



Université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne

UFR de Géographie

Master 1 Sciences des territoires, spécialité Carthagéo

Promotion 2015-2016

Évaluer la vulnérabilité face à la submersion marine : approche multicritère sur la commune de Leucate

Corentin REGRAIN

1^{er} juillet 2016

Directeur : Brice ANSELME, Maître de conférences, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Jury : Brice ANSELME, Maître de conférences, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Paul DURAND, Maître de conférences, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Remerciements

Je tiens à remercier Brice Anselme d'avoir accepté d'encadrer mon mémoire et de m'avoir orienté vers ce sujet. Merci pour votre aide précieuse et vos conseils sur certains points.

Je voudrais remercier Sylvain Elineau pour m'avoir donné la liste des ouvrages hydrauliques.

Merci à Maxime Rouchès pour avoir partagé ses données sur la perception, sa modélisation du réseau routier et ses profils topographiques.

Enfin, je voudrais remercier Tanguy, Gaël et Adeline pour avoir gentiment relu mon travail malgré les nombreux termes techniques.

Liste des sigles

ACM : Analyse des Correspondances Multiples

CETMEF : Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales

CVI : Coastal Vulnerability Index

ERP : Équipement Recevant du Public

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

IBC : Intensité du Bâti situé sous les niveaux marins centennaux actuels dans les communes ayant fait l'objet d'un arrêté de catastrophes naturelles d'origine marine

IGN : Institut Géographique National

II : Impact Index

MNT : Modèle Numérique de Terrain

NGF : Nivellement Général de la France

ONML : Observatoire National de la Mer et du Littoral

PCS : Plan Communal de Sauvegarde

PPRL : Plan de Prévention des Risques Littoraux

SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

SMNLR : Service Maritime et de la Navigation Languedoc-Roussillon

V.I.E. : Vulnérabilité Intrinsèque Extrême

ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique

Sommaire

Introduction	9
Première partie : État des lieux concernant la recherche sur les risques....	13
Deuxième partie : Définir des critères pour évaluer la vulnérabilité.....	31
Troisième partie : Estimer la vulnérabilité à Leucate	53
Conclusion	85
Bibliographie.....	87
Sitographie	96
Table des figures	97
Table des cartes	98
Table des tableaux.....	99
Table des matières	100
Annexes.....	103

Introduction

« Je veux que toutes les communes situées dans des zones à risque disposent d'un plan communal de sauvegarde destiné à anticiper les situations de crise. La tempête Xynthia soulève la question de la façon dont nous sommes collectivement préparés à faire face aux catastrophes naturelles. [...] Sur 864 communes exposées au risque de submersion marine en France, seules 46 disposent d'un plan de prévention approuvé. La situation n'est pas meilleure pour les autres risques, incendies de forêts, risque sismique. Ce n'est plus tolérable. » (Discours du président de la République, 16 mars 2010)

Tels sont les mots qu'a prononcé le président de la République à la suite de la tempête Xynthia qui a inondé plusieurs communes du littoral atlantique le 28 février 2010. La couverture médiatique qui a suivi cet événement a fait ressurgir la réalité du risque de submersion marine sur les côtes françaises ainsi que le manque de connaissances sur le sujet (Cariolet et al., 2012 ; Mercier et Chadenas, 2012). Aujourd'hui, la question du risque de submersion marine se pose d'autant plus que nous sommes dans un contexte de changement climatique et d'élévation du niveau marin. En 2013, le GIEC prévoyait une élévation moyenne du niveau de la mer comprise entre 26 cm pour le scénario le plus optimiste et 82 cm pour le scénario le plus pessimiste à l'horizon 2100. Ces prévisions se sont depuis affinées et les plus courantes sont dans une tranche de 35 à 40 cm (Vinchon et al., 2009).

Avant de parler plus spécifiquement de la submersion marine, il convient de définir le mot « risque ». Selon Lévy et Lussault (2013), le risque se définit comme « la probabilité d'un danger menaçant ou portant atteinte à la vie ». Ainsi, cette définition admet que le risque est une combinaison de deux composantes : l'aléa et les enjeux. L'aléa est l'évènement en lui-même. Il peut être d'origine naturelle ou anthropique. Il est caractérisé par une probabilité d'occurrence et une intensité. Les enjeux désignent les éléments exposés à l'aléa et qui représentent une valeur humaine, économique ou environnementale : ces enjeux peuvent être des biens ou des personnes (Hénaff et Philippe, 2014 ; Robin, 2002). Dans les études sur le risque, la question des enjeux est souvent abordée du point de vue de leur vulnérabilité. Lévy et Lussault (2013) la définissent par « une exposition intrinsèque à l'endommagement de toute organisation spatiale ». La vulnérabilité concerne l'exposition des enjeux mais il est aussi question de leur sensibilité : c'est la « propension à l'endommagement ou au

dysfonctionnement de différents éléments exposés (biens, personnes, activités, fonctions, systèmes) constitutifs d'un territoire et d'une société donnés » (Leone et Vinet, 2006).

La question du risque est considérée depuis longtemps par les sociétés. Historiquement, elles se sont focalisées sur les risques car les catastrophes naturelles étaient considérées comme des punitions divines (Veyret et Reghezza, 2006). À partir du XVIII^e siècle, les progrès techniques amènent peu à peu une sensation de contrôle sur la nature. Les risques ne sont alors plus tolérés par les sociétés. Malgré les progrès techniques et les changements socio-économiques, il n'en est pas moins que les sociétés restent vulnérables face aux catastrophes naturelles comme cela a été le cas pour la tempête Xynthia. Cette vulnérabilité est néanmoins essentielle pour faire évoluer les sociétés humaines vers un espace durable (Lévy et Lussault, 2013).

Ce travail étudie cette question de la vulnérabilité à travers l'exemple des inondations par submersion marine sur la commune de Leucate. Le phénomène de submersion marine se définit comme « l'inondation temporaire des zones côtières par la mer dans des conditions météorologiques et marégraphiques intenses » (Créach, 2015a). La submersion marine se produit généralement sur les zones basses des littoraux et lors d'une tempête. Le passage d'une tempête a pour conséquence d'élever provisoirement le niveau marin par la conjonction d'une forte houle, de l'action du vent qui modifie les courants et de la diminution de la pression atmosphérique qui fait monter le niveau de la mer. La submersion marine est avant tout un phénomène lié à des conditions météorologiques particulières (Météo-France). Les inondations ont lieu selon trois processus (Créach, 2015a) :

- Soit par débordement, c'est-à-dire lorsque le niveau marin dépasse la cote d'un ouvrage qui protège les zones basses ;
- Soit par « paquets de mer », c'est-à-dire que le niveau marin est inférieur à la cote de l'ouvrage mais que le déferlement des vagues est suffisamment important pour faire passer de l'eau vers les zones basses ;
- Soit lorsqu'il y a une rupture de l'ouvrage de protection, occasionnant une brèche vers laquelle l'eau s'écoule.

Notre zone d'étude est la commune de Leucate, située dans la région Languedoc-Roussillon et dans le département de l'Aude. Elle est bordée par le Golfe du Lion à l'est, l'étang de Salses-Leucate à l'ouest et l'étang de La Palme au nord. Peuplée de 4 337 habitants en 2013, sa population estivale peut monter jusqu'à 80 000 habitants (Longepée et al., 2015). La commune s'étend sur plusieurs agglomérations : Leucate Village, La Franqui, Leucate Plage, le Village naturiste et Port Leucate. La commune est très exposée aux vents provenant à la fois de la terre au nord-ouest et de la mer à l'est et au sud-est (Ferrer et al., 2008).

Leucate est installée en grande partie sur un plateau calcaire surplombant la mer d'une vingtaine de mètres et dépassant par endroit les 70 mètres. Au nord et au sud se sont constitués deux cordons dunaires, localement appelés « lidos », qui séparent la mer Méditerranée de deux étangs. Ces lidos sont des formations récentes, constituées il y a environ 2000 ans tout comme la lagune de Salses-Leucate daterait de la fin de la transgression flandrienne, il y a environ 5000 ans (Martin, 1977). Ces dunes ont la particularité de former des zones basses sujettes aux submersions marines. Le cordon dunaire est précédé d'une avant-côte de pente faible constituée de barres festonnées dont la présence modifie la circulation hydrodynamique et le déferlement de la houle (Ferrer et al., 2008).

Alors que le lido des Coussoules, qui sépare l'étang de La Palme de la Méditerranée, est une dune à forte valeur environnementale, c'est sur le lido qui sépare la mer de l'étang de Salses-Leucate que sont installées Port Leucate et une partie de Leucate Plage. Port Leucate est une création de la Mission Racine, un projet d'aménagement du territoire qui a profondément transformé le littoral languedocien en favorisant l'urbanisation et le développement du tourisme de 1963 à 1982 (Desse, 1994). Leucate Plage s'est également considérablement développée durant cette période. L'urbanisation récente de cette partie du littoral leucatois a amené l'extension de nouveaux enjeux humains dans des zones basses (Carte 1).



Carte 1 – Localisation de Leucate dans ses limites administratives

Le contexte particulier de notre terrain d'étude nous amène à nous poser la question de l'état actuel de la vulnérabilité face à la submersion marine dans la commune. Cependant, comment estimer cette vulnérabilité de manière par rapport aux différents facteurs qui impactent sur celle-ci ? Nous répondrons à cette question en trois temps.

En premier lieu, nous examinerons le cadre théorique sur la question des risques, son évolution et ses représentations, à travers un exemple d'études et de travaux scientifiques sur le littoral languedocien ou dans d'autres parties du monde.

Dans un second temps, nous définirons une méthode permettant d'évaluer la vulnérabilité relative à la submersion marine en sélectionnant des critères qui ont un impact sur celle-ci.

Dans un troisième temps, nous analyserons les impacts de nos critères sur la vulnérabilité de la commune avant d'en donner une estimation globale.

Première partie : État des lieux concernant la recherche sur les risques

1.1 – Historique de la géographie du risque : évolution des modes de pensées et inclusion de la géomatique

1.1.1 – L'évolution des travaux sur les risques

Les prémices de la géographie du risque : premières études sur l'aléa

Les premiers travaux sur les aléas sont attribués à Harlan Barrows dans sa « géographie comme écologie humaine » en 1923. Ces travaux s'intéressent alors aux catastrophes environnementales extrêmes mais aussi à leurs interactions avec les sociétés. Ces recherches interviennent dans un contexte où il faut trouver des solutions pour résoudre les problèmes liés aux aléas (Cutter, Mitchell, et Scott, 2000).

Ce mode de pensées évolue vers la fin des années 1970 et la communauté scientifique considère à présent que l'aléa n'est plus seulement une manifestation physique mais est aussi la conséquence de phénomènes sociaux. C'est ainsi que se développent des travaux sur les risques technologiques et la gestion du risque (Cutter, Mitchell, et Scott, 2000).

Au début des années 1980, la géographie étudie déjà la thématique des risques mais elle reste principalement un objet de la géographie physique. Celle-ci se cantonne sur l'aléa et analyse les catastrophes naturelles à travers des processus géomorphologiques, hydrologiques ou climatiques (Morel, 2006).

Années 1980-1990 : l'émergence de la vulnérabilité

Dès le milieu des années 1980, les sciences sociales investissent la recherche sur le risque et le concept de la vulnérabilité émerge (Hénaff et Philippe, 2014). À cette même période, la géographie physique est en crise. Des géographes comme Georges Bertrand ouvrent le champ de la géographie environnementale en réorientant la réflexion sur l'aspect social du risque. Cette approche intervient au moment même où un nouveau contexte politique entre en jeu :

l'apparition du mouvement écologiste Les Verts. Des catastrophes, comme la pollution des côtes bretonnes suite au naufrage de l'Amoco Cadiz en 1978 ou l'accident nucléaire de Tchernobyl en 1986, amènent également une prise de conscience collective (Morel, 2006).

La recherche s'étend à travers d'autres types de risques (risque technologique, risque nucléaire, risque économique ou encore risque d'incendie). La vulnérabilité devient un élément fondamental des risques à partir des années 1990. En 1994, la conférence de Yokohama la place au centre des recherches sur les catastrophes naturelles. Le concept est redéfini par une nouvelle approche portant sur la perception du risque (Morel, 2006 ; Reghezza, 2006). La géographie s'introduit pleinement dans le domaine des risques à partir du milieu de la décennie en élargissant le concept de vulnérabilité (Leone et Vinet, 2006). Pendant ce temps, la notion d'aléa évolue aussi : elle prend maintenant en compte les conséquences de l'aléa sur la société ainsi que l'influence anthropique sur celui-ci. La notion d'aléa se rapproche ainsi de la notion de vulnérabilité (Morel, 2006). De ce rapprochement, D'Ercole et Pigeon (1999), discernent deux manières d'étudier les risques : la première, dite probabiliste, propose la confrontation entre les aléas et la vulnérabilité (en passant par le croisement des données) tandis que la seconde, dite phénoménologique, s'intéresse aux événements passés.

À la fin des années 1990, il existe dorénavant trois approches pour étudier les risques. La première étudie le contexte qui survient autour de l'aléa (aussi bien physique que social). La seconde analyse les interactions entre l'aléa et des comportements sociaux. La troisième approche étudie la vulnérabilité sous plusieurs formes : structure, disparités spatiales et méthodes pour réduire la vulnérabilité (Cutter, Mitchell, et Scott, 2000).

Les tendances contemporaines

L'approche du risque privilégiant exclusivement l'aléa est encore présente dans le début des années 2000. Cela est dû au fait que le concept de vulnérabilité entre tardivement comme composante du risque et peine à être pris en compte (Leone et Vinet, 2006 ; Morel, 2006). L'aléa reste largement présent dans les politiques publiques au détriment de la question des enjeux qui n'est pas trop développée et celle des représentations qui est rarement évoquée (Hénaff et Philippe, 2014).

De plus en plus, la compréhension des risques est aussi abordée à travers le regard croisé d'une approche pluridisciplinaire. La compréhension du risque est maintenant obtenue à partir de l'analyse de plusieurs aspects : l'approche spatialisée des aspects physiques et humains (par le biais de l'analyse spatiale), la dimension historique, la perception et la prise en compte du risque. La réflexion pluridisciplinaire intervient aussi dans l'élaboration de politiques de prévention et de gestion des risques. Elle est de plus en plus sollicitée par les pouvoirs publics à travers des programmes de recherche (Morel, 2006).

1.1.2 – Le développement parallèle de la géomatique et son insertion dans l'étude des risques côtiers

Depuis les années 1980, le traitement de l'information géographique se numérise. La géomatique se développe de façon fulgurante et devient peu à peu un outil qui s'insère dans l'étude des risques côtiers. La décennie 1980-1990 est marquée par l'émergence de certaines méthodes de la géomatique (SIG, télédétection) dans les milieux littoraux. Leur utilisation n'est pas encore intégrée dans des travaux sur les risques. Ces outils servent à améliorer les connaissances sur ces espaces en modélisant des phénomènes (estran, houle, morphologie sous-marine) et donnent des éléments pour mieux gérer ces espaces (Robin et Gourmelon, 2005).

Les années 1990 voient le rapprochement des outils de la géomatique (SIG, télédétection, modèle numérique de terrain, cartographie) car plusieurs programmes montrent la complémentarité de ces méthodes. Dans le même temps, ces outils sont de plus en plus intégrés dans l'étude des risques. La géomatique donne un nouvel aspect méthodologique pour l'analyse et les diagnostics consacrés aux risques par une approche multiscalaire, diachronique et dynamique. Cartographier les risques permet de rendre la compréhension de ceux-ci plus facile pour les acteurs et le public et est un moyen de communication efficace (Morel, 2006). La cartographie devient de plus en plus un outil essentiel pour évaluer les aléas rapidement et aider à la gestion des risques (De Pippo et al., 2008). Durant cette décennie, plusieurs scientifiques intègrent la géomatique dans des travaux liés aux risques côtiers : c'est le cas de Clark et al. (1998) et Cutter, Mitchell, et Scott, (2000) pour estimer la vulnérabilité.

Au début des années 2000, il y a un manque de données de référence et de bases d'information géographique. Plusieurs institutions réalisent des projets menant à la construction de données de référence comme la collaboration entre le SHOM et l'IGN sur le programme Litto-3D. De plus, il apparaît maintenant fondamental d'intégrer une analyse des dynamiques des espaces côtiers. C'est alors que des couplages entre SIG et modèles de simulation sont institués (Robin et Gourmelon, 2005). Les travaux utilisant la géomatique se multiplient, que ce soit pour estimer la vulnérabilité (Rygel, 2006) ou pour modéliser les aléas (Andrade et al., 2013 ; Anselme et al., 2011).

1.2 – Évolution du concept de vulnérabilité

1.2.1 – La formulation d'un concept

Le concept de « vulnérabilité » est complexe et difficile à définir. Son étymologie renvoie à la blessure et désigne à la fois ce qui a trait au dommage et à la propension (c'est-à-dire la disposition à subir un dommage). L'ambiguïté de ce terme traduit deux approches : l'une qui s'appuie sur l'endommagement et l'autre sur la disposition (Reghezza, 2006).

La « vulnérabilité », en tant que concept, est déjà présente dans les années 1960 et 1970 alors que le risque est considéré comme une probabilité de pertes. Dans ce contexte, la vulnérabilité désigne le degré de pertes des enjeux générés par l'aléa. Aujourd'hui, cette conception se retrouve dans la « vulnérabilité physique » (Reghezza, 2006).

La définition de la vulnérabilité évolue vers la fin des années 1970 : elle devient un degré d'exposition. Elle désigne toujours le degré de pertes des enjeux mais elle est maintenant déterminée par l'exposition de ceux-ci face à l'aléa. Cette nouvelle définition donne une dimension spatiale à la vulnérabilité et permet à la géographie de faire son entrée dans l'étude des risques (Reghezza, 2006).

Toujours durant la deuxième moitié des années 1970, la vulnérabilité arbore une dimension sociale. En 1975, le géographe Gilbert F. White et le sociologue Eugene Haas montrent que la catastrophe est fonction de la capacité d'adaptation et de réponse des sociétés face à l'aléa. L'endommagement est provoqué par des conditions propres aux enjeux : la vulnérabilité est donc générée par la sensibilité des enjeux. Ainsi, la vulnérabilité devient une condition préexistante à l'aléa. L'émergence de cette dimension sociale s'avère intéressante pour les sciences sociales car elles la mettent déjà en avant depuis les années 1920 (Reghezza, 2006).

1.2.2 – Un concept aux approches multiples

En outre, lorsque l'on étudie la vulnérabilité, on se rend compte que les scientifiques ne sont pas accordés sur une même conception car celle-ci dépend aussi de la définition qu'ils

donnent à la vulnérabilité. Selon Reghezza (2006), c'est le fait que le concept se soit construit lentement explique la pluralité des définitions existantes. Jörn Birkmann en recense au moins 25 même si la plupart du temps, la vulnérabilité est définie comme « la prédisposition d'un enjeu à être plus ou moins impacté par un aléa » (Créach, 2015a).

Cette définition renvoie à une première approche qui est celle de l'exposition. Selon Costa (1998), la vulnérabilité est « l'exposition des établissements humains à subir des dommages en cas de catastrophes ». Cette approche la considère comme une caractéristique préexistante à l'aléa et s'intéresse à des éléments biophysiques : extension de l'aléa, occupation humaine, degré de pertes... (Cutter, 1996). La limite de cette approche est que l'exposition ne concerne que les zones directement impactées par l'aléa alors que la vulnérabilité ne s'arrête pas aux zones directement touchées par l'aléa (Leone et Vinet, 2006).

Plusieurs auteurs ajoutent une seconde approche : celle de la faculté d'adaptation ou vulnérabilité sociale. La faculté d'adaptation est la capacité à absorber les impacts (résistance) ou de s'en remettre (résilience) (Clark et al., 1998). Cette approche de la vulnérabilité a une dimension sociale car elle souligne le fait que l'exposition des individus ou des groupes est inégale face à l'aléa à cause de facteurs sociaux comme les niveaux de revenus ou l'accès aux pouvoirs économique et politique (Heyd et Dupuis, 2012 ; Rygel, 2006).

Certains chercheurs suivent la première approche et d'autres la seconde (Cutter, 1996). Cette dichotomie est reprise dans la définition de la vulnérabilité par Veyret et Reghezza (2006), à savoir qu'il s'agit de « l'endommagement que subit un enjeu ou la propension de l'enjeu à subir cet endommagement ». De cette distinction entre propension et endommagement naît une troisième approche qui combine à la fois la vulnérabilité physique (exposition) et la vulnérabilité sociale (Cutter, 1996 ; Rygel, 2006). Cette approche est dénommée dans la recherche anglo-saxonne « vulnerability of places », ce qui peut se traduire en français par « vulnérabilité des lieux » (Cutter, Mitchell, et Scott, 2000).

Cette partition en trois approches se retrouve surtout dans la littérature anglo-saxonne mais elle n'est pas l'unique manière de concevoir la vulnérabilité. Du côté de la littérature francophone, certains travaux analysent la vulnérabilité comme étant un système divisé en quatre composantes principales (Hénaff et Philippe, 2014 ; Meur-Férec et al., 2010 ; Rulleau et al., 2015) :

- Les aléas (phénomène considéré comme naturel même s'il est parfois influencé par les activités humaines) ;
- Les enjeux (population, biens) ;
- La gestion (politiques publiques, mesures de prévention, de protection et de réparation, réglementation) ;
- La perception ou les représentations (acteurs locaux, usagers, connaissance du risque).

D'autres travaux, comme ceux de Leone et Vinet (2006), proposent une approche dite « analytique » en envisageant la vulnérabilité par nature d'enjeux :

- La vulnérabilité structurale : elle concerne les infrastructures physiques telles que le bâti ou les réseaux (fragilité des bâtiments). C'est la dimension de la vulnérabilité la plus fournie en travaux ;
- La vulnérabilité corporelle : elle concerne les dommages sur les personnes (estimation de pertes humaines) ;
- La vulnérabilité humaine ou sociale : elle concerne les populations. Elle est souvent abordée sous forme de retours d'expérience ;
- La vulnérabilité institutionnelle : elle concerne les institutions (analyse de capacité de réponse). Elle est également abordée sous forme de retours d'expérience ;
- La vulnérabilité environnementale : elle concerne le milieu naturel (végétation, ressources). Elle s'appuie sur l'analyse des dommages ;
- La vulnérabilité fonctionnelle : elle concerne les fonctions et activités diverses notamment économiques (analyse des dysfonctionnements).

Enfin, Veyret et Reghezza (2006) définissent la vulnérabilité comme une « incapacité à faire face à un aléa » et identifient cinq critères :

- Capacité d'anticipation de l'aléa (occurrence) ;
- Capacité d'adaptation face à l'aléa ;
- Préparation de la société face à l'urgence ;
- Comportement de la société pendant la crise ;
- Résilience (capacité à revenir à un état d'équilibre différent de l'état initial).

1.2.3 – Appréhender les études sur l'évaluation de la vulnérabilité

Alors que les travaux théoriques traitant du concept de vulnérabilité remontent à plusieurs décennies, les études sur son évaluation sont très récentes (Rygel, 2006). Si le concept de vulnérabilité est fréquemment utilisé dans la thématique des risques, il est aussi de plus en plus utilisé dans les recherches sur le développement, l'environnement et le changement climatique (Cutter, 1996). Habituellement, il existe trois approches permettant d'évaluer la vulnérabilité : approche qualitative, approche semi-quantitative et approche quantitative.

L'approche qualitative, parfois appelée approche « sociogéographique » dans la littérature (Créach, 2015a), considère la vulnérabilité comme une condition préexistante car elle s'appuie sur les facteurs qui prédisposent les dommages. Les facteurs de vulnérabilité sont axés sur la société : croissance démographique, mode d'occupation des sols, facteurs socio-économiques, psycho-sociaux (par exemple : ignorer que l'on vit dans un territoire à risques), culturels, techniques, fonctionnels, institutionnels et politico-administratifs (par exemple : absence de programmes de prévention et de préparation) (D'Ercole et al., 1994).

L'approche semi-quantitative se rapproche de la démarche précédente mais elle inclut en plus les éléments qui sont vulnérables. En ce sens, elle diffère de l'approche qualitative puisqu'elle accorde plus de place à l'exposition. Cette démarche aboutit le plus souvent à des cartes de vulnérabilité montrant la hiérarchie entre les éléments exposés (du moins vulnérable au plus vulnérable) (D'Ercole et al., 1994).

L'approche quantitative, parfois nommée approche technique, ne reste axée que sur l'élément vulnérable et évalue les conséquences d'un phénomène. Cela se traduit par des analyses de dégâts potentiels (pertes humaines, analyse des pertes financières) (Créach, 2015a ; D'Ercole et al., 1994).

Étant donné les différences de conceptions de la vulnérabilité entre les scientifiques, la tendance qui apparaît dans les années 1990 est une convergence de ces trois approches. Selon D'Ercole et al. (1994), la vulnérabilité doit être considérée comme un système composé de facteurs de vulnérabilité et d'éléments vulnérables qui définissent la vulnérabilité à la fois « en tant que propension à subir des dommages » et « en tant qu'indice de pertes ». Cette

nouvelle approche, qui est dite « systémique », met en avant les relations entre les précédentes et leur complémentarité (D'Ercole et al., 1994).

Dans la lignée de cette tendance, Leone et Vinet (2006) proposent une nouvelle manière d'évaluer la vulnérabilité à partir de deux approches : une approche rétrospective, basée sur des retours d'expérience, et une approche prospective, basée sur des scénarios et des prévisions. Ils définissent trois façons d'estimer la vulnérabilité :

- Soit en mesurant la sensibilité à l'endommagement ;
- Soit en caractérisant l'endommagement ;
- Soit en mesurant la capacité de réponse à l'endommagement.

