



HAL
open science

Un système d'information foncière pour gérer le risque d'inondation : expérimentation à Praia (cap vert)

Romualdo de Barros Correia

► To cite this version:

Romualdo de Barros Correia. Un système d'information foncière pour gérer le risque d'inondation : expérimentation à Praia (cap vert). Etudes de l'environnement. Université d'Avignon, 2019. Français. NNT : 2019AVIG1198 . tel-02886527

HAL Id: tel-02886527

<https://theses.hal.science/tel-02886527>

Submitted on 1 Jul 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



THÈSE DE DOCTORAT D'AVIGNON UNIVERSITÉ

École Doctorale N° 537 Culture et patrimoine

Spécialité : Géographie économique, physique, humaine et régionale

Laboratoire : UMR ESPACE 7300 CNRS

Présentée par

Romualdo de Barros CORREIA

UN SYSTEME D'INFORMATION FONCIERE POUR GERER LE RISQUE D'INONDATION

Expérimentations à Praia (Cap-Vert)

Soutenue publiquement le 18/12/2019, devant le jury composé de :

M. CUNHA Lúcio	Professeur, Université de Coimbra (Portugal)	Rapporteur
Mme DAVOINE Paule-Annick	Professeure, Université Grenoble Alpes, UMR PACTE	Rapporteure
M. DOUVINET Johnny	MCF-HDR, Avignon Université, UMR ESPACE	Co-directeur de thèse
M. GRASLAND Loïc	Professeur, Avignon Université, UMR ESPACE	Directeur de thèse
M. LEONE Frédéric	Professeur, Univ. Paul Valéry-Montpellier 3, UMR GRED	Examineur
Mme PROVITOLLO Damienne	Chargée de recherche CNRS, UMR Géoazur	Examinatrice



Sommaire

SOMMAIRE	3
RESUME	4
ABSTRACT	5
REMERCIEMENTS	7
SIGLE ET ABREVIATIONS.....	8
INTRODUCTION GENERALE.....	9
PARTIE I - LE RISQUE INONDATION AU CAP-VERT ET EN PARTICULIER A PRAIA : UNE PREOCCUPATION SOCIETALE TRES TARDIVE	19
INTRODUCTION DE LA PARTIE I.....	20
CHAPITRE 1 – ÉVALUER LE RISQUE : CADRAGE THEORIQUE ET TERMINOLOGIQUE	21
CHAPITRE 2 – L'ENDOMMAGEMENT : UN INDICATEUR A EVALUER A TRAVERS LES ECHELLES	52
CHAPITRE 3 – PRAIA : UN TERRITOIRE CUMULANT DES VULNERABILITES MULTIFORMES.....	74
CONCLUSIONS INTERMEDIAIRES.....	105
PARTIE II - CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DES VULNERABILITES A L'AIDE D'UN SYSTEME D'INFORMATION FONCIERE (SIF).....	107
INTRODUCTION DE LA PARTIE II.....	108
CHAPITRE 4 – POURQUOI PROPOSER UN SYSTEME D'INFORMATION FONCIERE (SIF) A REFERENCE SPATIALE ?.....	109
CHAPITRE 5 - CONCEPTION DU SYSTEME ET PREMIER RESULTATS OBTENUS.....	141
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS	185
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	189
TABLE DES MATIERES.....	195
TABLE DES ILLUSTRATIONS	198
TABLE DES TABLEAUX	200
ANNEXES	201

Résumé

Les phénomènes extrêmes associés au changement climatique sont devenus un sujet de recherche majeur, à cause notamment du coût des dégâts (économiques, humains, sociaux et environnementaux), qui ont un impact négatif sur les PIB et dont les pays les plus pauvres ont le plus à souffrir. De manière plus localisée, la ville de Praia, capitale du Cap-Vert, est confrontée à différentes catastrophes et en particulier aux crues rapides, des aléas qui se manifestent entre juillet et août, suite à des pluies intenses, et qui ont tendance à s'intensifier. Ces inondations, aggravées par la conquête d'espaces urbanisés dans des zones à risque, notamment les fonds de vallées et des secteurs à forte pente, augmentent le niveau d'exposition des riverains. Ces derniers sont aussi vulnérables car certains habitent dans des habitats précaires clandestins. Face à un tel constat, cette recherche propose de créer et de déployer un prototype de Système d'Information Foncière cadastrale, à référence spatiale, pour proposer des indices de risque du bâti face aux crues rapides et pour accroître les connaissances de l'administration foncière. Le système se structure autour de deux aspects: une composante « gisweb mobile », qui permet la collecte électronique de données depuis le terrain, favorisant ainsi la participation des ménages dans le processus d'évaluation de leur risque et leur propre vulnérabilité, tout en permettant la collecte *in situ* ; une composante « station de travail » (*workstation*), permettant le traitement et la diffusion d'informations sur les risques tout en envisageant la gestion du risque à l'échelle de la ville. Pour ce faire, les langages *html*, *JavaScript* et *CSS* et les technologies open source (*Google API*, *PostgreSQL/PostGIS*, le langage *PHP*, *OpenLayers 3*, logiciel *QGIS*, *Geoserver*) ont été utilisées, pour rendre l'outil à la fois transposable et opérationnel. On a pu constater d'après l'échantillon enquêté que le niveau de risque des logements face aux crues rapides est important (33%), et il s'explique essentiellement par la vulnérabilité géographique et environnementale des constructions associée à la précarité socioéconomique des foyers.

Mots clés : vulnérabilités, risques, système d'information foncière, évaluation

Abstract

Cadastral Information System for flood risk management. Experiments in Praia, Cape Verde

Extreme disasters related to climate change have become an increasing research topic, particularly due to the cost of damage (economic, human, social and environmental), which has a negative impact on GDP and from which the poorest countries suffer most. More locally, the city of Praia, the capital of Cape Verde, has to face to various disasters, especially flash floods. These hazards occur between July and August, following heavy rains, and tend to intensify. These floods, aggravated by the conquest of urbanized areas in high-risk areas, in valley bottoms and steeply sloping areas, increase the level of exposure of residents. The latter are also vulnerable because someone's live in precarious illegal habitats. In response to this situation, this research proposes to create, test and deploy a prototype cadastral Land Information System, with spatial reference, to propose indicators of the risk of buildings in the face of rapid flooding and to increase the knowledge of land administration. The system is structured around two aspects: a "mobile gisweb" component, which allows electronic data collection from the field, thus promoting the participation of households in the process of assessing their own risk and vulnerability, while allowing in situ collection; and a "workstation" component, allowing the processing and dissemination of risk information while considering risk management at the city level. To do this, html, JavaScript and CSS languages and open source technologies (*Google API, PostgreSQL/PostGIS, PHP, OpenLayers 3, QGIS software, Geoserver*) were used to make the tool both transposable and operational. According to the sample surveyed, the level of risk of housing in the face of rapid flooding is high (33%), and it is explained by geographical and environmental vulnerabilities of buildings, associated with the socio-economic insecurity of households.

Keywords: Vulnerability, risks, cadastral information system. Evaluation

Remerciements

Après huit longues années entre le Cap-Vert et Avignon, j'ai compris que la thèse était loin d'être un travail solitaire. Dans cette aventure, j'ai croisé de nombreuses personnes dont la générosité et le soutien ont été décisifs dans ma démarche. Tout d'abord, j'exprime ma gratitude au Professeur Loïc Grasland qui m'a fait confiance et accepté dans le laboratoire UMR ESPACE. M. Loïc Grasland m'a soutenu pendant toutes ces années, soit au niveau psychologique, soit au niveau linguistique et m'apprié à traverser le désert. Je lui serai éternellement reconnaissant de tous ses enseignements, ses conseils et son soutien et surtout de sa patience. Sans son soutien inconditionnel, cette thèse n'aurait pu aboutir. Merci au Professeur Johnny Douvinet pour avoir accepté la codirection de la thèse, et pour ses conseils et ses critiques qui m'ont énormément servi. Je tiens à le remercier sincèrement pour tous les enseignements qu'il m'a transmis. Mes remerciements vont également aux professeurs et chercheurs géographes qui ont accepté de participer à mon jury. Merci en particulier à mes pré-rapporteurs M. Lucio Cunha de l'Université de Coimbra et Mme Paule-Annick Davoine de Grenoble qui ont pris la responsabilité de faire des rapports pour autoriser la soutenance, et à M. Frédéric Leone et Mme Damienne Provitolo pour la lecture attentive, peut-être un peu ardue, et l'examen critique du manuscrit.

Je remercie le gouvernement français qui a financé en partie la thèse, et dont le soutien a été déterminant. Merci aux responsables du Service Culturel et d'Action Culturelle, en particulier à M. Mathieu Gardon Mollard, Mme Graziella Neves-Forte Canihac et Mme Marie-Thérèse Tavares, d'avoir cru et soutenu financièrement cette thèse, sans oublier bien sûr l'excellent support de Campus France. Je tiens à remercier mes collègues du laboratoire UMR Espace 7300 CNRS pour les moments et soirées partagés. Merci à toutes les personnes de l'École Doctorale ED 537 et tous les services administratifs pour leur accueil sympathique et leur soutien à ce projet de thèse. Mes remerciements vont aussi au Professeur Lucio Cunha de l'Université de Coimbra pour les conseils et critiques très utiles à la rédaction de la thèse. Merci à mon collègue le Professeur Domingos à l'Uni CV qui m'a remplacé à plusieurs reprises pour que je puisse me rendre en France pour des séjours de courte durée. Je remercie les étudiants de géographie et aménagement du territoire qui ont fait des collectes de données terrain et particulièrement les étudiants du cours d'informatique de l'Uni CV, Gerson et Ricardino, pour leur soutien dans le codage du système, pour leurs échanges et les nombreuses heures de discussions.

Et pour terminer, ma reconnaissance va à ma famille en France et au Cap-Vert pour leur soutien affectif et matériel dans ce travail doctoral. Merci à mon épouse et à mon petit fils, Francisco, né au début de cette thèse, qui ont supporté mes absences toutes ces années. Enfin, merci très sincèrement à ceux et à celles que je n'ai pas cités, car beaucoup de personnes m'ont apporté leur soutien dans le cadre de ce modeste travail.

Sigle et abréviations

AUGI :	Aires Urbaines de Genèse Illégale
B.O. :	Bulletin Officiel
CRED :	Centre de recherches sur l'Épidémiologie des Catastrophes
NOSI :	Centre Opérationnel du Système d'Information de l'État
EM-DAT	Emergency Events Database / Base de données des événements d'urgence
FAO :	Fonds des Nations-Unies pour l'Agriculture
LMITS :	Gestion d'Information et de Système de Transaction des Terres
INGT :	Institut National de Gestion du Territoire du Cap-Vert
INMG :	Institut National de Météorologie et Géophysique (du Cap-Vert)
INIDA :	Institut National de Recherche Agricole du Cap-Vert
LADM :	Land Administration Domaine Model
PD :	Plan d'urbanisme détaillé
PEM :	Plan d'Urgence Municipal
PDM :	Plan Directeur Municipal
RGPH :	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
RRD :	Réduction des Risques Naturels et des Catastrophes
EROT :	Schéma Régional d'Aménagement du Territoire
SMPC :	Service Municipal de la Protection Civile
SNPC :	Service National de la Protection Civile
SNPC :	Service National de Protection Civile
SIF :	Système d'information foncière
SIM :	Système d'Information Municipal
SIT :	Système d'Information Territorial
SIERA :	Système d'Inventaire et d'Évaluation du Risque
UNISDR :	<i>United Nations Office for Disaster Risk Reduction /</i> Bureau des Nations-Unies pour la Réduction des Risques de Catastrophes

Introduction générale

Contexte de recherche

La manifestation des catastrophes naturelles est liée au changement climatique, mais elle résulte aussi des politiques publiques, des décisions individuelles (mal adaptées aux contextes territoriaux) ou des stratégies collectives, ce qui entraîne dans tous les cas des pertes humaines et économiques qui pèsent significativement dans le budget des États. Ces pertes sont lourdes dans les Pays en Voie de Développement et dans les petits pays insulaires, et la vulnérabilité s'y accroît à cause d'un étalement urbain qui est mal maîtrisé par les pouvoirs publics. La croissance exponentielle de la population urbaine dans les PVD à partir de la deuxième moitié du XXe siècle a provoqué une demande brutale de logements urbains, que les pouvoirs publics ont eu du mal à satisfaire. Cet étalement urbain s'est traduit, comme dans les pays développés d'ailleurs, par une consommation dans des espaces à risque. La gestion des risques naturels requiert alors une connaissance fine des territoires, dans toutes leurs dimensions, et il faut aussi bien appréhender la question des aléas et des expositions, que des vulnérabilités et des résiliences intrinsèques.

De façon spécifique, plusieurs chercheurs ont déjà démontré l'intérêt d'une intégration d'un volet risques naturels dans un SIF, **Système d'Information Foncière** (Dale & McLaughlin, 2003 ; Roy & Viau, 2011 ; Enemark, 2009 ; Williamson, Ian, Enemark, Wallace & Rajabifard, 2009). Les informations géospatialisées, les bases de données spatiales, les outils libres *Open source* et les dispositifs mobiles ou les technologies du web permettent aujourd'hui la création de ces SIF, qui sont capables d'assurer une tâche centrale de production de données et de connaissance pour la prévention, l'atténuation et/ou la gestion des risques. L'intégration des technologies web peut par ailleurs compenser le manque de séries historiques ou l'absence de données quantitatives, d'autant plus dans les Pays en Voie de Développement.

De manière plus précise, cette recherche porte sur l'évaluation des vulnérabilités face aux crues rapides, dans un contexte où les données, peu nombreuses, sont difficiles à capitaliser. Si les outils hydrologiques de modélisation (pour estimer la hauteur ou la cinématique des crues) peuvent être utilisés, pour délimiter les emprises spatiales des surfaces inondables dans des

contextes géomorphologiques type « *flood-plain* » par exemple, il n'en est pas de même sur les petits affluents et les torrents de montagne. Pourtant, c'est bien dans ces secteurs, à réponse très courte, que les inondations peuvent se produire de manière soudaine et violente (Borga *et al.*, 2008). Les impacts y sont d'ailleurs plus virulents que dans les plus grands bassins versants (< 20km²). Les interactions, perpétuelles et continues entre les processus propres à l'aléa (i.e. ruissellement, débordement, charriage de fond, sapement latéral de berges, apport en Matières en Suspension) rendent pourtant ces phénomènes « complexes », à évaluer, à mesurer, mais aussi à anticiper et à prévoir (Ruin *et al.*, 2007 ; Braud *et al.*, 2014).

Présentation et justification du site d'étude

État insulaire archipélagique d'une superficie de 4 033km², avec un Produit Intérieur Brut par habitant (PIB per capita) d'environ 3 000 dollars, le Cap-Vert est très vulnérable d'un point de vue environnemental, social et économique. Ces vulnérabilités deviennent exacerbées face à certains aléas, comme les crues rapides ou les sécheresses, dont les manifestations sont de plus en plus fréquentes. La population est de 491 683 habitants (d'après le Recensement Général de la Population et de l'Habitat, 2010), pour une densité démographique d'environ 122 hab./km².

L'archipel du Cap-Vert se localise entre les 15^e et 17^e parallèles nord, à 400 km de la côte ouest du continent africain, en plein océan Atlantique (*Figure 0.1*). A ce titre, le pays se situe au sein de la bande zonale de la région sahélienne, et les précipitations moyennes annuelles sont faibles et irrégulières (Amaral, 1964). Ce contexte constitue une menace croissante pour le milieu physique, qui se dégrade à cause d'une érosion des sols accrue. Mais les catastrophes ne font que révéler d'autres vulnérabilités sous-jacentes, comme la pauvreté d'un certain nombre de riverains, ou des conditions de précarité qu'il est nécessaire de comprendre avant de tenter de les diminuer. Après l'Indépendance (signée en 1975), le premier gouvernement, qui a eu la responsabilité de conduire le destin du pays jusqu'en 1990, a mis en œuvre un régime de gestion centralisée tout en privilégiant un modèle du développement économique tripolaire. Trois pôles (Praia, São Vicente et Sal) ont été privilégiés pour les investissements publics. Les conséquences de cette décision politique ont été de deux ordres : 1) une accélération de la croissance urbaine, associée à l'insuffisance d'outils de planification de l'occupation du sol ; 2) un accroissement des espaces urbains dans les zones inondables, tendance qui se poursuit encore aujourd'hui.

Du point de vue de contingent populationnel, le pays se trouve dans le groupe des 10 pays les moins peuplés du continent africain. Les chiffres sont très loin de la médiane, que se situe aux alentours de 6 867 092 habitants dans l'ensemble des 54 pays considérés. Le pays présente un revenu per capita en 2014 de 3593\$ américains (d'après les Comptes Nationaux, 2014), et ce revenu est donc 4 fois inférieur à la moyenne des pays de l'OCDE (2016).

La localisation géographique (en plein océan Atlantique) du Cap-Vert est stratégique dans les réseaux d'échange entre les continents. A ce titre, le pays a su profiter de sa localisation pour s'imposer dans le contexte de dialogues inter-états. Néanmoins, cette localisation avantageuse expose aussi le pays à deux menaces naturelles majeures, la sécheresse et les pluies torrentielles. Le pays est en effet très affecté par les conditions climatiques des déserts du Sahara, parfois par des cyclones. En ce qui concerne les cyclones, la probabilité qu'il y en ait est faible, mais le pays est relativement vulnérable vu qu'il est très proche d'une zone active de cyclogenèse qui migre vers les Caraïbes et l'Amérique du Nord.

Au fil des discussions, un zoom plus spécifique sera mené à l'échelle de la ville de Praia, la capitale du pays. Cette ville se localise dans le sud de l'île de Santiago, au sud de l'archipel du Cap-Vert qui comprend 10 îles, dont 9 sont peuplées. L'île de Santiago regroupe plus de la moitié (57,7%) de la population de l'archipel (RGPH, 2010) et la ville de Praia, plus du quart (26%), du fait de son statut de centre administratif, économique et politique du pays. Il y a ainsi un effet de taille, qui attire la population rurale mais également les habitants des autres îles du pays, tout comme une population venant des pays de la côte ouest africaine.

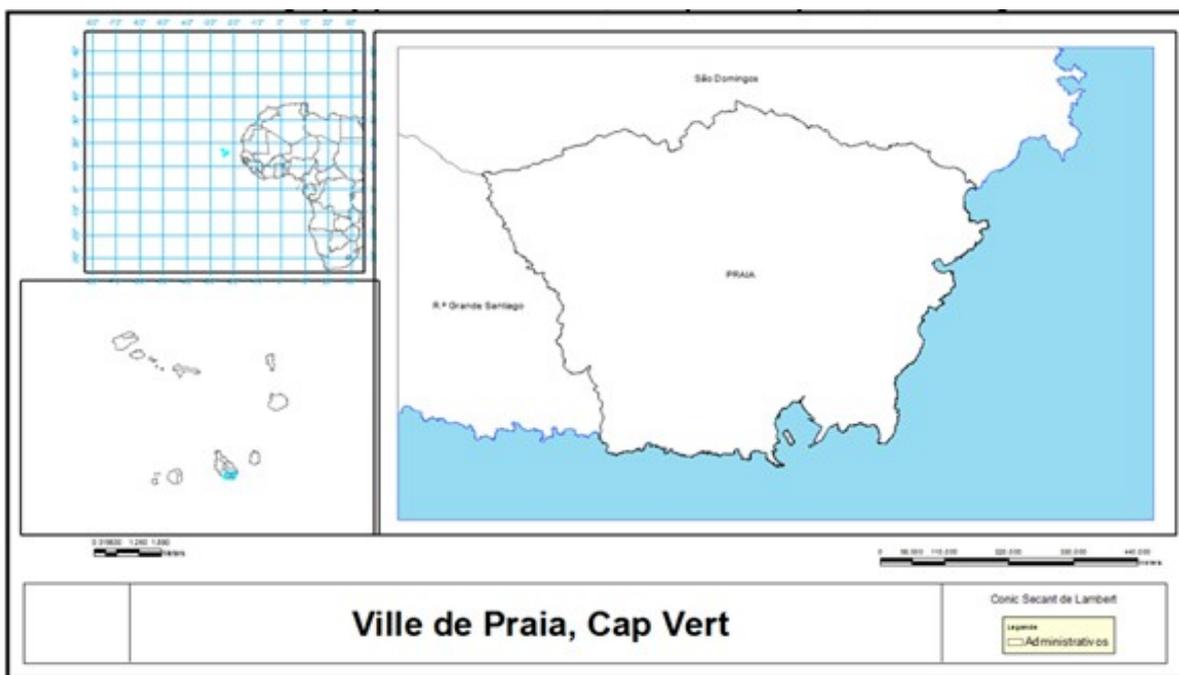


Figure 0.1 : Localisation de l'archipel du Cap-Vert et de la ville de Praia sur l'île de Santiago

Éléments de problématique

La ville de Praia a connu une dynamique forte de transformation spatiale au cours des 25 dernières années, ce qui s'est traduit par une demande élevée de terrains à bâtir. On assiste ainsi à une forte consommation des espaces à risques. Pour encourager la construction de

maisons en dehors de ces espaces, il est important de mettre à disposition de la population des informations à ce sujet. L'information sur les risques auxquels les citoyens peuvent prétendre constitue déjà un droit inscrit dans les lois de la République, notamment dans la Constitution de la République¹, dans les Lois de Base de la Protection Civile² et dans les plans d'urbanisme. Outre ce droit, il y a une demande croissante de connaissance des risques naturels, compte tenu de l'évolution sociale, économique et culturelle de la société cap-verdienne.

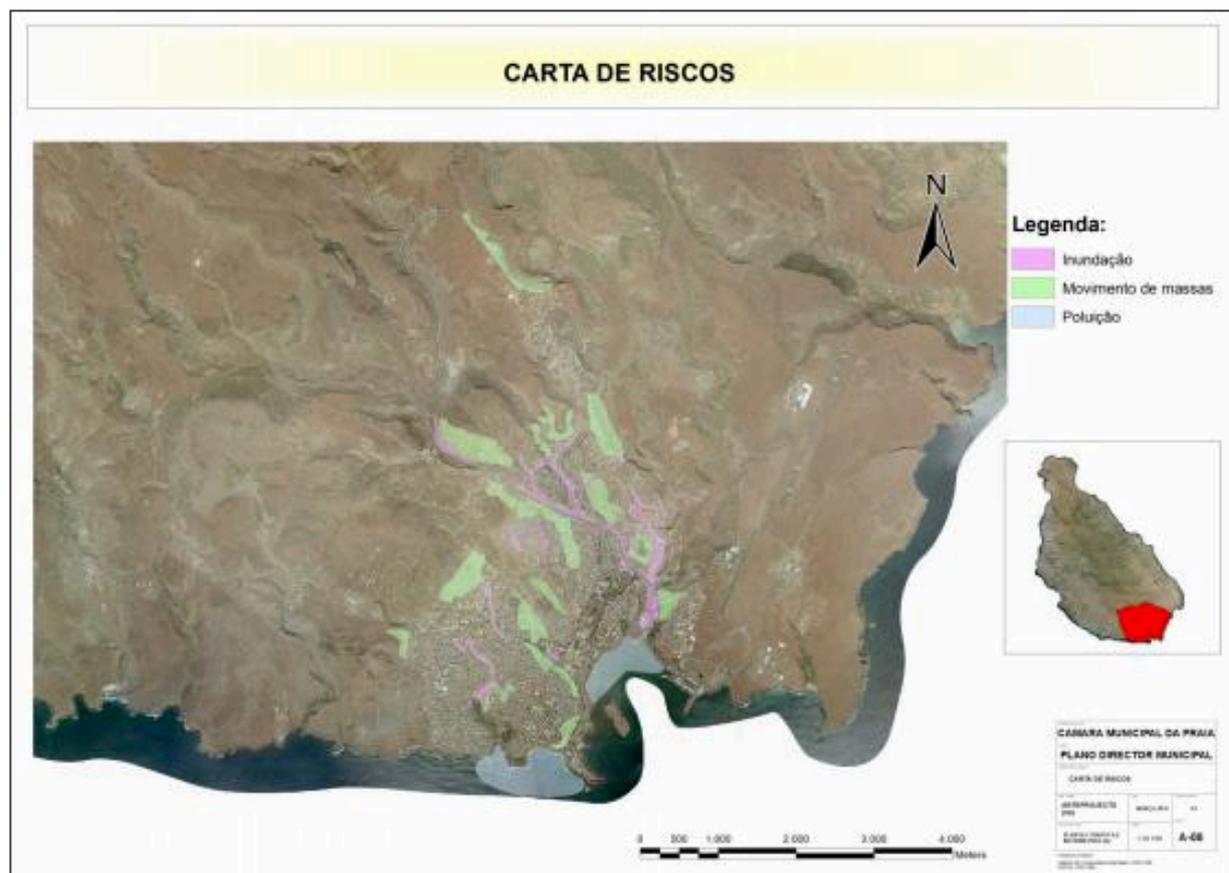
Les études et les recherches portant sur les risques d'inondation au Cap-Vert, et à Praia en particulier, sont toutefois rares. L'approche aléa-centrée a souvent été privilégiée par rapport à celle par la vulnérabilité. A titre d'exemple, les études publiques, notamment quelques travaux académiques et le *Plan Directeur Municipal (Figure 0.2)*, s'occupent plutôt de la susceptibilité et de la prédisposition à l'aléa, que du risque à proprement parler, tel qu'il est défini dans la littérature scientifique. Dans le cadre de ces études, on désigne les « zones à risque » comme « *les portions d'espace où les conditions physiques sont contraignantes, comme la présence de fortes pentes, des fragilités géologiques ou la présence de rivières* ». Dans le PDM de la ville de Praia, les zones classées comme à risques d'inondation (en rose sur la carte) sont confinées aux fonds de vallons, les risques de glissement de terrain (en vert) sont en rapport avec les zones à forte déclivité et la pollution (en bleu pâle) est associée à la proximité du port de la ville de Praia. Pour autant, les études portant sur les zones à risques se focalisent essentiellement sur les paramètres physiques des territoires en laissant au second plan les composantes humaines.

La manière dont la classification des zones à risques est présentée dans ces études, et les rapports des services associés, comportent deux problèmes majeurs d'ordre conceptuel : 1) on ne prend pas en compte la résilience, c'est-à-dire l'ensemble des mesures adoptées par tout un chacun pour diminuer l'impact des aléas ; 2) les vulnérabilités ne sont jamais abordées parce qu'il n'existe aucune étude sur le sujet basée sur une méthode harmonisée. En raison du manque des données statistiques sur les occurrences des aléas et des dommages, il est par ailleurs difficile de connaître l'exposition réelle de la population. Du fait du contexte archipélagique du Cap-Vert, une réflexion sur le risque est donc plus que nécessaire, d'autant que la prévention et l'anticipation de l'occupation des zones à risques doivent être mieux définies.

Dans le contexte du changement climatique, les événements catastrophiques associés à la forte anthropisation de l'espace urbain dont l'usage des sols n'est pas réglementé, constituent par ailleurs des facteurs d'amplification de la vulnérabilité, et par conséquent des risques, pour les espaces insulaires. Une connaissance approfondie des menaces pesant sur ces espaces et une évaluation des niveaux de vulnérabilité s'imposent donc en complément, pour pouvoir informer la population des dangers auxquels elle est exposée.

¹ Voir Article 72 Droits de l'habitat (*in* Constitution de la République du Cap-Vert, 2010, p. 60).

² D'après l'Article 8, les citoyens ont le droit d'être informés des risques auxquels sont soumis (voir la Loi n°12/VIII/2012, p.2, publiée dans le B.O n°16, I série du 7 mars).



Source : Câmara Municipal da Praia, 2014

Figure 0.2 : Carte des risques de la ville de Praia, d'après le Plan Directeur Municipal (PDM)

Dans le prolongement de ce travail de production de connaissance, il y a les perspectives d'atténuation et de prévention des risques, en cherchant notamment à augmenter la résilience des personnes vivant dans les zones de forte exposition aux risques. C'est aujourd'hui un objectif qui semble aller de soi pour réduire l'impact des dommages subis lors de désastres (et comme le préconisent les Démarches de Réduction des Risques, DRR). L'objectif majeur de la résilience est plus précisément de réduire la vulnérabilité des populations, en renforçant leur capacité à anticiper les catastrophes, à s'y adapter et à y résister. Deux conditions sont essentielles pour y parvenir : la prise de conscience et la mise en place de mesures visant à réduire la vulnérabilité.

Si l'urgence climatique fait progresser de façon générale la prise de conscience des risques, c'est surtout dans les zones menacées à court et moyen terme que s'accroît cette prise de conscience. Encore faut-il pouvoir aussi entrevoir des perspectives de solution pour échapper aux désastres, car d'une part les discours catastrophistes sur les changements en cours et leurs conséquences sans issue restent largement répandus et d'autre part, lorsqu'elles peuvent être entrevues, la plupart des actions semblent aussi hors de portée de réalisation pour être efficaces, sauf celle de déplacer les populations. Tel semble le cas des constructions, de fait illégales, dans des zones à risques, voire à haut risques, dans les lits majeurs de cours

d'eau ou sur les bassins versants ou cônes de déjection de rivières torrentielles de régions à fort relief. Lorsqu'elles sont conjuguées à des événements climatiques exceptionnels, on ne voit pas bien quelles mesures pourraient favoriser la résilience comme lors de tragédies comme par exemple celle de Vargas au Venezuela en décembre 1999. En zone montagneuse, des dispositifs de correction torrentielle (Piton *et al.*, 2019) peuvent être envisagés, mais ces mesures structurelles excluent toujours les localisations de population dans les zones à risques.

Dans le cas du Cap-Vert, et de Praia en particulier, la prise de conscience est réelle, mais sans doute la vision des risques est-elle défaitiste, car les actions visant à réduire le risque dans une optique résiliente sont ponctuelles, réduites et le plus souvent prises à titre individuel lorsque les conditions socio-économiques des familles le permettent. On peut les circonscrire aux élévations de seuils de porte et au détournement des eaux de ruissellement lorsqu'il y a des crues. On en tiendra compte dans les mesures de vulnérabilité, mais elles semblent dérisoires face à des aléas de grande ampleur.

L'objectif essentiel de ce travail est la connaissance du niveau d'exposition aux risques et de la vulnérabilité des populations. A travers un système d'information aussi informatif et ouvert que possible, il devrait aider aussi bien les autorités que les personnes résidentes à prendre davantage conscience de l'exposition aux aléas et de tous les types de vulnérabilité qui touchent les foyers, à anticiper les crises et limiter les dommages, mais aussi à envisager des solutions résilientes, si elles existent, à défaut de mesures à court terme qui seraient en réalité assez dérisoires dans une majorité de situations. La difficulté à envisager sérieusement des mesures résilientes est liée au fait majeur que la vulnérabilité des populations est liée à la localisation de constructions illégales parce que dans des zones à risque.

Hypothèses de recherche formulées

Le degré de vulnérabilité découle des conditions socio-économiques qui caractérisent les familles (Cutter, 2003). Ainsi, pour une population donnée et pour un même niveau d'intensité d'aléa, les dommages auront tendance à croître dans les populations les plus défavorisées. La littérature sur le risque naturel est convaincante à cet égard. On peut aussi admettre que les plus démunis ont moins de ressources pour mettre en place les mesures d'atténuation pour faire face à l'inondation. Cependant, dans un contexte de pauvreté comme celui du Cap-Vert, il apparaît que le niveau de pertes matérielles, à moins qu'il soit relativisé, ne peut être retenu comme un indicateur de vulnérabilité exclusif, parce que les personnes pauvres sont dépourvues des biens essentiels et n'ont donc pas beaucoup de choses à perdre du point de vue de la valeur marchande des biens. Ainsi, les conditions économiques des familles sont bien plus à l'origine de l'occupation des lieux à risque, où le prix des parcelles à construire est plus bas, voire gratuit, et les coûts de construction sont également moins élevés, à cause de la qualité inférieure des matériaux utilisés. **La vulnérabilité sociale détermine donc avant tout la**

vulnérabilité physique. Nous admettons par ailleurs que la population a une connaissance acceptable du risque encouru. A cause du manque de moyens, elle ne se prédispose pas à vivre un certain degré d'exposition. Néanmoins, le niveau élevé d'exposition de la population aux inondations est en partie atténué par les mesures individuelles. **Les niveaux de vulnérabilité sont donc liés à cette précarité.**

De façon complémentaire, les facteurs qui déterminent le degré de vulnérabilité face à l'inondation sont associés d'une part aux caractéristiques intrinsèques des enjeux et d'autre part aux paramètres qui définissent les aléas et aux comportements et mesures de résilience adoptés par les familles et les pouvoirs en place. Kelman (2003) et le CEPRI (2014) précisent que l'ampleur des dommages est globalement liée à la montée des eaux et à la durée de submersion. Dans le contexte du Cap-Vert, l'absence de stations hydrométéorologiques ne permet pas de disposer de données correspondant à ces paramètres et empêche de tester cette hypothèse. On dispose néanmoins de variables comme la proximité au lit des rivières, le contexte géomorphologique, les informations sur la montée des eaux recueillies dans les foyers pour saisir l'impact de l'aléa.

Il faut donc déduire les dégâts potentiels à partir des caractéristiques des habitations et de quelques paramètres hypothétiques d'aléas. Il semble que la vitesse des eaux pluviales sur les sols ayant une forte déclivité joue un rôle significatif dans les dommages à fort impact. En effet, en transportant des charges solides, les crues causent des dommages à la structure physique des bâtiments et aux biens mobiliers. Au-delà des facteurs associés à l'aléa, Vinet (2007) précise aussi que des facteurs liés à la structure des bâtiments, les matériaux de construction, l'emplacement géographique et le contexte territorial, les caractéristiques sociodémographiques des habitants, peuvent jouer un rôle important, autant d'aggravation que d'atténuation des dommages. Dans l'hypothèse où des bâtiments sont localisés dans des endroits ayant les mêmes caractéristiques physiques, les conditions sociales des familles interviennent et ont le poids le plus important dans la vulnérabilité des habitations, même si ces conditions peuvent changer. Rappelons, ici que l'adoption de mesures d'adaptation (*cooping capacity*) dépend des ressources financières dont les familles disposent. Ensuite la question de la possession d'un titre de propriété définit l'appartenance à une zone informelle ou formelle et cela a évidemment, avec d'autres facteurs, des influences sur la vulnérabilité. Nous nous centrerons, ici, sur deux facteurs physiques : la distance par rapport à la source d'eau et la déclivité. D'une façon générale, la vulnérabilité des constructions tend à croître en fonction de la proximité aux cours d'eau et dans les zones basses.

Méthode et objectifs visés

D'un côté, on constate qu'il y a un déficit **considérable de connaissance de la vulnérabilité** des constructions face à l'inondation urbaine. L'étude la plus approfondie à

propos des risques au Cap-Vert intitulée *Comprehensive Hazard Assessment and Mapping in Cape Verde*³, menée en 2014 par un consortium international sous la direction de l'entreprise *Municipia*, se limite à la cartographie des aléas. Ses résultats à l'égard de l'aléa inondation sont contestables parce que la méthodologie utilisée ne tient pas en compte des perturbations engendrés par les écoulements d'eau. En effet, le modèle de simulation hydrologique qui utilise le « régime sous-critique » pour l'écoulement ne s'applique pas lorsque les crues sont torrentielles. Cette étude apporte néanmoins quelques contributions intéressantes qui peuvent être utiles dans la gestion des risques. Devant une telle nécessité, on ne peut qu'être en accord avec les auteurs qui avancent que les études sur la vulnérabilité doivent être privilégiées par rapport à l'aléa. Sous cet angle, la question qui s'impose est la suivante : **quel est le degré de risque pour les logements face à l'aléa inondation ?** A partir de cette question générale, quatre autres questions émergent :

- *Quel sont les facteurs déterminants de la vulnérabilité globale des constructions face à l'aléa inondation dans la ville de Praia ? Le terme de vulnérabilité globale est utilisé ici pour essayer d'appréhender la vulnérabilité physique des bâtiments et des biens mobiliers ainsi que les contextes géographiques et institutionnels.*
- *Comment les habitants envisagent-ils le risque d'inondation ?*
- *Dans quelle mesure les cadres institutionnels et législatifs existants peuvent-ils contribuer à la diminution des risques d'inondation ?*
- *Comment appréhender et gérer les risques des constructions face à l'inondation à travers un Système d'Information Foncière à Référence Spatiale (SIR) dans un contexte où les données hydrologiques et l'enregistrement des dommages sont limités ?*

D'un autre côté, les points de vue des chefs de familles seront aussi pris en compte dans l'évaluation des vulnérabilités, à travers les réponses à un questionnaire avec une pondération des facteurs basée sur les opinions d'ingénieurs et techniciens travaillant dans le domaine de la protection civile. Parce qu'il intègre déjà les unités d'habitation en tant qu'éléments de base, le système d'information foncière cadastrale est mobilisé pour exploiter certaines variables cadastrales dans le calcul de la vulnérabilité. A condition que le système le prenne en compte, la participation des citoyens peut améliorer la connaissance des niveaux des risques et de la vulnérabilité. Leur avis est important soit pour les chefs de ménages, soit pour les autorités qui prennent des décisions pour accroître la résilience face à l'inondation.

Pour finir, ce travail vise à concevoir un outil web qui permet, d'un côté, aux services publics d'évaluer le degré des risques des logements face aux crues rapides, à partir de données d'enquêtes recueillies en ligne et stockées dans un système d'information foncière

³ Le titre original est : « Relatório Preliminar: Perfil de Perigosidade de Cabo Verde ». *Preliminary Report: Comprehensive National Hazard Profile of Cape Verde*. Versão: 1.0, 2014. Le rapport porte sur la cartographie de 8 aléas à l'échelle du pays : crues/inondations, sécheresse, volcanisme, incendie de forêt, séisme, glissement de terrain, épidémie et érosion côtière.

cadastrale à référence spatiale et, d'un autre côté, de mettre à la disposition des citoyens, un service web où ils peuvent se renseigner sur leur niveau de vulnérabilité et de risque encouru. La combinaison d'informations quantitatives issues de modélisations et de données qualitatives collectées par l'intermédiaire du web doit pouvoir contribuer à améliorer la connaissance des risques et par conséquent leur gestion. On s'interroge ainsi sur le rôle qui doit être accordé au Système d'Information Foncière (SIF) dans une démarche de prévention du risque naturel.

Structuration de la thèse

La thèse est structurée en **2 parties**, qui se composent de **5 chapitres**.

La **première partie** expose la problématique du risque inondation au Cap-Vert et à Praia. Le **premier chapitre** présente les cadres théoriques et terminologiques des risques naturels, et les problèmes que posent leur évaluation au Cap-Vert et à Praia. Il expose la notion de risque avant d'aborder celle plus précisément de risque d'inondation. Le **deuxième chapitre** est consacré à l'analyse de l'endommagement à travers différentes échelles et *via* plusieurs bases de données. Les données issues de consultation auprès de différentes institutions complètent notre analyse. Le **troisième chapitre** aborde de façon plus ciblée les inondations à Praia et les contextes qui en prédéterminent l'occurrence d'un point de vue physique. De nouvelles données et de nouveaux indicateurs statistiques sont produits. Les profils des dommages aux bâtiments face au risque de crues dans la ville de Praia sont par ailleurs mis en avant, en préambule de la partie II.

La **deuxième partie** montre que les SIF peuvent être des outils contribuant à la connaissance des vulnérabilités environnementales, socio-économiques et humaines à l'échelle de la ville de Praia. Le **quatrième chapitre** présente le concept de SIF, ses principes et ses fonctionnalités, et aborde la façon dont l'administration foncière doit évoluer pour en mesurer tout le potentiel. Le **cinquième chapitre** présente la conception et la modélisation du SIF que nous avons développé, et discute des bénéfices à attendre des résultats obtenus. Notre SIF repose sur deux modules : une composante web mobile, qui met à disposition le questionnaire en ligne, et une autre composante sur station de travail (*prototype SIFgRin*) pour avoir à disposition les fonctionnalités de visualisation, de croisement d'information et d'analyse spatiale.

La conclusion de la thèse amène plus largement à discuter des ferments indispensables pour l'opérationnalisation de ce Système d'Information Foncière, et propose des pistes pour qu'un tel outil puisse accompagner les stratégies d'aménagement futures au Cap-Vert.

Partie I - Le risque inondation au Cap-Vert et en particulier à Praia : une préoccupation sociétale très tardive



Introduction de la partie I

Conscient des enjeux économiques et sociaux que représentent les risques naturels, le gouvernement du Cap-Vert a entrepris, depuis le début des années 1990, un certain nombre de réformes législatives dans le domaine environnemental et dans le cadre de l'aménagement du territoire. Des programmes spécifiques⁴ visent aussi l'atténuation des conséquences des risques naturels. En 1993, des textes de lois relatifs à la politique environnementale prenant en compte la question des risques naturels ont été adoptés. Cette problématique a aussi été officiellement inscrite dans le Décret-Loi no43/2010. Mais cette prise de conscience semble tardive puisque l'étalement urbain n'a cessé de croître depuis le début des années 1980...

L'objectif de cette première partie est de faire un état des lieux des concepts associés à la géographie des risques naturels dans la littérature scientifique, et un état des connaissances sur l'île du Cap-Vert. Il s'agit ensuite de mettre en avant l'ampleur des différents aléas et leurs impacts économiques, sociaux et environnementaux, qui affectent l'île et en particulier la ville de Praia. Le risque devient réalité quand les conséquences d'un aléa sont difficiles à gérer. Dès qu'un aléa se produit, sa répétition peut aussi être considérée comme « probable » pour des scénarios identiques, d'où la nécessité de mieux cerner cette récurrence et ces probabilités.

Dans cette partie I, après avoir rappelé les principaux concepts sur lesquels ce travail prend attache, nous présentons et discutons des données issues de différentes bases de données et sources détenues par les institutions, à l'échelle du Cap-Vert puis à l'échelle de la ville de Praia en particulier. Nous avons pris en compte les sources écrites, comme les comptages effectués à partir des journaux, des rapports produits par les services de pompiers qui travaillent sur le terrain, ainsi que des travaux académiques, thèses et livres portant sur les risques naturels à Praia et consultés dans les organismes élaborant les plans d'aménagement. Nous avons réalisé une analyse critique de ces sources, en évaluant la qualité et la fiabilité des informations. A partir de ces éléments, nous avons affiné notre questionnement de recherche, en visant la réduction des risques naturels de manière générale, mais en travaillant ensuite sur le risque inondation, dans un milieu insulaire tropical aride.

⁴ Le programme *Réduction des Risques Naturels et des Désastres* (RRD) parrainé par le PNUD figure parmi les outils mis en place pour élaborer des études et fournir les données et indicateurs qui serviront de bases à la formulation de politiques publiques visant l'atténuation de la vulnérabilité des populations face aux risques et changements climatiques dans l'archipel.

Chapitre 1 – Évaluer le risque : cadrage théorique et terminologique

Introduction du chapitre 1

Les terminologies employées et les repères théoriques concernant les risques naturels ont fait l'objet de discussions et de réflexions scientifiques dans divers domaines de connaissance, en ingénierie, en économie, en sociologie, en géographie ou ailleurs. La géographie en tant que champ scientifique à l'interface entre les sciences « dures » et les sciences « souples » a eu un rôle important dans la formulation du corpus théorique de la science du risque⁵, et elle a ainsi contribué au déploiement des outils de spatialisation des risques, notamment dans le domaine de la simulation. La participation de la géographie, dans un premier temps, repose surtout sur des spécialistes de géographie physique, particulièrement des géomorphologues.

Dans la contribution des géographes, on remarque quelques travaux pionniers. La thèse de doctorat de G.F. White en 1942 intitulée « *Human Adjustment to floods : A Geographical Approach to the Flood Problem in the United States* »⁶ constitue une des références majeures qui a inspiré et déclenché des recherches chez plusieurs géographes. White (1942) s'insurge contre la perspective structuraliste des ingénieurs qui pensaient que les dégâts provoqués par les inondations pouvaient être contrôlés par la construction d'infrastructures de confinement de l'inondation. Cette prétention de l'homme moderne à maîtriser la nature apparaît de plus en plus défailante lorsque l'on considère l'accroissement des pertes occasionnées par les manifestations d'événements dommageables. Le géographe G.F. White a ainsi introduit une nouvelle perspective d'analyse, tout en prenant en considération le rôle

⁵ A notre avis, la dénomination « science du risque » se justifie davantage par le recours à des concepts et à une terminologie possédant une sémantique spécifique que par des méthodes propres et qui ont été empruntées à plusieurs domaines scientifiques, notamment à l'hydrologie, l'ingénierie civile, la psychologie...

⁶ « *L'ajustement humain aux inondations : une approche géographique du problème des inondations aux Etats-Unis* ». Traduction libre.

de l'homme lorsqu'il affirme que « *floods are acts of gods, but flood losses are largely acts of man* » (p. 7). Les dommages sont associés aux comportements humains sur plusieurs plans, celui de la prise de décision à titre individuel, et celui de la prise de décision au niveau politique, donc à titre collectif. La thèse soutenue par White a contribué à la structuration et à la définition d'un corpus terminologique et théorique de la science du risque en introduisant la notion de vulnérabilité humaine, comme facteur d'aggravation des dommages lors d'une inondation. Autrement dit, on ne peut pas considérer la manifestation d'un phénomène naturel comme seule source de dangers et de dommages. Dans la géographie française, l'appropriation du concept de risque en tant qu'objet de recherche scientifique est récente. En effet, on peut considérer la décennie 90 comme référence. A ce point de vue, le géographe Lucien Faugères⁷ a été pionnier par ses travaux et en tant qu'un des animateurs de la conférence sur les risques naturels de l'Unesco à Paris. Il a proposé une réflexion autour de la trilogie « *Risque – Danger – Catastrophes* » qui, pour certains géographes, constitue les fondements de la science du risque (Rebelo, 2001, p. 215). Les travaux développés par Faugères et ses collaborateurs ont largement contribué à la clarification terminologique et théorique, et aussi à l'appropriation du risque comme objet scientifique par la géographie.

Dans ce contexte, nous ne voulons pas faire une épistémologie de la science du risque, mais souhaitons exposer les concepts relatifs à l'étude des risques naturels, qui serviront de bases dans notre démarche. Aussi, nous discutons le concept de risque naturel tel qu'il est conçu actuellement et nous ferons dans la partie II un état de l'art sur les potentialités d'un Système d'Information Foncière (SIF) à gérer les risques, celui lié aux inondations en particulier.

1.1. Le risque : un concept polysémique largement débattu

Les risques naturels constituent un enjeu pour les sociétés modernes et pour les petits pays insulaires en particulier. La manifestation d'événements extrêmes de plus en plus fréquents et par conséquent de pertes humaines et matérielles interpelle, soit le gouvernement, soit la communauté scientifique pour apporter une réponse adéquate, qui passe par la connaissance des risques. Dans cette première section, nous allons considérer deux composantes majeures : l'aléa et la vulnérabilité.

1.1.1. Le risque présuppose un aléa, des enjeux, des vulnérabilités...

Le terme « risque » vient du latin classique *re+secare* qui signifie littéralement « couper » (Dubois, Mitterand, Dauzat & Larousse, 2016, p. 671). Dans son contexte initial, il est associé à

⁷ La publication de Lucien Faugères en 1990 intitulée « *La dimension des faits et la théorie des risques* » a été une contribution remarquable aux discussions terminologiques.

l'activité commerciale des navires et consiste littéralement en une rupture dans l'acheminement des marchandises qu'ils transportent. Le terme est aussi associé à la nécessité de couvrir les pertes liées aux naufrages de navires. Plus précisément, la naissance de l'activité d'assurances apparaît avec le besoin de compenser les pertes qui résultent des naufrages dans le transport des marchandises. Les notions de dommage potentiel ou réel sont à la base du développement du secteur des assurances qui, sur un plan technique, représentent par ailleurs une précieuse contribution à l'émergence de la science du risque. Comme le souligne Antoine (2012, p. 66), cette expression a été utilisée après la Renaissance pour exprimer le « danger de perte de marchandises consécutives au naufrage des navires ».

D'un point de vue sémantique, le terme a subi une évolution conduisant à intégrer la notion de probabilité. Ainsi, d'après le dictionnaire Larousse en ligne, risque signifie « possibilité, probabilité d'un fait, d'un évènement considéré comme un mal ou un dommage ». En tant que probabilité, la notion fait appel à deux éléments, d'une part l'existence d'une série temporelle, et d'autre part l'incertitude qui est associée à cette série temporelle. En analysant la définition du risque, on est obligé de distinguer ce qui est potentiel, difficile à prévoir et à mesurer, du dommage proprement dit qui traduit une manifestation réelle, c'est-à-dire quelque chose de plus tangible et mesurable. Selon Cunha (2013), lorsque nous sommes dans une situation de constat des dommages, autrement dit de quantification des pertes, on n'est plus dans le domaine du risque, mais dans celui de la catastrophe. On retrouve également cette conception chez Dauphiné (2004, 16) lorsque qu'il affirme : « un risque ne peut se matérialiser en catastrophe. Le risque possède une dimension probabiliste qu'une catastrophe n'a malheureusement plus, elle est devenue une certitude ».

Le concept de risque se prête à une polysémie conceptuelle car il constitue un sujet de réflexion pour des chercheurs issus de champs scientifiques assez différents. Ainsi on comprend la difficulté d'avoir une définition qui soit consensuelle parmi les scientifiques, donc la difficulté d'opérationnaliser le concept. Parmi les définitions du risque, nous avons retenu celles qui traduisent les préoccupations des géographes, des ingénieurs et des chercheurs des sciences sociales (*Tableau 1.1*).

L'un des éléments communs et sous-jacents à toutes ces définitions est l'idée de « pertes potentielles ». Ces pertes peuvent être traduites en tant qu'espérance mathématique, et elles sont donc quantifiables en termes moyens, en tenant compte des paramètres de vulnérabilités intrinsèques et extrinsèques aux enjeux et des paramètres de l'aléa. Un autre élément clé est l'occurrence d'un évènement « dangereux », c'est-à-dire l'aléa à caractère naturel ou humain. L'adjectif dangereux présuppose l'existence d'enjeux humains, économiques, fonctionnels et de dimensions symboliques puisqu'autrement l'évènement ne constitue pas une menace.

Le risque suppose donc la manifestation d'une certaine quantité d'énergie susceptible de provoquer des effets non souhaitables d'un point de vue sociétal. La notion de « dommages » est difficile à cerner du point de vue culturel. Comme l'affirme Bailly (dir.) *et al.* (1996, p. 90), « L'appréhension du risque dépend ainsi de la manière dont la société évalue la menace et son

incertitude ». En effet, le dommage est en fonction du contexte socioculturel et économique, ce qui, dans certains contextes, peut être considéré comme inacceptable à cause de la pénurie extrême de biens. Dans d'autres contextes socioculturels, ce même bien peut avoir moins de valeur et sa perte peut donc être tolérable pour la société. En tant qu'un indicateur de mesure des risques, le dommage réel ou potentiel comporte plusieurs dimensions, et certaines sont intangibles. Tels sont les cas des dimensions fonctionnelles et symboliques. C'est pourquoi la quantification du dommage peut être rendue difficile et par conséquent l'évaluation du risque le devient également. D'un point de vue strictement physique, « le dommage » est associé à la rupture d'un système en équilibre occasionnée par une manifestation d'énergie dont l'intensité dépasse la capacité du système à l'absorber. Vu sous cet angle, le fonctionnement ou dysfonctionnement du système peut être retenu comme un indicateur pour évaluer les dommages, et par conséquent la vulnérabilité.

Auteurs	Définition	Commentaire	Domaine
Dauphiné, 2004, p. 24	« <i>Le risque, produit d'un aléa complexe par une vulnérabilité analytique ou synthétique (...)</i> »	Suppose l'interaction entre l'aléa et la vulnérabilité ; adopte une démarche quantitative ; aborde la vulnérabilité.	Géographie
Leone, 2008, p. 103	« <i>Risque encouru est préférable au terme de risque tout seul ou de risque naturel, car il traduit mieux l'aspect virtuel des pertes attendues par une communauté ou une société donnée exposée à un phénomène potentiellement dommageable</i> »	Se focalise sur le caractère virtuel du risque. La notion de probabilité est évidente.	Géographie
Schwab, Gori, Jeer, Geological Survey (U.S.), & American Planning Association, 2005, p. 26	« <i>Risk the potential losses associated with a hazard, defined in terms of expected probability and frequency, exposure and consequences</i> ».	La dimension économique dans une perspective coût/bénéfice met en exergue les pertes potentielles et s'inscrit dans la définition précédente.	Ingénierie
Kelman, 2002, p.	« $\text{risk} = \sum_{\text{All residences}} [\text{All values of the hazard parameter} \times (\text{hazard parameter value} \times \text{exceedance probability}) \times (\text{vulnerability to that hazard parameter value})]$ integrated with respect to the hazard parameter. Le risque est défini comme une fonction des dommages.	Le risque est vu comme une espérance mathématique.	Ingénierie civile
Aven Terje, 2011, p.1	In short, we write Risk = (A, C, P), where A: what can go wrong (the initiating events) C: the consequences of these events if they should occur P: the probabilities of A and C	Se focalise sur les interactions avec l'événement, sur ses conséquences et sa fréquence.	Économie / assurance
Whyte & Burton, 1980, cité par Slaymaker, 1996	Risque « <i>résultat d'une probabilité d'occurrence du "hasard" et ses conséquences sociétales</i> ».	Cette définition met l'accent sur les pertes provoquées par un événement.	Sciences environnementales

Tableau 1.1 : Définition du risque selon différents auteurs et domaines scientifiques

En analysant le concept de risque présenté par Slaymaker (1996, p. 2), deux remarques peuvent dès à présent être formulées. D'abord le terme *hasard*⁸ renvoie à un processus dont la manifestation ne provoque pas forcément d'effets dommageables. Dans une telle situation, où le déclenchement du processus d'endommagement s'ajuste au cadre biophysique, la notion de risque est discutable. Pour illustrer ce propos, dans une île inhabitée comme celle de Santa Luzia (île inhabitée), située au nord-ouest de l'archipel, le ruissellement superficiel des eaux pluviales représente l'aléa. Néanmoins, on ne peut pas parler des risques au sens des sciences du risque telle qu'elles sont envisagées de nos jours, car il n'existe pas d'enjeux humains. En effet si, dans une série temporelle assez longue, il n'y a pas d'enregistrement d'évènements dommageables, dans le sens probabiliste du terme, à notre avis, on ne peut pas parler de risque, au moins d'un point de vue statistique. Ainsi, dans une telle situation, on peut admettre un risque zéro, ce qui est contraire à la thèse soutenue par certains, qui affirment que le risque zéro n'existe pas (Rebello, 2001). Ensuite, on est aussi obligé d'admettre que l'occurrence des aléas peut souvent entraîner des conséquences sociétales négatives traduites en termes de pertes humaines et de biens. Ce constat fait appel à la notion de vulnérabilité. Celle-ci est un concept associé au niveau de dommages qu'un système peut enregistrer.

Jusqu'ici, nous avons présenté les conceptions du risque selon différents auteurs. Il nous reste maintenant à présenter notre formulation du risque. Dès qu'on prévoit une conséquence virtuelle négative ou que l'on fait un constat indésirable au sein d'une population donnée, à cause de l'interaction entre un événement dommageable et des enjeux humains, on peut parler de risque. En effet, le risque naturel peut se définir à partir du niveau de pertes potentielles ou attendues en cas de manifestation de certains paramètres d'un aléa d'une intensité donnée. Dans ce sens, on peut aller jusqu'à dire que le risque n'a aucune conséquence pour les sociétés puisqu'il correspond à une perte virtuelle, donc pas connue, mais prévisible avec un certain degré d'incertitude. Ainsi, on peut partager le même avis que Leone (1996) lorsqu'il affirme que « *La notion d'espérance mathématique fait donc sens* ». Ainsi, dans cette perspective théorique, le risque est fonction des pertes attendues.

En ce qui concerne spécifiquement le risque d'inondation, on le définit comme les pertes virtuelles qu'on peut estimer en considérant un aléa d'inondation d'une intensité donnée et la période de retour considérée. Les paramètres tels que la hauteur d'eau et la durée de la submersion déterminent le niveau de pertes « *encouru* »⁹, pour reprendre un terme de Leone (2001). Au cours de notre démarche, seront présentées des cartes d'aléa et de vulnérabilité. Pour cette raison, il semble pertinent d'éclairer les concepts d'aléa et de vulnérabilité qui entrent dans la formulation de l'équation du risque.

⁸ Le terme hasard est pris dans le même sens que l'aléa.

⁹ Leone, 1996, p.13

1.1.2. L'aléa : un phénomène délicat à évaluer avec précision

A propos de l'aléa, Smith cité par Rebelo (2005) affirme qu'il s'agit d'un « *processus ou événement qui se produit naturellement ou induit par les humains, avec la capacité d'engendrer des pertes, c'est-à-dire une source générale de dangerosité* ». En introduisant la notion de « dangerosité », cette formulation met en évidence l'importance attribuée à la composante humaine dans la définition du mot aléa. Ainsi, force est d'admettre que d'une part, les humains peuvent engendrer l'aléa et que d'autre part le degré de dangerosité qui caractérise l'aléa est fonction de la présence ou de l'absence de l'homme. Cependant, il faut aussi admettre qu'il y a une difficulté à séparer les rôles joués par la nature et les hommes lors de la manifestation d'événements dangereux. Dauphiné (2004, p. 17) assure que l'aléa « *au sens restreint... désigne la probabilité d'occurrence d'un phénomène [...]. L'aléa est fonction de l'intensité du phénomène, de sa fréquence, mais aussi de la durée considérée, et de l'espace pris en compte* ». D'après cette définition, on peut remarquer que le phénomène a un caractère aléatoire, ainsi qu'une probabilité temporelle et spatiale, et donc une fréquence et une étendue spatiale.

D'autres auteurs comme Vinet (2007, p. 19) affirme que « *Le terme d'aléa s'est imposé en français pour désigner un phénomène physique potentiellement dommageable (Dauphiné). Il correspond grossièrement au mot « hasard » des anglo-saxons même si ces derniers l'emploient plus communément. Dans le cas des inondations, l'aléa correspond aux conditions de submersion. Il se décline en fonction de paramètres tels que la hauteur d'eau, sa vitesse, la durée de submersion, la fréquence ou période de retour, sa saisonnalité, et peut s'élaborer sous forme de scénarios* ». En comparaison du concept d'aléa présenté plus tôt, cette conception paraît trop restrictive lorsqu'elle affirme que l'aléa est un phénomène physique. En effet, la notion d'aléa est plus large, comme en témoigne la proposition de Reghezza (2006) qui affirme que la dégradation matérielle constitue aussi « *un nouvel aléa* » affectant les structures et donc source d'autres dommages. Autrement dit, la rupture même d'une fonctionnalité peut aussi devenir un aléa. Ainsi, à notre avis, les dommages ne résultent pas forcément des phénomènes physiques.

Par rapport à l'aléa inondation, au-delà de la condition de submersion retenue par l'auteur comme source de danger, il faut admettre que les pertes peuvent aussi être occasionnées par la force de l'eau, c'est-à-dire l'énergie cinématique des crues, surtout dans le contexte du Cap-Vert, où les pentes sont assez sévères. Nous partageons la conception de l'auteur selon laquelle l'aléa est défini par son caractère aléatoire, plus que par la nature du phénomène.

L'aléatoire s'associe à une probabilité temporelle. Il faut rajouter d'autres dimensions dans la définition de l'aléa : son amplitude et son étendue spatiale. L'aléa peut donc être défini comme un « *événement à caractère physique ou humain et perturbateur d'un système en équilibre* ». Lorsqu'une énergie produite au cours de la manifestation d'un événement dépasse la capacité du système en l'absorbant, elle peut entraîner sa déstabilisation : on est dans ce cas en face d'un phénomène d'endommagement.

1.1.3. L'exposition : une notion souvent confondue avec la vulnérabilité

Comme le rappelle à juste titre C. Saint Martin (2016), le mot « exposition » provient du verbe latin *exponere*, qui se compose du préfixe « ex », marquant la sortie et la séparation, et du verbe *ponere*, qui signifie une action de poser ou placer. Littéralement, *exponere* peut donc se traduire en français comme « placer à l'extérieur ». Si dans le dictionnaire latin-français Gaffiot, le premier sens du mot signifie « mettre en vue, étaler », on retrouve aussi celui de « livrer à la merci de ». Cette notion de mise en danger se retrouve également en 1690, dans le dictionnaire universel d'Antoine Furetière avec une définition d'exposition telle qu'une « *situation de risque, position découverte ou dangereuse* ».

De son côté, le CNRTL définit le verbe exposer comme « soumettre à l'action de » ou encore « *laisser l'action de quelque chose s'exercer sur quelque chose* ». Dans le contexte des risques naturels, l'exposition correspond donc à la coïncidence spatiale d'un enjeu et d'un aléa. Ainsi, pour reprendre une définition de la sécurité civile québécoise, un élément exposé peut se définir comme un « *élément [...] susceptible d'être affecté par un aléa naturel ou anthropique* ».

Dans le cas des inondations, l'exposition se rapporte ainsi à la présence d'enjeux en zone inondable ; il s'agit de « *la prédisposition d'un système à être interrompu par une crue en raison de sa localisation dans la même zone d'influence* » (S. F. Balica, 2007). C'est d'ailleurs dans ce cadre que la loi du 13 juillet 1982 prévoyait la mise en place de Plans d'Exposition aux Risques (PER). Ce sont les ancêtres des PPR (Plan de Prévention des Risques), qui les ont remplacés en 1995, soit 10 ans après leur création. Les PER avaient pour but d'identifier les zones exposées à l'aléa afin « *d'interdire de nouvelles constructions dans les zones les plus exposées* » ; et de mettre en place « *des prescriptions spéciales pour les constructions nouvelles autorisées dans les zones moins exposées* » (Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2018a). Cette notion « d'enjeu plus ou moins exposé » soulève le problème de la mesure de l'exposition. En effet, si l'exposition aux inondations se rapporte à la seule présence d'enjeux en zone inondable, elle devrait donc s'exprimer de manière binaire : un enjeu sera exposé ou non exposé.

La notion d'exposition reste très souvent confondue avec celle de vulnérabilité. Pourtant, un élément peut être exposé à un aléa sans y être vulnérable. Par exemple, un bâtiment situé en zone inondable mais équipé de protections contre les inondations sera exposé à l'aléa inondation mais n'y sera pas vulnérable d'un point de vue matériel. Inversement, un élément peut être vulnérable à une inondation sans y être exposé directement.

Ainsi, une entreprise située hors zone inondable sera vulnérable à l'inondation si ses employés ou ses clients habitent en zone inondable et ne peuvent s'y rendre : des pertes sont à attendre d'un point de vue économique, même si physiquement l'entreprise n'est pas inondée et ne déplore aucun dommage matériel.

1.1.4. La vulnérabilité : du sens commun à une métrique scientifique

Le mot « vulnérable » trouve son origine dans le mot latin *vulnerabilis* de *vulnus,-neris*, la blessure¹⁰. Le terme vulnérabilité est utilisé dans le langage scientifique dans des domaines de connaissance distincts tels que l'économie, la médecine et dans le domaine des sciences du risque où les géographes ont eu une contribution importante dans l'élaboration des concepts. Comme l'affirme Reghezza (2006, p. 51) :

« La médiatisation du thème de la vulnérabilité ne doit pas faire oublier qu'il s'agit aussi d'un concept scientifique que l'on trouve aussi bien en psychiatrie (au sujet des maladies mentales de l'adolescent par exemple) qu'en économie (pour parler des marchés financiers et des investissements), en informatique, et bien sûr, dans les recherches portant sur les risques et en particulier, les risques naturels ».

Dans une perspective scientifique, le concept de vulnérabilité doit être analysé tout en considérant l'aléa. Cela dit, le vulnérable n'est pas un état intrinsèque aux enjeux¹¹. Donc, les facteurs qui déterminent le degré de vulnérabilité d'un enjeu sont déterminés par les spécificités de l'aléa. Reprenons Veyret et Reghezza (2005, cité par Veyret et Reghezza, 2006, p. 3).

« La vulnérabilité est définie par l'incapacité à faire face à un aléa (coping capacity). Elle est fonction de plusieurs éléments : la capacité à anticiper l'occurrence de l'aléa (connaître/prévoir/alерter) ; la capacité à s'adapter à l'existence de cet aléa (mesures de réduction de l'aléa ou de protection/réduction de l'exposition) ; la préparation de la société à faire face à l'urgence (plans de gestion de crise/exercices de simulation), le comportement de la société pendant la crise (gestion d'urgence/capacité d'adaptation/réactivité); la capacité à anticiper et à effectuer la reconstruction dans les meilleurs délais (résilience) ».

Les auteurs laissent entendre qu'au-delà des caractéristiques intrinsèques des éléments exposés, il y a toute une série de variables de contexte externes aux enjeux, comme des interactions qu'on doit prendre en considération lorsqu'on essaye d'appréhender la vulnérabilité. Ainsi, la connaissance du phénomène, les décisions (soit individuelles, soit collectives) et par ailleurs, les ressources dont la société dispose contribuent à l'aggravation ou l'atténuation des dégâts et des vulnérabilités.

Dauphiné (2004, p. 19) assure à son tour que « la vulnérabilité, au sens le plus large, exprime la conséquence prévisible d'un phénomène naturel sur les enjeux ». Cependant, cette conséquence est à caractère négatif, puisqu'il résulte de l'(in-)capacité du système à annuler

¹⁰ Dictionnaire étymologique et histoire du français (1994, p. 818).

¹¹ Personnes, biens, systèmes ou autres éléments présents dans les zones à risque et qui sont ainsi soumis à des pertes potentielles. (UNISDR, 2009): http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRterminologyFrench.pdf

Le mot équivalent à "enjeu" en anglais est 'exposure' entendu comme «*The number, types, qualities, and monetary values of various types of property or infrastructure and life that may be subject to an undesirable or injurious hazard event* » (Schwab, Gori, Jeer, Geological Survey (U.S.), American Planning Association, 2005, 26).

les effets négatifs des événements dangereux. Ainsi, cet auteur distingue ce qu'il appelle vulnérabilité analytique et vulnérabilité synthétique. Cette distinction résulte de la façon dont on essaye d'appréhender la vulnérabilité. Lorsqu'on décompose les enjeux et qu'on analyse la prédisposition à l'endommagement de chaque élément, on est dans le domaine de la vulnérabilité analytique. D'après Dauphiné, cette conception est trop restrictive. Alors il avance avec d'autres chercheurs le concept de vulnérabilité synthétique qui se focalise sur la capacité du système (l'ensemble) à répondre à l'adversité d'une façon globale.

Dans la littérature anglophone des travaux ont été menés pour formaliser conceptuellement le mot vulnérabilité. Parmi eux, il faut retenir les publications de la géographe Susan L. Cutter de l'université de Caroline du Sud. Dans un article publié en 1996 dans la revue *Progress in Human Geography*, elle synthétise le concept de vulnérabilité. Tout en s'appuyant sur une vingtaine d'auteurs, elle a mené une réflexion très pertinente sur les « pertes potentielles » ou « niveau de pertes » qui sont au cœur de la définition du mot vulnérabilité. En effet, la notion première du terme est associée à une certaine fragilité face à un aléa donné. Le niveau de dégâts, les pertes attendues lors d'une interaction entre un phénomène dangereux de caractère aléatoire et l'enjeu sont fonctions de cette fragilité. On comprend que la prédisposition à l'endommagement est liée, soit aux caractéristiques intrinsèques du système, soit à l'intensité de l'aléa. D'après (Cutter, 1996), les recherches ne font pas référence à un seuil de pertes inacceptables pour les sociétés à partir desquelles on peut définir la vulnérabilité. Tout en reprenant la perspective de recherche fondée par Gilbert White, elle apporte une contribution importante en replaçant l'homme au cœur de l'analyse des risques, ce qui a permis la structuration du concept de « vulnérabilité sociale ». Ce concept, d'une certaine façon, met l'accent sur le rôle de l'homme dans la manifestation du risque. Celui-ci reste toujours très difficile à préciser.

La vulnérabilité sociale est associée parfois à la densité de population, aux comportements humains et aux caractéristiques socio-économiques de la population. On l'oppose par ailleurs souvent à la vulnérabilité des personnes. Dans ce cas, on essaye d'opposer le « tout », c'est-à-dire ce qui réagit collectivement et en réseaux, à ce qui réagit de façon isolée. A notre avis, la vulnérabilité d'un même enjeu est changeante en fonction du contexte territorial.

D'après Smith (1992, p. 22) "*vulnerability is the liability of a community to suffer stress, or consequence of the failure of any protective devices, and may be defined as the degree to which system, or part of system, may react adversely to the occurrence of a hazardous event*". Cette définition fait appel à des éléments comme le niveau de dégâts suite à un phénomène dangereux et remet aussi en question la notion de capacité à faire face pour annuler l'impact qui peut se produire. L'exposition aux désastres et aux catastrophes suscite un fort engagement de la communauté scientifique sur les conséquences sociétales qui ont un lien direct avec la localisation des personnes et leurs comportements. En effet, l'urbanisation se traduit par l'augmentation de niveau d'exposition des enjeux dont la vulnérabilité peut être mesurée par la capacité à faire face pendant la manifestation de l'aléa.

La vulnérabilité dans l'optique de Vallejo, Ferrer, Ortunõ & Oteo (2002, p. 611) est le degré de dommages subis ou potentiels d'un élément ou d'un groupe d'éléments lorsque se produit un événement. Elle est fonction des caractéristiques des enjeux considérés et de l'intensité du processus. Les auteurs insistent sur la monétarisation des conséquences. Autrement dit, pour eux les pertes réelles ou attendues doivent pouvoir se traduire en coûts. Nous sommes là dans une perspective d'évaluation de type « coûts-bénéfices ». Cette conception n'est pas exempte de critiques notamment parce que la quantification de pertes de vies humaines en montants monétaires pose des problèmes éthiques importants.

Selon l'UNISDR (2015b, p. 32), la vulnérabilité est entendue comme « *une condition déterminée par les facteurs ou processus physiques, sociaux, économiques et environnementaux qui augmente la susceptibilité de la communauté, en subit les dommages du fait de l'impact de l'aléa* »¹². Cette définition est plus large et admet qu'un contexte de fragilité est la conséquence d'une multitude d'aléas. Dans cette analyse, on s'aperçoit qu'il y a un certain nombre des mots-clés déjà consacrés au concept de vulnérabilité. On peut notamment identifier des « *degrés de pertes* » soit potentielles, soit attendues ou encore produites, et aussi les notions de dommages, de résilience, de résistance, de capacité à réagir favorablement lors de manifestation d'un aléa. Le concept de vulnérabilité suppose ainsi la prise en compte d'autres concepts comme la résistance et la résilience telles que les ont proposées par exemple Dauphiné et Provitolo (2007).

A notre avis, la vulnérabilité se définit comme les pertes attendues ou réelles face à un aléa d'intensité donnée. Le concept comprend ainsi une dimension probabiliste, mesurée en termes d'espérance mathématique, mais aussi une autre dimension, qui découle de sa matérialité. La vulnérabilité se conçoit aussi comme la capacité d'un élément ou d'un ensemble d'éléments à répondre favorablement à un aléa d'intensité donnée. Autrement dit, la vulnérabilité peut être envisagée soit à partir des effets négatifs, c'est-à-dire des dommages provoqués lors de la manifestation d'un aléa, soit en quantifiant les mesures de résilience prises afin d'atténuer ou d'éviter les préjudices. En d'autres termes, les mesures de résilience mises en place permettent d'inférer les niveaux de vulnérabilités. Après cette présentation des concepts de risques, d'aléa et de vulnérabilité, il est ensuite nécessaire, dans une perspective opérationnelle, d'examiner les approches méthodologiques de l'évaluation des risques.

