niveaux marins	Environ 4 ans	2012

2.2.4- Zonage réalisé au regard de la Directive inondation du littoral et Atlas des zones inondables par submersion marine

L'Atlas des Zones Inondables par Submersion Marine (AZISM) est un document cartographique issu de l'interprétation géomorphologique et de la prise en compte des données historiques en zone littorale. Il permet de définir une enveloppe maximale de l'emprise de la submersion.

La première étape pour cartographier le risque de submersion marine est le choix des principales hypothèses :

- l'évènement fréquent équivaut à un événement qui a une période de retour de 10 ans (décennal), le niveau de la mer est de 2 m NGF comme pour le PPRL ;
- l'évènement moyen équivaut à un événement qui a une période de retour de 100 ans (centennale), les valeurs références du niveau marin sont définies pour la région PACA par le règlement des PPRL du Languedoc Roussillon :
 - o 2.00 m NGF sans référence au changement climatique ;
 - o 2.40 m avec référence au changement climatique.
- l'évènement rare équivaut à un événement qui a une période de retour de 1000 ans (millénial). Dans ce cas l'évaluation du niveau marin réalisée à l'échelle méditerranéenne est fixée par le PPRL du Languedoc Roussillon à 2.80 m NGF, cette mesure comprend :
 - o la Plus Haute Mer Astronomique (PHMA) soit 0.47 m NGF ;
 - o la surcote météorologique soit 1.06 m NGF ;
 - o surélévation locale liée à la houle. Cette donnée peut être trouvée par l'application de la formule de Stokdon soit 1.21 m NGF pour la mer méditerranée.

Le résultat de ces 3 composantes est égal à 2.74 m NGF arrondi à 2.80m NGF.

L'ouvrage « cartographie de zones inondables. Approche hydro-géomorphologique. 1996 – édition Villes et Territoires - METT – MATE est un ouvrage qui a beaucoup avancé mes recherches. En effet, cet ouvrage présente les principes de cartographies hydro-géomorphologiques. Cette méthode s'appuie sur la photo-interprétation et sur une étude de terrain qui permet de distinguer les zones actives du cours d'eau (zones inondables) et les cours d'eau hors zones actives (qui ne sont pas inondables) qui forme ce que l'on appelle l'encaissant. Cette méthode a été déclinée pour la submersion marine par le CETE en développant une méthode fondée sur la géomorphologie du littoral afin d'identifier les formes et formations caractéristiques du littoral. D'après cette étude, on distingue 5 zones différentes :

- la zone marine est le secteur recouvert en permanence par la mer ;
- la plage vive se compose de l'estran et du haut de plage. L'estran est la partie de la plage qui se trouve entre le haut de plage et le bas de plage ;
- le cordon littoral est une zone d'accumulation sableuse du littoral d'aspect linéaire, dont les deux points plus hauts sont toujours émergés et sont occupés par des formations dunaires ;
- la plaine littorale peut être de deux aspects lagunaires ou marécageux. Elle présente une zone tampon lors d'un événement de submersion marine ;
- l'encaissant.

En fonction de ces différentes zones, on qualifie l'aléa de très fort à nul :

Élément géomorphologique	Aléa				
	Très fort	Fort	Moyen	Faible	Nul
Plage vive	+				
Dune		+			
Cordon dunaire (1 ^{er} plan)		+			
Cordon dunaire (2 nd plan)			+		
Plaine littoral			+		
Cordon littoral				+	
Encaissant					+

Pour améliorer cette méthode de cartographie, il faudrait :

- faire une étude plus fine territoire par territoire pour pouvoir prendre en compte leurs fonctionnements hydrauliques, la dynamique de la submersion. En effet les variables prises en compte pour la caractérisation de l'aléa ne sont que des éléments du littoral et cette cartographie ne prend pas en compte le réseau hydrographique en amont du littoral ;
- la cartographie ne rend pas complètement compte des hauteurs d'eaux. Elle est exacte si les plages se trouvent à des altitudes supérieures à 2m, 2.40m, 2.80m selon le scénario cette frange en front de mer sera considérée comme zone non inondable alors qu'elle est exposée aux tempêtes. Toutefois le front de mer est la plupart du temps détenu par le domaine public et par conséquent il n'y a pas d'enjeux construit.

Pour la directive inondation :

Document	Source	Couverture	Echelle	Informations	Mise à jour	Dernière mise à jour
<i>Litto 3D</i>	SHOM et IGN	L'ensemble du littoral métropolitain	Grille régulière d'un pas de 1 mètre	C'est une base de données altimétriques donnant une représentation tridimensionnelle de la forme et de	1 à 3 ans	2015 (PACA)

				la position du sol sur la frange littoral		
<i>RGE ALTI</i>	IGN	L'ensemble du littoral métropolitain	1/1.000 à 1/50.000	Modélisation du relief français	3 à 5 ans	2014

Pour l'AZISM :

Document	Source	Couverture	Echelle	Informations	Mise à jour	Dernière mise à jour
<i>BD TOPO</i>	L'IGN	Tout le territoire Français	1 /5.000 à 1/50.000	-Le réseau routier -Le réseau ferroviaire -Le réseau de transport d'énergie -Le réseau hydrographique - Les bâtiments et autres constructions -La végétation arborée -Le relief -La structure administrative -Les toponymes de lieux-dits, des reliefs, du réseau ferré et du réseau routier -Les points d'activité ou d'intérêt	-Réseau routier → 6 Mois - Toponyme routier → 1 an -Réseau ferroviaire → 1 an -Bâti → 3 à 5 ans - In formation par vue aérienne → 3 à 5 ans	Décembre 2014
<i>BD ORTHO</i>	L'IGN	Tout le territoire français (par département)	1/500 La taille des pixels est de 20 cm	image géographique du territoire national → France vue du ciel.	3 à 5 ans	2012-2013

2.3- Cartographies élaborées sur des éléments sociaux du territoire

La cartographie est un domaine qui peut être appréhendé avec deux points de vue différents :

- sciences dites « dures » avec lesquelles on peut réaliser des cartographies d'aléa et de vulnérabilité physique ;
- sciences humaines et sociales dites « molles » qui permettent de cartographier la vulnérabilité sociale.

La cartographie appréhendée par les sciences sociales n'est pas quantitative mais qualitative contrairement à ce que j'ai pu développer dans les parties précédentes.

2.2.1- Cartographie de la Vulnérabilité sociale

Les sociologues et géographes se préoccupent de mettre en lumière la vulnérabilité sociale du risque. Leur analyse de la vulnérabilité dépend :

- des enjeux ;
- de l'occupation au sol ;
- de l'évolution de l'occupation des sols ;

Cette analyse de la vulnérabilité permet d'avoir un point de vue sur les caractéristiques sociales d'un territoire, les zones où les enjeux sont les plus importants, où la survenance d'un aléa pourrait être le plus violent. On peut distinguer plusieurs zones d'occupation des sols :

- centre ancien (dense) ;
- autre secteur urbanisé ;
- secteur d'urbanisation future ;
- secteur non urbanisé (agricole ou naturel) ;
- zone de protection de patrimoine architectural urbain et paysager.

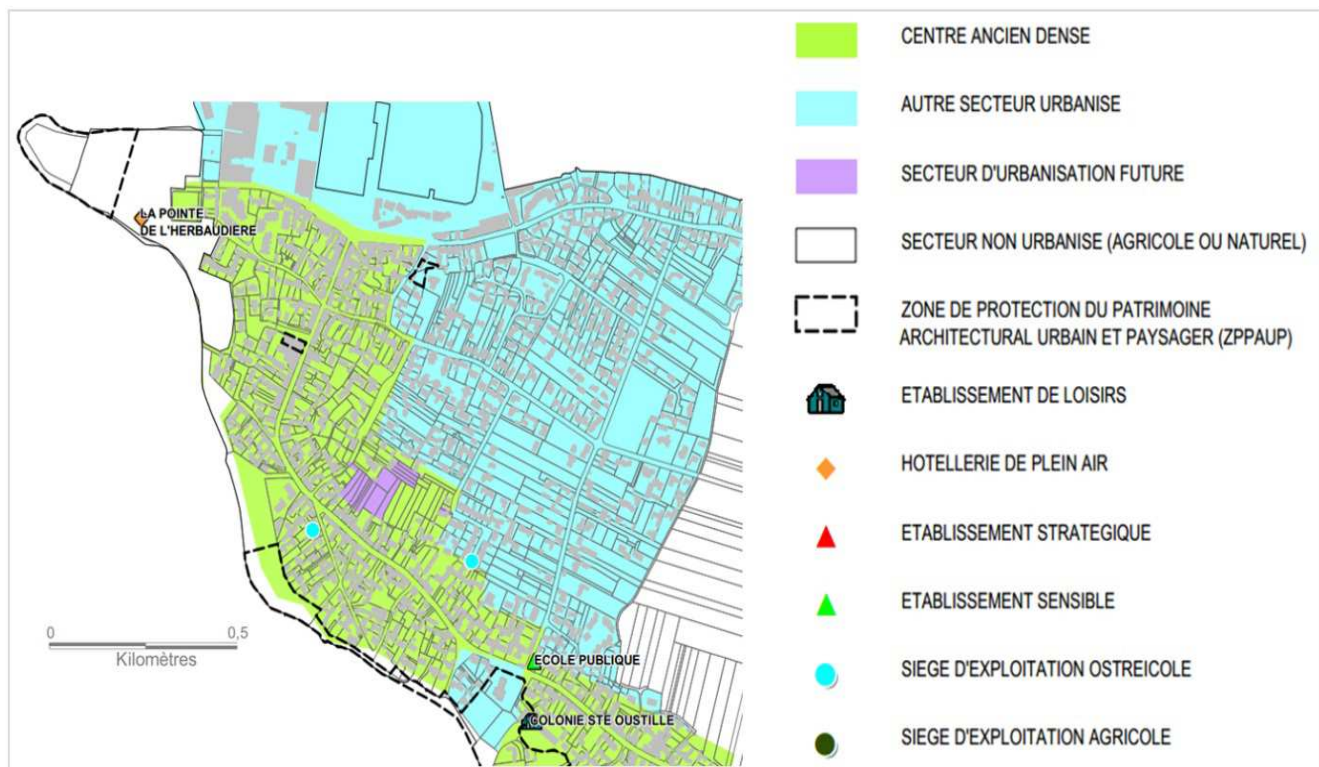
Ces différentes zones permettent de comprendre et d'évaluer l'occupation des sols. Il est vrai que généralement les centres historiques sont très occupés par conséquent se sont des zones où les enjeux sont les plus concentrés et donc des zones vulnérable.