Une des principales limites de l'étude de la vulnérabilité est qu'elle ne privilégie que l'exposition des personnes, des biens ou des enjeux économiques alors qu'il faudrait aussi prendre en compte des facteurs sociaux, culturels, esthétiques et environnementaux. D'autre part, il faut aussi prendre en compte le fait que la vulnérabilité ne concerne pas que les zones directement touchées par l'aléa mais aussi les zones qui en sont indirectement impactées par des dysfonctionnements dans les infrastructures de réseau (D'Ercole et al., 1994 ; Leone et Vinet, 2006).

1.3 – Ce que l’on sait sur la submersion marine

1.3.1 – L’aléa et sa modélisation

Modélisation de l’aléa submersion marine

Les aléas littoraux sont difficiles à évaluer car plusieurs paramètres et processus entrent en interaction. La modélisation est la méthode la plus couramment utilisée dans les travaux sur l’aléa submersion marine. Les modèles sont utiles lorsque l’on veut étudier les effets de l’élévation du niveau marin. On peut prédire les modifications hydrodynamiques telles que les marées ou la hauteur des vagues, la modification des espaces côtiers et la modification des aménagements urbains (Liu, 1997). Dans cette optique, les travaux de Purvis (2008) utilisent le modèle LISFLOOD-FP, qui simule des hauteurs d’eau, pour réaliser des scénarios d’inondation en fonction des prédictions sur l’élévation du niveau marin (entre 0,09 et 0,88 m d’ici 2100). Similairement, Suanez, Fichaut, et Sparfel (2007) reprennent cette méthodologie à partir des prévisions du Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat (GIEC) et l’appliquent sur la commune de Guissény en Bretagne.

La modélisation sert aussi à retrouver des hauteurs d’eau et l’étendue d’une inondation lors d’évènements passés. Les travaux d’Andrade et al. (2013) et Lerma et al. (2013) font cette expérience à Carthagène des Indes en Colombie qui, de par sa position géographique au fond de la mer des Caraïbes, subit des épisodes de fortes houles récurrents appelés localement « Mar de leva ». De la même manière, Bertrand et al. (2014) adaptent cet outil au bassin d’Arcachon en prenant la tempête Klaus de 2008 comme tempête de référence. Cette méthode permet d’appréhender l’aléa submersion marine et d’en comprendre la genèse (Lerma et al., 2013).

La modélisation de l’aléa entre dans le processus d’évaluation du risque. La cartographie devient de plus en plus essentielle pour évaluer les aléas rapidement ainsi qu’un outil d’aide à la gestion. De Pippo et al. (2008) réalisent une cartographie des aléas littoraux en Campanie et découpent les côtes en plusieurs tronçons tout en leur attribuant un niveau de risque. Cariolet et al. (2012) cartographient le risque de submersion marine sur la plage du Vougot (Guissény, Finistère) en ayant au préalable estimé l’aléa par des calculs de niveaux d’eau extrêmes. La cartographie suit la méthodologie des PPRL : l’estimation de l’aléa est superposée à la

topographie du lieu étudié puis le risque est estimé en tenant compte des éléments anthropiques.

Érosion et submersion marine

Si l'aléa érosion est différent de la submersion marine, il n'en reste pas moins qu'il en exerce une influence. La question de l'érosion est d'ailleurs souvent incluse dans l'évaluation du risque de submersion marine (Chevillot-Miot et Mercier, 2014 ; Gornitz, 1991 ; Di Paola et al., 2011). Plusieurs études montrent la relation entre l'érosion et la submersion. Les zones basses autour de l'embouchure du Volturno en Italie subissent à la fois l'érosion et des inondations fréquentes tandis qu'au Japon, la question de l'érosion des plages est un problème majeur. La création de ports voit des taux d'érosions accrus sur certains secteurs de plage, entraînant la submersion permanente d'espaces côtiers (De Pippo et al., 2008 ; Uda, 2009). Dans les archipels de l'Océan Indien, ce risque augmente d'autant plus qu'ils connaissent une forte croissance démographique, qu'ils ont des basses altitudes et que la population est dispersée (Cazes-Duvat, 2005).

1.3.2 – Les études sur la vulnérabilité

Travaux portant sur un aspect de la vulnérabilité

La vulnérabilité a été pendant longtemps étudiée uniquement sous l'angle économique. Elle était estimée à travers les analyses financières des coûts de pertes ou en évaluant la valeur des biens menacés (Robin, 2002). C'est ainsi que Costa (1998) estime la vulnérabilité sur le littoral normano-picard bien qu'il reconnaisse les limites de son approche en omettant des facteurs moins quantifiables comme les aspects sociaux, culturels, paysagers et environnementaux.

De nos jours, les travaux sur l'estimation de la vulnérabilité autre que l'aspect économique se multiplient. Beaucoup d'entre eux s'intéressent à un aspect de la vulnérabilité. Par exemple, en proposant une cartographie du patrimoine côtier autour du bassin d'Arcachon, Bertrand, Goeldner-Gianella et Decroix (2014) donnent un premier aperçu sur la vulnérabilité des enjeux et plus spécifiquement des enjeux patrimoniaux. Vinet, Boissier et Defossez (2011) analysent la vulnérabilité humaine sous l'angle de la mortalité suite à la

submersion marine causée par la tempête Xynthia. Vinet et Leone (2015), quant à eux, étudient la vulnérabilité du bâti privatif à travers 5 diagnostics réalisés entre 2010 et 2014 à plusieurs endroits en France. L'étude de la vulnérabilité sous l'angle de la perception des risques par la population est l'un des principaux objectifs du programme de recherche ADAPTALIT. Ce programme s'est déroulé en mai 2011 à Gâvres (Morbihan) en organisant des ateliers participatifs (écriture, cartographie, son) et un débat public (Tricot, 2012).

Travaux estimant la vulnérabilité à travers plusieurs critères

Les travaux estimant la vulnérabilité de manière synthétique à partir de plusieurs facteurs existent depuis plus de deux décennies. Selon Clark et al. (1998), qui appliquent cette méthode sur la ville de Revere, Massachussets, les critères souvent cités pour la vulnérabilité sont l'âge, les handicaps, la structure du ménage et les réseaux sociaux, le bâti, les revenus et ressources matérielles, les services (transport, communication,...), l'occupation des sols et les critères raciaux. C'est de cette manière que Rygel (2006) évalue la vulnérabilité dans la région de Hampton Roads aux États-Unis en choisissant la pauvreté, le sexe des personnes, les minorités ethniques, l'âge et les handicaps comme critères. Cutter, Mitchell et Scott (2000) utilisent les facteurs : activités, prédispositions de la population, manque de connaissances, accès au pouvoir politique limité, croyances, faiblesses physiques (bâti, handicaps) et infrastructures pour mesurer la vulnérabilité sociale dans le comté de Georgetown en Caroline du Sud. Ils combinent ensuite leurs résultats avec des critères physiques en recensant tous les aléas qui accourent dans le comté. Le point commun de tous ces travaux est la standardisation des critères selon une échelle qui donne un score de vulnérabilité allant du niveau le plus faible au plus élevé (Figure 1).

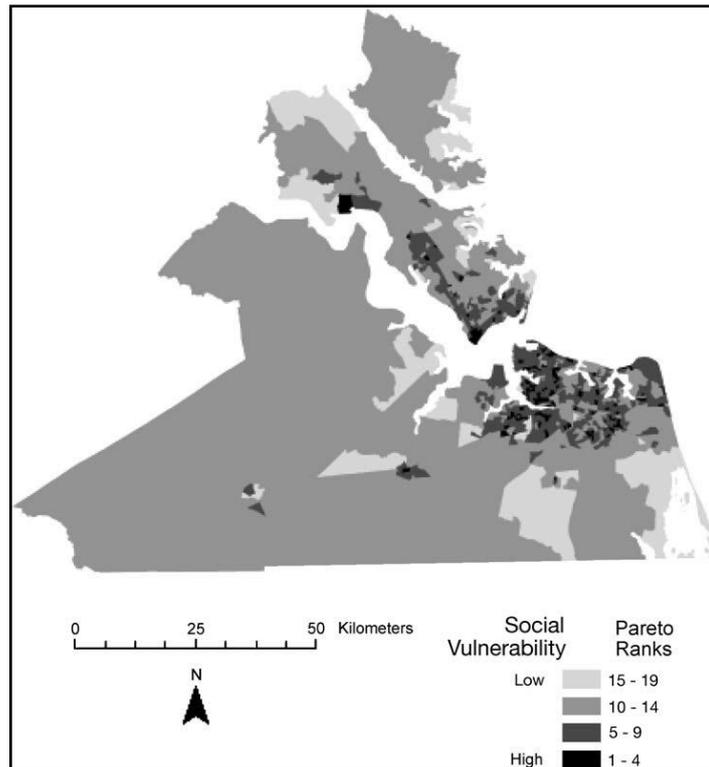


Figure 1 – Estimation de la vulnérabilité sociale pour la région de Hampton Roads (Virginie)
(source : Rygel, 2006)

Indices composites

Certains travaux vont plus loin dans l'analyse de la vulnérabilité en créant des indices multicritères reproductibles dans d'autres secteurs d'étude. En 1991, Gornitz crée l'indice CVI (Coastal Vulnerability Index) en prenant des variables relatives à la géomorphologie des côtes (dunes, mangroves,...) et au type de roches (sables, roches sédimentaires,...). Chaque segment littoral étudié est ainsi réparti entre 5 classes (de 1 à 5), la classe 5 ayant la vulnérabilité la plus forte (Gornitz, 1991). L'indice est peaufiné en 1997 :

$$CVI = \sqrt{((ME \times GL \times GM \times E \times W \times T) \div 6)}$$

Où ME désigne l'élévation moyenne, GL la géologie (nature des roches), GM la géomorphologie, E la dynamique du trait de côte, W la hauteur de la vague et T l'amplitude de marée. Pour chaque variable, une valeur de 1 à 5 est attribuée. Cet indice de vulnérabilité est aujourd'hui le plus utilisé (Di Paola et al., 2011).

L'indice II (Impact Index) est un second indice qui a été développé par Benassai et al. en 2000. Il se calcule ainsi :

$$II = IRu + IR + ID + E + T$$

Où IRu est le run-up¹, IR l'érosion à court terme, ID la stabilité des ouvrages de protection, E l'indice d'érosion à long terme et T l'amplitude de marée. D'une manière similaire, chaque variable se voit attribuer une valeur comprise en 0 et 4 (Di Paola et al., 2011).

Côté francophone, plusieurs travaux ont également mis en place des indices. En 2008, le CETMEF lance l'étude « Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux » afin de disposer d'une synthèse nationale des connaissances actuelles sur les risques littoraux. C'est dans ce cadre que l'indice IBC est créé pour estimer la vulnérabilité du bâti (Perherin, 2010). Dans ce domaine a aussi été l'indice VIE au départ d'un travail portant sur la vulnérabilité du bâti à La Faute-sur-Mer (Créach, Mercier, et Pardo, 2014).

1.3.3 – L'état de la recherche en Languedoc-Roussillon et sur Leucate

Travaux sur le Languedoc-Roussillon

En l'absence d'épisode de submersion marine majeur, il y a peu de travaux sur le risque de submersion marine en Languedoc-Roussillon. L'urbanisation du littoral est une mutation récente car elle date de la Mission Racine entre 1963 et 1982. Les aménagements liés à ce projet transforment les activités côtières : baisse de la pêche en étang mais renouvellement de la conchyliculture (Desse, 1994). Avec l'urbanisation récente du littoral languedocien, la question du risque de submersion marine se pose, en lien avec le changement climatique, d'autant plus qu'il est particulièrement présent sur les côtes sableuses (Heurtefeux, Sauboua et Lanzellotti, 2012).

Plusieurs programmes de recherche au sujet de la submersion marine ont été portés sur le littoral du Languedoc-Roussillon. Le programme européen Coastance évalue la vulnérabilité en s'inspirant des travaux de Bawedin et Hoeblich (2006). Ils utilisent une grille de vulnérabilité en prenant l'altitude de l'enjeu considéré et sa distance au trait de côte, qui doit être inférieure à 500 mètres (Heurtefeux, Sauboua et Lanzellotti, 2012). Le programme MISEEVA évalue la vulnérabilité relative à la submersion marine (Vinchon et al., 2010). Le

¹ Le run-up est « le niveau maximum atteint par les vagues lorsqu'elles déferlent sur la plage » (Anselme, Goeldner-Gianella et Durand, 2008).

projet se portait sur trois communes héraultaises : Mauguio, Palavas-les-Flots et Pérols à cause de leurs caractéristiques (Rulleau et al., 2015). Une des composantes du programme est d'intégrer le sujet de la perception à partir de questionnaires (Hellequin et al., 2013 ; Meur-Férec et al., 2010).

Un rapport du Conservatoire du Littoral datant de 2004 (Clus-Auby, Paskoff et Verger, 2004) étudie les impacts du changement climatique sur le patrimoine que possède l'institution. Pour le Languedoc-Roussillon, le rapport prévoit que, d'ici 2100, un peu moins de 1 % de la surface renseignée des sites acquis serait érodée mais cette érosion toucherait davantage les Pyrénées-Orientales. L'élévation du niveau marin aura d'autres conséquences selon Paskoff (1998) : une fragilisation des flèches sableuses et une salinisation des lagunes par l'ouverture de nouveaux graus, ce qui modifierait les conditions faunistiques et floristiques. Pour Vinchon et al. (2009), l'élévation du niveau marin devrait accroître l'érosion sur les lidos.

Travaux sur le site de Leucate

La commune de Leucate subit régulièrement des inondations par submersion marine. La commune ne possède, cependant, pas de marégraphe ; il n'y a donc pas de données sur les surcotes atteintes lors de ces épisodes. La plupart des données proviennent soit de Sète soit de Port-Vendres. Malgré ces lacunes, le risque de submersion marine a néanmoins été appréhendé sur Leucate.

Leucate Plage et Port Leucate sont les secteurs les plus exposés de la commune car ils sont situés sur un cordon littoral à faible altitude. De ce fait, ils sont régulièrement touchés par des épisodes de submersion marine. Récemment, il y a eu deux tempêtes en janvier et en octobre 2010 dont les niveaux d'eau extrêmes ont été estimés à plus de 2,50 m NGF voire 3 m par endroit (Anselme et al., 2011). En mars 2013, une autre tempête a provoqué des inondations dans Leucate Plage.

C'est de par cette exposition qu'en 2015, le programme de recherche CRISSIS est lancé sur les secteurs de Leucate Plage et Port Leucate en partenariat avec la commune (Anselme et al., 2015 ; Nicolae Lerma et al., 2015). Les objectifs du programme sont :

- La modélisation de l'aléa ;

- L'évaluation de la vulnérabilité du bâti ;
- La perception du risque ;
- Effectuer des exercices de crise.

Les premiers résultats montrent qu'il y a une communication insuffisante sur le risque de submersion marine par la municipalité à travers ses journaux officiels. Cela se ressent au niveau de la population qui estime ne pas être assez informée. La population permanente est cependant plus consciente de la réalité du risque que les touristes même s'il reste globalement faiblement estimé. En ce qui concerne l'évolution du trait de côte, la construction du port et des digues à partir des années 1960 entraîne une accrétion sur la plage de Port Leucate au détriment du village naturiste et de Leucate Plage qui voient certains secteurs de leurs plages reculer (Longepee et al., 2015 ; Pont, 2015).

Avec le changement climatique et l'élévation du niveau marin, cette portion de la côte devrait être sujette à une érosion croissante ainsi qu'une augmentation des épisodes de submersion. Sur cette portion, les principaux enjeux devraient être en situation de risque face à l'érosion et à la submersion marine (Figure 2).

Nous disposons de moins d'études pour le nord de la commune. À La Franqui, une enquête a été réalisée en 2006 pour étudier la connaissance du risque par la population. Les résultats de cette enquête ont été confrontés à des modélisations de hauteurs d'eau atteintes lors de précédentes tempêtes (décembre 1997, novembre 1999, décembre 2003). Il en résulte alors que la population a une connaissance insuffisante du phénomène de submersion marine. La population n'a pas encore pris conscience du risque et l'évalue mal (Anselme, Goeldner-Gianella et Durand, 2008). Au nord de la station balnéaire s'étend le lido des Coussoules dont les évolutions récentes montrent que le trait de côte a avancé de 5,75 mètres par an en moyenne depuis 1952. Avec le changement climatique toutefois, cette portion de la côte sera soumise à une amplification de l'érosion et du phénomène de submersion marine (Figure 2 ; Larue, Bouabdallah, et Étienne, 2009).

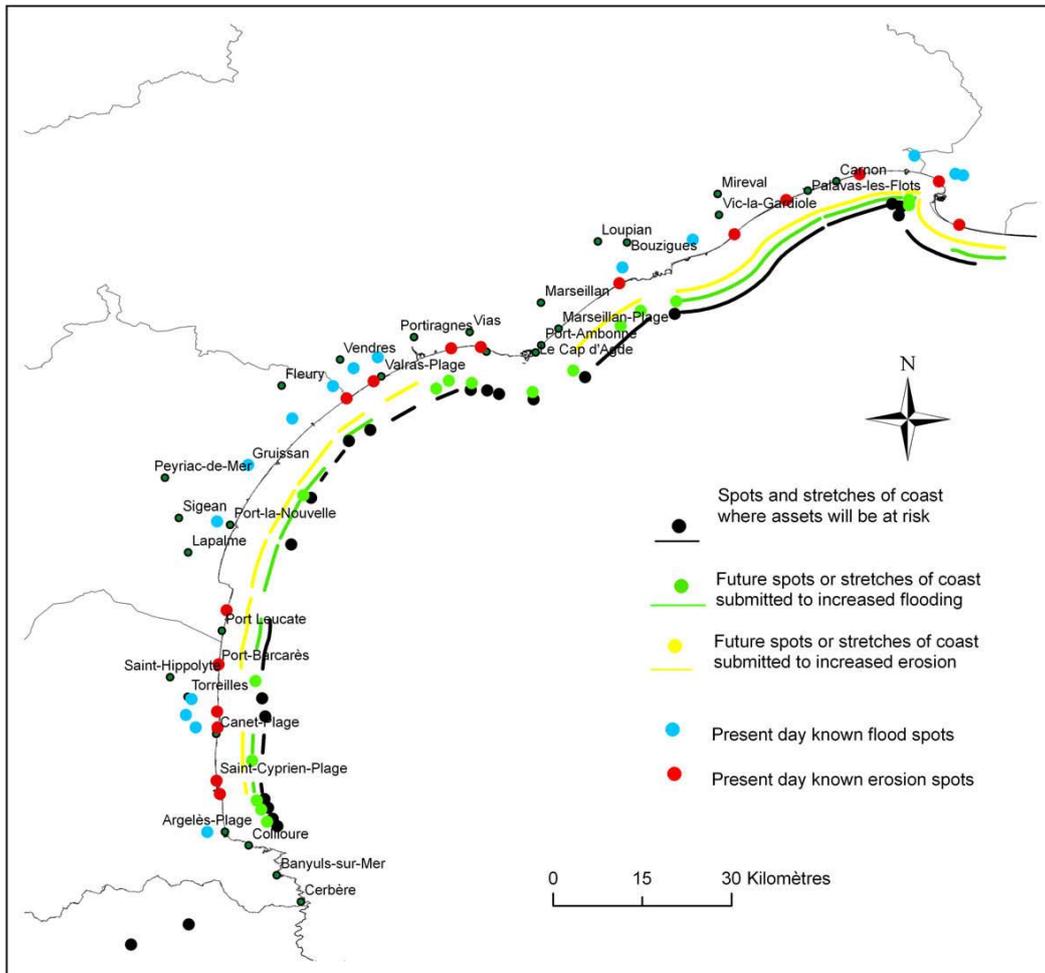


Figure 2 – Évolution des risques d'érosion et de submersion marine sur le littoral languedocien (source : Vinchon et al., 2009)

Deuxième partie : Définir des critères pour évaluer la vulnérabilité

2.0 – Introduction et axes méthodologiques

L'objectif de ce mémoire est d'établir un diagnostic de vulnérabilité. Pour reprendre la définition de Leone et Vinet (2006), il évalue la « sensibilité à l'endommagement ». La principale difficulté dans l'élaboration de ce diagnostic demeure dans le choix des critères qui doivent être variés pour montrer plusieurs aspects de la vulnérabilité. D'autre part, nous voulons sortir d'un cadre purement anthropique en intégrant des critères qui ne soient pas directement liés à l'homme. Nous nous sommes donc inspirés de travaux ayant traité la vulnérabilité à partir de plusieurs critères.

Or, comme nous l'avons vu précédemment les travaux de recherche sur la submersion marine restent principalement axés sur l'étude et la modélisation de l'aléa. La vulnérabilité y est souvent évoquée mais n'est pas approfondie. Ainsi, les travaux s'orientant sur l'évaluation de cette dernière en utilisant plusieurs critères restent rares. Néanmoins, deux travaux de recherche nous ont donné des pistes pour établir un diagnostic de vulnérabilité. Le premier étudie la vulnérabilité face au risque de submersion marine des communes littorales de la région Pays de la Loire (Chevillot-Miot et Mercier, 2014). Le second est un guide méthodologique développé pour le programme de recherche COCORISCO dont l'objectif est « de comprendre la vulnérabilité des côtes face aux risques d'érosion et de submersion » (Hénaff et Philippe, 2014).

Les travaux de Chevillot-Miot et Mercier (2014) évaluent la vulnérabilité des communes littorales des Pays de la Loire dans un contexte de débats suite à la tempête Xynthia de 2010. L'analyse a été portée sur une liste de critères sélectionnés selon leur disponibilité et leur fiabilité. Au total, une dizaine de critères ont été retenus pour l'étude. Ils sont regroupés en quatre groupes : critères physiques, recherche d'éléments historiques, enjeux humains/fonciers et documents de gestion (Figure 3). La plupart de ces critères ont été repris

pour Leucate. Le critère sur l'érosion n'a pas été retenu à cause d'un manque de données sur certains secteurs de la commune ainsi qu'un manque de précision des données sur d'autres. Le critère sur la présence de digues de protection n'est également pas inclus puisqu'il est déjà pris en compte dans la vulnérabilité du bâti. Enfin, le critère « Surface submergée lors de la tempête Xynthia » que Chevillot-Miot et Mercier ont retenu ne sera pas repris pour Leucate puisque nous n'avons pas choisi de tempête de référence.

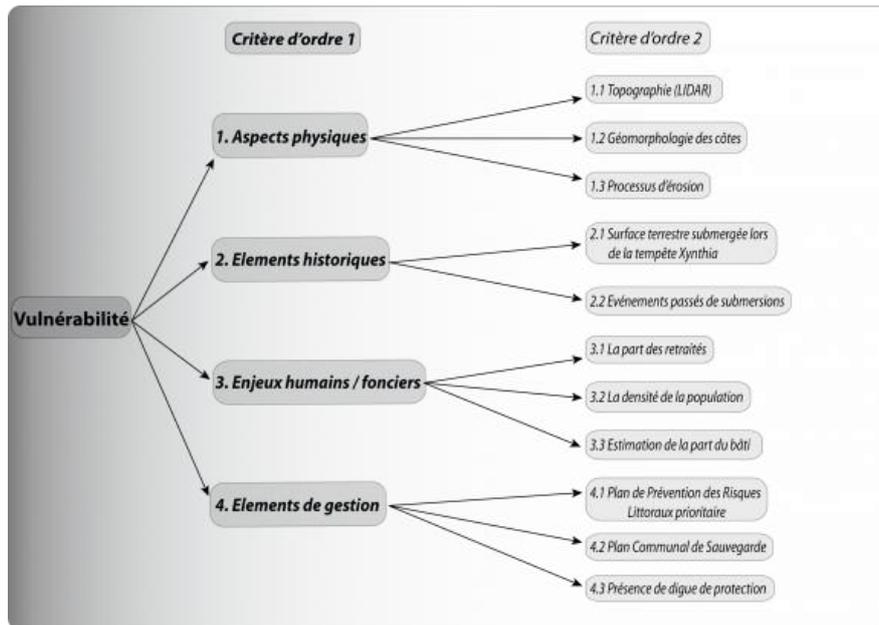


Figure 3 – Les dix critères retenus pour l'étude de la vulnérabilité des communes des Pays de la Loire (source : Chevillot-Miot et Mercier, 2014)

Le guide du programme de recherche COCORISCO, édité par Hénaff et Philippe (2014), dresse une liste de huit types d'enjeux et a inspiré une sélection de critères supplémentaires notamment pour tout ce qui concerne le patrimoine et la perception. Il a aussi constitué une aide précieuse en termes de méthodologie et de sources de données pour les archives historiques et la vulnérabilité relative aux enjeux.

2.1 – Les critères de vulnérabilité concernant les enjeux : « composante essentielle de la vulnérabilité » (Hénaff et Philippe, 2014)

2.1.1 – La vulnérabilité du bâti

Le bâti est l'un des huit types d'enjeux concerné par la submersion marine. Il existe plusieurs moyens d'estimer la vulnérabilité du bâti. La mesure la plus simple consiste à calculer des hauteurs d'eau potentielles à partir d'un aléa de référence mais d'autres travaux ont mis au point des indices de vulnérabilité du bâti (IBC et VIE) (Chevillot-Miot, 2013 ; Créach, 2015a ; Perherin et al., 2010).