1.2. Analyse critique des méthodes d'évaluation

L'évaluation des risques naturels s'impose comme une procédure nécessaire pour adopter des mesures de prévention, et espérer l'atténuation des conséquences dommageables pour les populations. Il existe une pluralité de méthodologies, de modèles et d'outils informatiques,

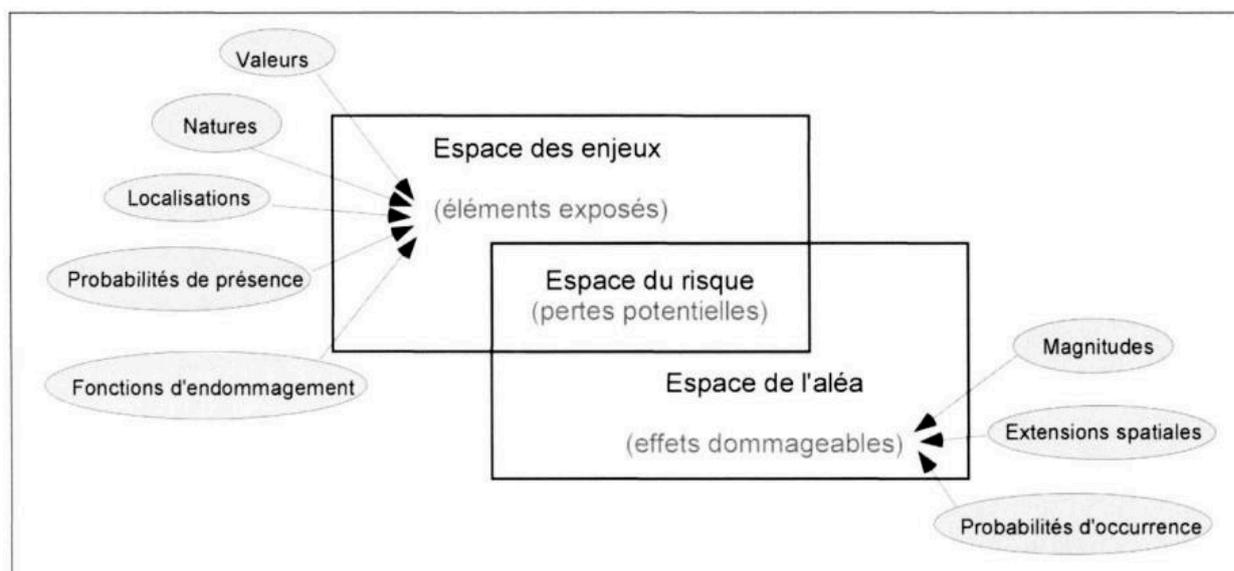
¹² "The conditions determined by physical, social, economic and environmental factors or processes, which increase the susceptibility of a community to the impact of hazards".

déjà développés pour l'évaluation des risques naturels en fonction des caractères de l'aléa et/ou du domaine scientifique auquel se rattachent les acteurs (scientifiques ou opérationnels). Cette évaluation peut se faire à différentes échelles spatiales, de l'échelle macro (ville, communes) à l'échelle micro (individu ou groupes). Du point de vue scalaire, il est toutefois difficile de préciser les limites de ces deux échelles : on peut par exemple considérer que le niveau macro pour un individu est un logement, voire un bâtiment collectif.

1.2.1. Une dichotomie entre l'espace de l'aléa et l'espace des enjeux

Les principes de base de l'évaluation du risque reposent sur une dichotomie entre l'espace de l'aléa et l'espace des enjeux (*Figure 1.1*). On admet qu'il n'y a pas de coïncidence spatiale précise entre l'espace de l'aléa et celui du risque. Autrement dit, les effets de la manifestation des risques peuvent dépasser l'espace de l'aléa.

La *Figure 1.1* indique les éléments fondamentaux qui doivent être considérés dans l'équation d'évaluation de risques. Cette évaluation implique, d'une part l'identification de l'aléa ou des aléas et leurs paramètres telles que la magnitude, la probabilité d'occurrence et leur étendue spatiale lorsque cela est possible. D'autre part, il est nécessaire d'inventorier les enjeux, leur densité, ainsi que leurs caractéristiques qui se présentent comme facteurs d'aggravation ou d'atténuation de la vulnérabilité, sachant que ces facteurs dépendent aussi du type d'aléa. La question qui s'impose alors est : comment mesurer les risques ? Comment évaluer les valeurs des enjeux matériels, humains, fonctionnels et symboliques exposés à un aléa donné ?



Source : Extrait de Leone, 2007, p. 112

Figure 1.1 : Évaluation du risque naturel

L'intensité du risque s'exprime en différents degrés par le biais d'échelles quantitatives ou qualitatives qui mesurent l'impact provoqué à la suite d'une interaction entre la magnitude de

l'aléa et les enjeux exposés. Le problème se pose surtout par rapport à la quantification de la valeur des enjeux. Certes pour les patrimoines immobiliers et mobiliers, il existe déjà des expériences et des méthodologies d'évaluation d'assurances précises et rigoureuses pour la couverture en cas de sinistre, mais l'évaluation des biens immatériels non tangibles et des personnes posent des problèmes de valeur monétaire. Pour les biens immobiliers, avec des méthodes comparatives, la valeur patrimoniale immobilière est calculée sur la base du prix de construction au mètre carré auquel s'ajoute le prix du terrain en considérant un facteur de dépréciation selon l'année de construction. On peut aussi intégrer d'autres variables liées aux contextes territoriaux et sociaux. Si à la valeur patrimoniale immobilière, on ajoute la valeur des biens mobiliers, on aura alors une estimation approximative des enjeux patrimoniaux des ménages. Par ailleurs, les possibilités offertes par les SIG (i.e. superposer et croiser des couches d'information du point de vue cartographique) apportent une valeur ajoutée dans la démarche d'évaluation du risque. En effet, tout en considérant la cartographie de l'aléa et la carte des éléments exposés prenant en compte leurs fragilités, les technologies SIG permettent de dégager le niveau de risque. Il faut remarquer que le schéma classique d'évaluation du risque est facilité par l'évolution des nouvelles technologies spatiales, notamment des SIG et de la télédétection, qui permettent la manipulation des informations géoréférencées.

1.2.2. Des formules quantitatives peu opérationnelles

Au-delà des méthodes cartographiques, qui relèvent de critères qualitatifs ou quantitatifs, on peut aussi s'appuyer sur des méthodologies quantitatives, notamment en ayant recours à des procédures mathématiques probabilistes de simulation ou de modélisation informatique, qui sont aujourd'hui des outils très utilisés pour estimer, tester ou expérimenter des scénarios de dommages ou d'évacuation. La recherche menée par certains auteurs, comme Ramsbottom et al. (2003) ; Douvinet (2008) ; Dawson, Peppe & Wang (2011) et Chen, Chen, Zhao & Yu (2014) s'inscrivent dans ces perspectives de modélisation et de simulation, soit pour définir les zones à risques, soit pour aider à l'évacuation des sinistrés en cas de nécessité.

Dans l'acception probabiliste du terme, le risque peut être traduit en différents degrés de dommages, depuis le risque zéro lorsqu'il n'existe aucun enregistrement de dommages, jusqu'à l'unité, c'est-à-dire le risque inévitable. La portée du risque est fonction de l'intensité de l'aléa, mais aussi de la vulnérabilité comme le défend Rebelo (2001), en proposant l'expression :

$$\text{« risque = aléa * enjeux * vulnérabilité »}$$

Cette formulation met en évidence l'importance des facteurs humains dans la quantification des risques. Autrement dit, lorsque les enjeux présentent des éléments vulnérables par rapport à un aléa donné, le risque a tendance à croître et vice-versa.

Pour Dauphiné (2004, p.24), « *il est préférable d'avoir une définition plus générale, où le risque = f (aléa, vulnérabilité), où f est fonction des problèmes analysés* ». Dauphiné (2003) propose une autre façon d'évaluer le risque en considérant la capacité du système à rétablir l'équilibre en cas de perturbation. Ainsi, on mesure la capacité du système à répondre aux perturbations. Cet élément d'analyse renvoie en partie aux caractéristiques socio-économiques de la population. Elles peuvent se traduire en moyens matériels et cognitifs nécessaires pour rétablir rapidement une situation de déséquilibre. C'est la perspective d'évaluation systémique de la vulnérabilité qui est valorisée, sachant même que l'auteur ne lui oppose pas une évaluation analytique de la vulnérabilité malgré ses aspects négatifs.

Tout en proposant une quantification des risques d'un point de vue méthodologique, Leone (2007) suggère de faire une distinction entre ce qu'il appelle risque spécifique et risque global. En s'inspirant des travaux d'auteurs déjà cités (Canceill, 1983), il a défini le risque spécifique (RS) comme une espérance mathématique :

$$Rs = fct (Po, Pa, Pp) * D$$

où :

Po : probabilité d'occurrence du phénomène,

Pa : probabilité pour que le phénomène atteigne l'emplacement de l'élément exposé,

Pp : probabilité pour que l'élément exposé soit présent au moment où le phénomène l'atteint,

D : niveau d'endommagement potentiel de l'élément exposé si le phénomène l'atteint (vulnérabilité).

Par rapport aux définitions présentées plus tôt, celle-ci incorpore une nouvelle variable, celle liée à la dynamique des éléments exposés à travers l'élément Pp. Ainsi, à notre avis, dans cette expression, le paramètre Pp est lié indirectement à l'exposition aux enjeux notamment au cours de la journée. Donc les éléments Pp et D déterminent le niveau de vulnérabilité des enjeux. Les éléments Po et Pa renvoient aux caractéristiques de l'aléa, à sa fréquence et à son amplitude. En additionnant les risques spécifiques (Rs) de chaque élément exposé ou d'un ensemble d'éléments exposés (Vi), on arrive au risque global pour une zone donnée. Pour l'auteur, le risque global permettra donc une évaluation monétaire du risque.

D'après l'auteur, l'expression analytique pour le risque global sera :

$$Rg = somme (Rs*Vi)$$

où :

Rg : risque global encouru par un espace exposé donné,

Rs : risque spécifique encouru par chaque élément exposé, présent sur cet espace,

Vi : valeur unitaire initiale de chaque élément exposé ou d'un ensemble d'éléments exposés ayant le même niveau d'endommagement.

A notre avis, cette méthodologie n'est opérationnelle que si un travail conséquent est mené sur le terrain pour collecter les données de pertes et sur leur valeur monétaire pour établir une corrélation avec l'intensité des aléas. Cette procédure demande des ressources en temps : plus la série de données collectées est longue, moins la fonction dérivée comportera d'erreurs.

1.2.3. La monétarisation des dommages : une variable indispensable

Pour améliorer l'évaluation du risque, Vallejo *et al.* (2002, p. 611) défendent l'idée que la monétarisation de vulnérabilité est dépendante des coûts. Ainsi, pour ces auteurs, le risque (R) doit intégrer les dimensions socio-économiques. Il est défini par « *les pertes potentielles dues à la manifestation d'un phénomène naturel...* ». Cette proposition d'une certaine façon ne diffère pas des concepts présentés plus tôt. Cependant, ces auteurs présentent une spécificité dans l'expression de l'évaluation du risque lorsqu'ils proposent que $R = P * V * C$, P étant l'aléa considéré, V, la vulnérabilité des éléments et C, les coûts monétaires des éléments exposés. Le vecteur C représente donc ce qui est appelé coûts sociétaux des risques. Ainsi, le risque peut être exprimé en fonction de l'unité des coûts de réparation ou de remplacement des pertes potentielles ou réelles induites par les aléas, puisque P et V sont des variables adimensionnelles. Cette définition pose problème parce qu'il est parfois difficile de quantifier des pertes, surtout quand il s'agit des décès.

Focalisant l'analyse des pertes du point de vue des assureurs, Christofolletti (2004, p. 146) signale que « *l'évaluation du risque (...) signifie la quantification de pertes potentielles des valeurs assurées, et si possible combinés avec l'évaluation de la probabilité correspondante* »¹³. Cette conception formulée par l'auteur est centrée sur le risque individuel, vu que l'assurance des biens est une décision particulière fortement conditionnée par les perceptions individuelles du risque. Dans cette acception, la notion de vulnérabilité territoriale qui parfois fragilise les enjeux, c'est-à-dire rend les enjeux plus vulnérables, n'est pas prise en compte. Donc la responsabilité collective n'est pas engagée.

L'évaluation des pertes potentielles constitue une démarche d'assureur pour compenser les dégâts engendrés par des événements dommageables. L'État moderne, avec ses prétentions sociales et humanistes et dans le cadre de textes normatifs légaux nationaux et internationaux, compte tenu de la nécessité de garantir certains droits des citoyens, doit mettre en place des protocoles d'évaluation de façon à les insérer dans les politiques d'aménagement du territoire.

¹³ *Nessa perspiciva, a avaliação de riscos basicamente significa quantificar as perdas potenciais aos valores assegurados, e se possível combinados com a avaliação das frequências ou probabilidades correspondentes.* pp. 146-147. Traduction libre

1.3. Le risque inondation : un risque particulier et atypique

Le risque d'inondation constitue une menace majeure à l'heure actuelle, qui s'accroît avec le changement climatique. Les pertes suite à des phénomènes dommageables s'expliquent par l'inondation au sens strict du terme, mais également par les impacts liés à l'écoulement de l'eau et aux processus chimiques. La distinction entre les différents processus devient parfois difficile à faire, surtout lorsqu'on examine la manière dont l'eau interagit avec les enjeux. Cette difficulté est majeure dans un contexte géomorphologique très accidenté, où l'inondation peut avoir lieu même sans le débordement des cours d'eau. Ainsi, il nous semble pertinent d'identifier en quoi le risque inondation est un risque particulier et atypique.

1.3.1. La crue et l'inondation : deux significations différentes

Le mot crue¹⁴ provient de « croître ». Il est défini comme une « élévation du niveau d'un cours d'eau, due à la fonte rapide des neiges et des glaces ou à des pluies abondantes ». On trouve aussi la définition du mot inondation entendue comme « submersion, lors d'une crue, des terrains avoisinant le lit d'un cours d'eau ; masse d'eaux qui inondent..., invasion (...) ». À partir de ces définitions, on s'aperçoit que les deux mots ne sont pas synonymes. En effet, le terme crue désigne une situation d'altération du régime d'écoulement normal d'un cours d'eau, à cause d'un accroissement du volume d'eau. Concernant la sémantique du mot inondation, on peut retenir au moins deux sens. Un premier consiste dans la submersion d'une aire, à la suite d'une crue, en raison de la topographie. Cette définition est plutôt adoptée pour les géomorphologues. Par rapport au deuxième sens qui apparaît dans le dictionnaire « *masse d'eau qui inonde, ... invasion* », le sens qui s'impose, c'est l'impact physique. Dans ce cas particulier, l'inondation peut avoir lieu hors des plaines alluviales. D'ailleurs, Vinet (2007, p. 52) affirme, en reprenant Laganier & Davy (2000), que :

« Sous les termes de crues et d'inondations se cache un phénomène multiforme. Les crues, terme plutôt hydrologique, désignent le dépassement d'un certain débit ou d'une certaine hauteur par un cours d'eau. Cette hauteur d'eau peut être qualifiée en fonction de sa durée de retour : crue décennale pour une hauteur d'eau ou un débit qui a une chance sur dix de se produire chaque année, crue vicennale pour une crue qui a lieu tous les 20 ans en moyenne et crue centennale susceptible d'être atteinte chaque siècle. Le terme inondation est d'acception plutôt topographique ou géomorphologique. Il désigne le débordement d'un cours d'eau de son lit mineur, mais aussi le remplissage d'une cuvette topographique par les eaux de ruissellement local. On parle alors d'inondation pluviale. Ces phénomènes se distinguent par la vitesse de l'eau, le volume d'eau écoulé et la hauteur d'eau ».

La définition du mot crue présentée apporte deux éléments importants qu'on doit prendre

¹⁴ Crue (1998) : cf. dictionnaire *Le Petit Larousse*. France, Paris.

en compte lorsqu'on l'analyse du point de vue scientifique : le volume d'eau et la période de retour. Lorsque l'auteur assure que les « crues » supposent le dépassement d'un certain débit, sans spécifier le seuil, même s'il considère le lit mineur comme repère, on est face à une définition peu précise. Cependant, il nous semble que la définition telle qu'elle est formulée suppose déjà l'existence d'un cours d'eau pérenne. Il est donc difficile d'application dans un contexte climatique tropical typique du Cap-Vert, où la rivière a un régime temporaire.

La formulation présentée par Valadas (2004, p. 71) est plus précise. Il affirme que « *la crue, c'est la montée du niveau des eaux dans un cours d'eau, ce qui entraîne des débits exceptionnels par rapport à la moyenne maximale annuelle* ». Cette définition, au-delà du volume d'eau, en considérant la moyenne maximale annuelle, établit explicitement un seuil, donc nous semble plus précise que le concept présenté précédemment. En ce qui concerne l'inondation, l'auteur spécifie : « *l'inondation se produit lorsque le cours d'eau quitte son chenal bien marqué pour déborder dans la plaine alluviale* ». Il s'agit d'une définition dont le critère est nettement topographique et n'englobe pas toute la situation d'invasion par l'eau. En effet, on peut enregistrer l'inondation en dehors du contexte géomorphologique de la plaine alluviale. La thèse soutenue par Valadas va dans le même sens que celle proposée par Martin (1998, p. 112) lorsqu'il affirme que :

« Une crue est l'élévation du niveau d'un cours d'eau au-dessus de son niveau moyen. Selon le cours d'eau, elle peut être fréquente, ou rare, rapide ou lente, plus ou moins abondante et régulière ; elle peut se produire à des dates ou des époques habituelles ou non ; elle peut passer sans dommage et même être utile en répandant du limon fertile, ou entraîner une ample catastrophe ».

Ainsi, le concept d'inondation est associé au concept de crue. Habituellement, on considère que l'inondation peut être une conséquence des crues, lorsqu'il y a un volume d'eau dont le lit mineur n'est pas suffisant pour provoquer son écoulement.

Comme le suggère Rocha (1994, p. 11),

« Le concept de crue est associé en l'occurrence à une valeur très haute du débit dans un cours d'eau, à cause de précipitations intenses ». Lorsque la crue provoque le dépassement du lit normal, produit l'inondation (...). Le lit normal correspond à ce qu'habituellement on désigne par lit mineur, dont la capacité de drainage est suffisante pour écouler le débit moyen annuel de crue. Pour la période de retour de 10 à 100 ans, l'eau s'écoule dans le lit majeur ».

Dans la même perspective, Rebelo (1997, p. 30) spécifie que « *l'inondation rapide (flash floods) est toujours liée à la chute de pluies intenses, fréquentes dans certains types de climat et particulièrement en certaines régions (...)* ». Là encore, après un survol de quelques dommages provoqués par les inondations dans le monde (voir p. 30), l'auteur fait référence à quelques valeurs maximales d'intensité de précipitation en se référant à Péguy. Il assure que l'élément commun à tous les cas évoqués est le suivant : l'occurrence de la pluie intense, c'est-à-dire beaucoup de pluie dans un pas de temps très court.

En synthétisant, les termes « crues » et « inondation » du point de vue géomorphologique peuvent être différenciés à travers les formes de reliefs où l'écoulement se produit. En effet, lorsque l'eau déborde la rivière et envahit le terrain contigu, on est face à une inondation. Si l'écoulement est confiné aux vallons, on parle de crue. Par rapport au Cap-Vert, Tavares (2010) utilise le mot « crue » dans le cadre de sa thèse de doctorat sur l'érosion des sols sur l'île de Santiago, pour désigner une masse d'eau importante qui coule des rivières vers un bassin hydraulique. Il fait une typologie des crues (*Figure 1.2*) en fonction de la couleur de l'eau qui dépend des matériaux transportés en suspension.



Devant le Palais du Gouvernement, inondation et remplissage de la plaine alluviale (cote : 2 à 3 m d'altitude)



Inondation hors du cadre géomorphologique de la plaine alluviale

Source : Extraits de Tavares, 2010

Figure 1.2 : Typologie des crues et inondations dans la ville de Praia

La distinction entre les concepts de crue et d'inondation n'est toutefois pas évidente lorsque la surface du sol est assez irrégulière et dans le contexte géographique où les pentes sont fortes. Dans ce contexte-là, la distinction ne se fait pas sans problème. En effet, l'occupation du lit mineur fait que les logements sont envahis par les crues, sans qu'il y ait débordement. Donc, le concept d'inondation au sens classique anglais de « *floodplain* » ou au sens français de « *plaine inondable* » ne s'applique pas puisqu'on n'est pas face à une situation de débordement.

Dans le cadre de ce travail, nous adoptons le terme *inondation* pour désigner la submersion de lieux à basse cote topographique ainsi que le débordement de rivière. On

oppose à cette inondation une autre notion qu'on peut appeler *inondation par les crues* (*inondation cinématique*). Dans ce sens, la question du volume d'eau et, par conséquent le débordement, ne constitue pas un facteur-clé puisque le système de pentes, qui est un facteur d'aggravation de l'écoulement, joue un rôle déterminant. Comme l'assure Rebelo (1999, p. 4) dans un article sur le risque d'inondation à la ville de Paria « [...] où malgré tout ce qu'il y a comme espace pour qu'elle s'écoule vite en provoquant des dommages liés à un débordement rapide en quelques points et même sans débordement, l'eau peut envahir ou détruire certains logements ailleurs ». Ainsi, quand les logements se localisent au fond des rivières ou dans les aires à forte déclivité, on peut plus parler d'inondation. Dans le cadre de ce travail, nous garderons les termes d'*inondation rapide* proposés par Rebelo dans l'article cité, même s'il nous paraît approprié d'utiliser l'expression « risques hydriques », en raison des difficultés à séparer les dommages provoqués par l'inondation des crues rapides. Pour conclure, le schéma de la *Figure 1.3* illustre le type d'inondation en fonction de leur origine dans le contexte du Cap-Vert.

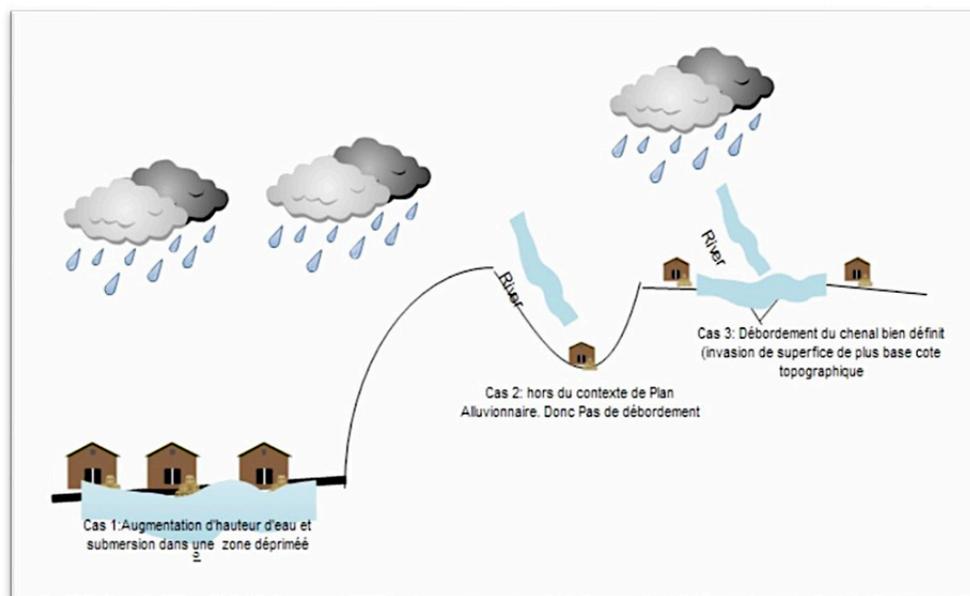


Figure 1.3 : Contexte géomorphologique d'inondation fluviale

1.3.2. Des méthodes d'évaluation diversifiées selon les critères retenus

L'évaluation de l'aléa inondation requiert la connaissance de plusieurs paramètres, tels la hauteur d'eau, la vélocité des crues, le temps de submersion et/ou l'étendue de l'emprise de la zone inondée. La connaissance de ces paramètres passe nécessairement par l'analyse de séries de données enregistrées, l'analyse de données hydrométriques (lorsque celles-ci existent ou à travers la modélisation des paramètres), la simulation (pour identifier les débits ou les hauteurs d'eau probables), ou encore par le biais de travaux d'observation sur le terrain. La simulation constitue une « *procédure utilisée pour contourner le manque de données, surtout dans les domaines de l'hydrologie et de la climatologie* » (Christofolletti, 2007, p. 14). Ainsi, on peut saisir l'aléa par la modélisation, avec des modèle pluie-débits (GRH ou Mascaret) par exemple.

Pour des raisons purement méthodologiques, on regroupe les procédures de délimitation de zones inondables en fonction de la disponibilité des données, en envisageant trois approches. Dans un premier cas, lorsque les données statistiques font défaut ou ne sont pas suffisantes, on peut recourir à l'approche hydro-géomorphologique ou à la simulation. Dans un deuxième cas de figure, dès que les données sont disponibles, c'est-à-dire dès qu'il existe une série temporelle, on peut recourir aux approches modélisatrices, soit cartographiques, soit statistiques.

Par rapport à l'approche hydrogéomorphologique, Mercier (2013, p. 179) affirme à titre d'exemple que, dans le cas de la France :

« Dans les zones où l'on dispose de peu d'informations hydrologiques et où les enjeux ne justifient pas des études coûteuses, les services de l'État ont choisi de compléter l'information par une approche hydrogéomorphologique de la détermination des zones inondables. Cette méthode relève d'une approche naturaliste et repose essentiellement sur la photo-interprétation couplée à une étude du terrain et propose une enveloppe de la zone inondable maximale possible ».

Pour l'essentiel, cette approche privilégie les travaux de terrain tout en identifiant les marqueurs sur le terrain, telles que les formes de relief comme le lit mineur, le lit moyen et le lit majeur ordinaire en tant que limites d'extension des crues extrêmes. On fait l'enregistrement des marqueurs en signalant la hauteur de l'eau et les signatures de sédimentologie dans la plaine alluviale. Cette approche dénommée empirique naturaliste a l'avantage de permettre un constat direct sur le terrain et par conséquent d'être plus proche de la réalité du terrain. Vu que les cas extrêmes se manifestent rarement, cette approche a l'inconvénient, dans la mesure où les marqueurs collectés auprès du terrain peuvent ne pas correspondre aux cas-limites, ce qui risque de mettre en péril la communauté.

La démarche de simulation se présente comme un outil fondamental pour pallier le manque de données et s'inscrit dans le cadre de méthodologies quantitatives qui ont connu des progrès importants avec la diffusion de techniques informatiques (Christofolletti, 2007, p. 14). En ce qui concerne l'utilisation de la simulation dans le domaine de la délimitation spatiale de l'aléa d'inondation, nous voudrions noter deux démarches, une plus traditionnelle dénommée simulation hydrologique qui, d'après Christofolletti (1999, p. 14), vise à « dégager l'hydrogramme d'écoulement à partir de données de précipitation et de paramètres du bassin hydrographique ». Cette ligne de recherche considère les paramètres morphométriques de bassins telles que la taille du bassin, les pentes, l'organisation du système de réseau pluvial... et l'occupation de sols. Il existe plusieurs modèles hydrologiques supportés par des logiciels spécifiques pour dégager la hauteur d'eau, la vitesse, le volume d'eau et l'étendue spatiale de la zone inondable. Parmi les outils classiques, on peut citer *HEC-RAS* d'ESRI, *IBER*, *OPENLISEM*, *SWAM*, *MIKE* pour simuler la hauteur de l'eau, la vitesse et l'étendue spatiale. Ces outils de simulation 1D et 2D requièrent comme données d'entrée, les géométries des fonds de vallées, la taille du bassin versant amont, certains indices morphométriques (comme le temps de concentration) et l'intensité des pluies.

Dans la perspective de délimitation du territoire de l'aléa, un nouvel axe de recherche tend à se développer, en contradiction avec les modèles classiques. Cet axe s'occupe de la micro-simulation tout en considérant le comportement individuel de chaque pixel (individu) et sa contribution dans le tout. Ce nouveau champ de recherche s'inscrit dans le cadre conceptuel de la théorie de systèmes complexes où les chercheurs ont recours à la programmation orientée-objet visant le développement des automates cellulaires et des systèmes multi-agents.

Quelques travaux sont remarquables à ce sujet. Dans sa thèse de doctorat, après un bilan assez pertinent des indices morphométriques classiques qui sont utilisés comme paramètres pour prévoir la réponse hydrologique potentielle d'un bassin hydrographique en tant qu'unité homogène, Douvinet (2008) a remis en cause la notion de « bassin hydrographique » en tant qu'unité homogène, en considérant le rôle de la morphométrie dans l'écoulement des bassins :

« La notion de « bassin versant » a toujours été considérée en hydrologie comme l'unité fonctionnelle de référence. Néanmoins, l'aire drainée par un exutoire donné n'a pas un fonctionnement homogène. Elle peut aussi dissimuler des sous-unités fonctionnelles internes ».

Il a d'abord développé un modèle à base d'automates cellulaires permettant une approche « ascendante » tout en exploitant le comportement individuel de chaque cellule par rapport aux cellules voisines. La variable fondamentale, c'est la déclivité associée à l'usage et à l'occupation des sols. L'écoulement se produit en fonction de l'état initial de chaque pixel et des règles de transition qui leur sont associées. En développant l'automate cellulaire, l'auteur se focalise sur la structure interne du bassin hydrographique en exploitant le phénomène d'émergence, ce qui constitue une avancée par rapport aux approches classiques. Il s'agit d'une démarche novatrice puisque le territoire de l'aléa n'est pas a priori confiné au système de réseau hydrographique des bassins. Il y a des zones sensibles masquées ou dissimulées par des effets d'échelle. L'originalité de ce travail se distingue à deux niveaux. D'abord il propose un nouvel indice appelé « indice d'Efficacité Interne ». Cet indice traduit la quantité d'énergie dont l'effet dommageable est proportionnel à l'échelle proposée par l'auteur. Ensuite, la thèse soutenue par l'auteur marque clairement une rupture avec l'approche classique pour prendre en compte la dynamique et l'interaction au niveau de chaque pixel, c'est-à-dire le comportement individuel dans le tout, sachant que le tout n'est pas la somme des parties.

Cet axe de recherche a été possible grâce à une collaboration avec des informaticiens, et grâce aux travaux développés par des chercheurs comme Langlois et Daudé. Cette approche a le mérite de montrer l'inefficacité de la modélisation des crues à l'échelle globale, et qui se basent uniquement sur des paramètres morphométriques simplifiés et non pertinents à échelle fine.

La contribution de leurs recherches montre que les effets scalaires peuvent avoir des conséquences importantes en ce qui concerne la prévision des crues rapides puisque la modélisation par le biais des indices et paramètres classiques des bassins hydrographiques (forme, densité de drainage, indice de compacité, pentes moyennes) ne permet pas d'appréhender le comportement de l'eau.

Tout en axant leur recherche dans le cadre de la théorie des systèmes complexes, Dawson *et al.* (2011) font à leur tour un couplage entre le système multi-agents et le modèle hydrologique pour simuler l'évacuation de la population en cas d'inondation. Pour l'essentiel, dans les scénarios d'inondation, les chercheurs reprennent le modèle mathématique (équation différentielle) déjà utilisé par les auteurs précédents et la plateforme *Netlogo* pour délimiter les zones inondables. En synthèse, on peut assurer que la délimitation du territoire de l'aléa et des paramètres qui caractérisent ce même aléa constitue une étape essentielle si on souhaite mettre en place un système d'évaluation des risques d'inondation.

D'ailleurs, parmi les approches étudiées, quelques-unes s'inscrivent dans les méthodologies quantitatives, notamment la modélisation et la simulation qui ont pour bases des modèles mathématiques distincts. Les modèles hydrologiques très chers aux ingénieurs et la simulation numérique sur ordinateur qui se décline en automates cellulaires et système multi-agents s'inscrivent dans cette approche de modélisation. Une autre démarche privilégiée également est la modélisation cartographique ayant comme support les technologies géospatiales, notamment les SIG et la télédétection. Dans cette thèse, nous utiliserons la délimitation des zones inondables qui figure dans une étude de profil de dangerosité commandée par le gouvernement du Cap-Vert et parrainée par les Nations-Unies, malgré leur insuffisance. La modélisation hydrologique a été effectuée avec le logiciel HEC-RAS d'ESRI.

1.3.3. Pas une, mais des vulnérabilités

L'évaluation de la vulnérabilité relève encore plus des systèmes complexes (Peck, Karmakar, & Simonovic, 2007). Parce que le concept se prête à plusieurs sémantiques, l'évaluation devient difficile, au moins d'un point de vue opérationnel. En effet, lorsqu'on parle de la vulnérabilité, il y a plusieurs aspects qui peuvent faire l'objet de l'évaluation : les aspects endommagements physiques attendus, les mécanismes des réponses institutionnelles dont le système dispose pour faire face aux événements adverses, la capacité de résistance installée ou même la manière dont les habitants perçoivent une situation potentiellement dangereuse. Dès lors, se pose la question de savoir quelle méthodologie peut être envisagée pour mesurer la vulnérabilité et le risque de façon à avoir les connaissances nécessaires pour la prise de décision.

Il faut d'abord prendre en compte les différentes dimensions des enjeux et du système qu'on prétend évaluer. Ensuite, il est nécessaire de définir des indicateurs. Selon les types d'enjeux, le système de classement de la vulnérabilité peut varier et aura une influence sur la méthode d'évaluation. Dauphiné (2003, p.22) oppose vulnérabilité individuelle et vulnérabilité sociétale. Selon cet auteur,

« Au plan géographique, la vulnérabilité personnelle est fonction de la localisation de la personne par rapport au site dangereux [...]. La vulnérabilité sociale ne dépend pas du même paramètre, de la distance par rapport au site dangereux, mais elle est fonction de la densité de la population, et de sa répartition spatiale ».

Tout en prenant en considération une série d'éléments pour l'évaluation de la vulnérabilité, González de Vallejo, Ferrer, Ortunõ & Oteo (2002) proposent un système de classement de la vulnérabilité (*Tableau 1.2*) en trois types : sociale, structurelle, économique. Le *Tableau 3.2* donne pour les 3 types de vulnérabilité les formes de dommages et les facteurs à évaluer. Ceux-ci prennent en considération non seulement les caractéristiques des enjeux, mais également leurs fonctionnalités. En revanche, la dimension environnementale n'est pas évidente.

Type de vulnérabilité	Dommages ou pertes	Facteurs d'évaluation
Sociale	Décès et disparus Blessés Personnes sans abri Personnes sans travail Épidémies et infirmes	Densité de population Intensité et vitesse de l'aléa Densité et qualité des infrastructures Le temps de l'alerte Système d'urgence et temps de réponse
Structurelle	Dommages aux édifices et infrastructures Dommages aux biens mobiliers Pertes de bénéfices Effets sur les personnes	Intensité et vitesse du phénomène Types et caractéristiques des constructions Concentration de population
Économique	Pertes directes : Coûts de remplacement, réparation, manutention des infrastructures, installations ou propriétés, systèmes de communication, électricité, etc. Pertes indirectes : Diminution de la valeur des biens Interruption des systèmes de transports	Pertes de productivité agricole ou industrielle Pertes de revenu par taxation Pertes de productivité humaine Pertes de bénéfices commerciaux Coûts des mesures préventives ou de mitigation Pertes de qualités d'eau ou contamination

Source : Extrait de Vallejo *et al.* (2002, p.613)

Tableau 1.2 : Éléments à considérer dans l'évaluation des vulnérabilités

Après une analyse approfondie de la littérature sur le sujet et en se basant sur l'expérience Leone (2008, pp. 26 à 28) propose également dans le cadre de ses recherches, un système de classement qui intègre les catégories de vulnérabilité suivantes :

- Vulnérabilité structurelle et corporelle,
- Vulnérabilité humaine,
- Vulnérabilité institutionnelle,
- Vulnérabilité environnementale et patrimoniale,
- Vulnérabilité fonctionnelle et économique.

Ces catégories de vulnérabilité se rapprochent de la matérialité physique des enjeux, comme c'est le cas de la vulnérabilité structurelle qui a un rapport direct avec les dommages physiques provoqués aux édifices. Et puis certains types de vulnérabilité ont une dimension immatérielle qui découle plutôt de la fonctionnalité des enjeux (ex. l'arrêt d'une activité de production) qui s'associent également aux aspects organisationnels des services publics et administratifs, nationaux ou locaux. Si la vulnérabilité humaine est plutôt rattachée à des caractéristiques personnelles, comme l'âge, le degré de connaissance, le genre etc., il n'est pas évident de faire une distinction entre celle-ci et la vulnérabilité corporelle proposée par Leone.

Le même auteur signale d'ailleurs la difficulté à intégrer les différents types de vulnérabilité dans une perspective d'évaluation systémique.

D'autres auteurs comme Campus, Forlati, Barbero, & Bovo (2007, p. 135), Van Westen (2013, p. 259) et Dewan (2013, p. 43) proposent une typologie de la vulnérabilité en quatre catégories à savoir : vulnérabilité physique, vulnérabilité économique, vulnérabilité sociale et vulnérabilité environnementale. Pour chaque catégorie de vulnérabilité, il faut définir les facteurs de fragilité des enjeux, ainsi que leurs valeurs.

Ainsi, lorsqu'on analyse ce système de classement général, on constate que l'évaluation des vulnérabilités, au-delà des « fragilités » induites par la confrontation de l'aléa aux enjeux, doit prendre en compte tout un ensemble de comportements individuels ou collectifs visant une adaptation à l'intensité de l'aléa. Le caractère multidimensionnel de la vulnérabilité rend difficile la proposition d'une métrique pour l'évaluer, vu sa complexité. Le calcul d'indices composites de vulnérabilité vise ainsi à appréhender les différentes dimensions qui caractérisent le concept dans la perspective d'une approche plus systémique.

Dauphiné (2003) affirme que pour évaluer la vulnérabilité, on peut recourir à deux types d'approches : l'approche *analytique* et l'approche *synthétique*. En ce qui concerne la première, le principe est le suivant : on analyse les vulnérabilités des éléments sans prendre en compte l'influence du contexte environnant. Autrement dit, on ne considère que la vulnérabilité des enjeux d'une façon isolée. D'une certaine façon, cette thèse va dans le sens de ce que les auteurs désignent comme étant la vulnérabilité spécifique (Leone, 2007). Une des critiques fréquemment formulées à l'encontre de ce type d'approche est que la vulnérabilité d'un système n'est pas égale à la somme des vulnérabilités de chaque élément. L'autre approche dite *synthétique* vise à appréhender la vulnérabilité du système dans son ensemble. En effet, il s'agit d'une approche où les effets de contexte, la dynamique interne ainsi que les interactions pèsent dans le calcul de la vulnérabilité.

De leur côté, Barroca, Bernardara, Mouchel & Hubert (2006) ont développé une méthode d'évaluation de la vulnérabilité face aux inondations urbaines qui a débouché sur un outil informatique appelé *Flood Vulnerability Analysis Tools (FVAT)*. Il s'agit d'un outil qui présente une structure en arbre comprenant cinq (5) modules qui se déclinent en sept (7) groupes sectoriels et chaque secteur comprend plusieurs indicateurs. Soixante-huit (68) indicateurs ont ainsi été définis et proposés. A chaque secteur/catégorie, ils ont affecté des indicateurs en fonction de leurs caractéristiques reliées par les mots-clés. A titre d'exemple pour les logements, les auteurs ont considéré six (6) indicateurs :

- « *Social level* »;
- « *Usage (personal property, movables)* »;
- « *Psychological usage* »;
- « *Soil statutes* »;
- « *Damage to building* »;
- « *Older and handicaped persons* ».

Les auteurs ont adopté les procédures suivantes : regroupement des différents enjeux par catégories et subdivision ensuite en facteurs et indicateurs de vulnérabilité. Ensuite, les indicateurs sont décrits en s'inspirant de la littérature locale ou en s'appuyant sur des articles scientifiques, sur des rapports nationaux et internationaux, ainsi que sur des lois nationales et sur des spécificités constatées au niveau local. Pour la pondération des indicateurs, les auteurs font ainsi appel aux experts et aux acteurs de terrain.

L'application informatique a été développée en HTML et PHP et l'interface comporte deux fenêtres : une fenêtre à gauche regroupe les indicateurs et les décrit, une autre à droite affiche tous les groupes et les indicateurs retenus pour évaluer leurs fragilités (Barroca *et al.*). L'interface a l'avantage d'être multi-usagers, et d'être personnalisable selon les acteurs. La méthodologie n'explique pas la façon dont les indicateurs sont synthétisés ou regroupés, ni l'échelle de mesure de la vulnérabilité.

Leone (2007) préconise l'utilisation d'outils qualitatifs ou quantitatifs pour évaluer la vulnérabilité en suggérant une démarche soit rétrospective, soit prospective pour évaluer la vulnérabilité (*Figure 1.4*). D'après le schéma conceptuel de l'évaluation de la vulnérabilité présenté par l'auteur trois aspects essentiels ressortent. D'une part, on peut se focaliser sur la propension à subir des pertes en fonction de la capacité de réaction du système face aux aléas, c'est-à-dire à prévoir les pertes. Là nous sommes dans le domaine de la géo-simulation. D'autre part, on travaille sur les dommages réels, tout en recensant les pertes. Cet angle d'évaluation permet d'inférer le niveau de vulnérabilité à partir des constatations faites après la catastrophe, ce qui dans la littérature française est appelée *retour d'expérience*. Enfin un autre angle d'évaluation privilégié est la sensibilité à l'endommagement.

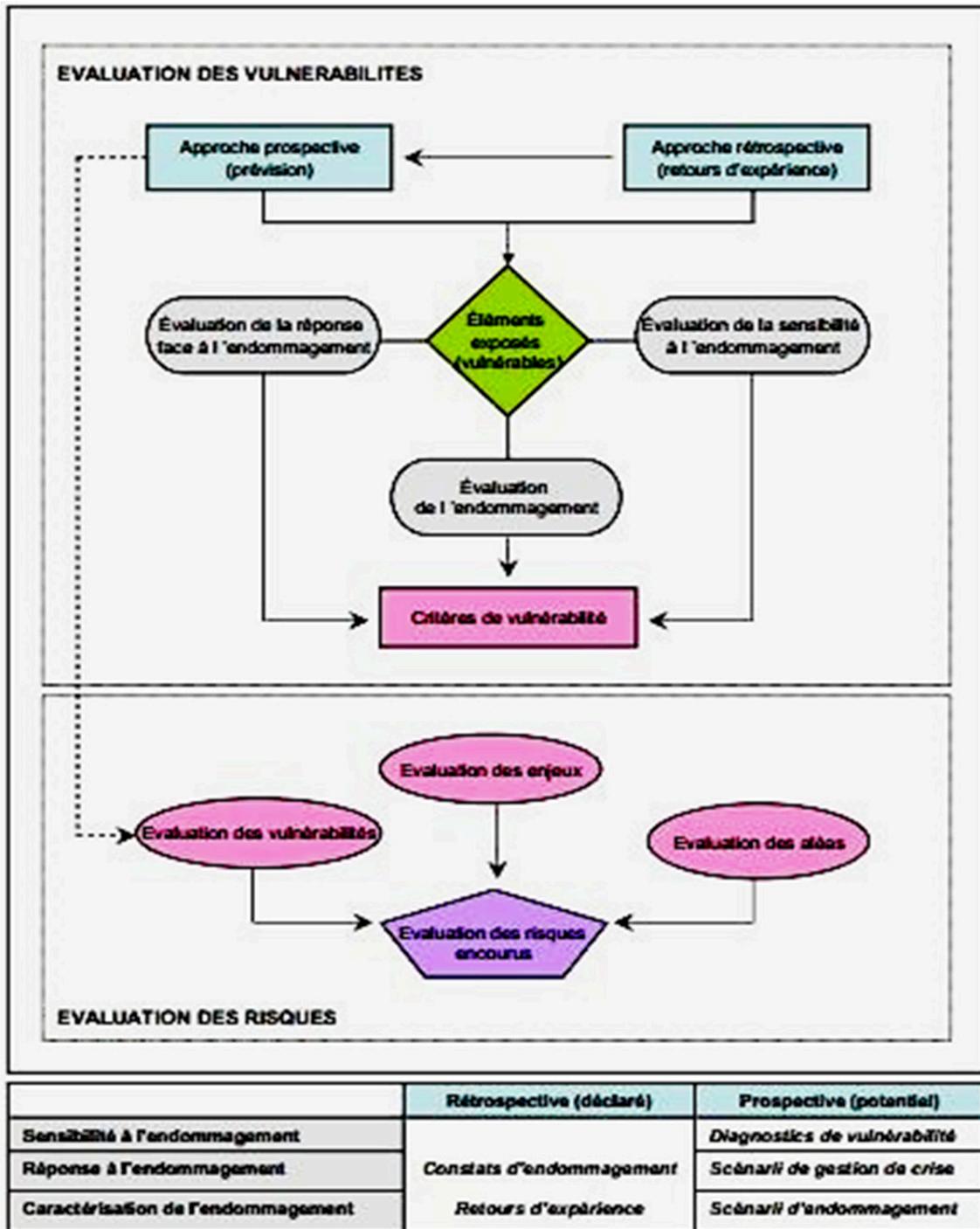
En général, on peut regrouper les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité en deux types de base : les méthodes qualitatives et les méthodes quantitatives (Barroca *et al.*, 2006).

Concernant le risque d'inondation, la simulation et la courbe de fonction de la vulnérabilité relèvent des méthodes quantitatives et connaissent une utilisation croissante. Plusieurs chercheurs français ont déjà apporté des contributions significatives à cet égard. Parmi les recherches sur la modélisation et la simulation, on peut signaler les travaux de Douvinet, Delahaye, & Langlois (2008), Leone (2008), Provitolo (2007). La cartographie du risque relève de cette approche quantitative. Pour évaluer la vulnérabilité, d'autres chercheurs privilégient les méthodes empiriques et recourent à l'analyse multicritères, dont le caractère est plus qualitatif. Les travaux développés à l'Université de Twente¹⁵ par l'équipe de C.J. van Westen sont assez illustratifs à cet égard.

Certains auteurs affirment que, sans prise en compte des paramètres de l'aléa en cause, la mise en œuvre d'un système de l'évaluation de vulnérabilité n'a aucun sens. Comme l'assure Leone (1996. p.119)

¹⁵ Cf. Consulter les méthodologies développées sur le site : <http://www.charim.net/methodology/55>

« [...] les études de vulnérabilité sont tributaires de la capacité à caractériser l'aléa, du moins dans une dimension spatiale et les analyses de la vulnérabilité et de l'aléa sont forcément liées, contrairement à ce que l'on peut voir dans la majorité des études actuelles de risque ». Cette affirmation est assez pertinente puisque la vulnérabilité découle de la caractéristique de l'aléa. L'élaboration d'un tableau de vulnérabilité in fine demande la connaissance des paramètres de l'aléa. Dans le cas spécifique de l'inondation, les paramètres sont la hauteur d'eau, la vitesse et le délai de submersion.



Source : Extrait de Leone, 200, p.7

Figure 1.4 : Évaluation des vulnérabilités

L'évaluation de la vulnérabilité implique ainsi d'identifier l'aléa et tous les éléments exposés définis comme des biens, des personnes et des fonctions susceptibles d'être endommagées (Leone, 1996, p.30). Donc, la démarche d'évaluation de la vulnérabilité passe par l'inventaire des fragilités qui caractérisent les biens exposés et les coûts sociétaux ou individuels qui représentent ces fragilités. En effet, le fait qu'un bien soit exposé par rapport à un aléa donné ne signifie pas qu'il est vulnérable. Selon Leone (1996) encore, le calcul d'un taux d'endommagement constitue le cœur de la méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité. En fonction de la nature des éléments affectés, on peut distinguer un taux d'endommagement structurel, fonctionnel ou corporel. Le même auteur a proposé une méthodologie quantitative d'évaluation de la vulnérabilité qui consiste à dégager une matrice appelée « matrice d'endommagements ». Celle-ci demande une connaissance des caractéristiques des paramètres de l'aléa et des biens exposés et leurs vulnérabilités. Le problème se situe au niveau de la disponibilité de la base de données des dommages, nécessaires pour le calcul du taux d'endommagement.

Lorsqu'il n'existe pas de base de données d'enregistrement des dommages, la solution pour évaluer les pertes potentielles pourra alors se faire en fonction du paramètre de l'aléa, des valeurs de biens estimés, ou des fragilités de biens exposés par rapport à un aléa dommageable spécifique. Ainsi, pour chaque niveau d'intensité des paramètres de l'aléa, on doit estimer une certaine quantité de dommages en considérant les différentes typologies en jeu.

Cutter (1996a, 2011b) indique que les conditions sociales ont une forte implication dans la vulnérabilité des sociétés. Elle indique qu'il peut y avoir une forte différenciation des impacts face aux mêmes phénomènes. L'auteur présente un ensemble de variables sociales (*Tableau 1.3*) qui peuvent atténuer ou aggraver la vulnérabilité et qui sont normalement considérées dans l'étude de la vulnérabilité humaine. Elle propose même un indice synthétique appelé **Social Vulnerability Index** (SOVI), pour mesurer la vulnérabilité sociale en mobilisant des données statistiques de recensement et les techniques statistiques multivariées pour le traitement des données. Cet indice incorpore plus d'une vingtaine de variables qui se rapportent à la vulnérabilité sociale (avant la crise) et permettent des comparaisons géographiques.

Pour évaluer la vulnérabilité, Barroca, Pottier & Lefort (2005) ont déployé une méthodologie empirique qui s'inscrit dans le cadre de l'analyse multicritères. En impliquant la population dans l'évaluation de la vulnérabilité par le biais d'interviews portant sur les facteurs de vulnérabilité et une note explicative sur le poids de chaque facteur sur une échelle de 0 à 3, la méthodologie proposée par les auteurs est à caractère semi-qualitatif et s'appuie sur les principes suivants : on fait d'abord un diagnostic détaillé du territoire afin d'identifier les facteurs de vulnérabilité. Pour chaque facteur, on désigne des « *Critères Pères* » qui se déclinent en plusieurs indicateurs traduits sur une échelle de valeurs quantitatives ou qualitatives. Ensuite on va attribuer une note sur une échelle de 0 à 3 (0, 1, 2, 3) à chaque facteur qui compose le critère « père ». On calcule un indice synthétique moyen relatif à chaque critère, et on dégage un indice global qui peut être représenté sous forme graphique.

Concept	Fondement	Variable	Nature de l'influence
Handicap	Difficile à identifier (confinés ou temporaires), souvent invisibles dans la communauté	Population sans abri	Augmente
Age	Affecte la mobilité ; requiert soins spéciaux ; plus grande susceptibilité d'être touché	Enfants Personnes âgées	Augmente
Statut socio-économique	Capacités d'absorption des pertes et de récupération ; davantage de pertes potentielles	Riches Pauvres	Diminue Augmente
Race et ethnie	Barrière linguistique et culturelle, difficulté d'accès aux ressources post désastre, tendance pour s'installer en zone à risque.	Hispaniques (E-U)	Augmente
Sexe	Postes avec haut taux de féminisation peuvent être affectés ; salaires des femmes plus faibles	Femme	Augmente
Type de logement et titre de propriété	Souvent le locataire n'a pas d'assurance et ne fait pas l'investissement dans la communauté ; type de logement et construction	Locataire d'habitation précaire	Augmente

Source : Cutter (2011, p. 6)

Tableau 1.3 : Variables à considérer pour évaluer la vulnérabilité, d'après Susan Cutter

Renard (2015, p. 4) propose une approche de l'évaluation de la vulnérabilité basée sur une analyse multicritères, en s'appuyant sur une technique d'analyse hiérarchisée des processus (AHP) pour dégager une fonction de vulnérabilité du Grand Lyon. La procédure a été la suivante : on subdivise les enjeux du territoire en trois catégories (enjeux humains, enjeux environnementaux et enjeux matériels). Pour chaque catégorie, on considère différentes dimensions (appelées de deuxième rang) et on identifie les fragilités, désignées ici comme des facteurs de vulnérabilité. Enfin, on procède à une comparaison des éléments deux à deux par rapport à un critère supérieur, selon la méthode proposée par Saaty (1980). De l'agrégation des notes attribuées à chaque facteur, est dégagée un indice global de vulnérabilité, désigné *fonction de vulnérabilité globale*, où le poids le plus important est associé à la vulnérabilité humaine (0.74) suivie de de la vulnérabilité matérielle (0.20). La vulnérabilité environnementale a un poids moins important. La méthodologie a fait appel à un panel d'experts (34) pour l'évaluation des facteurs. Ainsi, elle est novatrice dans la façon dont les cartes de l'aléa et de la vulnérabilité ont été croisées pour dégager une carte de risque. Mais elle reste dépendante de l'échelle d'analyse (Servain et Graillot, 2012), et ne peut donc être facilement généralisable sur d'autres territoires.

Comparé à la méthodologie précédente, qui repose aussi sur une analyse multicritère, le principe est le même. On fait la structuration du problème en arbre, selon une logique de critère (père) et sous-critère (fils) pour procéder ensuite à l'évaluation des facteurs en attribuant une note selon l'importance de chaque indicateur. Et ensuite, on fait la synthèse des indicateurs. La seule différence entre les deux méthodologies réside dans la façon dont les résultats sont présentés. Renard opte pour une synthèse des résultats sous forme de carte alors que Barroca et *al.* (2005) préfère un graphique radar.

Dans le cadre de sa thèse, Aviotti (2011) a, de son côté, développé une méthode qualifiée comme résultant d'un *autodiagnostic*. Pour ce faire, il a couplé, sur une plateforme géomatique possédant les informations géolocalisées, le bâti à un questionnaire en ligne. Le questionnaire est composé de soixante-trois (63) variables qui ont été dégagées à partir des dossiers de dommages de CatNat (Catastrophes Naturelles) et des sinistrés qui ont indiqué les fragilités à plusieurs échelles : à l'échelle de la commune, de l'habitat et de l'habitant.

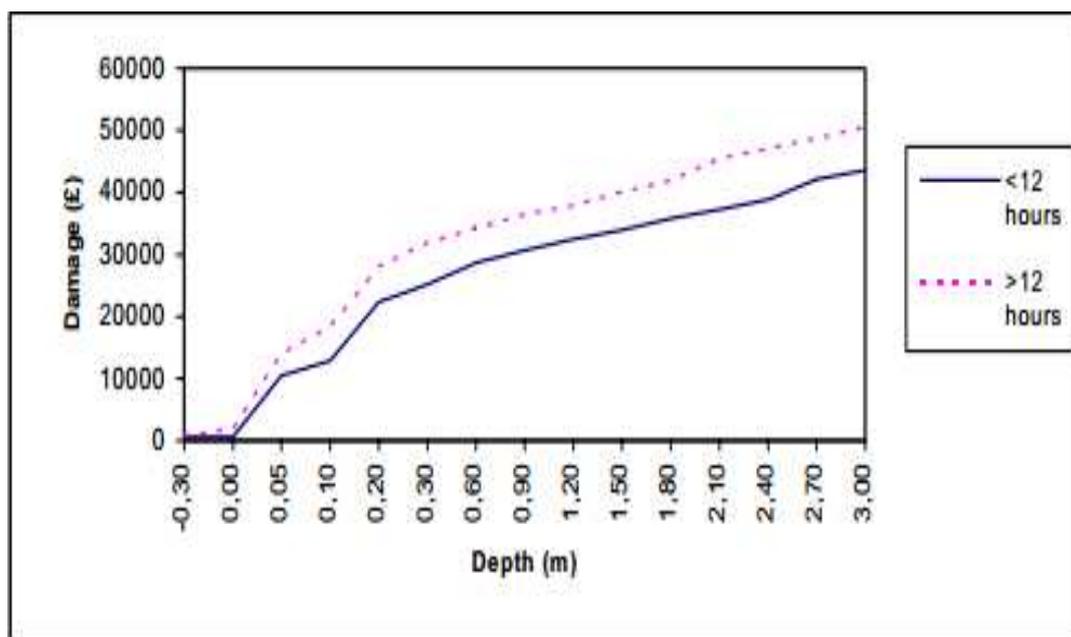
L'outil informatique développé constitue une interface pour les différents acteurs dont les procédures de fonctionnement passent par cinq étapes :

- Identification / Inscription
- Questionnaires initialisés
- Processus méthodologique d'appréciation des vulnérabilités
- Génération de recommandations prioritaires
- Visualisation des « points » de vulnérabilité et émission d'un rapport personnalisé (Aviotti 2011, p. 208).

L'avantage de la méthodologie d'autodiagnostic proposée est que chaque acteur peut évaluer sa propre vulnérabilité en remplissant un formulaire mis à disposition sur le web. A la fin, l'outil donne une note de sa vulnérabilité et les consignes à observer pour la réduire. D'après l'auteur, le problème de cette méthode est l'imprécision des données de l'aléa : l'auteur utilise des paramètres d'aléa hypothétiques. L'évaluation de la vulnérabilité par les particuliers n'a pas non plus un caractère obligatoire, et cela peut alors se répercuter sur le calcul de la vulnérabilité à l'échelle de la commune.

1.3.4. Les dommages, révélateurs des vulnérabilités sous-jacentes

Une autre approche d'évaluation du dommage, relevant d'une méthodologie quantitative, repose sur la réalisation d'une *courbe de fonction des dommages* (Figure 1.5). Elle est fondée sur l'estimation des dommages engendrés par différentes hauteurs d'eau lors d'une inondation réelle ou hypothétique. Dans la même perspective et dans la lignée des travaux de Penning-Rowsell et Chatterlton de 1977, des chercheurs anglo-saxons ont développé une méthode synthétique d'évaluation des dommages. En fait, les travaux déployés par les chercheurs américains à partir des années 70 ont aussi débouché sur plusieurs courbes de dommages par états (districts) (Davis & Skaggs, 1992). La courbe de fonction des dommages met en corrélation deux variables : la hauteur d'eau et les dommages subis en fonction des caractéristiques des éléments exposés comme le précisent Davis & Skaggs (1992) : « *A depth-damage function is a mathematical relationship between the depth of flood water above or below the first floor of a building and the amount of damage that can be attributed to that water* ».



Source : Messner *et al.*, 2007, p. 47

Figure 1.5 : Fonction des dommages

Cette courbe de fonction des dommages montre les pertes réelles ou estimées engendrées par chaque hauteur d'eau en fonction de la fragilité, autrement dit, la vulnérabilité des attributs qui caractérisent les éléments exposés. D'après les auteurs, il y a ainsi trois (3) approches pour analyser les dommages produits en fonction de la hauteur d'eau :

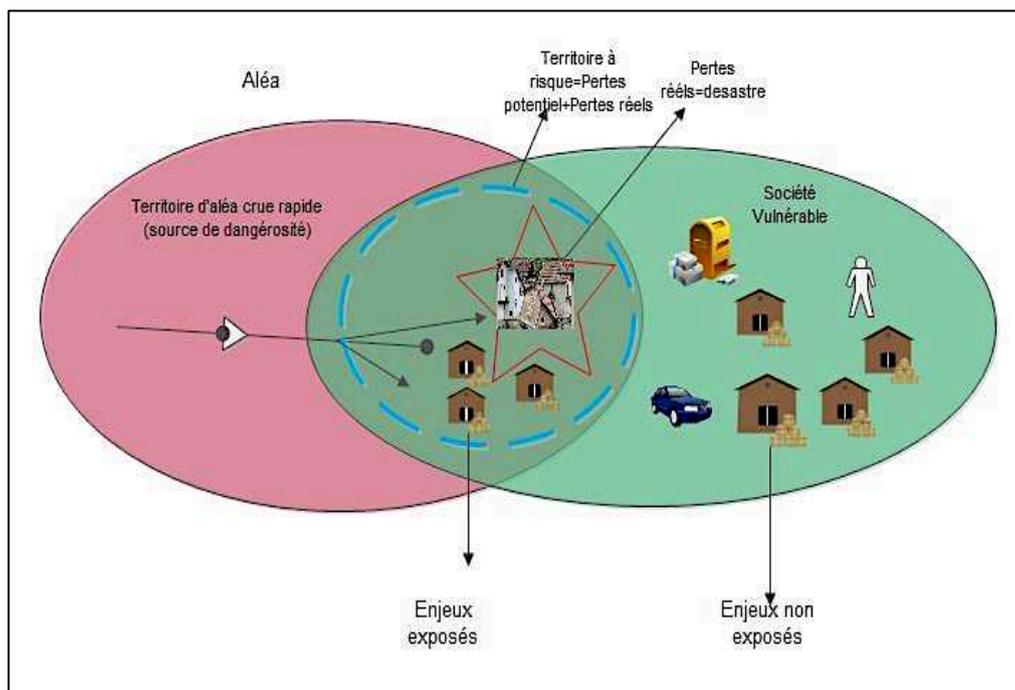
- Levé du terrain après l'inondation
- Estimation synthétique des dommages
- Adaptation des courbes de dommages existantes

La disponibilité des données est un élément clé de représentation de la courbe de fonction des dommages. D'une manière générale, on privilégie deux types d'approches : *ex ante* (avant) la catastrophe afin de prévenir ou atténuer les dégâts, ou *ex post* (après) la catastrophe. En effet, la collecte des données après la catastrophe sera indispensable soit pour bâtir cette courbe ou donc pour la calibrer en cas d'estimation synthétique des dommages.

1.4. Éléments de discussions

Les éléments discutés précédemment montre que différentes approches existent pour faire une évaluation du risque inondation. Si on envisage d'utiliser les technologies d'information géographique, le principe de base consisterait à traiter l'information spatiale concernant les paramètres de l'aléa et de la vulnérabilité. La littérature montre qu'il existe plusieurs procédures et techniques de croisement d'information relatives aux aléas et à la vulnérabilité. Certains auteurs comme Dewan (2013, p.17) soulignent que: "*Flood risk map was derived by multiplying the mean hazard score and composite vulnerability map. While hazard*

represents physical processes, flood vulnerability indicates susceptibility to damage and the risk of human lives". La réalisation d'une carte de risque demande pourtant une connaissance et une spatialisation des caractéristiques de l'aléa puisque la vulnérabilité en dépend. Dans ce sens, le concept de vulnérabilité intrinsèque soutenu par certains auteurs n'est pas soutenable. Après le classement des enjeux selon le degré de vulnérabilité, on peut superposer des cartes simples pour produire une carte synthétique et mettre en évidence des zones de combinaison des valeurs des deux facteurs. En nous inspirant du travail de (Van Westen, 2013), on peut aboutir à notre propre schéma conceptuel du risque d'inondation (Figure 1.6), qui indique quels sont les concepts de base à prendre en compte dans la démarche d'évaluation.



Réalisé par R. Correia, d'après Van Westen (2013)

Figure 1.6 : Schéma conceptuel d'évaluation du risque d'inondation

On peut par ailleurs résumer les méthodes pour l'évaluation des risques en deux types : d'une part, les méthodologies qualitatives de nature empirique qui font appel aux jugements des experts, aux travaux sur le terrain et à l'emploi de techniques d'analyses multicritères. Dans cette démarche plutôt qualitative, les résultats sont traduits en termes d'indices de risques et de cartes thématiques où sont signalées les zones à risque. D'autre part, il est courant d'employer des méthodes quantitatives qui englobent soit la modélisation informatique, soit la modélisation statistique. D'après la figure, la superposition du territoire de l'aléa et du territoire de la vulnérabilité permet de définir les zones à risque, d'où la nécessité d'identifier les enjeux dans les zones soumises à l'aléa et d'analyser leurs vulnérabilités. Le risque potentiel est fonction des caractéristiques de l'aléa et du degré de vulnérabilité des enjeux.

Conclusions du chapitre 1

A la suite de la présentation des différents concepts que sont le risque, l'aléa, l'enjeu et l'exposition aux enjeux et la vulnérabilité ainsi que des procédures d'évaluation, nous pouvons retenir les éléments suivants pour la suite de notre démarche. Premier constat, **il n'y a pas de consensus à propos du concept du risque et de la vulnérabilité** parce qu'ils relèvent de sujets abordés par des spécialistes de champs de connaissance variés, d'où des perspectives d'analyse sous des angles assez différents. L'endommagement se traduit en pertes potentielles ou réelles face à la manifestation des aléas. De son côté, la vulnérabilité est révélatrice des fragilités des attributs qui caractérisent les enjeux exposés à différents processus dommageables. L'évaluation des risques requiert donc la prise en compte d'un grand nombre d'éléments, parfois délicats ou difficiles à quantifier, tout en considérant des questions socioéconomiques, institutionnelles et environnementales. La littérature assez abondante sur les méthodes d'évaluation se décline en deux catégories : les **méthodes empiriques, qualitatives**, prennent en compte l'expertise, le jugement et la nécessité des connaissances empiriques des lieux dans la démarche d'évaluation. Une autre approche regroupe des méthodes qui privilégient une **démarche plutôt quantitative**, reposant sur des modèles mathématiques et statistiques. On peut citer, à cet égard, la courbe de dommages ou les fonctions traduisant une vulnérabilité potentielle.

Chapitre 2 – L’endommagement : un indicateur à évaluer à travers les échelles

Introduction du chapitre 2

Les dégâts sur les infrastructures routières, les logements et/ou les parcelles agricoles sont en augmentation au Cap-Vert, et le budget de restauration dépasse de plus en plus les capacités financières des villes, qui doivent se retourner vers les ressources du pays. La nature des pluies, qui marque le régime pluviométrique du Cap-Vert et qui est une caractéristique du climat semi-désertique, constitue l’un des facteurs déterminants de l’occurrence de crues à caractère brutal, mais ce n’est pas le seul facteur : nous émettons le postulat que si les zones exposées n’avaient été conquises suite à un étalement urbain non maîtrisé, les dommages n’auraient pas augmenté de manière si importante au fil des années.

Avant de répondre à ce postulat, encore faut-il estimer le coût des dommages imputables aux risques naturels et aux inondations. Cette mesure de l’endommagement s’exprime soit sous la forme d’un coefficient et d’un coût monétaire, soit sous la forme plus globale d’un score, d’une échelle ou d’un taux (Blong, 2003). Selon les approches, certains auteurs considèrent seulement les conséquences matérielles (selon le modèle de Wöhler par exemple), tandis que d’autres ont décidé d’inclure les dommages aux réseaux d’eau et aux réseaux d’électricité (Lhomme *et al.*, 2010). Toutes ces approches tentent d’englober l’ensemble des conséquences, directes ou indirectes, sans pour autant fournir un cadre unifié d’analyse (Léone, 2007 ; Saint-Martin, 2016). Il convient par ailleurs de ne pas oublier les savoirs locaux, que certains appellent des savoirs « profanes » (archivages des institutions, souvenirs des riverains), car ils peuvent enrichir de telles analyses.

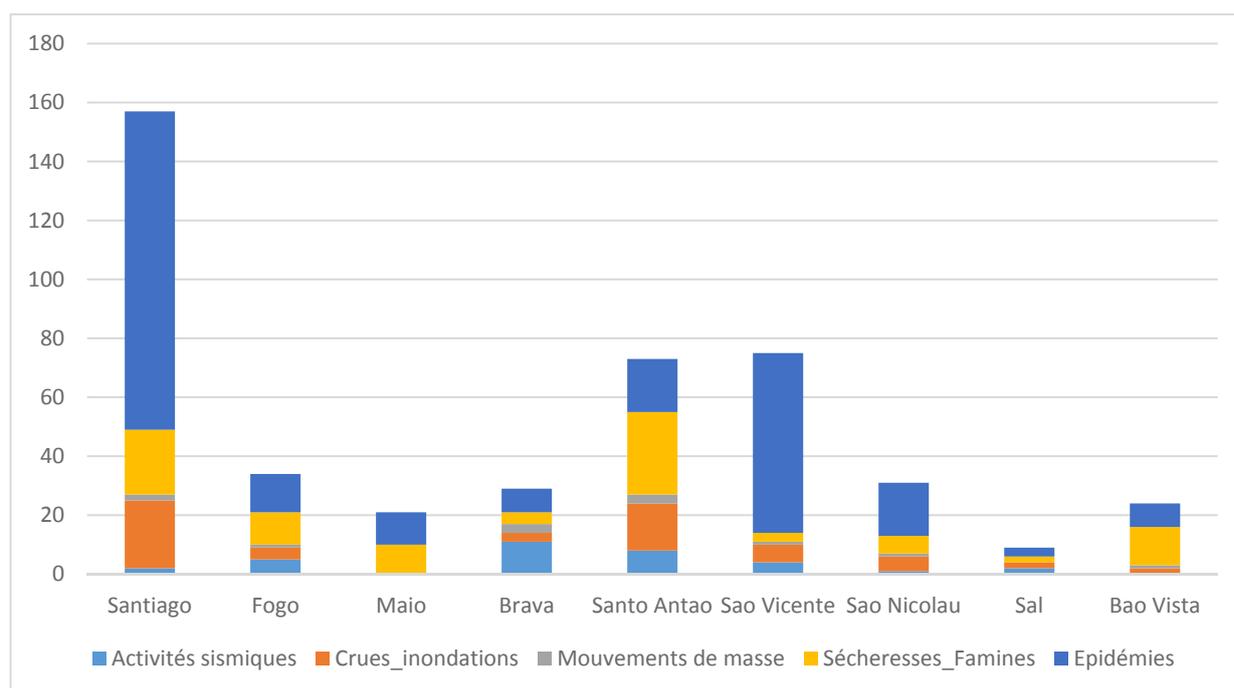
Afin d’avoir une vision la plus complète possible, nous avons analysé deux bases de données (utilisées à l’échelle internationale) et nous avons exploité les informations émanant des services de secours à l’échelle de la ville de Praia. Même s’il convient de rester prudent sur les sources et les bases de données utilisées (certains considèrent que les seuils utilisés ou les montants ne sont qu’une partie seulement des conséquences des événements), les résultats obtenus confirment l’idée selon laquelle les coûts n’ont cessé de croître au cours de deux dernières décennies.

2.1. Une première analyse à l'échelle archipélagique

2.1.1. Les dommages recensés dans les archives nationales

Dans le cadre d'un partenariat visant la Réduction des Risques et des Désastres (RRD), le système des Nations-Unies à Praia (PNUD) a parrainé le Service National de Protection Civile (SNPC) et l'Institut National de Gestion du Territoire (INGT) pour mettre en place un projet intitulé « Collecte de données historiques sur les désastres/aléas dans la période 1900-2013 ». La recherche a fait appel aux sources écrites, notamment les journaux, les bulletins officiels et des livres¹⁶.

D'après les données recueillies (*Figure 2.1*), on constate que les îles où les enregistrements des occurrences d'événements dommageables sont les plus importants sont celles de Santiago (34,6%), de São Vicente (16,5%) et de Santo Antão (16,1%) qui totalisent 67,2% des occurrences de tous les événements dommageables. Le poids démographique est en partie à l'origine d'un niveau d'exposition plus important. Ainsi, une plus grande vulnérabilité peut engendrer davantage de dommages faisant alors l'objet d'articles de journaux ou de cas d'études. Si on considère que dans certaines îles du pays, il n'y a pas de correspondants de journaux et qu'il existe des zones enclavées, il faut admettre que certains événements ne sont pas reportés.



Réalisation : R. Correia, 2016

Figure 2.1 : Événements dommageables par île, entre 1900 et 2013, d'après les données de l'inventaire des Archives Historiques Nationales

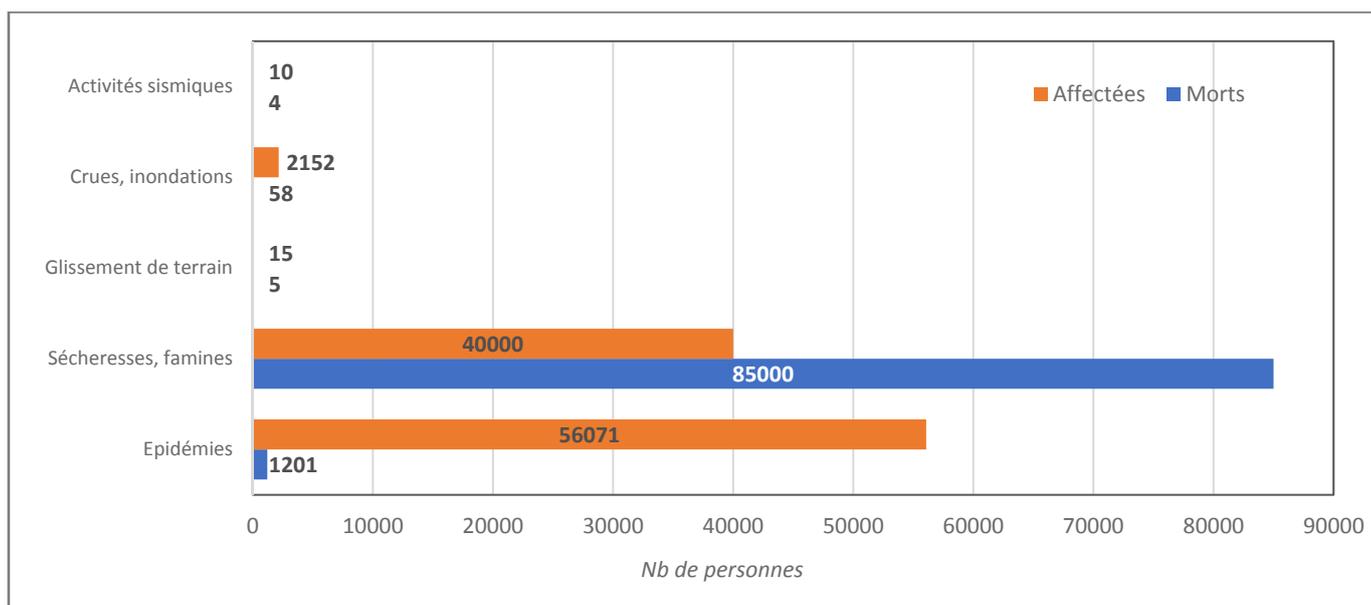
¹⁶ Les données ont été recueillies dans le cadre du projet intitulé *Système d'Inventaire et d'Évaluation des Risques* (SIERA). Le projet soutenu par les Nations-Unies a impliqué plusieurs organismes, comme le Service National de Protection Civile (SNPC), l'Institut National de Météorologie et Géophysique (INMG), l'Université du Cap-Vert (UniCV), l'Institut National du Développement Agricole et l'Institut National de Gestion du Territoire (INGT).