Cette cartographie prend en compte aussi les enjeux d'une autre manière. Elle répertorie les établissements les plus vulnérables comme :

- les Etablissements Recevant du Public (ERP) qui sont les établissements les plus vulnérables au regard des publics qu'ils reçoivent en grand nombre, comme une crèche ou un hôpital. Ce sont des établissements très difficiles à évacuer rapidement ;

- les équipements sensibles comme les chaînes de distribution d'énergie ;
- les voies de communications susceptibles de subir l'aléa ;
- les zones accessibles par les secours en cas de gestion de crise ;

Cette méthode de cartographie n'intègre pas le risque de submersion marine dans son zonage. C'est pourquoi dans ma recherche, si je veux utiliser ce zonage, il est nécessaire de coupler cette méthodologie de cartographie avec une autre approche qui caractérise l'aléa.



2.2.2- Vulnérabilité évaluée post-événement au regard de la mortalité

- *Eléments de cartographie d'après « La mortalité comme expression de la vulnérabilité » par Freddy Vinet, Laurent Boissier et Stéphanie Defossez*

L'étude qui va être décrite a été réalisée en s'appuyant sur deux événements d'inondations :

- Xynthia (2010 et submersion marine)
- Les crues torrentielles dans le Var (2010)

L'enquête et les études épidémiologiques ont été difficiles à réaliser. Il est vrai qu'en France, il n'existe pas de données centralisées et détaillées sur les victimes d'inondation. Ce qui

prouve qu'il y a un réel désintérêt pour les études épidémiologiques qui peut s'expliquer par :

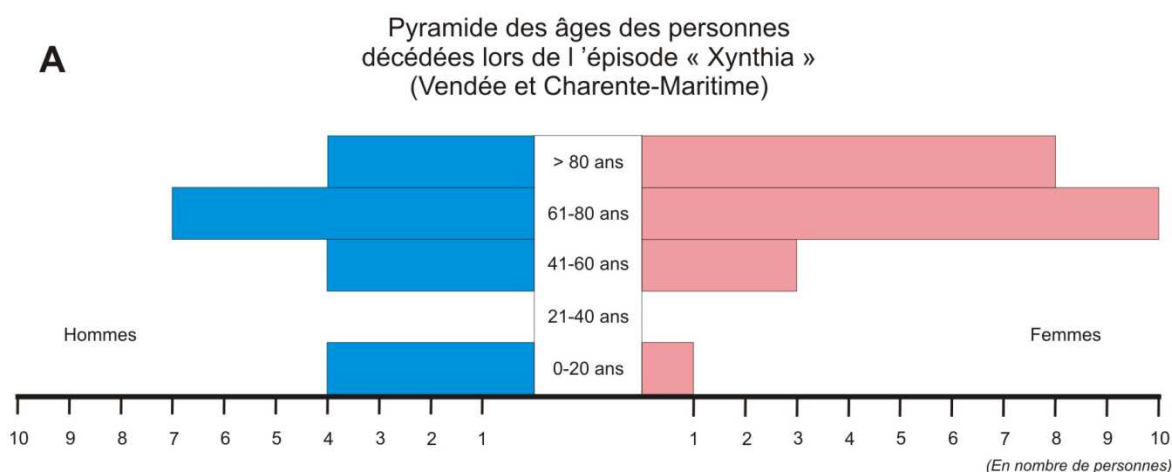
- le fait que le décès est un sujet tabou, difficile à aborder ;
- dans les pays développés, le nombre de victimes est considéré comme faible et donc pas significatif ;
- pour les autorités publiques, le décès est inévitable lors des catastrophes naturelles et forme ainsi « un dommage incompressible ».

A cela s'ajoute la division des opérations entre les différentes collectivités qui rendent les analyses et les bilans difficiles à réaliser puisque les compétences sont trop réparties entre les différentes instances publiques :

- les secours et la gestion de crise sont gérés par le Ministère de l'intérieur par le biais des Services Départementaux d'Incendie et de Secours (SDIS) ;
- la prévention des inondations revient au Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable du Transport et du Logement (MEDDTL) ;
- les études épidémiologiques sont à la charge du Ministère de la santé et des Agences Régionales de Santé (ARS) ;

Dans cet article, les facteurs de vulnérabilité dans la compréhension du décès sont au nombre de trois :

1- L'âge des personnes



Globalement, l'âge des victimes est élevé : 75 % des victimes ont plus de 60 ans et l'âge médian est de 74 ans alors que celui de la commune est de 52 ans. On ne recense aucun jeune adulte mais tout de même cinq très jeunes enfants, ce qui peut être compréhensible puisque les jeunes enfants ne savent généralement pas encore nager. Lorsque l'on tente de reconstituer les comportements des personnes, on retrouve deux types de profils :

- les personnes les plus âgées ont été retrouvées décédées en vêtement de nuit ce qui montre bien qu'elles ont subi un effet de surprise et qu'elles n'ont pas eu le temps de résister longtemps ;
- les personnes d'âge adulte ont été retrouvées en vêtement mixte ce qui laisse supposé que ces personnes se sont battus pour essayer d'y échapper ;

Grâce à la variable de l'âge, on s'aperçoit que les personnes les plus vulnérables aux risques de submersion marine sont les personnes de 61 ans et plus et les jeunes enfants entre 0 et 20 ans. Si on dispose des données nécessaires, on peut réaliser une cartographie en fonction de l'âge des personnes et de la vulnérabilité face au risque de submersion marine.

2- Le type de bâti

Type de bâti	Maison de plain-pied	Maison avec pièce refuge	Maison avec étage	Appartement dans RDC immeuble	Habitat précaire	Sous-sol	Non renseigné	Total
Nombre de décès Xynthia	32	4	1	2	1	0	1	41

On voit grâce à ce tableau que 32 personnes sur 41 sont décédés résidaient dans une maison de plain-pied (sans étage ou sans pièce de refuge). On s'aperçoit alors qu'il y a bien un lien de cause à effet entre le bâti et la mortalité. Il y a plusieurs facteurs qui font que le bâti était aussi vulnérable. En faire la liste exhaustive serait trop long, nous citerons seulement les quatre principales causes :

- o le bâti de plain-pied qui est répandu en Vendée, en effet la maison de plein pied constitue une tradition urbanistique.
- o le nombre très faible de maisons dotées d'ouvrants de toit qui aurait permis aux personnes valides de se hisser sur le toit et au secours de rentrer plus facilement ;
- o les volets roulants qui avec les coupures de courant ne pouvait plus être ouverts

3- La proximité des digues

Les digues lorsqu'elles rompent augmentent la rapidité de la hausse du niveau de la mer et réduisent le temps de réaction des personnes. Par conséquent 37 personnes sur 41 décédées lors de la tempête se situaient près d'une digue. La digue peut aussi bien être un ouvrage de protection, mais elle peut être à l'origine d'un accroissement du danger en cas de rupture de l'ouvrage.

Le majeur problème de cette méthode de zonage en fonction de l'âge des personnes, le type de bâti, la proximité des ouvrages de protection et l'heure de passage de la catastrophe est qu'elle nécessite des informations et recherches très approfondies et très longues à répertorier. De plus le zonage peut être mis en œuvre que si la catastrophe naturelle s'est déjà produite.

2.2.3- *Vulnérabilité quantifiée sur des analyses foncières*

1) la quantification du foncier

Pour prévenir des risques de submersion marine l'Etat a mis en place les PPRL. Seules 12 % des communes littorales en sont dotées sur le territoire français.

Dans ce texte l'auteur Marc Robin propose plusieurs possibilités de zonage. La première est en fonction de la vulnérabilité des enjeux sur un territoire. La vulnérabilité doit faire l'objet d'une étude qui repose sur 3 phases :

- recensement et estimation chiffrée des biens de la zone exposés à d'éventuels aléas ;
- recensement de l'intensité potentielle de l'aléa ;
- établir plusieurs scénarios sur différentes périodes de retour.

L'étude de la vulnérabilité est donc un croisement de deux variables :

- variable de position ;
- variable d'usage.

Dans cette étude, la vulnérabilité est quantifiée sous forme de coût qui est fixé en fonction de la surface concernée et de sa position dans l'espace (valeur d'usage ; valeur de position). Avec ce raisonnement, on suppose une augmentation de la vulnérabilité ces 50 dernières années du fait d'une pression anthropique sur les littoraux et d'une modification des usages dans la zone côtière

Echelle mondiale	Distance par rapport à la côte (KM)	Population (millions)
	< 30	1147
	>30 à 60	480
	>60 à 90	327

>90 à 120	251
>120	33362

En France, les communes littorales représentent 4 % du territoire et 9.9 % de la population y vivent. Pour évaluer le degré de vulnérabilité, il faut étudier la relation entre le coût de protection et le coût de la vulnérabilité. Cette approche est quelquefois qualifiée de « coûts et de bénéfices » par *Turner et Alii en 1995*. Cette approche réside dans une analyse de l'occupation des sols qui permet de modéliser le foncier sur une carte. Ainsi, si le foncier a un coût élevé cela veut dire que la vulnérabilité est très élevée étant donné que post catastrophe, il faudra reconstruire les bâtiments détruits, tout en sachant que les activités commerciales sont les plus coûteuses à reconstruire puisque ce n'est pas seulement le bâtiment qu'il faut reconstruire mais toutes l'activité : les stocks, la clientèle, les machines/ investissements etc... Ce type d'approche permet une grande transparence des informations cependant, elle reste difficile à mettre en place. C'est pourquoi la loi Barnier (1995) préconise une analyse qualitative des enjeux et non une quantification des enjeux.

Les communes allemandes et Danoises avec les chercheurs M. Hamann et J. Hofstede en 1999 ont essayé de quantifier les enjeux en séparant le territoire en 3 unités déterminées par le réseau hydrographique :

- Marienkoog → zone agricole ;
- Wilstermarsch → quelques villages et beaucoup de bâtiments industriels ;
- Kieler Förde → cité portuaire le long de la côte baltique ;

Compartiment hydraulique	Marienkog	Wilstermarsh	Kieler Förde
Surface	6,92	193,05	8,5
Habitants	32	13.140	36.969
Biens fonciers	1.970.436 €	754.649.421 €	2.464.001.401 €
Biens agricoles	1.502.598 €	35.136.612 €	2.121.993 €
Biens industriels	5.267 €	890.101.428 €	2.238.833.136 €
Activités de service	57.872 €	279.853.089 €	2.615.723.910 €
Biens commerciaux	148.599 €	117.790.721 €	413.020.011 €
Total	3.684.772 €	2.077.531.281 €	7.733.700.451 €

Cette étude coïncide avec une étude qualitative des enjeux étant donné que la zone la plus vulnérable (le port) s'avère avoir le coût total le plus élevé. Ainsi, d'après cette étude la zone industrielle arrive en deuxième district le plus vulnérable, il y a donc corrélation entre une approche quantitative et qualitative.