Les différents indices mesurant la vulnérabilité du bâti

L'indicateur IBC (Intensité du Bâti situé sous les niveaux marins centennaux actuels dans les communes ayant fait l'objet d'un arrêté de Catastrophes naturelles d'origine marine) est issu d'une étude du CETMEF devant effectuer une synthèse sur les connaissances actuelles concernant le risque de submersion marine à l'échelle nationale. L'indicateur est un croisement entre les arrêtés de catastrophe naturelle et les bâtiments situés en zone basse par commune. Il en résulte six classes de vulnérabilité en sachant que plus une commune aura un nombre de bâtiments en zone basse et un nombre d'arrêtés important plus son niveau de vulnérabilité sera élevé (Créach, 2015a ; Perherin et al., 2010).

L'indice V.I.E. (Vulnérabilité Intrinsèque Extrême) est issu des travaux de Créach et al. (2014) et « centré sur la vulnérabilité humaine à travers l'exposition du bâti » (Créach, 2015a). Il repose sur quatre critères qui ont été déterminés suite au retour d'expérience de la tempête Xynthia :

- la hauteur d'eau potentielle, notée h (**C1**),
- la distance aux ouvrages de protection (**C2**),
- la typologie architecturale des constructions (**C3**),
- la proximité d'une zone refuge (**C4**).

Pour chacun de ces critères, un score est attribué à chaque construction. Le résultat de l'indice est obtenu en additionnant chaque score. Tous les critères sont indépendants entre eux

sauf C1 et C4 qui sont fortement corrélés car ils dépendent tous les deux de la topographie. Pour réduire cette dépendance, il faut regrouper et pondérer ces deux critères. Cette méthode a l'avantage d'améliorer la robustesse de l'indice. L'indice V.I.E. se calcule ainsi :

$$VIE = (C1 \times 2 \div 3 + C4 \times 1 \div 3) + C2 + C3$$

Le résultat donne le niveau de vulnérabilité des bâtiments, qui sont alors regroupés en quatre classes (A, B, C, D). **L'indice possède une particularité : lorsqu'un bâtiment a une hauteur d'eau potentielle nulle, le score total V.I.E. l'est également.** Les paramètres de calcul sont résumés dans la Figure 4. Dans le cas de notre étude, cet indice est le plus pertinent car il s'adapte à une échelle infracommunale.

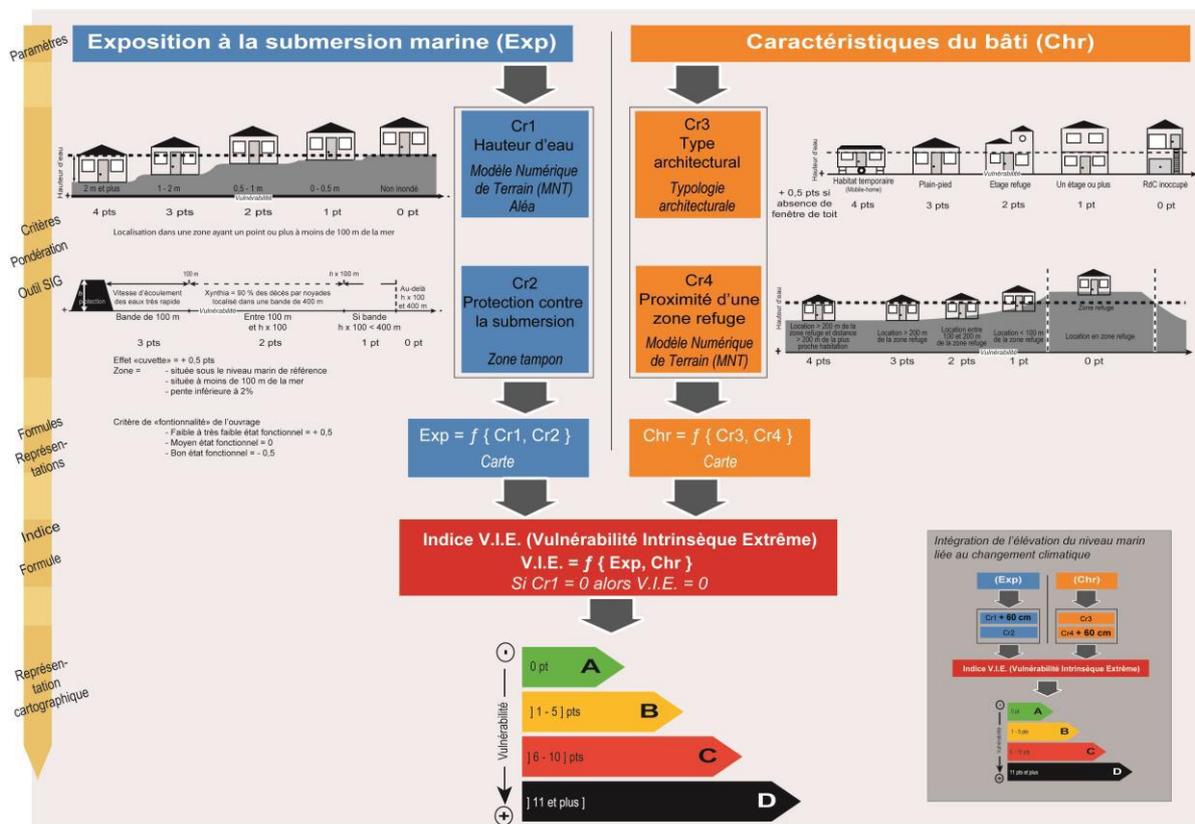


Figure 4 – Architecture de l'indice V.I.E. (source : Créach et al., 2014)

Un problème se pose dans la représentation cartographique puisque les bornes de classes définies sur la Figure 4 sont discontinues. Ainsi, une habitation ayant un score V.I.E. de 5,5, par exemple, ne serait incluse dans aucune classe si l'on suivait la discrétisation stricto sensu. De plus, ces bornes sont modifiées avec la pondération des critères 1 et 4. Dans ce travail, nous conserverons les mêmes valeurs pour les classes A et B. La classe C regroupera les

constructions ayant un indice V.I.E. compris entre 5 et 8 tandis que la classe D rassemblera les constructions ayant un indice V.I.E. strictement supérieur à 8.

Les critères de l'indice V.I.E.

Le premier critère de la vulnérabilité du bâti s'effectue par le calcul des hauteurs d'eau potentielles. Pour cela, il suffit de retrancher l'altitude des bâtiments recensés sur le cadastre avec le niveau marin de référence (Chevillot-Miot, 2013). La BD TOPO de l'IGN recense les constructions et donne des indications topographiques ; la valeur « Z_Min » étant l'« altitude minimale du bâtiment » (IGN, 2011). Cependant, les valeurs altimétriques sont parfois imprécises de plus d'un mètre. Ces données sont alors couplées avec un MNT ayant une précision de l'ordre centimétrique réalisé pour l'étude de l'aléa submersion marine (Pont, 2015). Le niveau marin de référence à considérer reste le plus difficile à estimer. Le DREAL du Languedoc-Roussillon (2012), indique la valeur de 2 mètres NGF pour l'ensemble de la région. Cependant, les travaux d'Anselme et al. (2011), mesurant les niveaux marins extrêmes lors des tempêtes de janvier et octobre 2010 à Port Leucate, estiment le niveau marin extrême à 3,50 m NGF dans le village naturiste lors de la tempête d'octobre 2010. Les auteurs reconnaissent que cette valeur issue de la modélisation tend à surestimer la réalité. Néanmoins, des témoignages indiquent que certains espaces ont été partiellement inondés et ceux-ci se trouvent à une altitude minimale de 3 m NGF. Nous avons décidé de retenir cette valeur comme cote de référence pour cette étude. Si cette cote n'a pas été atteinte partout (la même modélisation estime le niveau marin extrême à 2,56 m NGF pour le sud de Port Leucate) et n'est pas susceptible de se reproduire à chaque événement, elle représente le scénario le plus pessimiste.

Le second critère concerne la distance aux ouvrages de protection. Ce paramètre prend en compte trois particularités. Premièrement, les seuils utilisés pour les intervalles de distance sont en partie calculés par rapport à la hauteur de l'ouvrage. Ensuite, le paramètre est affiné par l'état de l'ouvrage ainsi que la topographie en arrière (« effet cuvette »). L'« effet cuvette » est déterminé à travers l'outil « Exposition » du logiciel ArcGIS depuis les données du MNT. Nous conservons les polygones ayant une pente inférieure à 2 % (valeur -1) situés sous la cote de référence et à moins de 100 mètres de la mer (Créach, 2015a).

Le DREAL du Languedoc-Roussillon donne une liste des ouvrages de protection côtière à Leucate. Cependant, ils n'exercent pas d'influence sur la vulnérabilité intrinsèque de la

commune. Les ouvrages que nous avons utilisés pour ce paramètre sont une série de buses situées entre Leucate Plage et Port Leucate. Elles ne protègent pas de la submersion marine mais elles font office de brèches en favorisant les entrées et sorties d'eau. Elles ont donc un rôle non négligeable sur la vulnérabilité intrinsèque du bâti. À cela, nous avons ajouté le muret de la promenade du front de mer à Leucate Plage. D'une hauteur de 80 centimètres, il fonctionne comme une digue puisqu'il protège les maisons lorsque le niveau marin monte pendant une tempête. D'ailleurs, les inondations consécutives à la tempête de mars 2013 ont été en partie provoquées par une brèche dans ce muret.

Le troisième critère identifie la typologie architecturale des constructions. Il est adapté des travaux de Jousseume et Mercier (2009), Leone et al. (2011) et Vinet et al. (2012) et s'appuie sur des critères tels que la présence d'un étage refuge ou complet, l'occupation du rez-de-chaussée ou encore de la présence d'une ouverture sur le toit. La typologie architecturale retenue est simplifiée des travaux de Créach et al. (2014) et reprend en grande partie ceux de Pont (2015). La typologie retenue pour le troisième critère se divise en quatre catégories : « habitat temporaire » (pour le bâti situé en camping), « plain-pied », « étage » (pour les maisons individuelles à étage) et « immeuble ».

Le quatrième et dernier critère mesure la distance du bâti par rapport à une zone refuge. Est considérée comme zone refuge toute zone dont la cote du terrain est supérieure à la cote de l'aléa de référence. Nous ajoutons à cela 30 centimètres comme marge de sécurité et supprimons toutes les zones dont la surface est inférieure à 100 m² (Créach, 2015a).

2.1.2 – Les enjeux humains

La population vulnérable

Le critère « Population vulnérable » reprend le critère « Retraités » des travaux de Chevillot-Miot et Mercier (2014). Ici, notre critère suit les mêmes caractéristiques puisqu'il inclut les personnes âgées de plus de 60 ans dans la catégorie « population vulnérable ». En effet, l'âge est souvent considéré comme un critère de vulnérabilité (Clark et al., 1998) car ces personnes sont moins mobiles (Mercier et Chadenas, 2012 ; Vinet, Boissier, et Defossez, 2011). De plus, divers travaux ont montré que les personnes âgées de plus de 60 ans sont

surreprésentées parmi les victimes de submersions marines notamment lors de la tempête Xynthia (Mercier et Chadenas, 2012 ; Vinet, Boissier, et Defossez, 2011 ; Vinet et al., 2012).

Les jeunes enfants doivent également être considérés dans ce critère. En effet, ils sont plus vulnérables du fait de leur petite taille, de leur sensibilité à l'hypothermie et qu'ils ne savent pas nager (Vinet, Boissier, et Defossez, 2011).

La densité

Le critère « Densité » reprend les mêmes conditions que l'article de Chevillot-Miot et Mercier (2014), à savoir « que plus la population sera nombreuse sur un espace restreint en zone basse, plus elle sera vulnérable ». Ce critère a toute son importance puisque les communes littorales ont une densité de population plus forte que la moyenne française (ONML, 2011a). La principale limite de ce critère est que les données de population utilisées pour calculer cette densité ne concernent que la population permanente et ne considèrent pas les variations estivales qui sont particulièrement très fortes pour le littoral méditerranéen (ONML, 2011b). Néanmoins, les tempêtes ont lieu généralement en hiver, lors de la saison creuse. De ce fait, l'inclusion de ce critère ne viendra pas sous-estimer la vulnérabilité.

Acquisition des données et mise en forme

Afin de satisfaire les conditions de notre étude, il faut que les données de population soient disponibles à une échelle infracommunale et qu'elles s'affranchissent de découpages préexistants comme les IRIS pour correspondre aux limites qui seront fixées dans notre futur découpage de Leucate.

Les données utilisées sont issues du carroyage à 200 mètres de l'INSEE. Disponibles pour l'ensemble de la métropole, il faut d'abord nettoyer le fichier en ne conservant que les rectangles qui nous intéressent puis ces rectangles sont transformés en points à partir de leur centroïde pour rendre l'information plus lisible. Enfin, la dernière étape consiste à nettoyer les variables pour ne garder que celles qui sont utiles : population totale et catégories d'âge (0 à 3 ans, 4 à 5 ans et 65 ans et plus) (INSEE, 2013).

2.1.3 – Les enjeux non humains : la question du patrimoine

Le patrimoine naturel

Les milieux naturels sont classés dans la catégorie « enjeux matériels » car ils ne concernent ni l'exposition des individus ni la gestion de crise mais présentent un risque de pertes. Un épisode de submersion marine peut endommager ces milieux en perturbant l'habitat et le fonctionnement des espèces faunistiques et floristiques. La plupart du temps, le risque de pertes ne peut être quantifié puisque ces milieux n'ont en général aucune valeur économique. Ils représentent cependant une valeur écosystémique ou patrimoniale (Hénaff et Philippe, 2014). Sur ces deux points, la valeur patrimoniale d'un milieu est notamment indiquée par des mesures de classement, de protection et de gestion. En France, les deux principales mesures de classement sont le réseau Natura 2000 et les Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF) recensées par l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN).

Le patrimoine culturel

Tout comme les milieux naturels, le patrimoine culturel est considéré comme un « enjeu matériel » justement de par sa valeur patrimoniale. En France, l'institution qui identifie ces sites historiques est l'Inventaire général du patrimoine culturel. Sa mission de recensement est constituée en trois bases de données nationales :

- La base « Mérimée » pour tout ce qui concerne l'architecture,
- La base « Palissy » qui recense les objets et mobiliers classés,
- La base « Mémoire » qui regroupe des documents iconographiques du passé.

Sur notre site d'étude, les sites et objets sont classés au titre des monuments historiques notamment mais aussi au titre du label « Patrimoine du XXe siècle » ou tout simplement à l'inventaire général.

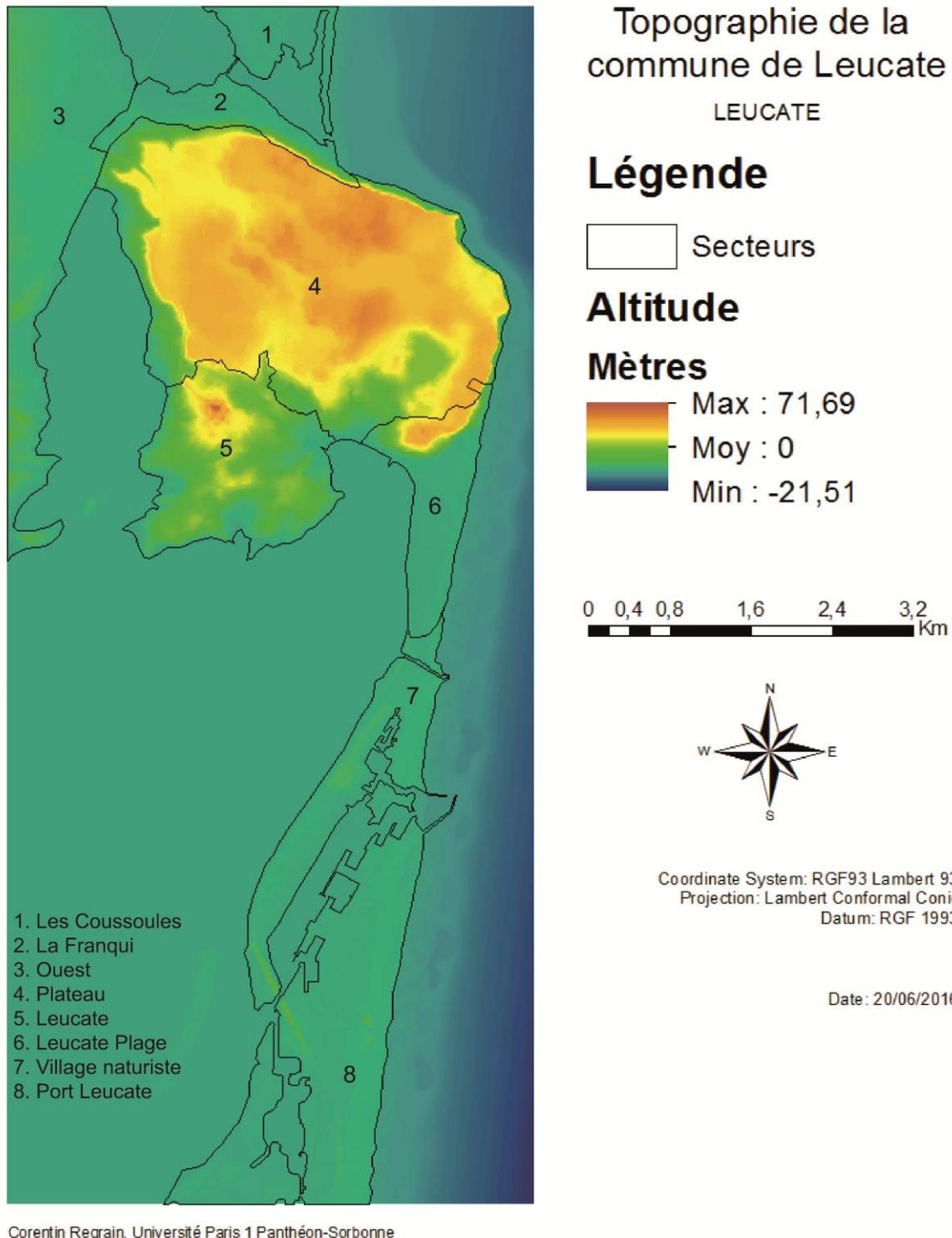
2.2 – Les autres critères de vulnérabilité

2.2.1 – Les critères physiques

Le critère topographique

La topographie du site d'étude a été déterminée par un Modèle Numérique de Terrain. Le MNT utilisé pour la commune de Leucate est issu de la cartographie LIDAR du programme LITTO-3D de l'IGN et du SHOM, qui a une précision altimétrique de 20 cm et une résolution spatiale de 1 mètre sur 1 mètre (Chevillot-Miot et Mercier, 2014). Il a été préalablement nettoyé et utilisé dans le mémoire de Clément Pont (2015). Avec le MNT, nous avons pu mesurer les altitudes maximales pour chaque secteur. Il a aussi été indispensable pour d'autres critères qui nécessitent une cote de référence.

L'altitude maximale de Leucate culmine à 71,69 mètres NGF au fort, près du village et sur le plateau. Ce dernier dépasse fréquemment les 50 mètres. À l'ouest de la commune, certains endroits atteignent les 15 mètres de hauteur. Les stations balnéaires de La Franqui, Leucate Plage et Port Leucate sont majoritairement installées en zone basse, c'est-à-dire à une altitude inférieure à 3,50 mètres NGF. Des lidos se sont formés de part et d'autre du plateau de Leucate, au nord et au sud. À Port Leucate, ce cordon dunaire culmine à près de 13 mètres en certains points. Cependant, cette dune reste majoritairement à une altitude inférieure à 4 mètres NGF (Carte 2). Les profils topographiques (Figure 5) révèlent que l'altitude a tendance à diminuer au fur et à mesure de l'éloignement de la côte, vers l'ouest. Alors que la partie est du lido est aux alentours de 3-4 mètres NGF, le côté étang et côté port est à une altitude inférieure à 2 mètres NGF. Elle est donc susceptible d'être plus régulièrement touchée par des épisodes de submersion marine. Cette configuration est similaire à des communes du littoral atlantique : La Faute-sur-Mer, L'Épine, La Guérinière ou encore Barbâtre (Créach, 2015b).



Carte 2 – Topographie de la commune de Leucate obtenue à partir du Modèle Numérique de Terrain

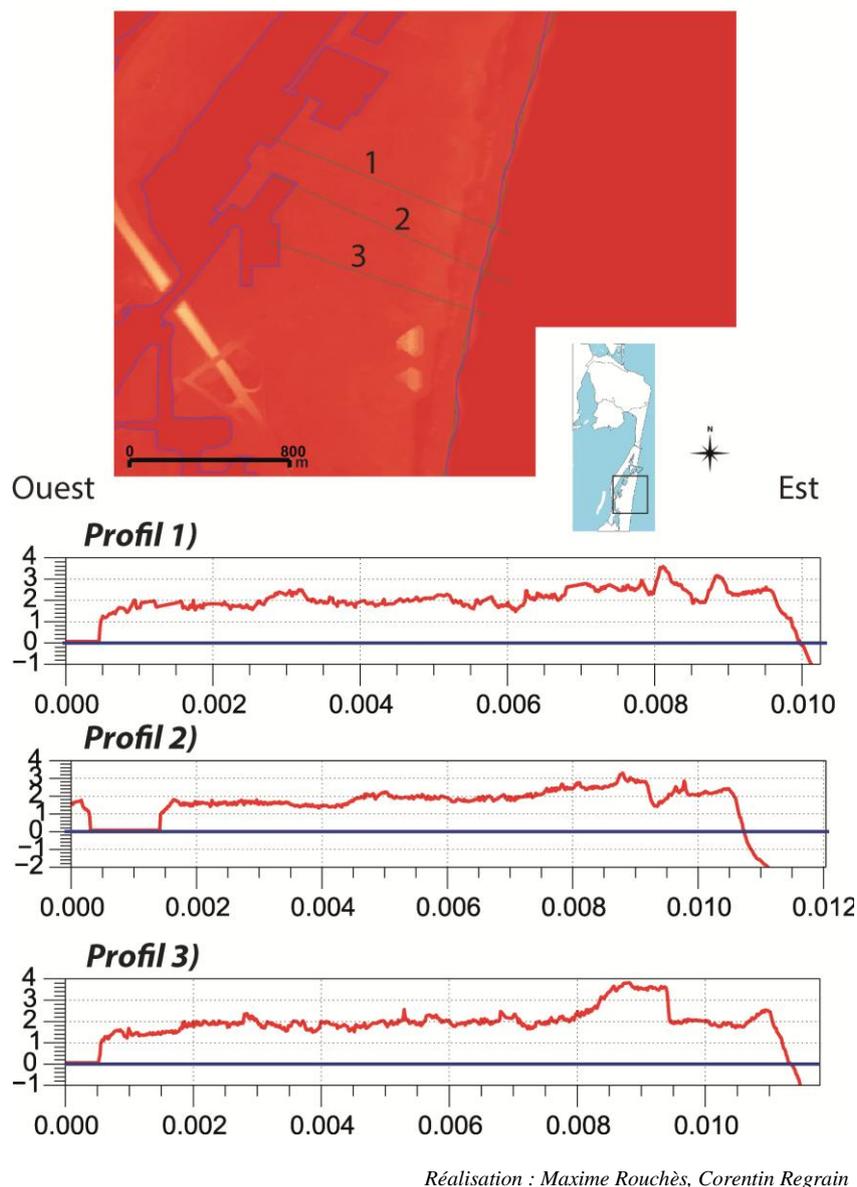
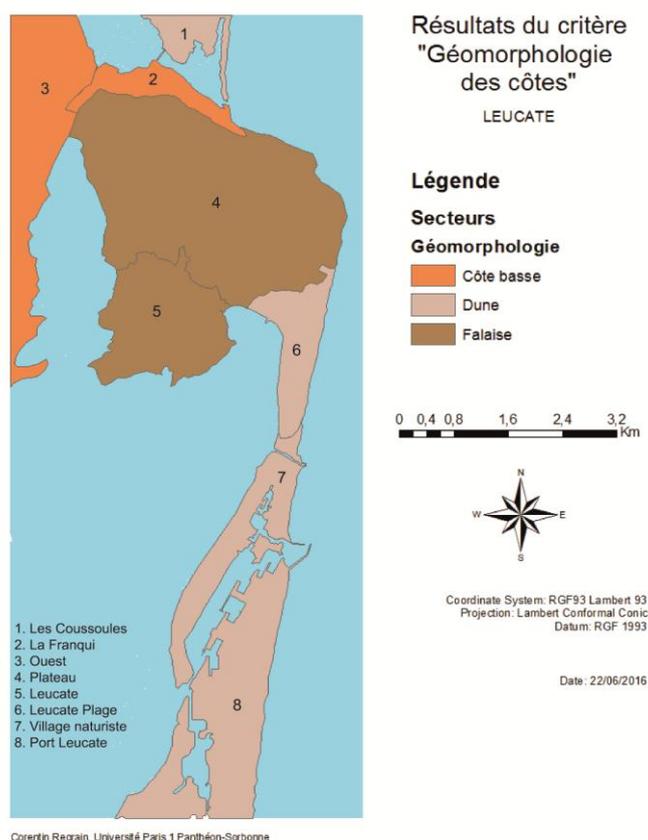


Figure 5 – Profils topographiques du lido de Port Leucate

La géomorphologie des côtes

La géomorphologie des côtes reprend la même méthodologie et une nomenclature similaires à celle de Chevillot-Miot et Mercier (2014) : « falaise », « côte basse » et « dune ». Elle a été relevée à partir du MNT et des cartes topographiques. Alors que dans l'article, les auteurs relèvent pour chaque commune la présence de chaque forme de relief et donnent la valeur 0 (absence) ou 1 (présence), nous avons choisi dans notre cas, d'indiquer la forme de relief qui concentre la plupart des enjeux (Carte 3).