En ce qui concerne la sécheresse, toutes les îles ont été touchées, mais les îles de Santiago et Santo Antão enregistrent le plus grand nombre de cas. Ces îles sont les plus agricoles du pays, et les effets de la sécheresse y sont donc plus sévères. On peut également noter le cas de Fogo qui, avec 11 évènements de sécheresse relatés, est aussi une île fortement touchée. Pour les crues et les inondations, 64% des évènements recensés se sont produits dans les îles de Santiago et Santo Antão, là où les morphologies sont les plus accidentées. Les îles à faible relief sont les moins affectées par les inondations. La virulence des crues rapides sur les autres îles est un des facteurs explicatifs. Ces phénomènes sont provoqués par des pluies (qui génèrent des crues torrentielles sur les zones de haut relief), par des tempêtes tropicales ou par des cyclones. Il est alors difficile d'établir une relation systémique entre l'origine des pluies et la nature des dommages relatés. On constate deux enregistrements des cyclones d'après cette source. L'un a touché l'île Brava et l'autre a eu lieu en 1984 en provoquant des dégâts matériels et des pertes importantes en vies humaines dans l'île de Santiago, la ville d'Assomada et dans l'île de Santo Antão.

L'activité sismique a fait l'objet de plus d'enregistrements dans les îles de Brava (33,3%), Santo Antão (24,2%) et Fogo (15%), qui sont les îles les plus jeunes. Les seules îles où il n'y a pas d'enregistrement d'épisodes désastreux sont celles de Maio et Boa Vista. L'explication la plus plausible est l'ancienneté géologique de la formation des îles, dont la géodynamique interne serait ainsi plus stable. Les dernières activités sismiques ont eu lieu sur l'île de Brava le 2 août 2016 et la population de Cova Joana a été évacuée par les autorités. D'après les données disponibles, malgré les enregistrements de plusieurs séismes, il n'y a pas eu de dégâts matériels et humains notables. Se pose alors la question de savoir quelles sont les pertes engendrées par les aléas naturels et traduisibles en nombre de morts et de population touchée.

La *Figure 2.2* montre que les évènements les plus fréquents sont les épidémies (54,7%), suivis de la sécheresse (21,8%), puis des inondations (13,5%). Ces trois risques totalisent à eux seuls 90% de l'ensemble des dégâts rapportés. Le risque biologique est aussi important, parmi lesquels on peut retrouver les maladies transmises par les moustiques *aedes aegypti*, anophèles comme la dengue, le paludisme ainsi que les maladies transmises par des bactéries comme le choléra. Ces maladies sont associées aux conditions sanitaires précaires. Ces épidémies ont provoqué récemment un nombre de victimes considérable¹⁷. En revanche, certaines épidémies, comme la variole qui a provoqué un nombre élevé de décès dans le passé, ont été totalement éradiquées. Par contre, ces maladies sont contrôlées par l'Institut National de Santé Publique (INSP) par le biais des plans de vaccination, comme c'est le cas de la varicelle, et de campagnes de lutte contre la population vecteur de la maladie. En réalité, la propagation des épidémies reflète l'état de l'assainissement du milieu, associé à la pauvreté et avec des conditions climatiques favorables, lors de la saison des pluies, à la prolifération des moustiques vecteurs de maladies.

¹⁷ D'après la source gouvernementale, dans l'année de 2017 ont été notifiés environ 110 cas dans la ville de Praia. Consulté à : <http://www.governo.cv/index.php/destaques/8253-surto-epidemico-de-paludismo-no-concelho-da-praia>



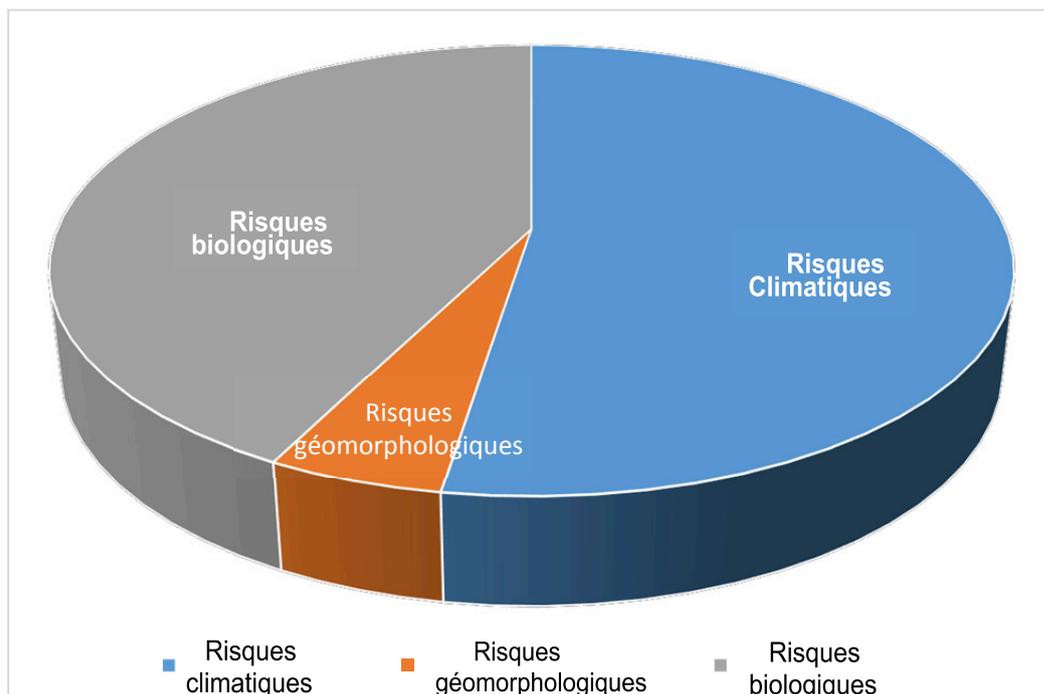
Réalisation : R. Correia

Figure 2.2 : Nombre de personnes affectées par différents types d'aléas entre 1900 et 2013, d'après les Archives Historiques Nationales

Pour les pertes en vies humaines, entre 1900 et 2013, c'est-à-dire sur une période de 113 ans, la sécheresse ressort comme l'événement le plus dangereux avec plus 98.5% des décès, ce qui correspond à 85 000 personnes, suivi de celui des épidémies (1.4%). Les morts liés aux autres aléas sont résiduels. Néanmoins, il est important de remarquer qu'après l'Indépendance (1975), le gouvernement issu de la période coloniale a mis en œuvre un ensemble de mesures, ce qui explique qu'à partir de cette date, il n'y ait plus d'enregistrements de morts provoqués par la sécheresse. La solidarité internationale, l'adhésion à des organismes internationaux ainsi que la diversification de la base productive de l'économie cap-verdienne rendent le pays de moins en moins dépendant d'une agriculture traditionnelle. Ces décisions ont par conséquent beaucoup réduit la vulnérabilité face à la sécheresse. Si les pertes humaines causées par la sécheresse sont désormais contrôlées, les effets en chaîne causés par la sécheresse sur les différents secteurs d'activités économiques et sur l'écosystème ont toutefois un impact énorme et peu supportable pour le budget d'un pays, dont l'épargne interne est faible, et dont une partie significative est financée par des partenariats internationaux.

Avec des enregistrements respectifs de 1201 et 58 victimes, les épidémies et les inondations sont les deux aléas actuellement les plus dangereux. Comme nous l'avons mentionné auparavant, l'existence de vecteurs tels que les *aedes aegypti* et anophèles constituent une forte menace à la santé publique. Les dernières manifestations de dengue les plus remarquables ont eu lieu à partir de 1994 et provoqué plus de 200 victimes. Sur le total des décès provoqués par les épidémies, 44,4% sont dus au choléra, 17,7% à la variole, suivis de la dengue avec 7,6%. La variole qui a entraîné de nombreuses victimes dans le passé ne constitue désormais plus une préoccupation majeure sachant que la maladie a été éradiquée. Sur un total de 56 071 personnes affectées par les épidémies, environ 24,8% l'ont été en raison du paludisme, qui n'a

enregistré que 8 décès d'après l'inventaire. Désormais, il constitue une priorité de lutte contre le risque biologique dans le Plan National de Santé (PNS). Entre 1900 et 2013 au niveau national, si on considère seulement les 98 284 personnes affectées, tous aléas naturels confondus, les épidémies ont frappé 57% de la population et la sécheresse, 40,7%. L'enregistrement de la population frappée par les autres aléas est résiduel, moins de 4%. Considérant spécifiquement la ville de Praia dans la période de référence, de 1900 à 2013, le découpage territorial retenu est celui des paroisses et coïncide avec la limite administrative actuelle de la ville de Praia. Il permet d'établir un portrait des principales manifestations des événements naturels potentiellement dangereux (Figure 2.3).



Réalisation : R. Correia

Figure 2.3: Répartition des aléas dans la ville de Praia, entre 1900 et 2013

La base de données de l'inventaire met en exergue les risques climatiques (52,5%) dont ceux de l'inondation et de la sécheresse. Le risque d'inondation constitue la majorité des cas relatés. Au deuxième rang apparaissent les risques biologiques (42,5%), qui désormais constituent une menace grave¹⁸ en raison de la forte concentration de population et un niveau d'assainissement du milieu relativement précaire. Ces deux catégories de risque représentent ensemble 95% des aléas naturels enregistrés dans la ville de Praia. Le risque géomorphologique est le moins souvent rapporté, avec seulement 5% d'occurrences. Ces données doivent

¹⁸ En 2017, la capitale du pays a enregistré 345 cas de paludisme dont une victime mortelle d'après les autorités de santé. Auparavant, en 2016, le pays a été frappé par l'épidémie de Zika qui a démarré avec des enfants affectés par la maladie.

cependant être prises avec certaines précautions dans la mesure où, d'un côté, les données sont fournies par des personnes non spécialisées dans le domaine du risque, d'où des difficultés à identifier précisément les types de risque et où, d'un autre côté, les constructions se sont densifiées récemment sur les versants, ce qui peut augmenter le risque géomorphologique.

2.1.2. Les dégâts recensés dans les bases de données internationales

Les risques naturels sont aussi recensés dans les bases de données internationales. Dans une résolution de l'Assemblée Générale des Nations-Unies, la communauté internationale a adopté l'*International Strategy for Disaster Reduction* (UNISDR), qui a la responsabilité de mettre en coordination un ensemble d'actions et d'activités supportées par un point focal dans chaque pays visant la réduction des risques et catastrophes naturels. Il s'agit ainsi d'un soutien aux pays dans la mesure où la production d'indicateurs et d'études servent de base à la formulation de mesures de prévention et de réduction des catastrophes. Cet effort de collecte de données est aussi effectué par certaines institutions internationales, par exemple le *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED), qui a créé l'*Emergency Events Database* (EM-DAT).

La série chronologique la plus longue sur les risques naturels au Cap-Vert qui est publiée par *Emergency Events Database* (EM-DAT) porte sur une période de 104 années. Selon cette base de données EM-DAT (*Tableau 2.1*), le risque le plus fréquent au Cap-Vert est la sécheresse. Celle-ci est abordée de façon secondaire par les spécialistes du Cap-Vert, alors qu'elle est très présente dans la littérature cap-verdienne à travers la littérature et notamment la poésie¹⁹. Néanmoins, il faut être prudent lorsqu'on analyse ces sources de données internationales, parce que les cas reportés se basent sur des paramètres et des concepts²⁰ propres à ces entités et parce qu'ils dépendent de la capacité institutionnelle des pays à renvoyer de telles données. C'est pourquoi des événements qui ont eu des impacts négatifs sur la vie quotidienne des citoyens ne sont pas considérés dans les statistiques produites par l'EM-DAT.

Les données publiées par l'EM-DAT ne recensent pas tous les événements et les dommages, tout comme l'ensemble des victimes disparues lors de certaines inondations du Cap-Vert, et à Praia en particulier. On s'aperçoit aussi que le nombre de morts provoquées par les inondations (i.e. un total de trente-deux (32) dans la période considérée), est sous-estimé, ce qui montre la méconnaissance des événements. En outre, il faut souligner des différences d'enregistrement dans les dommages. Ce manque de fiabilité des données pour les dommages provoqués par les inondations est dû en grande partie à l'absence de mécanismes institutionnels qui permettraient à la population de déclarer les pertes.

¹⁹ Certains poètes comme Jorge Barbosa ont eu recours à la poésie comme moyen d'évocation des drames provoqués par la sécheresse. Le poème le plus célèbre est «*Casebre*» publiée en 1956, in «*Caderno de um ilheu : Poemas* » ed. Agência General do Ultramar, Divisão de Publicações e Biblioteca.

²⁰ Pour l'EM-DAT, les enregistrements pris en compte dépendent fortement de la mortalité.

D'après le *Tableau 2.1*, 16 évènements ont été enregistrés entre 1900 et 2013. Ce nombre est loin de traduire la réalité des faits et notre connaissance du terrain. Il est évident que ces données portent sur des évènements où on enregistre les décès en reléguant au second plan les pertes économiques. Ces pertes représentent un poids significatif du budget des gouvernements central et local, et elles dépassent même les capacités financières internes des institutions pour rétablir les conditions initiales. D'après les données de cette base, la sécheresse est à l'origine de 60.5% des évènements, contre 12.5% pour l'aléa cyclonique ou les crues rapides (associées). Les pertes indiquées sont les décès, la destruction de logements, les blessés et bien sûr les pertes économiques, dernier indicateur qu'il est difficile de quantifier quel que soit le pays.

<i>Risques naturels</i>	A	B	C	D	E
Sécheresse	10	85000	0	0	40000
Épidémie	1	245	0	0	12000
Invasion d'insectes	2	0	0	0	0
Éruption volcanique	1	0	6	5000	1300
Cyclone	2	32	122	0	7600

Source : Garido, 2007

Notes : **A** = Nb d'évènements ; **B** = Victimes mortelles ; **C** = Blessés ; **D** = Sans-abri ; **E** = Personnes affectées.

Tableau 2.1 : Synthèse des risques naturels au Cap-Vert entre 1900-2013

L'enregistrement des logements sinistrés par les compagnies d'assurances est obligatoire dans les pays développés. Il permet d'avoir des données détaillées sur les sinistres, nécessaires pour l'étude prospective du phénomène par le biais de modélisations. Face à l'inexistence d'une culture d'assurance logement pour les évènements à risques au Cap-Vert, de telles analyses sont impossibles à mener. Au niveau local, les seules sources disponibles sont les journaux locaux, le Service Municipal des Pompiers (SMP) et les enquêtes auprès de la population. Dans la section suivante (2.2), nous présenterons d'ailleurs les données collectées auprès des pompiers de la mairie de la ville de Praia.

Dans les travaux effectués dans le cadre de projets internationaux, on remarque aussi une mobilisation des efforts de recherche visant une meilleure connaissance des risques naturels et leur atténuation au Cap-Vert. Il existe des disparités entre les données publiées de différentes sources. Il est nécessaire de chercher à améliorer la connaissance qu'on dispose sur les risques naturels pour rendre plus efficaces les dispositifs de prévention.

Dans une évaluation des risques de catastrophes à l'échelle mondiale, on se rend compte que le Cap-Vert se trouve en 122^{ème} position au niveau mondial (UNISDR, 2015a). Sur une échelle de 0 à 10, le pays est ainsi noté avec 2.7 points, nettement en-dessous de la médiane mondiale. Ce classement a été établi en considérant trois dimensions du risque : l'aléa, la vulnérabilité et la capacité d'adaptation. Une analyse plus fine du profil du Cap-Vert montre que le pays est en 65^{ème} position (4.20 points) pour le niveau de vulnérabilité, en 99^{ème} pour la

capacité d'adaptation (4.83 points) et en 161^{ème} position pour l'aléa (1.06 points). La hiérarchie des pays à cette échelle masque la réalité : la dimension démographique et la fréquence des événements déterminent le positionnement de chaque pays. Cependant, il est important de retenir qu'un aléa de faible probabilité et de grande amplitude, autrement dit rare en termes de probabilité, peut entraîner des conséquences catastrophiques.

2.2. Une seconde analyse à une échelle plus fine : Praia

2.2.1. Des sinistres qui deviennent annuellement observés

Du point de vue institutionnel, les services publics qui ont une responsabilité concernant l'intervention en cas de sinistres provoqués par les crues sont les Services de pompiers de la mairie de la ville de Praia, désormais sous la coordination des Services de la Protection Civile Municipale (SPCM). La recherche d'information auprès des Services des pompiers de la Mairie de la ville de Praia nécessite deux précautions. Tout d'abord, d'après les responsables, la série chronologique des archives est relativement courte : les pompiers ne disposent que de données à partir de 2004. Ensuite, les paramètres et les variables enregistrées ne sont pas standardisés car il n'existe pas de procédure-type d'enregistrement, nécessaire à la construction d'une base de données homogène. L'enregistrement des événements dépend de l'expérience et du niveau de formation académique des pompiers, qui font un rapport quotidien des événements. A ce sujet, on peut noter que cette catégorie professionnelle est caractérisée par un niveau de scolarité faible, ce qui a des répercussions sur la qualité des rapports produits. La transcription de données brutes d'interventions collectées pendant la saison des pluies auprès du Service des pompiers de la mairie de Praia ne rend compte que des dommages légers. Lors du travail sur le terrain, on a constaté que beaucoup de dégâts n'avaient pas été relatés, ce qui ne permet pas de prendre ce document comme référence.

Deux constats découlent de cette source d'information primaire. *Premièrement*, la façon dont les registres sont organisés. En effet, il n'existe ni concepts, ni formulaires standardisés pour collecter l'information. Donc, dans de telles situations, les enregistrements dépendent de la perception des pompiers qui prennent en charge les rapports. Les données présentées à chaque tour de travail sont les suivants : la date, le groupe (tour) de travail, la description sommaire de l'évènement qui a eu lieu pendant la journée du travail. *Deuxièmement*, la période d'archivage de données est assez courte, donc insuffisante pour l'analyse et des conclusions scientifiques.

Avec toutes les précautions requises, on peut remarquer que pendant les 10 dernières années, il n'y a pas eu d'intervention significative des pompiers face aux inondations. D'après le registre consulté (*Tableau 2.2*), l'année où des événements ont été davantage reportés est 2009, avec 9 occurrences. La quasi-totalité des interventions a consisté dans le pompage d'eaux de pluie dans des zones basses.

Année	Jours	Heures	Interventions	Localisation	Pluie enr.
2004	22-sept	15h	Pompage d'eau de pluie	Devant le Palais du Gouvernement -Varzea	18,7 et 13 mm
2005	22-août	x	Secours aux victimes d'inondation	Toutes les communautés (beaucoup d'appels)	60 mm
	24-août	x	Secours à des habitations inondées	Sao Felipe	
2006	01-août	9h	Pompage d'eau de pluie	Zone résidentielle Praia	
	03-sept		Glissements de terrains, pompage d'eau	Deux logements ont été affectés	
	04-sept		Pompage d'eau de pluie	Devant les Archives d'Histoire	
	06-sept	8h	Pompage d'eau de pluie	Stade Varzea/Palmarejo	
	08-sept		Pompage d'eau de pluie	Zone Varzea « Ecole Djeje »	
	14-sept		X appels. Les services n'ont pas répondu		
	17-sept		Inondation de la Banque Inter Atlantique et d'une entreprise	Avenida cidade de Lisboa	
	21-sept		Pompage d'eau de pluie		
	23-sept		Pompage d'eau de pluie	Campo djeje	
	24-sept		Pompage d'eau de pluie	Club 21	
	26-sept		Pompage d'eau de pluie	Palacio governo	
2007	30-août	5 h/travail	Pompage d'eau d'une cave	Sao Felipe	132
2008	05-août	12h	Secours à la population à cause de l'inondation	Toutes les zones	
2009	29-juil	9h15m	Caves inondées par l'eau de pluie	Sao Felipe	
	13-août	9h30m	Pompage d'eau de pluie	Devant les Archives d'Histoire	
	02-sept	9h-17h	Pompage d'eau de pluie	Varzea	
	07-sept	15h30-17h20	Pompage d'eau de pluie	Varzea	
	17-sept	14h59-17h40	Inondation	Rue ONU	
	09-sept	19h30-20h10	Inondation	Coca Cola-Tira Chapeu	
	10-sept	8h15-21h00	Pompage d'eau de pluie	Varzea	
	22-sept	9h-10h30	Pompage d'eau de pluie	Varzea	
25-sept	9h20-12h	Pompage d'eau de pluie	Devant les Archives d'Histoire		
2010	---	---	Pas de donnée dans les registres	----	
2011	16-août	xx	Pompage d'eau après la 1ère pluie	Devant les Archives d'Histoire et Vila Nova	
	18-oct		Pompage d'eau de pluie	Gino Desportivo - Varzea	
	22-oct		Pompage d'eau	Gino Desportivo - Varzea	
	25-oct		Pompage d'eau de pluie – Routes	Gino Desportivo - Varzea	
	26-oct		Secours aux voitures dans les rivières	Tira Chapeu	
	26-oct		Idem	Devant le Palais du Gouvernement - Varzea	
2012	09-août	9h à 11h30	Pompage d'eau de pluie	Proche du centre commercial Matilde Vila Nova	
	28-août	8h50 à 11h15	Pompage d'eau	Gino Desportivo - Varzea	
	28-août	14h50-17h00	Idem	Idem	
	29-août	9h30	Pompage d'eau	Zone des Archives d'Histoire	
	05-sept	8h55 à 11h40	Pompage d'eau	Varzea	
	08-sept		Pompage d'eau	Varzea	
	25-sept	14h35 à 16h50	Pompage d'eau	ASA	
	03-oct	9h05 à 19h25	Pompage d'eau	Varzea	
2013	07-sept	xx	Pompage d'eau	Sao Felipe	
	20-sept	11h15 à 18h00	Pompage d'eau	Plusieurs zones de la capitale	
	24-sept	xx	Pompage d'eau de pluie	Ecole de la Zone Palmarejo	

Source : Services Municipaux de Pompiers, 2015 : *Registres des pompiers, 2004 à 2013*, Mairie de Praia.

Tableau 2.2 : Occurrences des inondations dans la ville de Praia

Enregistrements des interventions de pompiers se rapportant à la pluie (*transcription*)

Les zones les plus souvent signalées par le Service des pompiers à Praia sont Varzea (point critique, qui veut d'ailleurs dire « zone marécageuse » en portugais) et la zone située devant les Archives Historiques. Ces deux zones sont localisées en aval du bassin de Trindade, dont l'altitude est à environ 2 à 3 m au-dessus au niveau de la mer. Elles ont fait l'objet de 60% des interventions des pompiers sur les 14 années consultées. Le risque le plus souvent évoqué dans les registres est celui des incendies, qui ne font pas l'objet d'analyse de ce travail. Ainsi, on sait par le biais des informations relatées par les propriétaires que les habitations sont souvent inondées pendant les pluies. Cependant ils ne font pas partie des statistiques des registres des pompiers, sauf quelques interventions de secours qui représentent moins de 10% des événements sur la période analysée.

Deux facteurs peuvent expliquer cette faiblesse des données sur les habitations inondées. D'abord, la solidarité des habitants intervient pour se secourir entre voisins. En effet, le temps de réaction dans le cas d'une inondation dans la plupart des cas n'est pas compatible avec les capacités de réaction des services de pompiers, pour des raisons diverses, dont certaines d'ordre logistique. Ensuite, il n'y a pas toujours d'accès par la route car une partie significative des habitations est illégale et se localise dans des endroits difficiles d'accès.

2.2.2. Une expansion urbaine rapidement mise en cause

La ville de Praia a connu une croissance de 162.2%²¹ entre 1980 et 2015 et la densité de la population est ainsi passée de moins de 300 à 1484 hab/km². Lorsqu'on analyse l'évolution du tissu urbain à partir de 1969 (Cf. *Figure 2.4*), on constate un accroissement de l'espace urbanisé le long des rivières, ainsi que de l'occupation de versants à forte pente. C'est dans ce contexte, que l'on enregistre une augmentation significative du nombre de logements informels²² et, par conséquent, une augmentation du degré d'exposition²³ de la population à l'inondation urbaine (voir *Figures 2.4 et 2.5*). La faible réponse institutionnelle (i.e. des logements urbanisés à des prix d'achat très élevés) ont conduit une partie significative de la population, surtout la plus pauvre, à opter pour l'informalité (et l'illégalité) dans la construction de leur habitation. Compte tenu de l'absence d'intervention des pouvoirs publics, l'extension physique de la ville de Praia se structure selon une logique de décisions individuelles liée à la

²¹ D'après les données de l'Institut National de Statistique (INE) du Cap-Vert, 1980 et de l'annuaire statistique de l'INE 2015.

²² D'après les données du recensement 2010, le Plan Directeur Municipal (2011, p. 48., Livre 06) assure que 80% des logements sont construits dans les Aires Urbaines de Genèse Illégale (AUGI). Autrement dit, seuls 20% des logements se trouvent dans le tissu urbain formel.

²³ Leone et Vinet (2005, p.10) « L'exposition est la coïncidence spatiale entre les enjeux et l'aléa d'où la notion de zone à risque ».

URL : http://www.univ-montp3.fr/gcrn/images/stories/Documents_pdf/georisques_1_lv_part1.pdf.

Certes l'exposition peut impliquer une interaction entre les enjeux et les aléas. Il ne faut pas confondre ce concept avec la vulnérabilité, ni avec le risque. En effet, un enjeu peut être exposé mais pas vulnérable par rapport un événement dangereux.

pauvreté et à la spéculation foncière²⁴, ce qui est peu compatible avec un aménagement territorial qui requiert une série d'infrastructures, parmi lesquels des canaux d'évacuation des eaux pluviales. La *Figure 2.5* témoigne de l'absence de préoccupations des pouvoirs publics à l'égard de l'occupation de territoires à risque.

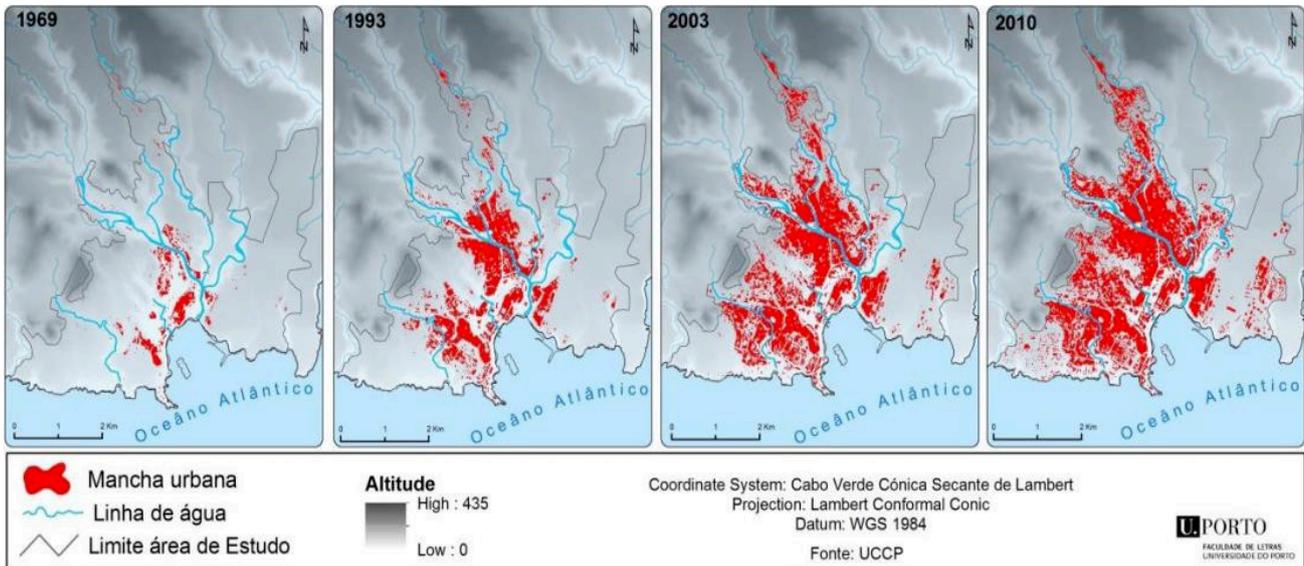


Figure 2.4 : Évolution du tissu urbain au cours de 41 dernières années (d'après Siva, 2004)



a : Construction de bâtiments sur de fortes pentes
b : Exposition de bâtiments à l'aléa inondation

Figure 2.5 : Exposition aux enjeux, ville de Praia, Cap-Vert

²⁴ Des parcelles non urbanisées sont vendus sur le marché informel, en dehors de toute réglementation municipale.

Si on prend des photos dans un des quartiers les plus représentés du registre d'événements des pompiers municipaux -Varzea - on s'aperçoit qu'il y a une occupation par des logements illégaux de secteurs à forte déclivité, sensible au mouvement des versants. Il faut remarquer que, selon son intensité, la crue peut provoquer une activité morphogène intense, qui peut menacer et compromettre les fondations des logements, voire toute la structure. Sur le terrain, on peut constater un certain nombre de logements (Cf. *Photo en Annexe I*) dont les fondations ont été affectées par les écoulements de surface en 2014. Pour éviter la répétition de ces dégâts, les propriétaires ont adopté des mesures de renforcement de la structure des bâtiments ou ont construit des murs de protection. Ces marques sur le terrain témoignent d'un effort d'adaptation à l'aléa, autrement dit un effort visant l'augmentation de la résilience tout en considérant l'action morphogénétique déclenchée par le ruissellement. Certes la population possède une certaine conscience du risque d'inondation, mais à cause des conditions de vie précaires, elle est prête à accepter un certain niveau de risque.

Dans les zones déprimées de la ville de Praia présentant une forte densité de bâti, on enregistre fréquemment des phénomènes d'inondation des logements selon les informations fournies par les populations. Malgré l'absence de statistiques officielles relatives aux inondations, on est face à des événements dont les impacts négatifs sur la circulation routière urbaine, sur la qualité de l'environnement, sur la propagation du paludisme et de la dengue par les moustiques et aussi sur l'économie lorsque l'eau inonde les logements sont significatifs²⁵. Pour dresser un état de l'art des données et des travaux sur ces risques à Praia, nous présentons les données recueillies dans le cadre du projet de Réduction de Risques et Désastres (RRD), puis les bases de données internationales sur le risque au Cap-Vert et enfin des études de différentes spécialités où les auteurs font référence au risque et à leurs conséquences.

2.3. Une réalité pour un grand nombre d'acteurs

2.3.1. Un sujet de recherche de plus en plus étudié par les scientifiques

Les productions académiques publiées sur les risques naturels au Cap-Vert et sur les risques d'inondation dans les zones urbaines ont fortement augmenté depuis 2007 (sans doute à la suite des nombreuses inondations de septembre 2006). Dans les zones rurales, l'Institut National de Recherche Agricole (l'INIDA) avait déjà effectué des recherches sur la quantification de l'érosion du sol, et il avait déjà élaboré une cartographie appelée cartes de risques (même si on peut rappeler que d'un point de vue conceptuel, il s'agit de travaux menés sur la susceptibilité face à

²⁵ D'après le responsable du Service Environnement, Assainissement et Protection Civile de la mairie de la ville de Praia, il faudrait 10 000 000 euros pour résoudre le problème du drainage de l'eau à Praia.

<http://www.expressodasilhas.sapo.cv/sociedade/item/39352-praia-precisa-de-cerca-de-um-milhao-de-contos-para-resolver-problemas-de-drenagem>

l'écoulement). Les facteurs étudiés ne concernent que les pertes en sol et la baisse de la fertilité, et par conséquent leur valeur économique, en tant que biens de production de base. La prise en compte de la composante « vulnérabilité » n'est jamais présente, sauf d'une façon sommaire (les terres vulnérables) et non systématique (sans la population).

De façon très explicite, la plupart des recherches menées avant 2007 ont été le fruit de travaux menés par une majorité d'ingénieurs agricoles. Pour l'essentiel, les variables retenues sont l'intensité des pluies et la couverture des sols définie selon une typologie de la végétation.

Les dommages provoqués par l'inondation dans l'île de Santiago a fait l'objet de réflexions approfondies de la part du professeur Ilidio de Amaral, dans sa thèse de doctorat « *Santiago de Cabo Verde. A Terra e os Homens* » publiée en 1964 et rééditée en 2007 (même si à l'époque le mot risque n'existait pas au sens donné aujourd'hui). Au fil de la thèse, on trouve un rapport entre l'intensité de la précipitation et les dégâts produits d'un point de vue qualitatif. D'une certaine façon, les propositions avancées par Amaral ont été reprises par d'autres géographes, parmi lesquels on peut citer Rebelo (1999), Costa (2002) et nos travaux publiés en 2007 (Correia, 2007). Ces auteurs ont montré la relation entre les pluies torrentielles, l'occupation du sol et les pertes provoquées par les crues. Fernando Rebelo a publié une recherche (1999, p. 3) sur la problématique des crues dans les zones urbaines du Cap-Vert en se focalisant sur la théorie du risque au sens d'aujourd'hui.

D'après lui, « *l'affouillement de versants et aussi les constructions précaires sur ces versants peuvent être considérés aussi comme des vulnérabilités importantes vu qu'en cas de pluie torrentielle les glissements de terrain peuvent se produire et emporter les logements et les biens. Ces glissements augmenteront les charges solides des cours d'eau, ce qui rend l'inondation encore plus violente.* » Ainsi, dans son analyse, la notion de risque en tant que probabilité est bien mise en évidence. Elle apporte aussi une attention spéciale à la vulnérabilité avec, à l'appui, quelques photos de la ville de Praia qui témoignent de la vulnérabilité urbaine dans le cadre d'une recherche plutôt qualitative.

Réalisé de manière spécifique sur l'aléa inondation pour la ville Praia, le *Tableau 2.3* résume les travaux qui nous semblent les plus développés sur le sujet. On a sélectionné les travaux publiés sur internet, qui ont fait l'objet de soutenances ou qui sont passés par un comité de validation.

Dans ce *Tableau 2.3*, on a retenu 5 travaux académiques : 3 sont des mémoires qui ont fait l'objet de soutenances publiques et les 2 autres sont des articles scientifiques. Nous revenons sur le travail de Lima (2012) qui a fait un recensement des événements qui se sont produits à Praia à partir la presse écrite entre 1980 et 2010 et qui peuvent être confrontés avec les données de risques inventoriés par le projet SIERA. Les travaux qui abordent le risque dans le cadre de l'assistance technique au gouvernement, tels les Plans d'Urbanisme ou le Profil de dangerosité au Cap-Vert élaboré par le PNUD ne sont pas considérés ici. Plus loin, nous reprendrons l'étude sur le profil de dangerosité pour l'élaboration de la carte des risques.

Publications sur les inondations à Praia	Date	Auteurs	Éléments essentiels
<i>Risques d'inondation rapide au Cap-Vert. Note d'observation lors d'une brève visite à Praia et au Mindelo en juin 1999</i> ²⁶ .	1999	REBELO, Fernando	Il s'agit du premier travail explicite sur les risques urbains au Cap-Vert. L'auteur fait une analyse pertinente des caractéristiques de l'aléa inondation et de la vulnérabilité en illustrant les vulnérabilités urbaines par des photos.
<i>Gestion de la crue. Le cas de la ville de Praia</i> ²⁷ .	2000	SABINO <i>et al.</i>	Les auteurs se focalisent sur l'étude des aléas. Ils ont recours aux méthodes quantitatives et analysent l'intensité de précipitation-débit pour chaque période de retour et leur impact sur la ville. Pluie de projets.
<i>Inondations urbaines : défi à l'aménagement du territoire. Le cas de la ville de Praia (Cape Vert)</i> ²⁸ .	2012	LIMA, Isabel Pires	La méthodologie utilisée est qualitative et quantitative. Pour l'essentiel, l'auteure a fait appel aux retours d'expérience et aux outils SIG pour élaborer une « carte des risques ». Elle a utilisé l'algèbre cartographique et l'analyse multicritère.
<i>Bassin de Trindade : analyse des risques hydrologiques de la Ville de Praia</i> ²⁹ .	2013	BORGES, Moisés António do Espírito Santo	Méthodologie quantitative. Recours à <i>Pluie de projet</i> (coefficient de Montana). Calculs pluie-débit pour des points de bassin. Élaboration de cartes de risque en prenant comme points de repère les cours d'eau.
<i>Risques environnementaux urbains et leur perception dans la ville de Praia, Cap Vert</i>	2016	MONTEIRO, Silvia	Perception des crues, dans les zones à risque à ville de Praia. Questionnaire. Analyse qualitative très intéressante des risques à l'échelle des quartiers

Tableau 2.3 : Résumé des publications sur les inondations dans la ville de Praia

2.3.2. Des médias mobilisés, même si leur fiabilité reste discutable

Dans les recherches dans la presse écrite hebdomadaire, Lima (2012, p.50) signale le poids de l'inondation (*Figure 2.6*) dans l'ensemble des risques naturels au Cap-Vert durant la période 1980-2010. Les journaux locaux examinés font référence à 25 occurrences d'inondation, contre 7 événements relatés par le projet SIERA et seulement 2 événements affichés par l'EM-DAT. Cependant, l'auteure ne mentionne pas les occurrences de la sécheresse qui figure comme le risque majeur dans les bases de données internationales sur les risques naturels au Cap-Vert. L'absence de statistiques du risque de sécheresse dans les journaux s'explique en partie par la brève période d'observation retenue. En faisant un bref survol de l'histoire du Cap-Vert, on

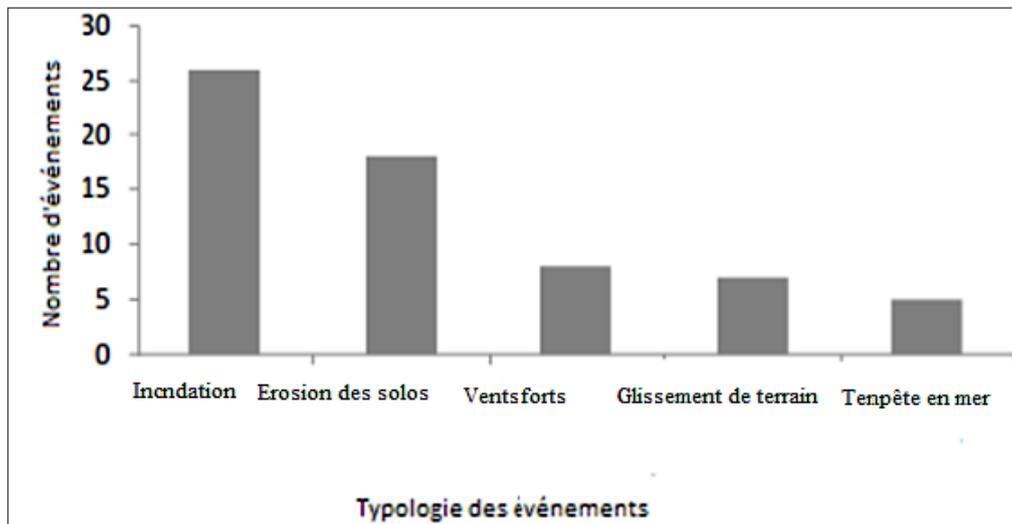
²⁶ Le titre original est : « *Riscos de inundaç o r pida em Cabo Verde. Apontamentos de observa o numa breve visita   Praia e ao Mindelo em Junho de 1999* ».

²⁷ Le titre original est : « *Flood management in Cape Verde. The case study of Praia* ».

²⁸ Le titre original est : « *Inunda es urbanas: Desafios ao ordenamento. O caso da Cidade da Praia (Cabo Verde)* ».

²⁹ Le titre original est : « *Bacia da Trindade : Analise dos riscos hidrol gicos para a Cidade da Praia* ».

note qu'effectivement la sécheresse a fait un nombre élevé de victimes mortelles au fil du temps (cf. *Tableau 2.1*). En sachant que l'un des indicateurs pris en compte pour évaluer le degré du risque est le nombre de décès, il est vrai qu'on assiste à une atténuation des effets de la sécheresse après l'indépendance du pays en 1975, grâce à l'aide internationale, mais aussi grâce à une plus grande diversification de la base productive du pays.

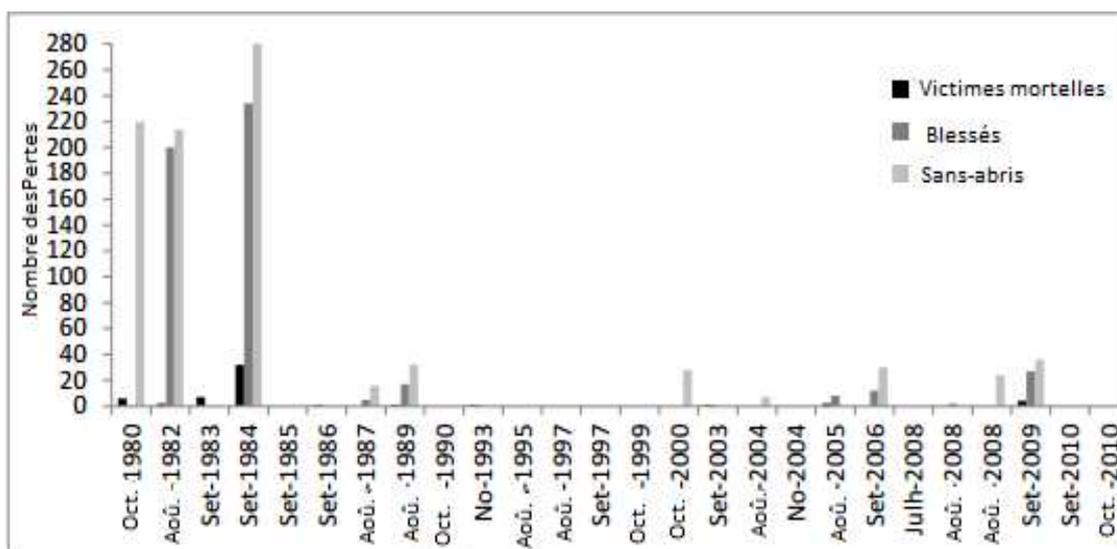


Source : Lima, 2012, p. 50

Figure 2.6 : Fréquence des risques naturels survenus entre 1980 et 2010

Mais l'analyse de la *Figure 2.7* élaborée à partir d'articles de presse pose divers problèmes : quels ont été les types d'écoulements classés comme inondations par les journalistes ? Quels sont les seuils retenus ? S'agit-il vraiment de manifestations de risques naturels ou d'aléa ? En effet, lorsqu'on examine le titre du graphique de l'auteure, on s'aperçoit qu'il s'agit plutôt de manifestations d'aléa que de risques proprement dits, même si on peut admettre l'existence du risque à cause de la forte concentration de biens et de personnes dans la ville de Praia.

Ainsi, selon la figure (*Figure 2.7*), on peut constater que le système de classification adopté dans les différentes typologies de risques naturels n'est pas évident. En effet, si pour les glissements de terrain, il est relativement facile de quantifier le nombre d'occurrences, on ne peut pas en dire autant pour l'érosion. La manière dont l'érosion est présentée dans le graphique semble peu adéquate. Car comment dénombrer l'érosion en nappe ou aréolaire par exemple ? Il semble que la désignation d'aléas hydriques est plus appropriée pour faire référence à l'ensemble des processus hydriques que le terme d'inondation dans ce contexte puisque, l'inondation entendue comme débordement d'un cours d'eau ne représente qu'un évènement faisant partie de l'ensemble de tous les risques hydriques confondus. Quoiqu'il en soit, les risques hydriques relatés occasionnent des dommages d'importance variable dont l'ampleur est mal connue. Lima (2012) a recueilli dans la presse les données en pertes humaines et, de manière plus indirecte, celles des logements lorsqu'elle fait référence aux sans-abri (*Figure 2.7*).



Source : Lima, 2012, p. 53

Figure 2.7 : Pertes humaines provoquées par les inondations au Cap-Vert entre 1980 et 2010

Les données recensées d'après le graphique doivent être analysées avec prudence, vu que les journaux ne couvrent pas l'ensemble du territoire national. Mais il est évident que le nombre de décès diminue au fil des années. Cela peut s'expliquer à la fois par les mesures de protection progressivement mises en œuvre, et par un début de prise de conscience de la population. L'amélioration progressive du niveau de vie de la population a aussi entraîné une diminution des pertes humaines liées aux crues.

Malgré tout, on enregistre des décès liés à des inondations récentes (2013) dans la ville du Tarrafal (1 mort), dans l'île de Santiago et dans l'île de Boa Vista (3 morts). Cependant les statistiques disponibles dans l'étude plus récente publiée par le gouvernement concernant les pertes humaines liées aux inondations, en couvrant une brève période de temps, manque de réalisme (*Tableau 1.4*) : on enregistre seulement 61 décès en 29 années. Il nous semble en particulier que pour la période d'avant l'Indépendance où la population vivait majoritairement dans les zones rurales et où les volumes de précipitation étaient plus importants selon Ferreira (1987), l'évaluation des pertes humaines reste difficile. Les études officielles du rapport gouvernemental confirment cependant que l'année 1984 a été la plus meurtrière.

Les données dont nous disposons pour les postes pluviométriques du Cap-Vert et de la ville de Praia en particulier ne permettent pas d'inférer les pertes évoquées, même si l'on sait que pour certaines stations pluviométriques, on a déjà enregistré un maximum quotidien très élevé d'environ 400 mm³⁰. Considérant les caractéristiques socio-économiques de la population cap-verdienne, dans les zones urbaines d'origine illégale, en cas de reproduction

³⁰ Plus de 400 mm de précipitations ont été enregistrées en une seule journée en septembre 2013. Selon la Télévision Cap-Verdienne (TCV), les familles ont subi des pertes sévères.

d'un même épisode pluvieux dans la ville de Praia, on admet que les pertes seront significatives dans les mêmes contextes socio-économique, culturel et de la culture institutionnelle du pays.

Pour les inondations, d'après les recherches sur le terrain et la bibliographie, l'année 1984 peut être retenue comme l'année de référence parce qu'on y a enregistré le plus grand nombre de décès, selon les statistiques publiées (*Tableau 2.4*). Quelques questions s'imposent : quelle est la hauteur de précipitations enregistrée cette année-là ? Pourquoi y a-t-il eu beaucoup de morts ? Les décès de l'année 1984 ont été respectivement évalués à 28 et 6 dans la ville de Santa Catarina sur l'île de Santiago, et dans la ville de Ribera Grande sur l'île de Santo Antão. Il faut remarquer que les régions en cause ont une topographie très accidentée qui peut avoir un rôle décisif sur la vulnérabilité de la population.

<i>Nombre de morts</i>	<i>Zone d'occurrences</i>
1	Ile de Sao Vicente Mindelo
11	Ra.Grande/P.Cruz (île de Santo Antão)
15	Galinheiro (île du Fogo)
6	Ra.Grande/P.Cruz (île de Santo Antão)
28	Santa Catarina (île de Santiago)

Source : Sabino, Querido & Sousa, 2000

Tableau 2.4 : Synthèse des pertes humaines enregistrées pour l'année 1984

Selon les informations météorologiques pour 1984, les décès enregistrés en zone rurale sont dus au passage d'un cyclone. Le nombre élevé de morts provoqués par les crues générées par la suite montre que le cadre naturel (notamment le contexte géomorphologique accidenté et les pluies concentrées sur certains territoires) est une variable qu'il faut rapidement discriminer. Même si le laps de temps d'analyse des statistiques est assez différent, il semble que les pertes et l'ampleur de la mortalité provoquées par la sécheresse, demande une attention particulière, comme en atteste les recherches menées sur une période plus longue.

Plutôt que l'inondation, le nombre de morts provoqué par la sécheresse, entre 1773 et 1948 est considérable (*Tableau 2.5*). Contrairement à l'inondation dont l'impact est assez direct et localisé dans l'espace, la sécheresse a, dans le passé, fait des dégâts considérables, car même si elle se manifeste d'une façon moins brutale, ses conséquences ont des effets dominos impactant fortement le milieu biophysique et les activités humaines.

La sécheresse est donc un risque majeur³¹ d'un point de vue statistique, malgré les mesures mises en place par les gouvernements successifs du pays. Pour lutter contre la sécheresse le pays a adopté comme stratégie majeure, l'adhésion au Comité inter-États de lutte contre la sécheresse du Sahel (CILSS). D'après Semedo (2012, p. 65),

« L'occurrence de la sécheresse dans la région soudano-sahélienne dans la seconde moitié de décennie 60 du XX^{ème} siècle a eu un impact environnemental sans précédent dans une vaste région de l'Afrique de l'Ouest. En attendant la dimension régionale du problème et, dans une perspective de mobilisation des ressources financières, humaines et technologiques pour l'ensemble des pays touchés, un groupe des pays a créé le CILSS qui dès la date de création a assumé grosso modo la fonction politique du Sahel ».

Années	Îles	Décès
1773-1775	Fogo	4200 *
1774 -1775	L'archipel	22666
1831-1833	L'archipel	30000
1862-1867	L'archipel	29845 **
1901	Santiago	1927
1902	Santiago	2152
1941-1943	Fogo	7500 ***
	Sao Nicolau	28
	Total	98290

Source : Santos, Torrão, Soares, Instituto de investigação científica tropical & Instituto da investigação e do património culturais, 2007

* soit 73.7% de population de l'île

** dont plus de la moitié (18000) sur l'île de Santiago

*** ce chiffre correspond à 31% de la population de l'île à cette date

Tableau 2.5 : Statistiques des décès provoqués par la sécheresse entre 1773 et 1943

Ainsi le CILSS, en tant qu'outil institutionnel pour faire face à la sécheresse, a créé l'Institut du Sahel, localisé à Bamako au Mali. Néanmoins, le risque de sécheresse existe à cause de la localisation de l'archipel dans la zone climatique sahélienne. La vulnérabilité à la sécheresse est fortement atténuée par la solidarité internationale et par la diversification de la base productive³² du pays. Désormais les dégâts engendrés par la sécheresse, parfois très importants, sont surtout d'ordre économique, et souvent le gouvernement fait appel à la

³¹ Les manifestations les plus récentes sont les années 2014 et 2017. Le gouvernement a fait un appel à la communauté internationale, notamment à la FAO, pour faire face à la sécheresse.

Cf. http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=50115#.V6Hqa_kvIV

³² Actuellement le tourisme est le secteur économique le plus important de l'économie, représentant 20.97% du PIB (INE, 2015). Le pays est ainsi de moins en moins dépendant du secteur primaire et voit donc une atténuation de sa vulnérabilité à la sécheresse. Consulté à : <http://ine.cv/wp-content/uploads/2016/10/Publicacao-CST.pdf>

communauté internationale, notamment aux organismes internationaux comme la FAO³³. Ainsi, les morts provoquées par les sécheresses au fil des siècles et dans la deuxième moitié du XX^e siècle sont actuellement contrôlées grâce aux mesures prises sur place par les pouvoirs publics après l'Indépendance.

Dans les travaux scientifiques sur les risques naturels au Cap-Vert, il faut aussi noter certaines recherches développées dans le cadre de projets, notamment MAKAVOL sur les risques volcaniques, et les travaux que l'INIDA a entrepris au fil du temps en coopération avec des organismes qui travaillent sur les risques naturels auxquels on a déjà fait référence précédemment. D'autres travaux récemment publiés comme ceux du profil de dangerosité mené par le PNUD et la thèse de Silvia Monteiro qui se penche sur la perception des risques urbains dans la ville de Praia qui a déjà été citée, fournissent des éléments importants sur la gestion des risques dans le pays.

2.4. Éléments de discussions...

Le risque d'inondation, objet de cette recherche, est à l'origine de l'élaboration d'un Plan d'Urgence Municipal (PEM)³⁴ chaque année. Ce plan est mis en œuvre sous la responsabilité du Service de Pompiers de la Mairie. Il s'agit d'un document généraliste à caractère descriptif (voir *Annexe III*). Pour l'essentiel, ce plan vise à faire l'inventaire de tous les obstacles à l'écoulement des eaux, de l'état des infrastructures de protection contre les crues, et à repérer des logements menacés qui devraient être détruits. Le but du PEM est de fournir des inputs indispensables à la planification et au financement des dispositifs d'atténuation des effets des risques liés à l'eau. L'un des bassins qui a fait l'objet de recueil des données dans le cadre de l'élaboration du PEM est celui de Trindade, où se trouve le quartier de Varzea (*Figure 2.8*), l'un des quartiers les plus critiques de la ville de Praia par rapport aux inondations. Les éléments observés sur le terrain illustrent les différentes stratégies adoptées, soit par les autorités gouvernementales, soit par la population, pour minimiser les inondations. Les photos montrent que la population a conscience des risques hydrologiques. Les mécanismes de défense à travers des dispositifs de résistance (ex. digues) et de résilience (ex. trous) sont évidents. Certes, les travaux entrepris par les autorités et la population sont majeurs, mais cela n'empêche pas qu'il puisse y avoir des dommages, qui malheureusement ne font pas partie des statistiques des institutions étatiques. Dans cette perspective, le degré de vulnérabilité de la population peut être saisi plutôt à partir des mesures mises en œuvre pour atténuer les pertes qu'à partir de dommages difficiles à évaluer.

³³ Cf. <http://www.fao.org/news/story/en/item/278021/icode/>. Lors de la sécheresse la plus récente, le gouvernement a été parrainé par la FAO pour atténuer les effets dommageables. Il faut noter que le pays a été frappé par des sécheresses sévères dans les années 2018 et 2019.

³⁴ Ce Plan est élaboré en conformité avec la Résolution n°10/2010 : Plan National de Contingence Pour la Réduction des Désastres Naturels (B.O. Numéro 10, I série, 15 mars)

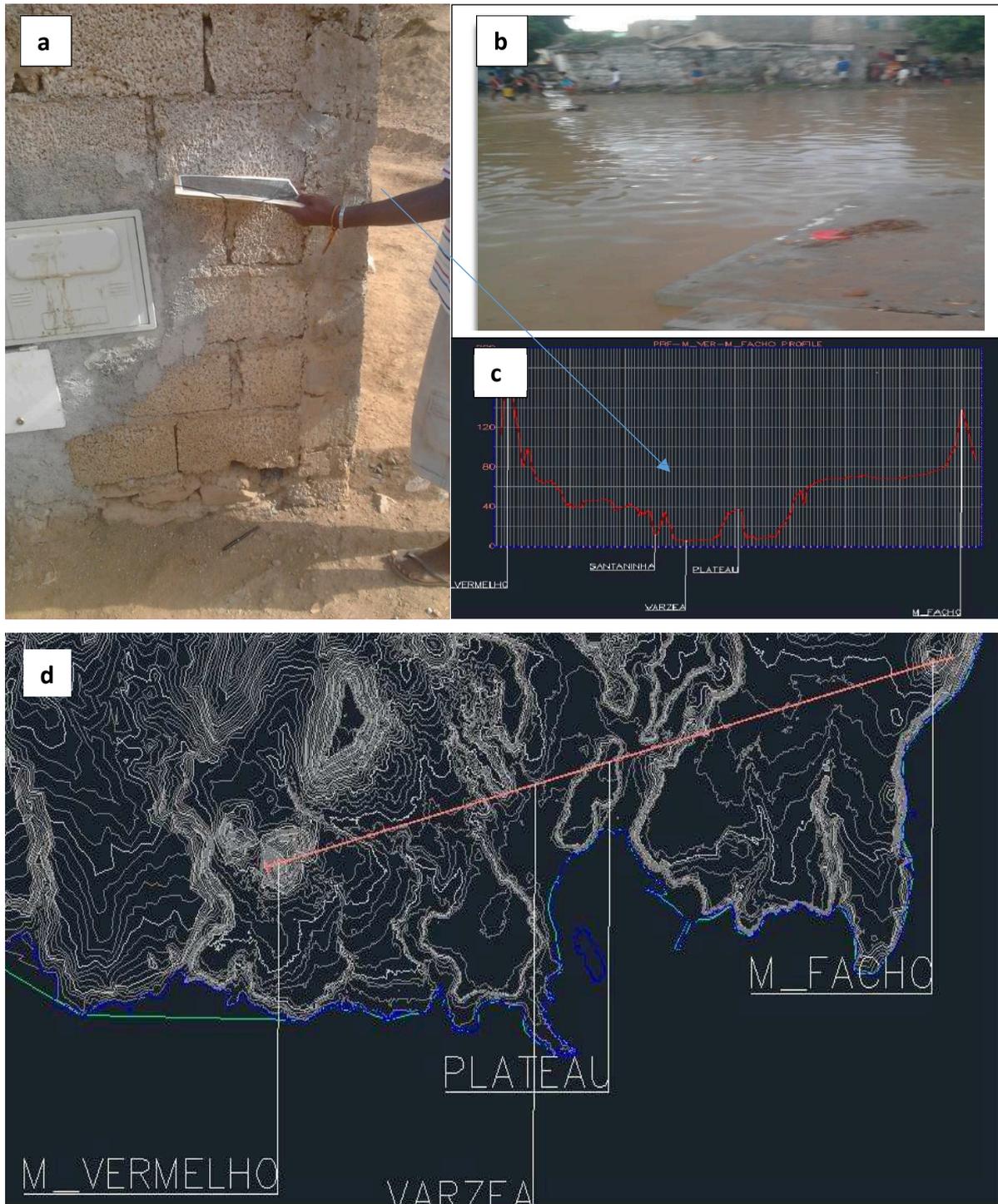


Photos réalisées lors d'une sortie de terrain dans le cadre de la préparation du Plan d'Urgence de la Mairie de 2015 pour faire face à l'inondation.

a : Trou dans une digue – Initiative privée ;

b : Mesure structurelle - Intervention publique.

Figure 2.8 : Exposition des enjeux observés sur le terrain



Sources : Réalisations de l'auteur. Photos R. Correia

a : Marque d'hauteur d'eau dans une maison précaire située dans la rivière

b : Plaine alluviale en aval de la maison de la photo

c : Profil transversal de la ville de Praia

d : Courbes de niveaux équidistantes de 10 m, fournies par l'INTG

Figure 2.9 : Contexte géomorphologique et information sur la hauteur d'eau dans le lit d'une rivière d'après la population

Nous avons d'ailleurs des difficultés pour définir la crue de référence. D'après la population la hauteur d'eau (*Figure 2.9*) peut atteindre un niveau important (1,5 m) dans la section moyenne du bassin. Néanmoins, les pertes peuvent ne pas être significatives à cause des bas revenus de la population touchée. En revanche, l'importance des biens ne se résume pas à leur valeur économique *per se*, mais doit être relativisée en fonction des capacités à satisfaire les besoins de la population.

Pour avoir une vue d'ensemble du profil transversal de la ville de Praia et en considérant le bassin de Trindade, on constate dans la figure que le niveau d'encaissement des rivières et des plaines alluviales est notable. Soit les lits mineurs et majeurs des rivières, soit les plaines alluviales sont fortement peuplés. Pour avoir une vue d'ensemble du profil transversal de la ville de Praia et en considérant le bassin de Trindade, on constate dans la figure que le niveau d'encaissement des rivières et des plaines alluviales est notable. Soit les lits mineurs et majeurs des rivières, soit les plaines alluviales sont fortement peuplés. Lors d'entretiens avec des propriétaires de logements situés dans le lit mineur, on a constaté que les familles ont souvent subi des pertes de biens à cause des inondations, sans que ces pertes aient été intégrées dans les statistiques officielles. Il faut signaler que les lits mineurs et majeurs sont très peuplés et que les situations relatées de quelques familles ne sont pas des cas isolés.

Conclusions du chapitre 2

Les données sur les pertes sont fragiles. Celles recensées dans les bases de données montre que les sécheresses ont été les plus meurtrières, mais elles dépendent fortement des remontées des états et elles sont donc sujettes à cautions. D'un autre côté, les informations relatées dans les journaux pour l'archipel sont sous-estimées, parce que les journaux hebdomadaires locaux se localisent dans les zones urbaines, et parce qu'avec des difficultés logistiques de collecte, il est difficile de recenser les données de façon fiable. Même dans les zones urbaines, le recensement des pertes porte exclusivement sur les dégâts matériels, notamment routiers.

En revanche, les autres dimensions (environnementales, fonctionnelles, économiques) et leurs effets domino, ne sont pas jamais prises en compte. Dans les pertes recensées, sont notés les décès, la destruction de logements, les blessés. Par ailleurs, les informations véhiculées par la presse écrite sont de caractère assez générique, donc insuffisantes pour une analyse détaillée des pertes de façon systématique à l'échelle des bâtiments qui permettrait de dégager un portrait des dommages du bâti. Plus loin, nous reviendrons d'ailleurs sur le profil des logements en fonction de la typologie des dommages occasionnés par les inondations.

Chapitre 3 – Praia : un territoire cumulant des vulnérabilités multiformes

Introduction du chapitre 3

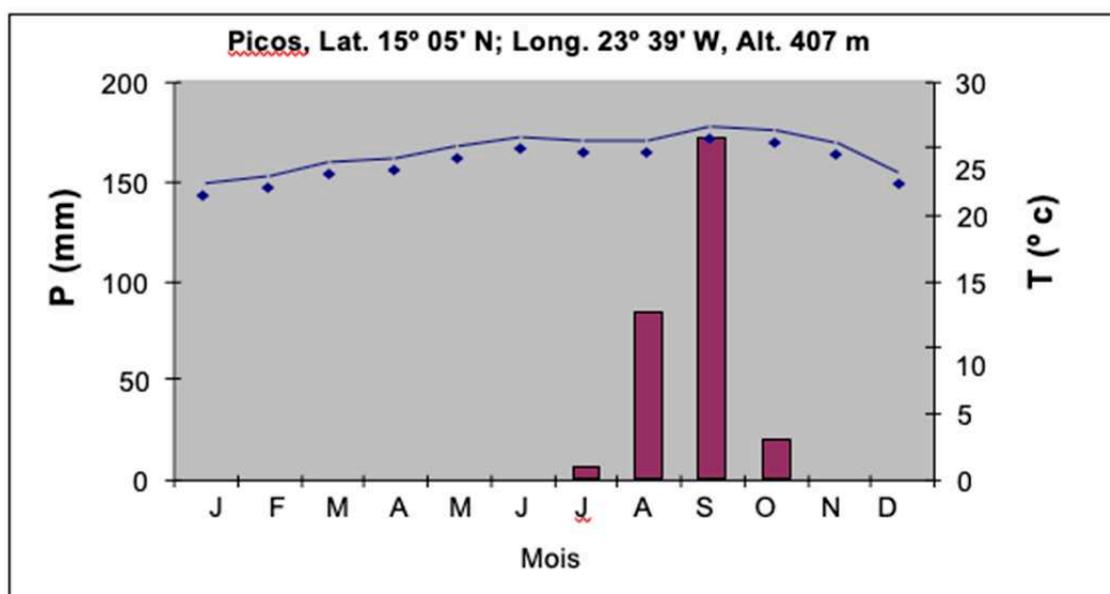
La gravité d'un risque naturel est liée à la manifestation d'un aléa, qui va toucher des enjeux, eux-mêmes vulnérables et plus ou moins résilients auparavant. L'aléa est déterminé par certains facteurs de déclenchement (pluies intenses ou le passage d'un cyclone) et par certains facteurs de prédisposition, comme par exemple la morphométrie du terrain, les caractéristiques du substrat géologique, les paramètres géotechniques. Les caractéristiques sociodémographiques influent par ailleurs sur l'exposition et la propension du territoire à subir des dommages. Dès lors, dans ce troisième chapitre, l'analyse se focalise sur la ville de Praia. On présentera tout d'abord les caractéristiques physiques de cette ville et on analysera la cartographie des aléas sous un angle critique. On détaillera ensuite certains critères sociodémographiques et économiques. Enfin on présentera quelques indicateurs de vulnérabilité et la délimitation de la zone inondable de la ville de Praia, d'après les études existantes.

3.1. Un cadre biophysique propice aux aléas

3.1.1. Un climat semi-aride, mais des intensités pluviométriques élevées

Le Cap-Vert se localise dans le prolongement du Sahel, dans une vaste zone climatique, où le climat est de type aride et semi-aride. Cette zone traverse l'Afrique depuis l'Océan Atlantique jusqu'à la Mer Rouge et s'étire à travers l'Asie (Barbosa, 1958 ; Amaral, 1964 ; Ferreira, 1987 cités dans Correia, 2007, p.15). La ville de Praia, que se trouve au sud de l'île de Santiago, s'insère dans cette zone semi-aride. Du point de vue thermique, on constate un comportement assez régulier de la température pendant l'année, avec une moyenne annuelle

de près de 25°C, un minimum de 21°C et un maximum de 28.7°C³⁵. On est ainsi dans un climat à une seule saison du point de vue thermique, avec une moyenne mensuelle rarement au-dessous de 20°C. Le régime pluviométrique est caractéristique de deux saisons bien marquées : la saison humide de juillet à octobre et la saison sèche entre les mois de novembre et juin, comme cela est illustré sur le graphique du régime thermo-pluviométrique typique du climat du Cap-Vert (*Figure 3.1*).

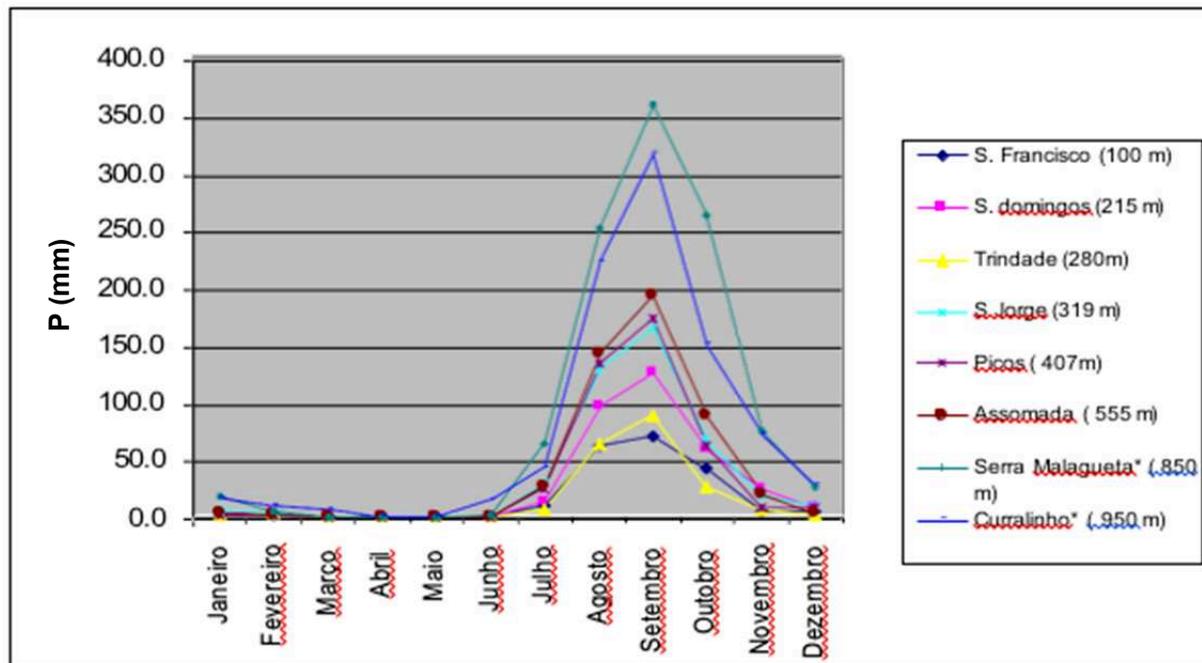


Source : R. Correia, 2007

**Figure 3.1 : Graphique typique du régime thermopluviométrique au Cap-Vert.
Moyenne pour la période 1940-1960 (d'après les données de l'INMG)**

La température moyenne annuelle est d'environ 25° C, et l'amplitude thermique annuelle est relativement faible (inférieure à 10°C). Les précipitations moyennes annuelles sont d'environ 300 mm pour 65% du territoire localisé en-dessous de 400m d'altitude et peuvent atteindre 700mm pour les zones au-dessus de 500 m d'altitude (Heitor et Pina, 2003). Le mécanisme de précipitation est lié à la dynamique du système atmosphérique dans la région intertropicale, déterminée par l'oscillation latitudinale des centres des hautes pressions subtropicales et par le déplacement des zones de convergence intertropicale (ZCI) très liées au réchauffement de l'eau océanique pendant l'été. En effet, pendant cette saison, le centre anticyclonique des Açores se déplace vers le nord, ce qui permet l'entrée de vent venant du sud, émis par le centre de haute pression de l'hémisphère sud de Sainte-Hélène – ce qu'on désigne le flux humide du sud-ouest. On trouve une grande variabilité de précipitation dans l'espace en fonction de l'altitude et de l'exposition du relief (*Figure 3.2*).

³⁵ Données de la station de Praia pour la période 1995 - 2010, d'après l'INMG.



Source : Correia, 2007, d'après les données de l'Institut National de Météorologie et Géophysique (INMG)

Figure 3.2 : Variation moyenne annuelle des précipitations selon l'altitude au Cap-Vert, 1960 -1990

Le graphique de la *Figure 3.2* montre les valeurs moyennes de précipitation enregistrées dans huit (8) stations allant de basses altitudes (station de São Francisco : 100 m) jusqu'à la plus haute (station de Curralinho : 950 m). Serra Malagueta au-dessus de 850 m d'altitude est la région la plus pluvieuse de l'île, avec une valeur moyenne annuelle de 1 058 mm entre 1941 et 1960. La moyenne mensuelle des mois les plus arrosés, août et septembre, dépassent les valeurs de 200 et 300 mm respectivement. Les valeurs les plus basses caractérisent les zones côtières. Tel est le cas de São Francisco, une des zones rurales de la ville de Praia, situé environ à 100mètres d'altitude, qui bénéficie en moyenne de 70 mm de précipitation annuelle. La ville de Praia s'étirant du niveau de la mer jusqu'à 273 m, son sommet (mont São Felipe), le territoire de la commune n'inclut pas toutes les strates climatiques, selon le zonage climatique établi pour l'île (Diniz, 1985). D'après cet auteur, l'île de Santiago est divisée en plusieurs zones climatiques en se basant sur la quantité de pluies enregistrées et les variables biogéographiques dont la végétation est un élément majeur. La ville de Praia n'a pas de strate climatique humide, autrement dit elle est limitée aux strates aride et semi-aride. Néanmoins, l'analyse du risque d'inondation dans la ville de Praia nécessite une analyse des précipitations dans toute la région sud de l'île de Santiago, à l'échelle d'un bassin hydrographique qui dépasse l'étendue du territoire administratif de la ville et s'étire jusqu'à 700 m d'altitude, où l'humidité est élevée.

L'analyse plus détaillée ne peut être envisagée que pour les stations pluviométriques disponibles de la région sud, à différents niveaux d'altitude et qui caractérisent la ville de Praia. Les stations représentées sur l'image Google Earth (*Figure 3.3*) montrent une distribution spatiale assez représentative du point de vue altitudinal. En revanche, la distribution

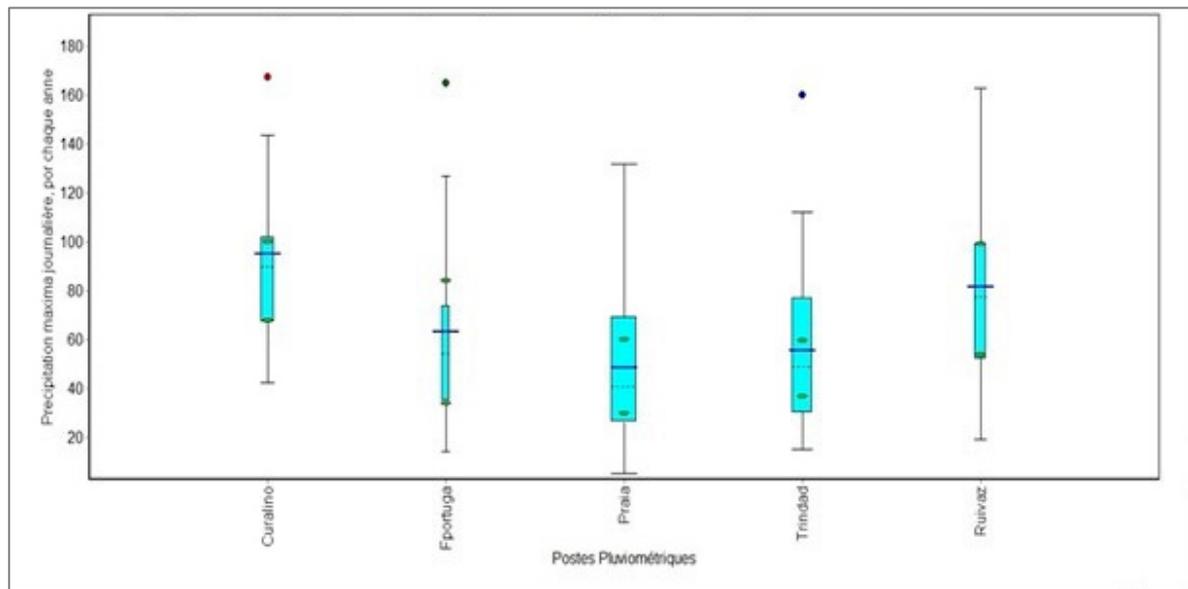
horizontale du territoire municipal est moins bien représentée en stations d'enregistrement de la variable précipitation. La longueur de la série chronologique des précipitations varie aussi en fonction de la station. La station de l'aéroport de Praia présente la série la plus longue et la plus complète (37 ans d'enregistrements), ainsi que Trindade (27ans) qui est un bassin représentant une partie significative du territoire de la municipalité avec plus de 75% de la population municipale. Cependant, pour les autres stations pluviométriques, la série temporelle est moins longue, avec Figueira Portugal pour la série la plus courte (14 années d'observation).