Cependant, il est difficile d'estimer la valeur d'une zone naturelle, le marché du foncier n'existant pas dans ces zones. On peut donc la quantifier grâce à deux variables :

- la valeur de l'exploitation du site naturel ;
- la valeur paysagère du site (théorie de Penning-Rowell et Green (2000)) qui est le prix d'un site naturel dépend du prix qu'un touriste est prêt à payer pour visiter un site remarquable par exemple.

b) Classer génétiquement et quantifier spatialement l'aléa.

Dans un premier temps, il peut être pertinent de classer l'aléa selon sa période de retour, soit décennale (tempête, surcote, inondation), soit centennale (érosion, accumulation) et millénal (eustatisme et différents effets induits). Mais cette seule variable ne suffit pas à construire une analyse pertinente. On peut donc introduire trois variables supplémentaires pour avoir une analyse plus pertinente :

- l'emprise spatiale (Es) : c'est la superficie de la zone exposée à des risques ;
- la magnitude (Ma) : elle correspond à la relation entre l'intensité, la durée et l'occurrence de l'aléa ;
- la vulnérabilité (Vu) : elle doit chiffrer autant que possible le coût des enjeux exposés à l'aléa.

Pour créer un zonage, on dégage 5 classes de risques qui vont de 1 à 5, de insignifiant à très fort et divisé en deux catégories risque sociétal (c'est-à-dire les effets sur la société) et écosystémique (les effets sur l'écosystème).

Eustatisme :

variation lente du niveau de la mer liée à des effets de tectonique des plaques ou de changement climatique.

Niveaux	Risque sociétal	Risque écosystémique
1	Eustatisme	Déchets usuel sur la plage
2	Mouvement de masse sur une falaise littorale	Prélèvement de granulats
3	Repli côtier par érosion sur une côte sableuse	Marée verte
4	Inondation des plaines côtières	Pression urbaine sur un écosystème sous-marin
5	Cyclone	Pollution majeure

Avec ces données on peut penser une matrice de classement des variables génératrices du risque avec $V=0$ si $V < X$ et $V=1$ si $V \geq X$. Pour pouvoir faire une étude comparée de ce type il faut délimiter un périmètre d'étude des zones à risques assez larges comme une unité

administrative (commune département etc...) ou fonctionnelle (réseau hydrographique, bassin versant), afin d'avoir une analyse pertinente.



En sachant que X représente la moyenne de la variable considérée

Pour la variable « emprise spatiale » (ES) :

- la classe 0 correspond au risque d'extension limitée (bassin de risque infra-communal) ;
- la classe 1 est le risque à grande extension (bassin de risque supra communale).

Pour la variable « vulnérabilité » (VU) :

- la classe 0 représente le fait qu'à la suite d'un aléa, les reconstructions peuvent être supportées par le budget communal avec une aide limitée de l'Etat ;
- la classe 1 traduit une situation dans laquelle les mesures nécessitent d'avoir recours à des fonds étatiques massifs.

Pour la variable « magnitude (Ma) » :

- la classe 1 ou 0 dépend d'un niveau moyen sur une échelle gradué qui contient l'intensité du risque, la durée de cette intensité et de son occurrence. L'échelle de temps est comprise entre 60 et 100 ans

Par exemple, si le phénomène de submersion se propage au-delà de la commune on lui attribuera le numéro 1 pour la variable emprise spatiale. Le phénomène Xynthia s'étendant sur plusieurs départements : Vendée, Loire Atlantique, Pyrénées Atlantique, Charente Maritimes, l'Yonne, et les Hautes Pyrénées aurait obtenu un 1. Pour la variable vulnérabilité, si les coûts sont trop important pour la communes et qu'elle doit faire appelle massivement aux aides de l'état, elle obtient un 1. Xynthia ayant couté environ 1,5 millions d'euros on lui aurait attribué un 1. Enfin si le phénomène est d'occurrence rare et très intense alors se voit attribué le numéro 1.

	Variable (Es)	Variable (Ma)	Variable (Vu)
1 (sociétale + écosystème)	0	0	0
2 (sociétale)	0	0	1
2 (écosystème)	0	1	0
3 (sociétale)	0	1	1
3 (écosystème)	1	0	0
4 (sociétale)	1	0	1
4 (écosystème)	1	1	0
5 (sociétale + écosystème)	1	1	1

2.2.4- Vulnérabilité quantifiée grâce à la méthode du BCEOM

La vulnérabilité quantifiée grâce à la méthode de la BCEOM est une approche qui se fonde sur la détermination du dommage par rapport à son coût au m² selon deux variables qui sont les hauteurs d'eau survenue pendant l'inondation et les enjeux présents sur la zone submergée. Cette méthode distingue 6 zones en fonction du bâti et des densités de populations présentes dans les zones :

- centre-Ville,
- habitat hors centre-ville ;
- zones industrielles et commerciales ;
- équipement collectif ;
- réseau routier ;
- zone agricole ;

Une fois que le territoire est caractérisé avec ces 6 zones et que l'on prend en compte les hauteurs d'eau, on peut faire émerger une matrice de qualification de l'aléa :

Les chiffres exprimés dans cette matrice reflètent les coûts surfaciques exprimés en €/m²

Hauteur d'eau	Centre-ville	Habitat hors centre-ville	Zones industrielles et commerciales	Equipements collectifs	Réseau routier	Zone agricole
<0,5 m	30	8	30	0,3	8	0,01
0,5 à 1 m	60	14	60	0,4	11	0,02
1 à 2 m	85	16	90	0,5	16	0,04
>2 m	90	17	120	0,55	39	0,05

L'avantage de cette méthode est qu'elle permet une approche plus globale :

- Il n'est pas obligatoire de déterminer la valeur de chaque enjeu exposé à un aléa, puisqu'une zone urbaine vaut X euros au m².

Le principal problème de cette méthode est que la matrice est adaptée pour un risque d'inondation or si je veux l'employer dans ma cartographie, il faut que je l'adapte au risque de submersion marine. En effet, l'action d'une vagues n'est pas la même que celle d'un débordement de cours d'eau donc certaines zones risquent d'être plus vulnérables et donc affectées à un coût plus élevé. De plus, la réaction des sols lorsqu'ils sont submergés par de l'eau de mer n'est pas la même que s'ils sont submergés par de l'eau douce pour les terres fertiles par exemple. Le coût des zones agricoles et forestières devra être réétudié.

2.2.5- Détermination des facteurs de vulnérabilité grâce aux ACM (Analyses des correspondances multiples)

L'analyse de la vulnérabilité selon Elie Chevillot-Miot et Denis Mercier est une approche d'analyse des correspondances multiples, ce qui veut dire qu'un grand nombre de variables vont être croisées pour avoir un résultat nettement plus précis. Ce qui est très intéressant dans ces études est que l'étude de la vulnérabilité quantifiée est croisée avec l'étude de la vulnérabilité qualitative. Par conséquent, elle semble être l'étude la plus complète de la vulnérabilité que j'ai étudiée jusqu'à présent. Dans cette analyse, on croise 4 grands critères qui sont l'aspect physique du territoire, les éléments historiques, les enjeux humains et fonciers et les éléments de gestion des risques d'une commune.

Dans les 4 grands critères, les auteurs ont décidé d'affecter des sous-critères au nombre de onze qui sont :

-pour l'aspect physique :

- Topographie ;
- géomorphologie des côtes ;
- processus d'érosion.

-pour les éléments historiques :

- surface terrestre submergée lors de la dernière tempête ;
- événements passés de submersion.

-pour les enjeux fonciers et humains :

- la part des retraités ;
- la densité de population ;
- estimation de la part du bâti dans les zones basses.

-pour les éléments de gestion :

- mise en place d'un PPRL ;
- mise en place d'un PCS ;
- présence de digues de protection.

Par le biais de l'analyse de toutes les variables, il est possible de qualifier l'aléa de submersion marine :

Caractéristiques	Descriptif des caractéristiques	Indicateur de vulnérabilité
1	- Surface terrestre submergée par Xynthia entre 20 et 80 % - Evénements de submersions entre 3 et 4 - Part de bâtis en zones basses par commune entre 50 à 100 % - Présence d'un PPRL prioritaire et d'un PCS - Présence de côte basse, quasiment aucune côte haute et dune	Très fort
2	- Entre 6 et 14 événements survenus - Surface submergée lors de Xynthia inférieure à 20 % par commune - Part des retraités entre 55 et 70 % de la population totale - Présence d'un PPRL prioritaire et d'un PCS - Présence de côte basse, côte haute et dune	Fort
3	- Surface submergée par Xynthia entre 20 et 80 % - Part des retraités entre 20 et 35 % - Côte basse - Parfois présence d'un PCS, pas de PPRL prioritaire	Moyen
4	- Part des retraités compris entre 45 et 55 % de la population totale par commune - Densité de la population supérieure à la moyenne en France métropole - Présence de dune et côte haute - Bâtis en zones basses entre 30 et 50 %	Faible
5	- Faible densité de population - Bâtis en zones basses entre 15 et 30 % - Pas d'historique de submersion - Pas de surface submergée par Xynthia	Très faible

Cette méthode de zonage est la plus complète, le problème étant qu'il est très difficile de la mettre en œuvre aux vues du nombre de variables et d'informations nécessaires pour la réalisation de la carte. De plus au vue de la taille du territoire étudié les informations à réunir sont très importante. Dans le temps qui m'est impartie pour réaliser une cartographie, il sera difficile.

3. Elaboration d'une méthode pour réaliser la cartographie du littoral des Alpes Maritimes

3.1- Elaboration d'une méthode de caractérisation de l'aléa et de la vulnérabilité en vue de réaliser une cartographie

3.1.1- Création d'un tableau comparatif et analytique des méthodes de cartographie les plus pertinentes pour la caractérisation de l'aléa.