Carte 3 – Géomorphologie des côtes de Leucate obtenue à partir du MNT

2.2.2 – Les archives historiques

Les tempêtes entraînent des épisodes de submersion marine liée aux surcotes (Anselme et al., 2008). Les archives de ces évènements passés renseignent sur la vulnérabilité du terrain. En principe, plus une zone a subi des épisodes de submersion marine à la suite d'un évènement tempétueux, plus celle-ci est vulnérable face au risque.

Pour recueillir les informations, on constitue une fiche numérique pour chaque évènement. La fiche se compose d'un bandeau supérieur avec la date et la localisation de l'évènement. Elle donne les conditions marégraphiques du jour ainsi que des informations sur le type de dommages occasionnés et indique les références utilisées (Annexe 1 ; Hénaff et Philippe, 2014).

Sur Internet, le site Prim.net recense les évènements qui ont fait l'objet d'un arrêté portant reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle. Les catastrophes naturelles sont de type « tempête » ou « chocs mécaniques liés à l'action des vagues ». Le site fait état de 14 arrêtés depuis 1982 pour Leucate dont un pour « tempête » et cinq pour « inondations et chocs mécaniques liés à l'action des vagues ». Le site littoral.languedocroussillon.fr fait également des fiches sur les tempêtes qui ont eu lieu sur le littoral depuis 1940.

Les travaux universitaires intègrent aussi l'analyse d'évènements passés pour étudier le risque de submersion marine (Anselme et al., 2008 ; Vinet, 2003). Anselme et al. (2008) ont établi une liste de tempêtes ayant eu lieu à Leucate entre 1957 et 2005 en donnant pour chacune la hauteur d'eau maximale observée à Port-la-Nouvelle. À cela, nous pouvons ajouter des rapports provenant d'organismes (SMNLR, 2003).

Enfin, les évènements tempétueux les plus récents sont souvent mieux documentés avec Internet. Il est ainsi plus facile de faire des recherches à partir des archives des médias. Nous y trouvons aussi des photos, des vidéos et des témoignages laissés par des internautes.

2.2.3 – Les documents de gestion

Les travaux de Chevillot-Miot et Mercier (2014) appliquent un quatrième groupe de critères portant sur les éléments de gestion. Il se compose du Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) et du Plan Communal de Sauvegarde (PCS). Ces documents « permettent une meilleure connaissance des aléas littoraux » et aident à la gestion de crise. Le travail de Chevillot-Miot et Mercier (2014), réalisé à une échelle intercommunale, intègre ce critère afin de différencier les communes ayant un PPRL et/ou un PCS et celles qui n'en ont pas. Dans notre travail, réalisé à une échelle infracommunale, se contenter uniquement de cette information représente peu d'intérêt. C'est pourquoi, notre objectif est de reprendre ce que nous indiquent ces documents (zones considérées comme vulnérables, bâtiments stratégiques ou vulnérables) afin de l'intégrer dans notre mesure de la vulnérabilité. L'identification de zones à enjeux et vulnérables montre que la commune a acquis une certaine conscience du risque et ceci est une information non négligeable dans l'évaluation de la vulnérabilité.

Leucate est concernée par un Plan de Prévention des Risques Littoraux prioritaire depuis 2011. La commune est dotée d'un PCS depuis 2013 et d'un PPRL depuis janvier 2016 mais celui-ci est actuellement en cours de concertation.

Le Plan de Prévention des Risques Littoraux

Le Plan de Prévention des Risques Littoraux de Leucate choisit comme niveau marin de référence la valeur de 2 mètres NGF. Il choisit également un seuil de 50 centimètres de hauteur d'eau pour l'aléa fort de submersion marine. L'aléa « action mécanique des vagues » est, quant à lui, toujours considéré comme fort. Sont considérés comme enjeux « les constructions abritant des personnes, les activités économiques et les principaux bâtiments ou lieux de résidence considérés comme vulnérables ». Aussi, l'analyse de ces enjeux permet d'identifier des espaces urbanisés et non urbanisés qui déterminent un zonage réglementaire (Tableau 1). Le PPRL contient des cartes dans lesquelles sont résumées toutes ces informations. Il y a une carte des aléas, une carte des enjeux et une carte du zonage réglementaire, à chaque fois divisée en deux parties pour le nord et le sud de la commune. La carte des aléas n'apporte pas d'information supplémentaire puisque le niveau de l'aléa a été estimé dans l'évaluation de la vulnérabilité du bâti. Les cartes des enjeux et du zonage réglementaire offrent des informations nouvelles. La carte des enjeux est cependant plus intéressante puisqu'elle indique dans sa nomenclature des éléments identifiés comme vulnérables : équipement d'intérêt général vulnérable, ERP (établissement recevant du public) à caractère vulnérable et construction isolée.

Zonage réglementaire	Dans les espaces urbanisés	Hors les espaces urbanisés
Aléa fort	RL1 : inconstructible	RL3 : inconstructible *
Aléa modéré	RL2 : constructible avec prescriptions	RL3 : inconstructible *
Aléa modéré lié au changement climatique	RL4 : constructible avec prescriptions	RL3 : inconstructible *
Aléa fort lié à l'action mécanique des vagues	RLh : inconstructible	RLh : inconstructible

* sauf dérogation strictement encadrée

Tableau 1 – Le zonage réglementaire retenu pour la commune de Leucate (source : PPRL, 2016)

Le Plan Communal de Sauvegarde

Le Plan Communal de Sauvegarde de Leucate prévoit le lancement d'un plan d'action lorsque la mer atteint un certain niveau, variable selon les quartiers. Le système d'alerte est alors lancé auprès de la population. Une Cellule de Crise Municipale est mise en place afin de sécuriser les personnes exposées et les routes inondées ainsi que d'ouvrir les centres d'accueil provisoires. Le PCS nous donne la localisation des bâtiments stratégiques faisant office de zones refuges en cas de submersion marine.

L'éloignement à ces centres d'accueil a été modélisé à partir du réseau routier sous un SIG avec l'outil « Network Analyst ». La modélisation s'est appuyée sur deux centres d'accueils : le complexe sportif, situé dans le bourg de Leucate et la Maison des Associations à Port Leucate. L'outil « Network Analyst » permet ensuite de créer des « zones de desserte » qui serviront à indiquer des temps de parcours. Les résultats figurent sur une carte. Il convient de noter que cette modélisation n'est qu'indicative et imparfaite puisque les vitesses attribuées aux routes ne prennent pas en compte leurs caractéristiques (virages, intersections,...). Par ailleurs, le scénario utilisé est un scénario de trafic fluide qui ne retient pas l'hypothèse d'un embouteillage généré par une éventuelle évacuation.

2.2.4 – La question de la perception

Intérêt de la perception dans l'évaluation de la vulnérabilité

La perception des risques par la population est l'une des quatre composantes de la vulnérabilité. Elle concerne la connaissance et la conscience du risque. Elle conditionne les comportements et l'adaptation des personnes et varie en fonction de leurs intérêts. La perception est influencée par quatre composantes : l'expérience face au risque, les connaissances sur le risque, les intérêts sociaux et économiques ainsi que les valeurs qu'on leur attribue (Anselme et al., 2015 ; Hellequin et al., 2013 ; Rulleau et al., 2015).

La perception des risques n'est que rarement prise en compte dans les travaux sur la vulnérabilité. Sa négligence entraîne le refus des politiques publiques de réduction de la vulnérabilité (Tricot, 2012). Pour Meur-Férec et al. (2010), la connaissance du risque par la population permet parfois de mieux appréhender la vulnérabilité que les études des scientifiques mais cette connaissance est néanmoins considérée comme « mauvaise » si elle diffère des conclusions des scientifiques sur la réalité du risque. La perception est le plus souvent mesurée à travers des enquêtes (Anselme et al., 2015 ; Hénaff et Philippe, 2014).

L'intérêt de la perception du risque de submersion marine par la population dans l'évaluation de la vulnérabilité justifie l'intégration d'un critère supplémentaire qui n'était pas inclus dans les travaux de Chevillot-Miot et Mercier (2014).

Choix méthodologiques

Dans le cadre du programme CRISSIS, une enquête a été réalisée en 2015 sur Leucate Plage et Port Leucate (village naturiste compris). Les enquêtés ont été invité à répondre à deux questions concernant leurs connaissances sur le risque de submersion marine. Ils ont d'abord été interrogés sur les zones qu'ils estimaient potentiellement submersibles puis sur les zones qu'ils estimaient potentiellement non submersibles. Les réponses ont été obtenues par le biais de cartes mentales où les enquêtés délimitaient plus ou moins précisément les zones concernées.

Pour le secteur de La Franqui, une enquête a été réalisée en juin 2006 concernant le risque de submersion marine dans l'étang de La Palme. Bien que différente de celle de 2015, une

question demandait aux enquêtés s'ils savaient jusqu'où l'eau était montée lors de précédentes tempêtes.

Pour intégrer le critère de la perception dans notre évaluation de la vulnérabilité, nous avons conservé pour chaque secteur, le nombre de zones que les personnes enquêtées considèrent comme submersibles. Dans notre étude, elles seront considérées comme « vulnérables ».

Enrichissement des données sur les archives historiques

Toujours dans le cadre de l'enquête de 2015, une troisième question a été posée concernant la mémoire des individus interrogés. Les personnes devaient répondre s'ils se souvenaient d'épisodes de submersion marine passés. De la même manière, ceux-ci devaient délimiter l'étendue de l'inondation sur une carte mentale et indiquer la date de l'évènement.

2.3 – Préparer l'évaluation de la vulnérabilité à l'échelle communale

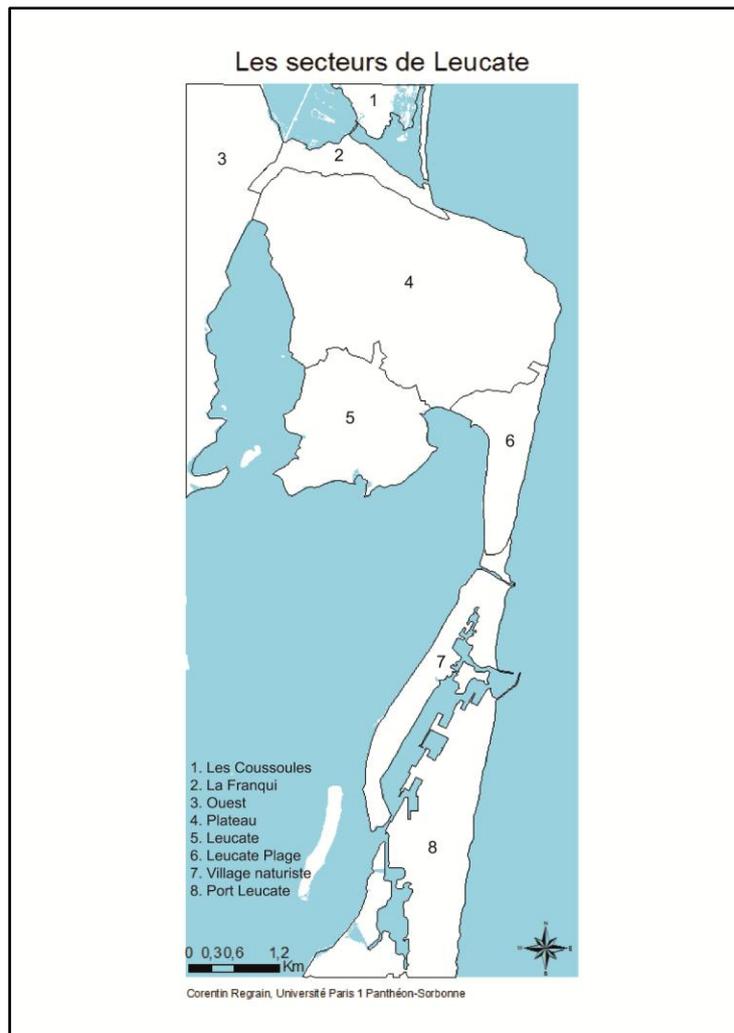
2.3.1 – Pourquoi et comment découper la commune ?

L'un des principaux objectifs de ce mémoire est de montrer les différences de niveaux de vulnérabilité et les disparités entre les parties de Leucate. La commune étant relativement étendue, elle présente une hétérogénéité topographique et paysagère. Pour représenter au mieux ces différences, il a fallu découper le territoire communal. L'absence de découpage « officiel » rend la délimitation des secteurs arbitraires.

Habituellement, la commune de Leucate est subdivisée selon les quatre agglomérations qui la recouvrent : Leucate village (chef-lieu), Leucate Plage, Port Leucate et La Franqui. Le village naturiste apparaît comme une cinquième entité urbaine, détachée de Port Leucate par son caractère insulaire.

En plus de ces cinq secteurs, trois autres, relativement peu urbanisés, se distinguent. Le premier, que nous nommerons « Plateau », se concentre sur la presqu'île de Leucate. Il se démarque parmi les altitudes les plus élevées de la commune ainsi que par une population faible et dispersée. Le second, nommé « Les Coussoules » sur les cartes topographiques, est un lido aux altitudes basses (inférieures à 3 mètres NGF) qui s'étend au nord de La Franqui et est séparé de celle-ci par un grau reliant l'étang de La Palme à la mer. Le troisième secteur se situe à l'ouest de la commune, au-delà de la voie ferrée, et est une zone essentiellement agricole.

Nous avons donc réalisé un découpage en huit secteurs pour la commune. Pour les délimiter, nous avons créé une nouvelle couche SIG grâce au logiciel ArcCatalog. Nous nous sommes ensuite inspirés des plans de zonage parcellaires du Plan Local Urbanisme pour les délimitations (Carte 4).



Carte 4 - Le découpage utilisé pour l'évaluation de la vulnérabilité

2.3.2 – Préparer les données pour le découpage mis en place

La mise en place du découpage nous permet de traiter les critères sur la population vulnérable et la densité de population car ils nécessitent la présence d'un maillage pour leurs calculs. Pour le critère « Patrimoine naturel », nous pouvons maintenant mesurer pour chaque secteur la surface totale classée et en zone inondable. Pour cela, les données concernant le périmètre des ZNIEFF ont été récupérées sur le site de l'INPN afin d'être incluses dans un SIG. Les territoires de ces ZNIEFF ont ensuite été divisées pour correspondre aux limites des secteurs grâce à l'outil « Intersection » d'ArcGIS. La même opération a été répétée pour ne conserver que les terrains sous la cote de référence.

Le découpage nécessite une transformation des variables dans certains cas. Pour la vulnérabilité du bâti, les résultats de l'indice V.I.E. obtenus à l'échelon individuel, c'est-à-dire de la construction, ont ainsi été agrégés en faisant une moyenne.

2.3.3 – Réalisation d'une ACM avec le logiciel R

La dernière étape de notre travail consiste à évaluer la vulnérabilité de manière globale pour la commune à partir de tous les critères. Pour cela, nous avons réalisé une analyse des correspondances multiples. Cette méthode met en relation les individus et les variables d'une part ainsi que les individus entre eux d'autre part.

Chaque individu est caractérisé par la modalité qu'il prend pour chaque variable. Cette série de modalités constitue le profil de l'individu. L'ACM est une méthode statistique qui mesure la variabilité des profils de tous les individus afin de pointer des similarités entre eux. De la même manière, l'ACM étudie les modalités des variables afin de repérer des associations entre elles, ce qui signifie qu'elles sont proches.

Les résultats de l'ACM figurent sur un graphique qui présente deux axes que l'on appelle dimensions. La première dimension est l'axe des abscisses et la seconde l'axe des ordonnées. Chaque dimension est caractérisée par les variables qui lui sont corrélées (Annexe 2). Les individus et les modalités sont représentés sur ce graphique selon leurs coordonnées, ils forment un nuage de points. Chaque individu est au barycentre des modalités qu'il prend et de la même façon, chaque modalité est au barycentre des individus qui la possèdent.

Avant de réaliser l'ACM, il convient de construire un tableau de données sous Excel avec nos huit secteurs et nos onze critères de vulnérabilité. L'analyse nécessite que toutes les variables soient qualitatives. Dans notre cas, seuls l'altitude et la géomorphologie des côtes sont des variables qualitatives. Il a donc fallu transformer toutes les autres en remplaçant chaque modalité par un intervalle de valeur. Nous avons ainsi transformé nos variables quantitatives en variables qualitatives discrètes et nous avons réduit le nombre de modalités à 4-5 maximums selon les variables. Cette opération facilitera l'interprétation des résultats de l'ACM tout augmentant les similarités entre les individus.

Une fois que toutes ces opérations sont effectuées, l'ACM est lancée sous le logiciel R avec le package FactoMineR. Deux nuages de points résultent de l'analyse. Le premier graphique représente les modalités. Plus les modalités sont proches et plus il y a de chances qu'elles aient été prises par les mêmes individus. Le second représente les individus en sachant que plus ils sont proches et plus ils sont semblables.

Troisième partie : Estimer la vulnérabilité à Leucate

3.1 – Vulnérabilité des enjeux

3.1.1 – Vulnérabilité du bâti

Résultats de l'indice V.I.E. par critère

L'analyse des résultats du premier critère concernant les hauteurs d'eau révèle qu'environ 40 % des constructions sont épargnées de l'aléa de submersion marine tandis que 60 % en sont concernées (Figure 1). Leucate Village rassemble une majeure partie des habitations situées en zone « non inondable » puisque la totalité du chef-lieu est situé sur un plateau calcaire à une vingtaine de mètres au-dessus du niveau de la mer. Les marges de ce plateau préservent la partie sud de La Franqui et la partie nord de Leucate Plage de l'aléa submersion marine. Au sud, la station balnéaire de Port Leucate est presque entièrement (à 99 %) susceptible d'être inondée par des hauteurs d'eau d'au moins 50 centimètres. Plus de 80 % des habitations sont dans une tranche de 1 à 2 mètres ce qui est largement supérieur au taux communal (43 %). Pour la commune, c'est la tranche la plus importante. Enfin pour tous les secteurs confondus, les autres tranches de hauteurs d'eau potentielles représentent des parts minimales : 3 % dans la tranche 0 – 0,5 m, 7 % dans la tranche 0,5 – 1 m et 6 % dans la tranche 2 m et plus (pour les deux tiers à Port Leucate et au village naturiste aux abords de l'étang de Salses-Leucate et du port).

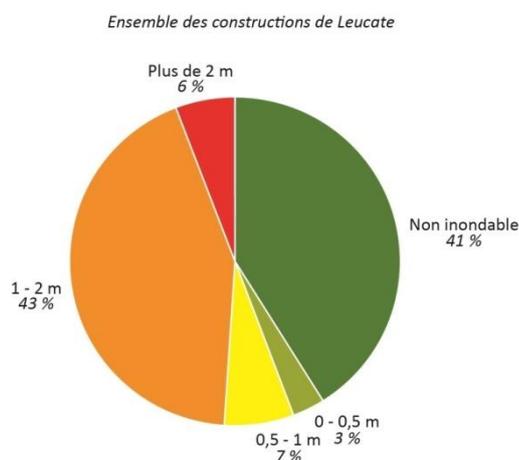


Figure 6 – Résultats du critère 1 : hauteurs d'eau potentielles

Les ouvrages que nous avons répertoriés dans ce travail sont regroupés entre Leucate Plage et Port Leucate dans une partie de la commune qui est peu habitée (les Mourets). Cela explique l'écrasante proportion de constructions (85 %) n'étant pas concernées par ce critère (Figure 7). De ce fait, cela n'influe en aucun cas sur la vulnérabilité du bâti de La Franqui (aucun ouvrage) et pour une grande partie de Port Leucate (1 ouvrage). Ensuite, 11 % des constructions sont dans une bande de hx100 (h étant la hauteur de l'ouvrage) à 400 mètres quand 2 % sont entre 100 et hx100 mètres. Il reste tout de même 3 % des constructions à moins de 100 mètres d'un ouvrage, là où le danger est le plus élevé. Elles se retrouvent là où sont les ouvrages, c'est-à-dire près du bassin sud de Port Leucate et sur la façade est de Leucate Plage.

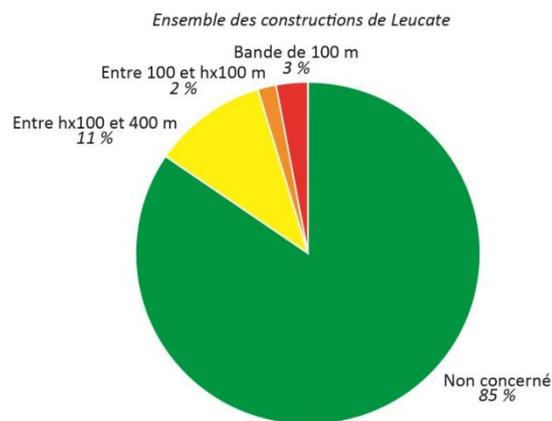


Figure 7 – Résultats du critère 2 : distance aux ouvrages de protection

Concernant les caractéristiques architecturales du bâti leucatois, trois constructions sont de type « habitat temporaire » (soit 0,1 %), 68 % sont des maisons à étage et 14 % sont des immeubles (Figure 8). Les maisons de plain-pied représentent alors un cinquième du bâti mais plus de la moitié (53 %) de ces habitations sont en zone potentiellement inondable.

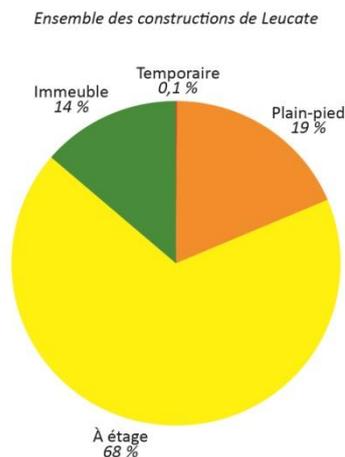


Figure 8 – Résultats du critère 3 : typologie architecturale des constructions

En cas d'évènement d'inondation par submersion marine, aucune habitation de Leucate ne se retrouve isolée, c'est-à-dire située à plus de 200 mètres d'une zone refuge et à plus de 200 mètres de l'habitation la plus proche (Créach et al., 2014). Sur les 59 % des habitations situées en zone inondable, la moitié (29 % du total) se trouve à moins de 100 mètres d'une zone refuge. Ensuite, 13 % sont néanmoins situées dans une tranche de 100 à 200 mètres et 17 % à plus de 200 mètres (Figure 9). Là encore, la situation de Port-Leucate, presque entièrement inondée en cas d'évènement tempétueux atteignant des hauteurs d'eau de 3,5 mètres NGF, explique cette proportion puisque 80 % du bâti inclus dans la dernière catégorie se trouve au centre de la station balnéaire.

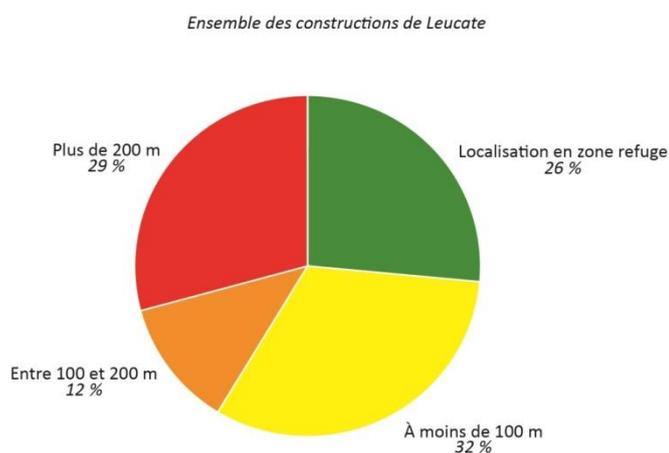


Figure 9 – Résultats du critère 4 : proximité d'une zone refuge

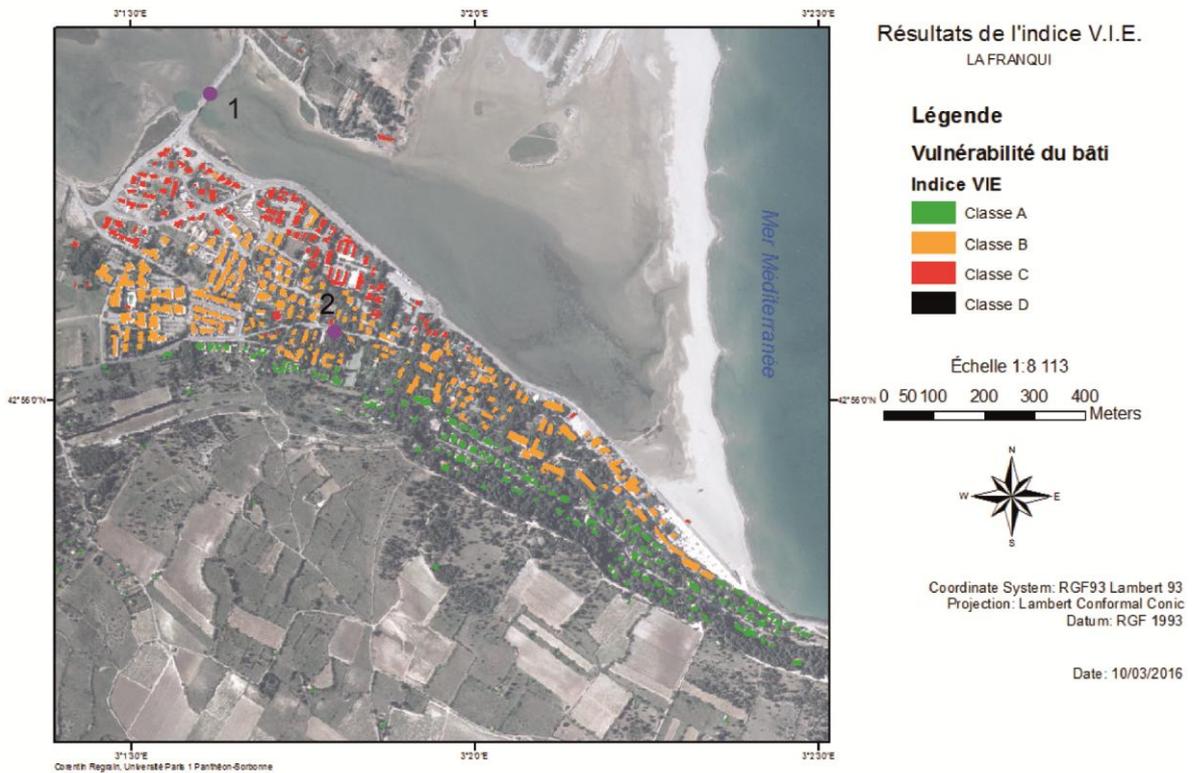
Résultats de l'indice V.I.E. par secteur

Au niveau de Leucate, 41 % des habitations ne sont pas concernées par le risque de submersion marine (classe A). À l'inverse, un tiers sont sujettes à un risque important (classe

C rouge) tandis que le quart restant est en classe B. La classe noire, qui indique un niveau de vulnérabilité « extrême », c'est-à-dire présentant un risque potentiellement mortel en cas de submersion marine, est très peu représentée avec seulement 0,4 % du bâti leucatois.