Source : Réalisation de l'auteur, d'après les coordonnées géographiques fournies par l'INMG

Figure 3.3 : Localisation des postes pluviométriques

D'après le graphique *boxplot* (Figure 3.4) pour l'ensemble des postes choisis, on constate que la précipitation minimale journalière sur une année a été enregistrée à l'aéroport avec 5 mm. Le maximum journalier se situe à la station de Curralinho, avec environ 170 mm en 24 heures. L'altitude est donc un facteur d'influence de la hauteur des précipitations. On peut remarquer l'existence de valeurs « extrêmes » dans la série (Muller, 2006), c'est-à-dire très éloignées des valeurs moyennes, ce qui illustre une variabilité significative des données de précipitations. La station de l'aéroport présente la valeur médiane de la précipitation journalière la plus basse alors que Curralinho a enregistré la valeur la plus haute à cause de l'altitude. Les différences de précipitation entre les stations s'expliquent essentiellement par l'altitude et l'exposition des versants aux flux marins humides.



Source : Réalisation de l'auteur, d'après la série temporelle quotidienne fournie par l'INMG

Figure 3.4 : Statistiques descriptives de précipitations journalières pour les postes pluviométriques ayant une influence sur la ville de Praia, 1976-2010.

On peut aussi étudier les séries temporelles quotidiennes des précipitations, de façon à inférer la quantité de précipitation maximale quotidienne probable, selon une période de retour donnée. Il existe plusieurs modèles de distribution probabiliste pour prévoir les précipitations en fonction des paramètres statistiques qui caractérisent leur variabilité. La série temporelle des valeurs de précipitation des postes pluviométriques de la ville de Praia dont nous disposons n'a pas un comportement gaussien. Face à la dissymétrie de la série chronologique des stations analysées, on a choisi les modèles de valeurs extrêmes de type I de Gumbel. D'après Beijo, Muniz & Neto (2005, p. 658),

« la théorie des valeurs extrêmes, en particulier la distribution de valeurs extrêmes du type I, ainsi connue en tant que distribution de Gumbel, distribution de type Fisher-Tippet ou de double exponentielle, développée par Gumbel (1958), représente une grande importance dans plusieurs domaines de recherches et a été appliquée avec une fréquence assez élevée dans l'analyse statistique des variables liées aux phénomènes météorologiques, parmi lesquels le maximum de précipitation ».

Cette loi est fréquemment utilisée dans les études sur le climat. D'ailleurs, Sabino *et al.* (2000) et Borges (2013) l'ont utilisée pour calculer les périodes de retour à Praia. Le dernier a en particulier travaillé sur la précipitation moyenne annuelle, dans un contexte où qu'il était difficile d'inférer les conséquences des crues, puisque l'information sur la distribution temporelle des précipitations, un des paramètres pour évaluer l'intensité, restait difficile à obtenir.

Pour estimer les maxima journaliers dans les 5 stations disponibles et qui ont été choisis pour la ville de Praia selon une période de retour donnée (T), on a utilisé la formule suivante proposée par Lower & Nash (1970) et reprise par Beijo *et al.* (2005) :

$$X(T) = \beta - \alpha \ln[\ln(t/t-1)]$$

Les paramètres β et α , qui représentent respectivement les mesures de position et d'échelle, ont été calculés à l'aide du logiciel de traitement de données climatique *Insta+*.

Les résultats obtenus (*Tableau 3.1*) concernent les 5 stations pluviométriques localisées dans Santiago Sud qui est le secteur le plus marqué par les inondations à Praia.

Station pluviométrique de Trindade. Coordonnées géographiques : Lat. 14.57 ; Long.-23.33 ; Alt.204m				Station pluviométrique aéroport de Praia. Coordonnées géographiques : Lat. 14.55 ; Long.-23.29 ; Alt. 64m				Station pluviométrique de Curalinho Coordonnées géographiques : Lat.15.01 ; Long. -23.36 ; Alt.818m			
T	Prevista	LI	LS	T	Prevista	LI	LS	T	Prevista	LI	LS
2	40,574288	25,431586	55,253439	2	36,741031	26,006115	47,475946	2	59,047738	42,053871	76,041604
5	87,106054	71,963351	101,7852	5	75,83293	65,098015	86,567846	5	146,99034	129,99648	163,98421
10	117,91413	102,77143	132,59328	10	101,71517	90,980254	112,45008	10	205,216	188,22213	222,20987
20	147,46598	132,32328	162,14513	20	126,54203	115,80712	137,27695	20	261,06745	244,07358	278,06132
30	164,46643	149,32373	179,14558	30	140,82432	130,0894	151,55923	30	293,19741	276,20354	310,19128
50	185,71781	170,57511	200,39696	50	158,67786	147,94295	169,41278	50	333,36142	316,36755	350,35529
100	214,38218	199,23948	229,06133	100	182,75915	172,02423	193,49406	100	387,53558	370,54171	404,52945
Station pluviométrique de Rui Vaz Coordonnées géographiques : Lat.15.02 ; Long. -23.37 ; Alt.885m				Station pluviométrique de Figueira Portugal. Coordonnées géographiques : Lat.14.59 ; Long.-23.34 ; Alt.37							
T	Prevista	LI	LS	T	Prevista	LI	LS				
2	55,095562	35,976939	74,214185	2	49,277347	33,518531	65,036162				
5	129,27029	110,15167	148,38891	5	99,67263	83,913815	115,43145				
10	178,38041	159,26179	197,49904	10	133,03869	117,27988	148,79751				
20	225,48802	206,3694	244,60665	20	165,04422	149,28541	180,80304				
30	252,58787	233,46925	271,70649	30	183,45621	167,6974	199,21503				
50	286,46399	267,34537	305,58262	50	206,4721	190,71328	222,23091				
100	332,1569	313,03828	351,27553	100	237,51646	221,75764	253,27527				

Source : Réalisation de l'auteur d'après les données INMG

Tableau 3.1 : Estimations des valeurs de précipitation maximale quotidienne

On peut constater que pour la station de Trindade, dont la série est plus longue et complète pour une période de retour de 10 ans, le maximum journalier prévu est supérieur à 100 mm. La valeur la plus haute dans la série (160 mm), qui a été enregistrée en 1968, est dans l'intervalle de confiance de la période de retour de 20 ans. En considérant la période de retour de 20 ans, on constate que la précipitation journalière peut dépasser 147 mm dans l'ensemble des

stations, sauf celle de l'aéroport de Praia. La valeur de 400 mm enregistrée dans la ville de Calheta en septembre 2013 est celle d'une période centennale. Il faut remarquer que, dans la pratique, cela ne signifie pas que cette valeur se produit tous les 100 ans, mais qu'elle peut se produire à n'importe quel moment dans ce pas de temps.

3.1.2. Un relief à forte pentes, propice à la concentration des écoulements

L'étude portant sur les risques d'inondation ne peut pas être dissociée de la configuration du relief et de la lithologie qui en est à l'origine. En effet, l'écoulement superficiel des eaux pluviales peut être affecté par la nature des matériaux lithologiques et pédologiques qui servent de supports. Cette section expose globalement les formes de reliefs qui prédominent dans la ville de Praia et les liens qu'on peut établir entre les formes, l'écoulement et les risques d'inondation.

L'île de Santiago, la plus grande de l'archipel (991 km²), possède une longueur maximale dans la direction nord-sud d'environ 55 km entre le *Ponta Moreia* (extrême nord) et *Mulher Branca* (extrême sud). Pour permettre une vision générale de la morphologie de l'île, on présente le MNT³⁶ (*Figure 3.5*) généré d'après les données des levés aérophotogrammétriques.

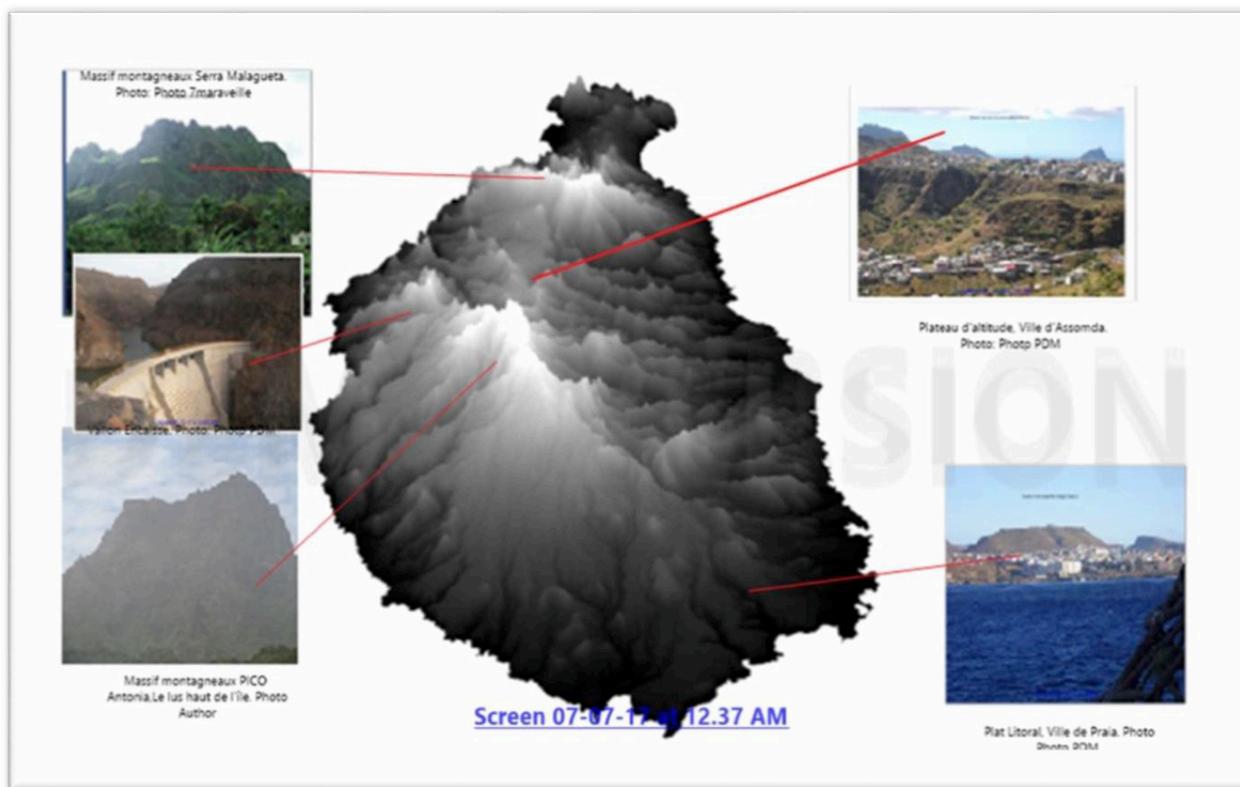
D'après le MNT (*Figure 3.5*), on s'aperçoit que les formes du relief sont assez irrégulières. On peut remarquer la prédominance des plaines en bordure littorale en opposition à l'intérieur de l'île qui est assez montagneuse et où dominent des incisions de vallons de taille très distincte, provoquées par l'érosion hydrique. La dissymétrie de la forme est évidente dans la direction nord-sud et entre les versants oriental et occidental. Lorsque qu'on déplace vers le sud de l'île, on retrouve le massif du Pic d'Antonia, dont l'altitude maximale de 1392 m est la plus élevée de l'île. Cette dissymétrie est également notoire entre les versants oriental et occidental, dont le premier, le côté sous le vent, est le plus humide et où les plaines s'étalent loin vers l'intérieur en opposition au côté exposé au vent, l'occidental, où les corniches sur mer s'imposent.

D'autres auteurs comme Amaral (1964), Serralheiro (1976), Marques (1990) se sont penchés sur l'analyse des formes et des matériaux qui sont à leur origine, ainsi que sur la modélisation des reliefs de l'île de Santiago. D'après Amaral (1964, p. 86), d'un point de vue morphologique, l'île de Santiago comprend 7 grandes unités de formes aux caractéristiques particulières. La ville de Praia s'intègre dans 2 de ces unités : « *Achadas* méridionale, entre Sao Francisco et Gouveia » et « l'unité littorale ». Cette division en 7 unités a été reprise par Marques (1990) qui a proposé des unités de paysage distinctes en fonction de leurs caractéristiques :

- 1 – Plateaux méridionaux ;
- 2 – Massif du Pic d'Antonia ;
- 3 – Plateaux de Santa Catarina ;

³⁶ Modèle numérique de terrain. Il s'agit d'une représentation de surface où à chaque paire de coordonnées x et y est associée sa valeur d'altitude Z

- 4 – Flanc Oriental ;
- 5 – Massif de Malgueta ;
- 6 – Tarrafal ;
- 7 – Flanc Occidental.



Source : Réalisation de l'auteur, à partir des données fournies par l'UCCP, DGOT, 2003.

Figure 3.5: Aperçu général des reliefs de l'île de Santiago, Cap-Vert ; MNT, résolution de 20 m

Aux unités structurales d'origine volcanique, on peut rajouter des modèles d'érosion avec des vallons propices à générer des inondations. Serralheiro (1976, p. 16) fait référence à deux types de vallons : les vallons en U et les vallons en V. Les vallons en U se forment dans le substrat géologique caractérisé par les disjonctions basaltiques en colonnes (avec une vallée insérée dans un fond de plaine élargi). Les vallons en V sont plutôt associés aux caractéristiques relativement récentes des laves, et ils se sont déployés dans un matériel de base profondément altéré, avec une proportion d'argile assez importante. Ainsi, selon le même auteur :

« Dans le premier cas, le réseau hydrographique est caractérisé par des rivières très longues, profondes et avec peu de sinuosités. (.....) Dans le second cas, les vallées en V se sont installées seulement dans les laves plus anciennes et les plus altérées. Cette roche plus ancienne occupant une aire de petite dimension, le développement des rivières est assez peu développé (p. 17) ».

Dans les vallées de profil en U, on peut retrouver des rivières à dimension plutôt régionale taillées dans des roches plus récentes qui, au fil du temps, ont été utilisées pour des activités humaines, notamment pour la construction d'habitations. À une échelle plus locale, on constate l'occurrence intense des ravinements des matériels de base, dont la profondeur des incisions ainsi que la longueur est assez variable. Lorsqu'il y a des pluies torrentielles, les petits ravins ont tendance à se rejoindre en s'élargissant considérablement et auront un impact important dans le ruissellement urbain.

Amaral (1964, p.96) affirme que « *l'aspect dominant de l'unité géomorphologique plateaux méridionaux est une surface plane de 100 à 200 m d'altitude, penchant doucement vers la mer...* ». D'après le même auteur, ces plateaux sont ainsi des surfaces caractérisées par une « structure en forme de colonnes se présentant comme des manteaux qui s'étendent horizontalement sur des couches géologiques de base très altérées et traversées par des filons³⁷... ». En effet, du point de vue de la géomorphologie structurale, les modelés suivants s'imposent : surfaces structurales appelées ici *achadas* qui ne sont autres que des planèzes. Ces surfaces structurales sont plus ou moins disséquées par de profonds ravins : des rivières s'y sont installées, essentiellement dans le matériel de base et quelques reliefs résiduels d'altitude relativement importante dans le contexte de Praia (notamment les monts São Felipe et Babosa). Il faut aussi, remarquer quelques élévations, comme « *Montes das Vacas* », « *Monte Vermelho* », « *Gonçalo Afonso* » et « *Facho* ».

Pour l'origine de l'unité morphologique appelée *achadas*, Serralheiro (1976, p. 17) assure que « *ces plateaux, peu inclinés, ont été formés à partir des coulées de lave assez fluides qui se sont étalées radialement, avec des superpositions successives et une inclinaison entre 2° et 10°* ». En effet, les *achadas* ont une configuration topographique qui résulte de laves relativement pauvres en silice. La fluidité des laves a engendré des formes planes. Certaines formes de plaine ont été ainsi façonnées par le contexte topographique où elles se sont déployées. Dans cette optique, on comprend mieux aussi que certaines plaines que l'on retrouve en bordure littorale présentent une forme plus régulière que celles qui se sont développées à l'intérieur de l'île.

Dans le cas spécifique de Praia, on peut signaler quelques plateaux : *Achada Grande*, *Achada Santo Antonio*, *Achada Sao Felipe*, *Achada Plamarejo*. Ce sont des régions où, du point de vue des inondations, les risques sont réduits. Il faut noter que les versants qui délimitent ces plateaux engendrent des conditions favorables à l'écoulement des eaux, ce qui a en général favorisé la mise en place d'infrastructures routières et de logements à leur base.

Du point de vue géomorphologique, la commune de Praia s'insère dans la zone dénommée « *achada méridionale* » au sud de l'île. Elle est constituée de plateaux structurels de moins de 200 m d'altitude (*Figure 3.6 : Carte hypsométrique*) où apparaissent

³⁷ Filon : remplissage d'une fracture dans une roche (roche encaissante) par un matériau d'origine plus récente, donc différent de la roche plus ancienne.

ponctuellement des montagnes d'altitude inférieure à 400 m. Les points les plus élevés sont les *Montes das Vacas*, le mont de *Sao Filipe* et *Gonçalo* qui sont dans un alignement nord-est/sud-ouest. Les formations les plus anciennes ont par ailleurs été démantelées par l'érosion hydrique et sont l'origine des rivières les plus longues comme en témoigne la localisation des alluvions (en bleu clair). Les plateaux structurels qui se sont formés à partir des laves du Pic Antonia, plus récentes et plus résistantes, se comportent mieux face à l'érosion hydrique. Les plans les plus importants sont les *Achada Grande*, *Achada Santo Antonio*, *Achada Sao Filipe* et *Plateau*. D'après Amaral (1964), ces plateaux structurels ont une distribution en étages correspondant à différents niveaux d'altitude et leur origine est liée au volcanisme de fissure lors de la phase de formation du Pic d'Antonia, qui correspond à une phase d'activité volcanique très intense au cours de l'époque tertiaire.

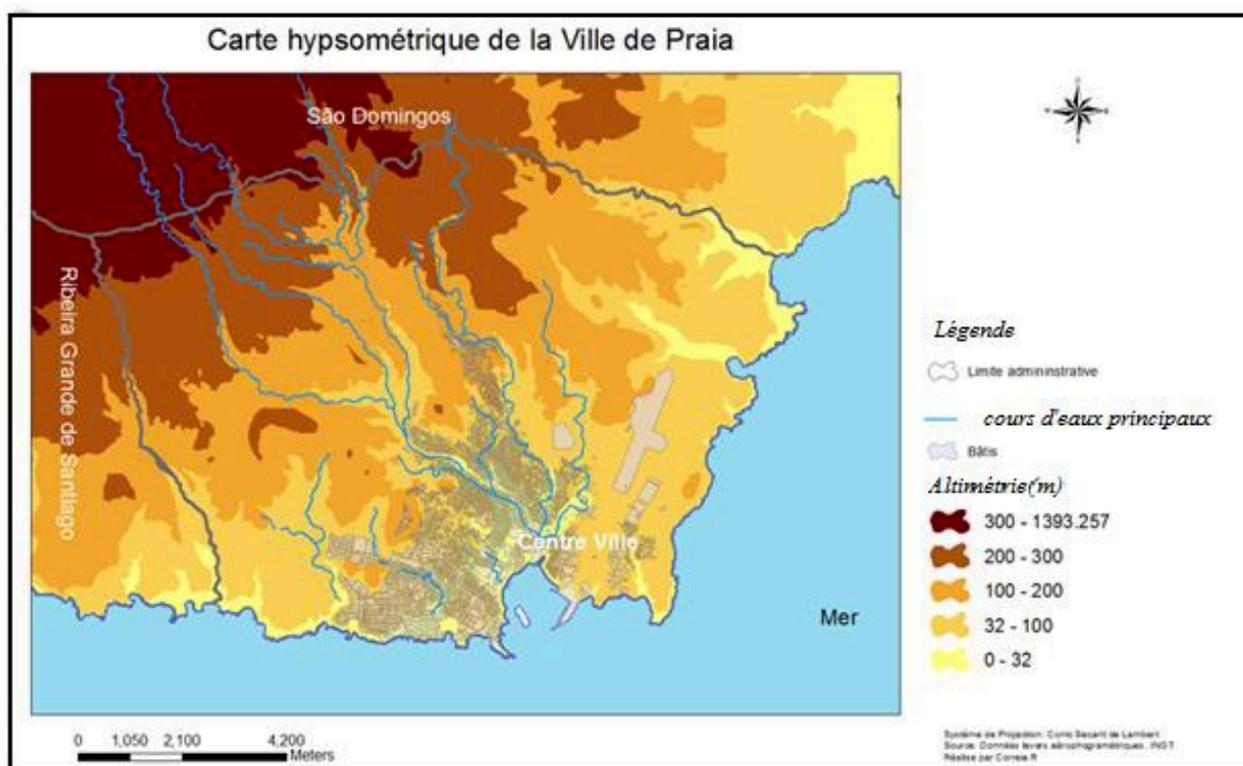
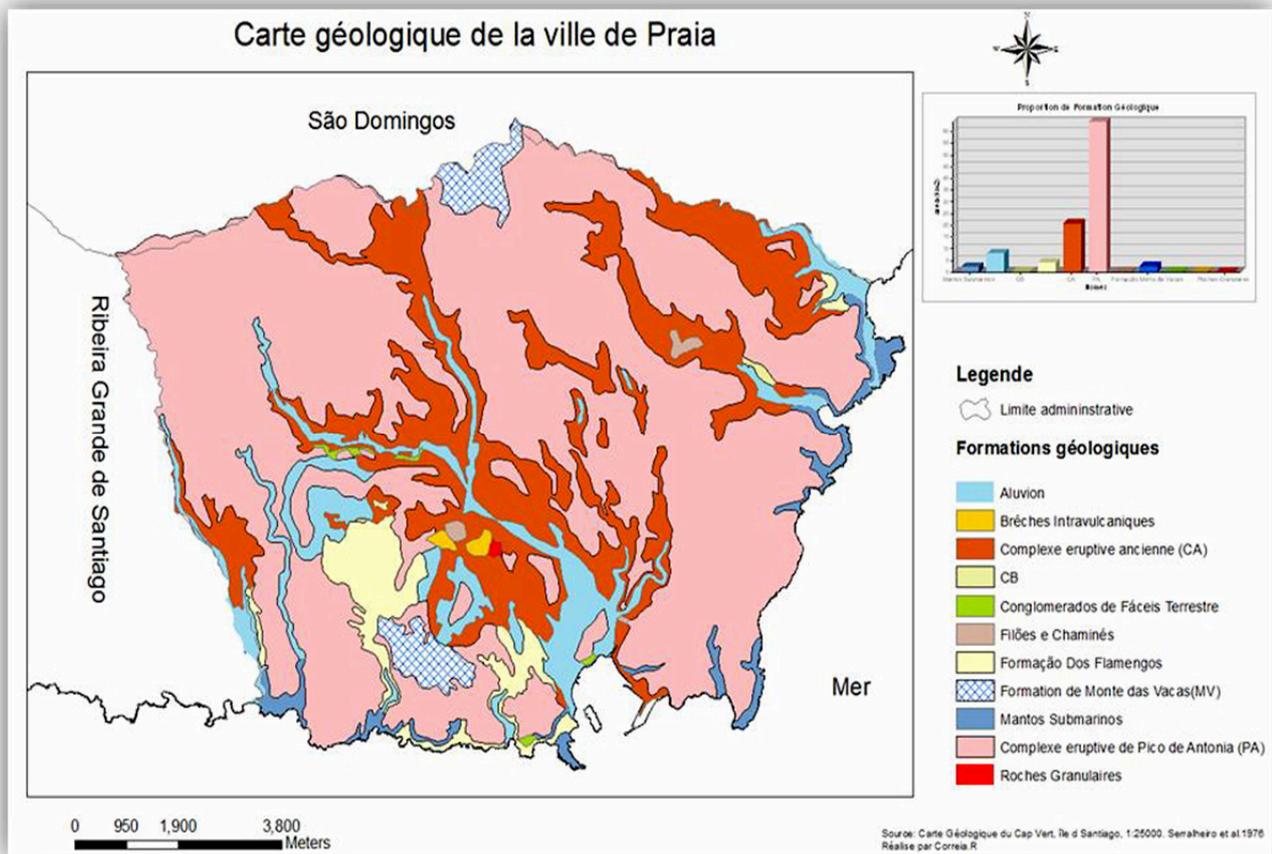


Figure 3.6 : Carte hypsométrique de la ville de Praia

3.1.3. Des formations altérées, propices aux glissements de terrain

La lithologie et la géologie jouent un rôle important dans le comportement hydrologique, particulièrement en matière d'hydrologie de surface et de glissement du terrain. Les îles du Cap-Vert sont d'origine volcanique, et la dernière éruption volcanique a eu lieu en 2014 à l'île de Fogo. Les coulées de lave sont fondamentalement de type basique, c'est-à-dire pauvre en silice, où prédominent les roches basaltiques (Barcelar, 1932 ; Amaral 1964 ; Serralheiro, 1967). Les études lithologiques et géologiques menées par Serralheiro (1967) révèlent que la commune de Praia (Figure 3.7) est constituée par les unités géologiques suivantes par ordre

d'importance décroissante des surfaces : formations éruptives du Pico da Antonia (PA), 62%, complexe éruptif de base antémiocène (CA), 20% et alluvions, 7%. Ces unités géologiques totalisent ensemble près de 90% de la surface totale communale. Le reste (10%) est constitué par les autres formations géologiques, comme par exemple la formation des Flamengos, une formation quaternaire des « montes das Vacas » et des coulées de lave sous-marines.



Source : R. Correia, d'après la carte géologique de l'île, échelle 1/25000

Figure 3.7 : Carte géologique de la commune de Praia

D'après Serralheiro (1976) cité par Correia (2007), les laves qui sont à l'origine du complexe éruptif du Pico da Antonia sont à l'origine des altitudes les plus élevées, ainsi que des plaines structurales dans les secteurs est et sud de l'île. L'origine de cette unité géologique remonte probablement au Miocène Supérieur, c'est-à-dire à environ 20 millions d'années.

Le CA comprend essentiellement les roches basaltiques qui présentent un niveau très élevé d'altération (Figure 3.8). Certains auteurs comme Bebiano (1932), Amaral (1964) et Serralheiro (1976) sont unanimes pour considérer que le CA représente des phases d'éruptions sous-marines, comme en témoignent la superposition de couches calcaires en différents lieux des îles ainsi que les intrusions de dômes phonolithiques plus récents. Leur altitude élevée montre ainsi que la forme de certains lieux est étroitement liée à la puissance des éruptions de cette époque-

là. Au stade actuel des recherches, on suppose que ce sont les éruptions les plus anciennes qui remontent au tertiaire, à l'époque du paléocène (53 à 65 millions d'années). Le niveau d'altération des roches de cette unité les rend très propices aux glissements de terrain, particulièrement en situation de forte pente. Les alluvions qui occupent la troisième position en termes d'étendue spatiale constituent une formation sédimentaire du quaternaire. Lorsqu'on fait le croisement avec les zones urbaines, on se rend compte qu'une partie des bâtiments est installée au-dessus du CA et d'alluvions, sensibles aux glissements de terrain et aux inondations.

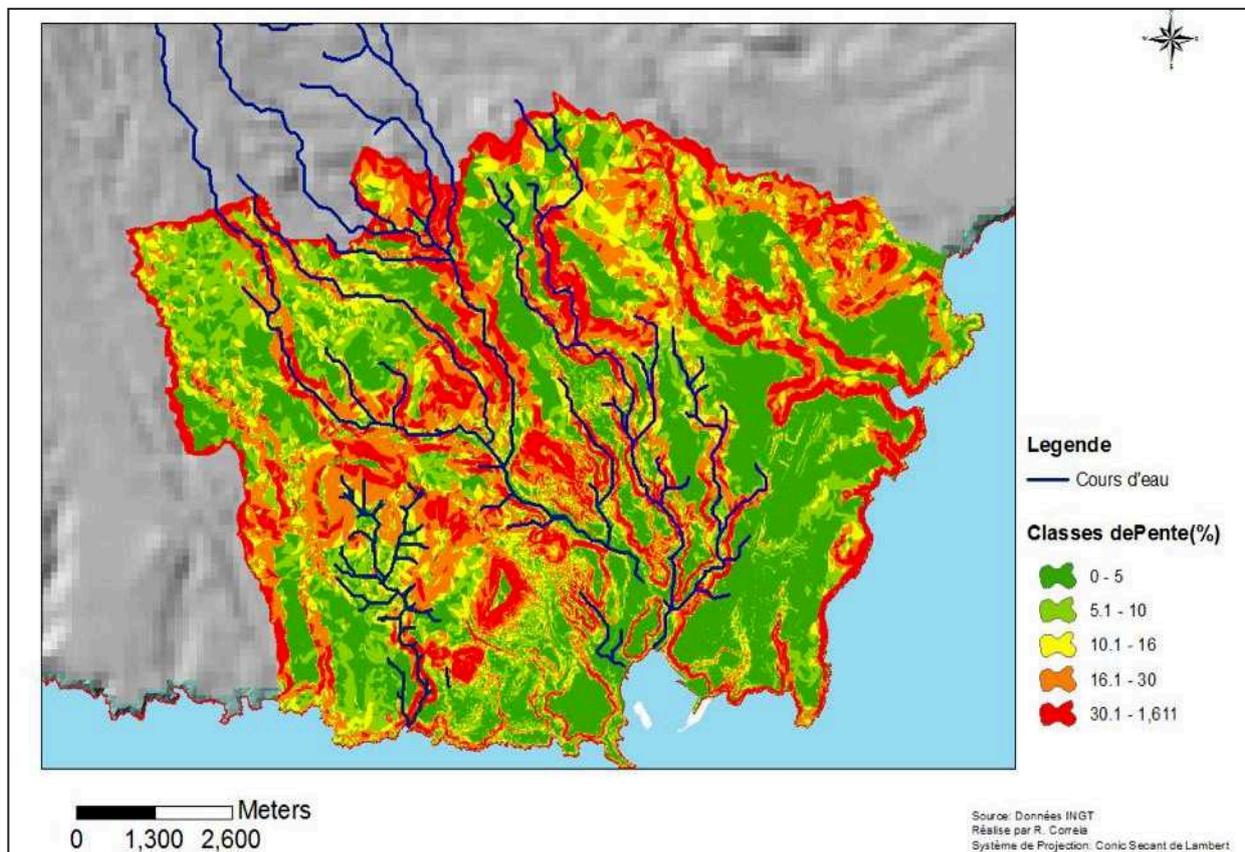


Figure 3.8 : Bâtiments construits sur l'unité géologique du Complexe éruptif Antémioène (CA) ; détail de la Ville de Praia, Cap-Vert

3.1.4. Des pentes propices à la rapidité de diffusion spatiale

D'après la carte hypsométrique (*Figure 3.6*), 75% de la superficie de la commune se situe à moins de 200 m d'altitude et l'étalement urbain apparaît relativement concentré dans la partie terminale des bassins, c'est-à-dire dans la zone d'épandage des eaux de crue. Les altitudes plus élevées au nord de la commune atteignent plus de 1000 m, notamment dans le secteur en amont du bassin de Trindade. L'analyse de la carte de pentes (*Figure 3.9*) montre que 18% du territoire présente des pentes qui excèdent 30%. D'après les lois d'aménagement du territoire en vigueur au Cap-Vert, ce sont d'ailleurs des pentes où l'urbanisation est en théorie interdite. De plus, elles sont classées comme zones à risque d'instabilité géomorphologique, raison pour laquelle elles sont incluses dans les zones protégées et dans les espaces à risque au sein du Plan Directeur Municipal. Dans la commune, les pentes à forte déclivité présentent une densité

d'occupation élevée de bâtiments informels. Les zones planes, qui représentent une proportion significative du territoire de la commune (30%), comprennent les plateaux structurels et les fonds de vallées. Ces derniers sont très peuplés et donc très sensibles à l'inondation.



Source : R. Correia, d'après la carte géologique de l'île, échelle 1/25000

Figure 3.9 : Carte des pentes, ville de Praia

Les lois d'aménagement qui règlementent l'occupation du sol semblent relativement trop souples parce qu'elles ne comportent pas de mesures contraignantes. Si on cumule la surface des fonds des vallées occupées avec les classes de pentes supérieures à 16%, la proportion du territoire affectée atteint 39%, ce qui est significatif. L'analyse de pentes se justifie parce qu'elles ont rapport direct avec le risque d'inondation des logements. C'est donc une variable à prendre en compte dans une analyse systémique du risque.

En sachant que les inondations de la ville de Praia ne se résument pas aux inondations urbaines, qui découlent essentiellement de l'imperméabilisation de sols urbains, ainsi que de l'occupation non réglementée des plaines alluviales qui restreint l'espace d'évacuation des eaux pluviales, il est nécessaire de présenter les caractéristiques des quatre bassins hydrographiques principaux (Tableau 3.2) qui font partie du réseau hydrographique de la ville de Praia. Les indices morphométriques des bassins ont été dégagés à partir du modèle numérique du terrain, d'après les données issues de levés aérophotogrammétriques de 2010, fournies par l'Institut National de Gestion du Territoire.

	<i>Indices</i>		Trindade	Sao Felipe	Palmarejo Pequeno	Pamarejo Grande
Géométrie	Surface (km ²)	A	47.0	18	5	6
	Périmètre (km)	P	40.0	27	12	12
	Longueur max du bassin (Km)	L	13.4	9.2	3.4	4.3
	Longueur max du cours d'eau P (km)		16.0	11	4	5
	Indice de compacité	Kc	1.6	1.8	1.5	1.4
	Largeur moyenne	Imoy	3.5	2.0	1.5	1.4
	Coefficient de forme (Kf)	Kf	0.3	0.2	0.4	0.3
Relief	Altitude maximale	Hmax	691.0	427	198.5	275
	Altitude minimale	Hm	1.0	-1.3	1.7	4
	Écart		574.0	428.3	196.8	271.0
Ordre	L'ordre de Strahler		3	3	4	4
	Magnitude		20.0	29	4	

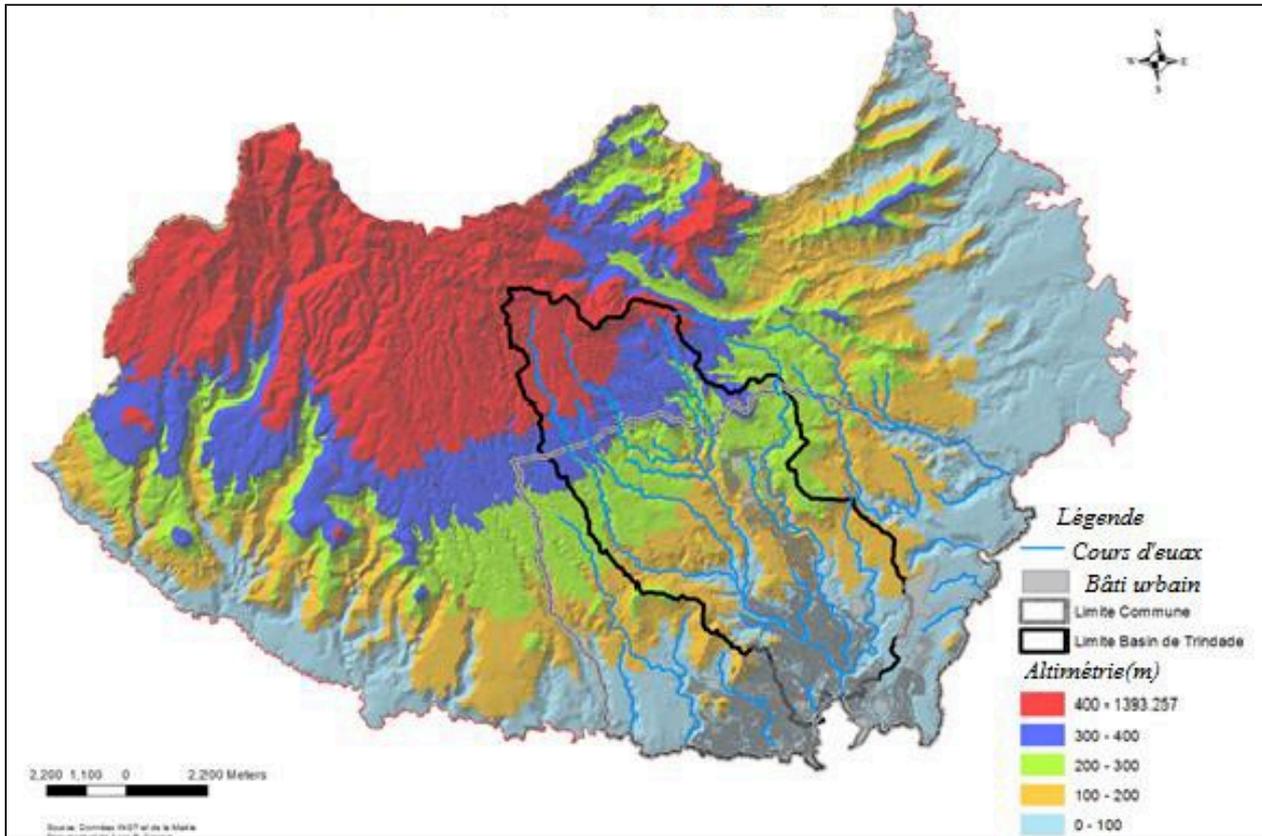
Tableau 3.2 : Indices morphométriques des principaux bassins de la ville de Praia, Cap-Vert

Du point de vue de l'étendue spatiale (*Tableau 3.2*), le bassin le plus important est celui de Trindade qui occupe 47.5% du territoire municipal et 52% de la population totale de la ville de Praia. Vu l'importance de ce bassin, nous allons examiner certains indices, sachant que ces indices analysés de façon isolée ont une importance relative, si on considère les perturbations et les phénomènes aléatoires qui affectent l'écoulement de surface. L'attention particulière portée au bassin de Trindade dans cette étude se justifie par le fait que la gestion des crues dans la commune de Praia passe nécessairement par une gestion à l'échelle du bassin hydrographique. L'atténuation des effets de l'aléa passe ainsi par l'adoption de mesures politiques à cette échelle.

L'indice de compacité (Kc) est de 1,6, c'est-à-dire que le bassin a une forme allongée et donc une capacité de réponse hydrologique qui prend du temps, autrement dit, que le débit au point de crue est relativement faible. Environ 71% de l'aire du bassin se situe au-dessus de 300 m d'altitude, avec une altitude moyenne de 239,9 m. La déclivité moyenne est de 18,8%, ce qui est relativement important. S'agissant d'un paramètre qui renseigne sur la propension à l'écoulement de surface du bassin, qui apparaît en cas de pluie torrentielle dans des conditions de forte déclivité et lorsque les sols sont très peu perméables, l'infiltration sera faible. Les crues peuvent atteindre une vitesse très rapide, elles ont alors de grandes capacités de transport et deviennent ainsi très dangereuses dans le parcours vers l'aval.

En effet, la densité de drainage autour de 2,3 km/km² montre la faible perméabilité des sols et en conséquence une faible capacité d'infiltration ce qui produit des ravins qui se développent en profondeur et en étendue, drainant une quantité d'eau importante vers le cours

d'eau principal. Par ailleurs, à l'aval, le bassin du Trindade est très urbanisé comme l'indique la carte (Figure 3.10). Ces sols très imperméabilisés peuvent ainsi entraîner une montée des eaux très rapide en cas de pluies centennales.



Source : Réalisation de l'auteur, après les données de l'INGT

Figure 3.10 : Extension de l'urbanisation de la ville de Praia en aval du bassin de Trindade

3.2. Des enjeux sociodémographiques importants

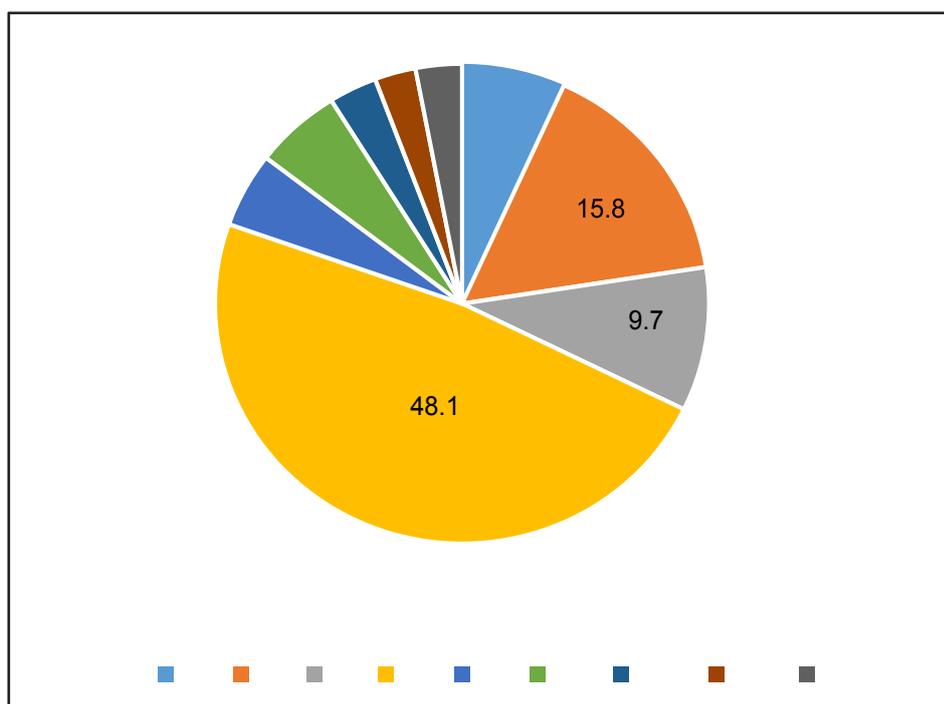
3.2.1. Une population en constante augmentation

D'après les données du Recensement Général de la Population et Habitation de 2010, la population résidente au Cap-Vert était de 491 683 personnes, dont plus de la moitié (55.7%) vivait sur l'île de Santiago. La commune de Praia comptait environ 132 000 habitants, c'est-à-dire presque la moitié de la population de l'île (48%) et près du de la population du pays (Figure 3.11).

Le pays, qui a connu son indépendance après la domination portugaise en 1975, a subi une croissance démographique de l'ordre de 44%³⁸ dans les 30 dernières années. Cette

³⁸ Données RGPH, INE (2010)

croissance démographique autour de 18.6% en moyenne entre 1990 et 2010 a connu un ralentissement à partir de l'année 2000, avec un taux de croissance d'environ 13%. En effet, malgré un fort taux de croissance naturelle, l'émigration a atténué la croissance de la population et a ainsi contribué de façon significative au développement du pays. On assiste une accélération du rythme de croissance urbaine du pays, et aujourd'hui plus de 60% de population vit dans les zones urbaines (INE, 2010). Capitale et centre administratif et économique du pays, Praia a attiré la population des autres communes et des autres îles et a ainsi enregistré une forte croissance urbaine, doublant presque sa population au cours des 30 dernières années. La proportion de population de la ville dans l'île de Santiago se situe autour de 48% (cf. Figure 3.11).

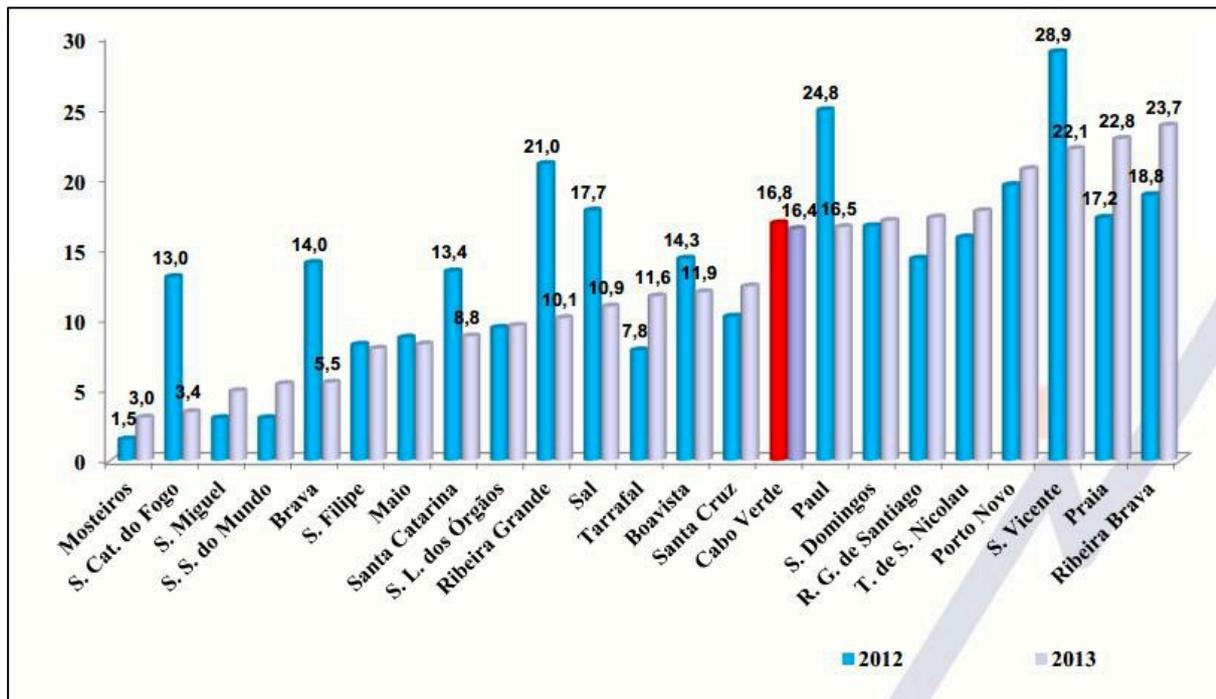


Source : RGPH 2010

Communes : PR- Praia ; TA- Tarrafal ; SC- Santa Catarina, SZ-Santa Cruz, SD-São Domingos, SM- São Miguel, SSM-São Salvador do Mundo ; SLO-São Loureço dos Orgãos et RGS-Ribeira Grande de Santiago

Figure 3.11 : Part de la population de Praia dans l'ensemble de l'île de Santiago

Le niveau de pauvreté touche 33% de la population à l'échelle du Cap-Vert, et ce chiffre atteint même 37% d'après nos propres analyses (en combinant plusieurs sources et différentes bases de données). Cette proportion importante du niveau de pauvreté est liée un taux de chômage élevé (17%) en 2016 (Figure 3.12), et cela a des implications évidentes sur le niveau de vulnérabilité de la population : les plus pauvres disposent de moins de ressources pour faire face aux sinistres, alors même qu'en termes de coût économique, ce sont ces catégories qui « ont le moins à perdre ».



Source : INE, 2013

Figure 3.12 : Taux de chômage par municipalité

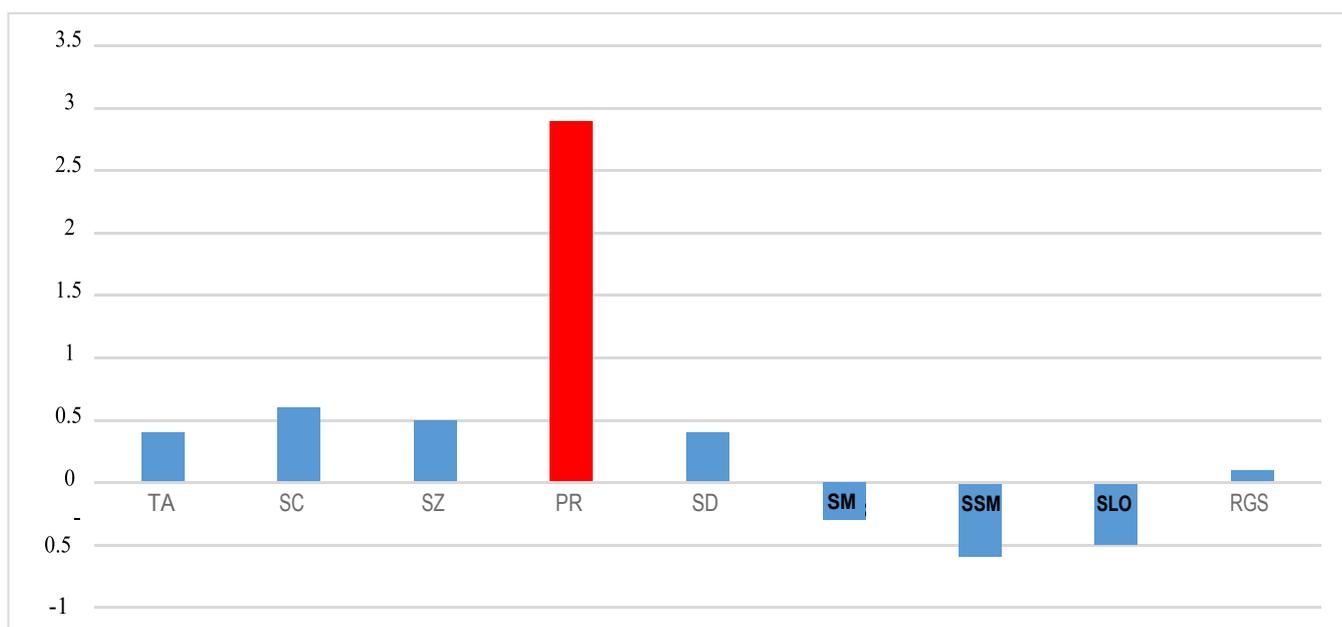
D'après la *Figure 3.12*, la commune de Praia présente un taux de chômage encore plus élevé, en se plaçant au deuxième rang (22,8% en 2013) de l'ensemble des communes du pays. Elle est dépassée seulement par Ribeira Brava de Sao Nicolau qui est un petit village. Il est évident que la pauvreté associée au fort taux de chômage explique une part importante des niveaux élevés d'exposition et de vulnérabilité urbaine à Praia.

Par ailleurs, 70.5%³⁹ de la population a moins de 34 ans. Ainsi, le Cap-Vert présente une structure démographique très jeune qui exerce une forte pression sur un marché du travail réduit, en conséquence le taux de chômage est trop élevée. En effet, le secteur productif est peu diversifié, où plus de 60% sa population active se trouve dans le secteur tertiaire, dont une partie significative dans le secteur informel. Malgré une part importante du budget d'investissement de l'État dans le secteur de l'éducation (18%), il y a un net décalage entre la demande d'emplois et le marché de la main d'œuvre issu du système éducatif. Par ailleurs, les activités du secteur primaire dépendent du régime des pluies et le faible niveau d'industrialisation associée aux faibles niveaux de revenus dans ces secteurs attirent difficilement la population active jeune.

³⁹ INE, 2010

3.2.2. Un étalement urbain non maîtrisé

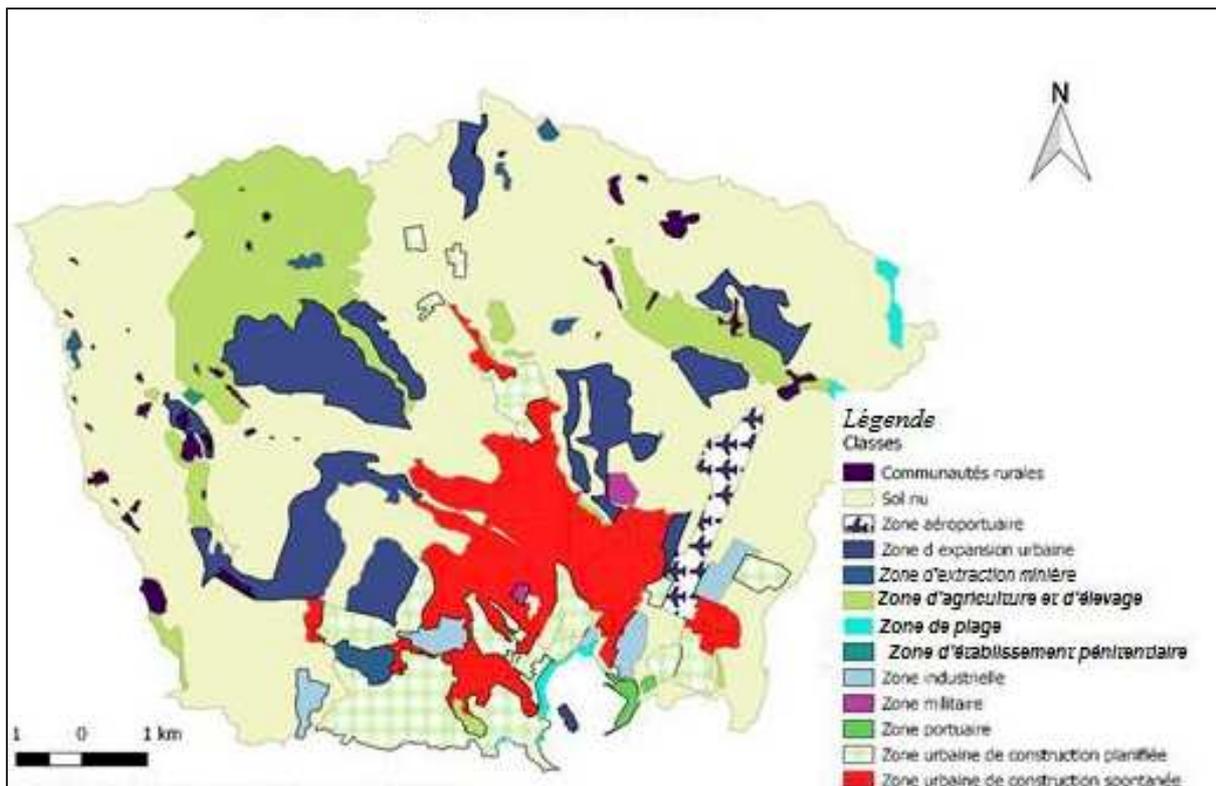
A ce stade, il est nécessaire de présenter les indicateurs de vulnérabilité et de l'aléa de Praia. On commencera par rappeler les densités de population, puis on présentera la carte des types de bâti et des infrastructures critiques dans une perspective de gestion des risques urbains. On évaluera aussi le nombre moyen de personnes par unité de bâti. Pour terminer, on analysera les études officielles relatives aux aléas. Pour la croissance démographique, lorsqu'on analyse les résultats des deux derniers recensements de population (Recensement Général de Population et de l'Habitat) de 2000 et 2010, on s'aperçoit que la ville de Praia a connu un taux de croissance d'environ 3% par année, soit le troisième le plus élevé du pays (*Figure 3.13*). Il est seulement dépassé par celui des îles touristiques du pays, les îles du Sal et de Boa Vista, qui ont enregistré des taux de croissance de l'ordre de 5.5% et 7.8% par an respectivement. En dehors de la croissance naturelle, la croissance démographique de la ville de Praia s'explique en partie par des arrivées de population des autres communes et des autres îles du pays, mais aussi par des migrants internationaux, particulièrement en provenance d'Afrique occidentale.



Source : RGPH 2010

Figure 3.13 : Taux de croissance moyen annuel intercensitaire de la ville de Praia (PR)

Cette forte croissance de la population urbaine a provoqué un étalement urbain difficile à maîtriser, et une densification des tissus urbains peu conforme aux normes d'aménagement et d'urbanisme en vigueur dans le pays. La carte d'occupation des sols de ville de Praia (*Figure 3.14*) démontre d'une façon claire l'absence de dispositif réglementaire institutionnel.



Source : D'après des photographies aériennes, 2010 et Google Earth 2017 Photographies aériennes

Figure 3.14 : Carte d'occupation et d'utilisation des sols de la ville de Praia, Cap-Vert

Si on considère seulement le tissu urbain en excluant les zones de sol nu, agricoles et d'élevage, 30% des sols sont occupés par les bâtiments informels, contre 23% d'occupation programmée. On peut ainsi constater une consommation d'espace rapide dans les quartiers d'origine clandestine, comme dans les quartiers de Ville Nova, Ponta de Agua, Calabaceira, Safende. La population est répartie d'une façon assez déséquilibrée dans l'espace (Figure 3.15). La population s'approprie des sols autour d'axes routiers structurants, notamment l'axe Plato - Sao Filipe au nord, et au fil des rivières et des versants à forte pente.

Le territoire de la commune dispose de vastes zones, particulièrement en zone rurale avec une faible densité d'occupation. Les constructions illégales sont liées d'une part, à l'excès de bureaucratie de la Mairie en matière d'aménagement et d'aliénation des parcelles, et d'autre part, au coût des terrains à bâtir incompatibles avec les revenus des habitants. La carte montre de façon frappante que presque la totalité de population habite le secteur sud. Cela s'explique par des raisons historiques liées à la colonisation et à l'accessibilité. Si la densité de population urbaine est un indicateur subjectif et donc discutable, elle peut cependant être utilisée comme un indicateur de l'exposition humaine au risque d'inondation en première analyse.

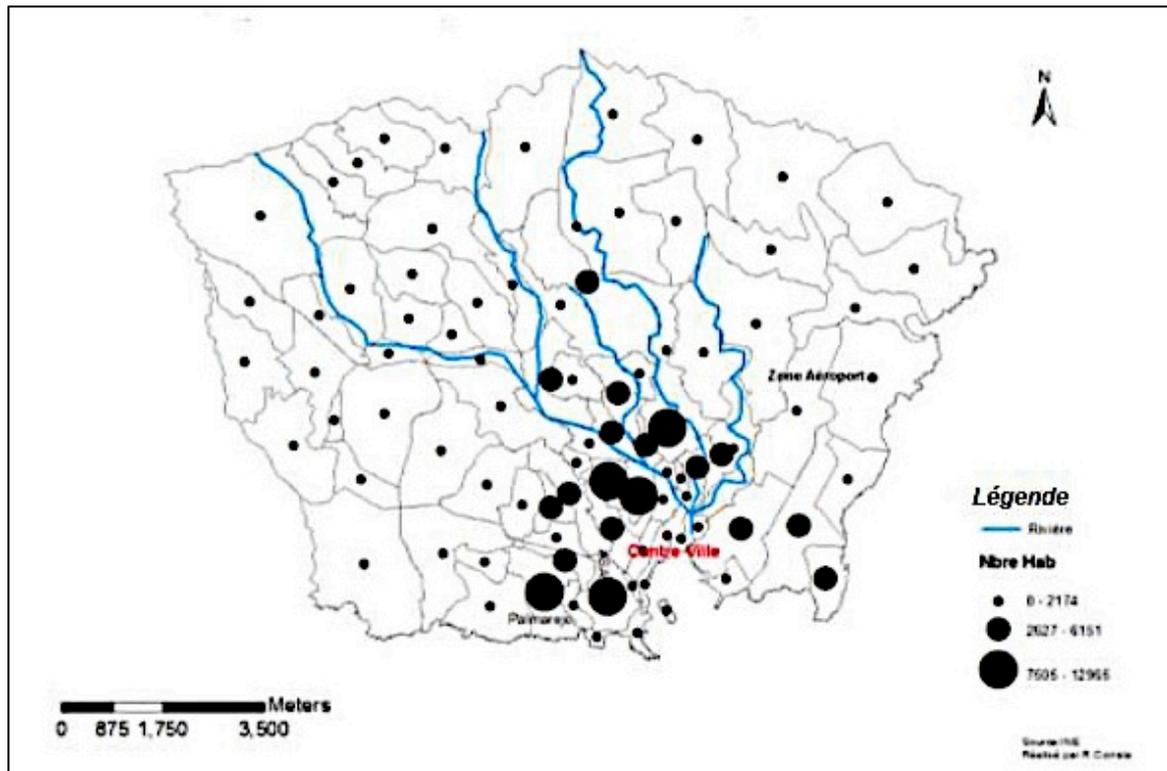


Figure 3.15 : Répartition de la population de la ville de Praia par quartier, 2010

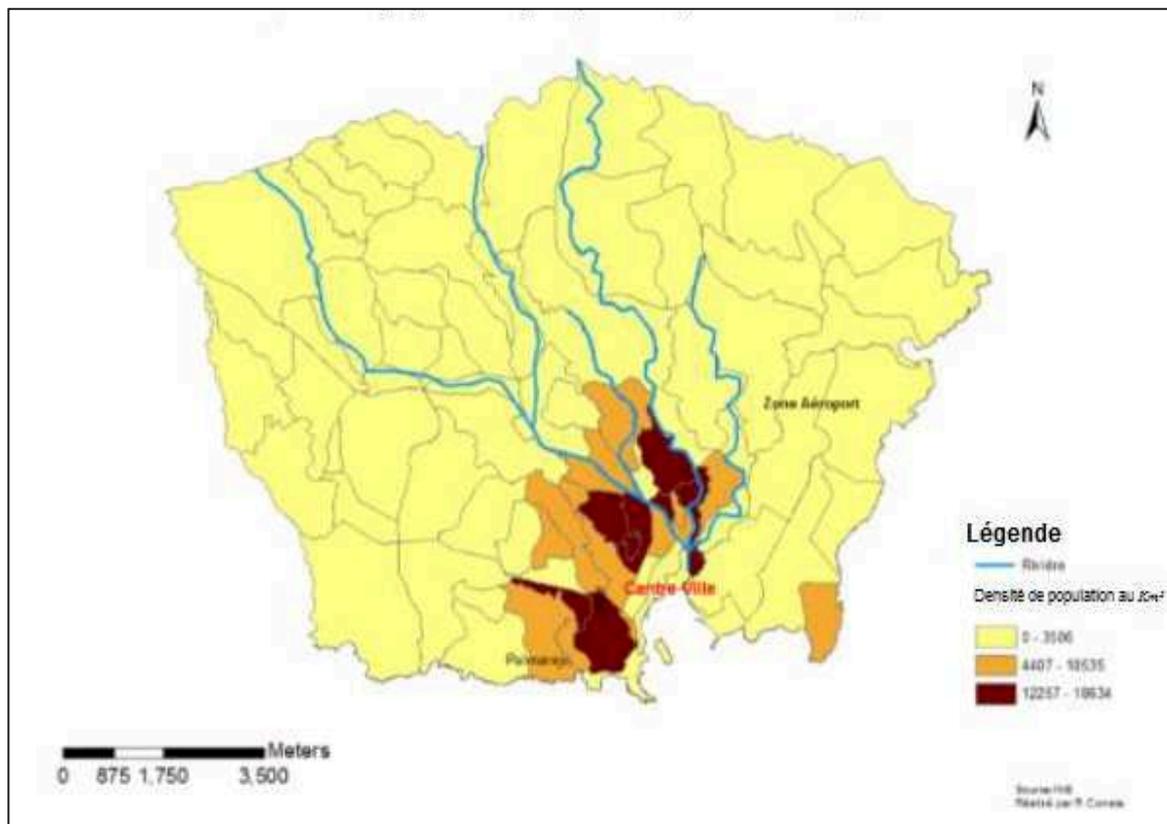
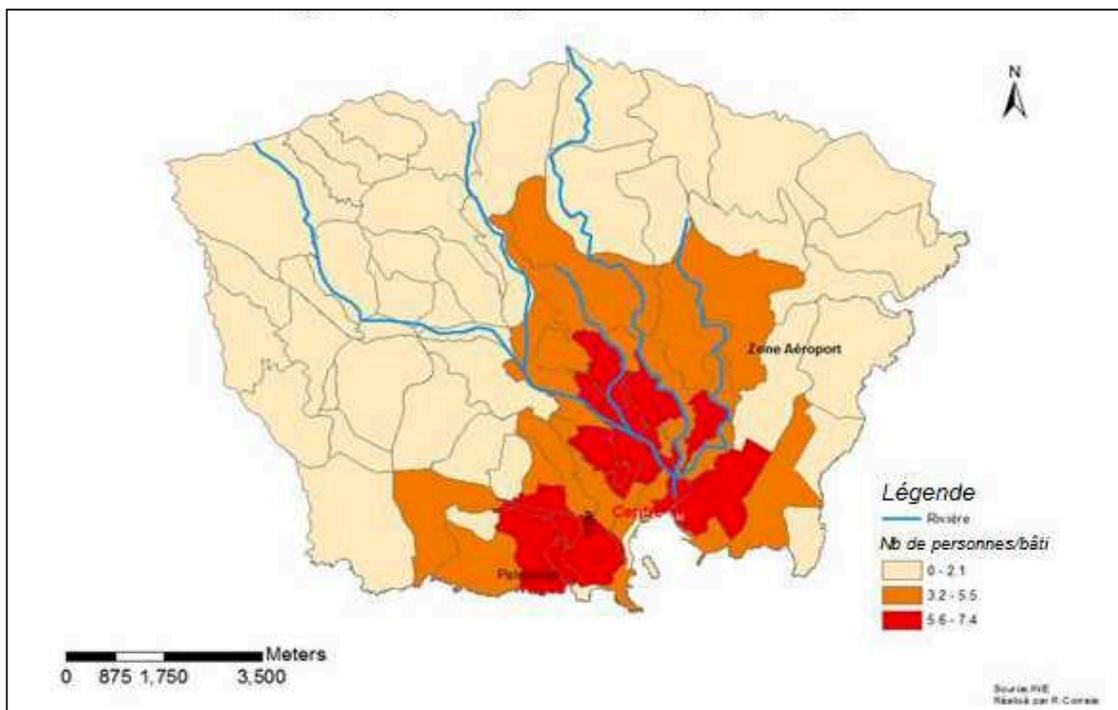


Figure 3.16 : Densité de population par quartiers, ville de Praia, 2010

Une forte densité peut constituer un facteur de développement, mais dans le contexte spécifique du territoire d'étude, la grande majorité des quartiers est composée de constructions informelles et cette densité constitue un défi pour les autorités locales. Ainsi, la densité constitue un bon indicateur d'analyse de la vulnérabilité urbaine. La forte densité de population est associée aux zones de genèse illégale. Tels sont les cas des quartiers de Lém Cachoro, Achadinha, Tira Chapeu, Bairro Craveiro Lopes. Certains espaces très sensibles aux aléas hydriques comme les fonds de vallon et versants à forte déclivité présentent des concentrations importantes de population. Ce sont les cas de Safende, Vazea, Vale du Palmarejo. Par ailleurs, la distribution de la densité population présente une forte dissymétrie spatiale (*Figure 3.16*). Les fortes densités se situent dans les zones déprimées et d'évacuation des eaux pluviales, où les vulnérabilités humaines sont considérables.

3.2.3. Une précarité accrue dans les zones périphériques et inondables

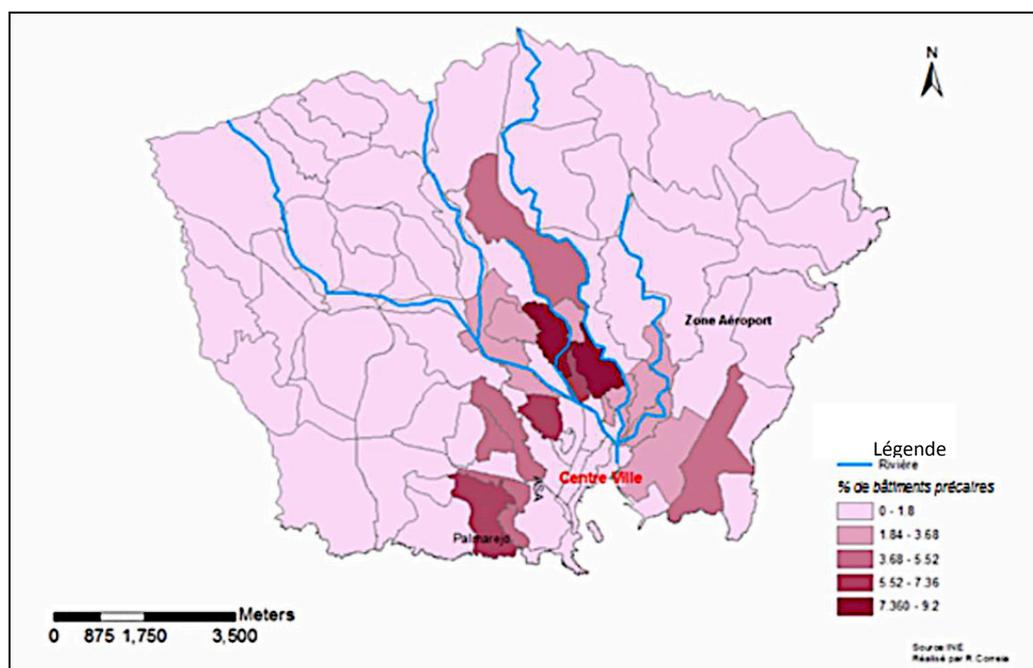
Pour analyser les enjeux humains et économiques à l'échelle des quartiers urbanisés, on peut calculer le nombre moyen de personnes par bâtiment et par quartier d'après les dernières données du Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2010 (*Figure 3.17*). En dehors des quartiers de Palmarejo et Achada Santo Antonio dont les taux d'urbanisation sont très élevés et où le parc immobilier présente de grands bâtiments, le nombre relativement élevé de personnes par unité de bâti traduit le niveau de pauvreté de la population. Dans ces quartiers, le niveau d'exposition de la population au risque d'inondation s'élève par ailleurs avec les fortes proportions de population vivant dans des logements précaires.



Source : Réalisation de l'auteur, d'après les données du l'INE

Figure 3.17 : Nombre moyen de personnes par bâtiment et par quartier, 2010

La superposition des cartes du nombre de personnes par logement et des proportions de bâtiments précaires⁴⁰ par quartier (*Figure 3.18*) montre que certaines zones illégales ont des proportions importantes de bâtiments précaires occupés par plus de 5 personnes. En effet, nos estimations indiquent que quatre quartiers ont plus de 7% de logements précaire habités par plus de 5 personnes, ce chiffre atteignant même 9,2% au nord du centre-ville.



Source : Réalisation de l'auteur, d'après les données de l'INE 2010

Figure 3.18 : Proportion de bâtiments précaires par zone

Pour analyser certains paramètres d'intensité de l'aléa, une autre carte a été réalisée à partir des données cartographiques officielles (*Figure 3.19*), c'est-à-dire élaborées par les services d'aménagement et de gestion territoriale de la Mairie et par le Gouvernement parrainé par l'ONU. Le *Tableau 3.3* synthétise les indicateurs obtenus auprès du Plan Directeur Municipal (PDM) et de l'étude du profil de dangerosité du pays. D'après le PDM, la zone inondable correspond à 0,9% de la superficie de la commune et le nombre de bâtiments concernés par l'inondation est estimé à 2 800 unités, soit 7,4% du total du bâti de la ville. Bien que la zone signalée comme inondable dans le cadre d'étude du PNUD représente 2,4% de la superficie totale de la commune, donc presque trois fois celle du PDM, la proportion de bâti affectée se situe autour de 6,7%, ce qui représente en moyenne 13 206 personnes affectées contre 15 491 personnes d'après les délimitations du PDM.

⁴⁰ On considère ici qu'un bâtiment précaire est un logement inachevé ou un *baraca*.