Après avoir analysé les différentes méthodes de zonages, j'ai décidé de sélectionner quatre méthodologies d'analyse géomorphologique du territoire qui sont :

- les zones basses parce que les métadonnées nécessaires à la réalisation cartographique sont accessibles gratuitement mais aussi parce que c'est une méthode simple à mettre en application sur un logiciel de SIG ;
- les PPRL, puisqu'ils définissent l'aléa de manière très précise et surtout parce qu'ils ont été mis plusieurs fois en application dans des collectivités territoriales. Enfin un guide méthodologique existe sur l'élaboration de la cartographie de ce dernier ;
- l'AZISM/ la DI caractérise l'aléa de manière originale en déterminant plusieurs zones au sein même du littoral, il est donc intéressant de les comparer ;
- le Porter A Connaissance est comparé dans ce tableau puisque la cartographie a été faite dans le périmètre étudié.

Outils	Zone d'étude	Qualification de l'aléa	Définition du zonage	Cartographie	Limite
Zones basses	Ensemble des territoires littoraux dont l'altitude est inférieure aux niveaux atteints par la mer lors de conditions météo extrêmes.	En fonction de : - La morphologie littorale -La bathymétrie -L'altimétrie -La présence d'ouvrages de protection Si le terrain naturel est plus bas que le niveau 0 NGF de la mer → Zone à risque/ basse	-zones d'aléa « fort » (en violet) : zones situées plus de 1 m sous le niveau marin de référence (NMR) ; - zones d'aléa « moyen » (en orange) : zones situées entre 0 et 1 m sous le niveau marin de référence (NMR) ; - zones d'aléa « liées au changement climatique » (en jaune) : zones situées entre 0 et 40 cm au-dessus du niveau marin de référence (NMR).	-Réalisé par la CETMEF et la CETE en 2010 -Echelle 1/250.000	-Ne caractérise pas l'aléa de submersion marine -Zonage altimétrique uniquement.
Le PPRL	Deux aléas pris en compte : -Décennale = niveau de la mer 2 m	Le PPRL permet de qualifier l'aléa de deux façons : -Fort	Deux zones sont définies : -La zone d'action mécanique des vagues -La submersion hors zone d'action mécanique des vagues On distingue trois zones dans la zone submersion hors zone d'action	-Réaliser en fonction de la volonté des collectivités → Région PACA 3 PPRL :	-Zonage constructible/ pas constructible → Très peu pertinent pour

	NGF -Centennale = niveau de la mer 2.40 m NGF	-Modéré L'aléa dépend de deux variables : -La hauteur d'eau pour l'aléa de référence -La côte du terrain naturel	mécanique des vagues : -Espace non ou peu urbanisé -Lido -Espaces urbanisés Dans la zone d'action mécanique des vagues l'aléa est toujours fort et la zone est inconstructible. Pour les autres zones on croise le niveau d'aléa et les espaces où les enjeux sont le plus concentrés pour définir les zones constructibles.	-Fréjus -Sainte Marie de la Mer -Port saint Louis -Echelle entre 1/10.000 ou 1/5.000	notre étude uniquement le premier zonage est réellement intéressant
L'AZISM/ DI	Trois aléas pris en compte : -Décennale = niveau de la mer 2 m NGF -Centennale = Niveau de la mer 2.40 m NGF -millénaire = niveau de la mer 2.80 m NGF	L'aléa peut être qualifié de : -Très fort -Fort -Moyen -Faible -Nul La puissance de l'aléa dépend de la zone géographique : - Plage vive → Très fort -Dune → Fort -Cordon dunaire (1^{er} plan) → Fort -Cordon dunaire (2nd plan) → Moyen -Plaine littoral → Moyen -Cordon littoral → Faible -Plaine alluviale → Faible -L'encaissant → Nul	L'aléa est caractérisé et rend compte du zonage :	-L'AZISM a été créé en Languedoc-Roussillon par la DREAL en 2009 et réviser en 2010 -Echelle 1/25.000	-Il a été réalisé uniquement sur la région Languedoc Roussillon -Ne prend pas en compte le réseau hydrographique → Analyse du littoral -Vision majorant le risque = marge de sécurité -Projection du niveau marin ne rend pas compte des hauteurs d'eau → frange littorale supérieure au scénario considéré comme zone non inondable

Le porter à connaissance	Le PAC est voué à évoluer il ne prend donc en compte qu'un seul aléa : -Aléa de référence d'occurrence décennale = Niveau de la mer 2.00 m NGF	L'aléa est caractérisé soit : -Très fort -Fort -Modéré -Faible L'aléa est déterminé grâce à deux zones : -Les zones les plus exposées à la houle (ZPEH) -La submersion marine hors ZPEH L'aléa est caractérisé en fonction de : -De la zone de la submersion -De la hauteur d'eau de submersion (h)	Le zonage est défini :			- Réaliser sur les territoires à risque important (TRI) de Cannes-Nice par la DDTM : -Mandelieu-la Napoule -Cannes -Vallauris -Antibes -Villeneuve-Loubet -Cagnes s/mer Saint-Laurent-Du-Var -Nice -Echelle 1/5.000 -création en 2015	
			Aléa de référence	Hauteur de la submersion (h)	Qualification de l'aléa		
			ZEPH	$h > 0$	Fort à très fort		
			Hors ZPEH	$H < 0,5$	Faible à modéré		
				$0,5 < h < 1$	Modéré à fort		
				$h > 1$	Fort à très Fort		

Après analyse du tableau, la méthode la plus pertinente pour élaborer ma cartographie est la méthode des zones basses. Cette méthode nécessite peu de métadonnées ces dernières étant gratuites. Mais aussi, parce qu'elle permet de caractériser l'aléa sans avoir à récolter beaucoup d'informations, a contrario des méthodologies du PPRL ou encore de la DI/ l'AZISM où il était nécessaire de caractériser tout le littoral.

3.1.2- Création d'un tableau comparatif et analytique des méthodes de cartographie les plus pertinentes pour la vulnérabilité du littoral.

Pour réaliser une cartographie complète il est nécessaire de réaliser une carte croisée en fonction de différentes études. En l'occurrence pour ma cartographie je vais croiser les informations sur la vulnérabilité du territoire et la caractérisation de l'aléa. Pour cartographier la vulnérabilité j'ai décidé de comparer 2 méthodes entre elles seulement. Les autres méthodes étaient soit trop subjectives, soit trop longues à mettre en œuvre :

- la méthode de la BCEOM : elle permet de quantifier le foncier de manière plus globale et non au cas par cas. Par conséquent, elle reste plus simple à mettre en œuvre dans le temps qui m'est imparti ;

- la méthode de l'analyse des correspondances multiples est la plus complète des méthodes. Elle rend compte de plusieurs éléments de vulnérabilité mais elle s'appuie sur des éléments géomorphologiques du territoire aussi.

Théorie	Zone d'étude	Qualification de la vulnérabilité	Définition du zonage	Cartographie	Limite																																			
BCEOM		La vulnérabilité dépend de deux variables : - Les hauteurs d'eau - Les enjeux présents sur la zone On distingue 6 zones urbaines : -Centre-Ville -Habitat hors centre-ville -Zones industrielles et commerciales -Equipement collectif -Réseau routier -Zone agricole Cette théorie représente la vulnérabilité en €/m²	En fonction des hauteurs d'eau et des enjeux on définit une matrice : Les chiffres expriment le coût en €/km² en fonction de la hauteur d'eau. <table><tr><th>Hauteur d'eau</th><th>Centre ville</th><th>Habitat hors centre ville</th><th>zones industrielles et commerciales</th><th>Equipements collectifs</th><th>Réseau routier</th><th>Zone agricole</th></tr><tr><td>< 0,5 m</td><td>30</td><td>8</td><td>30</td><td>0,3</td><td>8</td><td>0,01</td></tr><tr><td>0,5 à 1 m</td><td>60</td><td>14</td><td>60</td><td>0,4</td><td>11</td><td>0,02</td></tr><tr><td>1 à 2 m</td><td>85</td><td>16</td><td>90</td><td>0,55</td><td>16</td><td>0,04</td></tr><tr><td>> 2 m</td><td>90</td><td>17</td><td>120</td><td>3,55</td><td>39</td><td>0,05</td></tr></table>	Hauteur d'eau	Centre ville	Habitat hors centre ville	zones industrielles et commerciales	Equipements collectifs	Réseau routier	Zone agricole	< 0,5 m	30	8	30	0,3	8	0,01	0,5 à 1 m	60	14	60	0,4	11	0,02	1 à 2 m	85	16	90	0,55	16	0,04	> 2 m	90	17	120	3,55	39	0,05		-Le raisonnement étant très global cette méthode manque un peu de précision -Elle est adaptée à un risque d'inondation et pas de submersion marine
Hauteur d'eau	Centre ville	Habitat hors centre ville	zones industrielles et commerciales	Equipements collectifs	Réseau routier	Zone agricole																																		
< 0,5 m	30	8	30	0,3	8	0,01																																		
0,5 à 1 m	60	14	60	0,4	11	0,02																																		
1 à 2 m	85	16	90	0,55	16	0,04																																		
> 2 m	90	17	120	3,55	39	0,05																																		
Etude des facteurs de vulnérabilité grâce aux ACM (Analyses des correspondances)		La vulnérabilité dépend de 4 grands critères et 11 sous critères : -Aspect physique • Topographie • Géomorphologie des côtes • Processus d'érosion -éléments historiques • Surface terrestre submergée lors de la dernière tempête • Evènements passés de submersion	Très fort : -Surface terrestre submergée entre 20 et 80 % -Entre 3 et 4 événements de submersion -Bâti en zone basse par commune entre 50 et 100 % -Présence d'un PPRL prioritaire et d'un PCS -Présence de côte basse et quasiment aucune zone haute et dune Fort : -Entre 6 et 14 événements de submersion -Surface submergée inférieure à 20 % par commune -Part des retraités entre 55 et 70 % de la population totale -présence d'un PPRL prioritaire et d'un PCS -Présence de côtes basses, haute et dune	-Réaliser par Elie Chevillot-Minot en 2013	- Les variables sont trop importantes																																			

multiples)		-Enjeux fonciers et humains • La part des retraités • La densité de population • Estimation de la part du bâti dans les zones basses -Eléments de gestion • PPRL • PCS • Présence de digues de protection Il y a 5 indicateurs de vulnérabilité : -Très fort -Fort -Moyen -Faible -Très faible	Moyen : -Surface submergée entre 20 et 80 % -Part de retraités entre 20 et 35 % -Côte basse -Parfois présence d'un PCS, pas de PPRL prioritaire Faible : -Part de retraités compris entre 45 et 55 % de la population totale par commune -Densité de population supérieure à la moyenne Française. -Présence de dune et de côte haute -Bâtis en zone basse entre 30 et 50 %		
----------------	--	--	--	--	--

Après analyse du tableau, j'ai choisi la méthode du BCEOM pour cartographier la vulnérabilité. Cependant, il me sera nécessaire d'adapter cette méthode au risque de submersion marine en prenant en compte la salinisation des sols dans les zones agricoles et les zones naturelles, puisque le modèle est adapté au risque d'inondation. La méthode des ACM n'a pas été retenue parce que les informations à collecter pour la mise en œuvre de la cartographie sont trop importantes, il me faudrait beaucoup plus de temps pour pouvoir la réaliser. Mais elle reste la méthode la plus complète et la plus précise.