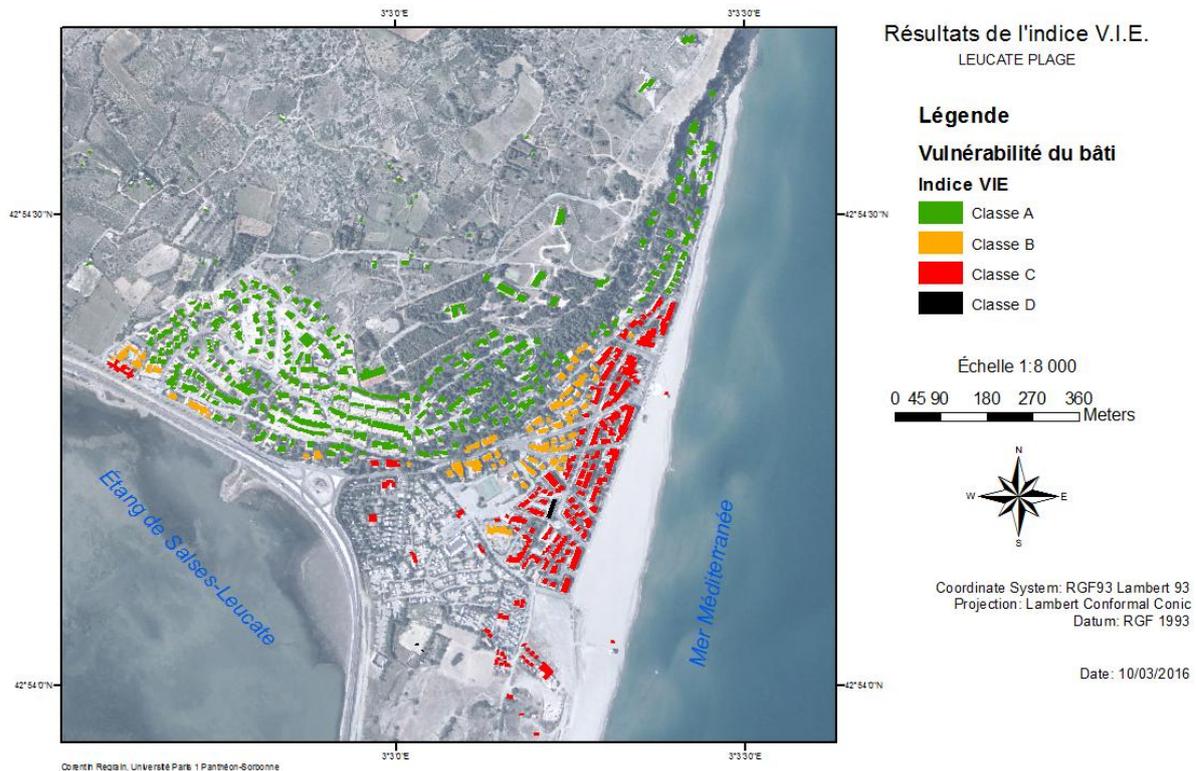
Les résultats de l'indice V.I.E. diffèrent selon les secteurs. Le bourg de Leucate présente une vulnérabilité du bâti nulle exceptée pour quelques habitations au sud-est de la zone urbanisée (zone industrielle).

Pour La Franqui, 38 % des constructions ne sont pas concernées par le risque de submersion marine. On distingue trois bandes orientées nord-ouest-sud-est qui suivent la ligne de rivage et le plateau (Carte 5). C'est donc au sud, sur le plateau, que l'on retrouve naturellement les habitations en classe A. La zone la plus vulnérable identifiée par l'indice V.I.E., qui représente un cinquième du bâti de La Franqui, se situe au nord-ouest en bordure du front de mer et près du pont des Coussoules (1). Le reste du bâti (43 %) possède une vulnérabilité moyenne et se concentre le long de l'axe de l'Avenue du Languedoc (2).



Carte 5 - Vulnérabilité du bâti à La Franqui

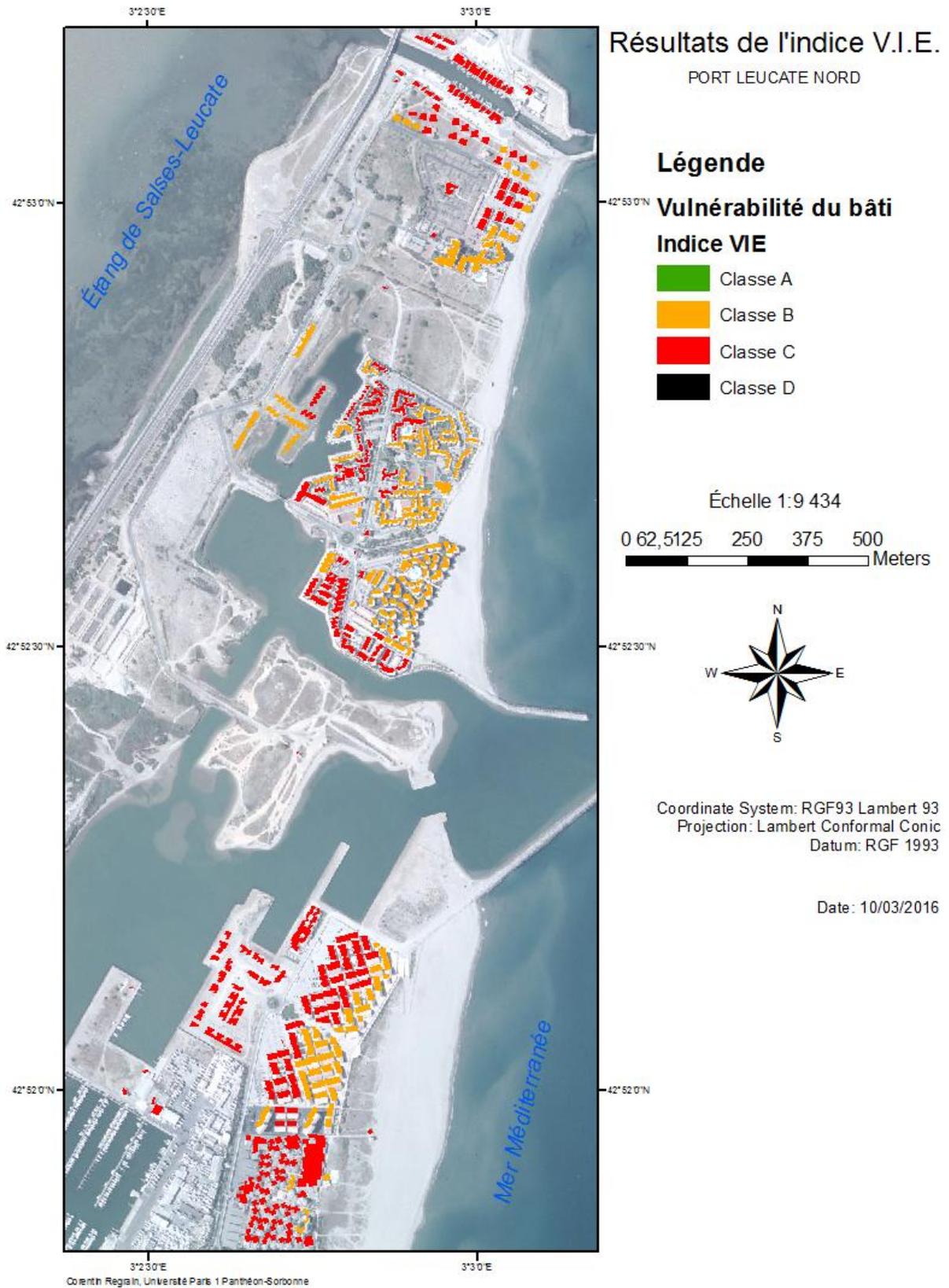
Leucate Plage possède une configuration en bandes similaire à La Franqui puisqu'elle borde le versant sud du plateau de Leucate (Carte 6). La station balnéaire présente une vulnérabilité moins importante que La Franqui puisque les deux tiers des résidences ne sont pas concernées par le risque de submersion. Les constructions en classe rouge se regroupent le long du front de mer à l'est car elles sont proches du muret de la promenade. C'est dans cette zone que se situe l'unique logement en classe noire. D'autres zones, présentant une vulnérabilité moyenne, sont identifiées par l'indice le long de la route départementale à l'ouest de Leucate Plage.



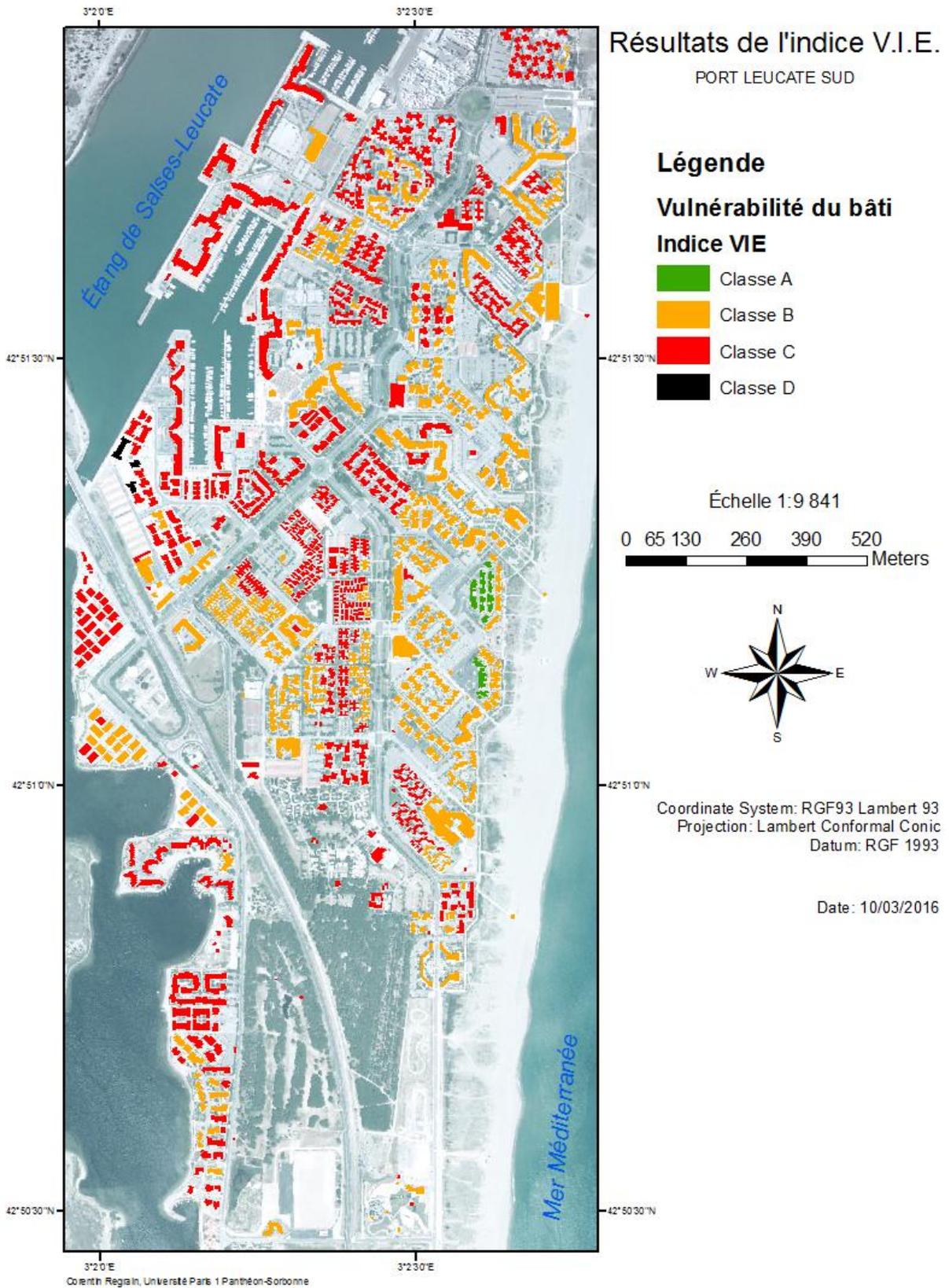
Carte 6 - Vulnérabilité du bâti à Leucate Plage

Port Leucate est la station balnéaire la plus vulnérable de Leucate puisque 99 % des constructions sont concernées par le risque de submersion marine. Sur l'île de la Corrège au nord, le village naturiste est la zone la plus vulnérable de la commune puisque toutes les constructions sont potentiellement concernées par une submersion marine (Carte 7). Cependant, aucune construction en classe noire n'est à recenser. Le bâti se répartit en deux groupes quasi-égaux (49 % en classe B et 51 % en classe C). Les deux secteurs les plus vulnérables sont le grau du port conchylicole et la marina du village naturiste où se concentrent principalement les maisons en classe rouge.

Au sud du port de Port Leucate, seul 1 % du bâti n'est pas en zone inondable. La classe B rassemble 37 % des maisons tandis que la classe C en concentre 62 %. Il n'y a que trois habitations en classe noire (soit 0,3 %) toutes situées entre le port de plaisance et la route départementale. Il n'y a pas de configuration particulière contrairement à Leucate Plage ou La Franqui même si les constructions en classe rouge ont tendance à se regrouper côté port et étang et celles en classe orange autour des rares secteurs non inondables (Carte 7 et Carte 8).



Carte 7 - Vulnérabilité du bâti à Port Leucate (partie nord)



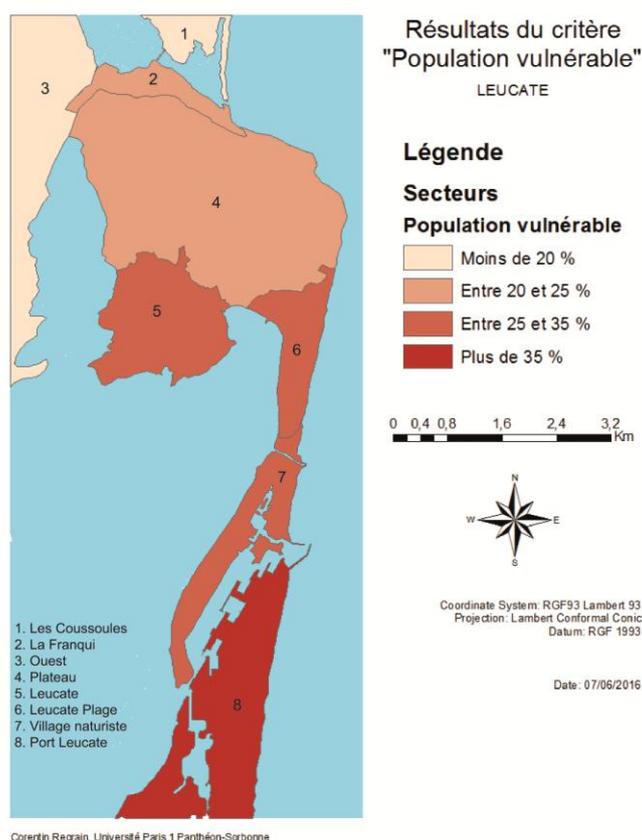
Carte 8 – Vulnérabilité du bâti à Port Leucate (partie sud)

3.1.2 – Vulnérabilité humaine

Population vulnérable

Leucate était peuplée de 4 279 résidents permanents au 31 décembre 2010, date du dernier recensement pour les données carroyées. Les deux principaux noyaux urbains sont Port Leucate (2 030 habitants) et Leucate Village (1 548 habitants). Viennent ensuite Leucate Plage (302 habitants) et le Village naturiste (290 habitants). La Franqui (89 habitants) et le Plateau (20 habitants) complètent la population totale de la commune. Les Coussoules et l'Ouest de Leucate ne sont pas habitées de manière permanente.

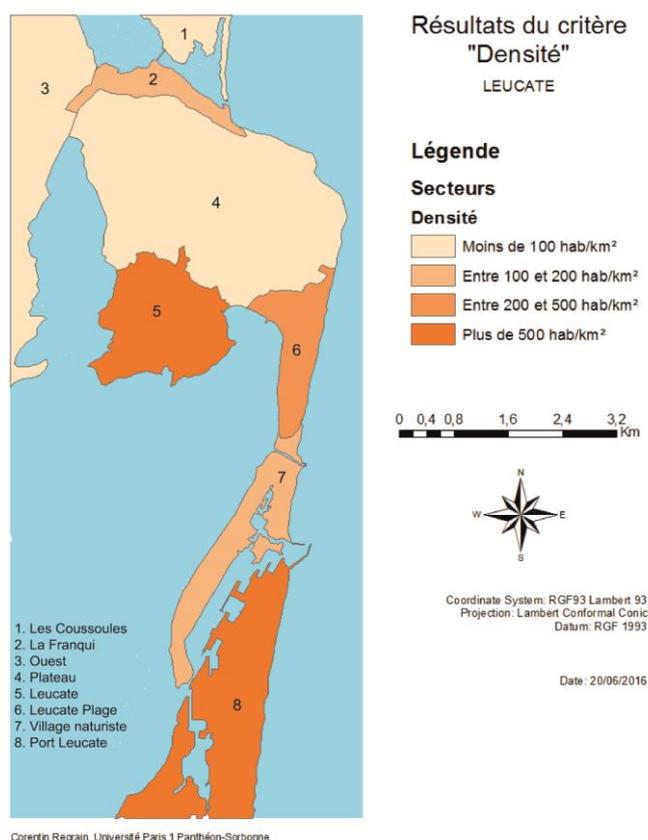
La Carte 9 présente la part de la « population vulnérable », c'est-à-dire les catégories d'âge regroupant les 65 ans et plus ainsi que les moins de 5 ans. Nous pouvons d'ores et déjà remarquer que lorsque la population d'un secteur est plus élevée, la part de la population vulnérable est également plus importante. Alors que le Plateau et La Franqui ont respectivement 20 et 23,6 % de leur population totale qui est vulnérable, Leucate Plage et le Village naturiste ont des valeurs moyennes (29,5 et 26,4 %) tandis que Leucate Village et Port Leucate ont les valeurs les plus fortes : presque un habitant sur trois pour Leucate Village et deux habitants sur cinq pour Port Leucate.



Carte 9 – Part de la population vulnérable par secteur

Densité

La Carte 10 montre les densités de population par secteur. Elles sont très variables en fonction du caractère urbain ou rural du secteur. Les zones les plus densément peuplées sont Leucate Village (561,9 hab/km²) et Port Leucate (525,1 hab/km²). Le Plateau est le secteur le moins densément peuplé avec 2,4 hab/km². Du reste de la commune, La Franqui est à 104,4 hab/km², le Village naturiste à 161,7 hab/km² et Leucate Plage à 224 hab/km².



Carte 10 – Densités de population par secteur

3.1.3 – Vulnérabilité du patrimoine

Patrimoine naturel

L'INPN recense seize ZNIEFF continentales. Seules neuf d'entre elles ont une influence sur la vulnérabilité car elles sont potentiellement submersibles. Les ZNIEFF restantes concernent des zones non impactées par le risque de submersion marine ainsi que des territoires isolés n'ayant que peu d'incidence sur le résultat final :

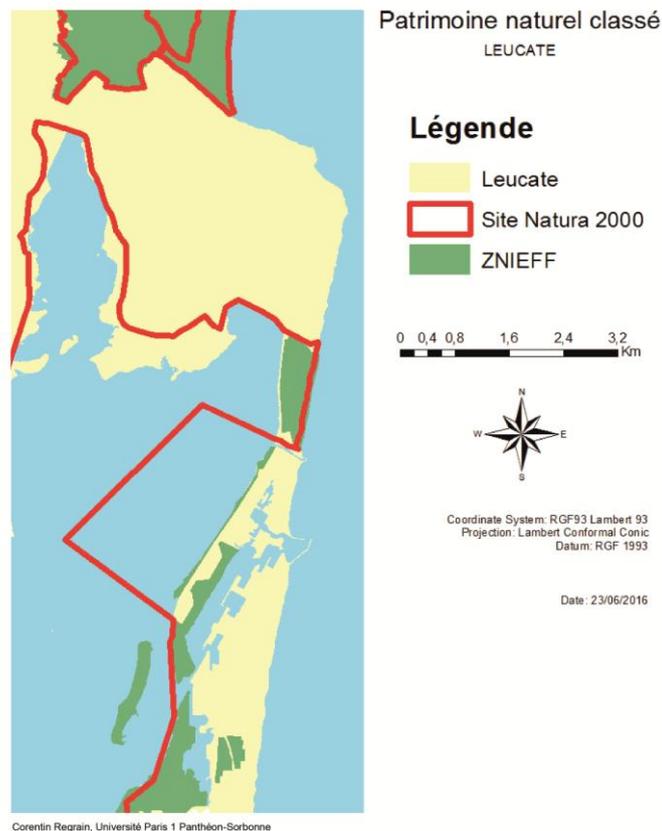
- « Complexe lagunaire de La Palme », d'une superficie de 1 926 ha en partie sur la commune. Elle recouvre le nord de la commune, à l'ouest de La Franqui et dans le secteur des Coussoules ;
- « Lido de La Palme », d'une superficie de 593 ha au nord de la commune (secteur des Coussoules) ;

- « Complexe lagunaire de Salses-Leucate », d'une superficie de 7 769 ha en partie sur le territoire communal. Elle recouvre la superficie de l'étang et ses îles ainsi que quelques surfaces émergées aux Mourets (entre Leucate Plage et le village naturiste) et au sud de Port Leucate ;
- « La Corrège et les Dosses », d'une superficie de 226 ha en partie sur la commune, dans les secteurs du village naturiste et Port Leucate ;
- « Mares de Port Leucate », d'une superficie de 18 ha au sud de Port Leucate ;
- « Les Coussoules », d'une superficie de 184 ha ;
- « Lido de Mouret », d'une superficie de 66 ha entre Leucate Plage et le village naturiste ;
- « Sansouïres de l'étang de Lapalme », d'une superficie de 130 ha en partie sur la commune, à l'ouest de La Franqui ;
- « Rive Est de l'Étang de Leucate », d'une superficie de 13 ha. Elle constitue la rive occidentale de l'île de la Corrège, dans le secteur du village naturiste.

À cela, il faut ajouter deux sites du réseau Natura 2000 (il en existe deux autres mais ils ne sont pas concernés par le risque de submersion marine) :

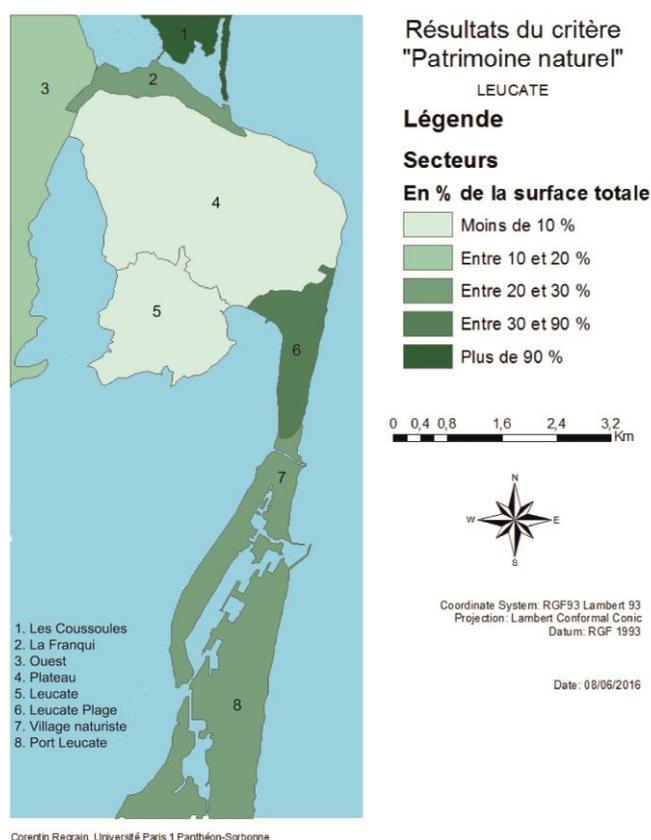
- « Complexe lagunaire de La Palme », d'une superficie de 1 840 ha, reprend en partie le zonage de la ZNIEFF ;
- « Complexe lagunaire de Salses », d'une superficie de 7 818 ha.