	<i>Cartographie des zones inondables, ville de Praia</i>			
	<i>PDM</i>	<i>% Total</i>	<i>PNU (étude)</i>	<i>% Total</i>
Superficie (km ²)	0.9	1.0	2.4	2.4
Nb bâtiments concernés	2794	7.4	2382	6.3
Nb moyen de personnes affectées	15491	11.8	13206	10.1

Tableau 3.3 : Comparaison des indicateurs associés aux zones inondables délimitées dans le cadre d'études déjà réalisées par la mairie et le gouvernement

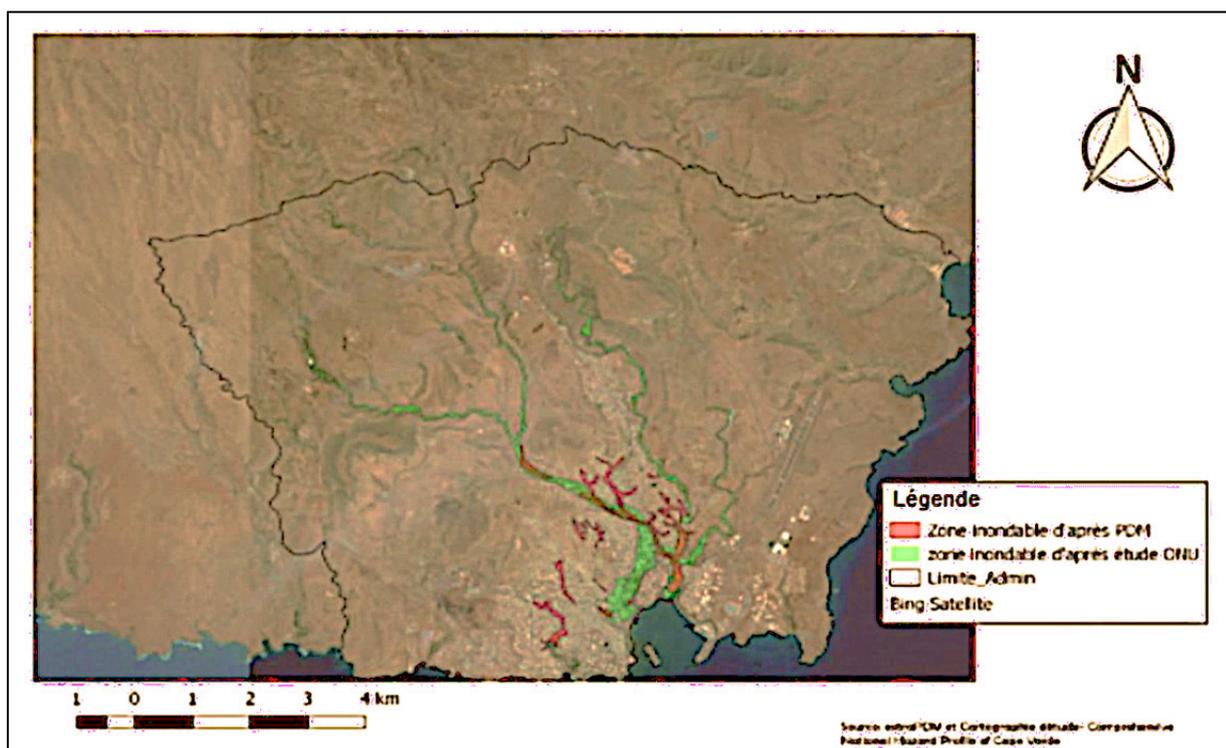


Figure 3.19 : Les zones inondables de Praia

3.3. Profils des dommages occasionnés sur les logements

3.3.1. Un questionnaire pour affiner le diagnostic territorial

Pour mieux identifier les profils des dommages occasionnés par l'inondation des logements, une enquête a été menée sur le terrain. Cette enquête a été faite en considérant seulement les logements qui ont déjà subi au moins une inondation dans les différents quartiers de la ville, en considérant des contextes géomorphologiques distincts, c'est-à-dire des logements localisés dans les fonds de vallée, dans les zones basses ainsi que des logements situés au pied des versants. Un échantillon de 101 logements a été retenu et un questionnaire a été adressé aux ménages.

Le questionnaire comportait 21 questions, regroupées en plusieurs ensembles :

- information sur le type de bâtiment,
- information sur les crues, notamment la périodicité et la capacité de transport des charges solides,
- présentation des biens endommagés à la suite d'une inondation,
- identification des processus qui ont entraîné des dégâts,
- quantification des pertes,
- évaluation des pertes potentielles en cas d'évènement extrême.

A partir du questionnaire appliqué sur le terrain, l'analyse s'est penchée sur trois questions majeures. Elle aborde en premier la relation entre types d'habitation et régime d'occupation, sachant que les occupants qui ont des titres de propriétés impactent positivement les mesures de résilience. Ensuite, l'analyse porte sur le profil des dommages et la dernière question se penche sur les processus qui peuvent entraîner des dommages.

Par rapport à la première question sur la typologie des bâtiments et d'après l'échantillon considéré sur un total de 99 ménages (*cf. Tableau 3.4*), 98% des chefs des familles ont répondu aux questions. On constate que plus de la moitié des logements enquêtés (55,3%) sont des constructions non achevées, c'est-à-dire incluant des bâtiments à simple rez-de-chaussée non fini et maisons partiellement construites ainsi que des habitations précaires.

En considérant les habitations qui ont été inondées au moins une fois, on constate que la majorité des chefs de ménage sont propriétaires, même s'ils n'ont pas de titres formels. En effet, la grande majorité des maisons faisant l'objet de l'enquête ne sont pas intégrées dans les plans d'urbanisme et sont donc des constructions illégales.

Type de logement	Statut d'occupation			Total
	Propriétaire	Location	Cédé/prêté	
Bâtiment à simple rez-de-chaussée non fini	40	5	2	47
Bâtiment à simple rez-de-chaussée achevé	31	4	0	35
Immeuble	7	3	0	10
Partie de maison	6	0	0	6
Habitation précaire	1	0	0	1
Total	85	12	2	99

Source : Enquête de l'auteur auprès des chefs de ménage

Tableau 3.4 : Typologie des 99 logements en fonction du statut d'occupation

Le fait que les occupants soient propriétaires et que beaucoup de constructions ne soient pas achevées s'explique, d'une part, par le manque de ressources financières et, d'autre part, par le caractère informel des titres de propriétés. Ces deux facteurs se cumulent pour aggraver la vulnérabilité des logements.

Il faut aussi remarquer le poids de la catégorie de logements achevés en rez-de-chaussée (35.4%) dont la majorité des chefs de ménage se déclare propriétaire. Il est important de faire la distinction entre les propriétaires légaux qui possèdent un titre de propriété formel et qui sont donc reconnus par les autorités et les propriétaires qui n'ont pas un tel titre. Cette distinction n'a pu être considérée lors de l'administration des questionnaires. Néanmoins, d'après certains chercheurs comme De Soto qui font référence, l'investissement et le succès des mesures d'atténuation des effets d'inondation sont fortement corrélés à la possession d'un titre de propriété parce qu'un logement privé légal constitue un actif auprès des institutions financières.

Pour la typologie des dommages, on a mobilisé une analyse factorielle de correspondance multiple suivie d'une classification ascendante hiérarchique (CAH). On a considéré deux grandes catégories des dommages :

- les dommages aux biens mobiliers,
- les dommages aux constructions, en se basant sur une recherche exploratoire auprès des chefs des ménages.

Les dommages corporels n'ont pas été pris en compte étant donné que le travail exploratoire a montré que leur enregistrement ne constituait pas une préoccupation évidente. Et par ailleurs, le signalement de troubles psychologiques ne fait pas l'objet de réflexions dans le cadre de ce travail. Les dommages matériels infligés aux bâtiments, réseaux routiers, biens mobiliers dont le poids financier peut être considérable, sont néanmoins difficiles à quantifier. Ici sont privilégiés les logements privés pour intégrer leurs caractéristiques dans un outil informatique web qui permet de gérer l'information foncière liés aux risques.

3.3.2. Tendances dégagées à partir des analyses statistiques

Les variables retenues ont été subdivisées en plusieurs modalités, avec un codage effectué dans l'environnement SPSS. Certaines variables ont fait l'objet de traitements en étant des variables factices (*dummies*). Les 17 variables suivantes ont été considérées (*Tableau 3.5*) pour dégager le profil des pertes dans la ville de Praia. Pour analyser les questions se rapportant spécifiquement aux pertes, on a recouru au *package* statistique « *FactoMineR* » pour mettre en place une analyse de correspondance multiple. Dans l'analyse des données, on a retenu les deux premières dimensions, parce que l'inertie totale décroît ensuite de façon rapide. Les deux premières dimensions expliquent plus de 31% de la variance totale.

```
C:/Users/Romualdo/Dropbox/questionario_variavies"
> romas20161106<-read.table("tipolocsv222.csv", header=TRUE,          dec=".",          sep=",")
> str(romas20161106)

'data.frame':   100 obs. of   17 variables:

 $ P12dest_mur : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1          2 1 2 1 2          1 1 1 1 1
 $ P15Lit : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1          1 1 2 2 1          1 1 1 1 1
 $ P15Chaise : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1          2 1 1 2 2          1 1 2 1 1
 $ P15Sofa : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1          2 1 1 1 2          2 1 2 2 2
 $ P15Refrigerateur : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1          2 1 1 1 2          2 1 2 2 2
 $ P16Peinture : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 2          1 1 1 2 1          1 2 1 1 1
 $ P16Revetem_sol : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1          2 1 2 1 2          1 1 1 1 1
 $ P16Mure: Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1          1 1 1 1 1          1 1 1 1 1
 $ P16Esc_fondation: Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1          2 1 1 2 2          2 1 2 2 2
 $ P16Infiltration : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 2          1 1 1 2 1          1 2 1 1 1
 $ P16Accumul_boueux : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 2          2 1 1 2 1          2 2 1 2 2
 $ P16Dest_partie_bati : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1          1 1 2 1 2          1 1 2 2 2
 $ P16Electricité: Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 2          1 1 1 1 1          1 1 1 1 1
 $ P17Dommage_nourriture: Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 2          2 1 1 2 2          2 1 2 1 1
 $ P17Contenu_electrod : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1          2 1 1 1 2          1 1 1 1 1
 $ P17Partecasa : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 2          1 1 2 2 1          1 2 1 1 1
 $ P17Acess_coupe: Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1          1 1 2 1 1          2 1 2 1 1
```

Tableau 3.5 : Variables retenues pour établir le profil des dommages

```
res.mca <- MCA(romas20161106, graph = FALSE)
> res.mca$eig
```

Dim	eigenvalue	percentage of variance	percentage of variance cumulative
Dim 1	0.19673631	19.673631	19.67363
Dim 2	0.12105612	12.105612	31.77924
Dim 3	0.09114783	9.114783	40.89403
Dim 4	0.08566567	8.566567	49.46059
Dim 5	0.06816264	6.816264	56.27686
Dim 6	0.06671066	6.671066	62.94792
Dim 7	0.06173270	6.173270	69.12119
Dim 8	0.05590014	5.590014	74.71121
Dim 9	0.04429140	4.429140	79.14035
Dim 10	0.03865077	3.865077	83.00543
Dim 11	0.03679258	3.679258	86.68468
Dim 12	0.03191724	3.191724	89.87641
Dim 13	0.02683539	2.683539	92.55995
Dim 14	0.02367256	2.367256	94.92720
Dim 15	0.01917228	1.917228	96.84443
Dim 16	0.01623888	1.623888	98.46832
Dim 17	0.01531681	1.531681	100.00000

La première dimension qui explique près de 20% de la variance totale, met en évidence le poids des biens électroménagers dans la définition. On peut l'appeler « Dommages aux biens meubles ». Les variables « biens de base », notamment les chaises, sofas et lits, ont contribué à 51% et 41% de l'explication de l'inertie totale de la première dimension respectivement et donc à sa structuration. La deuxième dimension (12%) fait ressortir le poids des dommages aux constructions. On a appelé cette dimension « Dommages structurels ».

Categorical variables (eta2)

Dim.1	Dim.2			
P12dest_mur		0.03	0.11	
P15Lit		0.41	0.26	
P15Chaise		0.51	0.09	
P15Sofa		0.41	0.02	
P15Refrigerateur		0.33	0.03	
P16Peinture		0.04	0.37	
P16Revetem_sol		0.25	0.27	
P16Mure		0.00	0.03	
P16Esc_fondation		0.11	0.45	
P16Infiltration		0.08	0.27	

Deux questions s'imposent à partir de la lecture des données présentées dans le tableau. D'abord quels sont les processus et ensuite quels sont les coûts moyens pour les ménages ? Avant de répondre à ces questions, on a examiné la projection des deux premières dimensions sur un plan pour saisir le niveau de corrélation entre les individus et les catégories. A partir de la représentation graphique des variables et des individus qui atteste de leur niveau d'association (*Figure 3.20*), on se rend compte que ce qu'on appelle « parties de maison » situées en fond de vallée ainsi que les logements au pied des versants sont ceux qui ont subi le plus de dommages structurels. Il faut souligner le poids de l'excavation des fondations et des revêtements de sols comme variables discriminantes de la deuxième dimension. Les logements situés au pied des versants sont ceux dont les biens mobiliers sont les plus endommagés.

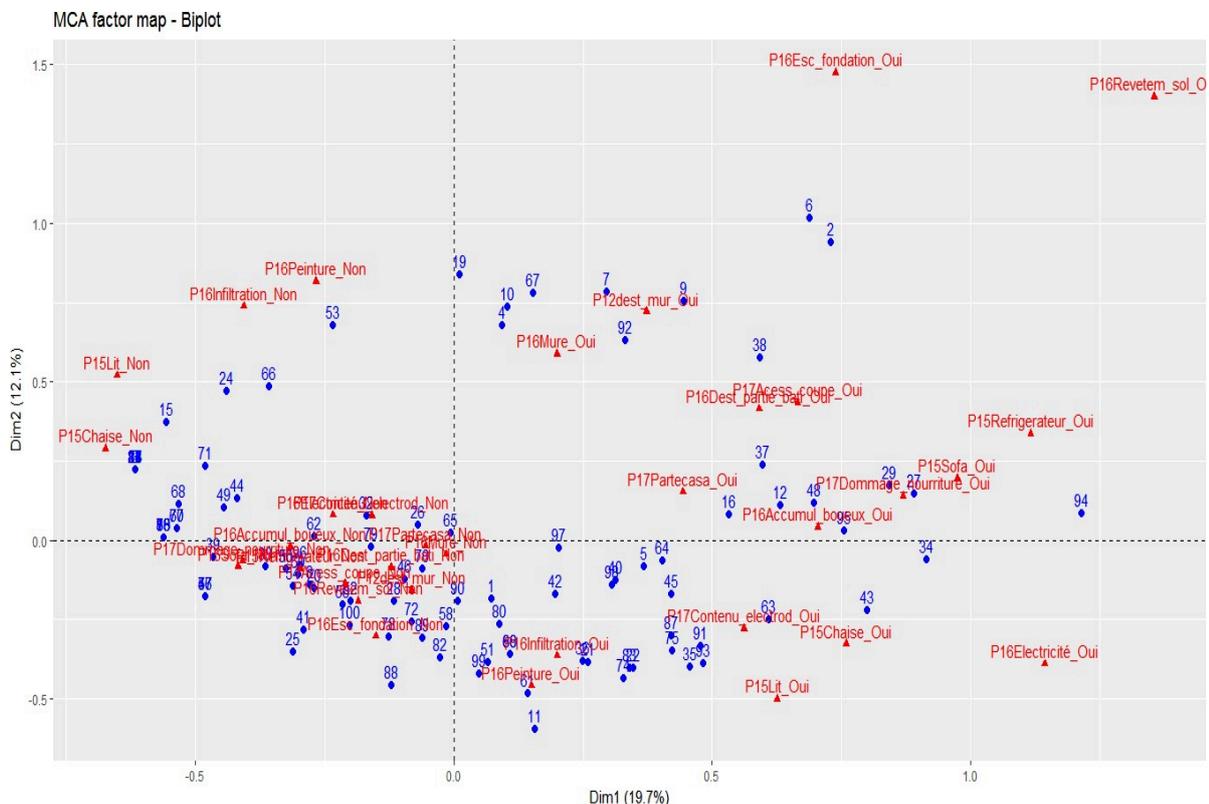
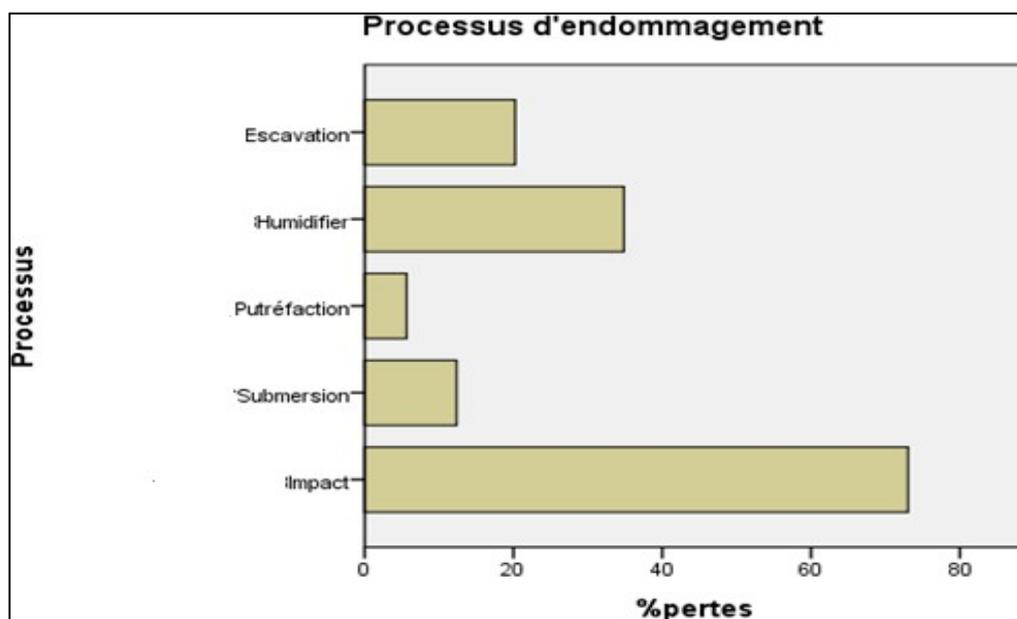


Figure 3.20 : Les deux premières dimensions retenues dans les dommages causés par l'inondation



Source : Données d'enquêtes auprès de 99 ménages

Figure 3.21 : Répartition du poids des processus d'endommagement

Dans les questions qui se posent, il est important de souligner que les dégâts sont provoqués surtout par l'impact du ruissellement des eaux pluviales (73%), suivi de l'humidité (34,8%) et de l'excavation (Figure 3.21). Les autres processus ont un poids moins déterminant. Néanmoins, la séparation des processus doit être envisagée avec prudence puisque, par exemple suite à des impacts, certains processus en chaîne rendent difficiles la mesure des effets joués par chacun des processus évoqués pris séparément. Les dommages provoqués par des impacts s'expliquent par le rôle de la géomorphologie, en particulier lorsqu'il y a une forte déclivité et une zone basse. On s'aperçoit ainsi que l'excavation est une conséquence directe des impacts. Les logements qui occupent les fortes pentes ou les fonds de vallée (Figure 3.22) appartiennent, grosso modo, aux classes sociales les plus défavorisées pour lesquelles les coûts de renforcement des fondations pèsent très lourdement.

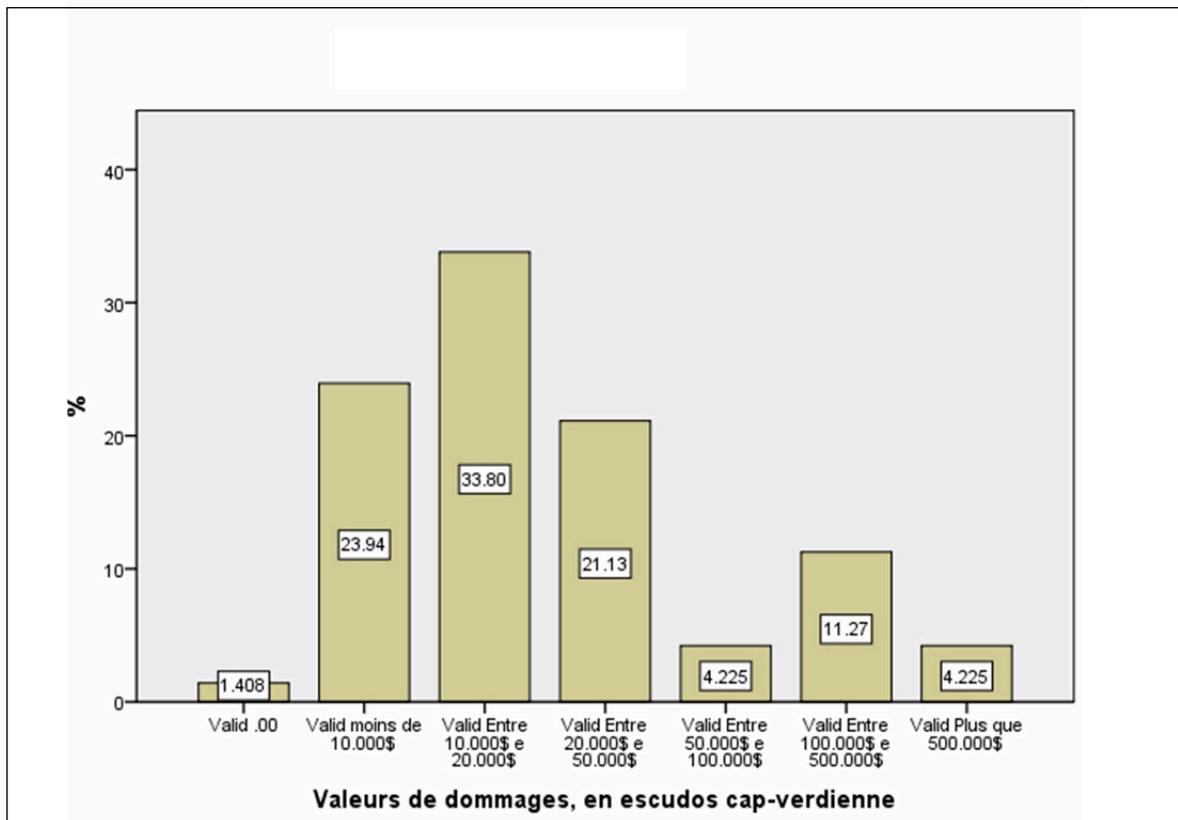
Dans le coût des dommages déclarés, on peut noter que 71% des réponses validées ont indiqué des dommages de moins de 200 euros (Figure 3.23).

Lorsqu'on parle de dégâts matériels sans tenir compte de la fonctionnalité des biens, les valeurs sont donc relativement faibles puisqu'une forte majorité des chefs de famille déclarent qu'ils ont subi moins de 200 euros de pertes. Une donnée mérite cependant l'attention, celle de la proportion notable (11,27%) de foyers qui déclarent avoir subi des pertes se situant entre 1 000 euros et 5 000 euros.



Source : Photo : R. Correia, Varzea, vallée de Madjana, 2013, Praia

Figure 3.22 : Menace d'excavation de fondations, en fond de vallée



NB : 10.000\$= 100 euros

Source : Enquête de l'auteur

Figure 3.23 : Valeurs des dommages, en escudos capverdiens

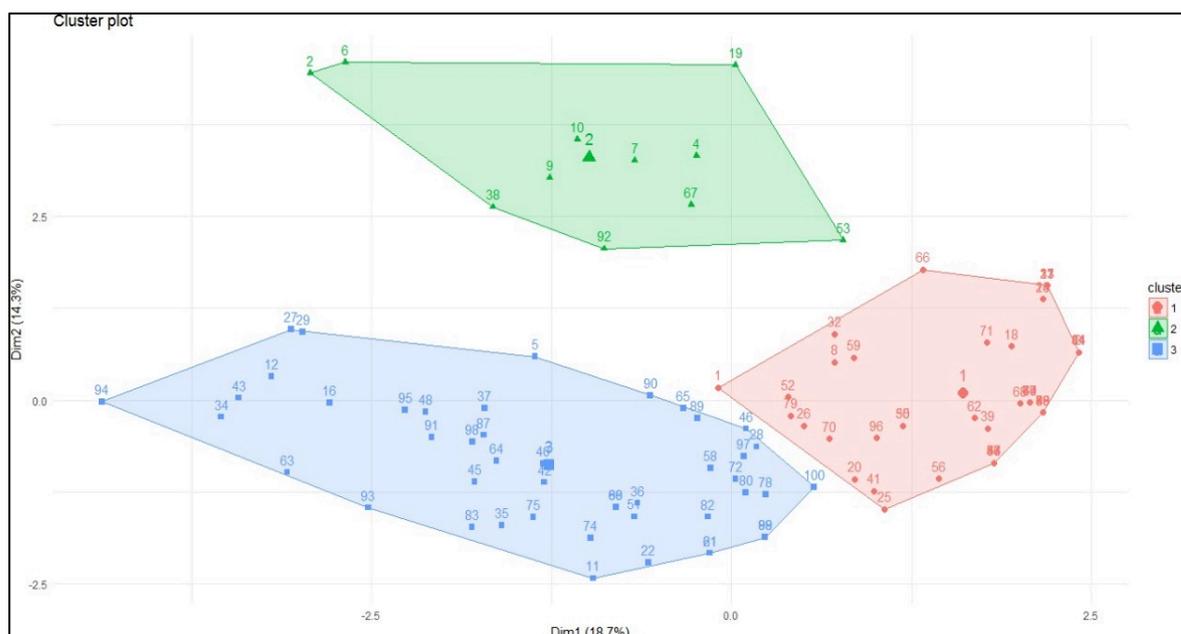


Figure 3.24 : Classification des logements selon les pertes déclarées

La Figure 3.24 (page précédente) regroupe les logements en trois clusters :

- Le premier cluster regroupe les logements dont les dommages physiques et structurels sont importants car ils compromettent la structure des bâtiments. Ces dommages concernent les destructions de murs, de parties de maison ou les fondations.
- Le deuxième cluster englobe les dégâts aux biens meubles causés par l'accumulation de boues, par les inondations et par les infiltrations.
- Le troisième cluster comprend le plus grand nombre d'individus et ce qui les caractérise est qu'il n'y ait pas d'enregistrement de dommages.

Ainsi, sur le critère des dommages, on devrait considérer seulement deux clusters, soit un cluster lié aux dommages structurels et un autre associé aux pertes en biens mobiliers.

Conclusions du chapitre 3

La ville de Praia cumule différentes vulnérabilités. D'un point de vue biophysique, on a constaté que les valeurs de précipitations maximales journalières pouvaient atteindre 160 mm (cf. Figure 3.1). Ces valeurs correspondent à des périodes de retour vingtennal, et la valeur de 180 mm renvoie à une valeur d'occurrence centennale (qui a une chance sur 100 de survenir tous les ans). Cette valeur a déjà été atteinte en 2015 à moins de 60 km de Praia, dans la ville de Calheta. Un maximum aussi élevé se manifestant sur des unités géologiques dont la perméabilité est moyenne à faible, et sur des pentes de plus de 30%, peut évidemment entraîner des crues rapides dont les effets sont difficilement mesurables.

D'un point de vue territorial, la ville de Praia a subi une transformation qui se traduit par la consommation de zones à risques du fait d'un taux de croissance démographique élevé. Certes les réponses institutionnelles et législatives normatives ont été rapides. Autrement dit, dans le cas particulier de la ville de Praia, une partie significative du territoire exposé aux inondations a été bâtie conformément aux délimitations des zones inondables. Néanmoins, les habitants ont conscience des risques d'inondation encourus, raison pour lesquelles on peut observer sur place l'adoption de mesures pour diminuer les effets de crues.

L'analyse factorielle des correspondances multiples, suivie d'une classification ascendante hiérarchique (CAH) de données, montre que les destructions de biens électro-ménagers, suivie de celles partielles de bâti, représentent les dommages les plus fréquents. Il faut également souligner que les dommages fonctionnels et économiques, notamment d'organismes publics, qui sont significatifs, dépassent souvent les faibles budgets de l'État et obligent à demander le soutien de la communauté internationale pour faire face aux coûts de remplacements et aux réparations.

Conclusions intermédiaires

Les données existantes, malgré leur manque de précision, permettent l'élaboration d'une liste des risques naturels présents à l'échelle du Cap-Vert. Le traitement de différentes bases de données, notamment la base de données EM-DAT, et l'inventaire qui a été fait dans le cadre du projet SIERA, et à partir de différents documents scientifiques tels que des livres, mémoires et rapports montrent que l'archipel est sensible à divers événements naturels, parmi lesquels la sécheresse, le volcanisme (*Annexe IV*), les crues torrentielles, ainsi que des moustiques vecteurs de maladies qui mettent en évidence les vulnérabilités du pays. Certes il y a une différence entre les données provenant des différentes sources, mais cela n'empêche pas d'en conclure que les aléas inondations constituent des événements menaçants pour ce territoire, compte tenu de la forte appropriation du milieu et des densités de population élevées.

Les inondations ne présentent pas de statistiques élevées en pertes humaines ni pour les dégâts matériels. Mais lorsqu'on travaille sur le terrain, on comprend que les pertes de biens matériels relatives par les chefs de familles sont importantes. Les investissements faits soit par les particuliers, soit par les organismes publics, pour augmenter la résilience, sont significatifs. Cela montre qu'il y a des enjeux humains, économiques et sociaux, autrement dit des vulnérabilités importantes qui requièrent des études approfondies pour améliorer leur connaissance.

Pourtant, l'analyse des risques naturels de la ville de Praia est un sujet dont la connaissance présente encore des lacunes. D'un point de vue statistique, le pays du Cap-Vert ne dispose pas d'un service doté des ressources nécessaires pour assurer la collecte des données officielles et suffisamment consolidées sur les risques. Certes, le Service National et Local de Protection Civile a une mission de collecte et de traitement des données ainsi que de recherche, mais ce service se trouve insuffisamment doté en moyens (humains, technologiques et financiers) pour mener ses tâches à bien. L'absence de référentiels méthodologiques et de protocoles servant de guides sur le terrain rend par ailleurs difficile la production de données. Il existe d'ailleurs des données véhiculées dans la presse écrite, mais produites par des journalistes qui ne maîtrisent pas bien les concepts ni la terminologie dans le domaine de la

science des risques. Certes certains événements sont faciles à catégoriser par leur ampleur et leurs formes.

Par ailleurs, il existe une multitude d'autres données, mais dont la catégorisation requiert une expertise. Ce problème de définition des concepts visant la catégorisation des données et leur enregistrement se pose aussi par rapport aux données produites par les services de pompiers de la mairie. Ces professionnels qui font un premier recueil des événements sur le terrain ne disposent pas jusqu'à présent d'un ensemble de protocoles qui standardise les concepts et les méthodologies utilisées. La qualité des données est finalement compromise vu que l'évaluation et l'enregistrement des événements sur le terrain sont réalisés selon des critères peu rigoureux.

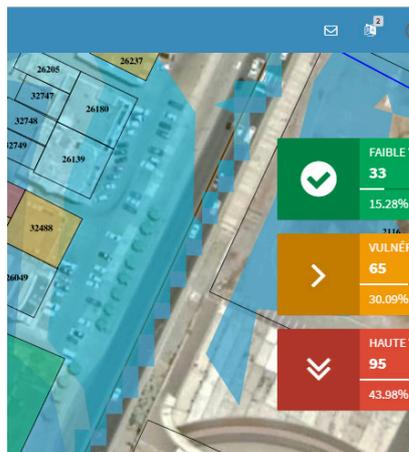
La recherche académique et les études à la demande des institutions publiques sur le risque naturel sont également peu nombreuses même si, à partir des années 2000, sont apparues les premières recherches académiques et quelques études demandées par le gouvernement. Ces études n'abordent qu'une partie du problème, en se focalisant principalement sur les aléas parmi lesquels les crues et les mouvements des versants. La composante vulnérabilité n'a donc pas fait jusqu'à présent l'objet d'analyses approfondies, soit par la communauté scientifique, soit par les autorités qui prennent les décisions.

A la suite de ces constatations, il nous semble que l'évaluation des risques à Praia aussi bien du point de vue des pertes potentielles que réelles suite à des événements ne présente pas d'éléments suffisants pour permettre une connaissance fine du problème. Certes dans les données enregistrées, nous ne prenons pas en compte la manifestation de cas qu'on peut qualifier de brutale, mais si nous considérons les interventions en matière de constructions d'infrastructures pour atténuer les effets des crues et inondations urbaines à Praia (Cf. *Photo, Annexe V*), on se rend compte que d'après les autorités, les risques naturels constituent un défi important. Au final, pour être encore plus synthétique, on peut dresser deux conclusions :

- Les études abordent plutôt les aléas que la vulnérabilité. Il y a donc une lacune des études et des données relatives à la vulnérabilité.
- D'après les données, les risques les plus menaçants à Praia sont les risques hydriques suivis des risques biologiques ;

Il n'existe pas de statistiques systématiques concernant les pertes matérielles, physiques et fonctionnelles liées à l'inondation. Il y a donc une difficulté à évaluer les vulnérabilités du point de vue des pertes matérielles et fonctionnelles.

Partie II - Contribution à la connaissance des vulnérabilités à l'aide d'un Système d'Information Foncière (SIF)



Introduction de la partie II

Face à la survenue de plus en plus fréquente des inondations rapides, les îles se présentent comme des espaces qui cumulent les vulnérabilités, du fait de leur isolement et de l'exiguïté des espaces, qui conduisent inévitablement à la concentration spatiale des enjeux. Les efforts visant la prévention et la diminution des risques, menés par des organismes internationaux comme l'ONU ou par les autorités nationales, demandent une connaissance plus fine et plus détaillée de cette vulnérabilité, qui s'accroît à cause d'un étalement urbain dont la maîtrise échappe depuis plusieurs décennies aux pouvoirs publics.

Ainsi, dans cette partie II, nous envisageons de concevoir un outil informatique permettant d'évaluer le risque sur les constructions face à l'inondation. Les classes de vulnérabilité seront dégagées à partir des dommages potentiels, estimés à travers des méthodes synthétiques tout en s'inspirant des recherches développées dans le cadre du DEFRA (Ramsbottom *et al.*, 2003 ; CEPRI, 2014). Cet objectif est complété par celui de dégager des indicateurs synthétiques de vulnérabilité qui feront l'objet de représentations cartographiques. La constitution d'une base de données à référence spatiale, avec une composante web, se présente comme un objectif intermédiaire indispensable, à la fois pour permettre d'évaluer les paramètres des aléas et pour évaluer les facteurs de vulnérabilité. L'intérêt est par ailleurs de proposer une méthode transposable à des contextes similaires au Cap-Vert (notamment où les données sont rares).

Par les biais d'une application web, on fera d'une part une classification des bâtiments en fonction de leurs caractéristiques physiques, mais aussi économiques, sociodémographiques et spatiales. L'application permettra aussi le stockage d'informations qualitatives recueillies auprès des ménages, pour pallier le manque de données et d'informations disponibles.

Pour atteindre cet objectif, des objectifs intermédiaires ont été envisagés :

- rappeler les bénéfices attendus par la création d'un Système d'Information Foncière ;
- tester et appliquer la méthode conçue à l'échelle de la ville de Praia ;
- cerner le cadre législatif et les enjeux en termes d'aménagement du territoire

Chapitre 4 – Pourquoi proposer un Système d'Information Foncière (SIF) à référence spatiale ?

Introduction du chapitre 4

Derrière le terme Système d'Information Foncière (SIF), il existe une sémantique variée. Le mot système renvoie à un concept d'intégration fonctionnelle de différentes composantes et ces composantes intègrent la dimension technologique, institutionnelle et législative. Du point de vue de la gestion, le système d'information foncière constitue une base de données spatiale, multi-échelles. Cela dit, le but de gestion qu'on poursuit détermine l'échelle spatiale souhaitable à chaque moment. Dans cette section, on défendra donc le concept du Système d'Information Foncière, en présentant les fonctions principales et la plus-value de modèles SIF connus. Ce point est d'autant plus important que la gestion des risques naturels ne constitue pas aujourd'hui un métier central des Systèmes d'Information Foncière (SIF).

4.1. Les bénéfices à attendre d'un SIF

4.1.1. Définition du concept

Un Système d'Information Foncière (SIF) est un concept difficile à cerner parce que le mot foncier se prête à plusieurs interprétations. Le mot « *foncier*⁴¹ » a une double entrée. On l'utilise comme un adjectif, qui signifie « *fond* » pour qualifier certains substantifs qui ont un rapport avec l'exploitation de ce « *fond* ». On l'utilise aussi comme *n.m.* entendu comme « *la propriété foncière et tout ce qui s'y rapporte* ». En tenant en compte de cette dernière

⁴¹ Foncier (2012, p.339) ; *Dictionnaire*. Paris : Éditions Larousse.

définition, le mot foncier comprend les terrains bâtis et non bâtis et tous les intérêts associés. Selon Comby (s.d., p.18) en ligne⁴², le mot foncier exprime comme « *la terre et parfois, par extension, les constructions et aménagements qui sont dessus* ». Le sens du mot « *terre* » retenu ici est plus large que le foncier, tel qu'on le conçoit dans le domaine d'étude des « *systèmes cadastraux* » car, dans le cadre d'un système cadastral, on cherche plutôt à préciser le rapport d'appropriation entre des unités spatiales bien définies et l'homme.

Dans la littérature anglophone, le terme qui, d'un point de vue sémantique, s'en rapproche le mieux, c'est le « *Land* ». Ce terme est entendu comme « *bien physique qui comprend la surface du terrain et tout ce qui s'y rapporte* »⁴³ (Dale et McLaughlin, 2003, p. 1). On est obligé de constater que le cadastre stricto sensu, grâce à l'évolution et l'intégration de nouvelles technologies et à l'incorporation d'une gamme d'informations assez spécifiques, est à l'origine de ce qu'on désigne par SIF aujourd'hui.

D'après le Comité technique « Foncier et Développement » (2009, p. 118), on désigne par Système d'Information Foncière (SIF) : « *l'ensemble des informations relatives aux terrains (aux parcelles) réunies dans une base de données, ainsi que les procédures, les techniques et les équipements qui permettent de recueillir l'information, de la traiter, de la mettre à jour, de la restituer et de corrélérer l'ensemble des données* ». En prenant en compte cette formulation, des éléments sont essentiels. D'abord, les auteurs n'indiquent pas le type d'information qui peut être associé. Ainsi, on sous-entend qu'un tel système est valable aussi pour stocker des informations très variables, y compris bien entendu sur les risques naturels. Deuxièmement la définition présentée ne précise pas l'échelle qui doit être retenue. L'analyse croisée d'information multi-échelles peut donc être envisagée, même si parfois cette analyse pose des problèmes pour la compatibilité des couches d'information à cause de la généralisation de la représentation cartographique. A titre d'exemple, si on prend le cas concret du Cap-Vert, l'analyse des risques naturels dans le Schéma Régional d'Aménagement du Territoire (EROT : à l'échelle de l'île) et du Plan Directeur Municipal (PDM – échelle municipale) n'a pas la même représentation spatiale. Ainsi, la question de savoir quelle est la bonne échelle pour saisir le risque naturel s'impose.

Enfin, un troisième aspect intéressant est le fait qu'un tel système pourra permettre, entre autres, des calculs de corrélation, des classements, des traitements informatisés des données, et il fait donc appel à un savoir scientifique. Autrement dit, le SIF ne sert pas seulement au stockage des données. Il peut constituer un outil de gestion et également d'analyse spatiale dans la mesure où il peut produire des connaissances scientifiques par le biais de la corrélation des données. Certains auteurs utilisent d'ailleurs le mot cadastre pour désigner un SIF. Dans ce cas de figure, le terme « *cadastré* » est pris dans un sens plus large, c'est-à-dire qu'il désigne l'enregistrement de toute information concernant le foncier. On est donc dans le domaine du cadastre multifonctionnel.

⁴² http://www.comby-foncier.com/vocabulaire_foncier.pdf

⁴³ « *Land is a physical thing that encompasses the surface of earth and all thing attached to it both above and below* ». Traduction libre

En retenant les propositions de A. Cridlig (1984), Maurin (1992, p. 371) soutient que « *Le cadastre devrait atteindre, pour devenir totalement efficace, une dimension économique, qui permettrait, aux collectivités comme aux particuliers, de maîtriser l'ensemble des données essentielles nécessaires à la prise de décision. Il accèderait alors à une vocation polyvalente...* ». On constate que l'idée d'un système multifonctionnel est ancienne. Il a fait l'objet d'un débat lors d'un symposium du FIG en 1979, où le concept de SIT qui traduit l'idée de polyvalence du cadastre, a été retenu (Maurin, 1992). Néanmoins, cette polyvalence est restée pendant longtemps très restrictive. L'idéologie derrière la conception d'un tel système, souvent à caractère plutôt utilitariste dans la mesure où l'imposition fiscale et la sécurisation des droits sont les priorités des décideurs, ne favorise pas l'intégration d'autres informations, notamment celles qui concernent la connaissance et la gestion des risques naturels. La distinction entre le cadastre multifonctionnel et le SIF reste encore floue. En fait, dans un sens plus large du terme, tout le système cadastral peut être entendu comme un SIF, mais en sens inverse, le SIF du point de vue scalaire peut ne pas arriver jusqu'à la gestion de l'information cadastrale, donc ne peut être considéré comme un système cadastral.

Le concept de SIF développé dans la littérature française traduit à juste titre l'expression « *land information system (LIS)* ». Certains auteurs conçoivent le « *land information system* » (LIS) comme une « *base de données spatiales* » pour améliorer la gestion du foncier dans la perspective de promouvoir le développement durable (Dale & McLaughlin, 2003a; Enemark, 2010). A cet égard, on peut constater que, pour l'essentiel, cette expression se rapproche de la terminologie française désignée par l'expression SIF. On peut en effet noter un certain nombre d'aspects communs. En premier lieu, on retient la base des données spatiales comme élément graphique de base. La dimension technologique est la conséquence de l'essor enregistré soit au niveau informatique, soit au niveau des technologies spatiales, notamment la photogrammétrie et la télédétection. En deuxième lieu, il est important d'enregistrer les procédures, méthodes et ressources humaines indispensables au traitement et à la restitution de l'information.

On peut finalement considérer que le SIF est un système d'information à référence spatiale multiscalair qui permet un emboîtement des entités géographiques (i.e. objets géographiques). Une autre dimension, également importante mais invisible, est l'aspect législatif et institutionnel qui détermine la structuration du SIF. Dans cette perspective, la notion de SIF va au-delà des questions techniques et incorpore aussi une dimension sociétale.

4.1.2. Des avantages indéniables et largement plébiscités

Selon Roy & Viau (2011a), au-delà du simple enregistrement des titres de propriétés et de leur côté technique, le système cadastral représente une institution très ancienne. Au cours de l'histoire, persiste la préoccupation de l'enregistrement des propriétés pour leur taxation et les droits de propriété. Au sens moderne du terme, le cadastre a vu le jour au XIX^{ème} siècle. D'après le *National Research Council* (1980, p. 9) « *The origins of what has come to be accepted as the modern cadaster concept are found in the development of the cadaster systems of*

Continental Europe during the eighteenth and nineteenth centuries". A cette époque-là, l'objectif fondamental du cadastre était la collecte des impôts. Ce rôle ancien du cadastre s'impose jusqu'à aujourd'hui, malgré le fait que le système ait évolué significativement avec l'introduction des nouvelles technologies d'information et de communication, et plus spécialement l'arrivée des systèmes d'informations géographiques et tous les avantages que ceux-ci apportent du point de vue de la gestion foncière.

Malgré les possibilités techniques, les risques naturels ne sont pas à ce jour un sujet intégré dans le SIF dans une perspective de gestion courante. S'il est vrai qu'au cours des 25 dernières années, on assiste à quelques publications et bien que le débat concerne le lien entre risques naturels et SIF à l'échelle de l'unité d'habitation, leur inclusion dans une base de données SIF reste encore timide. En effet, face à l'augmentation des événements naturels extrêmes, plusieurs chercheurs se sont intéressés depuis une vingtaine d'années à la gestion intégrée du foncier, autrement dit, en considérant tous les enjeux concernant le foncier - les droits associés, les valeurs, la planification, les usages et les risques dans le cadre d'un système d'information foncière (Dale & McLaughlin, 2003 ; Roy & Viau, 2011 ; Enemark, 2009 ; Williamson, Enemark, Wallace & Rajabifard, 2009). D'une manière générale, ces auteurs font l'apologie d'un système de gestion foncière multifonctionnel, où le risque naturel doit être considéré comme un pilier de la protection de la population.

Enemark (2009, p.13) défend que *"Disaster risks must be identified as area zones in the land use plans and land information systems with the relevant risk assessments and information attached"*. Cette proposition renforce donc le rôle multifonctionnel qui doit être accordé au SIF à l'avenir dans le cadre de la mise en œuvre d'une infrastructure de base de données spatiales. L'auteur signale ainsi l'importance de la délimitation des zones à risques dans les plans d'occupation du sol qui ne constitue pas un composant du plan cadastral au sens napoléonien du terme, mais qui peut désormais être considérée comme une couche d'information du système cadastral et/ou du système d'information foncière.

Cette dimension envisagée par l'auteur fait appel à deux éléments essentiels : d'abord l'élaboration des plans de gestion des risques en tant qu'outils de gestion territoriale et ensuite la mise en place d'un système d'information à référence spatiale. Désormais, la conception et la mise en place d'un modèle de cadastre multifonctionnel peuvent intégrer de nouvelles tâches, parmi lesquelles la gestion des risques naturels. On peut se demander si le système tel qu'il est conçu de nos jours dans le cas du Cap-Vert permet l'intégration de l'objet risque naturel.

4.1.3. Des expériences déjà éprouvées dans de nombreux pays

Nous présentons brièvement les modèles classiques de cadastre qui ont servi de repère au niveau mondial et qui ont également encadré le modèle cap-verdien. Il nous semble intéressant d'analyser les modèles classiques du système d'information foncière du point de vue de leur finalité, tout en considérant l'élargissement des objectifs du système cadastral. Les questions d'usage et d'occupation des sols qui sont liées à la gestion des risques, au moins

dans la perspective de leur prévention, constituent l'objet d'analyse de cette recherche. En fonction des mécanismes d'enregistrement des titres et de leurs finalités, on peut regrouper les types de gestion foncière en trois grands modèles : *French/Style*, *German Style* et *Torrens/English* (Dale & McLaughlin, 2003 ; Williamson *et al.*, 2009). Pour l'essentiel, il faut noter la séparation entre l'enregistrement et le cadastre entendu comme parcellisation du territoire à travers des cartes qui portent sur les limites juridiques des propriétés, avec son unité de base appelée la parcelle.

a- Le modèle français

Le système français qui a vu le jour au XIX^{ème} siècle, et s'est diffusé en Europe, est basé sur des principes de loi romains, c'est-à-dire que le système juridique est fondé sur un corpus de lois codifié. Il repose sur un cadastre et un registre d'actes pour la publicité foncière (Spéry, 1999, p. 12 et 13). Le plan cadastral a été conçu pour permettre l'évaluation des revenus. D'après Spéry (1999, p. 8), le cadastre est formé par un plan parcellaire à grande échelle et par une matrice cadastrale contenant la description des parcelles (usages etc.) ainsi que l'identification du propriétaire. La publicité foncière comprend le fichier immobilier, répertoire archivant l'ensemble des transactions affectant les immeubles. Ainsi, selon Spéry (1999, p. 13), « *Le fichier immobilier est un registre d'actes*⁴⁴. *L'inscription au fichier immobilier ne constitue pas une preuve des droits de propriétés* ». La fiscalité du cadastre est le but de l'enregistrement des propriétés. Il s'agit d'un système qui vise essentiellement la taxation, où les questions d'aménagement du territoire ne sont pas considérées, contrairement au système cadastral germanique.

b- Le modèle germanique

Le système germanique de gestion foncière fait partie d'un modèle d'enregistrement qui est dénommé '*Registration of Title*', et dont le système *Torrens* constitue une variante. Dans ce modèle, c'est « l'immobilier » qui fait l'objet d'enregistrement. L'enregistrement est précédé d'un prélèvement assez précis des coordonnées qui définissent l'immeuble et l'État prend en charge la responsabilité de faire preuve des titres de propriétés. D'après Dale & McLaughlin (2003, p. 38), le système d'enregistrement des titres des propriétés⁴⁵ est né pour répondre au défaut du système d'enregistrement des hypothèques et d'écriture qui caractérisent les modèles inspirés du système français. Venons-en maintenant aux éléments essentiels qui définissent le modèle germanique de gestion foncière.

⁴⁴ Spéry, L. (1999, p.13 et suivantes).

⁴⁵ Registration of title was designed to overcome the defects of deeds registration (French style) and to simplify the process of executing property transactions, in such a system the register describes the current property ownership and outstanding charges and liens. Registrations is normally compulsory and the state plays an active role in examining and warranting transactions (Dale & McLaughlin, 2003).

En reprenant Spéry (1999, p. 13 et 14), le système de gestion foncière germanique se base sur la complémentarité entre le *livre foncier (Grundbuch)*, outil juridique sous la responsabilité d'un magistrat (juge) du Ministère de Justice, et le *cadastre*, sous la responsabilité du *Land*. Ainsi, d'après Spéry, le livre foncier (*GundBuch*) fait la description de toutes les informations concernant les droits des propriétés et l'omnibus⁴⁶ sur les immeubles. Leur fonction est d'assurer et protéger les droits. Le livre foncier est un registre d'actes qui décrivent les droits fonciers dont l'inscription est obligatoire⁴⁷. Le juge est obligé de vérifier soit la forme soit le fond lors de l'enregistrement des *actes translatifs* ou *modificatifs* de propriétés. Il fait également l'enregistrement dans le *Livre foncier* en s'appuyant sur le *Burgerliches Gesetzbuch* (code civil). Le *Plan cadastral* a une valeur juridique. Le cadastre allemand constitue un registre officiel de toutes les parcelles et immeubles. Ce registre comprend une *matrice cadastrale* et un *plan*.

Toutes les modifications parcellaires qui se font à la suite d'un changement cadastral et les parcelles sont systématiquement bornées. Le plan ayant une valeur légale, l'enregistrement est obligatoire ainsi que le document incluant les levés topographiques qui non seulement comportent les coordonnées géographiques comme aussi les droits, restrictions et tout un ensemble d'éléments en matière d'aménagement du territoire. Le cadastre se trouve sous la responsabilité du Ministère des finances, de l'intérieur et de l'aménagement du territoire. Désormais, le système germanique du cadastre a intégré ces différents éléments dans un système d'information territorial plus large appelé ALKIS (Amtliches Liegenschaft skataster informations system - Authoritative Real Estate Cadastre Information System), une infrastructure de base de données spatiales (IDS). D'après H. Graeff, J. Riecken (2012, p.2) ALKIS "*store all information - graphical and describing - in one object-orientated database system in compliance with the standards set by ISO/TC 211 and the Open Geospatial Consortium*". Il s'agit donc d'un système qui fournit une multitude de services indispensables à la gestion du territoire. A l'heure actuelle, lorsqu'il existe au Cap-Vert, le plan cadastral sert seulement à l'imposition fiscale et n'a pas de valeur légale même s'il définit les limites de parcelles.

c- Le système Torrens

Le système *Torrens* a été introduit après la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle en Australie par sir Robert Torrens afin d'améliorer les procédures de transaction immobilière. Le système d'enregistrement est semblable au système germanique, c'est-à-dire qu'il se base sur l'enregistrement de titres de propriétés sous la responsabilité de l'État qui doit prendre en charge, à défaut, la déclaration. Le fichier géométrique des parcelles constitue une annexe du titre de propriété. Il faut noter qu'il existe une liaison entre le système d'enregistrement et le système cadastral. Selon Spéry (1999, p. 14), l'immeuble est immatriculé avec la toute première aliénation qui a une valeur constitutive du droit de propriété. On délivre donc au

⁴⁶ L'omnibus détaille toutes les restrictions et obligations sur les propriétés.

⁴⁷ Au Cap-Vert, cette prérogative a été adoptée par le Décret-Loi n° 29/2009, Art. 7 en vigueur, mais pas n'a pas encore été appliquée.

propriétaire un document qui résulte de l'arpentage décrivant les caractéristiques spatiales des parcelles. Une copie de ce document est conservée dans un registre foncier (*Register Book*) géré par l'Administration (*Office of Titles*). Toute modification *a posteriori* se fait sur la base de ce document original et sur présentation du document du propriétaire. Pour toutes les modifications de limites des parcelles, le relevé topographique est obligatoire. D'après Spéry, le système *Torrens* s'appuie sur un *Registre d'actes* qui implique que seules les informations contenues dans le registre ont valeur de preuve.

Compte tenu de ces considérations, il nous semble que les modèles de système de gestion foncière se décomposent en premier lieu en deux sous-systèmes : le système d'enregistrement et le système du cadastre. Le premier sous-système n'avait pas de lien direct avec la gestion du risque naturel. Par contre, dans certains pays l'enregistrement n'aura pas lieu sans l'arpentage cadastral préalable. Dans le deuxième sous-système, le cadastre peut dans certains pays (e.g. Germany, Portugal et Suède) constituer un outil de prise de décision en matière de gestion des risques naturels parce qu'il permet la mobilisation de données statistiques, de cartes thématiques diverses et le croisement des informations. Dans le cas de la Suède par exemple, dans le domaine de la gestion foncière, le pays a adopté '*le cadastre des restrictions de droit public à la propriété foncière* (cadastre RDPPF)', ce qui montre la multifonctionnalité du système cadastral, et ainsi le rôle joué par le cadastre dans une perspective de gestion territoriale.

4.2. Une opportunité contextuelle pour le Cap-Vert

4.2.1. Un cadastre marqué par l'héritage colonialiste

Lorsqu'on fait une analyse du cadastre foncier⁴⁸ cap-verdien par rapport aux modèles déjà étudiés, on constate que le cadastre est marqué par la culture et la législation portugaise en tant que puissance colonisatrice. Le modèle portugais qui s'est inspiré de la tradition française d'enregistrement, « *Deeds* », s'est imposé jusqu'à présent. Désormais, le système est en train de se moderniser, avec la réalisation d'une expérience pilote sur l'île de Sal dans le cadre du projet *Millennium Challenge Account* (MCA).

Lors de l'arrivée des portugais, on a assisté à la mise en place des services de « *Fazenda*⁴⁹ » dont la finalité était la collecte de tribut sur le foncier. On retrouve là la mission initiale du cadastre : la taxation. Jusqu'à présent, au Cap-Vert, l'information foncière à caractère cadastral

⁴⁸ Le mot cadastre est pris dans le sens originel du terme, c'est-à-dire enregistrement méthodique des propriétés. Dans ce sens, toute l'action publique qui vise à cataloguer les biens immobiliers dans un document dûment ordonné est entendue comme cadastre. Ainsi l'histoire du cadastre au Cap-Vert est un héritage de l'époque coloniale. Il s'agit d'un cadastre descriptif sans composante cartographique.

⁴⁹ *Fazenda* : ancienne institution installée pour la récolte des tributs de la terre. Elle correspond à une étape embryonnaire de ce qu'aujourd'hui, on appelle les finances (Santos, Torrão, Soares, Instituto de investigação científica tropical, & Instituto da investigação e do património culturais, 2007, p. 54-55).

était limitée à la valeur des immeubles bâtis ou non bâtis, qui sont normalement enregistrés dans un document appelé matrice foncière⁵⁰ des biens immobiliers qui ne contient pas les titres des propriétés. C'est un élément identique au cadastre français. En se basant sur des notions révolutionnaires telles que l'égalité, la fraternité et la liberté, la France de Napoléon a ordonné un prélèvement sur tous les biens immobiliers afin que la valeur de taxation soit juste. Toutefois, la représentation géométrique de propriétés immobilières, que la France a quasiment résolue lors de l'élaboration du cadastre napoléonien, c'est-à-dire il y a un peu plus d'un siècle, reste encore défailante au Cap-Vert. En effet, la description textuelle des localisations est la formule trouvée pour faire le référencement des parcelles. Cela dit, même si du point de vue du modèle de référence, le Cap-Vert s'est inspiré du modèle du cadastre français, les résultats restent partiels. Ils sont dus soit à l'inaction de l'administration, soit à un défaut de moyens et à un manque de compréhension de l'utilité stratégique du cadastre.

C'est seulement avec l'apparition des premières lois sur le développement urbain à partir de l'Indépendance que le pays a commencé à élaborer des plans de parcelles basés sur des levés topographiques. Ces plans sont à l'origine des plans parcellaires et ils constituent les fondements du cadastre moderne. Retenons que le référencement des parcelles, qui est très important lorsqu'on bâtit un système foncier pour gérer les risques naturels, est obligatoire, soit dans le modèle germanique, soit dans le modèle de *Torrens*. Ce n'est pas le cas du système français.

De nos jours, on peut systématiser la gestion foncière au Cap-Vert en considérant les entités et leurs attributions. Le Décret-Loi n° 29/2009 propose une réorientation du modèle de cadastre au Cap-Vert sur le modèle multifonctionnel, en envisageant l'aménagement du territoire et par conséquent la question des risques naturels. A ce jour, les informations cadastrales peuvent être traitées par diverses institutions entre lesquelles les liens ne sont pas évidents, ce qui rend les démarches difficiles lorsqu'on souhaite s'occuper d'un dossier foncier.

Le schéma suivant (*Figure 4.1*) montre le flux de l'information cadastrale. Il met en évidence le rôle joué par certaines institutions, comme le Service Topographie des mairies et le Service du Conservatoire National et de l'Enregistrement des Biens immobiliers du Ministère de Justice. Jusqu'à aujourd'hui, la mairie joue aussi un rôle fondamental quand il s'agit d'espace urbanisé, puisqu'elle prend en charge l'émission des permis de construire. Pour cela, deux pièces sont obligatoires : le registre cadastral, autrement dit les coordonnées géographiques qui définissent les limites des parcelles, ainsi que le registre matriciel.

L'inscription au cadastre selon le Service de Topographie de la Mairie de Praia⁵¹ sert à avoir la référence cadastrale, le nom du propriétaire, l'évaluation etc. D'après ce Service, le

⁵⁰ Nous préférons utiliser l'expression matrice foncière au lieu de matrice cadastrale parce qu'il n'existe pas de plan cadastral au sens de cadastre napoléonien. Dans la législation en vigueur, on utilise les mots « Matriz Predial » qui correspond à « matrice foncière » dans la loi française.

⁵¹ Entretien accordé par le Responsable du service (avril 2015).

cadastre sert à l'aménagement urbain. Ce volet, emprunté au cadastre allemand (l'expérience a débuté à la Mairie de Praia avec l'appui d'experts allemands), ne semble pas ignorer les risques naturels, particulièrement le risque d'inondation dans les zones incluses dans le plan d'urbanisme. Lors de l'implantation des lots pour construire les édifices, le plan d'urbanisme impose d'indiquer les *cotes de référence* comme mesure préventive contre les inondations. Le Service de Topographie de la Mairie dispose d'une base numérique (Figure 4.2) qui intègre les coordonnées des parcelles enregistrées au format AutoCAD (DWG et DXF) et les données descriptives en feuilles Excel.

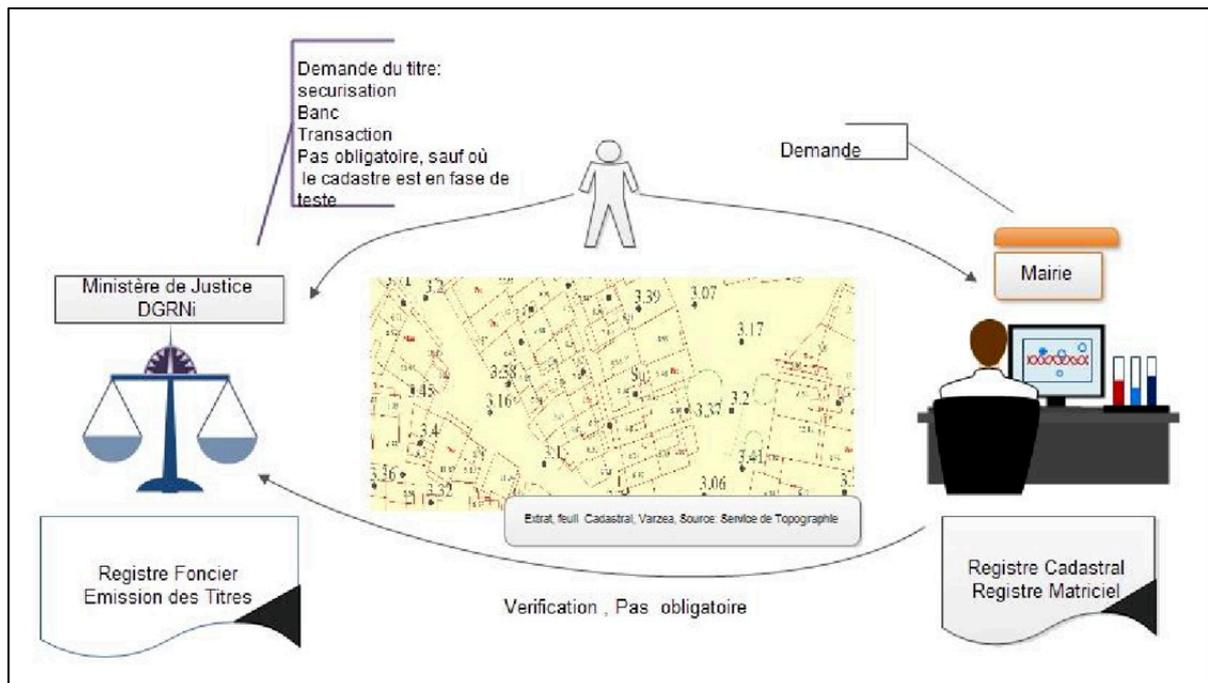
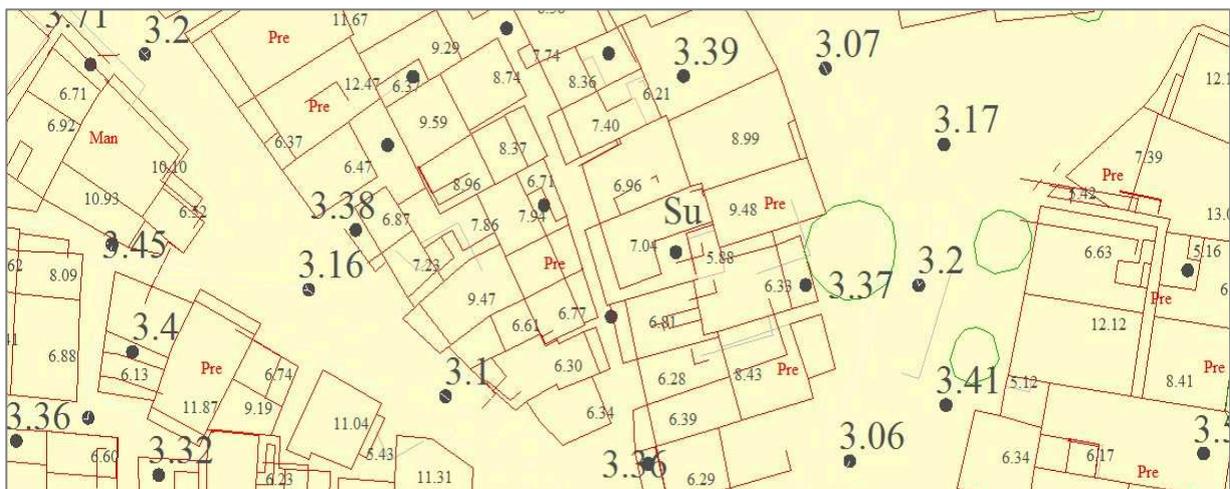


Figure 4.1 : Flux de base de l'information cadastrale. Entités et attributions



Source : Service de Topographie de la Mairie de la ville de Praia

Figure 4.2 : Extrait de feuille cadastrale - Varzea, en format DWG

L'enregistrement foncier répond aussi au besoin du Service du Conservatoire National et de l'Enregistrement des Biens immobiliers, qui est sous la responsabilité du Ministère de la Justice, tout en assurant la sécurisation des droits fondamentaux pour les transactions foncières ainsi que pour l'obtention de crédits auprès des institutions financières. En effet, la loi n'impose pas l'enregistrement des parcelles, mais en cas de besoin de transaction juridique ou pour faire une hypothèque, il est indispensable de disposer d'un enregistrement au Conservatoire National.

A priori, ce service est sous-doté par rapport à la qualité de services qu'il peut offrir parce qu'il ne dispose pas de base cartographique. Il ne semble pas exiger au moins une liste des coordonnées topographiques des bornes de polygones. Il y a encore beaucoup de parcelles enregistrées dont la localisation est impossible et, pire encore, il existe des enregistrements sans correspondance réelle avec des parcelles (Responsable du Service du cadastre et topographie de la Mairie, 2015). Il existe donc beaucoup de doubles immatriculations qui ont de lourdes conséquences, soit pour les citoyens, soit pour les entités publiques. Ce constat est confirmé par des auteurs comme Almeida (2002, p. 20) qui affirme : « *aujourd'hui on peut dire que le chaos a été installé et, en ce moment même, on ne sait pas très bien à qui appartiennent finalement les terres au Cap-Vert* ».

Dans certains pays comme l'Australie, l'Allemagne, Suède, l'immatriculation ne se limite pas à indiquer le nom des propriétaires. Elle inclut aussi les contraintes de parcelles, c'est-à-dire l'enregistrement des responsabilités et des droits obligatoires. Dans ce cadre, on admet que le cadastre foncier peut constituer un outil intéressant à mobiliser dans la gestion des risques naturels. Puisque dans le cas du Cap-Vert, les procédures mentionnées ne sont pas conditionnées par le plan parcellaire, l'enregistrement foncier n'est pas utile comme outil d'aménagement du territoire et de gestion du risque dans ses diverses dimensions.

Compte tenu de ces considérations, on peut dresser les conclusions suivantes :

- 1- Il est plus raisonnable de parler de Registre Foncier, bien que défaillant, que de système cadastral au Cap-Vert. L'inexistence de plan cadastral dans la majorité des mairies du pays rend difficile l'utilisation du mot cadastre au sens moderne du terme. Par ailleurs, les différents services qui ont des attributions dans le domaine du foncier assument leur rôle dans ce domaine de manière assez indépendante. Autrement dit, il existe un Service d'enregistrement foncier sous la responsabilité du Ministère de la Justice et un Service dit Cadastral qui, en réalité, s'occupe plutôt des plans topographiques qui normalement traduisent la parcellisation du territoire en lots et sont dressés par le Bureau Technique sous la responsabilité des Mairies.
- 2- Le modèle du cadastre au Cap-Vert est composé d'éléments s'inspirant du modèle français/latin, visant donc la taxation. Cependant, l'insuffisance des ressources humaines, institutionnelles, financières, biens comme l'héritage des institutions

portugaises, ont empêché l'exécution du Plan Parcellaire étendu à toute la zone géographique des municipalités. Néanmoins, si l'on observe sa finalité, la tendance se rapproche du modèle germanique au sens ce modèle a des préoccupations qui ne sont pas strictement fiscales.

- 3- La sécurisation des droits des propriétés au Cap-Vert constitue un pilier important de la gestion foncière, bien qu'elle s'appuie sur un texte descriptif, ce qui rend difficile la mesure et même la localisation des parcelles.
- 4- Les risques naturels se présentent pour l'instant comme un sujet difficile à traiter au niveau à l'échelle cadastrale. Leur intégration requiert un plan pour l'ensemble de la ville, laquelle a connu une croissance importante à cause des constructions illégales.

Comment envisager alors les risques naturels par le biais du système foncier ? Certains théoriciens comme Enemark (2009) soutiennent que les risques naturels doivent être traités avec des outils de gestion foncière. Cet auteur propose même d'attribuer tout un ensemble de tâches au système d'information foncière pour gérer les risques naturels dans une perspective de développement durable. Cette thèse est partagée par des auteurs comme Roy & Viau (2011, p. 4) qui affirment que le cadastre moderne est un instrument essentiel de prévention des catastrophes naturelles, au-delà de leurs fonctions traditionnelles. Ainsi, la modernisation du système d'information foncière, y compris le cadastre, peut constituer au Cap-Vert une opportunité pour l'insertion du volet gestion des risques.

4.2.2. La modernisation vers un Système d'Information Cadastral (SIC)

Après la rupture du régime politique survenue au début des années 90, et le changement de modèle économique, désormais fondé sur les principes de l'économie du marché, auxquels on peut ajouter la décentralisation et l'instauration d'un pouvoir local démocratiquement élu, on constate que la gestion locale se fait en s'appuyant sur le foncier. En effet, le foncier joue un rôle important dans le budget municipal, soit par le biais de l'aliénation des terrains, soit par la taxation. Or, en tenant compte de la croissance des zones urbaines ainsi que du zonage du territoire qui définit la Zone de Développement Touristique intégré (ZDTi), objet de spéculation foncière, on provoquerait une revalorisation du foncier et en conséquence une montée des conflits. Ces facteurs sont à la base de la publication de la première loi du cadastre⁵² tout en visant la sécurisation des droits de titre de propriétés et la dynamisation du marché immobilier.

La publication de lois à propos du cadastre traduit toutefois la volonté politique de clarifier les titres des propriétés et de dynamiser le foncier. Autrement dit, les questions d'aménagement du territoire, de planification de l'occupation des sols ainsi que les risques

⁵² Décret-loi n°29 /2009 du 17 août.

naturels ne sont pas mentionnées dans le décret-loi, lequel englobe quarante (40) articles. Le décret-loi se fonde sur la fonction première du cadastre, à savoir l'immatriculation des propriétés, et il vise donc une répartition des impôts de façon plus équitable ainsi que la récupération d'impôts non perçus.

L'un des aspects-clés de cette disposition légale vise la réorganisation de toute la politique foncière, soit au niveau institutionnel, soit au niveau technique. Commençons par le changement au niveau institutionnel. Il faut signaler à ce propos la création du Service National du Cadastre (UCCP) en 2009. Ce bureau de l'État a pour mission de créer des lois et de former des compétences dans le domaine de la gestion du système cadastral. La loi a introduit l'obligation de présenter un NIP (Numéro d'Identification de Propriété immobilière) pour un dossier foncier dans la zone cadastrée, quelle que soit l'affaire concernée. Le cadastre des parcelles, nommé ici *Predio*, est donc bien une information obligatoire à faire remonter.

Ainsi, on comprend que la demande de transparence et l'empressement soient à l'origine des efforts en cours pour intégrer les services des trois (3) sous-systèmes qui composaient le canevas du système d'information cadastrale : le sous-système d'enregistrement foncier, la matrice cadastrale et la représentation géométrique des parcelles. Venons-en au changement technique introduit par la disposition légale auquel nous avons fait référence.

Le premier point, c'est la digitalisation de toute l'information et le référencement des biens immobiliers, en attribuant un identifiant unique (CIP) à chaque parcelle cadastrale. Cette procédure vise aussi l'intégration et la centralisation de toute l'information foncière dans une base de données, sachant que chaque entité a la responsabilité de produire l'information dans son domaine de compétence et de faire le téléchargement dans une base de données unique.

D'après le responsable de l'Institut National de Gestion du Territoire (INGT) et du *Project Land*, la composante technique comprend la mise en articulation de toutes les bases de données existantes (*Figure 4.3*), qui seront centralisées au Centre Opérationnel du Système d'Information de l'État (NOSI). Ce dernier est le responsable de la conception et du développement du système informatique pour gérer toute l'information cadastrale.

La base de données utilisée comme référence est le Système d'Information Municipal (SIM), dont le téléchargement est pris en charge par la mairie, qui est responsable du prélèvement et de la représentation de la matrice cadastrale. Ce SIM contient :

- le Registre Notarié (RN) qui est sous la responsabilité du Ministère de la Justice ;
- le Système d'Information Territorial (SIT) qui est sous la responsabilité du Ministère de l'Aménagement du Territoire. Signalons qu'une expérience à titre pilote a été menée en 2016 sur l'île de Sal, où le gouvernement est en train de tester le cadre législatif et les procédures techniques à mobiliser pour la mise en place du système cadastral de l'ensemble du pays.

Rappelons brièvement que le but du *Project Land* visait simplement à clarifier les droits concernant l'immatriculation des titres des propriétés et les limites des parcelles, c'est-à-dire qu'il n'a pas prévu au départ les questions d'aménagement, la planification de l'usage des sols et l'intégration des informations qui, d'une façon, ou d'une autre, ont des relations avec les risques naturels. Néanmoins, il faut noter que les autorités sont en train de concevoir un système d'information territoriale multifonctionnel et intégré, en essayant d'introduire des éléments 'RRR'⁵³ fortement recommandés par l'agenda international de la Fédération Internationale des Géomètres (FIG) qui vise la standardisation du modèle cadastral (LADM).