3.1.3- Adaptation de la méthode du BCEOM au risque de submersion marine

A la suite d'un tsunami ou d'une submersion marine il peut y avoir différents facteurs qui affectent la faune et la flore dus au fort taux de sel présent dans l'eau de mer :

- le sel affecte la croissance des plantes, en effet les plantes qui absorbent du sel de manière excessive s'empoisonnent. L'eau salée réduit l'absorption d'eau des plantes c'est ce qu'on appelle le stress hydrique, mais le sel réduit aussi les nutriments que

doivent ingérer les plantes. Par conséquent peu à peu les plantes vont jaunir puis mourir.

- Le problème de l'eau salée n'est pas le plus important, étant donné que dès les premières pluies le sel présent dans les sols va être lessivé. Mais c'est surtout les couches d'argile et de limon qui se déposent sur les terres, chargées en sel, qui créent une couche sur le sol très compliquée à évacuer, ce qui est un réel problème d'après une étude de la FAO. Pour l'éliminer il faut faire appel à des processus de filtration très lents puisque les couches de limon et d'argile sont très imperméables.

Les solutions sont diverses pour dé-saliniser les terres après le passage d'une submersion marine :

- le lessivage des sols par l'eau pure reste la meilleure des solutions. Le lessivage est une technique de nettoyage des sols qui permet le transport des éléments présents dans le sol par les eaux de surface comme la pluie ou l'arrosage ;
- la lixiviation désigne « toutes les techniques d'extraction de produits solubles par un solvant, et notamment par l'eau circulant dans le sol (éventuellement polluée) ou dans un substrat contenant des produits toxiques (décharge industrielle en particulier). » ;
- Enlever la couche de limon et d'argile mais il faut avoir à l'esprit que c'est très long car environ 1 m² de limon représente 15 brouettes pleines ;
- Mettre en place des cultures alternatives qui ont une haute résistance au sel.

	Haute tolérance	Tolérance moyenne
Grande culture	orge, coton	seigle, blé, carthame, Lupin, soja, avoine, millet, sorgho, riz, arachide
Fruit	Les dattes	grenade, la figue, olive, raisin
Légumes	Betterave, asperges, épinards	Betterave, asperges, épinards Tomate, brocoli, chou-fleur, maïs, fèves, Citrouilles, concombres

- On peut utiliser le gypse qui remplace les ions de sodium dans les sols et qui peu à peu supprime activement le sodium des sols. Pour utiliser ce produit il faut que les sols aient un PH de 8.5 le cout varie de 100 à 200 \$ par hectare.

Suite à ces affirmations il est obligatoire de revoir les valeurs énoncées dans le tableau ci-dessous :

Hauteur d'eau	Centre ville	Habitat hors centre ville	zones industrielles et commerciales	Equipements collectifs	Réseau routier	Zone agricole
< 0,5 m	30	8	30	0,3	8	0,01
0,5 à 1 m	60	14	60	0,4	11	0,02
1 à 2 m	85	16	90	0,55	16	0,04
> 2 m	90	17	120	3,55	39	0,05

En effet les valeurs indiquées dans les zones agricoles sont à revoir à la hausse car elles représentent les dégâts induits par une inondation d'eau douce et non d'eau salée. De plus il est nécessaire de rajouter et de quantifier une zone naturelle. Même s'il n'y a pas d'enjeux la submersion marine entrainerait une démarche de lessivage et de nettoyage des sols il faut donc quantifier les nouveaux prix au m² de ces deux zones.

- la lixiviation permet d'infiltrer un produit lixiviat qui permet la dissolution de matières solides comme le sel. C'est une technique utilisée pour décontaminer des terres ou des déchets pollués par des éléments organiques ou minéraux ;
- la seconde solution et le nettoyage des sols par le Gypsum ;
- la troisième solution est de lessiver les sols grâce à l'eau potable. Pour savoir combien d'eau on intègre dans les sols, il faut calculer la conductivité électrique du sol, c'est-à-dire la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant, dans ce cas l'unité utilisée est siemens par cm. La conductivité est directement liée à la quantité de sels minéraux dissous dans l'eau. Ainsi plus il y aura de sel dans les sols des zones agricoles et naturelles plus la conductivité sera importante. Le tableau suivant présente les (mm) d'eau nécessaire en fonction de la conductivité présente dans les sols.

EC(e) en mS/cm	Eau nécessaire (mm)
10	315
15	430
20	540
25	650



Pour des racines de 30 cm de profondeur

Sachant que le m³ d'eau est à 3,75 € et que 1 m³ est équivalent à 1.000.000.000 mm cela fait 1 mm à 0.000000375 cts et en considérant que ces 4 données représentent les différents niveaux d'eau on peut dire que :

Hauteur d'eau	Zone agricole
< 0,5 m	$0.01 + 0.000000375 * 315 = 0.0100118125 \text{ €}$
0,5 à 1 m	$0.02 + 0.000000375 * 430 = 0.020016125 \text{ €}$
1 à 2 m	$0.04 + 0.000000375 * 540 = 0.0402025 \text{ €}$
>2 m	$0.05 + 0.000000375 * 650 = 0.05024375 \text{ €}$

En ce qui concerne la zone naturelle à ajouter qui ne comporte pas d'enjeux mais uniquement de la végétation, on ne peut pas reprendre les même valeurs étant donné que les racines ont bien plus de profondeur. Par conséquent pour construire la matrice de valeur de la zone naturelle face au risque de submersion marine, je vais prendre en compte le coût de l'achat de Gypsum afin de purifier les sols. Les données que j'ai à ma disposition sont le coût du gypsum entre 100 et 200 \$ pour un hectare en fonction des hauteurs d'eau subies par le territoire.

Hauteur d'eau	Zone naturelle
< 0,5 m	$100 \$ = 88.9894 \text{ €/hectare}$ $= 0.00889894 \text{ €/m}^2$
0,5 à 1 m	$133.33 \$ = 118.652137356 \text{ €/hectare}$ $= 0.01186521373 \text{ €/m}^2$
1 à 2 m	$166.66 \$ = 148.312946911 \text{ €/hectare}$ $= 0.0148312946911 \text{ €/m}^2$
>2 m	$200 \$ = 177.9826556 \text{ €/hectare}$ $= 0.01779826556 \text{ €/m}^2$

1^{er} étape convertir les euros en dollars

2nd étape convertir les €/hectare en €/m²

Après réflexion, il est plus simple de créer une matrice qui prend en compte une seule technique de désalinisation des sols ; la plus concrète et la plus fiable est le gypsum, par conséquent :

Hauteur d'eau	Zone agricole
< 0,5 m	$0.01 + 0.00889894 = 0.01889894 \text{ €/m}^2$
0,5 à 1 m	$0.02 + 0.01186521373 = 0.03186521373 \text{ €/m}^2$
1 à 2 m	$0.04 + 0.0148312946911 = 0.0548312946911 \text{ €/m}^2$
>2 m	$0.05 + 0.01779826556 = 0.06779826556 \text{ €/m}^2$

Après avoir quantifié les zones agricoles et les zones naturelles il faut maintenant adapter la méthode en rajoutant encore une nouvelle zone qui est la zone littorale. Il est vrai que lors d'inondation le littoral n'est pas forcément touché, or dans le cas d'une submersion marine le littoral est la zone qui compte le nombre de dégâts les plus importants. Il faut donc savoir combien coûtent le nettoyage de la plage et la réhabilitation de la berge. D'après un rapport du conservatoire du littoral le nettoyage d'une plage coûte entre 700 € et 4000 € au km selon le dégât causé, et la réhabilitation des berges coûte entre 170.000 € et 700.000 € pour 3,7 km en fonction des dégâts. On peut donc quantifier la vulnérabilité du littoral face au risque de submersion marine :

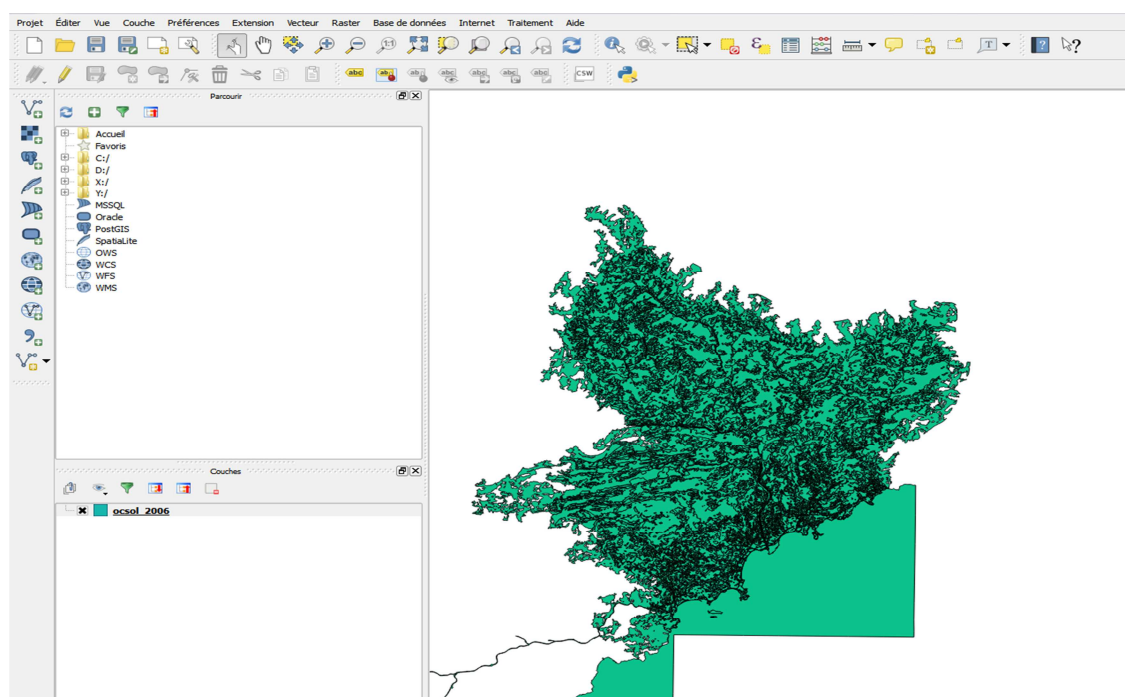
Hauteur d'eau	Zone littoral
< 0,5 m	700 €/km = 0,7 €/m 170 000 €/3,7 km = 45,95 €/m 0,7+45,95= 46,02 €/m
0,5 à 1 m	1 800 €/km = 1,8 €/m 327 500 €/ 3,7 km = 88,51 €/m 1,8+88,51 = 90,31 €/m
1 à 2 m	2900 €/km = 2,9 €/m 485000 €/3,7 km = 131,08 €/m 131,08+2,9= 133,98 €/m
>2 m	4000 €/km = 4,00 €/m 700000 €/ 3,7 km = 189,19 €/m 4+189,19 = 193,19 €/m

3.2- cartographie de la vulnérabilité des enjeux face au risque de submersion marine.