Les limites géographiques des sites du réseau Natura 2000 sont identiques à celles des ZNIEFF (Carte 11). Ces derniers milieux naturels sont fortement vulnérables puisqu'ils sont potentiellement submersibles sur au minimum 95 % de leurs territoires. Néanmoins, ces zones ont une emprise spatiale différente et n'influencent pas de la même manière la vulnérabilité des secteurs dans lesquelles elles se trouvent.



Carte 11 – Localisation des ZNIEFF et sites Natura 2000 concernés par la submersion marine

La Carte 12 montre pour chaque secteur la part de celui-ci à la fois classée en ZNIEFF et potentiellement inondable. Cette part dépend grandement de l'altitude et de l'urbanisation du secteur. Ainsi, les altitudes élevées de Leucate Village et du plateau font que les ZNIEFF ne sont pas potentiellement submersibles. À l'inverse, le secteur des Coussoules, qui couple des altitudes basses et une faible urbanisation ainsi qu'une forte richesse patrimoniale, est à 99,9 % recouvert d'une ZNIEFF en zone potentiellement inondable. Ailleurs, d'autres secteurs au caractère urbanisé et aux surfaces restreintes voient cette part plus faible : 28 % pour La Franqui, 29,4 % pour le Village naturiste et 26,6 % pour Port Leucate. Sur le secteur de Leucate Plage, les ZNIEFF se concentrent au lido des Mourets qui occupe plus de la moitié de la surface totale, ce qui explique que cette même part y est de 40 %.



Carte 12 – Part de la surface totale classée en ZNIEFF et potentiellement submersible par secteur

Patrimoine historique

La base « Mérimée » recense 5 sites classés à Leucate. Il y a deux infrastructures militaires et un site archéologique, tous trois situés sur le plateau de Leucate en dehors d'une zone potentiellement submersible. Les deux derniers sites sont les villages de vacances des Carats et Rives de Corbières. Classés « label XXe » en tant que stations balnéaires de la Mission Racine, ils sont situés à Port Leucate en zone potentiellement submersible.

La base « Palissy » répertorie 7 objets classés. Ils sont tous dans le centre-ville de Leucate excepté une statue de Narcisse qui est dans une maison de retraite à La Franqui et en zone potentiellement submersible.

Au total, ce sont deux sites à Port Leucate et un objet à La Franqui qui sont concernés par le risque de submersion marine.

3.2 – Vulnérabilité des autres critères

3.2.1 – Archives historiques

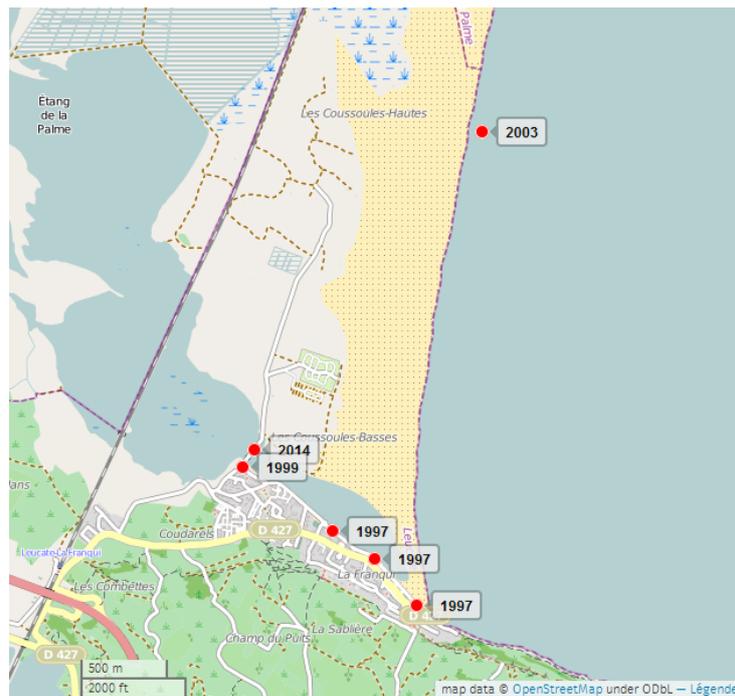
Évènements tempétueux

Les archives historiques des évènements passés restent peu étendues dans le temps puisque nous n'avons obtenu des informations que sur les soixante dernières années. 52 évènements tempétueux ont été recensés depuis 1957 sur la commune de Leucate. Une source indiquait un raz-de-marée en 1929 mais nous n'avons pas trouvé davantage de détails. Nous observons une augmentation des témoignages au fil du temps. En effet, plus de la moitié des évènements que nous avons rapportés ont eu lieu après 2000. Cette augmentation des témoignages n'est toutefois pas un phénomène surprenant car il est observé dans d'autres parties du monde (D'Ercole et Pigeon, 1999). Dans le cas de notre commune, nous pouvons expliquer cette tendance par la récente urbanisation de Port Leucate dans les années 1960 ainsi que l'extension des stations balnéaires déjà existantes après la Seconde Guerre Mondiale. Il y a augmentation des enjeux et une tempête est ainsi plus susceptible de marquer les esprits. D'ailleurs, la plus ancienne tempête connue ayant provoqué des dégâts remonte à novembre 1982. Ces évènements restent pour la plupart mal documentés. Nous n'avons souvent obtenu que des indications sur les conditions météorologiques et les caractéristiques de la tempête (vent, houle, hauteur d'eau atteinte entre autres).

Le peu d'informations sur ces évènements tempétueux concernant les impacts et les dégâts sont à relativiser puisqu'une tempête n'amène pas systématiquement de submersion marine en raison de plusieurs facteurs (intensité de la tempête, effets de site). D'ailleurs, seuls 14 arrêtés portant reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ont été prescrits depuis 1982. Sur ces 14 arrêtés, 6 concernent directement un épisode de submersion marine suite à un évènement tempétueux : 1 arrêté portant sur l'aléa « tempête » (1982), 1 sur l'aléa « Inondations, coulées de boue et chocs mécaniques liés à l'action des vagues » (1997) et les 4 autres pour « Inondations et chocs mécaniques liés à l'action des vagues » (2003, 2009, 2013 et 2014).

À La Franqui, plusieurs inondations se sont produites sur le front de mer. Une vaste collection de photographies montre qu'il y a eu des inondations à plusieurs endroits sur la rue Henry de Monfreid et l'avenue des Tamarins lors de la tempête de décembre 1997 (Carte 13,

Larue, Bouabdallah et Etienne, 2009). D'autres inondations y ont eu lieu en décembre 2003. Le pont des Coussoules a été submergé par deux fois en novembre 1999 et novembre 2014 (Carte 13). La tempête de novembre 1999 a aussi laissé des troncs d'arbres sur la voie ferrée plus en amont. Le secteur des Coussoules, bien que très peu urbanisé, est également impacté par les tempêtes. Des cargos se sont échoués sur la plage par deux fois en novembre 1999 et décembre 2003 (Carte 13). Cette même tempête a provoqué des brèches sur le lido.



Carte 13 - Localisation des impacts (non exhaustifs) liés à des tempêtes ou des épisodes de submersion marine dans les secteurs de La Franqui et des Coussoules

Le front de mer de Leucate Plage est la zone la plus fréquemment inondée. Des épisodes de submersion marine ont eu lieu en décembre 1997, octobre 2010 et mars 2013 (Carte 14). Cette dernière a eu une attention médiatique particulièrement importante. La mer s'est également engouffrée dans les rues basses de la station balnéaire en novembre 1984, 1997 (avenue du Lido) et 2013 (Résidence La Goëlette). En 1997, la mer est allée jusqu'au croisement de la D327 et du chemin du Mouret (Carte 14).



Carte 14 - Localisation des impacts (non exhaustifs) liés à des tempêtes ou des épisodes de submersion marine à Leucate Plage

Port Leucate est la moins durement touchée par les tempêtes. Une seule submersion a eu lieu au nord du port dans le village naturiste (Carte 15, Anselme et al., 2011). Habituellement, les événements tempétueux provoquent des dégâts matériels sur les infrastructures : jetées du port (novembre 1984, novembre 1999) et port conchylicole (décembre 1997).



Carte 15 - Localisation des impacts (non exhaustifs) liés à des tempêtes ou des épisodes de submersion marine à Port Leucate

Apport des enquêtes de 2015

Les cartes mentales réalisées par les enquêtés ont été compilées sous un SIG afin d'être traitées. Chaque zone dessinée par la personne a été représentée avec un niveau de transparence, de sorte à ce que le jeu de la superposition mette en avant un contraste entre des quartiers qui seront clairs et d'autres qui seront foncés. Ainsi, plus un lieu sera foncé et plus il aura été cité par les enquêtés (Rouchès, 2016).

Les résultats des enquêtes ont apporté 88 épisodes de submersion passés à Leucate Plage. Si tous les événements n'étaient pas datés, les enquêtés ont donné onze épisodes supplémentaires entre 1998 et décembre 2014. Le nombre total d'évènements pour la station s'élève à quinze. Pour les enquêtés, les inondations par submersion marine ont surtout eu lieu le long de la promenade du front de mer puisque cet endroit a été cité dans 90 % des réponses (Figure 10).

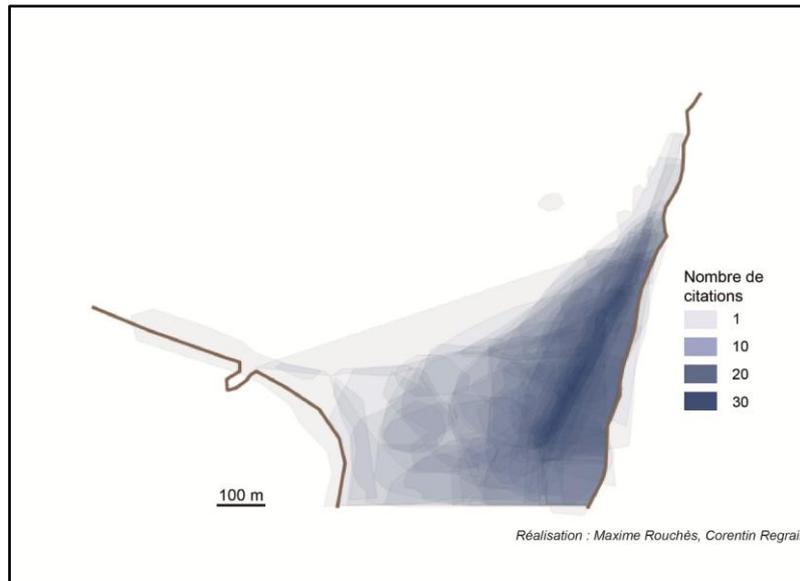


Figure 10 – Mémoire des anciennes submersions marines à Leucate Plage

Pour le Village naturiste, les résultats des enquêtes ont révélé 54 épisodes de submersion marine. Le précédent travail d’archives n’avait révélé qu’un évènement en 2010. Ici, les enquêtés en ont répertorié neuf entre 1997 et 2015. Celles-ci se concentrent sur le front de mer pour les $\frac{3}{4}$ des réponses (Figure 11).



Figure 11 – Mémoire des anciennes submersions marines au Village naturiste

À Port Leucate, les enquêtés ont répertorié 98 épisodes de submersion marine passés. Dans notre travail d’archives, nous n’avons trouvé aucun évènement. Ici, nous avons obtenu 17 dates entre 1982 et 2015. Port Leucate est ainsi le secteur ayant connu le plus

d'évènements d'inondations par submersion marine. Celles-ci se produisent généralement au niveau de la plage (78 % des réponses) et au port (12 % des réponses) (Figure 12).

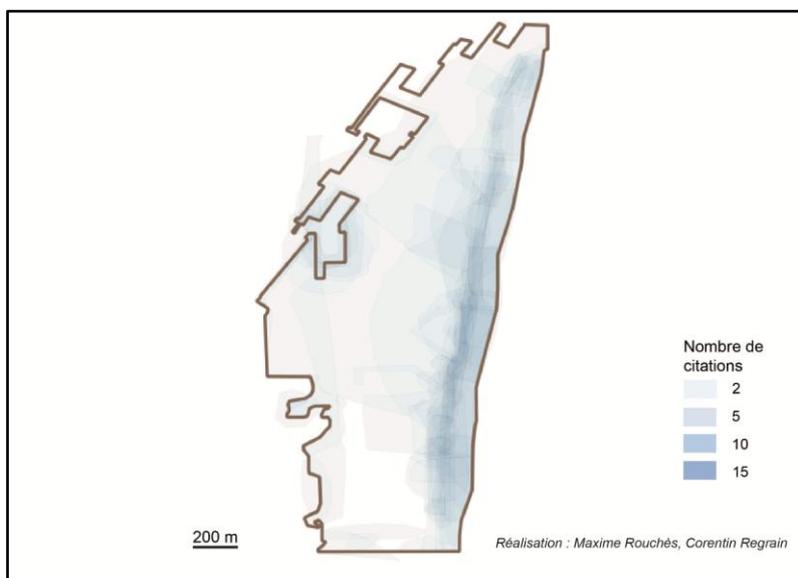


Figure 12 – Mémoire des anciennes submersions marines à Port Leucate

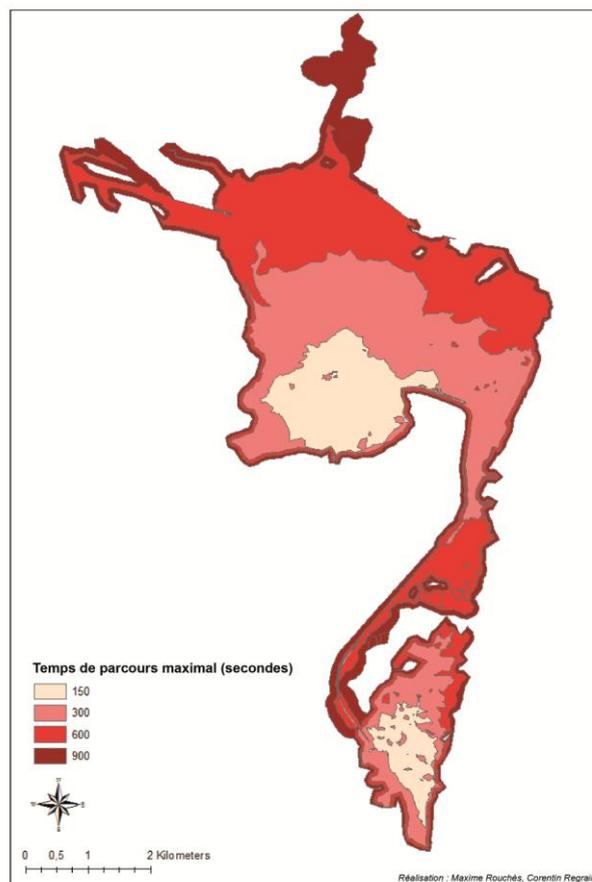
3.2.2 – Documents de gestion

La carte des enjeux du PPRL identifie 8 équipements d'intérêt général vulnérables, 9 ERP à caractère vulnérable et aucune construction isolée. Les équipements d'intérêt général vulnérables de la commune sont des infrastructures routières (2), des infrastructures de traitement des déchets (3), des infrastructures d'extraction (2) et une caserne de pompiers. Les ERP à caractère vulnérable sont quant à eux des structures d'accueil (3), des centres de vacances (3) et des infrastructures scolaires (3). À ce titre, Port Leucate est la plus vulnérable puisqu'elle recense 4 équipements d'intérêt général et 6 ERP. Ensuite vient La Franqui qui comptabilise 1 équipement d'intérêt général et 2 ERP. Le bourg de Leucate, Leucate Plage et le secteur naturiste ne compte chacun qu'un équipement d'intérêt général.

Le PCS préconise, en cas d'évacuation, de se rendre au foyer ou au complexe sportif qui font centres d'accueil principaux. Ils sont tous deux situés dans le bourg de Leucate. À Port Leucate, deux autres bâtiments font office de centres d'accueil : la salle de la mairie annexe et la Maison des Associations. La Franqui et Leucate Plage sont plus vulnérables sur ce point

puisque'elles ne possèdent pas de bâtiment stratégique et sont relativement éloignées des centres d'accueil.

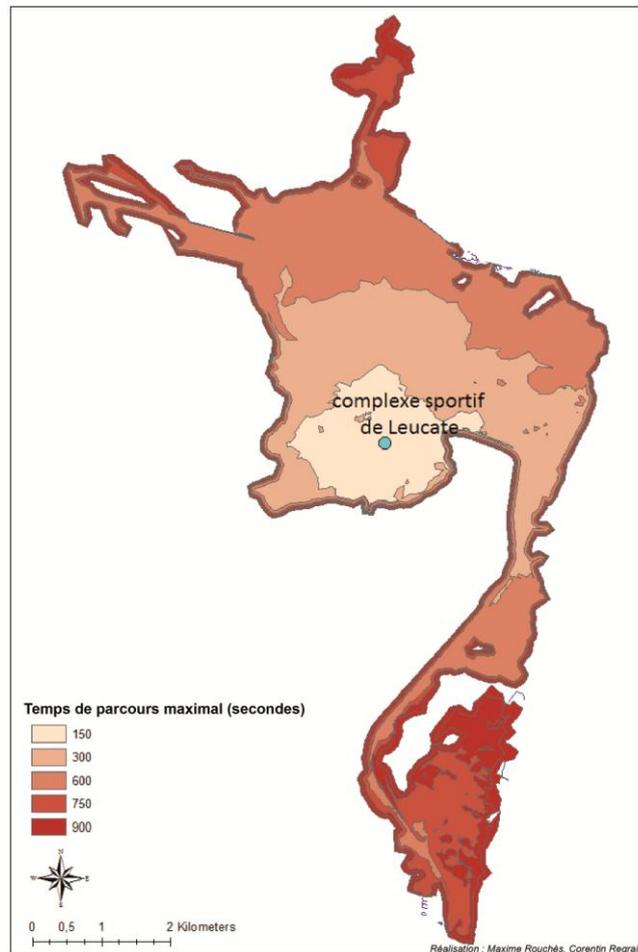
Malgré les imperfections de la modélisation, la Carte 16 fait ressortir l'isolement des Coussoules d'où il faut plus de dix minutes en voiture pour atteindre le complexe sportif. Parmi les secteurs urbanisés, La Franqui et le village naturiste sont plus vulnérables puisqu'il faut parcourir entre cinq et dix minutes de trajet en voiture pour se rendre soit au complexe sportif soit à la Maison des Associations. De la même façon, les résidences du Nord Est de Port Leucate sont à plus de cinq minutes de la Maison des Associations.



Carte 16 – Éloignement aux centres d'accueil en cas d'évacuation

La Carte 17 reprend la même modélisation que la Carte 16 mais utilise le scénario d'une évacuation vers le complexe sportif dans le cas où un évènement de submersion marine de grande ampleur obligerait la population à se réfugier vers des points insubmersibles. Si

l'isolement du secteur des Coussoules est toujours visible puisque ce scénario n'y change rien, la vulnérabilité de Port Leucate est alors accrue. Il faut parcourir au minimum dix minutes de trajet en voiture pour les quartiers situés près la route départementale. Pour les quartiers nord, rive côté port et face à la plage, il faut près de quinze minutes de trajet. Les maisons qui jouxtent le port seraient les plus vulnérables puisqu'elles sont à la fois majoritairement en classe C selon l'indice V.I.E. et les plus éloignées du complexe sportif.



Carte 17 – Éloignement au complexe sportif de Leucate en cas d'évacuation

3.2.3 – Zones perçues comme potentiellement submersibles

La Figure 13 montre les résultats des enquêtes de 2015 à Leucate Plage. Les enquêtés ont répertorié 156 zones qu'ils estimaient potentiellement submersibles. Pour la population, les abords du front de mer sont considérés comme la zone la plus exposée face à l'aléa avec 124

citations. Ensuite, une part plus faible des enquêtés (86 citations) estime que le camping municipal, au sud, est potentiellement submersible.

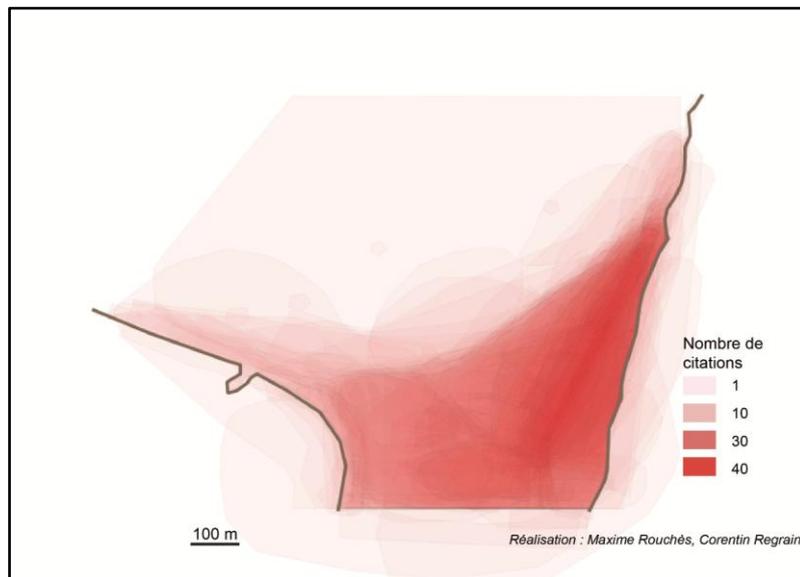


Figure 13 – La perception des zones potentiellement submersibles à Leucate Plage

La Figure 14 montre les zones perçues comme potentiellement submersibles au village naturiste. Ici, les enquêtés identifient 76 zones. Pour eux, l'ensemble de la zone urbaine peut être inondée. La plage se détache comme la zone la plus exposée (60 citations) tandis que dans une moindre mesure, le port conchylicole (1) l'est aussi (23 citations).



Figure 14 – La perception des zones potentiellement submersibles au village naturiste

La Figure 15 montre les zones perçues comme potentiellement submersibles à Port Leucate. Les enquêtés ont dénombré 247 zones susceptibles d'être inondées. Certains considèrent que l'ensemble de la station balnéaire est potentiellement submersible. Néanmoins, la zone la plus perçue comme telle est la plage avec 178 citations. En plus, les personnes ont indiqué deux zones supplémentaires côté étang : le port de plaisance où se trouve la mairie annexe (35 citations) et la marina au sud près de la route départementale (44 citations).



Figure 15 – La perception des zones potentiellement submersibles à Port Leucate

En ce qui concerne les secteurs au nord de la commune, les enquêtes réalisées en 2006 révèlent que les enquêtés sont capables d'indiquer jusqu'où l'eau peut monter lors d'épisodes de submersion. Pour La Franqui, ces personnes citent le front de lagune (20 % des réponses) ainsi que les principales voies d'accès et de traversées (16 %). Ils indiquent également que l'eau peut monter jusqu'à la voie ferrée pour l'Ouest de la commune (23 %) ainsi que certains secteurs des Coussoules (11 % des réponses) (Anselme, Goeldner-Gianella et Durand, 2008).

3.3 – Vulnérabilité à l'échelle de Leucate

3.3.1 – Résultats de l'analyse des correspondances multiples

La Figure 16 est un graphique qui présente les relations entre les modalités de chaque variable. La première dimension oppose les modalités « Pop_vuln_[35 ;40] », « Nb_vuln_[5 ;10] » (nombre d'équipements vulnérables), « Pat_sub_[2 ;3] » (patrimoine historique potentiellement submersible) et « Percp_vul_[3 ;4] » à « VIE_moy_[5 ;8] », « Sur_ZN_sub_[0 ;100] » et « Z_[0-3] » (altitude). En clair, elle oppose des secteurs conjuguant une importante population vulnérable, un nombre d'équipements et d'éléments patrimoniaux vulnérables ainsi qu'un nombre important de zones perçues comme potentiellement submersibles à des secteurs conjuguant altitudes basses, vulnérabilité du bâti très forte et part très importante de la surface totale classée en ZNIEFF et submersible. La deuxième dimension oppose « Nb_acc_[1 ;2] » (nombre de centres d'accueil), « VIE_moy_[0 ;1] », « Sur_ZN_sub_[0 ;10] », « Events_[0 ;1] », « Dens_[500 ;1000] », « cote.haute », « Z_[0-59] », « Z_[0-71,7] » et « Percp_vul_[0 ;1] » à toutes les autres modalités.

Plusieurs modalités ont les mêmes coordonnées (Annexe 3). C'est le cas pour « VIE_moy_[0 ;1] », « Sur_ZN_sub_[0 ;10] » et « Percp_vul_[0 ;1] ». Cela signifie qu'elles ont été prises par les mêmes individus.

Les coordonnées des modalités sont aussi utiles pour déterminer la position d'un individu sur le graphique. Ainsi, pour la variable « Densité », la modalité « [0;100] » a une coordonnée négative sur la première dimension tandis que la modalité « [500;1000] » a une coordonnée positive (Annexe 3). Cela signifie qu'un individu ayant une coordonnée négative sur la première dimension (c'est-à-dire à gauche sur le graphique) aura des densités de population faibles.