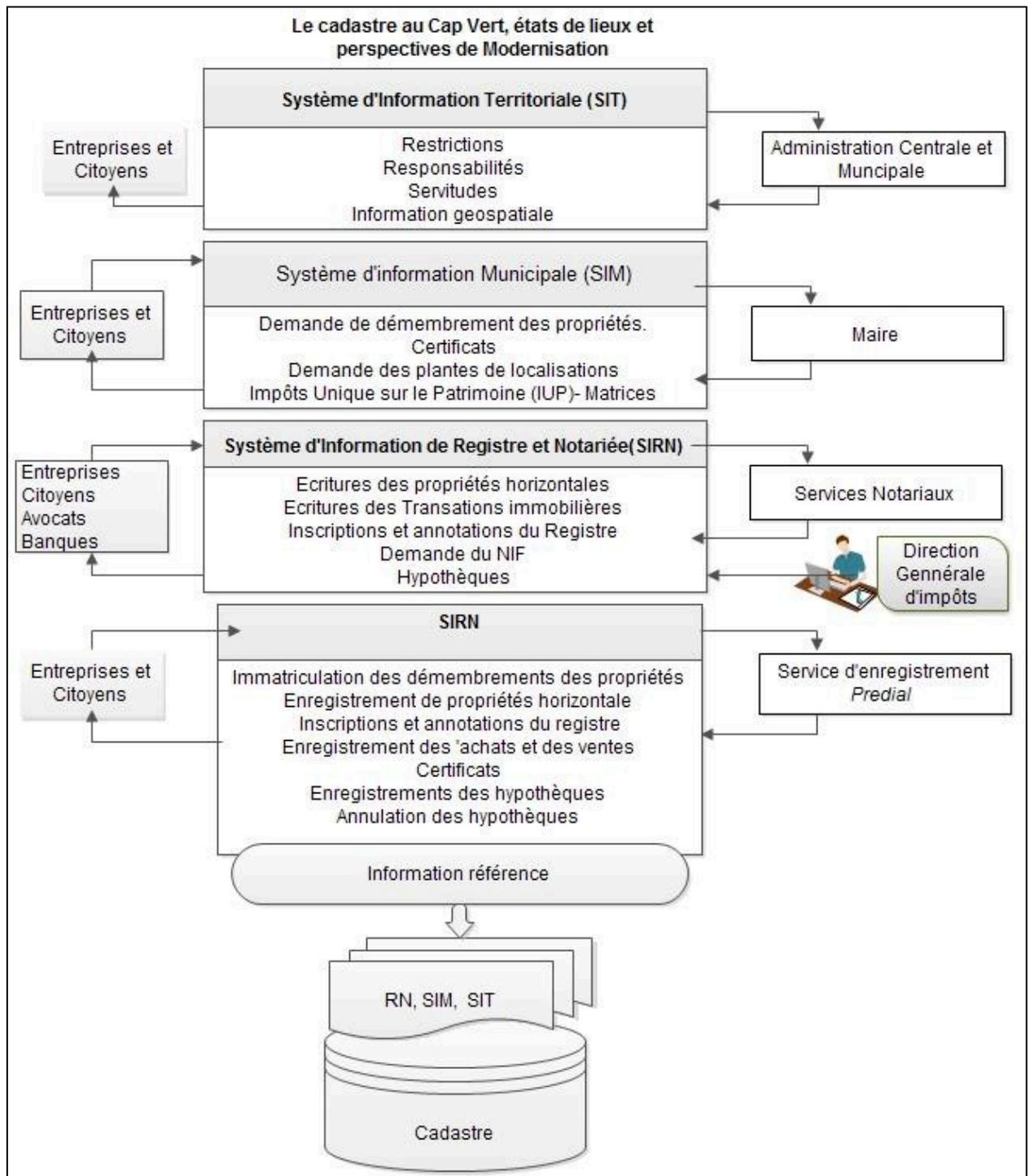
En orientant l'analyse sur le système qui est en train de se développer, on peut constater que la plateforme Infrastructure de Base de données Spatiales du Cap-Vert, l'IDE-CV⁵⁴, qui fonctionne en tant qu'outil intégré des différents modules de gestion foncière, constitue déjà une structure très favorable à l'incorporation de la gestion des risques naturels. Certes, à ce jour, le système d'information foncière à référence spatiale fonctionne de manière non-intégrée dans la majorité des mairies du pays, mais l'intégration du Système d'Information Municipal (SIM) et du Système d'Information d'Enregistrement et Notariat (SIRN) est déjà possible par le biais d'une clé unique dans le cadre du cadastre-pilote de certaines municipalités du pays. Certaines couches vectorielles ont déjà été téléchargées dans l'IDE-CV.

La carte des contraintes de Santiago élaborée dans le cadre de l'élaboration du Schéma Régional d'Aménagement du Territoire est un exemple de la faiblesse technique de ce type de document à l'égard du traitement des risques et suscite des interrogations sur l'échelle et le contenu que doit apporter chaque instrument de gestion territoriale. En effet, lorsqu'on jette un coup d'œil sur la carte des contraintes sur le site officiel du gouvernement (IDE-CV), on se rend compte que par rapport au risque d'inondation, la carte se limite à situer la rivière tout en masquant le classement des zones à risques. Donc une réflexion s'impose : quels instruments et quels contenus pour les risques devraient apporter les outils de gestion foncière ?

D'après la *Figure 4.3*, le modèle conceptuel en place pour la gestion du foncier que nous venons de présenter laisse entendre que les fonctionnalités envisagées dépassent la simple collecte des impôts et l'enregistrement des titres des propriétés, fonctions classiques du cadastre. Aussi d'autres objectifs sont-ils en perspective, à savoir l'aménagement du territoire ainsi que la gestion des risques. Par rapport à la gestion des risques naturels, quelles dimensions doivent être intégrées dans un tel système et comment ?

⁵³ Le sigle anglais RRR, qui signifie *Rights, Restrictions and Responsibilities*, est une classe du *Land Administration Domain Model* (LADM).

⁵⁴ Cf. <https://docplayer.com.br/2401131-Sistema-nacional-do-cadastro-predial-cabo-verde.html>



Source : Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de l'Habitat.
Adaptation d'une présentation à un séminaire international⁵⁵

Figure 4.3 : Le système d'information foncière au Cap-Vert

55

http://jornadas2012.grafcan.es/sites/default/files/presentaciones/I_REGISTROS/CABOVERDE_EudaMiranda_SNCPCV.pdf

4.2.3. Pourquoi faudrait-il plutôt privilégier un SIF ?

D'après la littérature spécialisée, le *système cadastral* constitue l'élément pivot du système d'information foncière (Williamson, 2001 ; Thellufsen, 2009). L'expression *système cadastral* renvoie parfois aux fonctions originelles du cadastre, à savoir à la fonction fiscale, à la fonction juridique, à la planification et à l'usage du foncier. Mais comme l'expression cherche aussi à traduire la multifonctionnalité du cadastre, *grosso modo*, il n'est pas différent du concept du système d'information foncière présenté précédemment. Dans le présent travail, on utilise donc indistinctement les expressions système d'information foncier et système cadastral vu que les deux concepts, d'un point de vue sémantique, ont le même sens.

Il faut souligner qu'à partir des années 70, on assiste à une accélération sans précédent du rythme de croissance urbaine, mais aussi à l'aggravation de la pauvreté dans certaines parties du monde et à la manifestation de catastrophes environnementales sur une échelle de temps de plus en plus courte et à une échelle spatiale étendue. Tous ces facteurs ont contribué à élargir les attributions des missions traditionnelles du système cadastral qui, désormais, devra jouer un rôle fondamental dans la lutte contre la pauvreté, pour l'intégration socio-économique des populations et pour la protection des populations les plus défavorisées.

Dès lors, comment et pourquoi envisager l'intégration de la gestion des risques naturels dans un Système d'Information Foncière ? Les travaux menés par les australiens, sous l'influence du professeur Williamson⁵⁶ ainsi que les recherches menées par l'ITC⁵⁷ et les travaux des canadiens développés sous la direction de Francis Roy⁵⁸ sont à ce propos remarquables.

Enemark (2009) et Chen, Chen, Zhao & Yu (2014) assurent que la gestion du risque naturel doit inclure des étapes distinctes, dès la prévention jusqu'à la mise en place des mesures de secours. En effet, ces auteurs défendent l'intégration du risque dans le système d'information foncière, de façon à répondre au défi de la société moderne. Pour l'essentiel, l'intégration sera facilitée par la disponibilité des technologies géo-spatiales. Ces mêmes auteurs proposent la délimitation des zones à risque dans les outils de gestion territoriale, ainsi que des mesures à mettre en œuvre, selon les contraintes recensées. Pour cela, il faut d'abord élaborer des cartes de territoire à risque tout en considérant leurs différents composants : l'aléa, la vulnérabilité et toutes les infrastructures critiques à l'égard de la gestion des risques.

En orientant l'analyse sur la proposition d'Enemark sur la gestion des risques naturels, on peut retenir les éléments importants. En premier lieu, c'est l'articulation entre les différents acteurs qui doit intervenir dans les différentes phases de gestion du risque. Deuxièmement, une telle gestion requiert la centralisation de l'information spatiale dans une base de données

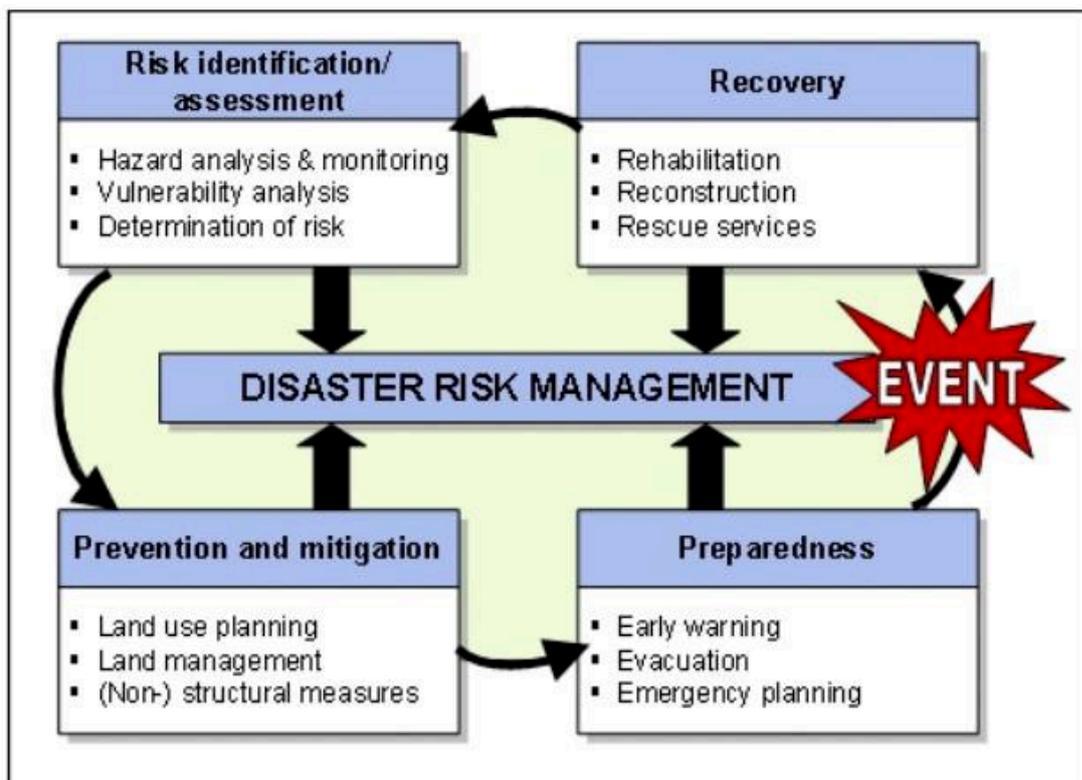
⁵⁶ Cf. <https://csdila.unimelb.edu.au/#publications>

⁵⁷ Les recherches menées par les chercheurs de l'Université de Twente, notamment Cess Van Weest et ses collaborateurs sur les Caraïbes sont très illustratives à cet égard.

⁵⁸ Cf. <https://www.scg.ulaval.ca/francis-roy>

distribuée. Par la suite, la base de données doit être géoréférencée de façon à permettre de répondre à la question du « où » essentielle dans cette gestion. Et pour conclure, on constate que la base des données territoriales constitue un répertoire de données de nature assez variable, dont la gestion demande la coordination de connaissances thématiques spécialisées.

Lorsqu'on analyse la formulation d'Enemark, on s'aperçoit que les différentes étapes de la gestion des risques (Figure 4.4) peuvent faire l'objet de traitements spécifiques en vue de leur intégration dans un Système d'Information Foncière. Dans le cas du Cap-Vert, à travers les plans d'aménagement du territoire, comme le Schéma régional d'aménagement (EROT) ou les plans d'urbanisme (PDM et PD), la prévention constitue une étape majeure. Cette étape doit être précédée d'une étude approfondie des risques pour une traduction spatiale : leur représentation cartographique dans les plans d'urbanisme doit être la plus complète et pertinente possible. Les autres étapes, comme l'intervention des secours impliquent au moins le cadastre dans des infrastructures critiques, notamment les routes, les structures de santé ainsi que les centres d'accueil. Évidemment, afin de couvrir toutes les étapes de gestion du risque (comme proposé dans le schéma ci-dessous), des études thématiques spécifiques sont nécessaires, notamment la cartographie de l'aléa, des enjeux, y compris les risques qui y sont associés.



Source : Enemark, 2009, p. 12

Figure 4.4 : Étapes de la gestion des risques

Ainsi, la base de données de gestion des risques doit avoir les informations et indicateurs utiles sur la vulnérabilité de la population y compris les infrastructures, soit d'appui, soit des

réseaux et des services publics. Certes, certaines informations requises pour la gestion font partie de la base de données du système d'information cadastral, mais d'autres font appel à des experts dans des domaines spécifiques. La production de connaissances scientifiques utiles à la gestion des risques nécessite donc de pouvoir manipuler cette base, alimentée par diverses sources.

D'autres auteurs, comme (Roy & Viau, 2011a) sont du même avis qu'Enemark lorsqu'ils affirment : « En effet, l'information cadastrale est dorénavant utilisée à des fins aussi diverses que la planification de l'aménagement, le contrôle de l'utilisation du sol, la prévention des risques naturels et le développement durable ». Cependant, ces auteurs n'expliquent pas comment cette intégration doit être concrétisée. Selon ces auteurs (2011, p.6) :

« La caractéristique majeure des systèmes cadastraux du futur sera leur polyvalence, en supportant les besoins d'information foncière et parcellaire d'une multitude d'usagers. La représentation cadastrale ne se limitera plus au seul morcellement foncier ; elle intégrera aussi de nouveaux « objets du territoire » faisant référence aux charges, obligations et restrictions particulières affectant la parcelle foncière (par exemple, les servitudes, les zones d'inondation, les milieux sensibles, etc.) ».

Cette proposition de Roy et Viau (2011a) montre une préoccupation pour la planification territoriale dans une perspective d'indexation de l'information dans une infrastructure de base de données spatiales qui permet l'exploitation du concept de parcelles en tant qu'« objet territorial ». Ainsi, la prise en compte du risque naturel dans les différents plans de gestion territoriale n'est pas nouvelle, mais leur intégration à l'échelle de l'unité d'habitation dans le système d'information foncière constitue un défi. Certains pays comme l'Allemagne ont déjà adopté le système d'enregistrement des titres des propriétés en considérant que la question du risque devait être prise en compte lors de planification territoriale. Autrement dit, la gestion de l'information cadastrale et la gestion territoriale et urbaine, y compris les risques, sont étroitement liées.

Compte tenu du fait que la mise en œuvre du système cadastral constitue une tâche lourde et coûteuse, beaucoup de pays restent focalisés sur l'objectif classique du cadastre, notamment fiscal, bien qu'ils disposent d'un cadastre moderne. Les auteurs sont d'ailleurs très explicites lorsqu'ils souhaitent intégrer les risques, notamment le risque d'inondation, en identifiant précisément les informations qui doivent être considérées. Un système d'information foncière peut avoir différents niveaux d'automatisation et il permet d'envisager tout un ensemble des routines et de croisements de données pour la gestion des risques naturels, soit pour la prévention, soit en cas d'urgence.

L'intégration et la gestion du risque dans un système d'information foncière a connu un essor important à la suite des conférences mondiales sur le développement durable de Rio, de Johannesburg et de Rio+20. À la suite des principes approuvés dans ces conférences, les organismes internationaux se sont penchés sur la thématique de l'administration foncière en tant que volet pour combattre la pauvreté, l'exclusion sociale et la protection des populations les plus défavorisées contre les désastres naturels. Ainsi, la FIG (Fédération Internationale des Géomètres) qui réunit des spécialistes de différents domaines a développé plusieurs outils de

gestion foncière, mais la gestion du risque n'apparaît pas évidente dans les travaux déjà engagés. Les spécialistes partagent les idées de développement des outils dans le cadre de SDI⁵⁹, tout en considérant la gestion du risque. La réflexion d'Enemark à laquelle on fait référence s'insère dans cette dynamique.

4.3. Un outil plus opérationnel pour l'administration foncière

La conception du SIF n'aurait par ailleurs pas d'intérêt si elle ne tenait pas compte du cadre de l'administration du foncier, parce que les politiques publiques qui visent les terrains à bâtir ont un impact direct sur l'appropriation des terrains et sur l'occupation de l'espace à différents niveaux de dangerosité. Dans cette optique, l'administration du foncier ne peut être séparée du régime économique qui caractérise les États, pour les phases de développement économique du territoire, à différentes échelles spatiales.

Nous ne discutons pas de l'administration foncière au sens large du terme, c'est-à-dire en prenant en compte toutes les dimensions économiques, les droits d'immatriculations, les transactions foncières (y compris la politique des ventes), même si ces aspects ont une relation directe avec l'appropriation, l'aménagement et l'usage du foncier. L'angle d'analyse privilégié est ce qui a un rapport avec la gestion et la planification du foncier, où les questions d'usage du foncier ont un impact sur les risques, tout en amplifiant ou minimisant les manifestations des aléas qui peuvent mettre en péril les citoyens. Dans le cadre de la gestion des risques naturels d'une façon générale et des risques d'inondation en particulier, les concepts-clés à prendre en compte sont la délimitation de périmètres, la réglementation et l'imposition de mesures restrictives dans l'occupation des zones susceptibles d'inondation.

4.3.1. Les missions allouées à l'administration foncière

L'administration du foncier a un sens conceptuel polysémique, eu égard à la multitude des enjeux inhérents au foncier en tant que ressource économique. La *Figure 4.5* présente un schéma classique d'une administration foncière qui intègre les risques naturels dans la planification des usages fonciers. Traditionnellement, l'administration prend aussi en considération les aspects juridiques, concernant les titres de propriétés et les questions de taxation immobilières par exemple. Mais l'augmentation des phénomènes naturels dangereux contraint à la réorganisation de ce modèle, où la gestion du risque par le biais de plans s'impose comme mesure stratégique pour la protection des populations, particulièrement les plus défavorisées.

⁵⁹ *Spatial Data Infrastructure*. Dans la nomenclature française, on utilise IDS – Infrastructures de Données Spatiales qui comprend les technologies, protocoles informatiques et dispositions légales et institutionnelles qui permettent l'accès et l'échange des informations entre différentes entités.

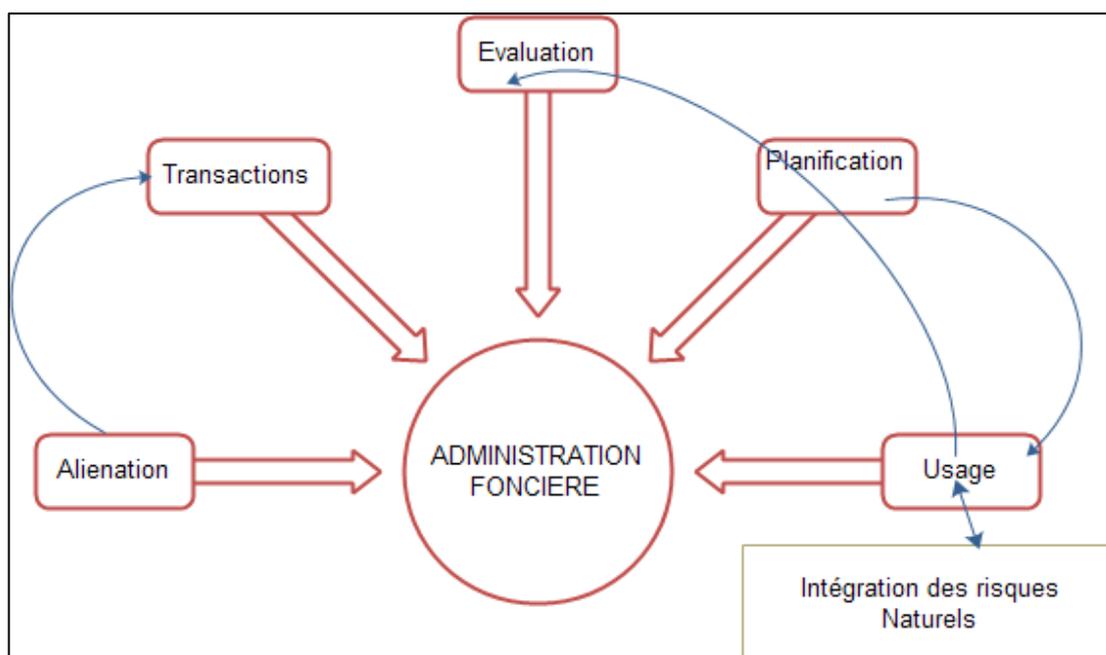


Figure 4.5 : L'administration foncière, modifié de Dale et MacLaughlin (2003, p.2)

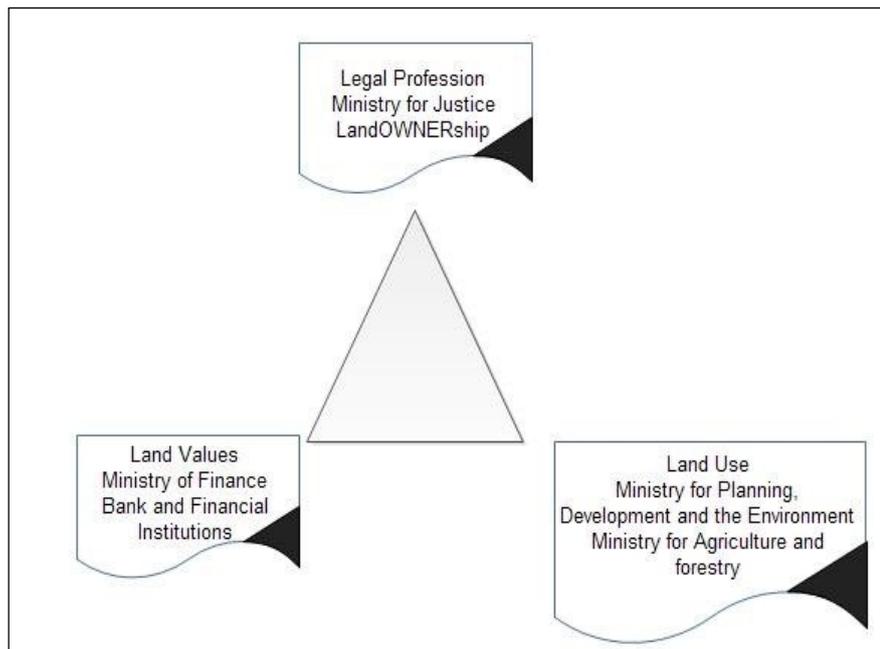
D'après le Glossaire du Foncier pour l'Afrique subsaharienne Centrale et Méridionale (Administration foncière, *n.d.*, p. 2), l'administration foncière est entendue comme regroupant :

« Ensemble des instruments, des règles et des institutions qui permettent d'assurer la gestion foncière dans un contexte légal, social et environnemental donné. Le terme d'administration foncière désigne plus précisément les processus visant à réguler la mise en valeur, l'usage et la conservation de la terre, la collecte des revenus provenant de sa vente, de sa concession et de sa taxation, ainsi que la résolution des conflits relatifs à son appropriation. L'administration foncière inclut donc le recueil et le traitement de l'information relative à la tenure, à la valeur et à l'usage du sol, ainsi que les tâches d'enregistrement des mutations et l'élaboration des documents cadastraux ».

Dans cette définition, on peut noter des éléments importants. D'abord l'administration foncière requiert une approche multidisciplinaire et intégratrice en tenant en compte de la multitude des fonctions du foncier. On peut se focaliser soit sur les aspects strictement fiscaux qui relèvent de Services des finances, soit sur la dimension vocation/usage qui demande une planification préalable normalement attribuée au Ministère de l'Aménagement du Territoire et aux services connexes qui, par le biais de l'élaboration et la mise en œuvre des plans de natures diverses s'en occupent. Une autre dimension de l'administration foncière porte sur les droits et les titres de propriétés, compétence normalement attribuée au Ministère de la Justice et les services connexes.

D'autres auteurs, comme Dale et McLaughlin (2003), assurent que l'administration foncière désigne « une activité du secteur public nécessaire pour assurer l'aliénation, la régulation, l'usage, l'évaluation et le commerce du foncier (p.1) ». L'idée centrale de cette

définition se rapproche de celle présentée précédemment. Autrement dit, l'administration foncière regroupe un ensemble de tâches partagées par différentes institutions, où l'État a un rôle central de régulateur et de planificateur, et où le secteur privé joue un rôle fondamental dans les processus de gestion comme dans les pays d'économie libérale. Le schéma suivant (Figure 4.6) présenté in Dale et McLaughlin (2003, p. 9) synthétise de façon claire le modèle conceptuel d'administration foncière en tenant en compte des compétences traditionnelles attribuées aux différents organismes étatiques de l'administration foncière.



Source : Dale & McLaughlin, 2003a, p.9

Figure 4.6 : Droit, valeur et usages du foncier

Les travaux de recherche développés dans le domaine de l'administration foncière portent particulièrement sur les dimensions économiques et la protection des droits (Soto, 2005) où la possession de titres est très importante, surtout dans les pays moins développés. En effet, la possession de titres d'immatriculation des propriétés est une condition nécessaire pour que les l'administration et la gestion des biens immobiliers fonciers puissent constituer une activité économique. La prise en compte de la protection de l'environnement et de la prévention des risques naturels s'impose alors dans l'Aménagement, comme en témoigne l'élaboration d'outils de gestion du territoire après la seconde guerre mondiale dans plusieurs pays⁶⁰. Il faut

⁶⁰ Au Portugal, les outils de gestion territoriale font référence à la délimitation et à la réglementation des zones à risque (cf. Décret lois N°115/2010 de 22 Août). En France dans les années 80, on assiste à la publication de lois obligeant à délimiter et réglementer les zones à risque. Le PPR (Plan de Prévention des Risques) est un outil qui montre clairement les efforts du pays pour atténuer les risques naturels. Pour l'essentiel, on peut admettre que le risque n'est pas absent des politiques de l'administration foncière, mais l'intégration du risque dans un système d'information visant l'efficacité reste pour le moment un objectif à poursuivre.

aussi rappeler qu'à l'origine, l'administration foncière ne concerne que les droits de propriété et la taxation. Néanmoins, à partir du moment où le développement durable a été envisagé comme un enjeu majeur par l'ONU⁶¹, la dimension gestion des risques naturels constitue un des piliers à considérer dans l'administration foncière.

4.3.2. Les évolutions de l'administration foncière cap-verdienne

On peut considérer trois phases distinctes dans l'administration foncière au Cap-Vert :

- une première phase, depuis la découverte des îles aux environs de 1460 par les portugais, jusqu'à l'Indépendance en 1975 ;
- une deuxième entre 1975 et 1990, qui correspond au régime de parti unique ;
- une troisième phase à partir de 1990 jusqu'à nos jours.

Durant la première phase, on assiste à une forte concentration foncière qui a permis la continuité du régime d'exploitation et la domination des grands propriétaires terriens. Au Cap-Vert, l'administration foncière a commencé avec l'institution du système des capitaines donateurs (Santos *et al.*, 2007, p. 47). Le capitaine donateur avait des compétences dans les procès civils et les procès criminels pour gérer le territoire et attribuer des terres à la population. L'Institut de la Recherche Scientifique Tropicale du Cap-Vert (1998, p. 59) assure qu'en tant qu'acteurs des donations, les capitaines ont eu le pouvoir de faire le partage du foncier des peuples colonisés sous le régime de « *sesmaria* »⁶² et décider des impôts dus aux donateurs. En effet, les détenteurs des terres qui sont des propriétaires descendant des européens ont profité de leur statut pour accumuler des biens fonciers. Dans ce contexte a émergé une classe bourgeoise locale dont la richesse provient de la propriété des terres et du commerce (Institut de la Recherche Scientifique Tropicale du Cap-Vert, 1998).

Pendant cette longue période de l'histoire, 515 ans, l'administration foncière a eu comme objectifs majeurs la collecte des impôts et les taxes agricoles. Dans ce contexte où l'urbanisation au sens moderne du terme n'existe pas, la question du risque d'inondation urbaine ne se pose pas. L'aménagement foncier se confond avec l'urbanisation au sens de design urbain, dont les aspects essentiels se traduisent par l'alignement des bâtiments dans les principaux noyaux de peuplement : tel est le cas du Platô (Plano de Salvaguarda do Platô, 2003).

Durant la deuxième phase, avec l'Indépendance et l'installation du régime économique étatisé, le gouvernement a fait une redistribution des terres aux paysans dans la perspective de garantir leur survie. Dans le cadre de ce régime politique et de ce contexte socio-économique où la majorité de la population est rurale, le foncier à bâtir n'a qu'une faible valeur marchande.

⁶¹ Cette initiative a débuté en 1972 lors de la Conférence de Stockholm. La Déclaration finale du sommet "Rio + 20", 22 juin 2012, a été éloquent à propos du risque naturel ; cf. La Déclaration, articles 186, 187, 188 et 189. http://www.adequations.org/IMG/article_PDF/article_a1151.pdf

⁶² Il s'agit d'une institution juridique qui, sous le régime du gouvernement de la colonisation portugaise, réglementait la distribution des terres pour récompenser les nobles.

Tant que la population était surtout rurale, la problématique de la gestion foncière de point de vue des risques naturels n'était pas un sujet majeur en dehors de la sécheresse qui est le risque entraînant le plus de mortalité au Cap-Vert selon les statistiques⁶³.

Ainsi, après l'indépendance du Cap-Vert en 1975, en considérant l'importance du foncier dans une société rurale, les immigrants ont investi dans les terres et les exploitations agricoles. Cette valorisation des terres agricoles s'explique par le fait que la majorité de la population vit en milieu rural où l'activité économique majeure était l'agriculture sèche. Cette troisième phase est marquée par le changement de régime économique et de gouvernance du pays en 1991. Une forte croissance urbaine a changé radicalement les rapports entre l'homme et la terre au Cap-Vert, c'est-à-dire que le foncier rural s'est décapitalisé et qu'au contraire, il y a eu une valorisation croissante des biens immobiliers en zone urbaine.

A partir des années 1990, on assiste à une reconfiguration du marché immobilier formel avec l'émergence d'une nouvelle classe d'entrepreneurs lié à l'immobilier, et au développement du marché informel. Dans ce nouveau contexte, les mécanismes d'administration foncière, les lois en cours et la dispersion des compétences dans les institutions se sont révélés inadéquats face aux nouveaux défis de l'administration foncière du pays.

C'est après l'Indépendance que naît une préoccupation pour l'aménagement du territoire comme en témoignent les plans d'urbanisme dans les 3 (trois) principaux noyaux urbains du pays. Mais c'est surtout après l'instauration de la démocratie, et après les années 2000, que les risques naturels font l'objet de considération et de traitement dans les plans et les outils de gestion territoriale au Cap-Vert. D'après Tavares (2014), le cadre juridique et institutionnel de l'administration foncière au Cap-Vert est défini par plusieurs ensembles de lois et décrets :

- la Constitution de la République ;
- les Lois sur les sols ;
- les Lois d'expropriation des sols ;
- les Lois de base de l'aménagement du territoire ;
- le Règlement juridique de la construction ;
- le Règlement juridique de la réhabilitation ;
- le Statut des villes.

En ce qui concerne le risque naturel, il n'existe pas d'instrument juridique spécifique. Il est vrai que les Lois de base de l'aménagement du territoire font appel à la nécessité de prendre en compte des zones à risques, mais d'une façon secondaire car les Lois de base ont besoin d'une réglementation en la matière. Quoiqu'il en soit, pour aborder les risques naturels, il faut signaler que les outils de gestion territoriale seuls sont insuffisants, d'où la nécessité de recourir à une législation complémentaire, indispensable pour la maîtrise des risques naturels. Comment les risques naturels sont-ils traités dans l'appareil législatif ?

⁶³ A ce sujet, cf. *L'histoire Générale du Cap Vert*. Vol.1, 200.

4.3.3. Des risques trop longtemps minimisés par l'administration

Comme on l'a déjà constaté, la législation relative aux risques naturels est éclatée dans plusieurs dispositifs juridiques, et donc disséminée dans différentes institutions qui n'ont parfois pas de relations entre elles, autrement dit exercent leurs fonctions de façon indépendante. En effet, les aspects concernant la gestion des risques naturels apparaissent dans les Lois de base de la Protection Civile, les Lois de base de l'Aménagement du Territoire, les Lois de base de l'Environnement, les Lois sur les Études d'Impact Environnemental, les Lois sur la Construction urbaine entre autres.

Dans ce contexte, l'efficacité de l'application des dispositifs législatifs dépend de la capacité de coordination des différents acteurs. Les lois existantes sont faites de propositions soit au niveau macro-échelle, soit au niveau micro-échelle. Dans le premier cas, les risques font l'objet d'études dans le cadre de l'élaboration de différents plans de gestion du territoire, y compris les mesures par le Ministère des Infrastructures et de la Gestion des Ressources en Eau lors de l'aménagement des bassins hydrographiques dont les mesures de réduction des écoulements de surface ont été adoptées. Dans le second cas, pour chaque bâtiment, c'est-à-dire à l'échelle micro, le Règlement de construction urbaine impose des contraintes en matière d'exécution des projets. Par rapport aux plans de gestion du territoire, les lois existantes proposent l'inclusion des risques dans les cartes de contraintes d'occupation du sol, avec des unités territoriales de différentes échelles spatiales. Les cartes de contraintes d'occupation du sol sont exigées en tant que pièces graphiques soit pour le Plan d'aménagement régional (EROT), soit pour le Plan Directeur Municipal (PDM), soit encore pour le Plan Détaillé (PD). Cependant, cette carte n'est pas suffisamment claire parce que ne sont pas explicités ni certains paramètres que doivent être considérés lors de l'usage des sols pour réduire les risques, ni quelles sont les expertises obligatoires pour élaborer les études concernant les risques naturels.

La question des échelles spatiales et temporelles est importante lorsqu'on envisage d'étudier les risques naturels. Concernant l'échelle spatiale, sauf pour le Plan Directeur Municipal (PDM) à grande échelle, 1/10 000, pour les autres outils de gestion territoriale, même s'ils font référence aux risques d'inondations, il nous semble qu'ils ne sont pas maîtrisables du point de vue opérationnel à cause de l'échelle inappropriée.

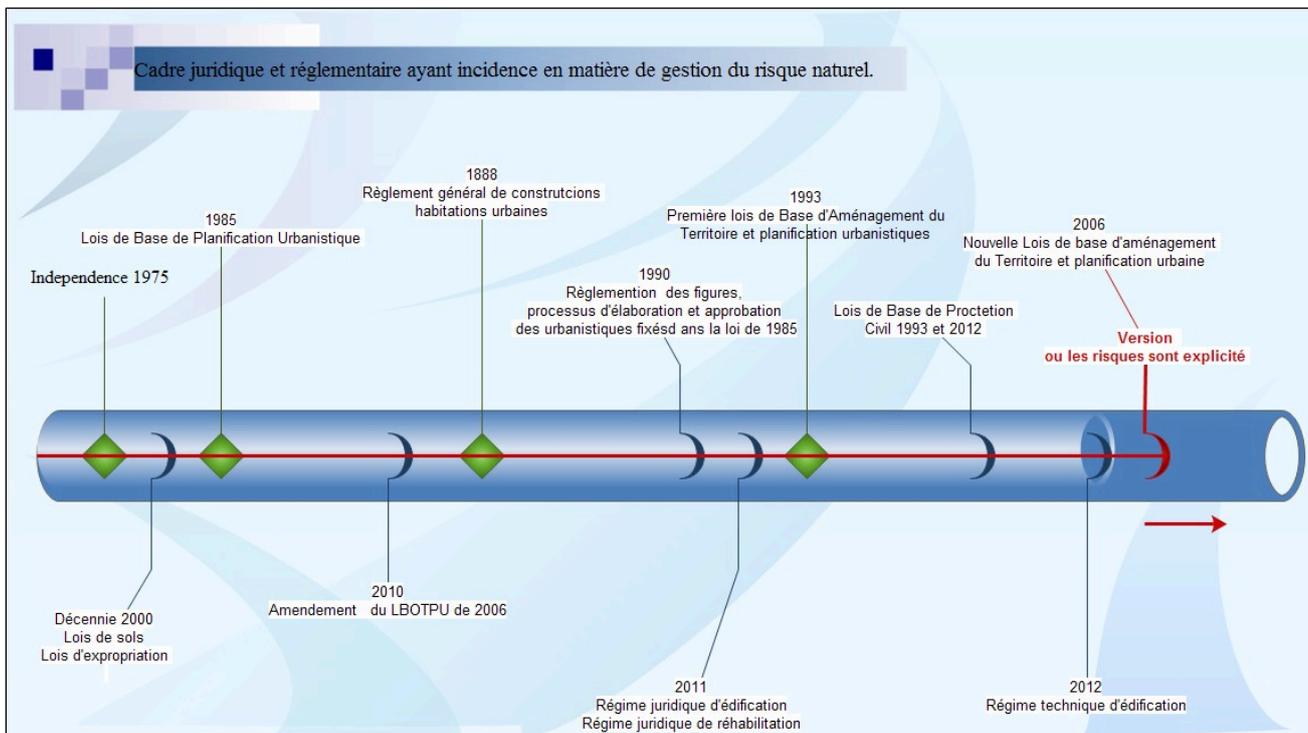
Ainsi, de notre point de vue, les outils de planification et d'usage du foncier existent pour respecter la légalité et relèvent ainsi de formalités. D'abord l'exécution technique est peu suivie, particulièrement pour le zonage des zones à risques. Ensuite, il n'existe pas suffisamment de capacité technique au niveau institutionnel pour surveiller le respect de la réglementation imposée par les plans. A micro-échelle, le Règlement juridique de la construction⁶⁴ prévoit, dans les autorisations de construire, des mesures pour la hauteur des portes par rapport aux routes qui servent de canaux d'évacuation des eaux pluviales.

⁶⁴ Règlement juridique de construction - Décret-Loi n° 18/2011 (Cf. article 18, point 2)

Les outils de planification territoriale qui ont déjà été élaborés par les différentes entités et validés par le gouvernement apportent les zones dites « à risque ». Néanmoins, en ce qui concerne l'inondation, la zone à risque se résume à un zonage (*buffer*) autour des rivières.

De notre point de vue, l'usage du concept de zone à risque dans le Plan Directeur Municipal (PDM) est, d'une certaine façon, inadéquat. C'est vrai que pour certains tronçons des rivières, les expositions sont significatives, mais les risques sont atténués par les mesures de résilience adoptées par la population.

Tavares (2014, p. 178) dresse ainsi un inventaire exhaustif de la législation cap-verdienne après l'Indépendance (*Figure 4.7*), où la question des risques naturels apparaît sous les « *items* » Contraintes d'occupation du sol, ainsi que dans le Règlement de la construction. En dehors du cadre des dispositifs juridiques de la planification territoriale, la Loi de Base du Service National de la Protection Civile apporte donc les éléments concernant la gestion des risques naturels.



Source : R. Correia, d'après Tavarès (2012, p. 80)

Figure 4.7 : Le cadre juridique et législatif de la gestion du foncier

En analysant la place des risques naturels dans la législation cap-verdienne, on constate que le sujet doit être approfondi. Ce constat est justifié par l'inexistence de lois spécifiques pour certains risques qui permettraient d'envisager des solutions pour réduire leurs effets. Bien que les lois d'aménagement du territoire aient été approuvées dans les années 90, l'élaboration d'un cadre juridique se fait de façon timide seulement dans les années 2000. En effet, jusqu'à l'année 2000, les risques naturels et l'inondation en particulier n'ont pas été pris

en considération par les organismes publics, parce que les gouvernements locaux n'ont pas adopté de plans de gestion territoriale, sauf les plans d'urbanisme qui, d'une certaine façon, prévoient une localisation sécurisée des constructions par rapport aux inondations. En général, ce sont des plans conçus par des architectes et géomètres qui s'engagent dans la réalisation de plans de construction sans que les connaissances des contraintes physiques du territoire soient dûment prises en compte.

A partir de l'année 2000, avec l'amendement de la Loi de base de 1993 de l'Aménagement du territoire et de la planification territoriale, on constate une amélioration des dispositifs législatifs de gestion du risque en imposant l'inclusion des territoires à risque dans l'élaboration des Plans d'Urbanisme. La délimitation des zones à risque dans ces plans est peu consistante pour les raisons qu'on a déjà évoquées dans le chapitre 3. Mais si l'on analyse la législation dans une perspective diachronique, on se rend compte qu'il y a une préoccupation réelle de protéger la population face à la dangerosité de l'aléa inondation.

L'ensemble de la législation concernant l'usage et l'occupation des sols, telle la Loi de base sur l'Aménagement du territoire N°57/II/85 du 22 juin qui inclut environ 28 articles et la loi N° 88/90 du 13 juin qui règlemente cette Loi de base, est peu explicite sur les risques naturels. En effet, dans cette décennie-là, la question des risques naturels n'était pas un sujet majeur. Néanmoins, la préoccupation du législateur pour le risque d'inondations est incontestable lorsque le Décret-loi N°88/90 de 13 août dans son Article N°2) aliéna j) stipule les critères des terrains constructibles, parmi lesquels « la définition de la cote de référence⁶⁵ », c'est-à-dire une mesure préventive visant la protection vis-à-vis de l'inondation. L'expression risques naturels apparaît pour la première fois de façon explicite dans la Loi de base de l'Aménagement du territoire de 1993, mais reste sans effet concret à cause de l'absence d'élaboration de plans dans le contexte des faiblesses institutionnelles et techniques jusqu'à aujourd'hui.

Pour les lois sur la délimitation des zones à risque au sens contemporain du terme, les premiers principes apparaissent dans la Loi de 1993, dans son article 8, Point 1) alinéa C) : « *Les bâtiments ne doivent pas être localisés dans les zones assujetties aux risques naturels, notamment les aires de drainage naturel, les zones à risque d'érosion sévère... et autres situations d'instabilité* » (p. 5). Malgré l'annonce de ces principes, le problème a été la mise en œuvre de lois élaborées pour la maîtrise du risque du point de vue des plans de gestion territoriale à caractère obligatoire. Face à l'inefficacité des outils mis en place dans les plans de gestion des risques, les constructions informelles à Praia se sont étendues en s'installant dans le lit majeur des rivières à un rythme relativement intense.

À ce propos, Tavares (2014) assure que du fait « *de la faiblesse institutionnelle, du manque de ressources et de vision stratégique par rapport à l'administration foncière, les résultats obtenus sont encore timides* ». Le Décret-loi N°43/2006, suivi de la révision apportée par le Décret-loi 2010, a permis d'améliorer la loi. Néanmoins, les anciennes pratiques d'occupation

⁶⁵ Traduction de l'expression « *Definição de cota de soleira* » en portugais.

de zones à risque se sont maintenues et, à cet égard, les autorités se montrent incapables de corriger la situation pour plusieurs raisons dont notamment celle à caractère électoraliste. Il est important de souligner la préoccupation des autorités pour les inondations urbaines qui se trouve aussi consacrée dans le Décret-loi N°130/88 du 31 décembre relativement au Règlement de la construction en milieu urbain. D'abord dans l'article 23, Point 1) alinéa C) qui porte sur « *Les conditions de mise en place de bâtiments en zone non urbanisée* », on assure que : « ... *il faut permettre un bon écoulement des eaux pluviales, sans néanmoins provoquer des problèmes d'inondations en aval* », (p. 658). L'article 26 va plus loin en interdisant l'édification de bâtiments en zone humide, sauf si elle est prévue dans le plan d'urbanisme détaillé dans lequel sont alors prises en compte des mesures de prévention.

Dans le cadre des outils juridiques existants, le pays a élaboré des Instruments de Gestion Territoriale (IGT) à plusieurs échelles. Le sujet des risques naturels apparaît dans les outils génériques appelés « *Cartes de contraintes d'aménagement du territoire* » qui proposent une délimitation des zones à risques. Par rapport à l'EROT (Schéma Régional d'Aménagement du Territoire) dont l'échelle se prête mal à un exercice de délimitation des zones à risque, il faut constater que le Plan Directeur Municipal et le Plan Détaillé d'Urbanisme peuvent constituer des outils importants de prévention des risques naturels en général et des inondations en particulier. L'élaboration et l'opérationnalisation des plans de prévention des risques ou de réduction des risques naturels, particulièrement le risque d'inondation, restent ainsi difficiles.

L'aspect positif de la publication des différents textes législatifs, c'est la contribution à la prise de conscience de la nécessité de mesures de réduction des risques, LBOTUP (Décret-Loi n°43/2010). Dans le même décret, l'Article 104 2b) fait appel à l'élaboration de cartes de contraintes d'occupation du sol délimitant les zones à risque. L'administration territoriale dépasse la simple planification physique d'occupation des espaces urbains. Les autres outils législatifs, comme la Loi de base de l'Environnement, les Lois de base de la Protection Civile complètent aussi les dispositifs légaux en matière de prévention et gestion de risques.

En résumé, en matière de gestion et prévention de risques naturels, les lois les plus importantes sont les lois d'aménagement et de planification du territoire qui exigent l'élaboration de plans à différentes échelles territoriales. Néanmoins, il faut noter que d'autres dispositifs légaux comme la Constitution de la République, les Lois de base de la Protection civile, le code de Construction Civile, les Lois de Base de l'Environnement disposent eux aussi de mécanismes légaux de protection de la population contre les effets des phénomènes potentiellement dangereux. Ainsi, la dispersion des lois est la conséquence directe des différents services qui ont des attributions diverses en matière de gestion des risques naturels.

4.3.4. Une diversité d'acteurs, source de complexité

Le Service de gestion foncière fait l'objet d'une gestion partagée entre plusieurs entités. La tutelle est le Ministère de l'Aménagement du Territoire qui est assisté techniquement par l'Institut National de la Gestion du Territoire (INGT). Cet organisme d'État a comme mission de réglementer et surveiller la mise en place des lois, la planification des usages des sols, tout en respectant les contraintes d'occupation du territoire, notamment les zones susceptibles d'inondation (Figure 4.8). En dehors de l'INGT, l'Agence Maritime Portuaire (AMP) gère la zone du domaine public maritime, c'est-à-dire une zone-tampon de 80 mètres à partir du trait de côte. Par ailleurs, à travers le Service des Actes Notariés et le Registre des Parcelles, le Ministère de la Justice s'occupe des immatriculations et des transactions immobilières.

La taxation des biens immobiliers et leurs transactions sont des rôles mis en œuvre par le Ministère des Finances et les Services de Finances locales attachés à la Mairie. Enfin le Service des impôts est déconcentré dans les Mairies qui sont les entités qui réalisent les documents d'urbanisme pour la gestion du territoire, tels que le Plan Directeur Municipal (PDM), le Plan du Développement Urbain (PDU) et le Plan Détaillé d'urbanisme (PD). Les Plans de niveau supérieur, en particulier la Directive Nationale de l'Aménagement du Territoire (DNOT) et le Schéma Régional d'Aménagement du Territoire (EROT) sont élaborés à l'initiative de l'État par le biais du Département de la Planification de l'Occupation des Sols. Les schémas suivants présentent une synthèse des attributions et des rôles des acteurs impliqués dans l'administration foncière et la gestion des risques en particulier.

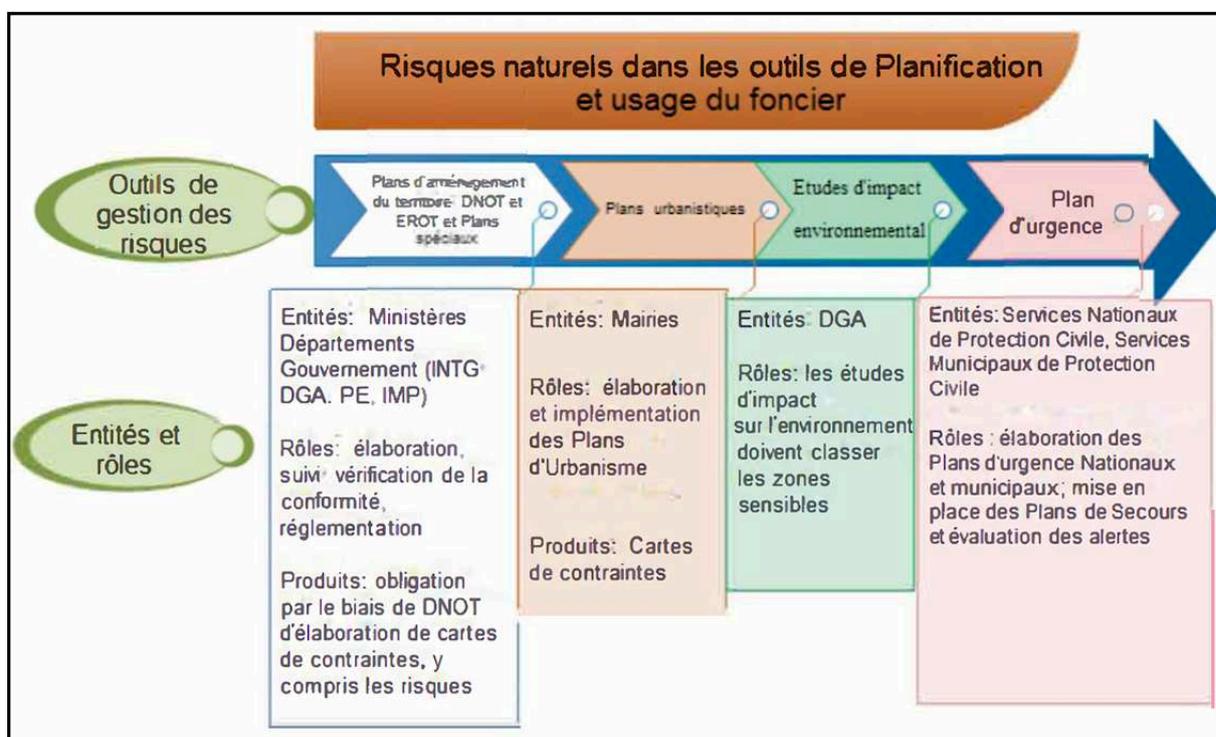


Figure 4.8 : Outils de prévention et gestion des risques naturels

Les compétences en matière de gestion de risques se présentent ainsi à deux niveaux : à celui du pouvoir central et à celui du pouvoir local. Ainsi, pour la gestion des risques naturels et des relations fonctionnelles entre les différents intervenants, les acteurs suivants ont été cartographiés (Figure 4.9). Commençons par le pouvoir central dont le rôle est la réglementation, la surveillance et, en cas de sinistre majeur, la décision de faire intervenir le Service de Protection Civile Nationale. Il est important de souligner le rôle de la Protection Civile stipulé dans la Loi de base N° 12/VIII/2012 pour la préparation et la mise place de mesures de réduction des pertes à la suite de catastrophes, mais surtout dans la phase de manifestation d'événements.

Dans ce cas, la Protection Civile sert de plateforme de coordination entre les différents Départements du Gouvernement. Le dispositif législatif mentionné auparavant dans l'Article 5 signale que le Service de la Protection Civile doit assurer, entre autres, la collecte, la prévision, l'évaluation et la prévention des risques. Le même Article indique aussi que l'État doit maintenir les citoyens informés par rapport aux risques. Pour réaliser sa mission, le Service central de la Protection Civile fait appel à plusieurs Départements du Gouvernement. Il est important de signaler le rôle joué par l'INGT dans la fourniture des données géoréférencées qui permettent aux différents acteurs de travailler en articulation.

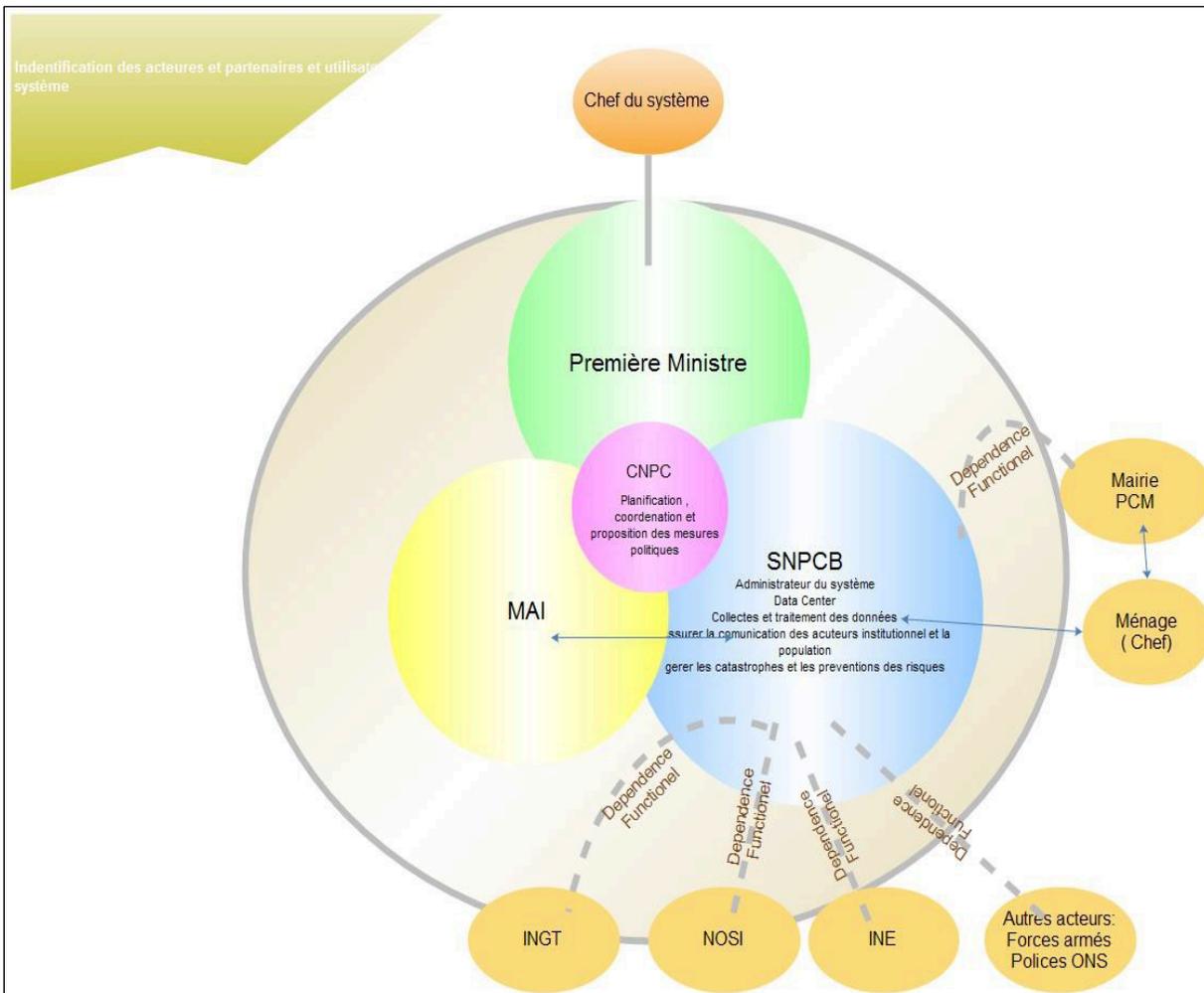


Figure 4.9 : Services impliqués dans la gestion des risques au Cap-Vert

En qui concerne le pouvoir local, il dispose d'un service de Protection Civile Municipale (déconcentration du pouvoir central) et son action est d'intervenir essentiellement au cours et après la crise, mais également dans l'élaboration de Plans d'Urgence pour réduire les effets des écoulements pluviaux. Autrement dit, les mairies disposent d'outils techniques et juridiques tels que les plans d'urbanisme et un ensemble de règlements qui permettent, soit la prévention des risques, soit d'intervenir pendant la crise en secourant les sinistrés ou après la crise pour atténuer les effets des dommages.

A travers sa politique de modernisation de l'administration publique, l'État propose depuis 2010 une centralisation de la gestion des terres à travers une base de données cadastrales (expérimentation en cours) avec pour objectif de disposer d'un système intégré d'information territoriale qui évolue vers une Infrastructure de Données Spatiales (IDS). Un système de gestion des titres des propriétés est en cours de mise en place et est géré par une plateforme informatique appelée « LIMITS ». Il assure la maintenance et le stockage des immatriculations, mais aussi la sécurisation des droits de titres de propriétés dans les îles plus touristiques : l'île de Sal, Boavista, Maio et Sao Vicente. A l'avenir, le système prétend inclure le volet risque, et il fait déjà l'inventaire des zones sensibles.

4.4. Éléments de discussions

La gestion des risques naturels doit être analysée en considérant les forces et les faiblesses des plans d'aménagement du territoire, d'urbanisme et les plans d'urgence. A ce titre, il faut mobiliser les ressources humaines et financières pour que les dispositifs existants soient mis en place et qu'ils tendent vers toujours plus d'opérationnalité, dans un processus d'amélioration continue. Le *Tableau 4.1* résume les expertises recueillies auprès d'un spécialiste conseiller du gouvernement et d'un consultant privé dont l'entreprise a participé à l'élaboration des plans d'aménagement. Les faiblesses y sont bien plus nombreuses que les forces, et le SIF que nous voulons mettre en place est l'occasion de remédier à un grand nombre.

Du côté du Service de la Protection Civile, les experts n'ont pas formulé d'appréciation lors de l'entretien, même si la protection civile a un rôle important dans la gestion du risque. A l'issue des entretiens directs menés auprès des Services de Protection Civile Nationale ou Municipale (*Tableau 4.2*), on est amené à faire des constats complémentaires :

- la protection civile municipale intervient dès la préparation du Plan d'Urgence mis en place lors de la situation initiale (*Tableau en Annexe*) pour réduire les effets de la pluie ;
- le manque d'expertise dans la préparation de ces documents est manifeste, comme en témoigne la photo de la visite sur le terrain pour élaborer un PEM ;
- l'élaboration du Plan d'Urgence contribue néanmoins à la mobilisation des ressources, à la sensibilisation de la population ainsi qu'à l'atténuation des situations critiques ;

Plans d'aménagement du territoire et plans d'urbanisme en tant qu'outils de gestion des risques naturels	
Forces	Faiblesses
Ce sont des lois qui réglementent les usages et l'occupation des sols et ont un caractère obligatoire	Pour les risques naturels, le zonage n'est pas évident. Dans le processus d'élaboration des outils, il n'y a pas suffisamment de compétences techniques dans certains domaines comme la cartographie des risques naturels d'une façon générale et du risque d'inondation en particulier.
Demande de classement des zones à risque, mais pas encore de lois spécifiques. Les zones à risques sont nécessaires pour la fabrication de cartes de contraintes.	L'inexistence d'une culture institutionnelle pour appliquer la loi est notoire. Les faibles articulations entre les services ainsi que la dispersion, la superposition des règlements et des compétences, ne favorisent pas l'application de la loi.
Il s'agit d'instruments où les différentes entités peuvent discuter et partager leur conception des zones à risque et des mesures qui en découlent pour l'urbanisation.	Les lobbies et la difficulté de la mairie à délivrer des autorisations de construire servent de prétexte pour s'installer en zone interdite du point de vue des risques naturels et des inondations.
L'élaboration des outils permet aux autorités de mettre en place des mesures à caractère préventif, notamment pour la construction de bâtiments dans les zones à risque.	Il manque une autorité de supervision et de vérification de la conformité. Fragmentation des zones à risque dans plusieurs outils de gestion territoriale, à plusieurs échelles.
Lois en vigueur	
Forces	Faiblesses
La législation est assez vaste, moderne et en ligne avec ce qui a déjà été fait ailleurs, notamment au Portugal.	Dispersion des institutions et lois parfois mal ajustées aux réalités sociales et culturelles du pays. Les transpositions législatives sans tenir suffisamment compte des particularités locales.
Existence d'instances de vérification de conformité, soit au niveau des départements relevant des pouvoirs central et local, soit au niveau juridique.	Les lois sont parfois excessivement longues, en incluant beaucoup d'articles et en perdant de vue l'essentiel du problème à régler.

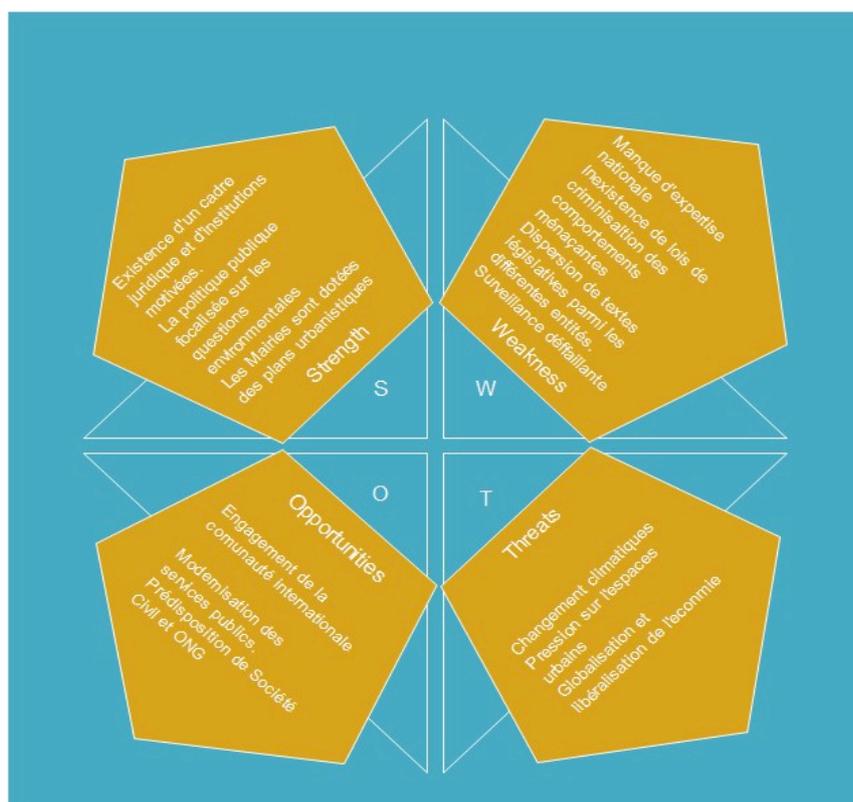
Tableau 4.1 : Analyse des experts du risque naturel dans la législation cap-verdienne

Ressources institutionnelles (ressources humaines, articulation entre Départements du Gouvernement et entre Départements et Services de la Mairie)	
Forces	Faiblesses
Mise en place d'un ministère très préoccupé par ce domaine de l'aménagement du territoire. Création de Services d'État distincts.	Difficulté d'articulation entre les services, tout en cherchant les interlocuteurs
Ressources humaines jeunes et motivées	Déficit de culture du risque
Les entités gouvernementales sont sensibles aux questions d'aménagement et de prévention des risques et s'appuient sur plusieurs accords internationaux.	Pas de vision prospective. Incapacité à prévoir avec certitude les événements. Inexistence d'une culture scientifique d'institutions dotées de moyens pour la recherche sur la qualité des informations fournies pour l'aide à la décision

Tableau 4.2 : Analyse des experts de services de gestion des risques

- le Service de Protection Civile Nationale, dont l'attribution majeure donnée par la loi est de créer un cadre normatif, de faire de la planification et de mener des études, se trouve limité dans sa capacité de réponse à cause de l'insuffisance de moyens humains et matériels.

La conclusion peut également être présentée sous la forme d'une grille d'analyse SWOT (Figure 4.10), qui synthétise les éléments obtenus lors des interviews et les constats faits sur le terrain. Dans ce diagnostic de situation, la gestion des risques naturels semble dépendre d'un ensemble d'éléments qui permet la production de connaissances scientifiques nécessaires à une gestion, protectrice du patrimoine naturel et biologique. Mais dans la situation actuelle, la rareté des données et leur fiabilité, lesquelles découlent d'un manque de réseau d'observatoires de collecte de données sur des phénomènes dangereux, sont discriminantes. Par ailleurs, l'institut de recherche ne dispose ni des moyens en termes de ressource humaines et financières, ni d'une culture de recherche dans ce domaine.



Source : Élaboration propre, d'après des entretiens avec des experts nationaux
Figure 4.10 : Analyse SWOT de la gestion du risque inondation à Praia, Cap-Vert

Conclusion du chapitre 4

Dans les pays d'économie libérale, comme le Cap Vert, la conséquence de la spéculation immobilière est que le prix des terrains à bâtir a augmenté de façon significative, en les rendant inaccessibles à une partie importante de population, surtout la plus défavorisée. On assiste donc à une occupation croissante des zones à risque, ce qui demande une attention particulière des gestionnaires du foncier pour informer les citoyens des risques encourus. Face à ce constat, le contexte du Cap-Vert se révèle pertinent pour la création et la mise en œuvre d'un Système d'Information Foncière. La modernisation de l'Administration Publique, avec l'introduction des nouvelles technologies pour la gestion de l'information, constitue un facteur opportun qui peut légitimer cette démarche. L'État a mis en œuvre une plateforme qui centralise les informations publiques sur un serveur géré par le NOSI placé au Ministère des Finances, et dispose de terminaux décentralisés dans les Départements ministériels et les municipalités. Le Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire, par le biais de l'INGT, est responsable du téléchargement du volet Infrastructures de Données Spatiales du Cap-Vert (IDECV), qui est en train de se développer⁶⁶, ainsi que du Système de Gestion de l'Information et de Transaction des Terres (LMITS⁶⁷). Ainsi le système en place en incorpore déjà les servitudes, ce qui traduit cette vision multifonctionnelle du système de gestion foncière cadastrale.

Conçu comme une base de données à références spatialisées, le SIF permettra d'intégrer différents sous-systèmes de données, tels que le modèle numérique du terrain (MNT), les cartes thématiques à l'échelle municipale, ainsi que les réseaux et les unités d'habitation intégrées dans le *système cadastral*. L'unité de base du SIF pour gérer les risques naturels doit être l'unité d'habitation, selon nous, car le risque ne peut être analysé hors du contexte où il s'insère, c'est-à-dire l'environnement géographique et institutionnel. Une architecture intégrée de la base de données spatiales permettra par ailleurs l'intégration de données dans un Système de Gestion de Base de Données (SGBD) unique. Cette architecture qui s'est beaucoup développée permet l'intégration de données électroniques, collectées à travers des dispositifs mobiles sur le terrain, ce qui se traduit notamment par un gain du temps.

Par ailleurs l'alimentation de la base de données doit tenir compte de la démocratisation en cours de l'information géographique dans laquelle la participation citoyenne devient par ailleurs de plus en plus fréquente et conduit à mettre en place une solution web pour le partage de l'information géographique. Une nouvelle génération de SIG est ainsi en train de se développer sous le terme de SIG participatif, que Mericskay (2017) définit ainsi :

« Les systèmes d'information géographique participatifs sont des SIG développés en partie par (et pour) le public (des individus, des groupes locaux), dans le but de favoriser la participation des parties prenantes dans les processus de gestion territoriale locaux (collecte de données, opérations de cartographie, décision territoriale etc.) ».

⁶⁶ <http://www.idecv.gov.cv/index.php/pt/>

⁶⁷ *Land Management Information & Transaction System*. Il s'agit d'une application informatique pour gérer l'information cadastrale. L'opération en cours vise seulement l'information juridique, c'est-à-dire la clarification des droits des titres de propriété.

Chapitre 5 - Conception du système et premier résultats obtenus

Introduction du chapitre 5

Après avoir exposé les avantages à attendre d'un SIF, cette section présente la méthode mise en œuvre pour évaluer les vulnérabilités et les risques à l'échelle de la ville de Praia. Fait original : nous intégrons dans la plateforme et les indicateurs la participation des riverains dès la phase amont de construction du processus. La conception passe par la mise en place d'une base de données à référence spatiale, avec un composant web visant l'intégration de différents indicateurs. Nous présenterons dans un premier temps les études de modélisation hydrologique visant la délimitation de la zone inondable de Praia ; seront par la suite analysées les limites de l'apport des outils de modélisation hydraulique et hydrologique dans un contexte géomorphologique volcanique semi-aride où, au-delà des cours d'eau bien définis, existent des situations de ruissellement soudain à travers des ravinements difficilement modélisables par des outils de modélisation qui exigent une délimitation des berges.

La délimitation de zones inondables s'ajuste mieux dans un territoire où les cours d'eau sont bien définis et où la plaine d'inondation (*floodplain*) présente des traces assez évidentes pour déterminer les berges de façon acceptable. Dans un contexte d'intense ravinement des sols à cause des pluies à caractère torrentiel associées à des fortes pentes, le ruissellement se produit un peu partout, d'où la difficulté à délimiter les berges en vue d'une modélisation hydrologique. Ainsi, beaucoup de maisons envahies par les crues restent-elles en dehors de la zone inondable parce qu'elles sont situées au pied de versants à forte pente. La section se termine par la présentation d'indicateurs de risques, en fonction du croisement de données d'aléas et d'indices de vulnérabilité calculés précédemment.

Le chapitre présente ensuite les matériels cartographiques et les technologies utilisées, le composant web du système, y compris le système *SIG Desktop* pour la visualisation et l'analyse des données, ainsi que les résultats obtenus. Pour finir, nous nous focalisons sur la modélisation du système d'information en utilisant le langage unifié de modélisation (UML).

5.1. Indicateurs créés pour évaluer les vulnérabilités

Comme déjà évoquée, étant donnée l'insuffisance des données sur les précipitations et des paramètres hydrométéorologiques pour valider les données issues des modélisations, nous avons privilégié une approche semi-quantitative pour créer des indices de risque d'inondation des logements de façon plus ou moins empirique. Avant de présenter la modélisation du système d'évaluation de la vulnérabilité, il est nécessaire de présenter les variables et critères retenus dans le cadre de cette recherche, la justification de leur choix ainsi que les pondérations affectées aux différentes modalités.

5.1.1. Choix des variables retenues et pondérations appliquées

Après l'analyse exhaustive de la littérature sur l'évaluation de la vulnérabilité, nous avons choisi de nous inspirer des méthodologies proposées par Aviotti (2011), Barroca, Pottier et Lefort (n.d.), Chauviteau et Vinet (2006) pour dégager un outil web qui permet d'intégrer la population dans le processus d'évaluation de leur vulnérabilité. Ce choix méthodologique est en partie dû à l'insuffisance des données quantitatives et impose ainsi une méthode semi-quantitative.

En effet, en se penchant sur la vulnérabilité humaine et territoriale, la géographie requiert une analyse empirique, fondée sur des données collectées notamment auprès de la population par le biais d'enquêtes. Ainsi, la méthodologie proposée pour dégager les indices de vulnérabilité se structure autour de deux axes fondamentaux, à savoir la conception d'une base de données à référence spatiale, et la mise en place d'un questionnaire en ligne qui englobe des variables définies avec un système de pondération des réponses.

Nous sommes pleinement en accord avec Renard & Soto (2014, p.3) quand ils proposent que « *L'évaluation de la vulnérabilité territoriale repose sur un recensement le plus complet possible des enjeux du territoire ; puis une méthode d'aide à la décision, fondée sur le jugement d'experts, permet d'en évaluer leur vulnérabilité* ». Un recensement préalable constitue ainsi une étape fondamentale pour disposer d'informations sur les spécificités locales des modes et matériaux de construction et sur les caractéristiques socioéconomiques et culturelles de la population. Ces éléments servent de bases à la formulation des questionnaires qui comportent les variables et les indicateurs qui définissent la vulnérabilité.

Les variables retenues dans le cadre de notre étude ont été regroupées en trois catégories de vulnérabilités, à savoir :

- la vulnérabilité physique des bâtiments ;
- la vulnérabilité humaine et socioéconomique des individus qui occupent les logements ;
- la vulnérabilité géographique et environnementale.

En s'inspirant de la méthode d'analyse multicritères proposée par certains auteurs (Barroca *et al.*, 2005 ; Saint-Martin, 2016) on considère, pour chaque type de vulnérabilité, plusieurs variables qui, à leur tour, se déclinent en plusieurs modalités qui ont fait l'objet de pondération. Un aspect essentiel de la méthodologie est l'estimation du poids des critères par le biais d'une échelle de pondération.

Nous nous inspirerons pour cela du travail développé par Chauviteau et Vinet (2006). Ainsi, l'échelle de pondération adoptée présente des valeurs entre -2 et 3. Les valeurs négatives, notamment (-1) et (-2) traduisent une situation de réduction de la vulnérabilité suite à la mise en place de mesures de résilience. Le zéro (0) traduit une situation où il n'y pas de vulnérabilité. Lorsque la vulnérabilité s'accroît, on attribue les notes 1, 2 et 3 pour traduire une vulnérabilité respectivement faible, moyenne et forte.

La crédibilité du jugement requiert un travail multidisciplinaire et participatif. Nous avons pour cela mobiliser les expertises des techniciens du Service de la Protection Civile Municipale de la Mairie de Praia, des ingénieurs et de la population. S'agissant d'une application web dont la gestion est la responsabilité des Services qui ont des compétences en matière de gestion des risques naturels, le démarrage du processus d'évaluation de la vulnérabilité administrant les questionnaires auprès de la population constitue une mission de ces Services.

Dès qu'une enquête est dûment remplie via une application web mobile auprès de chefs de ménages sur le terrain, une note est attribuée aux bâtiments et aux ménages. La qualité de la classification de la vulnérabilité de chaque foyer est fonction des données fournies par les chefs de ménages. Ainsi, la validation des données se fait après la vérification des données et est de la responsabilité d'une équipe d'évaluateurs crédibles.

Le *Tableau 5.1* synthétise les catégories de vulnérabilité et les variables retenues dans le cadre de cette recherche. Les variables ont été choisies à partir d'un travail sur le terrain, d'une recherche bibliographique et d'une consultation des Services de la Mairie.