3.2.1 – Méthodologie de cartographie à l'aide du système d'information géographique Qgis.

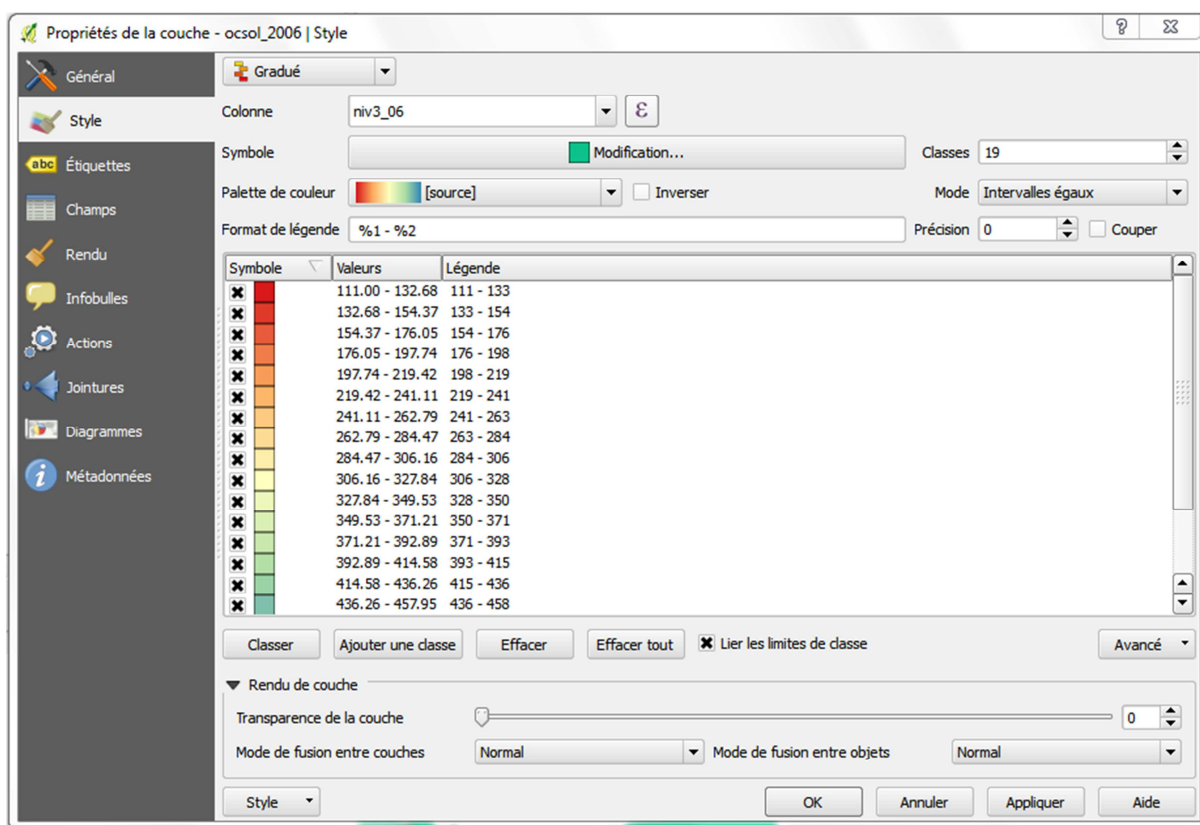
Pour réaliser cette cartographie j'ai dû tout d'abord rechercher les données et métadonnées sur un site ou auprès d'un organisme qui détient la licence et les droits de distribution des données. Pour cartographier la vulnérabilité des populations j'ai choisi les données de CORINE land cover qui sont des données en libre accès sur le site du CRIGE PACA. Le CRIGE PACA est un site internet et une banque de données qui permet d'obtenir toutes les données et métadonnées qui sont en libre-service dans la région Provence Alpes Côte d'Azur. Les informations données par CORINE land cover sont des informations concernant l'occupation au sol et les différentes unités urbaines rencontrées sur le territoire observé.

Pour commencer il m'a fallu ouvrir les données de Corine land cover dans le logiciel Qgis :



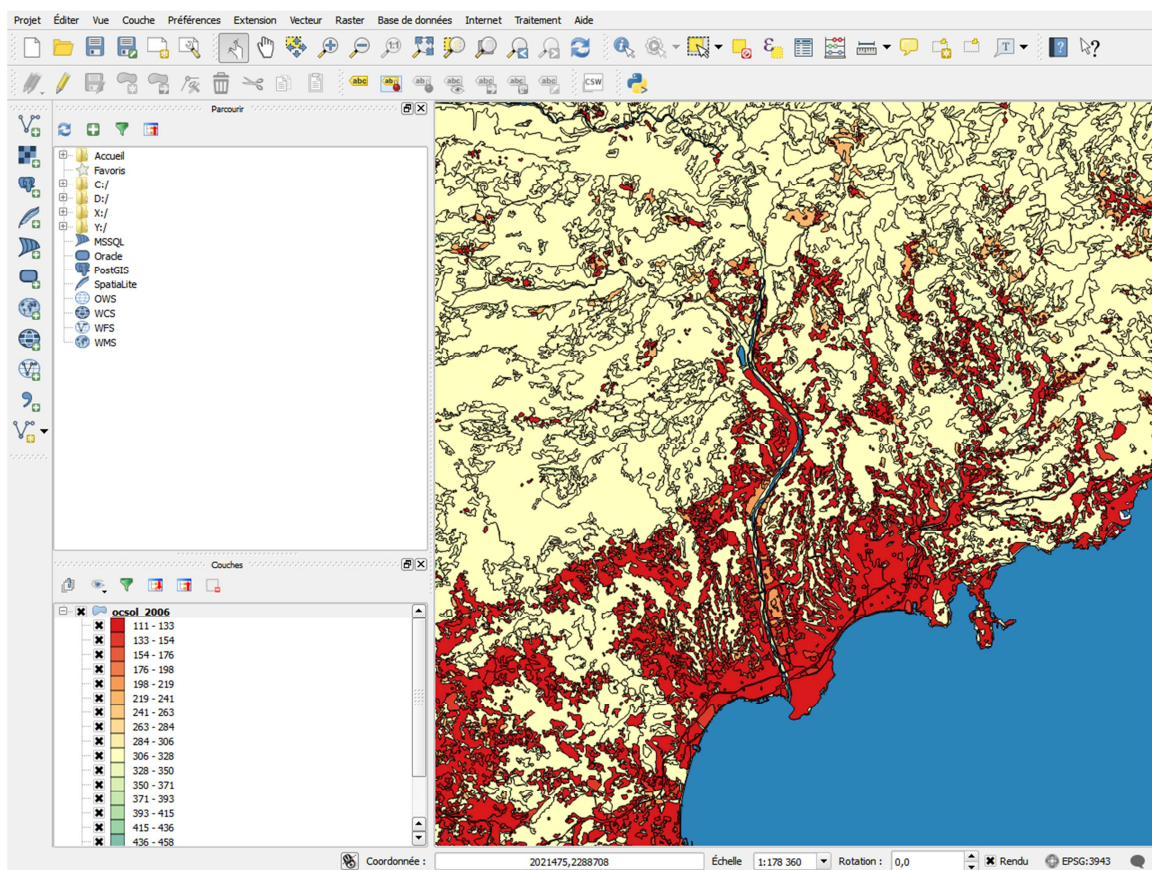
La carte ci-dessus est celle qui apparaît dès l'ouverture des données dans Qgis. J'ai donc commencé par graduer la carte avec 19 couleurs (pour avoir une bonne précision) en fonction des différentes occupations du sol présent sur le territoire des alpes maritimes. Il m'a fallu aller dans les propriétés de la couche et changer le style de cette dernière :

Une fois cette opération réalisée, chaque zone possédait une couleur en fonction de son occupation au sol :



Le problème de cette base de données est qu'elle ne représente pas les zones que j'ai présentées auparavant dans l'adaptation de la BECOM. Elle caractérise le territoire en fonction des densités aux sols, mais pas en fonction des différentes unités urbaines et naturelles qui sont :

- centre-ville ;
- habitat hors centre-ville ;
- zones industrielles et commerciales ;
- équipement collectifs ;
- réseau routier ;
- zone agricole ;
- zone naturelle ;
- littoral.