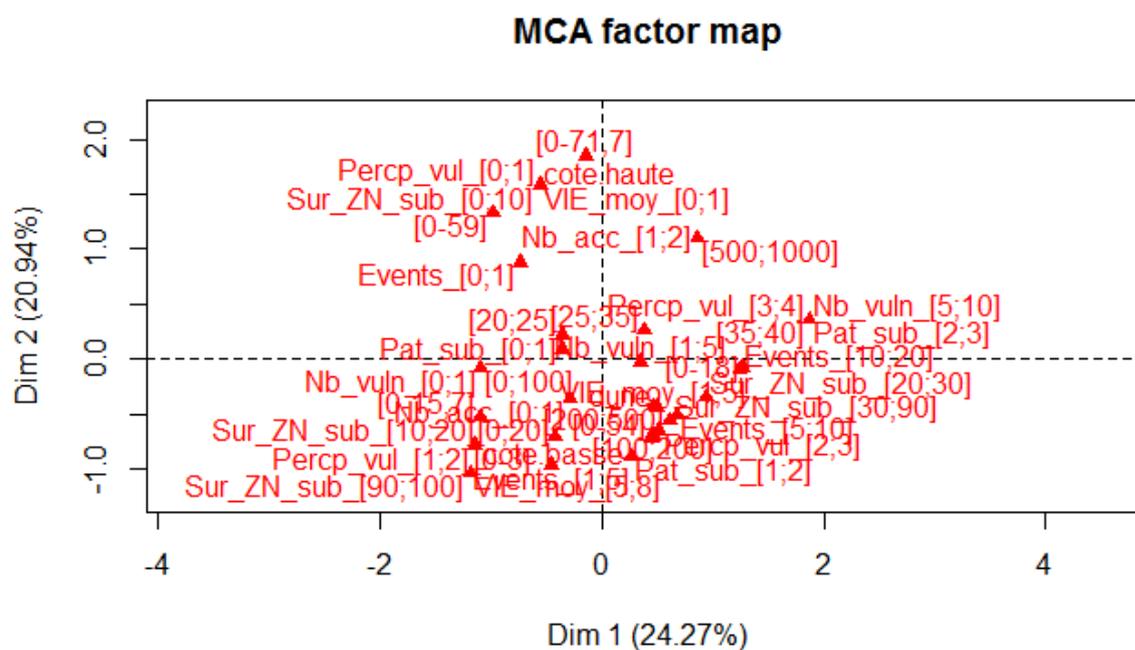


Figure 16 – Projection des modalités

La Figure 17 est un graphique qui présente les relations entre les individus (cf. Annexe 4 pour les coordonnées exactes). Nous pouvons discerner quatre groupes. Le premier est constitué de Leucate Village et du Plateau ; le second de Port Leucate seul ; le troisième de Leucate Plage, du Village naturiste et de La Franqui ; le quatrième de l'Ouest et des Coussoules. Les groupes ainsi constitués, nous allons maintenant définir les caractéristiques de chacun en superposant les deux graphiques.

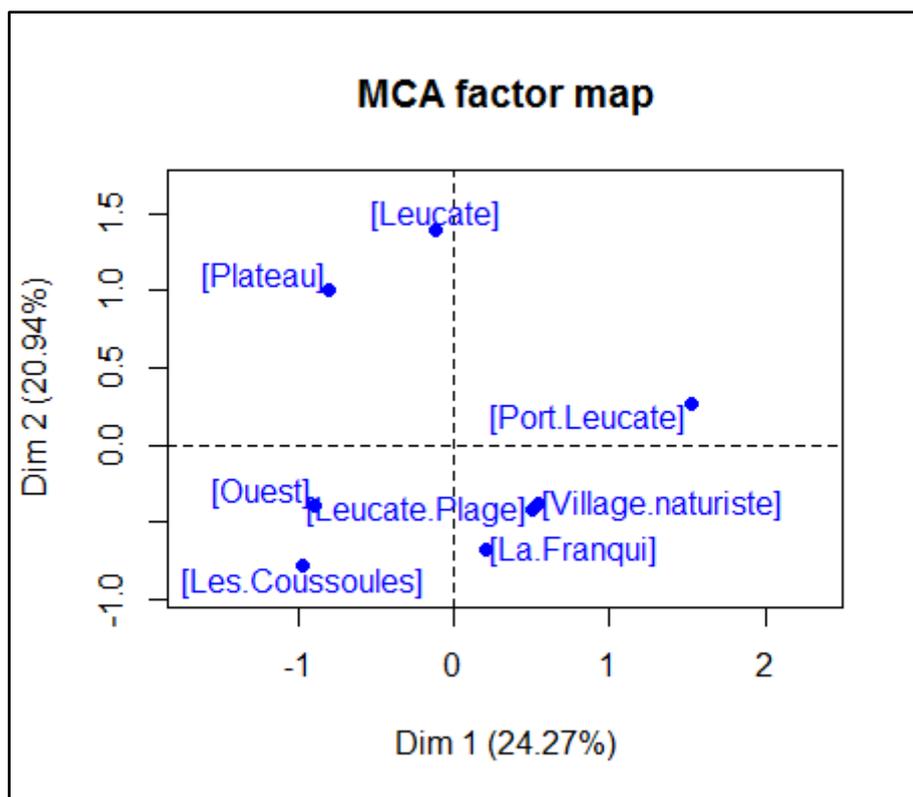


Figure 17 – Projection des huit secteurs

3.3.2 – Définition et caractéristiques des classes de vulnérabilité

Le Tableau 2 présente les quatre groupes en fonction de leur niveau de vulnérabilité. Chaque groupe possède des caractéristiques propres en fonction des modalités que les secteurs ont en commun.

Indicateur	Caractéristiques
Très fort	<ul style="list-style-type: none"> - Au moins 3 zones perçues comme potentiellement submersibles - Présence d'un cordon dunaire (altitude inférieure à 20 mètres) - Présence de ZNIEFF potentiellement submersible (entre 20 et 30 %) - Plus de 15 épisodes de submersion - Fortes densités (supérieures à 500 hab/km²) - Population vulnérable élevée (supérieure à 35 %) - Plus de 5 établissements vulnérables selon le PPRL - Au moins deux éléments du patrimoine historique potentiellement submersibles
Fort	<ul style="list-style-type: none"> - Au moins 2 zones perçues comme potentiellement submersibles - Présence de ZNIEFF potentiellement submersible (entre 25 et 40 %) - Entre 5 et 15 évènements survenus - Densités de population entre 100 et 500 hab/km² - Présence de côte basse ou de dune - Population vulnérable entre 20 et 30 % - Absence de centres d'accueil et entre 1 et 5 équipements vulnérables selon le PPRL
Moyen	<ul style="list-style-type: none"> - Présence de côte basse (altitude inférieure à 15 mètres) - Absence d'enjeux humains - Absence d'équipements vulnérables - Au moins 1 zone perçue comme potentiellement submersible
Faible	<ul style="list-style-type: none"> - Présence de côte haute - Aucune zone perçue comme potentiellement submersible - Aucun historique de submersion - Vulnérabilité du bâti quasi-nulle (Indice V.I.E. moyen inférieur à 1) - Absence de patrimoine (naturel et historique) potentiellement submersible

Tableau 2 – Les caractéristiques des classes de vulnérabilité

Le premier groupe rassemble les individus ayant un indicateur de vulnérabilité « très fort ». Ses caractéristiques conjuguent d'importants enjeux humains (fortes densités de population, part de la population vulnérable supérieure à 35 %) et patrimoniaux (entre 20 et 30 % de la surface totale classée en ZNIEFF et potentiellement submersible ainsi que deux éléments du patrimoine historique). Les secteurs de ce groupe ont également un important historique de submersion avec plus de 15 évènements recensés. Leur perception les rend aussi plus vulnérables puisque les populations locales identifient plus de 3 zones perçues comme potentiellement submersibles tandis que le PPRL recense plus de 5 établissements considérés comme vulnérables.

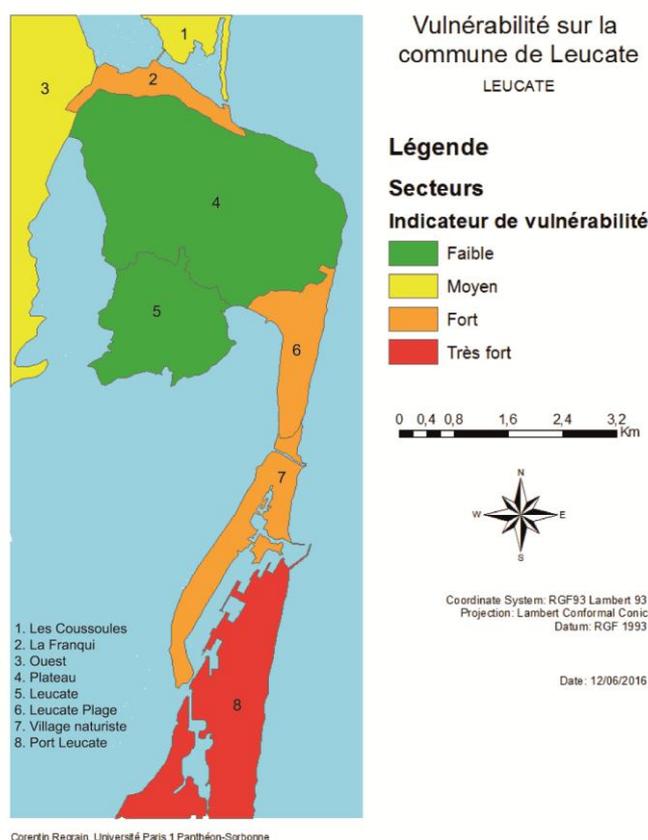
Le second groupe rassemble les secteurs ayant un indicateur de vulnérabilité « fort ». Il conserve des enjeux humains importants (part de la population vulnérable comprise entre 25 et 35 %, densités de population comprises entre 100 et 500 hab/km²). Les secteurs de ce groupe ont cependant un historique de submersion moindre (entre 5 et 15 évènements survenus), n'ont que 2 zones perçues comme potentiellement submersibles et entre 1 et 5 équipements vulnérables.

Le troisième groupe rassemble les individus ayant un indicateur de vulnérabilité « moyen ». Contrairement aux groupes précédents, celui-ci ne possède pas d'enjeux humains car ce sont des secteurs très peu habités. Épargnés par l'urbanisation, il n'y a donc ni centres d'accueil ni patrimoine historique submersible ni équipement vulnérable. Ces secteurs sont néanmoins vulnérables car ils sont situés à des altitudes basses (inférieures à 15 mètres) et ont une géomorphologie de type côte basse ou dunaire. La population locale perçoit également au moins une zone comme potentiellement submersible.

Le quatrième et dernier groupe rassemble les individus ayant un indicateur de vulnérabilité « faible ». Ces secteurs sont situés sur des côtes hautes, avec des altitudes dépassant les 50 mètres. De ce fait, ils sont épargnés de la submersion : aucun historique de submersion et pas de patrimoine (naturel et historique) potentiellement submersible. Ces secteurs n'ont toutefois pas un niveau de vulnérabilité « nul » car ils sont en contact direct avec la mer ou la lagune. De ce fait, certaines constructions sont en situation de vulnérabilité, ce qui fait que l'indice V.I.E. moyen est inférieur à 1 mais pas égal à 0.

3.3.3 – Estimation de la vulnérabilité par secteur

La Carte 18 présente les indicateurs de vulnérabilité pour chaque secteur de la commune par rapport aux résultats de l'analyse des correspondances multiples et au Tableau 2. Elle montre une forte hétérogénéité des niveaux de vulnérabilité entre les secteurs et met en avant des effets de site.



Carte 18 – Estimation de la vulnérabilité pour la commune de Leucate à partir des résultats de l’analyse des correspondances multiples et du Tableau 2

Le premier groupe, ayant un indicateur de vulnérabilité « très fort », ne contient que le secteur de Port Leucate. Celui-ci est également le plus peuplé de la commune, ce qui lui confère d’importants enjeux humains : une densité de 525,1 hab/km² et une population vulnérable qui représente 38,6 % de la population totale. Port Leucate est situé sur un cordon dunaire dont l’altitude varie jusqu’à 13 mètres NGF mais le point culminant du secteur est à 18 mètres NGF au niveau du pont reliant au village naturiste. Port Leucate a aussi le plus grand nombre d’évènements survenus avec 17 épisodes recensés depuis 1982. Le bâti de Port Leucate est le deuxième plus vulnérable de la commune avec un indice V.I.E. moyen de 4,99. De plus, la station possède les deux tiers des équipements vulnérables de la commune ainsi que deux villages de vacances potentiellement submersibles classés.

Le deuxième groupe, ayant un indicateur de vulnérabilité « fort », rassemble les deux autres stations balnéaires de La Franqui et Leucate Plage avec le Village naturiste. Ces

secteurs se ressemblent par leur caractère urbain. Ils ont des densités de population comprises entre 200 et 500 hab/km² sauf pour La Franqui qui est à 104,4 hab/km². La population vulnérable est comprise entre 25 et 35 % de la population totale sauf pour La Franqui qui est à 23,6 %. La zone bâtie s'étend sur un cordon dunaire ou une côte basse même si, pour Leucate Plage et La Franqui, on trouve des habitations sur les hauteurs du plateau à une cinquantaine de mètres. Ces secteurs ont tous un indice V.I.E. moyen compris entre 1 et 5 et à peu près un quart de leurs surfaces occupé par une ZNIEFF potentiellement submersible sauf pour Leucate Plage (40,4 %).

Le troisième groupe, ayant un indicateur de vulnérabilité « moyen », rassemble l'Ouest de Leucate et les Coussoules. Ces secteurs se démarquent de ceux des groupes précédents puisqu'ils ne sont pas habités de manière permanente et de ce fait, ne présentent pas d'enjeux humains. Cela réduit la vulnérabilité de ces secteurs qui ne sont pas très élevés (altitude inférieure à 15 mètres) et reposent sur une dune ou une côte basse. Dans le cas des Coussoules, cela réduit considérablement les poids de l'indice V.I.E. moyen (6,7) et la surface classée en ZNIEFF potentiellement submersible (99,99 % de la surface totale).

Le dernier groupe, ayant un indicateur de vulnérabilité « faible », rassemble le Plateau et Leucate Village. Les enjeux de ces secteurs reposent en grande partie sur un plateau calcaire dépassant fréquemment les 50 mètres de hauteur.

Conclusion

Nous avons estimé, au fil de cette étude, la vulnérabilité de la commune de Leucate face à la submersion marine en interprétant les résultats d'une analyse des correspondances multiples. Nous avons mesuré cette vulnérabilité à partir d'un panel de critères en lien avec la topographie, la population, le patrimoine, la perception du risque, l'historique de submersion et les documents d'urbanisme. Cette méthodologie, adaptée de travaux existants, tranche avec celles que l'on observe habituellement dans la littérature et qui s'appuient sur des critères physiques ou des facteurs démographiques ou parfois en conjuguant les deux.

Ainsi, notre étude a mis en lumière l'importance des enjeux humains et de la topographie dans notre diagnostic de vulnérabilité. De ce fait, Port Leucate se présente comme le secteur le plus vulnérable devant La Franqui, Leucate Plage et le Village naturiste qui sont déjà fortement vulnérables. À l'inverse, Leucate Village est situé sur les hauteurs du plateau calcaire, ce qui lui confère une vulnérabilité faible.

Ce travail présente néanmoins un biais qui dépend des critères que nous avons choisis. Ainsi, Pont (2015) trouvait un résultat différent : Leucate Plage était la zone la plus vulnérable, devant le Village naturiste puis Port Leucate. Nous voyons ici que la principale limite ressort du choix des critères qui fait obtenir des résultats différents. Il aurait été intéressant de voir si les résultats variaient en fonction du retrait d'un critère ou de l'ajout d'un nouveau tel que l'érosion ou les dysfonctionnements du réseau routier en cas de submersion marine. Nous aurions pu calculer certaines variables autrement comme utiliser l'indice V.I.E. médian au lieu de l'indice V.I.E. moyen ou calculer la surface que représentaient les zones perçues comme potentiellement submersibles plutôt que de les dénombrer. Peut-être l'estimation finale aurait été significativement différente.

Enfin, notre étude est une première estimation de la vulnérabilité relative à la submersion marine à partir de plusieurs critères sur la commune de Leucate et à l'état actuel. Dans cette perspective, il serait intéressant d'intégrer une dimension temporelle, dimension peu intégrée dans les travaux sur la vulnérabilité selon Cutter (1996). Dans cette optique, il suffirait de poursuivre cette étude en analysant l'évolution de la vulnérabilité jusqu'à aujourd'hui. De

même, nous pourrions envisager de prospecter sur l'évolution future de cette vulnérabilité en lien avec le changement climatique.

Bibliographie

Andrade C. A., Thomas Y. F., Nicolae Lerma A., Durand P., Anselme B. (2013). « Coastal Flooding Hazard Related to Swell Events in Cartagena de Indias, Colombia. » *Journal of Coastal Research* [En ligne]. p. 1126-1136. DOI : 10.2112/JCOASTRES-D-12-00028.1

Anselme B., Goeldner-Gianella L., Durand P. (2008). « Le risque de submersion dans le système lagunaire de La Palme (Languedoc, France) : nature de l'aléa et perception du risque. » *Colloque international pluridisciplinaire Les littoraux : subir, dire et agir* [En ligne]. Lille, France. pp.0. Disponible sur : < <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00322366> > (consulté le 19 novembre 2015)

Anselme B., Durand P., Thomas Y.-F., Nicolae-Lerma A. (2011). « Storm extreme levels and coastal flood hazards: A parametric approach on the French coast of Languedoc (district of Leucate). » *Comptes Rendus Geosciences* [En ligne]. Vol. 343, n°10, p. 677-690. DOI : 10.1016/j.crte.2011.07.006

Anselme B., Defossez S., Durand P., Elineau S., Goeldner-Gianella L., Longépée E., Lerma A. N. (2015). « Approche intégrée et opérationnelle du risque de submersion marine sur une commune littorale. » In : *Symposium international : Vulnérabilité des littoraux méditerranéens face aux changements environnementaux contemporains* [En ligne]. 6 p. Disponible sur : < <https://hal-brgm.archives-ouvertes.fr/hal-01255160/document> > (consulté le 12 mars 2016)

Bertrand F., Goeldner-Gianella L., Anselme B., Durand P., Thomas Y.-F., Sottolichio A., Sénéchal N. (2014). « L'aléa submersion marine sur la rive interne du Bassin d'Arcachon : exposition actuelle, cartographie prévisionnelle et capacité d'atténuation par la restauration des marais salés. » In : *Colloque International COCORISCO : Connaissance et compréhension des risques côtiers*, Brest, France, Actes du colloque, p. 124-134. Disponible sur : < <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01178154> > (consulté le 21 avril 2016)

Bertrand F., Goeldner-Gianella L., Decroix G. (2014). « Enjeux d'une cartographie du patrimoine côtier du fond du bassin d'Arcachon (Gironde, France). » *EchoGéo* [En ligne]. n°29. DOI : 10.4000/echogeo.13948

Cariolet J.-M., Suanez S., Meur-Férec C., Postec A. (2012). « Cartographie de l'aléa de submersion marine et PPR : éléments de réflexion à partir de l'analyse de la commune de Guissény (Finistère, France). » *Cybergeogeo*. n°586, p. 1-21. Disponible sur : < <https://cybergeogeo.revues.org/25077> > (consulté le 10 avril 2016)

Cazes-Duvat V. (2005). « Les archipels de l'ouest de l'océan indien face à l'érosion cotière (Mascareignes, Seychelles, Maldives). » *Annales de Géographie* [En ligne]. Vol. 114, n°644, p. 342-361. DOI : 10.3406/geo.2005.21251

Chevillot-Miot E., Creach A., Mercier D. (2013). « La vulnérabilité du bâti face au risque de submersion marine : premiers essais de quantification sur l'île de Noirmoutier (Vendée). » *Les cahiers nantais*. n°1, p. 5-14.

Chevillot-Miot E., Mercier D. (2014). « 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]. Vol. 14, n° 2, p. 1-23. DOI : 10.4000/vertigo.15110

Clark G. E., Moser S. C., Ratick S. J., Dow K., Meyer W. B., Emani S., Jin W., Kasperson J. X., Kasperson R. E., Schwarz H. E. (1998). « Assessing the Vulnerability of Coastal Communities to Extreme Storms: The Case of Revere, MA., USA » *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* [En ligne]. Vol. 3, n°1, p. 59-82. DOI : 10.1023/A:1009609710795

Clus-Auby C., Paskoff R., Verger F. (2004). *Impact du changement climatique sur le patrimoine du Conservatoire du Littoral : Scénarios d'érosion et de submersion à l'horizon 2100. Synthèse*. Rapport. 43 p.

Costa S. (1998). « Élévation du niveau marin et stratégies de réponse : le cas du littoral normano-picard. » *Annales de Géographie* [En ligne]. Vol. 107, n°600, p. 179- 200. DOI : 10.3406/geo.1998.20844

Créach A. (2015a). *Cartographie et analyse économique de la vulnérabilité du littoral atlantique français face au risque de submersion marine*. Vol. 1. Thèse de doctorat. 322 p.

Créach A. (2015b). *Cartographie et analyse économique de la vulnérabilité du littoral atlantique français face au risque de submersion marine*. Vol. 2. Thèse de doctorat. 250 p.

Créach A., Mercier D., Pardo S. (2014). « Identification et cartographie des zones à risque potentiellement mortel face à la submersion marine : l'indice de V.I.E. appliqué à La Faute-sur-Mer (Vendée, France). » *Connaissance et compréhension des risques côtiers : aléas, enjeux, représentations, gestion* [En ligne]. Brest, France : [s.n.]. Disponible sur : < <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01158187> >

Cutter S. L. (1996). « Vulnerability to environmental hazards. » *Progress in Human Geography* [En ligne]. Vol. 20, n°4, p. 529-539. DOI : 10.1177/030913259602000407

Cutter S. L., Mitchell J. T., Scott M. S. (2000). « Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina. » *Annals of the Association of American Geographers* [En ligne]. Vol. 90, n°4, p. 713-737. DOI : 10.1111/0004-5608.00219

DDTM Aude. (2016). *Plan de Prévention des risques littoraux – Commune de Leucate*. Note de présentation. 23 p.

De Pippo T., Donadio C., Pennetta M., Petrosino C., Terlizzi F., Valente A. (2008). « Coastal hazard assessment and mapping in Northern Campania, Italy. » *Geomorphology* [En ligne]. Vol. 97, n°3-4, p. 451-466. DOI : 10.1016/j.geomorph.2007.08.015

D'Ercole R., Thouret J.-C., Dollfus O., Asté J.-P. (1994). « Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse. » *Revue de Géographie Alpine* [En ligne]. Vol. 82, n°4, p. 87-96. DOI : 10.3406/rga.1994.3776

D'Ercole R., Pigeon P. (1999). « Geographical relevance of natural risk assessment on an international scale. » *Annales de Géographie* [En ligne]. Vol. 108, n°608, p. 339-357. DOI : 10.3406/geo.1999.21777

Desse R.-P. (1994). « Le Languedoc, le Roussillon et la mer des origines à la fin du XXe siècle (1960-1990): Rieucan (J.) et Cholvy (G.), 1992. Le Languedoc, le Roussillon et la mer:

des origines la fin du XXe siècle (1960-1990). » *Annales de Géographie* [En ligne]. Vol. 103, n°577, p. 334-335. DOI : 10.3406/geo.1994.13799

Di Paola G., Iglesias J., Rodríguez G., Benassai G., Aucelli P., Pappone G. (2011). « Estimating Coastal Vulnerability in a Meso-Tidal Beach by Means of Quantitative and Semi-Quantitative Methodologies. » *Journal of Coastal Research* [En ligne]. p. 303-308. DOI : 10.2112/SI61-001.30

DREAL Languedoc-Roussillon. (2012). *Guide régional d'élaboration des Plans de Prévention des Risques Littoraux Languedoc-Roussillon*. 24 p.

Ferrer P., Bujan N., Certain R., Leredde Y. (2008). « Caractérisation hydrodynamique sur un littoral à barres festonnées du golfe du Lion (Leucate, France): mesures in-situ et modélisation. » *Revue Paralia* [En ligne]. Xèmes journées Génie Civil-Génie Côtier, n°14-16, Sophia-Antipolis, p. 71-80. DOI : 10.5150/jngcgc.2008.007-F

GIEC. (2013). *Changements climatiques 2013 – Les éléments scientifiques*. 5^{ème} rapport d'évaluation du GIEC. 34 p.

Gornitz V. (1991). « Global coastal hazards from future sea level rise. » *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* [En ligne]. Vol. 89, n°4, p. 379-398. DOI : 10.1016/0031-0182(91)90173-O

Hellequin A.-P., Flanquart H., Meur-Ferec C., Rulleau B. (2013). « Perceptions du risque de submersion marine par la population du littoral languedocien : contribution à l'analyse de la vulnérabilité côtière. » *Natures Sciences Sociétés* [En ligne]. Vol. 21, n°4, p. 385-399. DOI : 10.1051/nss/2014002

Hénaff A., Philippe, M. (2014). *Gestion des risques d'érosion et de submersion marine : guide méthodologique*. Alain Hénaff, Géomer, Brest. Projet Cocorisco. 156p.

Heurtefeux H., Sauboua P., Lanzellotti P. (2012). « Évaluation de la vulnérabilité du littoral de l'Hérault à la submersion marine » *XIIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil* [En ligne]. p. 925-932. DOI:10.5150/jngcgc.2012.101-H

Heyd T., Dupuis I. (2012). « Réponses culturelles aux changements rapides de la nature. » *Vertigo - Revue Électronique En Science Environnementale* [En ligne]. DOI : 10.4000/vertigo.11526

IGN. (2011). *BD TOPO – Version 2.1 : Description du contenu*. 2^{ème} édition, janvier 2014.

INSEE. (2013). *Données carroyées à 200 mètres : Liste et description des variables*. 2 p.