	Types de vulnérabilité		
	Vulnérabilité physique des bâtiments	Vulnérabilité humaine et socioéconomique	Vulnérabilité géographique et environnementale
Variables	Bâtiment_type	Sexe_chef_ménage	Distance au cours d'eau
	Bâtiment_Qualité_fondation	Âge_chef_ménage	Contexte géomorphologique
	Bâtiment_type_matériaux construction	État_civil_chef_ménage	Accumulation déchets
	Bâtiment_matériaux_revêtement_sol	Niveau_instr_chef_ménage	Accessibilité
	Bâtiment_matériaux_revêtement_interne	Statut_profession_chef_ménage	
	Bâtiment_matériaux_revêtement_externe	Salaire_mensuel	
	Sous_sol	Autres_sources_revenus	
	Sous_sol_fonction	Taille_ménage	
	Nbre_étages	Nbre_personnes_handicapées	
	Âge_bâtiment	Nbre_Personnes_âgées	
	Plan_Arch_approuvé_Mairie	Nbre_enfants	
	Bât_suivi_construction	Nbre_chômeurs	
	Hauteur_plancher_porte	Dépenses_moy.mensuelles_ménage	
	Porte_orientée_cours_d'eau	Pertes_potentiel_électroménager	
	Invasion_crues	Titre de propriétés	
		Perception_crues	
Mesures de résilience			
	Construction de mur		
	Déviation de l'écoulement de l'eau		
	Augmenter la hauteur du seuil de la porte d'entrée par rapport à la cote de référence		

Tableau 5.1 : Catégories de vulnérabilité considérées dans l'étude

Pour l'évaluation de la vulnérabilité physique des bâtiments, nous avons retenu 15 variables intrinsèquement liées aux qualités de construction, et 4 variables pour quantifier la vulnérabilité géographique et environnementale. Un ensemble de 16 variables est proposé pour évaluer la vulnérabilité humaine et socioéconomique des ménages. La définition des variables peut varier en fonction du contexte territorial et socioéconomique.

Chaque variable est subdivisée en plusieurs modalités qui prennent des valeurs dans l'intervalle considéré, c'est-à-dire entre -2 et 3. Afin d'illustrer cette méthode, nous présentons le *Tableau 5.2* qui présente les modalités considérées afin d'évaluer la vulnérabilité physique (Cf. *Annexe VI* : Modalités retenues pour les autres catégories de vulnérabilité). Les travaux sur le terrain et les entretiens avec les chefs de ménages ont été décisifs dans la définition des variables, des modalités et pour la pondération.

Variables		Modalités	Notes
-Vulnérabilité physique de bâtiment	Type Bâtiment	Bâtiment simple à rez-de-chaussée non fini	3
		Bâtiment simple à rez-de-chaussée fini	2
		Immeuble non fini	2
		Immeuble fini	0
		Partie de bâtiment	3
		Habitation précaire	3
	Bâtiment_qualité_fondations	Bonne	0
		Moyenne	1
		Mauvaise	3
	Bâtiment_Type_matériaux construction	Pierre	1
		Briques	0
		Pierre et briques	0
		Béton	0
		Bois et autres	3
	Bâtiment_matériaux_revêtement_interne	Sans aucun revêtement	3
		Revêtu et sans peinture	1
		Revêtu et peintes	0
		Sans aucun revêtement pierres visible	3
	Bâtiment_matériaux_revêtement_externe	Sans aucun revêtement brique visible	3
		Revêtu et peintes	0
		Revêtu et non peints	1
		Revêtement mural d'azulejos	0
		Revêtement en béton	1
	Matériaux_revêtement_sol	Revêtement en bois	3
		Sol en mosaïque	0
		Autres (synthétique, liège)	3
		Marbre / granit	0
		Terre	3
		Oui	3
	Sous-sol	Non	0
		Voitures	2
		Commerce	3
	Sous-sol fonction	Autres usages	0
		1 étage	3
		4 étages	3
	Nombre d'étages	2 étages	0
		3 étages	2
		Avant 1975	3
		De 1975 à 1990	2
	Âge du bâtiment	1990 à 2000	1
A partir de 2000		0	
Ne sais pas/indéfini		0	
Oui		0	
Plan-architecture approuvé par la mairie	Non	3	
	Dirigée par le propriétaire	3	
Bâtiment_supervision_construction	Mairie et ingénieurs civils	0	
	Maître d'œuvre	2	
	Inférieur à cote des routes	3	
Hauteur_plancher_porte	Supérieur à cote des routes	0	
	Porte orientée vers cours d'eau	3	
Porte orientée vers cours d'eau	Porte opposée orientée à l'écoulement	0	
	Jamais	0	
Invasion crues	Quelquefois sans perte (< 5 fois)	1	
	Parfois avec pertes	2	
	Souvent (> 5 fois)	3	
	Toujours	3	

Tableau 5.2 : Vulnérabilités physiques des bâtiments et modalités retenues

5.1.2. Caractérisation des premières variables retenues

Considérant que les variables qui définissent la vulnérabilité sont fortement influencées par le contexte socioéconomique et culturel, il paraît important de justifier les choix de certaines variables. Les choix ont été faits en s'appuyant sur la littérature dans le domaine et surtout d'après les collectes des données par le biais des entretiens avec la population résidente et les techniciens des services concernés, ainsi que l'observation directe sur le terrain. Pour la vulnérabilité physique des logements, certains paramètres font l'objet d'une analyse tout en prenant en compte le patrimoine architectural local.

a- Type de logement

Pour la typologie des logements, nous avons repris le classement de l'Institut National de Statistique (INE) du Cap-Vert, qui propose les catégories suivantes : immeuble, bâtiment classique à rez-de-chaussée achevé, bâtiment classique à rez-de-chaussée non fini et logement précaire (partie de maison). D'un point de vue théorique, les immeubles représentent les capacités financières de leur propriétaire et par conséquent leur prédisposition de moyens à se protéger et à se rétablir en cas de catastrophe. Le rez-de-chaussée +1 étage aide par exemple à se protéger en montant à l'étage supérieur en cas d'inondation. On attribue ainsi un poids de valeur 3 à un bâtiment à simple rez-de-chaussée non fini et 2 à un bâtiment à simple rez-de-chaussée achevé. Pour les logements précaires (partie de maison), nous considérons qu'ils ont un impact négatif sur le niveau de vulnérabilité, la note 3 a donc été affectée. Pour les immeubles finis à 2 étages, on a attribué la note 0. Ils sont donc non vulnérables du point de vue de leurs caractéristiques physiques. En résumant la typologie des bâtiments, 4 types sont pris en compte en matière d'évaluation des vulnérabilités intrinsèques (*Figure 5.3*).

- Les logements de **type I** comprennent l'ensemble des immeubles finis, y compris ceux qui sont clandestins. En effet, compte tenu des matériaux employés, ils offrent une résistance majeure d'un point de vue structurel.
- Les logements de **type II** englobent tous les rez-de-chaussée finis, c'est-à-dire dont les murs extérieurs sont totalement enduits, les effets d'infiltration étant au moins atténués par les propriétés imperméabilisantes des enduits.
- Dans le **type III**, on considère les rez-de-chaussée non finis. Ce sont le plus souvent des constructions d'origine illégale qui s'agrandissent peu à peu. Ces bâtiments aux murs sans revêtement constituent une fragilité par rapport aux crues du fait des risques accrus d'infiltration. Par ailleurs, le fait que ces logements ne soient pas finis entraîne une grande probabilité d'entrée d'eau par les ouvertures.
- La dernière classe, le **type IV**, comprend les maisons précaires. Ce sont des maisons très partiellement construites, dont la construction est faite de matériaux de mauvaise qualité, comportant parfois des morceaux de métal, de bois et des blocs de béton de qualité très variable.



Source : Photos R. Correia

<i>Logement de type IV : partie de maison</i>	<i>Logement de type III : rez-de-chaussée non fini</i>
<i>Logement de type II : rez-de-chaussée fini</i>	<i>Logement de type I : immeuble fini</i>

Figure 5.3 : Types d'habitation, ville de Praia, Cap-Vert

On reviendra sur les critères qui ont servi de base pour établir la typologie des bâtiments. Le contexte et l'emplacement territorial sont envisagés comme des facteurs externes et ont été considérés dans la catégorie « vulnérabilité géographique et environnementale ».

b- Nombre d'étages

Il existe une littérature assez abondante sur l'importance du nombre d'étages lors d'une inondation (Vinet, 2007 ; Defra, 2003). Deux cas de figure ont été envisagés. L'existence d'un rez-de-chaussée +1 étage donne la possibilité de se réfugier à l'étage supérieur en cas d'inondation du logement par la crue, donc de diminuer la vulnérabilité. On a ici considéré trois modalités :

- l'absence d'étage supérieur aggrave la vulnérabilité (poids 3) ;
- un rez-de-chaussée + 1 a été affecté du poids 0, c'est-à-dire non vulnérable.
- une augmentation du nombre d'étages au-delà de 2 a un impact négatif parce qu'il y a aggravation de la vulnérabilité avec une concentration des enjeux, s'agissant surtout d'immeubles inachevés.

c- Type et qualité de revêtement des murs et des sols

Ces variables portent sur les types de matériaux utilisés pour les constructions ainsi que leurs qualités : ce sont des indicateurs de résistance en cas de crue centennale. Le type de revêtement et par conséquent l'imperméabilisation a un rapport direct avec l'infiltration et les entrées d'eau dans les logements. En fonction de l'intensité de l'aléa, les structures peuvent donc être fragilisées. Une fois que l'eau pénètre dans les maisons, les dommages peuvent être plus ou moins importants selon les types de revêtement, que ce soit les sols ou les murs. Normalement, les inondations ont un impact négatif sur les revêtements de sol, soit en occasionnant des dégâts aux revêtements, soit en demandant au moins un nettoyage du sol et des murs après les crues. Pire encore, si elle envahit le soubassement d'un logement, la crue peut entraîner sa destruction partielle ou totale, selon la qualité des matériaux utilisés (Tableau 5.1).

<i>Variables</i>	<i>Modalités</i>	<i>Poids *</i>
Type de revêtement des murs	Revêtu, avec peinture	0
	Revêtement mural avec des azulejos	0
	Revêtu et sans peinture	1
	Sans aucun revêtement : brique visible	3
	Sans aucun revêtement : pierre visible	3
	Autre (synthétique, liège, tapis)	3
Type de revêtement de sol	Sol en mosaïque	0
	Marbre/granit	0
	Revêtement en béton (pas fini)	1
	Bois	3
	Terre	3

* Poids : de 0 non vulnérable à 3 très vulnérable

Tableau 5.1. Vulnérabilité des constructions selon les revêtements

d- Hauteur du seuil et orientation de la porte

Le plan d'occupation des sols ainsi que la supervision des travaux de chantier par les services de la mairie et par l'ingénieur responsable jouent un rôle dans l'atténuation ou l'aggravation de la vulnérabilité des bâtiments. L'existence d'outils de gestion territoriale, parmi lesquels des Plans Détaillés d'urbanisme imposent certaines contraintes d'occupation du sol en définissant la cote topographique de référence comme mesure de protection contre l'inondation. La loi impose que la hauteur du seuil de porte se situe de façon à empêcher l'inondation. Il s'agit d'une mesure institutionnelle pour faire face à l'inondation. Si l'on tient compte du fait qu'une proportion significative de bâtiments est d'origine illégale, donc sans permis de construire, on s'aperçoit de la difficulté à concrétiser une telle mesure. La pondération de ce facteur est fondée sur l'observation visuelle sur le terrain en considérant l'implantation des bâtiments par rapport aux normes d'urbanisme en vigueur au Cap-Vert et à

la géomorphologie locale. Dans les secteurs où les logements ne respectent pas la cote de référence topographique pour réduire la vulnérabilité face à l'inondation, on affecte ainsi la note 3. Inversement le respect de cette prérogative a un impact positif en atténuant la vulnérabilité et la note zéro 0 est alors attribuée.

La hauteur du seuil de porte dans les zones basses constitue en quelque sorte une mesure importante pour se protéger face aux crues. Sur le terrain on a essayé de mesurer la hauteur du seuil tout en considérant le dénivelé entre la cote d'écoulement et le seuil de porte. Cette procédure exclut les logements qui sont en dehors des zones basses et à forte pente. Après le test du questionnaire sur le terrain, on a opté pour une réponse plutôt qualitative en demandant aux chefs de ménages leur appréciation de l'effet de la hauteur du seuil de porte comme élément de protection contre les crues. Néanmoins, la question doit être prise avec une certaine prudence vu la faible probabilité d'occurrence d'une pluie centennale. Cela dit, l'expérience d'un événement sévère n'a jamais été vécue et cela influence nécessairement les réponses.

D'autres variables comme l'orientation de la porte par rapport à l'écoulement de l'eau ainsi que l'existence d'un plan d'architecte validé par la mairie ont été considérés. Par le biais des questions et l'observation *in loco*, les enquêteurs ont rempli les questionnaires. Les pondérations affectées sont affichées dans le *Tableau 5.2* ci-dessous.

<i>Variables</i>	<i>Modalités</i>	<i>Poids*</i>
Hauteur du seuil par rapport au plan d'eau	Supérieure à cote de référence	0
	Inférieure à cote de référence	3
Orientation des portes vis-à-vis de l'écoulement	Orientée vers un cours d'eau	3
	Sens contraire à celui de l'écoulement de l'eau	0
Plan d'architecte	Sans plan	3
	Avec plan	0

* Poids : de 0 non vulnérable à 3 très vulnérable

Tableau 5.2. Vulnérabilité des constructions selon la hauteur d'eau et l'orientation des portes

e- Vulnérabilité humaine et socio-économique

Les variables déterminantes de la vulnérabilité humaine telles que l'âge, sont liées au cycle de vie des individus et par conséquent varient peu d'un contexte socio-économique à l'autre. On ne saurait en dire autant des caractéristiques socioéconomiques et culturelles des populations qui varient fortement en fonction du milieu. Le contexte local a déterminé le choix de certaines variables socioéconomiques que l'on va décrire ci-après.

5.1.3. Caractérisation des variables complémentaires

a. Statut d'occupation

Le statut d'occupation du logement joue aussi un rôle important dans la prise en charge des mesures tout en visant l'amélioration de la qualité des bâtiments. Les études qui ont été menées par l'économiste péruvien De Soto (2002) ont montré que la sécurité juridique des propriétés favorise les investissements pour améliorer la qualité du logement. On a considéré 4 types dans le statut d'occupation d'après le contexte juridique, social et culturel du Cap-Vert, à savoir, le propriétaire avec titre de propriété, le propriétaire sans titre de propriété, donc informel, le locataire et l'occupation d'un logement cédé ou prêté. On remarque l'occurrence de deux types de propriétaires : ceux qui ont un permis de construire délivré par la mairie, dont la construction est encadrée par un projet d'architecture et ceux qui n'ont pas de permis de construire, c'est-à-dire qui sont sans autorisation institutionnelle, et sont donc des propriétaires à titre informel. Ainsi, il y a un rapport entre le régime de titre de propriétés et la propension à investir dans l'amélioration de la qualité des constructions, ce qui a déterminé les notes attribuées à chaque modalité selon le *Tableau 5.3* ci-dessous.

<i>Variable</i>	<i>Modalités</i>	<i>Poids</i>
Statut d'occupation	Propriétaire ayant un titre de propriété	0
	Propriétaire sans titre de propriété (informel)	3
	Locataire	1
	Cédée/prêtée	2

* Poids : de 0 non vulnérable à 3 très vulnérable

Tableau 5.3. Vulnérabilité selon le statut d'occupation

b. Sexe du chef de ménage

Dans le contexte du Cap-Vert, le sexe du chef de ménage traduit la capacité de prise en charge de la responsabilité familiale. Sous cet angle, d'une façon générale dans les pays en voie du développement, les femmes chefs de ménages sont beaucoup plus vulnérables en raison de leurs salaires très nettement inférieurs à ceux des hommes, voire de revenus très faibles, ce qui rend plus difficile la capacité à faire face en cas de sinistre majeur. Ainsi, on attribue une note 0 pour le ménage qui est uniquement sous la responsabilité d'un homme, et 3 lorsqu'il s'agit de femmes monoparentales, c'est-à-dire qu'il y a un impact négatif fort (*Tableau 5.4*).

<i>Variable</i>	<i>Modalités (nombre d'enfants par ménage)</i>	<i>Poids</i>
Nombre d'enfants	0 enfant	0
	Jusqu'à 3 enfants	1
	Plus de 3 enfants	3

* Poids : de 0 non vulnérable à 3 très vulnérable

Tableau 5.4. Vulnérabilité selon le statut du chef de ménage

c. Nombre d'enfants et de personnes âgées

La littérature existante à propos de ces critères est abondante (Cutter, 2011 ; Defra, 2003). Avec ces variables, on juge la capacité d'évaluer le degré de dangerosité d'une situation avec décision de fuir ou non (*Tableau 5.5.*). On considère le nombre d'enfants de moins de 8 ans. Un nombre élevé d'enfants est associé à d'autres variables tels la pauvreté et le faible niveau de confort des familles. Dans ce contexte, on assume qu'au-delà de trois enfants, la situation de pauvreté des ménages tend à se renforcer nettement et a donc un impact négatif sur la vulnérabilité. La fragilité des personnes âgées est associée à la capacité de déplacement et parfois aussi à la capacité psychologique d'évaluer une situation dangereuse et de réagir de manière adéquate. Ainsi, les notes suivantes ont été affectées :

<i>Variable</i>	<i>Modalités (nombre de personnes âgées par ménage)</i>	<i>Poids</i>
Nombre de personnes âgées	0 personne âgée	0
	1 à 2 personnes âgées	1
	Plus de 3 personnes âgées	3

* Poids : de 0 non vulnérable à 3 très vulnérable

Tableau 5.5. Vulnérabilité selon le nombre de personnes âgées

d. Nombre de personnes en situation d'handicap

Pour les personnes en situation d'handicap, on n'a pas fait de discrimination en fonction de leur capacité de mobilité comme facteur d'aggravation, c'est-à-dire que l'on considère tous les handicaps confondus. Les ménages ont été hiérarchisés en fonction du nombre d'handicapés existants dans le foyer. Davantage d'handicapés constitue un facteur d'aggravation. Ainsi, nous avons attribué la valeur 3 quand il y avait au moins un handicapé, et la valeur 0 dans le cas contraire.

e. Niveau de scolarité

Le niveau de scolarité se révèle un facteur fondamental pour la vulnérabilité des foyers. Car d'une part, il y a un rapport direct entre l'accès à l'information pertinente à l'égard du risque naturel et ainsi à la façon de se protéger face à la dangerosité potentielle des aléas et, d'autre part, l'accès à un emploi plus qualifié et à des revenus plus élevés permet de mieux faire face en cas de sinistre. On a pris en compte les niveaux suivants : le niveau de base, le niveau secondaire et le niveau supérieur, sachant que les chefs des ménages ayant seulement le niveau de base sont théoriquement les plus fragiles.

f. Dépenses moyennes mensuelles

Cette variable s'impose pour contourner la difficulté d'accès à la déclaration de revenus des ménages. Cette variable semble importante puisqu'elle permet de faire une inférence, avec

une certaine prudence certes, sur la capacité à faire face et à se rétablir en cas de sinistre suite à une inondation. Par ailleurs, il s'agit d'une variable en corrélation directe avec le niveau de pauvreté des logements. Trois classes de dépenses mensuelles ont été prises en considération tout en tenant compte des salaires courants dans différentes catégories sociales. Les classes retenues sont : moins de 150 euros par mois, entre 150 et 300 euros et plus de 300 euros. Les classes ont reçu les poids 3, 2 et 0 respectivement, la note 3 représentant un facteur d'aggravation de la vulnérabilité.

g. Taille des ménages

Le nombre moyen de personnes par ménage se situe à environ 4,7 d'après l'Institut National de la Statistique (INE, 2010). D'après l'échantillon constitué sur place, cette valeur est de 5 personnes par foyer. Pour la pondération de cette variable, on a ainsi pris la moyenne comme critère de référence. Un poids minimum, c'est-à-dire 0, est attribué à un ménage jusqu'à 4 personnes. Les logements ayant 5 ou 6 occupants ont été affectés de la note 2 et pour ceux de plus de 6 personnes, on a affecté la note 3 car c'est un facteur d'aggravation de la vulnérabilité.

h. Possession de biens

L'évaluation de la vulnérabilité implique la connaissance de la valeur vénale soit du patrimoine immobilier, soit des biens meubles. L'analyse de cette variable vise donc la prise en compte de la dimension des pertes potentielles des biens électroménagers et des dommages provoqués dans le patrimoine immobilier. En raison de la dépréciation des biens meubles et de la difficulté à considérer cette dimension, cette variable ne peut être qu'indicative. Cependant elle a l'avantage d'apporter ainsi une certaine connaissance du niveau de vie du ménage qui constitue un indicateur fondamental de la vulnérabilité.

Avec le questionnaire, on a pu constater les éléments suivants :

- des logements qui ont au moins 2 biens de base,
- des logements qui possèdent au moins 3 biens de base,
- les ménages qui ont de nombreux biens (supérieurs à 3 biens de base).

Cette classification est fondée sur une enquête menée sur le terrain. On a ainsi pu observer que 17,3% des logements sont assez dépourvus en biens de base, où les occupants vivent dans une grande pauvreté. Une petite proportion des logements (27,2%) a le minimum de biens mobiliers contre 56% d'autres qui disposent d'un niveau de confort supérieur dans le contexte local. Ainsi, d'après la littérature dans le domaine, la vulnérabilité économique tend à s'accroître lorsque la valeur des biens exposés augmente. Dans cette hypothèse, nous avons admis ici que les foyers moins bien dotés en biens sont aussi moins vulnérables du point de vue économique puisque l'exposition des biens est plus faible. Pour la pondération, on a considéré des valeurs de remplacement de biens minimales, au prix du marché local. Dans cette perspective, nous proposons trois classes en fonction de l'évaluation quantitative des biens meubles de base que les foyers possèdent.

La note 3 a été affectée aux foyers les plus aisés dont la somme des valeurs marchandes dépasse 1500 euros. Une pondération 0 a été attribuée lorsque la valeur estimée des biens mobiliers est inférieure à 600 euros, les ménages quasiment dépourvus de biens électroménagers ayant alors un niveau d'exposition économique faible. Pour les foyers dont l'estimation des biens se situe entre 600 euros et 1500 euros, la note attribuée est 1.

i) État civil

Il s'agit d'une variable dont le choix se justifie par la prise en compte de la culture locale. En effet, les familles dites monoparentales constituent une catégorie sociale assez particulière, soit par le nombre important d'enfants qu'elles ont, soit par le faible niveau de revenus dont elles disposent. Cette variable est subdivisée selon les modalités suivantes : mariée, célibataire, veuve et pacsée. La pondération considère que les célibataires, surtout lorsqu'il s'agit de femmes, constituent un facteur d'aggravation, raison pour laquelle une note 3 a été affectée. Pour les chefs de famille mariés, on a associé le poids 0. Pour les hommes célibataires, on a affecté une pondération moyenne, avec un poids 1.

5.2. Conception du SIF

Cette section présente d'abord les matériels cartographiques et les technologies utilisées, le composant web du système, y compris le système *SIG Desktop* pour la visualisation et l'analyse des données, puis les premiers résultats obtenus. Nous nous focaliserons sur la modélisation du système d'information, en utilisant le langage unifié de modélisation (UML).

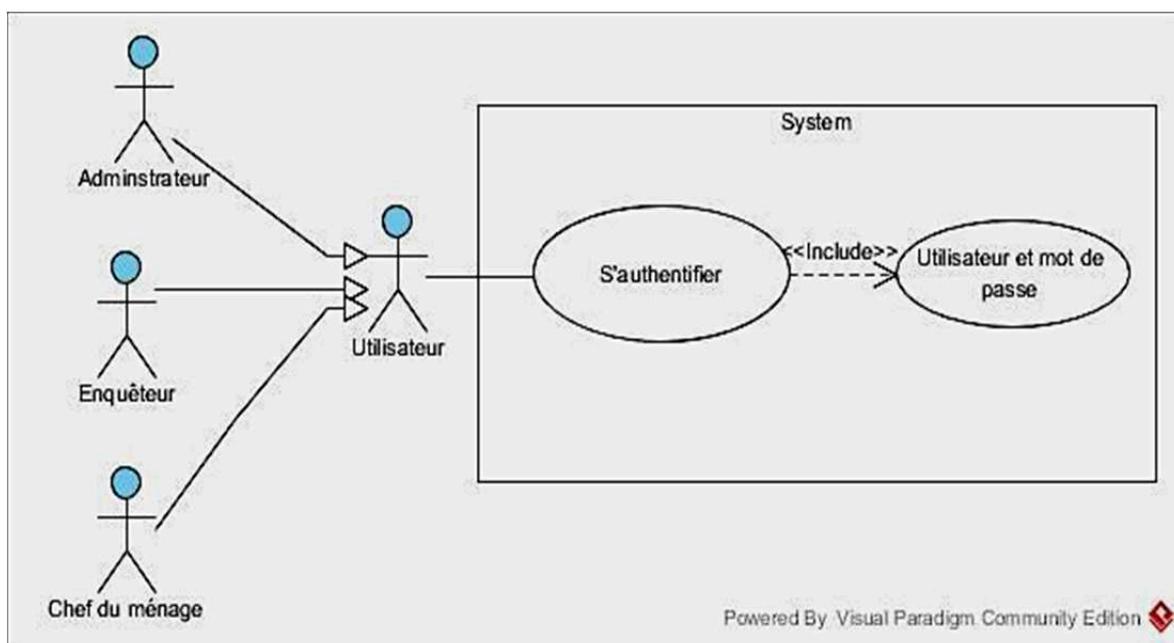
5.2.1. Justification du matériel utilisé

La conception du SIF repose sur deux types de matériel (cartographique et technologique). Les données cartographiques ont été fournies par la Mairie de Praia, par l'Institut National de Gestion du Territoire (INTG) et par l'Institut National de Statistique (INE) du Cap-Vert. Les deux premières institutions disposent de données aux formats *Autocad (Dwg)* et *Shapefile* produites à grande échelle - 1/5 000 et /10 000 - soit par le biais de levés aérophotogrammétriques en 2010, soit à partir des opérations de lotissement faites par la Mairie dans le cadre de sa politique d'urbanisation. On a récupéré auprès de ces institutions les différentes couches thématiques telles que les bâtiments, les rivières, les routes, les zones inondables, ainsi que les informations altimétriques (points cotés et courbes de niveaux) à grande échelle qui ont été utilisées pour réaliser un modèle numérique du terrain (MNT) et des cartes. Ainsi, relativement à l'information cartographique fournie par l'INE, celle-ci est de type ponctuel, c'est-à-dire que chaque bâtiment est représenté par une paire de coordonnées (x et y) appelée géocode qui sert de base à l'indexation de toutes les informations de chaque foyer recensé en 2010 et englobant 299 variables. La collecte des données se fait par GPS ou par téléphone portable sur

le terrain avec des questionnaires géocodés. On a aussi utilisé les données cartographiques - *base layer* - fournies à travers le « plugin » *Quick Map Service* du logiciel *Quantum QGIS*. Pour le développement de la composante applicative web du système, on a recouru au *Framework Yii* élaboré avec le langage PHP, souvent utilisé dans le déploiement d'applications web. Le *Framework Yii* permet une réutilisation maximale du code, facilitant le processus de développement. Il est basé sur l'architecture Modèle-Vue-Contrôleur (MVC), assez utilisée dans ce type de programmation (Winesett, Jeffrey, 2010). Le serveur *Apache* version 2.4.23 a été choisi pour le service web. On a opté pour le SGBD *open source PostgreSQL 10* qui possède l'extension spatiale *PostGIS* pour gérer l'information spatiale. Pour les fonds de carte de l'application, on a utilisé *Google Maps*. Le logiciel libre *QGIS 2.18* a été utilisé pour faire la cartographie thématique et la visualisation des données cartographiques.

5.2.2. Spécifications fonctionnelles détaillées du système

Le *Système d'Information Foncière à référence spatiale pour gérer le Risque inondation (SIFgRin)*, qui a été créé, a pour but d'évaluer le risque des logements face à l'inondation. On a considéré les différents acteurs ainsi que leurs besoins, tout en tenant compte des constatations faites sur le terrain et des résultats des consultations réalisées au préalable. Le *Tableau 5.1* dresse la liste des principales fonctions de ce système. Pour mieux délimiter l'univers de la modélisation, on présentera ensuite le diagramme des cas d'utilisation principaux (*Figures 5.4 à 5.10*), afin de bien mettre en évidence les services qui sont rendus par le système en prenant en considération les besoins des différents utilisateurs.



Réalisé par R. Correia

Figure 5.4 : Cas d'utilisation du système : authentification

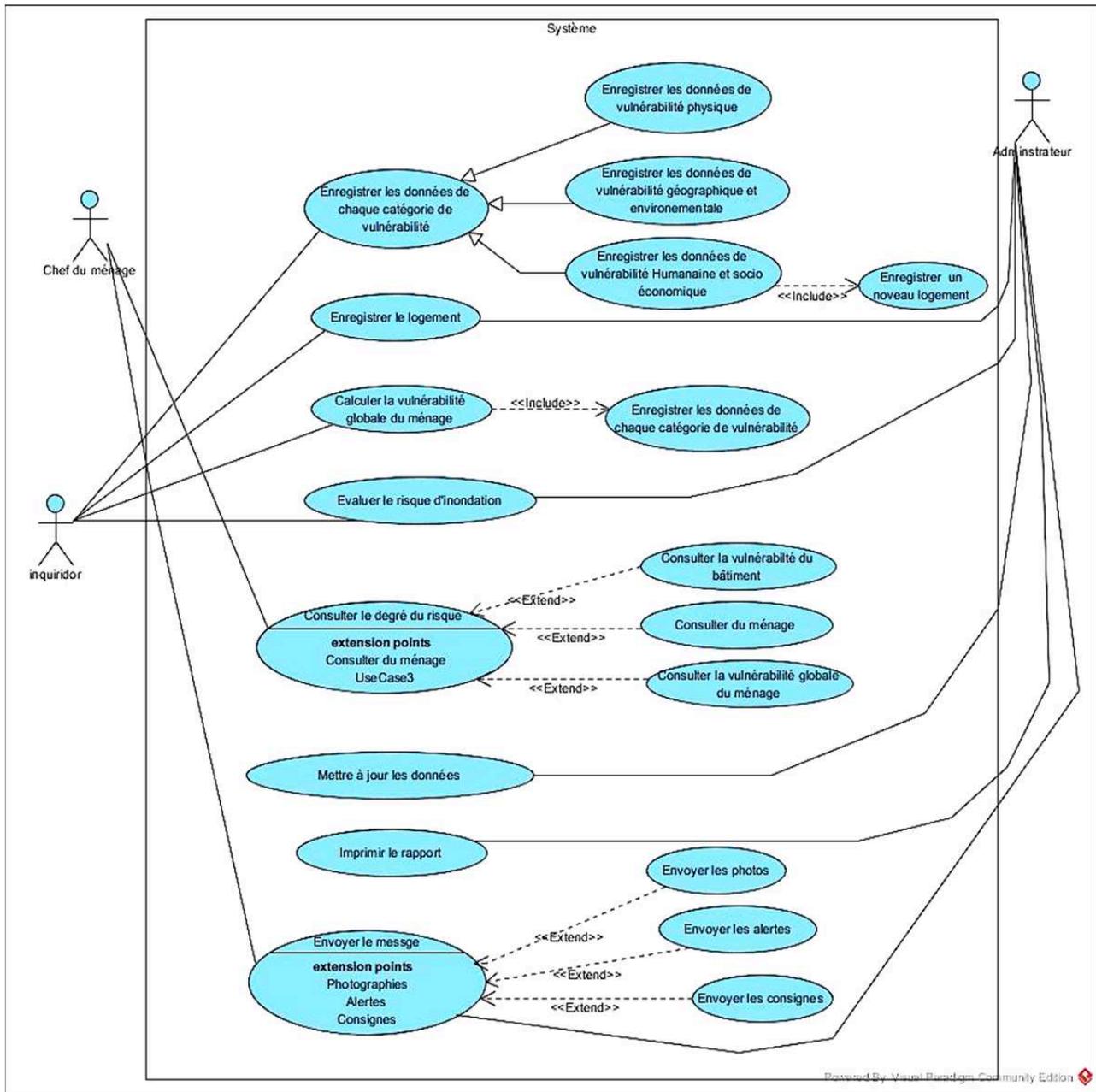
La consultation des données et la gestion du système requièrent une authentification.

Afin d'avoir une vision globale du système, on présente les cas d'utilisation en prenant en compte les rôles de chaque acteur, et surtout ses interactions avec le système (Tableau 5.6).

<i>ID</i>	<i>Requête</i>	<i>Description</i>	<i>Importance</i>
[RF001]	Authentifier les utilisateurs du système	Le système crée un champ qui permet à tout utilisateur de s'enregistrer.	Essentielle
[RF002]	Afficher la carte	Le système affiche la carte du bâti et d'autres couches d'information	Essentielle
[RF003]	Afficher les formulaires	Le système délivre le formulaire pour la collecte de données de vulnérabilité	Essentielle
[RF004]	Enregistrer les données de vulnérabilités physiques des bâtiments	Le système délivre le questionnaire pour saisir les données selon les critères retenus afin d'évaluer la vulnérabilité physique des constructions	Essentielle
[RF005]	Enregistrer les données de vulnérabilité géographique et environnementale	Le système délivre le questionnaire pour saisir les données selon les critères retenus afin d'évaluer la vulnérabilité géographique et environnementale des constructions	Essentielle
[RF006]	Enregistrer les données de vulnérabilité humaine et socio-économique des ménages	Le système affiche le questionnaire de saisie des données des caractéristiques des ménages pour l'évaluation de la vulnérabilité humaine et socioéconomique des ménages.	Essentielle
[RF007]	Ajouter un nouveau logement	Permet d'associer à chaque construction un ou plusieurs logements.	Essentielle
[RF008]	Ajouter un nouveau ménage	Permet d'enregistrer un nouveau ménage.	Souhaitable
[RF009]	Calculer la vulnérabilité physique, géographique et environnementale	Le système affiche la valeur de la vulnérabilité physique, géographique et environnementale	Essentielle
[RF0010]	Calculer la vulnérabilité humaine économique et sociale	Le système affiche la valeur de vulnérabilité humaine, socioéconomique des ménage	Essentielle
[RF0011]	Calculer la vulnérabilité globale du ménage	Le système calcule la valeur de vulnérabilité globale du ménage	Essentielle
[RF0012]	Calculer les risques de chaque construction	Le système retourne le niveau du degré de risque de chaque construction	Essentielle
[RF0013]	Mettre à jour	Permet la mise jour des données	Souhaitable
RF0014]	Consulter les vulnérabilités	Affiche les valeurs concernant les différentes catégories des vulnérabilité	Souhaitable
[RF0015]	Afficher les ménages	Liste l'ensemble des ménages enregistrés dans le système et permet de consulter l'information détaillée de chaque ménage	Souhaitable
[RF0016]	Afficher les logements	Liste l'ensemble des logements enregistrés dans le système, le nombre des ménages et les adresses	Souhaitable
[RF0017]	Afficher le rapport de vulnérabilité de chaque bâtiment	Permet d'imprimer le rapport de chaque bâtiment	
[RF0018]	Envoyer les messages		

Réalisé par R. Correia

Tableau 5.6 : Spécifications fonctionnelles détaillées du système



Réalisé par R. Correia

Figure 5.5 : Cas d'utilisation du système

Le système *SIFgRin* permet d'intégrer la collecte de données à partir du terrain, soit par des enquêteurs accrédités par le Service de Protection Civile, soit par les administrateurs du Service National de Protection Civile, vu leurs attributions dans le système. Pour mieux comprendre le rôle de chaque acteur, on détaille ensuite les cas d'utilisations les plus importants. Seuls sont présentés les cas d'utilisation essentielle, c'est-à-dire ceux qui doivent être mis en place pour que le système puisse répondre aux attentes minimales des utilisateurs.

5.2.3. Description des principaux cas d'utilisations

a- Cas d'utilisation : Authentifier les utilisateurs

[RF001]	Authentifier les utilisateurs du système
Description	L'objectif est de contrôler les entrées dans le système par les utilisateurs
Acteur	Tous les utilisateurs du système
Précondition	Pour accéder au système doit être un enregistré et avoir un compte actif.
Scénario principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pour accéder au système, l'utilisateur saisit le Nom d'utilisateur et le Mot de passe. 2. Le système vérifie les données saisies <ol style="list-style-type: none"> 2.1 Si les données saisies sont en conformité, le système affiche l'interface de l'application, donc sont présentés tous les menus. 2.2 Si les données ne sont pas les bonnes, le système envoie un message d'erreur. En ce cas, il faut saisir à nouveau le bon nom d'utilisateur et mot de passe. 2.3 Il faut saisir à nouveau les bons Nom d'utilisateur et Mot de passe.
Post-condition	Interface principale affichée
Scénario alternatif/exception	Si l'utilisateur saisit des données incorrectes, un message d'erreur s'affiche. L'utilisateur fait la correction et saisit à nouveau les identifiants corrects ; l'interface principale du système sera affichée.
Priorité	Essentielle

Tableau 5.7 : Authentification des utilisateurs

b- Cas d'utilisation : Enregistrer les données de la vulnérabilité physique des bâtiments

[RF004]	Enregistrer les données de vulnérabilité physique des bâtiments
Description	L'objectif est d'évaluer la vulnérabilité physique des bâtiments
Acteurs	Enquêteurs, administrateurs / Protection Civile
Pré-condition	Le bâtiment doit être enregistré dans le système au préalable. Le système doit mettre à disposition le menu Formulaire qui permet d'accéder au questionnaire à remplir
Scénario principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. S'authentifier dans le système 2. Pour saisir les données, il faut accéder au bouton Formulaire, pour ce faire <ol style="list-style-type: none"> 2.1 Appuyer sur le menu Bâtiment 2.2 Cliquer sur Afficher la carte 2.3 Rechercher le bâtiment pour enregistrer les données (clic sur polygone) 2.4 Les données de base s'affichent ainsi que le bouton Formulaire 2.5 Cliquer sur le bouton Formulaire. 3. Le questionnaire à remplir s'affiche 4. Accéder au bouton vulnérabilité physique et saisir les données. 5. Enregistrer les données 6. Le système donne la valeur de la vulnérabilité physique du bâtiment 7. Cliquer sur ok pour valider la valeur calculée.
Post-condition	Paramètres pour calculer la vulnérabilité physique enregistrée
Scénario alternatif/exception	Si les données insérées sont incorrectes, il faut faire la modification des données, tout en répétant les étapes 5 à 7
Priorité	Essentielle

Tableau 5.8 : Enregistrement des données de vulnérabilité physique des bâtiments

c- Cas d'utilisation : Enregistrer la vulnérabilité humaine et socio-économique des ménages

[RF006]	Enregistrer les données de vulnérabilité humaine et socio-économique des ménages
Description	L'objectif est d'enregistrer les données concernant les caractéristiques humaines, sociales et économiques des ménages pour évaluer la vulnérabilité humaine, socioéconomique du ménage
Acteurs	Enquêteurs, administrateurs / Protection Civile
Précondition	Le bâtiment doit être enregistré dans le système. On doit créer un nouveau logement et l'associer au bâtiment. Dans le même bâtiment, pour chaque ménage, on doit créer un nouveau logement qui va générer automatiquement un nouveau code.
Scénario principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. S'authentifier dans le système. 2. Pour créer un nouveau logement, accéder au bouton Logement <ol style="list-style-type: none"> 2.1 Appuyer sur le bouton Créer un nouveau logement pour générer automatiquement les codes du premier logement 2.3 Saisir les données " 2.4. Enregistrer 3. Appuyer sur le bouton Ménage <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Le système rend disponible le questionnaire 3.2 Insérer le code du logement généré automatiquement auparavant afin déverrouiller les champs 3.3 Saisir les données 3.4 Enregistrer les données 4. Le système donne la valeur de vulnérabilité humaine, sociale et économique du ménage 5. Appuyer sur ok pour valider la valeur calculée.
Post-condition	Les critères retenus pour évaluer la VHSE des ménages enregistrés et la valeur de VHSE calculée
Scénario alternatif/exception	<ol style="list-style-type: none"> 1 Si le code du logement est erroné, le système affiche no results found et le formulaire ne sera pas affiché. 2. L'utilisateur doit rechercher le bon code dans la base de données et le saisir pour déverrouiller le champ du formulaire à remplir. 3 Si la valeur calculée s'avère incorrecte par rapport à l'échelle prédéfinie, on doit mettre à jour les données et répéter les étapes 3.3 jusqu'à 5, après avoir tapé à nouveau le code
Priorité	Essentiel

Tableau 5.9 : Enregistrement des données pour la vulnérabilité humaine et socio-économique

d- **Cas d'utilisation** : Calculer la vulnérabilité globale du ménage

[RF0011]	Calculer la vulnérabilité globale du ménage
Description	L'objectif de ce cas d'utilisation est d'évaluer la vulnérabilité globale du ménage
Acteurs	Enquêteurs, administrateurs / Protection Civile
Précondition	La vulnérabilité physique du bâtiment, géographique et environnementale ainsi que la vulnérabilité humaine, sociale et économique doit être calculée au préalable.
Scénario principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Saisir les données pour l'évaluation de la vulnérabilité physique du bâtiment <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Enregistrer les données, le système calcule la vulnérabilité physique 2. Saisir les données pour l'évaluation de la vulnérabilité géographique et environnementale. <ol style="list-style-type: none"> 2.1 Enregistrer les données, faire ok ; la valeur de la vulnérabilité géographique et environnementale est calculée. 3. Saisir les données des caractéristiques humaine et socioéconomique du ménage <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Effectuer l'enregistrement des données, la valeur de vulnérabilité HSEC est retournée 4. Appuyer sur le bouton Calculer la vulnérabilité globale
Post-condition	Vulnérabilité globale du ménage calculée
Scénario alternatif/exception	Si les toutes les catégories de vulnérabilités ne sont pas calculées auparavant, le système retourne la valeur null , et la vulnérabilité n'est pas calculée. L'utilisateur doit revoir le formulaire afin d'effectuer le calcul de la vulnérabilité partielle de chaque catégorie proposée
Priorité	Essentielle
Règles métier	Le calcul de la vulnérabilité globale des ménages est la moyenne arithmétique simple des trois catégories considérées, c'est-à-dire vulnérabilité physique des bâtiments, vulnérabilité géographique et environnementale et vulnérabilité socioéconomique des foyers.

Tableau 5.10 : Enregistrement des données pour évaluer la vulnérabilité globale du ménage

e- **Cas d'utilisation** : Consulter le niveau du risque de chaque ménage

[RF0014]	Consulter le niveau du risque de chaque ménage
Description	L'objectif de ce cas d'utilisation est de permettre à chaque chef de ménage de connaître les risques encourus
Acteur	Chef de ménage
Précondition	Le chef de ménage doit être un utilisateur enregistré dans le système
Scénario principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Accéder à l'interface du client 2. Appuyer sur le bouton Connecter 3. Saisir le mot utilisateur et le mot de passe 4. Le système affiche le degré du risque et autres indicateurs concernant au ménage
Post-condition	Le niveau de risque du ménage est affiché
Scénario alternatif/exception	Si le mot de passe est erroné le système renvoie un message d'erreur. Il faut saisir les bons noms d'utilisateur et mot de passe.
Priorité	Importante

Tableau 5.11 : Enregistrement des données pour consulter le niveau de risque de chaque ménage

f- Cas d'utilisation : Évaluer le degré de risque de chaque bâtiment face à l'inondation

[RF0011]	Évaluer le degré du risque de chaque bâtiment face à l'inondation par les crues
Description	Ce cas d'utilisation a pour but l'évaluation du degré de risque de chaque ménage
Acteurs	Enquêteurs, administrateurs / Protection civile
Précondition	Les valeurs de vulnérabilité de chaque catégorie ont été calculées, y compris la vulnérabilité globale
Scénario principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Saisir les données pour chaque catégorie de vulnérabilité et enregistrer à la fin en cliquant sur le bouton ok pour valider les résultats physique, géographique et environnemental. 2. Appuyer sur le bouton Calculer la vulnérabilité globale 3. Appuyer sur le bouton Évaluer le risque 4. Le système affiche le bâtiment selon le degré de risque.
Post-condition	L'affichage de bâtiment selon leur degré du risque en vert, jaune e rouge
Scénario alternatif/exception	Si le bâtiment n'est pas répertorié, revoir le calcul de vulnérabilité globale
Priorité	Essentielle
Règles métier	Pour l'évaluation des risques, 2 critères ont été pris en compte : la hauteur d'eau et la fréquence d'inondation. Ces critères sont croisés avec la vulnérabilité de chaque bâtiment. Pour un risque fort, on considère une hauteur d'eau supérieure à 0.7 m et une vulnérabilité moyenne ou forte. Sont aussi incluses les constructions qui ne sont pas dans les périmètres inondables, mais qui ont un historique d'inondation avec des dommages (cf. le <i>Tableau 6.5</i> plus bas)

Tableau 5.12 : Enregistrement des données pour évaluer le risque face à l'inondation

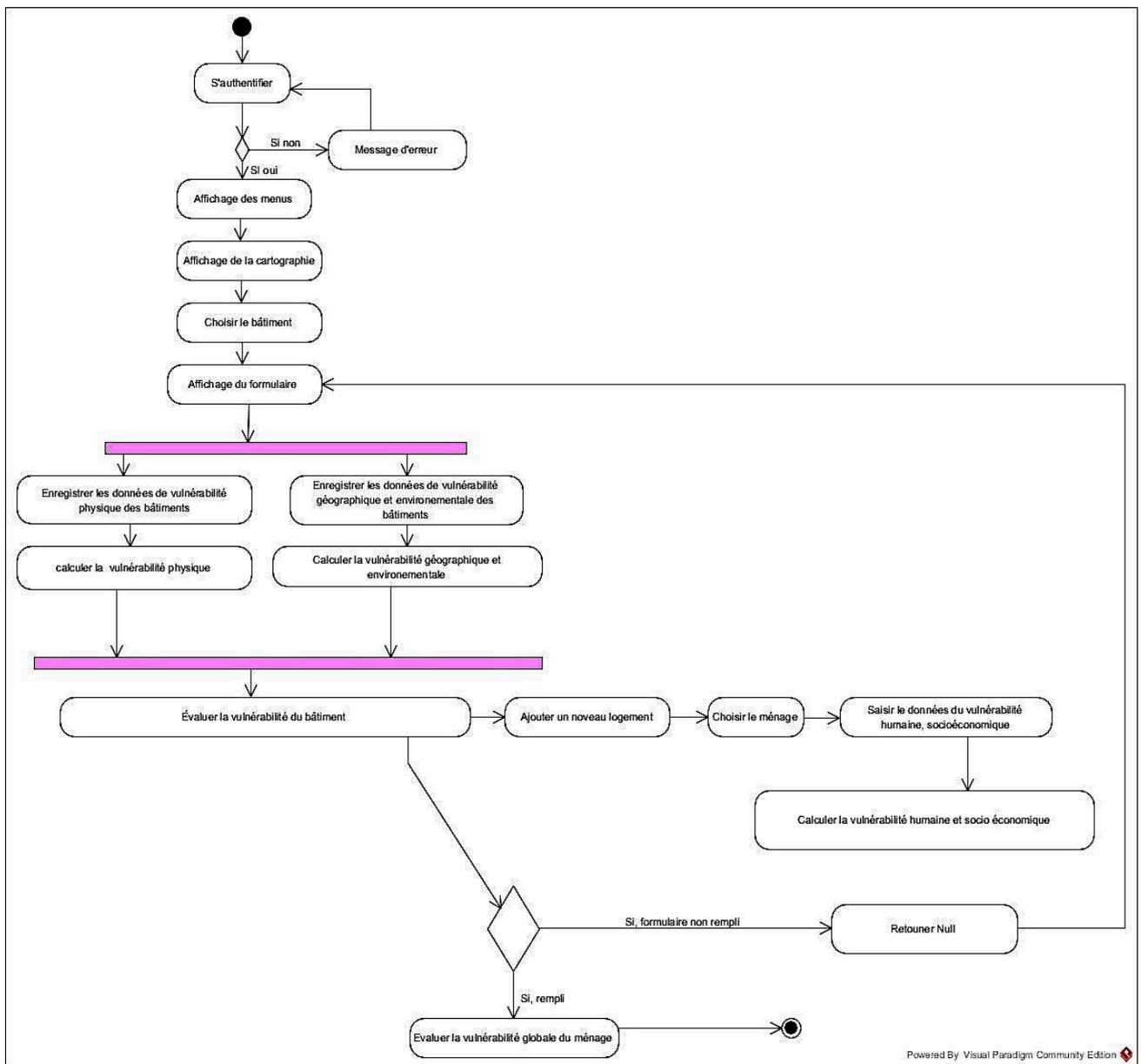
Au final, les acteurs du système sont les chefs de ménages, les administrateurs du système et le Service de la Protection Civile, y compris les enquêteurs accrédités.

Du point de vue des services rendus, le système permet de « *Répondre au questionnaire* » directement par les enquêteurs accrédités par le Service de la Protection Civile. Après authentification dans le système, un questionnaire est proposé et les informations sont enregistrées dans la base de données. Pour chaque modalité choisie pour les différentes variables, une note est donnée en fonction de la pondération des points attribués par le panel d'évaluateurs. Au-delà de cette fonctionnalité, le système comporte d'autres cas d'utilisation pour répondre aux besoins identifiés pendant la phase d'enquête et d'analyse, à savoir :

- Enregistrer les bâtiments ;
- Enregistrer les logements ;
- Enregistrer les ménages ;
- Calculer les vulnérabilités physique, géographique et environnementale, humaine et socio-économique de bâtiments ;
- Consulter les vulnérabilités de chaque ménage ;
- Gérer le PDF ;
- Annexer les documents, notamment les photos.

5.2.4. Description du diagramme d'activités

Le diagramme d'activités (Figure 5.6) est un diagramme UML utilisé pour la modélisation des aspects dynamiques d'un système. Il comprend un ensemble de composants, des notations qui permettent de lier les séquences d'un cas d'utilisation ou du système. Il traduit le *workflow* tout en considérant la transition, la transition alternative, la synchronisation, l'état initial et l'état final (Tanaka, 2009). Pour avoir une vision globale du fonctionnement du système, on présente le diagramme d'activités dont le point noir représente le départ et les traits plus épais de couleur rose représentent les synchronisations disjonctive et conjonctive.



Source : R. Correia

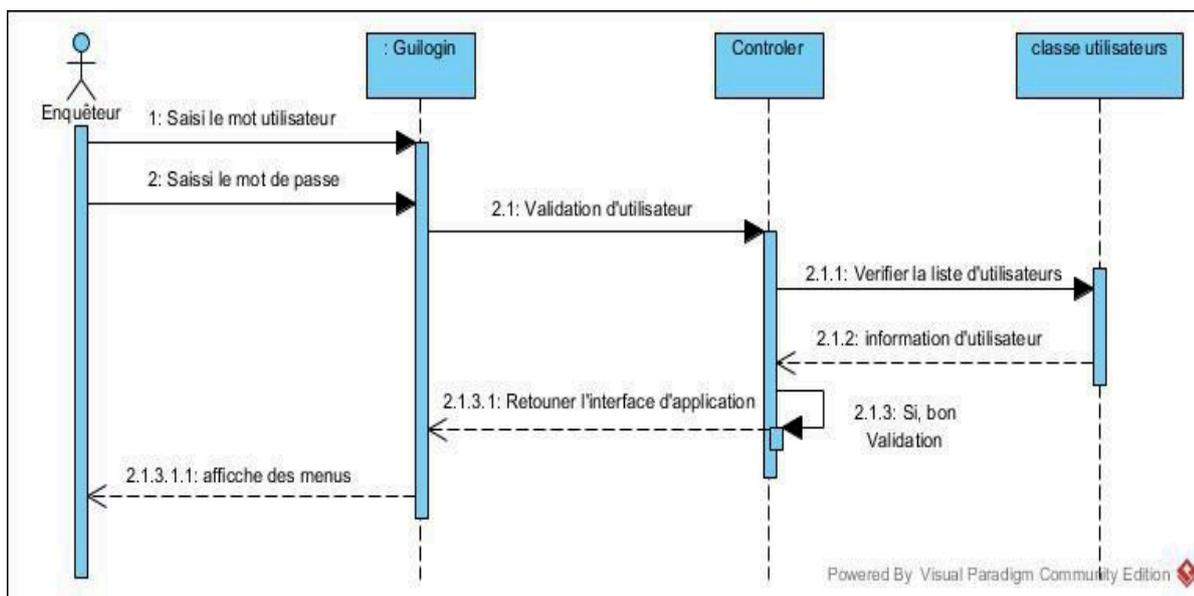
Figure 5.6 : Diagramme d'activités du SIF envisagé

5.2.5. Description des diagrammes de séquences

Le diagramme de séquence correspond à un diagramme d'interaction dans le langage *uml* pour montrer le flux d'envoi et de réception des messages entre les objets pendant le cycle de vie afin qu'une action puisse être réalisée (Tanaka, 2009 ; p.5). Ainsi, selon Gabay J. et Gabay D. (p.105), « l'objectif du **diagramme de séquence** est de représenter les interactions entre objets en indiquant la chronologie des échanges ». A chaque cas d'utilisation correspond un diagramme de séquence. On a opté pour la présentation de quelques cas d'utilisation, pour montrer le flux d'informations dans le temps entre les acteurs du système, l'interface et les objets.

a- Diagramme de séquence de cas d'utilisation : Effectuer l'authentification

Pour effectuer ce cas d'utilisation, l'enquêteur doit accéder à l'interface du *login*, qui permet de saisir le nom d'utilisateur et le mot de passe. Le système envoie un message à la liste des utilisateurs, qui peuvent valider ou non les données fournies. Une fois l'accès validé, le système affiche tous les menus de l'application. Au cas où le nom d'utilisateur ou le mot de passe n'existe pas ou est erroné, le système affiche un message d'erreur (Figure 5.7).



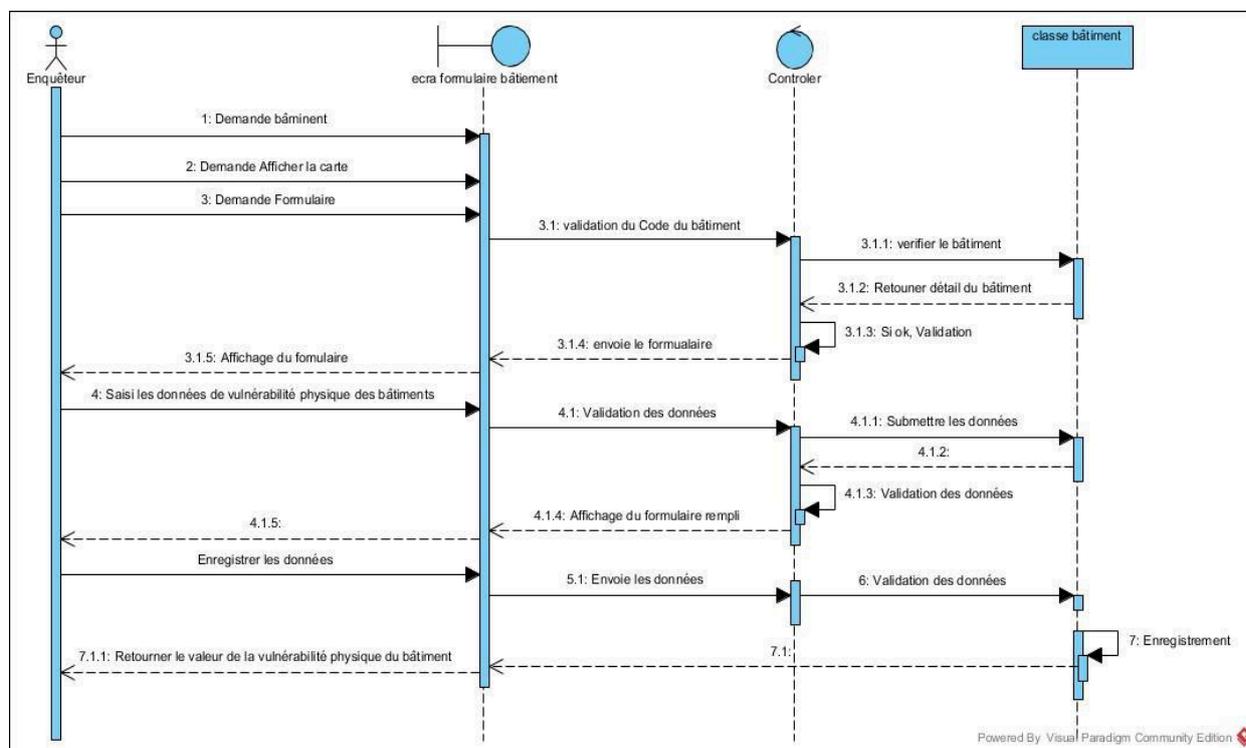
Réalisé par R. Correia

Figure 5.7 : Diagramme de séquence : Effectuer l'authentification

b- Diagramme de séquence de cas d'utilisation : La vulnérabilité physique des bâtiments

Pour exécuter ce cas d'utilisation, l'enquêteur/administrateur s'authentifie dans le système. Une fois les identifiants reconnus, le système affiche l'interface de l'application. En sélectionnant « Bâtiments » dans le menu déroulant, puis en cliquant sur le polygone qui représente le bâti sur la carte, le système affiche le formulaire qui sera rempli avec les données

qui ont été retenues pour évaluer la vulnérabilité physique du bâti. Une fois le formulaire rempli, les données sont envoyées vers la classe « *Bâtiments* ». Si on choisit la commande « *Enregistrement* » après avoir complété les formulaires, le système l'exécute pour effectuer le calcul de vulnérabilité physique et retourne la valeur de la vulnérabilité physique du bâtiment (Figure 5.8).



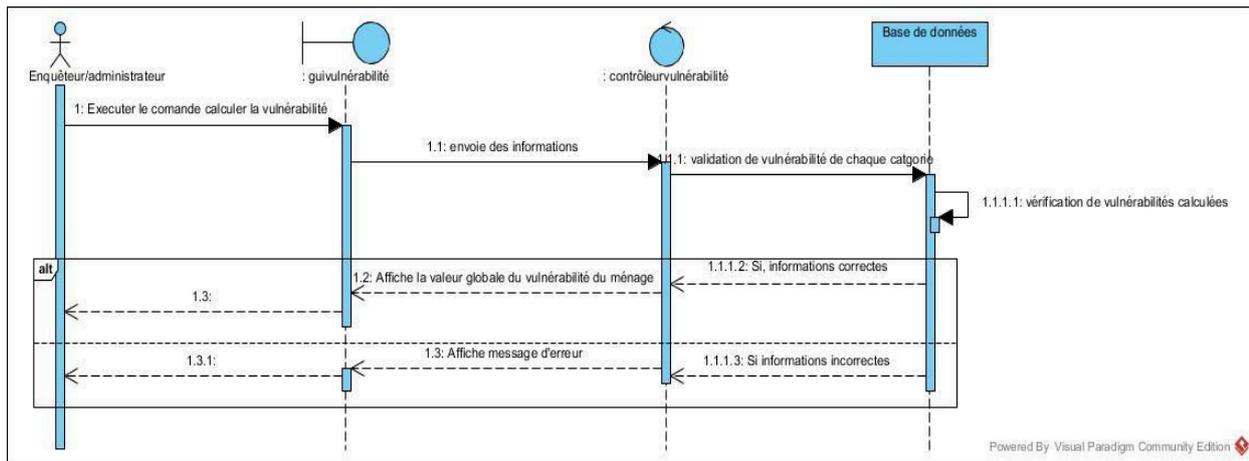
Réalisé par R. Correia

Figure 5.8 : Diagramme de séquence : Évaluer la vulnérabilité physique des bâtiments

c- Diagramme de séquence de cas d'utilisation : La vulnérabilité globale du ménage

Dans ce cas d'utilisation, l'enquêteur/administrateur sélectionne la commande « *Calculer la vulnérabilité globale* » du ménage. Si les trois catégories de vulnérabilités considérées ont été calculées au préalable, le système affiche la vulnérabilité globale du ménage, qui est la moyenne arithmétique des 1)- vulnérabilité physique, 2)- géographique et environnementale, et 3)- humaine et socio-économique. Si une des catégories n'a pas été calculée, le système affiche le message d'erreur '*null*'. Il faut alors revoir la vulnérabilité partielle, refaire le calcul et demander à nouveau de calculer la vulnérabilité globale du ménage (Figure 5.9).

Les acteurs du système sont les chefs de ménages, les administrateurs du système et dans ce cas-ci, le Service de la Protection civile, y compris les enquêteurs accrédités.



Réalisé par R. Correia

Figure 5.9 : Diagramme de séquence : Évaluer la vulnérabilité du ménage

5.3. Architecture du SIF

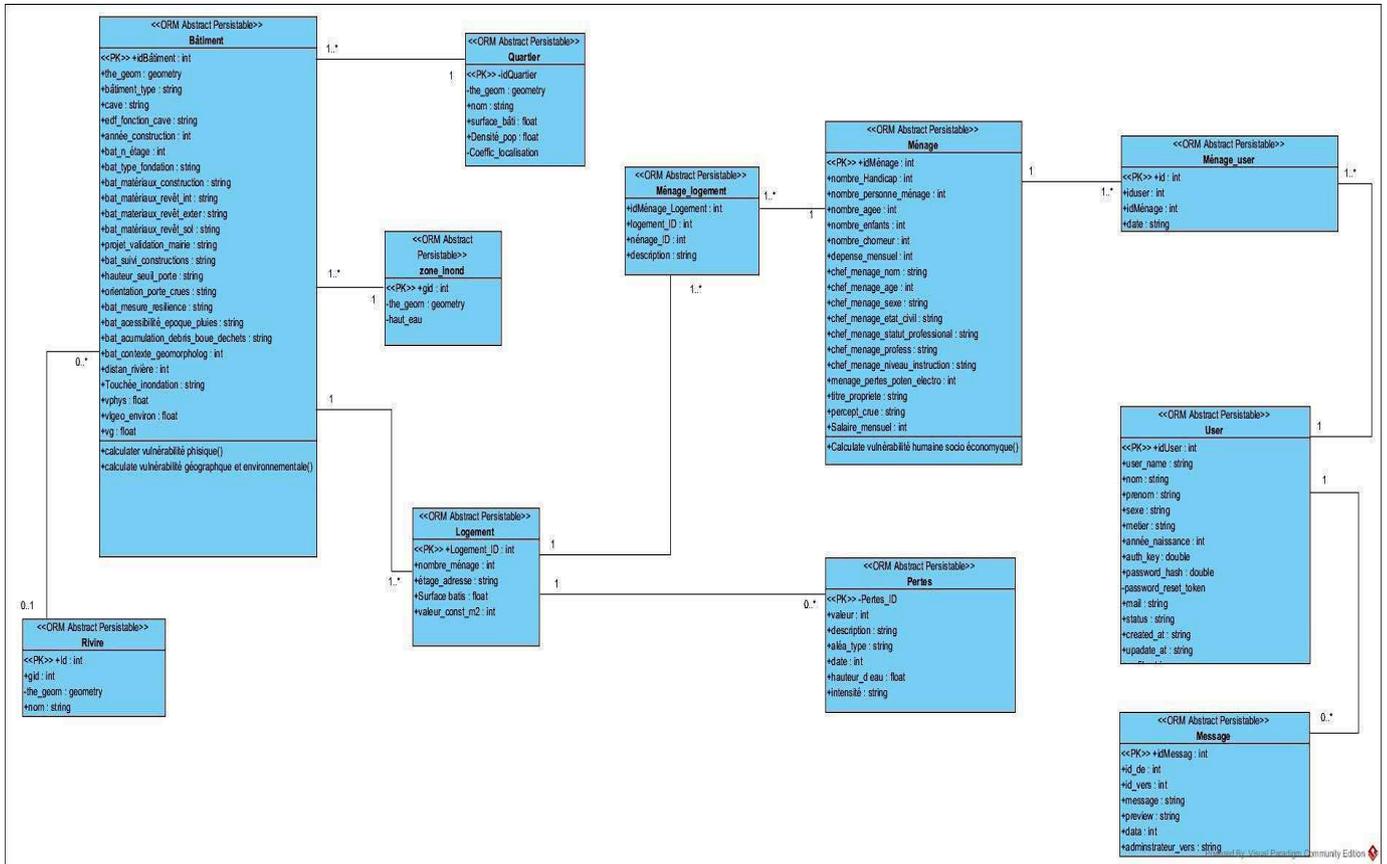
5.3.1. Modélisation conceptuelle des données

La prise en compte du monde réel dans une base de données implique un formalisme qui passe par la modélisation des phénomènes et des entités du monde réel, mais également par la définition des relations entre les objets et des contraintes. Pour ce faire, nous avons à nouveau utilisé le langage l'UML (*Unified Modeling Language*), comme cela est suggéré par l'International Organisation for Standardisation (ISO 19501) quand on fait une spécification et la documentation du modèle conceptuel et de l'application géographique (ISO 19103 et ISO 19109). L'UML possède un ensemble de notations standards et des diagrammes qui permettent la représentation du monde réel (Gardin, 2003). La Figure 5.10 présente le diagramme de classe avec les principales classes, à savoir : le quartier, le bâtiment, le logement, le ménage et les zones inondables, les pertes, la rivière, le message et les utilisateurs du système, ainsi que des objets et les relations entre eux et les méthodes.

A court terme, il faudra envisager l'intégration d'autres données aussi importantes, comme les infrastructures majeures pour la gestion des risques, les routes avec la toponymie associée et le système d'adresses dûment géocodé. Par exemple en cas d'inondation, il est essentiel que les secours aient le nom de la rue ainsi que l'adresse des ménages touchés et puissent donc être informés par le chef du ménage.

L'ensemble des variables pour calculer la vulnérabilité a été ainsi distribué en tant qu'objets des bâtiments pour calculer la vulnérabilité physique et la vulnérabilité géographique et environnementale. La classe *ménage* comprend les caractéristiques des chefs tels l'âge, le niveau de scolarité, le statut professionnel, la composition du ménage, les caractéristiques socio-économiques et démographiques. Ces informations ont été considérées dans

l'évaluation de la vulnérabilité humaine et socio-économique. Ainsi, la vulnérabilité économique est fortement associée à la vulnérabilité humaine, tout en considérant les variables qui affectent l'ensemble du foyer. La vulnérabilité géographique et environnementale a été envisagée par rapport à la localisation du bâtiment, raison pour laquelle elle a été considérée comme attribut.



Conception et élaboration : Correia, 2018

Figure 5.10 : Diagramme de classe du SIF actuellement envisagé

5.3.2. Diagramme d'entités/rerelations (ER)

Pour des raisons d'ordre méthodologique, on présente dans le diagramme ER (Figure 5.11), les classes qui ont une relation avec l'évaluation des vulnérabilités, en conformité avec la catégorie de vulnérabilité déjà présentée, ainsi que les classes qui stockent les informations pour l'implémentation du composant *frontend* du système. Le diagramme met en évidence les relations de cardinalité entre les différentes classes auxquelles nous avons déjà fait référence, les clés primaires et étrangères ainsi que les domaines des données en conformité avec le logiciel *PostgreSQL* qui a été utilisé comme outil de mise en œuvre physique de la base de données. Chaque bâtiment possède un (1) à plusieurs (N) logements. Un logement est habité par 1 à N ménages. Les zones inondables possèdent 0 à N bâtiments. Pour la mise en place du système, on dégage également le Diagramme ER qui établit les relations de cardinalité, les descriptions-types de données ainsi que les clés primaires et étrangères.

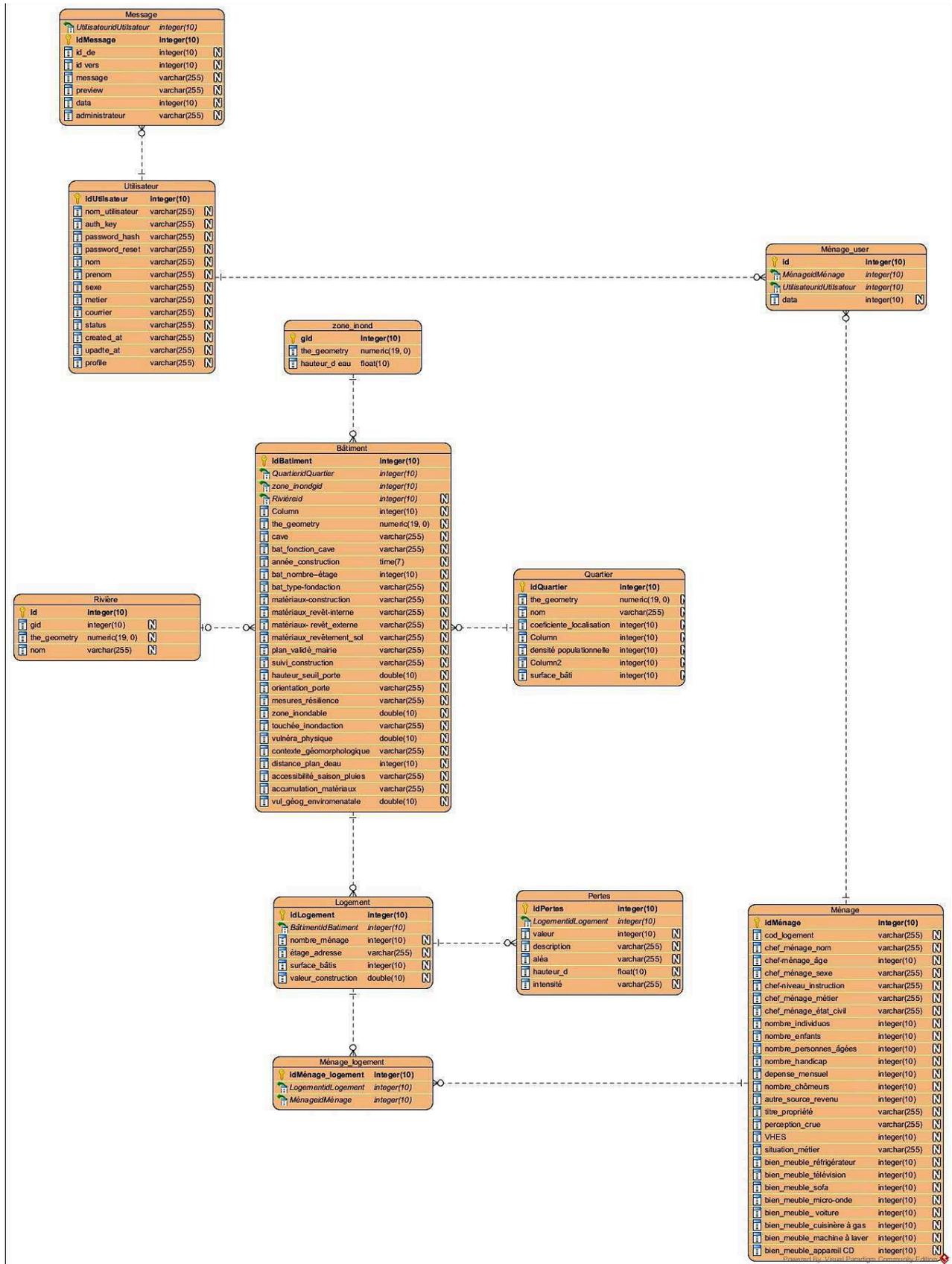


Figure 5.11 : Modélisation logique de la base de données, orientée-objet, sur le modèle physique de l’UML (ER)

Pour l'implémentation de la base de données, on a choisi le SGBD *PostgreSQL/PostGIS*. Ce choix pour la mise en place de la base de données multiusagers a été fait parce qu'il s'agit d'un logiciel souple, facile à utiliser. Il existe par ailleurs beaucoup de littérature sur une telle technologie. L'extension *PostGIS* présente aussi plusieurs fonctionnalités de gestion des données spatiales, en plus d'une intégration facile avec le SIG desktop *QGIS*. La *Figure 5.12* donne plus en détail la nature de l'implémentation de la base de données.

Il y a ainsi des tables que l'on considère comme faisant partie du système et qui ne sont donc pas essentiels pour le calcul de la vulnérabilité avec la méthodologie qu'on a choisi. Pour faciliter la lecture, elles ne sont pas prises en compte dans le diagramme ER.