J'ai donc ouvert la table des attributs de la carte. La table des attributs permet de connaître toutes les données disponibles :

Grâce à la table d'attribut j'ai pu savoir quelles étaient les différentes unités urbaines et naturelles, les superficies des zones, et les positions des différentes données présentes dans la cartographie. J'ai

Attribute table - ocsol_2006 :: Features total: 11185, filtered: 11185, selected: 0

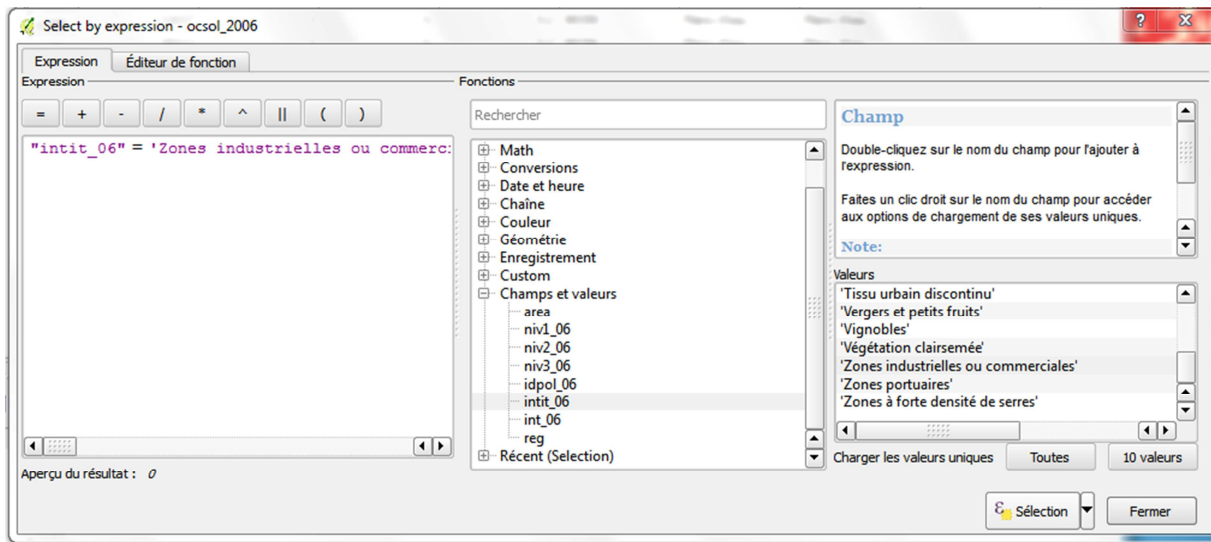
	area	niv1_06	niv2_06	niv3_06	idpol_06	init_06	int_06
11184	2147483647	5	52	523	99519	Mers et océans	Mers et océans
11183	110474	5	51	512	99360	Plans d'eau	Plans d'eau
11182	51637	5	51	512	99359	Plans d'eau	Plans d'eau
11181	25312	5	51	512	99356	Plans d'eau	Plans d'eau
11180	32174	5	51	512	99355	Plans d'eau	Plans d'eau
11179	28574	5	51	512	99352	Plans d'eau	Plans d'eau
11178	34987	5	51	512	99351	Plans d'eau	Plans d'eau
11177	272474	5	51	512	99350	Plans d'eau	Plans d'eau
11176	33750	5	51	512	99334	Plans d'eau	Plans d'eau
11175	32625	5	51	512	99330	Plans d'eau	Plans d'eau
11174	96862	5	51	512	99327	Plans d'eau	Plans d'eau
11173	26550	5	51	512	99326	Plans d'eau	Plans d'eau
11172	30712	5	51	512	99325	Plans d'eau	Plans d'eau
11171	223875	5	51	512	99322	Plans d'eau	Plans d'eau
11170	168187	5	51	512	99321	Plans d'eau	Plans d'eau
11169	146700	5	51	512	99320	Plans d'eau	Plans d'eau
11168	121837	5	51	512	99319	Plans d'eau	Plans d'eau
11167	35212	5	51	512	99318	Plans d'eau	Plans d'eau
11166	248512	5	51	512	99317	Plans d'eau	Plans d'eau
11165	94500	5	51	512	99314	Plans d'eau	Plans d'eau
11164	128362	5	51	512	99310	Plans d'eau	Plans d'eau
11163	26212	5	51	512	99309	Plans d'eau	Plans d'eau
11162	45675	5	51	512	99308	Plans d'eau	Plans d'eau

Montrer toutes les entités

donc classé les différentes unités en fonction du zonage que j'ai élaboré en adaptant la méthode de BCEOM :

Centre-ville	Tissu urbain continu
Habitat hors centre-ville	Tissu urbain discontinu ; bâti diffus
Zones industrielles et commerciales	Zones industrielles et commerciales ; zones portuaire ; Aéroports ; extraction de matériaux
Equipements collectifs	Décharge ; chantier ; équipement sportifs et de loisirs
Réseau routier	Réseaux routier, ferroviaire et espaces associés
Zone agricole	Périmètres irrigués en permanence ; rizières ; vignobles ; vergers et petits fruits ; oliveraies ; serres ; terres arables autres que serres ; lavandin ; culture permanente ; système culturaux parcellaires complexes ; agriculture avec présence de végétation ; territoires agro-forestier
Zone naturelle	Espaces vert urbain ; prairies ; forêt de feuillus ; forêt de conifère ; forêt mélangés ; pelouses et pâturages naturels ; landes subalpines ; maquis et garigues ; forêt et végétation arbustive en mutation ; plages, dunes et sables ; roches nues ; végétation clairsemée ; zones incendiées ; zones humides indifférenciées ; marais intérieurs et tourbières de montagne

Après avoir classé toutes mes données, il fallait adapter la légende aux différentes zones choisies. Pour se faire, j'ai ajouté une nouvelle colonne dans la table d'attribut que j'ai nommé « reg ». Dans cette colonne, je vais attribuer un numéro qui correspond à une zone à toutes les données dont je dispose. Par exemple, pour créer l'entité « zones industrielles et commerciales » j'ai dû attribuer le numéro 4 les données qui se nomment « aéroport », « zones portuaires », « extraction de matériaux », et « zones industrielles et commerciale. Pour ne pas le faire manuellement j'utilise l'outil de sélection qui me permet d'affecter un chiffre à toutes les zones en même temps en fonction de leurs noms :



Attribute table - ocsol_2006 :: Features total: 11185, filtered: 293, selected: 293