Jousseaume V., Landrein J., Mercier D. (2009). Évaluer la vulnérabilité architecturale de l’habitat en zone inondable. In *Risques et environnement: recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés*. L’Harmattan. Paris. p. 199-214

Larue J.-P., Bouabdallah M., Étienne R. (2009). « Un littoral sableux en progradation : le lido entre Leucate et Port-la-Nouvelle (Aude, Golfe du Lion, France). » *Physio-Géo* [En ligne]. Vol. 3, p. 151-173. DOI : 10.4000/physio-geo.915

Leone F., Vinet F., (2006). « La vulnérabilité, un concept fondamental au cœur des méthodes d’évaluation des risques naturels. In Leone F., Vinet, F. (dir.), *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles-Analyses géographiques*. Montpellier : Presses Universitaires de la Méditerranée, p. 9-26.

Leone F., Lavigne F., Paris R., Denain J.-C., Vinet F. (2011). « A spatial analysis of the December 26th, 2004 tsunami-induced damages: Lessons learned for a better risk assessment integrating buildings vulnerability. » *Applied Geography* [En ligne]. Vol. 31, n°1, p. 363-375. DOI : 10.1016/j.apgeog.2010.07.009

Leucate. (2013). *Plan communal de sauvegarde*. Guide d’information et de prévention. 5 p.

Lévy J., Lussault M. (2013). *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*. Belin. 1034 p.

Liu S. K. (1997). « Using coastal models to estimate effects of sea level rise. » *Ocean Coastal Management* [En ligne]. Vol. 37, n°1, p. 85-94. DOI : 10.1016/S0964-5691(97)00009-4

Longepée E., Goeldner-Gianella L., Defossez S., Gherardi M., Anselme B., Durand P., Nicolae Lerma A., Elineau S. (2015). « Perception, représentation et gestion du risque de submersion marine sur la côte languedocienne française : le cas de la station balnéaire récente

de Leucate. » *Actes du Colloque international « Vulnérabilité des littoraux méditerranéens face aux changements environnementaux contemporains »*. Archipel des Kerkennah, Sfax (Tunisie). 7 p.

Martin R. (1977). « Évolution de deux lagunes du Roussillon depuis le maximum marin holocène. » *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire* [En ligne]. Vol. 14, n°4, p. 108-111. DOI : 10.3406/quate.1977.1325

Mercier D., Chadenas C. (2012). « La tempête Xynthia et la cartographie des « zones noires » sur le littoral français : analyse critique à partir de l'exemple de La Faute-sur-Mer (Vendée). » *Norois* [En ligne]. n°222, p. 45-60. DOI : 10.4000/norois.3895

Meur-Ferec C., Flanquart H., Hellequin A.-P., Rulleau B. (2011). « Risk perception, a key component of systemic vulnerability of coastal zones to erosion-submersion. Case study on the French Mediterranean coast. » In : *Littoral 2010 – Adapting to Global Change at the Coast: Leadership, Innovation and Investment 2011* [En ligne]. United Kingdom : 2010. pp. 8. DOI : 10.1051/litt/201110003

Morel V. (2006). « Regard rétrospectif sur l'étude des risques en géographie à partir des publications universitaires (1980-2004). » *L'Information Géographique*. Vol. 70, n°1, p. 6-24.

Nicolae Lerma A., Paris F., Elineau S., Balouin Y., Lecacheux S., Durand P., Anselme B., Longepe E., Defossez S., Goeldner Gianella L. (2015). « Modélisation numérique de l'aléa de submersion appliquée à l'élaboration des plans d'évacuation et à la gestion de crise, exemple de la commune de Leucate. » 3rd Coastal And Maritime Mediterranean Conference, Ferrare, Italie. <http://www.paralia.fr>. p. 219-224. DOI : 10.5150/cmcm.2015.043

Nicolae Lerma A., Thomas Y.-F., Durand P., Anselme B., Andrade C. (2013). « Modélisation de submersions marines et leur validation par observation vidéo à Carthagène des Indes, Colombie. » *Géomorphologie Relief Processus Environnement* [En ligne]. n°4/2013, p. 481-498. DOI : 10.4000/geomorphologie.10417

ONML. (2011a). *Indicateur : perspectives d'évolution de la population des départements littoraux à l'horizon 2040*. MEDDTL-SOeS, 5 p.

ONML. (2011b). *Indicateur : population présente tout au long de l'année dans les départements littoraux métropolitains*. MEDDTL-SOeS, 5 p.

Paskoff R. (1998). « Conséquences possibles sur les milieux littoraux de l'élévation du niveau de la mer prévue pour les prochaines décennies. » *Annales de Géographie* [En ligne]. Vol. 107, n°600, p. 233-248. DOI : 10.3406/geo.1998.20847

Perherin C., Roche A., Pons F., Roux I., Desire G., Boura C. (2010). « Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux ». XIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil. 8 p.

Pont C. (2015). *Aborder et caractériser le risque de submersion marine sur les littoraux sableux méditerranéens : l'exemple de la commune de Leucate*. Mémoire de M1. 150 p.

Purvis M. J., Bates P. D., Hayes C. M. (2008). « A probabilistic methodology to estimate future coastal flood risk due to sea level rise. » *Coastal Engineering* [En ligne]. Vol. 55, n°12, p. 1062-1073. DOI : 10.1016/j.coastaleng.2008.04.008

Reghezza M. (2006). « La vulnérabilité : un concept problématique ». In Leone F., Vinet, F. (dir.), *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles-Analyses géographiques*. Montpellier : Presses Universitaires de la Méditerranée, p. 35-39.

Robin M. (2002). « Étude des risques côtiers sous l'angle de la géomatique. » *Annales de Géographie* [En ligne]. Vol. 111, n°627, p. 471-502. DOI : 10.3406/geo.2002.21625.

Robin M., Gourmelon F. (2005). « La télédétection et les SIG dans les espaces côtiers. Eléments de synthèse à travers le parcours de François Cuq. » *Noroi* [En ligne]. n°196, p. 11-21. DOI : 10.4000/noroi.368.

Rouchès M. (2016, à paraître). *Risques réels et risques perçus sur la commune de Leucate*. Mémoire de M1. pp.

Rulleau B., Rey-Valette H., Flanquart H., Hellequin A.-P., Meur-Férec C. (2015). « Perception des risques de submersion marine et capacité d'adaptation des populations littorales. » *VertigO - Revue électronique en science environnementale*. [En ligne]. Hors-série 21., DOI : 10.4000/vertigo.15811

Rygel L. (2006). « A Method for Constructing a Social Vulnerability Index: An Application to Hurricane Storm Surges in a Developed Country. » *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* [En ligne]. Vol. 11, n°3, p. 741-764. DOI : 10.1007/s11027-006-0265-6

SMNLR. (2003). *Analyse de la tempête marine du 4 décembre 2003*. Rapport de présentation. 20 p.

Suanez S., Fichaut B., Sparfel L. (2007). « Méthode d'évaluation du risque de submersion des côtes basses appliquée à la plage du Vougot, Guissény (Bretagne) » *Géomorphologie : relief, processus, environnement*. n°4, p. 319-334. DOI : 10.4000/geomorphologie.4582.

Tricot A. (2012). *Capacités d'adaptation des sociétés littorales aux risques d'érosion-submersion en prise avec les changements climatiques* [En ligne]. [s.l.] : [s.n.]. Disponible sur : < <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00803599/document> > (consulté le 18 avril 2016)

Uda T. (2009). « Beach Erosion Arising From Anthropogenic Factors ». [s.l.] : *World Scientific*. p. 1-17. ISBN : 978-981-4282-46-8.

Veyret Y., Reghezza M. (2006). « Vulnérabilité et risques. L'approche récente de la vulnérabilité. » *Responsabilité & Environnement*. n°43, p. 9-14. Disponible sur : < <http://www.anales.org/re/2006/resumes/juillet/01-re-resum-FR-AN-AL-ES-juillet-2006.html#01FR> > (consulté le 30 janvier 2016)

Vinchon C., Agenais A.-L., Baron-Yelles N., Berthelie E., Herivaux C., Maton L., Meur-Ferec C., Valette H. R., Balouin Y., Charles J. C., Delavalee E., Flanquart H., Garcin M., Hellequin A.-P., Krien Y., Kuhfuss L., Lecacheux S., Cozannet G. L., Marche F., Mazeiraud V., Pedreros R., Poisson B., Romieu E., Rulleau B. (2011). « MISEEVA: set up of a transdisciplinary approach to assess vulnerability of the coastal zone to marine inundation at regional and local scale, within a global change context. » *Littoral 2010*. DOI : 10.1051/litt/201111003

Vinchon C., Aubie S., Balouin Y., Closset L., Garcin M., Idier D., Mallet C. (2009). « Anticipate response of climate change on coastal risks at regional scale in Aquitaine and

Languedoc Roussillon (France). » *Ocean Coastal Management* [En ligne]. Vol. 52, n°1, p. 47-56. DOI : 10.1016/j.ocecoaman.2008.09.011

Vinet F. (2003). *Crues et inondations dans la France méditerranéenne. Les crues torrentielles des 12 et 13 novembre 1999 (Aude, Tarn, Pyrénées Orientales et Hérault)*, Éditions du Temps, Nantes, 224 p.

Vinet F., Boissier L., Defossez S. (2011). « La mortalité comme expression de la vulnérabilité humaine face aux catastrophes naturelles : deux inondations récentes en France (Xynthia, var, 2010). » *VertigO - Revue Électronique En Science Environnementale* [En ligne]. Vol. 11, n°2, p. 1-28. DOI : 10.4000/vertigo.11074

Vinet F., Defossez S., Rey T., Boissier L. (2012). « Le processus de production du risque « submersion marine » en zone littorale : l'exemple des territoires « Xynthia ». » *Norôis* [En ligne]. n°222, p.11-26. DOI : 10.4000/norôis.3834

Vinet, F, Leone F. (2015). « Opportunités et limites de la réduction de la vulnérabilité du bâti privatif face aux inondations : résultats des enquêtes menées par le Master 2 GCRN à Montpellier ». Actes du 11ème colloque Géorisque. Montpellier : Master GCRN et UMR GRED. 2015. p. 121-131.

Sitographie

INPN. « Liste des ZNIEFF – Commune : Leucate » [En ligne]. Disponible sur : <https://inpn.mnhn.fr/collTerr/commune/11202/tab/znieff> (Consulté le 19 juin 2016).

INSEE. « Données carroyées à 200 mètres » [En ligne]. Disponible sur : http://www.insee.fr/fr/themes/detail.asp?reg_id=0&ref_id=donnees-carroyees&page=donnees-detaillees/donnees-carroyees/donnees-carroyees-200m.htm (Consulté le 19 juin 2016).

Littoral Languedoc Roussillon. « Tempêtes » [En ligne]. Disponible sur : http://littoral.languedocroussillon.fr/?page=tempetes&var_mode=recalcul (Consulté le 19 juin 2016).

Météo France. « Les vagues-submersion » [En ligne]. Disponible sur : <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/phenomenes-meteo/les-vagues-submersions> (Consulté le 19 juin 2016).

Prim.net. « Ma commune face au risque majeur » [En ligne]. Disponible sur : http://macommune.prim.net/d_commune.php?insee=11202 (Consulté le 19 juin 2016).

Programme CRISSIS. (4 mai 2015). « Contexte » [En ligne]. Disponible sur : <http://crisis2015.free.fr/?p=9> (Consulté le 19 juin 2016).

Table des figures

Figure 1 – Estimation de la vulnérabilité sociale pour la région de Hampton Roads (Virginie) (source : Rygel, 2006)	25
Figure 2 – Évolution des risques d'érosion et de submersion marine sur le littoral languedocien (source : Vinchon et al., 2009)	29
Figure 3 – Les dix critères retenus pour l'étude de la vulnérabilité des communes des Pays de la Loire (source : Chevillot-Miot et Mercier, 2014)	32
Figure 4 – Architecture de l'indice V.I.E. (source : Créach et al., 2014).....	34
Figure 5 – Profils topographiques du lido de Port Leucate	41
Figure 6 – Résultats du critère 1 : hauteurs d'eau potentielles.....	53
Figure 7 – Résultats du critère 2 : distance aux ouvrages de protection.....	54
Figure 8 – Résultats du critère 3 : typologie architecturale des constructions	55
Figure 9 – Résultats du critère 4 : proximité d'une zone refuge	55
Figure 10 – Mémoire des anciennes submersions marines à Leucate Plage	72
Figure 11 – Mémoire des anciennes submersions marines au Village naturiste	72
Figure 12 – Mémoire des anciennes submersions marines à Port Leucate	73
Figure 13 – La perception des zones potentiellement submersibles à Leucate Plage	76
Figure 14 – La perception des zones potentiellement submersibles au village naturiste	76
Figure 15 – La perception des zones potentiellement submersibles à Port Leucate	77
Figure 16 – Projection des onze variables de vulnérabilité	79
Figure 17 – Projection des huit secteurs	80
Figure 18 – Projection des onze variables de vulnérabilité	104

Table des cartes

Carte 1 – Localisation de Leucate dans ses limites administratives.....	12
Carte 2 – Topographie de la commune de Leucate obtenue à partir du Modèle Numérique de Terrain40	
Carte 3 – Géomorphologie des côtes de Leucate obtenue à partir du MNT.....	42
Carte 4 - Le découpage utilisé pour l'évaluation de la vulnérabilité.....	49
Carte 5 - Vulnérabilité du bâti à La Franqui.....	57
Carte 6 - Vulnérabilité du bâti à Leucate Plage.....	58
Carte 7 - Vulnérabilité du bâti à Port Leucate (partie nord).....	59
Carte 8 – Vulnérabilité du bâti à Port Leucate (partie sud).....	60
Carte 9 – Part de la population vulnérable par secteur.....	62
Carte 10 – Densités de population par secteur.....	63
Carte 11 – Localisation des ZNIEFF et sites Natura 2000 concernés par la submersion marine.....	65
Carte 12 – Part de la surface totale classée en ZNIEFF et potentiellement submersible par secteur	66
Carte 13 - Localisation des impacts (non exhaustifs) liés à des tempêtes ou des épisodes de submersion marine dans les secteurs de La Franqui et des Coussoules.....	69
Carte 14 - Localisation des impacts (non exhaustifs) liés à des tempêtes ou des épisodes de submersion marine à Leucate Plage.....	70
Carte 15 - Localisation des impacts (non exhaustifs) liés à des tempêtes ou des épisodes de submersion marine à Port Leucate.....	71
Carte 16 – Éloignement aux centres d'accueil en cas d'évacuation.....	74
Carte 17 – Éloignement au complexe sportif de Leucate en cas d'évacuation.....	75
Carte 18 – Estimation de la vulnérabilité pour la commune de Leucate à partir des résultats de l'analyse des correspondances multiples et du Tableau 2.....	83

Table des tableaux

Tableau 1 – Le zonage réglementaire retenu pour la commune de Leucate (source : PPRL, 2016).....	45
Tableau 2 – Les caractéristiques des classes de vulnérabilité	81
Tableau 3 – Coordonnées des modalités	105
Tableau 4 – Coordonnées des individus	106

Table des matières

Remerciements.....	3
Liste des sigles	5
Sommaire.....	7
Introduction	9
Première partie : État des lieux concernant la recherche sur les risques....	13
1.1 – Historique de la géographie du risque : évolution des modes de pensées et inclusion de la géomatique	13
1.1.1 – L'évolution des travaux sur les risques.....	13
1.1.2 – Le développement parallèle de la géomatique et son insertion dans l'étude des risques côtiers.....	15
1.2 – Évolution du concept de vulnérabilité	17
1.2.1 – La formulation d'un concept.....	17
1.2.2 – Un concept aux approches multiples	17
1.2.3 – Appréhender les études sur l'évaluation de la vulnérabilité	20
1.3 – Ce que l'on sait sur la submersion marine	22
1.3.1 – L'aléa et sa modélisation.....	22
1.3.2 – Les études sur la vulnérabilité.....	23
1.3.3 – L'état de la recherche en Languedoc-Roussillon et sur Leucate	26
Deuxième partie : Définir des critères pour évaluer la vulnérabilité.....	31
2.0 – Introduction et axes méthodologiques	31
2.1 – Les critères de vulnérabilité concernant les enjeux : « composante essentielle de la vulnérabilité » (Hénaff et Philippe, 2014).....	33
2.1.1 – La vulnérabilité du bâti	33
2.1.2 – Les enjeux humains.....	36
2.1.3 – Les enjeux non humains : la question du patrimoine.....	38
2.2 – Les autres critères de vulnérabilité	39

2.2.1 – Les critères physiques	39
2.2.2 – Les archives historiques	42
2.2.3 – Les documents de gestion	43
2.2.4 – La question de la perception	46
2.3 – Préparer l'évaluation de la vulnérabilité à l'échelle communale	48
2.3.1 – Pourquoi et comment découper la commune ?	48
2.3.2 – Préparer les données pour le découpage mis en place	49
2.3.3 – Réalisation d'une ACM avec le logiciel R	50
Troisième partie : Estimer la vulnérabilité à Leucate	53
3.1 – Vulnérabilité des enjeux.....	53
3.1.1 – Vulnérabilité du bâti	53
3.1.2 – Vulnérabilité humaine.....	61
3.1.3 – Vulnérabilité du patrimoine	63
3.2 – Vulnérabilité des autres critères	68
3.2.1 – Archives historiques.....	68
3.2.2 – Documents de gestion	73
3.2.3 – Zones perçues comme potentiellement submersibles	75
3.3 – Vulnérabilité à l'échelle de Leucate	78
3.3.1 – Résultats de l'analyse des correspondances multiples.....	78
3.3.2 – Définition et caractéristiques des classes de vulnérabilité	80
3.3.3 – Estimation de la vulnérabilité par secteur	82
Conclusion	85
Bibliographie.....	87
Sitographie	96
Table des figures.....	97
Table des cartes	98
Table des tableaux.....	99
Table des matières	100

Annexes..... 103

Fiche réalisée pour la tempête du 5-7 mars 2013 à Leucate 103

Résultats complémentaires de l'analyse des correspondances multiples..... 104

Annexes

Fiche réalisée pour la tempête du 5-7 mars 2013 à Leucate

5-7 mars 2013	Leucate	2013-2
---------------	---------	--------

Type : Inondations et chocs mécaniques liés à l'action des vagues

http://macommune.prim.net/d_commune.php?insee=11202

- **Caractéristiques**

<http://littoral.languedocroussillon.fr/fichetempete/pages/tempete.jsf?tid=20081107>

Données de vent : 102 km/h à Leucate (SYNOP)

Données de pression : 994 hPa à Leucate (SYNOP)

Données de houle : hauteur max de 11,4 m à Leucate (SYNOP)

Mesures de précipitation : 1,8 mm à Leucate (SYNOP)

- **Dégâts**

<http://littoral.languedocroussillon.fr/fichetempete/pages/tempete.jsf?tid=20081107>
<http://kincha.free.fr/photos%20Linsolite.htm>

« Commentaire submersion : Plage entièrement recouverte. » (Leucate-Plage)

Inondations à Leucate Plage sur le front de mer à cause de la rupture d'un muret (reportage TF1). Un habitant dit : « J'ai jamais vu ça ».

Inondations à Port Leucate (vidéos Youtube)

Inondations dans les lotissements de Leucate Plage, côté est (Résidence La Goëlette).

Jusqu'à 60 centimètres d'eau par endroit. Certaines personnes ont dû être évacuées et sont regroupées dans un gymnase. (France 2)

Résultats complémentaires de l'analyse des correspondances multiples

La Figure 18 est un graphique qui présente les relations entre les variables. Le premier axe (Dim 1) est principalement lié à trois variables : zones perçues comme potentiellement submersibles (« Percp_vul », $R^2=0,94$), nombre d'équipements vulnérables (« Nb_vuln », $R^2=0,94$) et population vulnérable (« Pop_vul », $R^2=0,85$). Le second axe (Dim 2) est principalement lié à trois variables : zones perçues comme potentiellement submersibles ($R^2=0,96$), vulnérabilité du bâti (« VIE_moy », $R^2=0,88$) et géomorphologie des côtes (« Geomorph », $R^2=0,85$). En outre, la variable la plus structurante est liée à la perception.

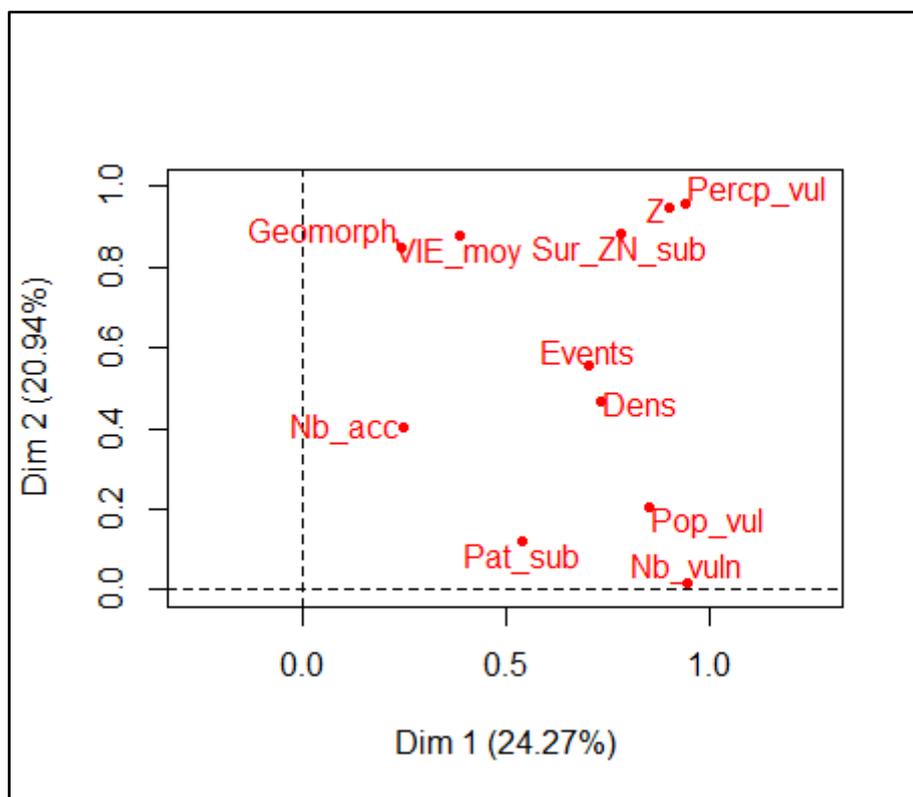


Figure 18 – Projection des onze variables de vulnérabilité

Modalité	Dimension 1	Dimension 2
[0;20]	-1.14491635788517	-0.783750509960557
[20;25]	-0.361952141006956	0.217311313437036
[25;35]	0.382051611527257	0.25923711696892
[35;40]	1.86758216320247	0.355167042140282
Nb_acc_[0;1]	-0.287703466490083	-0.366472529033971
Nb_acc_[1;2]	0.86311039947025	1.09941758710191
Nb_vuln_[0;1]	-1.09128754002971	-0.080977893940709
Nb_vuln_[1;5]	0.351570114221667	-0.0280583400795388
Nb_vuln_[5;10]	1.86758216320247	0.355167042140282
VIE_moy_[0;1]	-0.562695634290389	1.58411773508127
VIE_moy_[1;5]	0.462796663101193	-0.425828002270156
VIE_moy_[5;8]	-1.18859204692519	-1.03909545881175
Sur_ZN_sub_[0;10]	-0.562695634290389	1.58411773508127
Sur_ZN_sub_[10;20]	-1.10124066884514	-0.528405561109365
Sur_ZN_sub_[20;30]	0.933939577013048	-0.347752939622328
Sur_ZN_sub_[30;90]	0.613405253311967	-0.557475631374433
Sur_ZN_sub_[90;100]	-1.18859204692519	-1.03909545881175
Pat_sub_[0;1]	-0.354617964251228	0.0891296115141053
Pat_sub_[1;2]	0.260125622304896	-0.889944711224914
Pat_sub_[2;3]	1.86758216320247	0.355167042140282
Events_[0;1]	-0.742210645808641	0.879943303017722
Events_[1;5]	-0.464233212310146	-0.964520085018332
Events_[10;20]	1.24049370825722	-0.101154294617075
Events_[5;10]	0.674110945531777	-0.508481149782352
[0;100]	-1.09128754002971	-0.0809778939407091
[100;200]	0.467118283918336	-0.699212930503633
[200;500]	0.613405253311967	-0.557475631374433
[500;1000]	0.86311039947025	1.09941758710191
cote.basse	-0.420557523270124	-0.70917513616714
cote.haute	-0.562695634290389	1.58411773508127
dune	0.491626578780257	-0.437471299457063
[0-15,7]	-1.10124066884514	-0.528405561109365
[0-18]	1.27084655436712	-0.0766570538210348
[0-3]	-1.18859204692519	-1.03909545881175
[0-54]	0.436765437808432	-0.723710171299673
[0-59]	-0.984029904318807	1.32456733809899
[0-71,7]	-0.141361364261971	1.84366813206354
Percp_vul_[0;1]	-0.562695634290389	1.58411773508127
Percp_vul_[1;2]	-1.14491635788517	-0.783750509960557
Percp_vul_[2;3]	0.515880607049547	-0.651967164127233
Percp_vul_[3;4]	1.86758216320247	0.355167042140282

Tableau 3 – Coordonnées des modalités

Secteur	Dimension 1	Dimension 2
[Les.Coussoules]	-0.966954925404054	-0.78515878416108
[La.Franqui]	0.211619918173108	-0.672457858910272
[Leucate.Plage]	0.499023388632905	-0.421238381149231
[Leucate]	-0.115001667551586	1.39310803130917
[Plateau]	-0.800537547922731	1.00086635150014
[Ouest]	-0.895891985437531	-0.399272525335658
[Village.naturiste]	0.548409271908718	-0.38421729009237
[Port.Leucate]	1.51933354760117	0.268370456839299

Tableau 4 – Coordonnées des individus