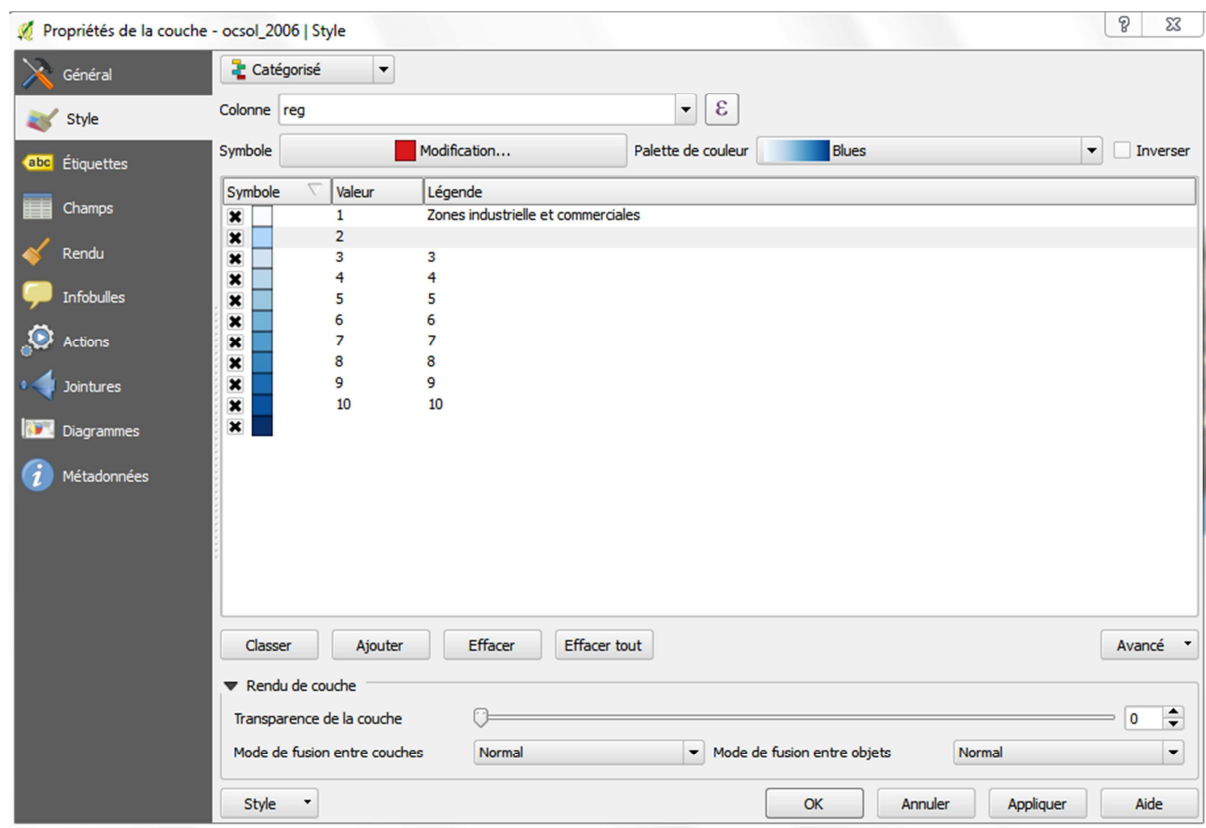
reg = 1

Mise à jour filtrée Mettre à jour la sélection

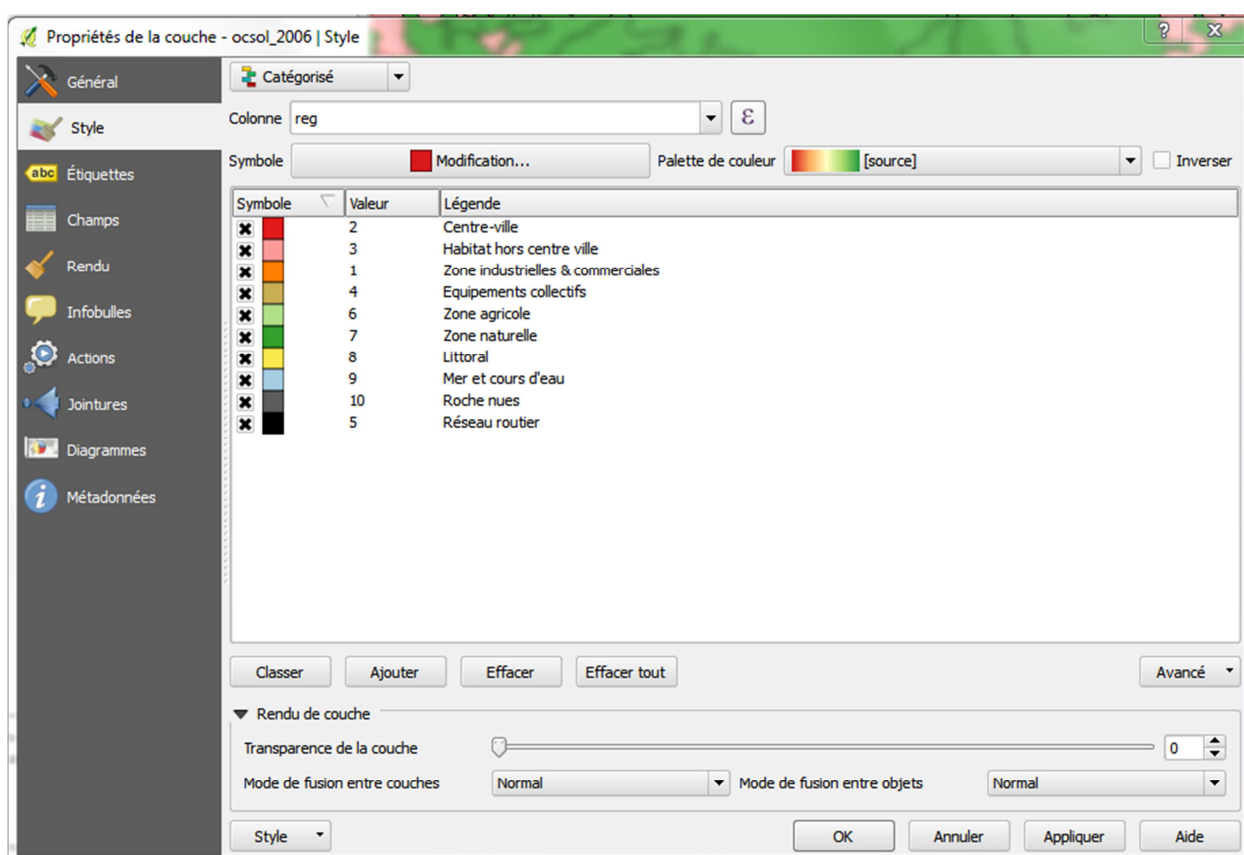
	area	niv1_06	niv2_06	niv3_06	idpol_06	intit_06	int_06	reg
3581	247725	1	12	121	28333	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3580	67612	1	12	121	28330	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3579	26999	1	12	121	28328	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3578	28350	1	12	121	28327	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3577	395662	1	12	121	28326	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3576	75037	1	12	121	28325	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3575	22050	1	12	121	28324	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3574	11587	1	12	121	28323	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3573	112724	1	12	121	28322	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3572	28350	1	12	121	28319	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3571	10800	1	12	121	28318	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3570	33300	1	12	121	28314	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3569	37237	1	12	121	28313	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3568	23849	1	12	121	28311	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3567	22837	1	12	121	28307	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3566	34537	1	12	121	28302	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3565	10575	1	12	121	28300	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3564	39374	1	12	121	28284	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3563	13837	1	12	121	28283	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3562	23175	1	12	121	28279	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3561	50512	1	12	121	28277	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3560	116437	1	12	121	28274	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3559	122062	1	12	121	28273	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3558	21825	1	12	121	28271	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3557	15299	1	12	121	28269	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3556	49050	1	12	121	28268	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3555	20024	1	12	121	28267	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3554	9000	1	12	121	28266	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1
3553	20362	1	12	121	28265	Zones industrielle...	Zones industrielle...	1

Ne montrer que les entités sélectionnées

Une fois toutes les zones numérotées je retourne sur les propriétés de la couche et dans l'onglet colonne je sélectionne « reg » afin que la légende se fasse en fonction de la numérotation que j'ai attribuée auparavant :



Par la suite, je renomme toutes les zones en fonction de la méthode de BCEOM et je choisis les couleurs adaptées aux zones :



Conclusion

A la suite de mes recherches j'ai pu choisir deux méthodologies qui permettent de cartographier de manière pertinente l'aléa de submersion marine :

- Le BCEOM
- Les zones basses

C'est deux méthodologies permettent de qualifier l'aléa de faible à très fort mais aussi de pouvoir avoir un aperçu des territoires les plus vulnérables face au risque de submersion marine. Cependant, ce mémoire présente une partie de mes travaux réalisés lors de mon stage, le croisement entre les deux cartes n'étant pas encore réalisé. Le stage se déroulant sur une durée de trois mois et demi, les résultats cartographiques sont en cours de finalisation à ce jour.

Ce stage à était très instructif, parce qu'il m'a permis d'acquérir une méthodologie de recherche rigoureuse, qui me sera nécessaire dans la poursuite d'étude. J'ai aussi appris l'organisation et le but d'un centre de recherche, qui était une notion au demeurant encore un peu flou. Enfin ce stage m'a permis de me procurer une expertise et des connaissances d'un sujet qui m'était totalement inconnue.

Bibliographie

Le lexique du risque :

- <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/risque/69557?q=risque#end> ;
- <http://www.risquesmajeurs.fr/definition-generale-du-risque-majeur> ;
- http://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/risque_naturel.php4 ;
- <http://www.risquesmajeurs-hautes-pyrenees.pref.gouv.fr/public/page.php?id=1> ;
- Thèse L.Pugnet 2014 ;
- Cairn ; « La résilience : un concept pour la gestion des risques » André Dauphiné, Damien Provitolo.

Le lexique de la submersion marine :

- <http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/fonds-de-prevention-des-risques-a155.html> ;
- « Plan de prévention des risques littoraux PPRL Marais De Dol » Hydratec ;
- Préfecture du Finistère « Plan de prévention des risques naturels majeurs inondation par submersion marine », règlement de la commune de Fouesnant ;
- « Guide méthodologique d'élaboration d'un PPRL Languedoc Roussillon » par la Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement ;
- « Aléa littoraux (submersion marine et déferlement) et aléa d'inondation par débordement de cours d'eau » par la Direction Départementale des Territoires et de la Mer Service Eau, Risques et Nature.

Le lexique de l'inondation

- <http://www.aquaportail.com/definition-12830-geomorphologie-fluviale.html> ;
- <http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/fonds-de-prevention-des-risques-a155.html> ;
- « Aléa littoraux (submersion marine et déferlement) et aléa d'inondation par débordement de cours d'eau » par la Direction Départementale des Territoires et de la Mer Service Eau, Risques et Nature ;
- http://www.risques.gouv.fr/lexique/letter_r.

Outils de prévention des risques

- <http://www.lorraine.developpement-durable.gouv.fr/glossaire-d-aide-a-la-lecture-des-documents-lies-a4047.html> ;
- <http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/fonds-de-prevention-des-risques-a155.html> ;
- <http://risquesenvironnementaux-collectivites.oree.org/le-guide/actions-collectivites-risquesmajeurs.html> ;
- http://www.unit.eu/cours/cyberrisques/etage_4/co/Module_Etage_4_30.html ;

Les outils & actions de prévention des risques de submersion marine

- « Guide méthodologique d'élaboration d'un PPRL Languedoc Roussillon » par la Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement ;
-

Les outils & actions de prévention des risques d'inondation

- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-plans-de-gestion-des-risques-d,40052.html> ;
- <http://www.basse-normandie.developpement-durable.gouv.fr/les-outils-de-gestion-du- risque-inondation-r492.html> ;
- <http://www.midi-pyrenees.developpement-durable.gouv.fr/la-cartographie-informative-des-zones-inondables-a6264.html> ;

Les types de données

- « Conception, mise en œuvre d'un dispositif d'analyse et d'évaluation des plans de prévention des risques naturels (PPR)- Module A2-Décembre 2006 » Valérie Sanseverino – Aldo Napoli ;
- <http://seig.ensg.ign.fr/fichlexi.php?NOCONT=CONT4&ID=27&IDENT=mot&RPHP=fich chap&RCO=&RCH=&RF=&RPF=222&RPC> ;
- <http://www.ign.fr/> ;
- <http://www.shom.fr/les-activites/> ;
- <http://glossaire.prim.net/definition/vecteur> ;
- <http://glossaire.prim.net/definition/vecteur>.

Zones dites « basses »

- « Les fiches thématiques de l'observatoire national de la mer et du littoral » L.Mignaux ;
- « Méthode d'évaluation du risque de submersion des côtes basses appliqué à la plage du Vougot, Guissény (Bretagne) » Serge Suanez, Bernard Fichaut et Lénaïg Sparfel.

Zonage réalisé au regard de la loi Littoral

- « La prise en compte de la submersion marine par la loi littoral » Loïc Prieur et Raymond leost.

Zonage employé par les PPRL

- « Prévention du risque de submersion marine en Languedoc Roussillon » DREAL
- « Guide régional d'élaboration des plans de prévention des risques littoraux » DREAL

Zonage réalisé au regard de la Directive inondation du littoral et AZISM

- « Mise en œuvre de la directive inondation- Rapport d'accompagnement des cartographies TRI de Narbonne » DREAL RA, DREAL LR, DDTM 11

Vulnérabilité sociale

- Aurélie Arnaud, « Les limites de la cartographie des risques littoraux : des perspectives pour la compréhension de tous », VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Hors-série 21 | avril 2015

Vulnérabilité évaluée post-événement au regard de la mortalité

- Freddy Vinet, Laurent Boissier et Stéphanie Defossez, « La mortalité comme expression de la vulnérabilité humaine face aux catastrophes naturelles : deux inondations récentes en France (Xynthia, var, 2010) », VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Volume 11 Numéro 2 | septembre 2011

Vulnérabilité quantifiée sur des analyses foncières

- « Etude des risques côtiers sous l'angle de la géomatique » Marc Robin

Vulnérabilité quantifiée grâce à la méthode de la BECOM

- Donguy A. « Contribution de l'information géographique aux métiers de l'assurance pour la gestion des événements d'ampleur » ; Thèse de doctorat de MINES ParisTech, 379 p

Détermination des facteurs de vulnérabilité grâce aux ACM (Analyses des correspondances multiples)

- 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 [En ligne], Volume 14 Numéro 2 | septembre 2014.

Adaptation du modèle d'endommagement du BCEOM au risque de submersion marine

- « 20 things to know about the impact of salt water on agricultural land in Aceh province » par United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) ;
- Extrait du register des délibérations du bureau, communautés de communes de Saône vallée (Ain) ;
- « Structure de la gestion des sites du conservatoire littoral » Conservatoire du littoral & rivages de France 2014.