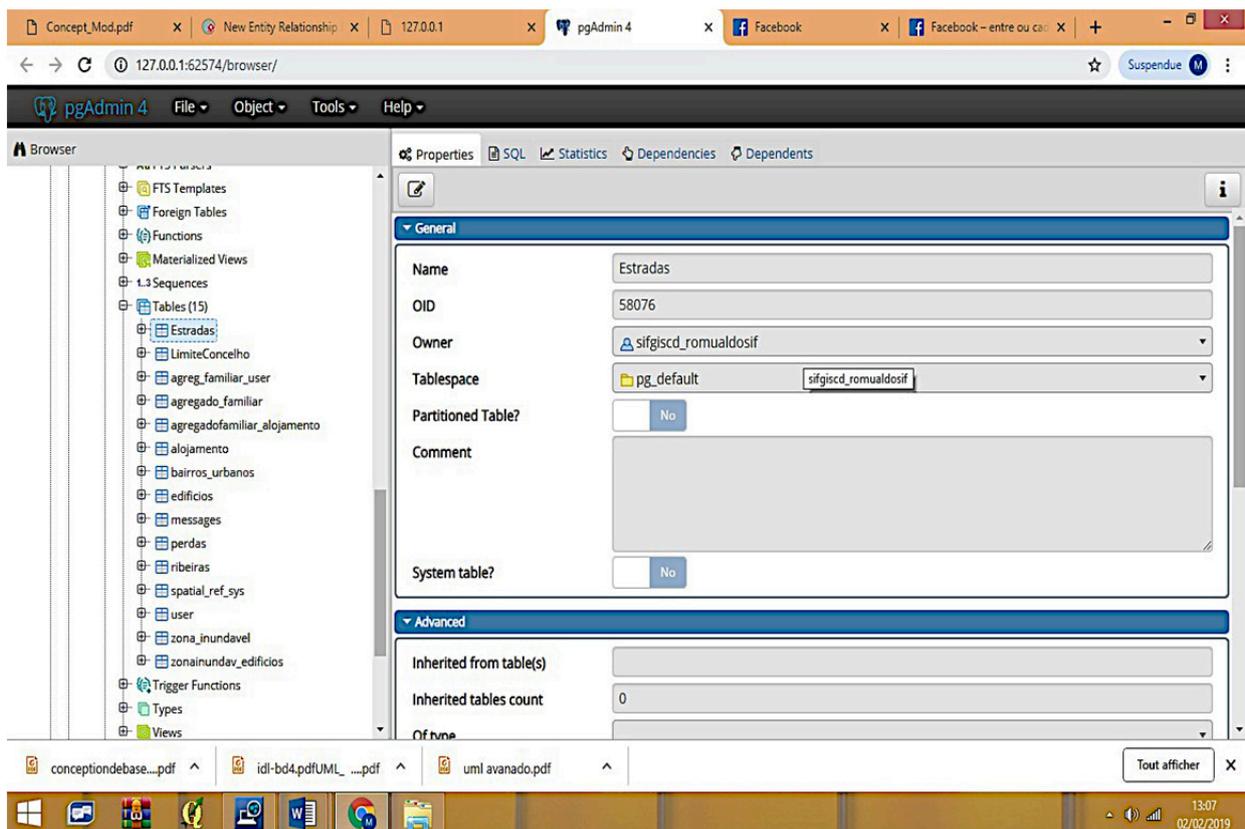


Figure 5.12 : Implémentation physique de la base de données à référence spatiale sur PostgreSQL/PostGIS

La composante géométrique, c'est-à-dire les coordonnées géographiques, est stockée par défaut dans la table « *spatial-ref-sys* » qui demande l'installation de l'extension spatiale *PostGIS* qui permet la conversion du fichier *Shapefile*, donc la géométrie en code SQL (séquence numérique de paires de coordonnées géographiques) qui sont maniables dans l'environnement *PostgreSQL/PostGIS*. Pour créer la base de données géographiques dans le *PostgreSQL/PostGIS*, on a utilisé le code suivant:

```
CREATE DATABASE "SIFgRin" WITH
ENCODING='UTF8'

OWNER=postgres

TEMPLATE=postgis_22_sample

CONNECTION LIMIT=-1;
```

Pour la mise en place de la composante cartographique de la base de données, on télécharge les fichiers *shapefiles* en utilisant l'outil *PostGIS 2.0 Shapefile and DBF Loader Exporter* lorsque l'extension *PostGIS* est activée après installation du logiciel *PostgreSQL* via *PgAdmin4*, comme suit (Figure 5.13):

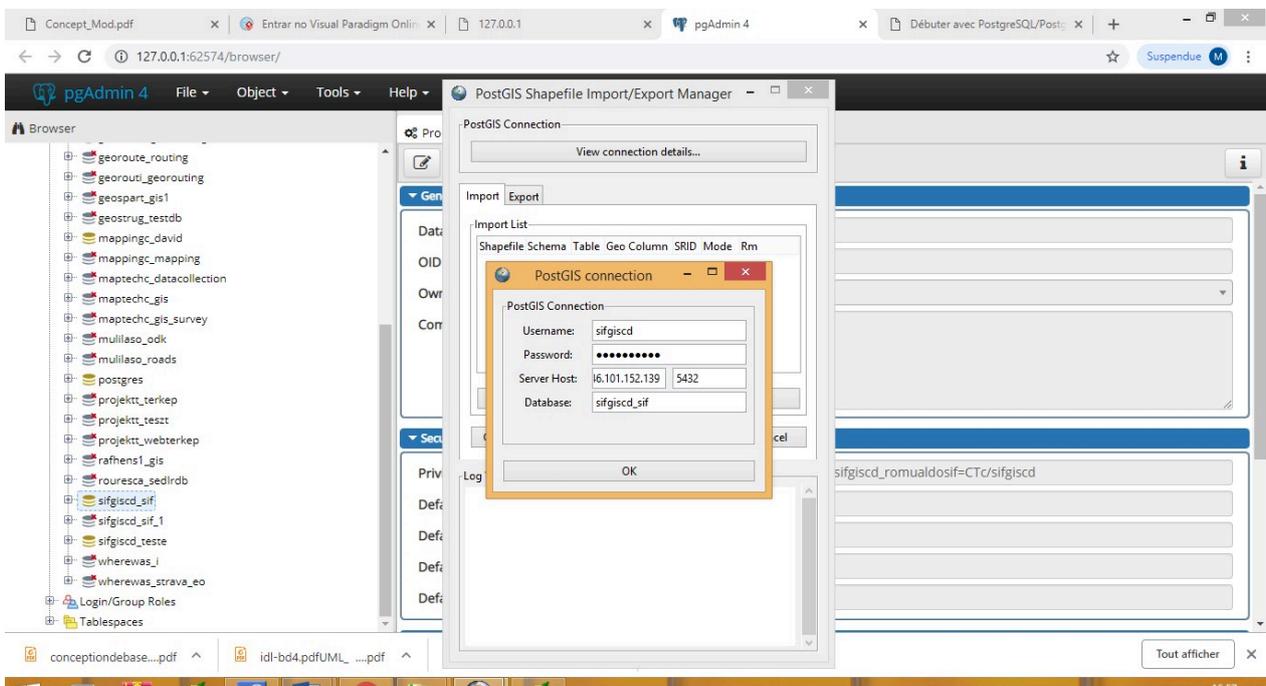
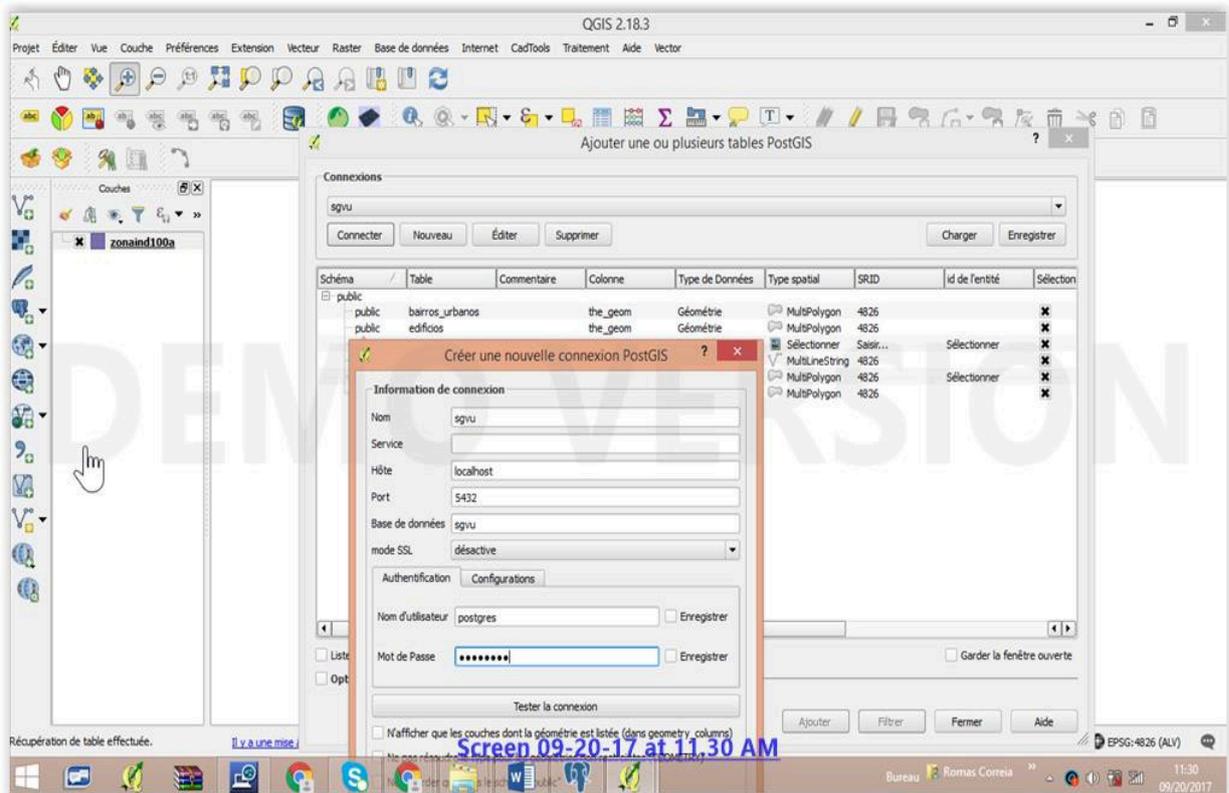


Figure 5.13 : Implémentation physique de la base de données à référence spatiale sur PostgreSQL/PostGIS

Dès que l'on dispose de l'élément graphique et des tables, on définit ensuite les contraintes, c'est-à-dire les clés primaires et étrangères. Pour la visualisation et la maintenance des données géographiques géoréférencées et les fonctionnalités du SIG, on a choisi le logiciel *QGIS 2.18* avec lequel une connexion avec le SGBD *PostgreSQL/PostGIS* a aussi été établie. L'interface ci-dessous (Figure 5.14) montre cette connexion.



Source : Réalisation de l'auteur

Figure 5.14 : Diagramme de séquence

Rappelons que l'application *SIFgRin* est indépendante de la base sous *PostgreSQL/PostGIS*. Néanmoins, puisque l'application web utilise le *PostgreSQL/PostGIS* en tant que SGBD, on peut établir une connexion entre les bases de données *PostgreSQL/PostGIS* et l'environnement *QGIS Desktop* qui permet, d'une part, de stocker les données collectées par le biais de l'application web *SIFgRin* et, d'autre part, de faire de l'analyse spatiale et de la cartographie en *backoffice*, autrement dit pour les services responsables de la gestion de données obtenues sur le terrain. Pour mieux comprendre le fonctionnement global du système qui comprend l'application web et la base de données géographiques, on présente les composants qui définissent l'architecture de référence du système *SIFgRin*.

5.3.3. Architecture du système d'information *SIFgRin*

Tout en considérant les acteurs du système, les fonctionnalités essentielles du système, on propose une architecture client/serveurs qui assure l'alimentation du système et répond soit aux attentes des foyers, soit à celles du Service de Gestion des risques. Cette architecture de référence comprend les composants suivants (Figure 5.15) :

- Le **serveur de cartes** qui permet la gestion de la base de données géographiques et la publication des données cartographiques sur le web. Parmi les serveurs de cartes, on a opté pour *Geoserver*, un *open source* qui permet la gestion de différents formats de données SIG et est très accessible, vu l'abondante littérature qui existe sur le logiciel.

- Le **serveur web Apache** qui a été installé et gère les requêtes envoyées via le web.
- Le **serveur de base de données**. On a opté par le SGBD *open source PostgreSQL/PostGIS* qui permet de stocker et de gérer les données spatiales et non spatiales.
- Le **serveur central et les terminaux**, y compris le SIG mobile pour la saisie des données, la gestion et l'enquête sur le terrain.

L'architecture proposée demande un administrateur du système d'information qui définit le profil de chaque utilisateur et s'occupe de la validation des données dans le système ainsi que le suivi et la validation des données provenant du terrain. Les chefs de ménages ont accès au SIG mobile pour renseigner sur leur niveau de vulnérabilité et les risques encourus, mais aussi pour informer, par l'échange de messages avec l'administrateur du système, soit pour demander des secours, soit pour alerter d'une situation de risque imminente.

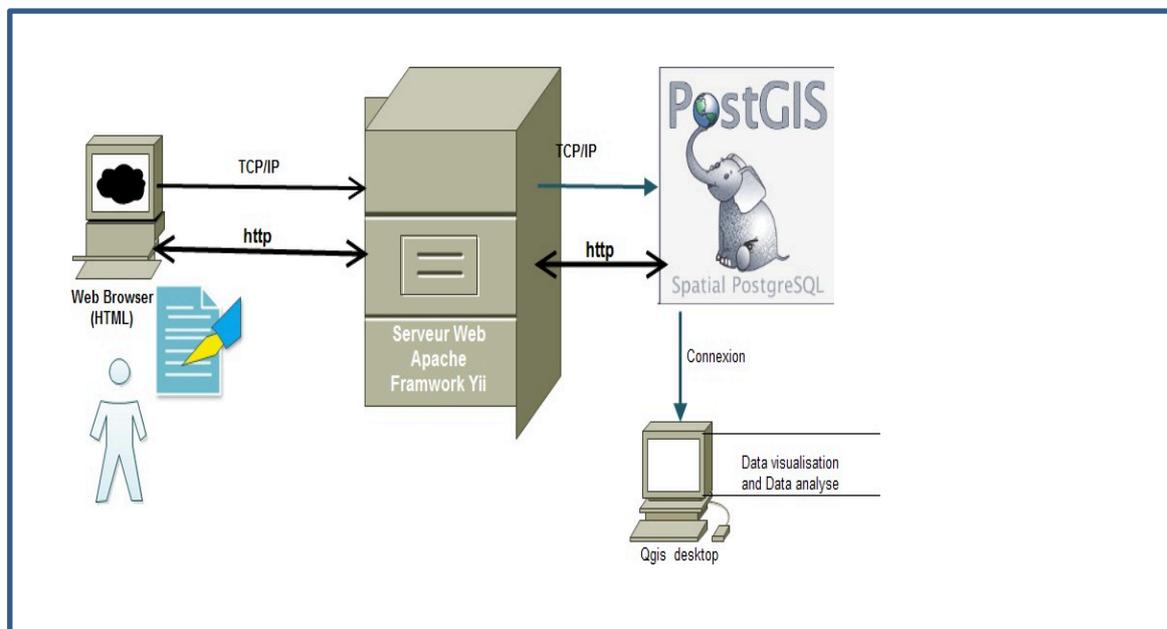


Figure 5.15 : Les composants du système

5.4. Mise en application de *SIFgRin*

Pour l'évaluation du risque des bâtiments face à l'inondation, une application *Web responsive Design*⁶⁸ a été développée de manière spécifique. Elle comprend deux modules : un module *Backend* (administration) et un autre module *Frontend* (clients).

⁶⁸ Une application *Web responsive Design* est conçue pour que son design et ses fonctionnalités s'adaptent aux différents périphériques qui la consultent ou l'utilisent, évitant ainsi une multiplication des développements propres et adaptés à chaque type de périphérique.

Le composant *Backend*, ou bureautique est lié à l'administration du système et permet la collecte, le stockage et la gestion des données. Le composant *Frontend* est destiné aux utilisateurs du système d'information pour consulter leurs données et alerter l'administrateur. La base de données spatiales géoréférencées permet de localiser rapidement les bâtiments, de collecter des données au niveau des foyers. Pour accéder à l'application, il faut avoir un *browser* et internet, sur station de travail ou smartphone. La version de l'application mobile, qui peut être sur un smartphone ou une tablette, pour la collecte électronique de données sur le terrain, permet d'alimenter la base de données à distance en temps réel.

Le système demande un mot de passe aux utilisateurs pour s'initialiser (*Figure 5.16*). L'utilisation du système requiert une authentification, ce qui demande un enregistrement au préalable dans la base de données. Pour accéder à l'interface utilisateur, il suffit d'avoir l'*url*. Néanmoins pour accéder aux données concernant les ménages, il faut disposer des identifiants des chefs de ménage.

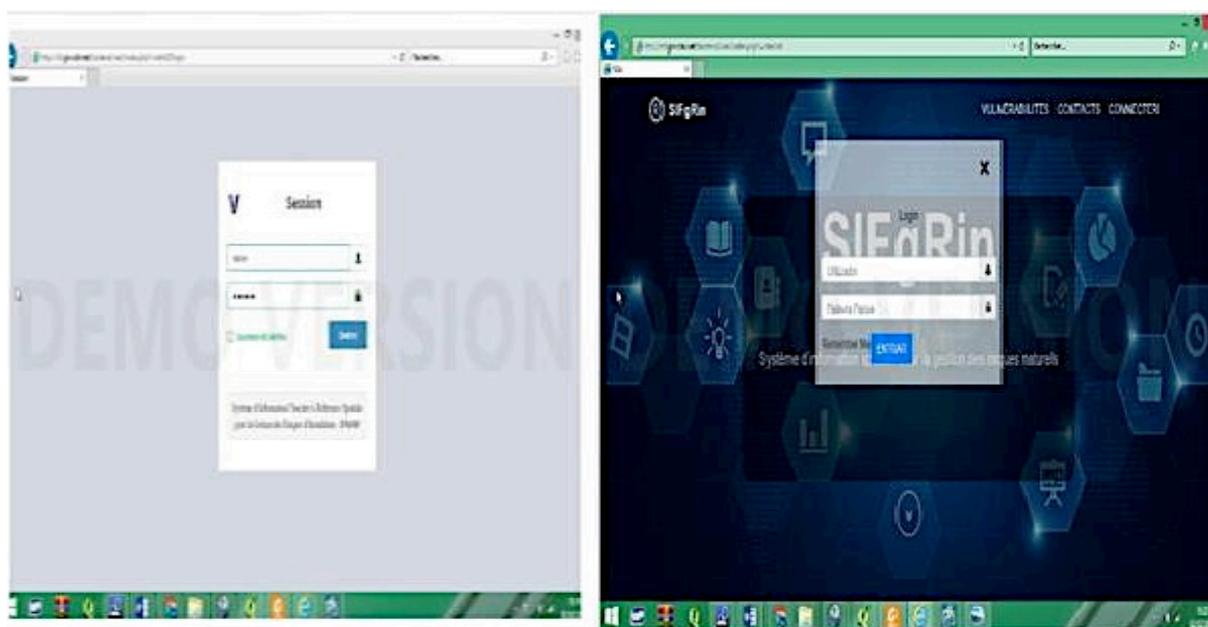
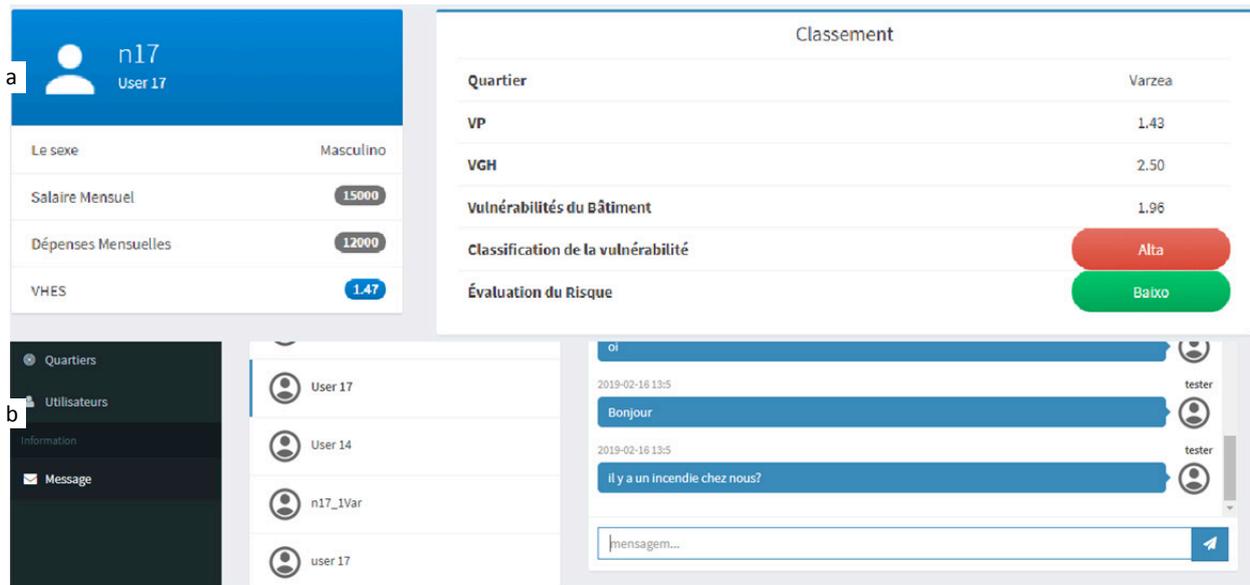


Figure 5.16 : Capture d'écran de «login»

Après s'être authentifiés, les utilisateurs (les clients - un résident ou un chef de ménage par exemple, mais on pourrait aussi penser à un étudiant ou à un chercheur - ou les administrations) peuvent consulter le niveau de vulnérabilité ou le degré de risque d'un bâtiment, d'une zone ou d'une commune. Ils peuvent aussi interagir avec l'administrateur du système pour signaler ou alerter en cas de manifestation d'un aléa et demander des secours. La *Figure 5.17* ci-dessous montre l'interface client.



- a- capture d'écran côté clients - renseigner le niveau du risque
- b- capture d'écran - échange du message entre le chef de ménage et l'administrateur

Figure 5.17 : Capture d'écran de l'utilisateur citoyen

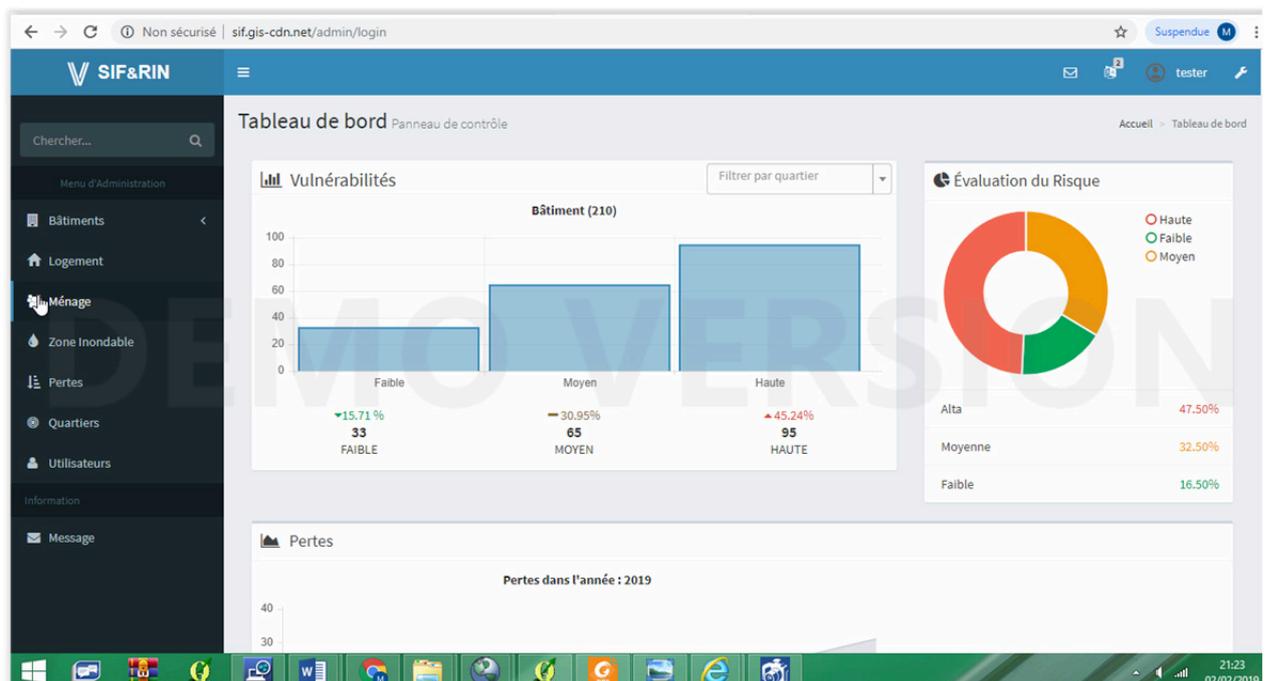


Figure 5.18 : Capture d'écran principal backend

Pour accéder aux fonctionnalités essentielles du système telle que la collecte de données sur le terrain pour l'évaluation du degré de vulnérabilité, y compris le risque encouru par chaque ménage, il est nécessaire de se connecter au serveur du côté *backend* (Figure 5.18). Dès que les identifiants sont reconnus, l'interface de l'application sera affichée comme ci-dessus. Au fur

et à mesure que sont menées les enquêtes auprès des chefs de ménage, le système fait un résumé statistique des indicateurs affichés. Le menu déroulant « *Bâtiments* » dispose des fonctionnalités essentielles du système, tel l'affichage de la carte du bâti et le questionnaire comprenant les critères retenus pour évaluer le niveau de vulnérabilité (Figure 5.19).

The screenshot displays the 'Bâtiments' questionnaire in a web browser. The browser's address bar shows 'sif.gis-cdn.net/backend/web/index.php?r=edificios%2Fmapa'. The application header includes the SIF&RIN logo and a search bar. The sidebar menu on the left contains 'Bâtiments' (highlighted in red), 'Ménage', 'Zone Inondable', 'Pertes', 'Quartiers', and 'Utilisateurs'. The main content area is titled 'Bâtiments' and shows details for 'Quartier: Várzea', 'Bâtiment: 26428', 'Zone Inondable: 1', and 'Total logement: 1'. There are two tabs: 'Vulnérabilité Physique' (selected) and 'Géographique-Environnementale'. The 'Vulnérabilité Physique' section contains several dropdown menus for data entry:

- Type du Bâtiment: Immeuble non fini
- Cave: Não existe
- Nombre d'étage: 1
- Qualité de Fondation: Moyenne
- Matériaux de Construction: Béton
- Matériaux de Revêtement Interne: Revêtu et sans peintes
- Matériaux de Revêtement Externe: Revêtu et sans peintes
- Matériaux de Revêtement du Sol: Sol en mosaïque
- Plan d'Architecture validé la mairie: Non approuvé
- Suivi de la construction: Par vous-même
- Hauteur seuil porte: Inférieur à cote des routes
- Orientation de la Porte: Porte orientées vers cours d'e...
- Mesures de Résilience: Aucune
- Zone Inondable: Hauteur 0,7 et 1,1
- Touchée par une inondation: Parfois avec pertes

Figure 5.19 : Écran d'affichage du questionnaire web présentant les variables retenues

Le questionnaire comprend des sections complémentaires. La première et la deuxième sont dédiées à la vulnérabilité physique des bâtiments d'une part, et à leur vulnérabilité géographique et environnementale d'autre part. On ne peut éviter d'admettre que les ménages qui occupent le même bâtiment partagent des vulnérabilités similaires. La troisième et dernière section porte sur la vulnérabilité humaine et socioéconomique des ménages.

Une fois que les sections du questionnaire ont été remplies, une valeur de vulnérabilité est indiquée dès que l'on clique sur le bouton « *Enregistrer* ». Un script SQL (Figure 5.20) additionne tous les points pour chaque modalité des variables retenues, puis classe les bâtiments et les ménages en trois catégories de vulnérabilité, à savoir : vulnérabilité *faible* si la valeur retournée se situe entre 0 et 1, *moyenne* si elle se situe entre 1 et 2 et *forte* lorsque la valeur est supérieure à 2 points. Après le cumul des notes dans chaque catégorie, un rapport entre les points accumulés et le nombre de modalités est produit, suivi du classement de la vulnérabilité en trois classes selon la discrétisation de la série de données considérée. La borne supérieure de chaque classe de vulnérabilité est fixée au préalable selon la classification des données au départ. Néanmoins, le seuil peut être affiné à mesure que le système s'enrichit de données statistiques de façon à permettre des analyses d'évolution temporelle.

```

/**
 * Lists all User models.sss
 * @return mixed
 */
public function getVulmFiscaDescricao($edificio_id)
{
    $data = $this->getVulmerabilidadeFisica($edificio_id);

    if ($data <= 1) {
        return 'Baixa';
    }elseif ($data>1 && $data<2) {
        return 'Medio';
    }elseif ($data>=2) {
        return 'Alto';
    }
}

```

Figure 5.20 : Script SQL pour le calcul de la vulnérabilité

5.5. Premiers résultats obtenus

5.5.1. Une meilleure connaissance des vulnérabilités à une échelle fine

Afin de tester l'application, on a collecté les données de 167 maisons sur les 1 128 existantes du quartier de Varzea dans la ville de Praia, d'après les données de l'INE (2010). Elles sont situées dans une zone basse où l'on retrouve aussi bien des constructions formellement autorisées et d'autres clandestines. A chaque bâtiment est donc associé un indice de vulnérabilité physique et un indice de vulnérabilité géographique et environnementale, dont le principe de calcul repose sur les indicateurs présentés dans la section 5.1. Ainsi, l'indice de vulnérabilité humaine et socio-économique sera calculé après la collecte des données relatives aux caractéristiques humaines, démographiques et socio-économiques de chaque foyer.

Dans l'échantillon, 15.6% des bâtiments présentent un indice de vulnérabilité physique fort d'après l'échelle établie, alors que 52% ont un indice moyen et 31.8%, un indice faible. L'indice de vulnérabilité géographique et environnementale est fortement influencé par les conditions du milieu naturel, le contexte géomorphologique et la distance aux cours d'eau. Il représente donc un poids important dans la vulnérabilité des bâtiments dans le quartier choisi pour la validation de l'application. Bien que marqués par une forte vulnérabilité environnementale, certains bâtiments voient leur vulnérabilité globale diminuée, grâce à la meilleure qualité des matériaux utilisés et des constructions. La vulnérabilité géographique et environnementale est également déterminée par la proximité à un cours d'eau et par la qualité de l'assainissement qui peut conditionner le développement de maladies vectorielles et diarrhéiques. Là aussi, une vulnérabilité physique faible, autrement dit une bonne qualité de construction, peut atténuer les impacts des indices élevés de vulnérabilité géographique et environnementale. La vulnérabilité physique des bâtiments est finalement très dépendante de facteurs économiques, alors que la conscience des risques encourus joue plutôt sur la

vulnérabilité environnementale. La Figure 5.21 présente les résultats obtenus. La valeur affichée du nombre de bâtiments dans l'interface est supérieure à celle de l'échantillon parce qu'on a inclus des bâtiments d'autres quartiers, afin de permettre le test de certaines fonctionnalités de l'application.

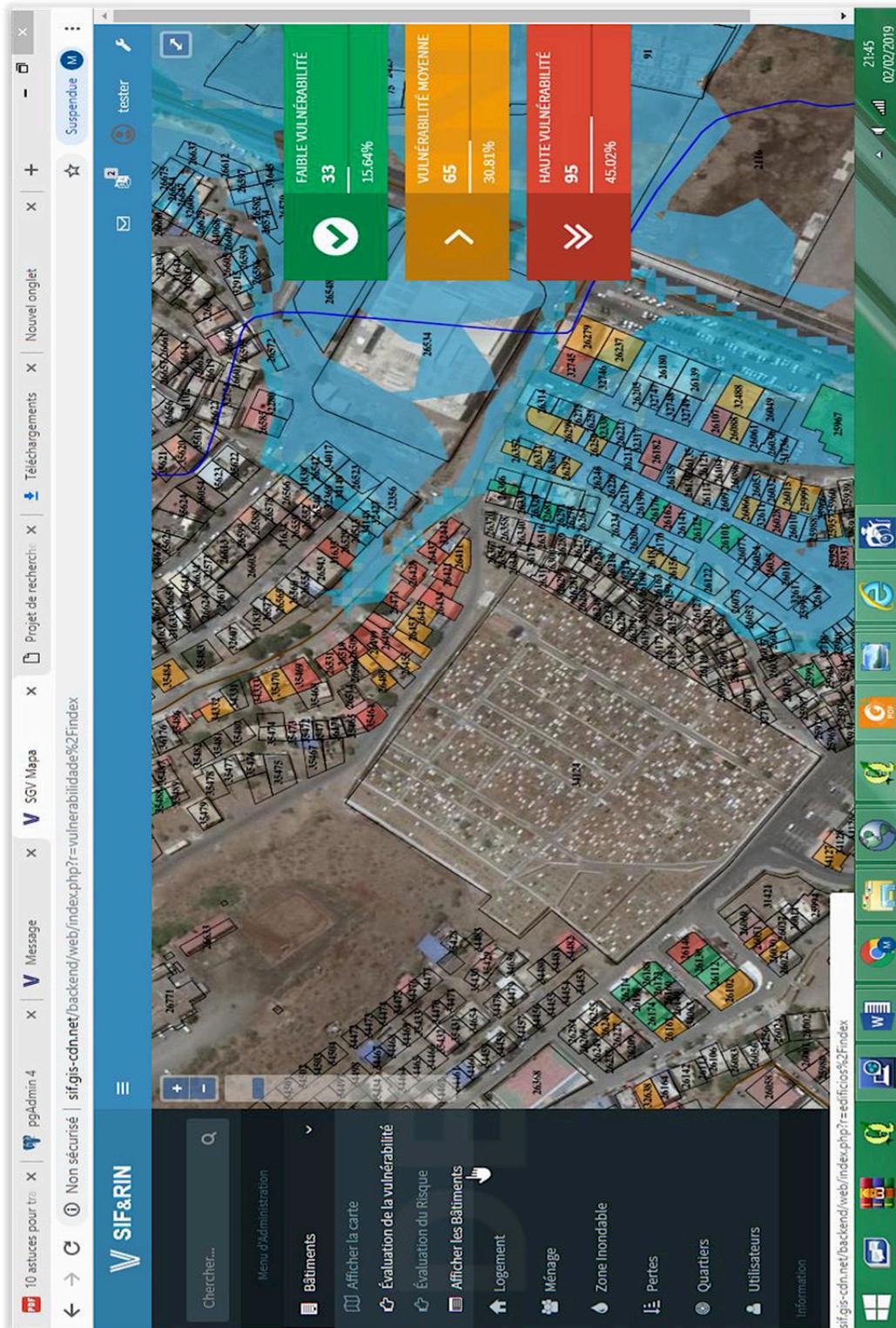


Figure 5.21 : Écran d'affichage de la vulnérabilité globale du bâti selon les critères retenus

Les vulnérabilités humaines dépendent de leur côté des caractéristiques socioculturelles des ménages, et notamment du cycle de vie des individus, allant de l'enfance à la vieillesse. Vu la jeunesse de la population, le poids des personnes âgées dans le calcul de l'indice de vulnérabilité humaine est résiduel, car seuls 6.9% des foyers enquêtés sont constitués de 2 personnes âgées ou plus. La catégorie des personnes âgées a donc un impact faible dans le calcul de l'indice de vulnérabilité. D'après l'enquête menée auprès des chefs de ménage du quartier de Varzea, 18% des foyers ont un niveau de vulnérabilité humaine et socio-économique élevé. Cette proportion importante s'explique par des niveaux d'éducation moins élevés, un nombre de propriétaires moins fréquent et des dépenses moyennes mensuelles inférieures (Figure 5.21 et 5.22).

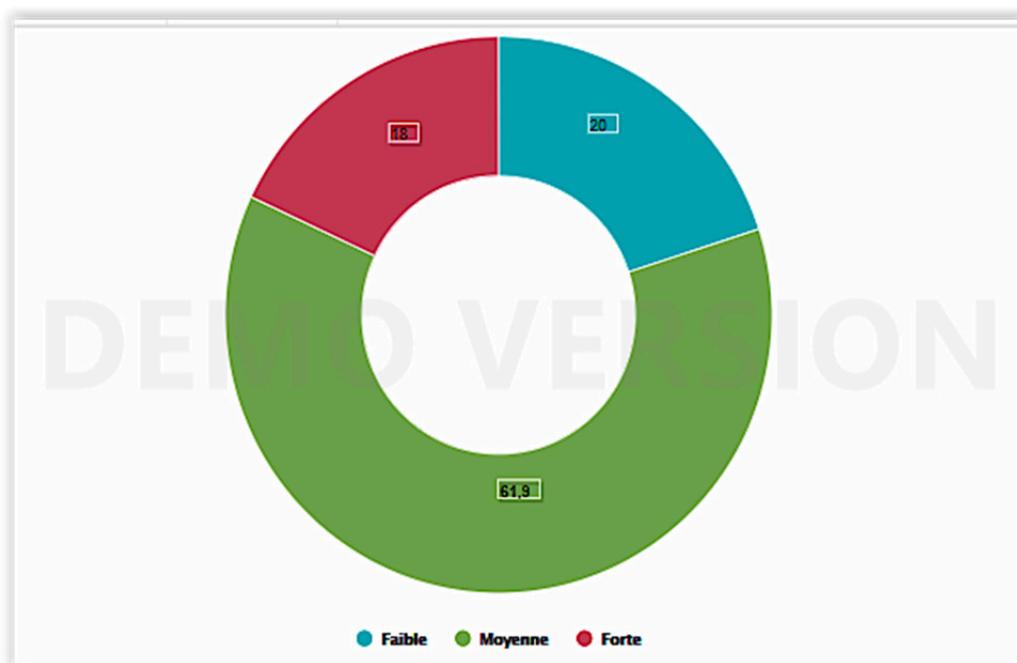


Figure 5.22 : Proportions du niveau de vulnérabilité humaine et socioéconomique des ménages enquêtés

5.5.2. Une vulnérabilité globale par ménage qui devient mesurable

Dans l'ensemble des foyers enquêtés, 18 % présentent un indice de vulnérabilité humaine et socioéconomique élevé. La grande majorité (61,9%) d'entre eux présente une vulnérabilité humaine et socioéconomique moyenne (Figure 5.22). Un niveau de vulnérabilité humaine et socioéconomique faible (Figure 5.21) caractérise 20% des foyers. Les personnes âgées et les personnes handicapées ont un poids infime dans ce calcul de la vulnérabilité.

La consultation de l'indice de vulnérabilité socioéconomique par l'administrateur peut se faire de manière rapide en cliquant sur le bouton « Ménage » (Figure 5.23) pour fournir aux administrateurs des informations de base sur les caractéristiques des ménages, tels le nom du chef de ménage, son âge, la taille de son foyer ainsi que l'évaluation de son patrimoine mobilier, et le niveau de vulnérabilité de chaque ménage enregistré.

#	Nom du Chef de Ménage	L'âge	Nombre d'Individus	Appareils Électroménagers	VHES	Actes
121	I25647-1	44	1	102 000,00	1,27	
122	I25570-1	(non défini)	1	40 000,00	1,53	
123	L25607-1	47	2	935 000,00	0,73	
124	I25487-1	37	5	54 000,00	1,47	
125	I25410-1	65	4	195 000,00	0,87	
126	I25417-1	30	2	1 690 000,00	2,40	
127	I25428-1	48	8	42 000,00	2,00	
128	I25420-1	50	1	1 110 000,00	0,73	
129	L25422-1	48	4	47 000,00	0,93	
130	I25426-1	32	1	40 000,00	1,27	
131	I34147-1	32	1	20 000,00	1,13	
132	I25676-1	48	8	44 000,00	2,13	
133	I26102-1	67	9	140 000,00	1,40	
134	L26030-1	49	4	1 086 000,00	0,67	
135	I26043-1	27	2	112 000,00	0,73	

Figure 5.23 : Écran d'affichage de la vulnérabilité humaine et socioéconomique des foyers

D'après l'échantillon et les critères considérés, prédominent les maisons aux vulnérabilités physique, et géographique et environnementale moyennes, suivies de celles à vulnérabilité forte. En complément, on peut aussi envisager la vulnérabilité globale à l'échelle des ménages. Ainsi, la vulnérabilité d'un ménage est envisagée comme la moyenne arithmétique simple de la composante **vulnérabilité globale** des bâtiments (*vg*) et de la vulnérabilité humaine et socio-économique (*Annexes*). Autrement dit, dans un même bâtiment, les ménages tendent à partager la même vulnérabilité physique, et la vulnérabilité du ménage varie selon les caractéristiques socio-économiques et démographiques des personnes résidant au foyer.

Pour les logements d'un même lieu, la vulnérabilité physique varie selon les caractéristiques des foyers (appréhension des mesures de prévention, conscience des risques, type de ressources économiques). Dans la zone d'expansion des crues, les bâtiments ont d'ailleurs une vulnérabilité moyenne. Mais la vulnérabilité forte s'accroît avec l'éloignement à la route principale à cause de l'augmentation du nombre de maisons informelles de construction de qualité inférieure et dont l'emplacement ne respecte pas les normes d'urbanisme.

5.5.3. Une zone d'expansion des crues mieux circonscrite

Pour réaliser des cartes d'aléas, il y a plusieurs méthodologies proposées dans la littérature, comme on l'a vu précédemment. Malgré l'insuffisance de données sur l'intensité des pluies et les débits de crues, on s'est servi de la carte de l'aléa inondation élaborée dans le cadre d'une expertise internationale, à titre indicatif, tout en considérant aussi les informations qualitatives recueillies auprès des foyers sur la fréquence des inondations par des crues.

Lorsqu'on croise les cartes d'aléa et de vulnérabilité (Figure 5.24), on peut constater qu'il y a des maisons hors des zones inondables selon cette étude officielle, parrainée par le gouvernement et le PNUD, alors que le risque d'inondation est considérable si l'on tient compte des informations qualitatives fournies par les chefs de ménage et confirmées sur le terrain. On s'aperçoit que la modélisation faite pour délimiter les zones inondables tient uniquement compte des tronçons de rivières et des principaux linéaires, et que l'inondation ne se résume pas à la plaine alluviale contiguë à la rivière. Ce problème peut théoriquement être résolu à travers l'intégration des autres tronçons de rivières dans le modèle. Mais il subsiste lorsque les crues se répandent hors du lit majeur des rivières, affectant notamment les bâtiments sur les piémonts ou en pied de versants, d'où la nécessité d'incorporer l'information qualitative à travers de telles enquêtes de terrain. *SIFgRin* démontre à ce titre tout l'intérêt de concevoir un tel dispositif de SIG participatif.

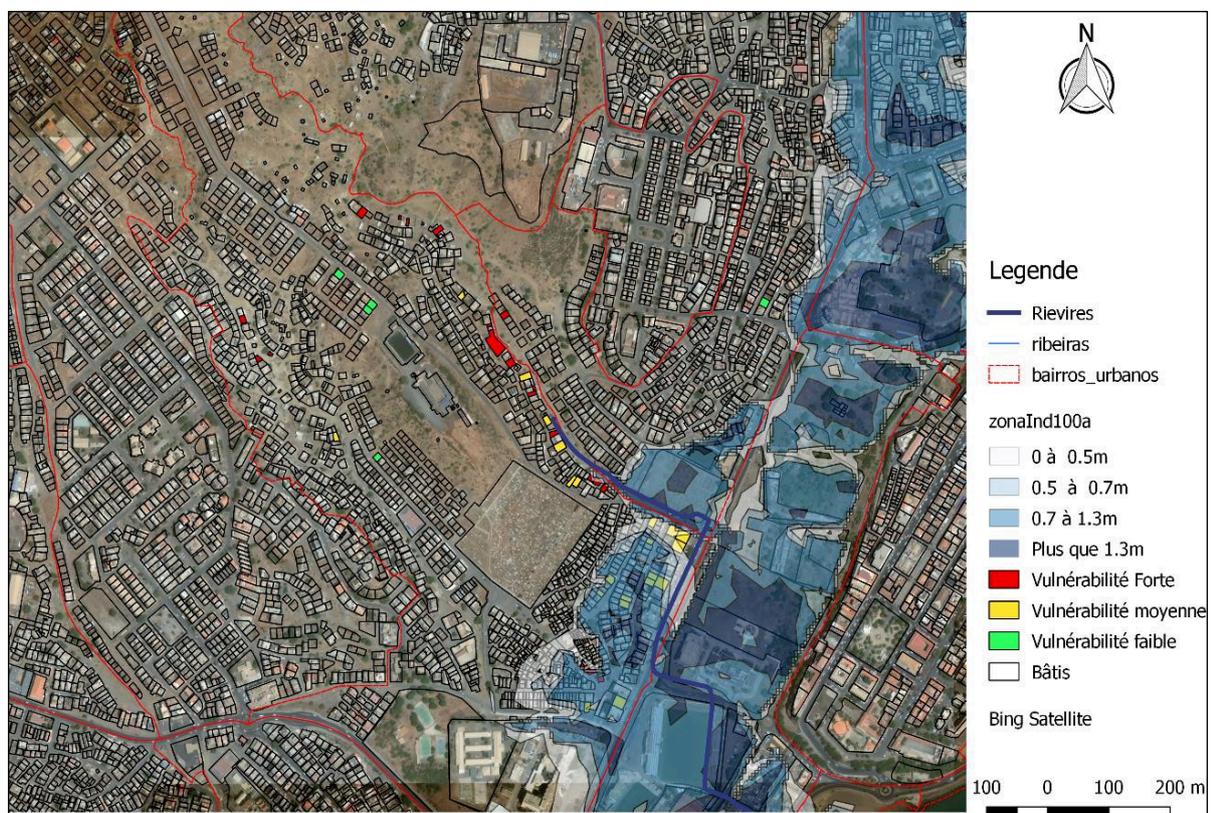


Figure 5.24 : Carte de la vulnérabilité et de l'aléa inondation, quartier de Varzea, ville de Praia

Si l'expansion des crues dans les secteurs de basse altitude, dans le quartier de Varzea, est confirmée par le travail de terrain, on ne peut pas en dire autant pour les laisses de crues. Une hauteur comprise entre 0,7 et 1,3 m dans certains secteurs de la commune peut avoir des effets catastrophiques. Or, il n'y a ni marque, ni repère sur le terrain ou dans le souvenir des résidents pour valider ces paramètres. Pour autant, cette carte constitue un apport significatif étant donné qu'elle signale les zones problématiques, même si elle demande d'être affinée en implémentant d'autres paramètres dans le modèle (embâcles, infrastructures réseaux par exemple).

5.5.4. Un outil qui permet d'imaginer différents scénarios

A partir de l'évaluation proposée à l'aide de l'interface *SIFgRin*, on identifie les risques pour les bâtiments et les ménages en combinant les paramètres suivants : les indices de vulnérabilité fournis par l'application, les couches d'aléa obtenues par le biais de la modélisation hydrologique et la fréquence des inondations d'après les données collectées sur le terrain. La fréquence des inondations constitue un des indicateurs qui permet de corroborer les paramètres hydrologiques obtenus par la modélisation (*Tableau 5.13*). Ainsi, le paramètre de fréquence des inondations dans ce travail est un facteur à prendre en compte dans l'évaluation des risques. On a considéré cette fréquence parce que les contextes géographiques de pluies torrentielles et de ravinement intense font que les maisons sont touchées même si elles ne font pas partie des zones inondables délimitées par la modélisation hydrologique. Quelques scénarios de risques sont par conséquent imaginables, en utilisant par exemple la matrice ci-dessous (*Tableau 5.13*).

	<i>Aléa (hauteur d'eau)</i>	<i>Aléa (fréquence des inondations)</i>
Vforte	Aléa forte à très forte hauteur d'eau : > 0.7 m	Fréq. (jamais)
Vmoy	Aléa moyenne hauteur d'eau : entre 0.5 et 0.7 m	Fréq. (souvent)
Vfaib	Aléa faible hauteur d'eau : < 0.5 m	Fréq. (toujours)
Vforte	Aléa forte et très forte hauteur d'eau : > 0.7 m	Fréq. (jamais)
Vmoy	Aléa moyenne hauteur d'eau : entre 0.5 et 0.7 m	Fréq. (souvent)
Vfaib	Aléa faible hauteur d'eau : < 0.5 m	Fréq. (toujours)
Vforte	Aléa forte et très forte hauteur d'eau : > 0.7 m	Fréq. (jamais)
Vmoy	Aléa moyenne hauteur d'eau : entre 0.5 et 0.7 m	Fréq. (souvent)
Vfaib	Aléa faible hauteur d'eau : < 0.5m	Fréq. (toujours)

Source : Réalisation de l'auteur

Légende : Vforte = vulnérabilité Forte ; Vmoy =vulnérabilité moyenne ; Vfaib=Vulnérabilité faible

Tableau 5.13 : Scénarios prévus pour identifier les indices de risque en croisant les différentes catégories de vulnérabilité, la hauteur d'eau et l'historique des inondations

Dans cette matrice, les indices de vulnérabilité peuvent aussi être combinés avec les données d'aléa obtenues à partir de la modélisation, et l'information à caractère plutôt qualitatif saisie dans le SIG participatif. En fonction des besoins et de la qualité des données disponibles, on peut rester dans la partie gauche de la matrice, autrement dit, en ne considérant que les paramètres quantitatifs. Néanmoins, les données qualitatives peuvent être intégrées dans l'évaluation, pour affiner l'analyse des risques et surtout combler le défaut de données quantitatives. A partir de cette matrice de combinaison générale de scénarios, où la vulnérabilité des bâtis et des ménages est fournie par l'application d'après les données collectées sur le terrain, on a fixé quelques scénarios de risque qui font ensuite l'objet d'une cartographie (*Tableau 5.14*).

Risque élevé	Vforte	Aléa forte hauteur (> 0.7m)	Inondation fréquente par des crues ou toujours
	Vmoyenne	Aléa forte hauteur (> 0.7m)	
	Vforte	Aléa moyenne hauteur (0.5 à 0.7)	
Risque moyen	Vmoyenne	Aléa moyenne hauteur (0.5 à 0.7)	Inondation fréquente par des crues
Risque faible	Vfaible	Aléa faible hauteur (< 0.5)	Jamais d'inondation
	Vforte		
	VMoyenne		

Tableau 5.14 : Critères retenus pour l'évaluation des risques

Les scénarios considérés pour l'évaluation des risques prennent en compte le croisement de l'aléa et des vulnérabilités. L'aléa comprend ici d'une part l'information quantitative – la hauteur d'eau en intervalle de classes et d'autre part l'information à caractère qualitatif fournie par les familles sur la fréquence des inondations qui peut être confirmée par les enquêtes ou l'équipe de validation des données de risque encouru sur le terrain à travers les marqueurs d'inondation.

5.6. Perspectives et éléments de discussions

Les premiers résultats obtenus et la mise en œuvre de *SIFgRin* à une échelle fine permettent d'envisager de nouvelles fonctionnalités. A titre d'exemple, un script SQL a été écrit pour classer les bâtiments selon leur degré de risque. Dans ce calcul, les paramètres suivants sont intégrés :

- la vulnérabilité physique du bâtiment (*vlf*) ;
- la vulnérabilité géographique et environnementale (*vlg*) ;
- la vulnérabilité globale du bâtiment (*vg*) ;
- la vulnérabilité humaine et socioéconomique (*vhs*) ;
- la hauteur d'eau (*h*) ;
- la fréquence des inondations (*f*).

L'écran d'interface « *Évaluation du risque* » illustre ce mode de calcul (*Figure 5.25*).

D'après les nouveaux résultats obtenus auprès des ménages, il existe 3 classes de risques : le risque *faible*, le risque *moyen* et le risque *fort* (*Figure 5.26*).

Le *risque faible* désigne une zone inondable désignée par le code=1 (avec une hauteur d'eau inférieure à 0,5 m et où il n'y a jamais eu d'inondations (code=108) (signalé *en vert* dans l'écran précédent). Indépendamment du niveau de vulnérabilité, les maisons sont classées comme à bas risque. Presque la moitié des ménages enquêtés (47%) entrent dans cette catégorie. Les mesures d'atténuation pourraient en partie expliquer cette proportion : il s'agit de maisons situées dans les zones à risques où les propriétaires ont pris des mesures d'adaptation aux crues.

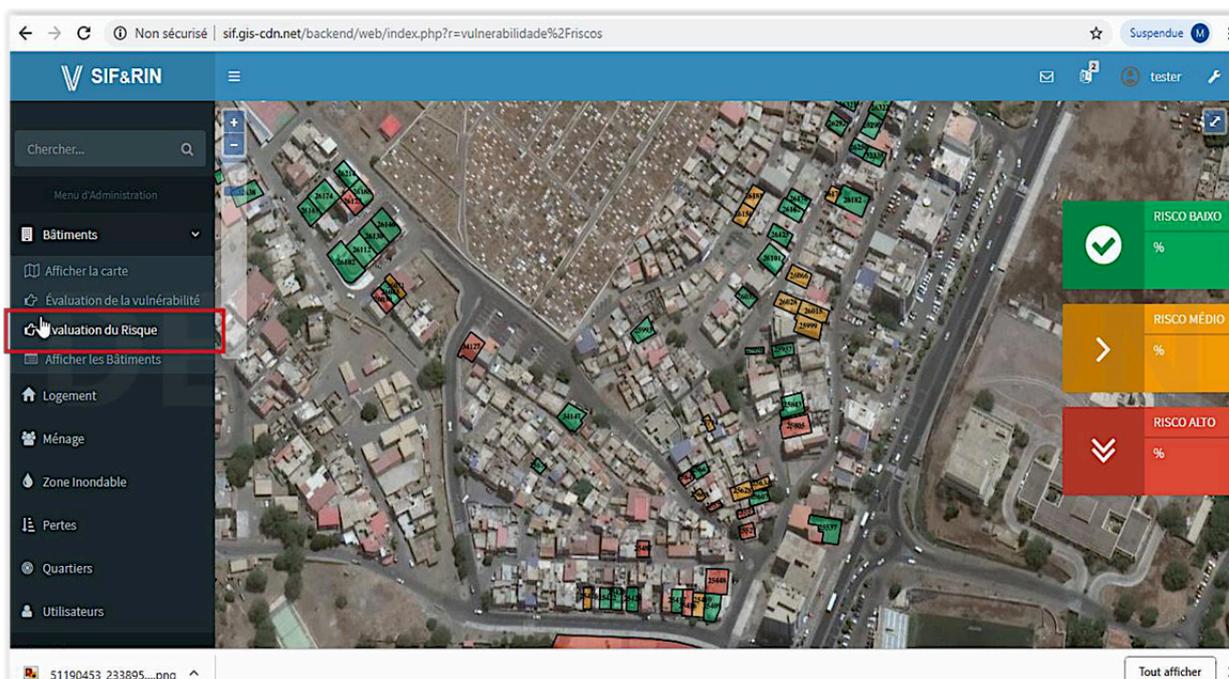


Figure 5.25 : Carte de classement du bâti en fonction du degré de risque face à l'aléa inondation

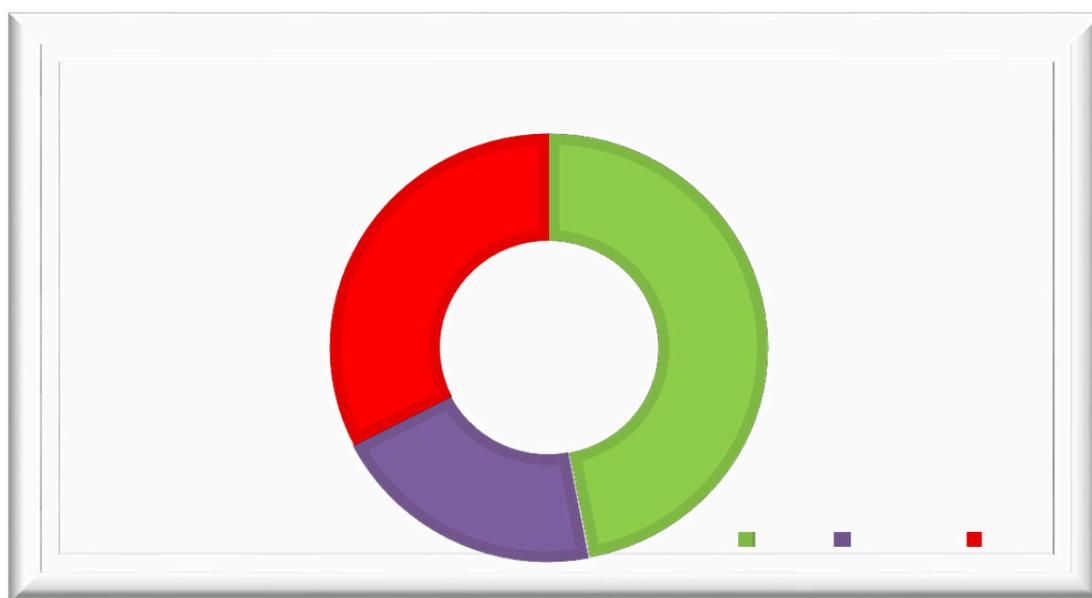


Figure 5.26 : Répartition des ménages selon leur niveau de risque, quartier de Varzea, ville de Praia

La proportion de ménages (33%) ayant des *risques forts* est aussi importante (signalé *en rouge* dans l'écran précédent). Cette proportion est influencée par la vulnérabilité géographique environnementale et la vulnérabilité humaine et socioéconomique des foyers.

La proportion de *risque moyen* des bâtiments (*en orange* sur la Figure 5.25, *en violet* sur la Figure 5.26) face à l'inondation se situe à 20%. La possibilité d'enregistrement des pertes et leur estimation financière permet de disposer de données statistiques historiques pour améliorer la formule de calcul (Figure 5.27).

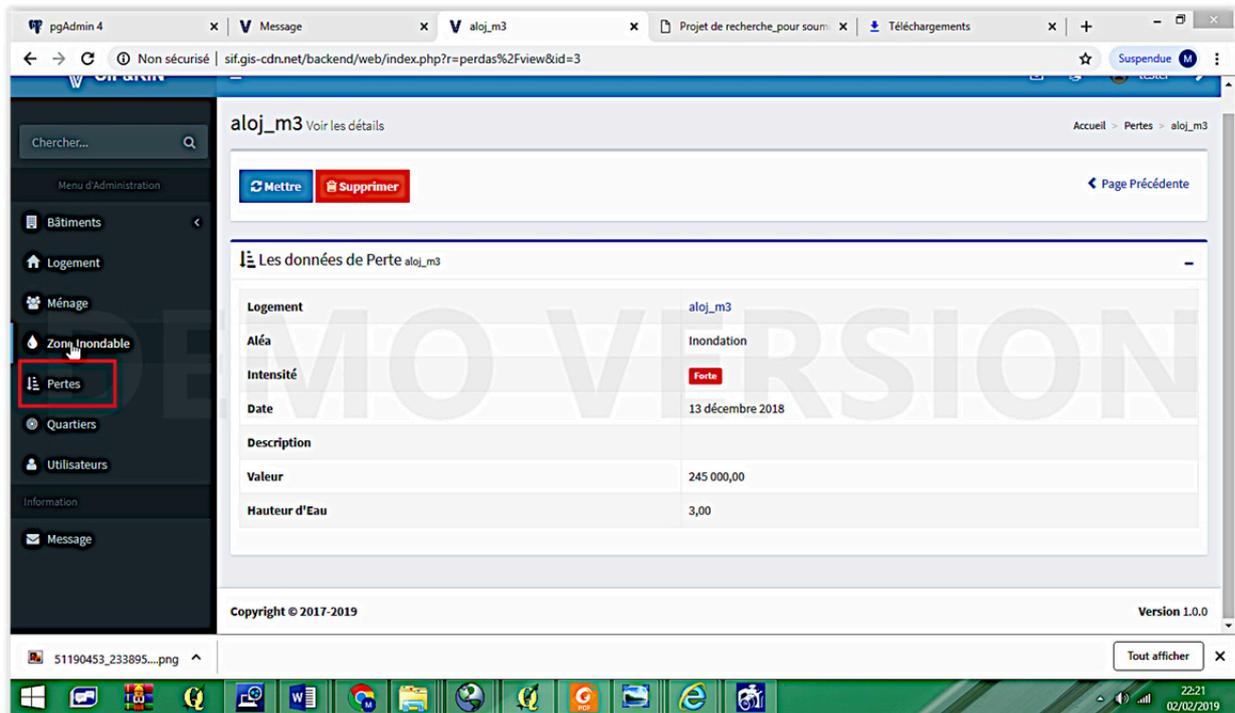


Figure 5.27 : Écran d'inventaire des pertes après la catastrophe

L'application web développée est par ailleurs connectée à un SIG (Système d'Information Géographique) libre, *Quantum GIS*. Cela permet le croisement des données, la visualisation et l'analyse spatiale, amplifiant ainsi les fonctionnalités du système. Les données recueillies et les indices de vulnérabilités et de risques effectués par le *SIFgRin* sont intégrés dans l'environnement du SIG libre. Ils permettent l'analyse spatiale du risque, ou la superposition d'autres couches pour une analyse plus riche. Cette intégration permet aux services administratifs de profiter des fonctionnalités du logiciel SIG *desktop open source* pour améliorer la connaissance des risques.

La récupération de données institutionnelles, notamment de l'Institut National de Gestion du Territoire (INT), est possible via les services *wms* sur le *QGIS desktop*, comme l'illustre l'écran ci-dessous (Figure 5.28). En effet, l'IDS du Cap-Vert met à la disposition des utilisateurs un certain nombre de couches, comme l'altimétrie, les cartes de contraintes, le réseau routier, le réseau hydrographique, autant de thèmes essentiels à l'étude des risques d'inondation.

Rappelons aussi que le SIG *desktop QGIS* permet la saisie de données qui proviennent de levés GPS ou de GIS mobile. Ainsi, les utilisateurs du système en mode SIG *Workstation* peuvent profiter des fonctionnalités pour réaliser plusieurs types d'analyses, soit de statistiques spatiales, soit de modélisation, qui permettront d'améliorer la connaissance du risque d'inondation.

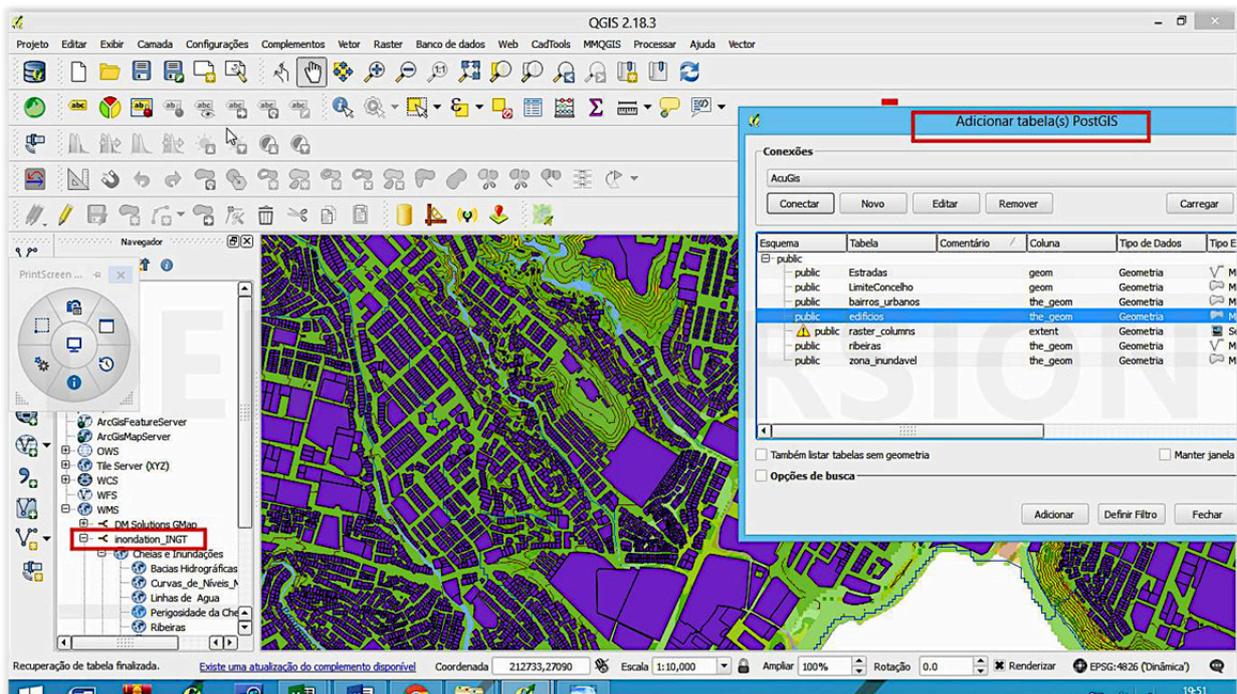


Figure 5.28 : Intégration des données de l'IDS du Cap-Vert dans le système SIFgRin

Conclusion du chapitre 5

Le système conçu permet 1) la collecte de données *in situ*; 2) l'évaluation de la vulnérabilité physique, humaine et socioéconomique de chaque logement; 3) la visualisation du risque pour différents scénarii. Les paramètres de l'évaluation de la vulnérabilité et du risque facilitent ainsi le calcul des indices proposés. La métrique pour mesurer la vulnérabilité proposée peut s'adapter aux contextes territoriaux, au cadre biophysique et aux caractéristiques socio-économiques et démographiques locales. Dans le quartier étudié (Varzea, Praia), les données de terrain montrent que les niveaux de vulnérabilité socioéconomique (18%) et de risque fort (38%) sont élevés. Ces chiffres s'expliquent par les conditions socioéconomiques précaires des foyers qui sont liées à de faibles niveaux de scolarité, à des bas revenus et à un taux de chômage élevé. La vulnérabilité des bâtiments qui renvoie à la qualité des matériaux, au type de construction et au cadre physique, joue un rôle considérable dans le niveau de risque élevé qui caractérise les foyers de l'échantillon.

L'échantillon pour tester l'application est relativement petit, ce qui ne permet pas de tirer des conclusions nettes sur le risque considéré dans le quartier. Pour avoir des informations plus solides, il faudrait donc élargir l'échantillon du bâti et la surface de la zone d'étude. Par ailleurs, en se connectant au logiciel du SIG libre *Open source Quantum GIS*, l'administrateur du système dispose désormais de toute une gamme de fonctionnalités d'analyse spatiale, qui peuvent lui permettre de produire de la connaissance en vue d'une aide à la prise de décision.

Conclusion générale et recommandations

Synthèse des principaux résultats obtenus

Au-delà des interactions classiques entre la taxation foncière ou l'enregistrement des titres de propriété, et la question des risques naturels (Dale et McLaughlin, 2003; Roy et Viau, 2011; Enemark, 2009; Williamson, Ian, Enemark, Wallace et Rajabifard, 2009), ce travail a permis de concentrer l'attention sur le risque sur l'unité d'habitation (la base du système cadastral) et de proposer une mesure de la vulnérabilité et des degrés d'exposition au risque d'inondation, en combinant des informations de nature quantitative et qualitative, dans un milieu où les données manquent. Sans lister l'ensemble des résultats obtenus dans les 5 chapitres, on peut les remettre en perspective par rapport aux 5 hypothèses initialement posées en introduction.

Par rapport à l'hypothèse initiale formulée sur le niveau de risque des ménages face à l'aléa inondation, dans le quartier de Varzea, à Praia, les enquêtes de terrain ont permis de découvrir que le niveau de vulnérabilité socioéconomique affecte près de 18% des ménages. La vulnérabilité des bâtiments est tout aussi importante (15.6%), étant donné que les ménages pauvres n'ont ni les ressources pour construire en zone urbaine à cause du prix élevé des terrains, ni les moyens d'investir dans de bons matériaux de construction pour être en sécurité face aux crues. Malgré la pauvreté qui affecte une partie de la population, on peut également constater qu'à travers des initiatives particulières prises par les chefs des ménages, tels le relèvement des seuils de porte ou la déviation des eaux de ruissellement, la conscience du risque d'inondation existe sans aucun doute. Par ailleurs, il y a aussi des mesures structurelles prises par les pouvoirs publics, comme la construction de digues (cf. *Figure 1.10*). L'enquête qui a été menée spécifiquement pour établir le profil des dommages montre deux situations distinctes. L'une caractérise des logements avec des dommages physiques, en raison des infiltrations ou excavations des fondations. L'autre signale les maisons où les dommages se traduisent surtout par des pertes sur les biens mobiliers.

Pour la deuxième hypothèse, concernant les déterminants des vulnérabilités, la recherche confirme les pistes suggérées par Susan Cutter et Vinet (2007). Le poids des conditions sociales et économiques dans l'évaluation des vulnérabilités est discriminant. À ce titre, la vulnérabilité géographique et environnementale qui pèse de façon significative sur la valeur des logements

classés comme étant à risque élevé, affecte surtout les familles les plus pauvres. Il y a néanmoins des constructions situées aux mêmes endroits dont le degré de risque est moindre, grâce à une vulnérabilité socioéconomique plus faible. Le contexte géomorphologique, les types de bâtiment ainsi que la distance à une source d'eau expliquent les niveaux vulnérabilité du bâti les plus forts. Les degrés de vulnérabilité et de risque peuvent en revanche diminuer lorsque la vulnérabilité humaine et socio-économique des foyers est plus faible, ce que se traduit par l'amélioration de la qualité des constructions, y compris l'adoption de mesures de résilience.

Différentes informations (modélisation de l'aléa, extension de la zone inondée) ont aussi été affinées. Les informations qualitatives relatives à la fréquence des inondations dans les maisons est associée à la mémoire et aux impacts ayant eu lieu dans le passé. Mais au fur et à mesure que l'on éloigne dans le temps, on en oublie les fondements, à cause de la dilution mémorielle. La proportion de maisons avec un degré de risque d'inondation avéré par les riverains se situe autour de 20%. Mais la hauteur d'eau s'y élève de 0,5 à 0,7m. Ainsi, les biens électroménagers et même une partie des maisons peuvent être lourdement impactés en cas de survenue d'une inondation majeure (cf. *Chapitre 5*).

Pour la troisième hypothèse (à propos des façons dont les populations envisagent les risques d'inondation indépendamment des réactions institutionnelles), notre travail confirme que la population a mis en œuvre des mesures individuelles pour atténuer les pertes (Cf. *Annexe II*). Les réponses face aux événements futurs se traduisent à chaque fois par des initiatives spécifiques, prises par les chefs des ménages, tels le relèvement des seuils de porte ou le détournement des eaux de pluie par exemple. Ce sont des mesures très modestes, ce qui justifie d'autant plus pourquoi l'un des piliers de la gestion des risques (la résilience) n'a guère été abordé dans ce travail : pour être résilient, encore faut-il en avoir les moyens. Or, dans le contexte du Cap-Vert, la pauvreté joue un rôle prépondérant et les individus doivent avant tout être aidés par des acteurs extérieurs. L'administration foncière (via *SIFgRin*) ou l'État devraient jouer ce rôle de façon évidente.

Pour la cinquième hypothèse (concernant le rôle à accorder à un SIF), ce travail confirme qu'en permettant le croisement et l'interfaçage entre différentes données à référence spatiale, le Système d'Information Foncière est une formidable boîte à outils. Grâce à la composante web, les ménages peuvent accéder au système et saisir leur propre vulnérabilité, qu'elle soit physique, géographique et environnementale, et connaître leur vulnérabilité globale. Pour ce faire, il suffit de remplir le questionnaire accessible en ligne. Les administrations peuvent également produire leurs propres indicateurs, et mieux identifier les risques pour anticiper leurs moyens d'action. A plus long terme, le SIF envisagé pourrait même leur permettre de réfléchir à un observatoire.

Apports méthodologiques et thématiques

Les travaux menés apportent une contribution à la méthodologie de l'évaluation des risques d'inondation, en combinant plusieurs données qualitatives et quantitatives, dans un contexte où ce type d'informations est très difficile à obtenir. Notre contribution est

significative pour le Cap-Vert car le manque de paramètres et d'indicateurs statistiques est considérable. *SIGgRin* montre qu'il est possible d'incorporer dans l'analyse du risque, l'information cadastrale, notamment les titres de propriété, ou les individus composant les ménages, en abordant à la fois les dimensions sociodémographiques ou socio-économiques. Le contexte biophysique de leur logement et les plans d'aménagement du territoire conditionnent aussi les zones vulnérables.

Le système d'information conçu et développé constitue aussi un outil d'aide à la prise de décision : 1) pour les chefs de ménages, qui sont en mesure de consulter les vulnérabilités, et de s'apercevoir de leur position à leur égard ; 2) pour les administrations, qui peuvent mieux déceler les alertes ou les messages *via* les administrateurs du système. Le paramétrage des procédures de calcul des différentes catégories de vulnérabilité permet de disposer d'indicateurs dès que le formulaire est enregistré. La pondération des critères doit encore être améliorée, de même que la remontée des données de terrain, mais tout ne pouvait être réalisé durant cette thèse.

Dans la connaissance de la thématique des risques, la prise de conscience des aléas et de la vulnérabilité est un élément majeur pour envisager la mise en place de mesures visant à anticiper les crises et limiter les dommages, dans une perspective de mesures résilientes par exemple. Le système d'information proposé et mis en place n'est pas destiné à être alimenté et utilisé uniquement par un service technique de protection civile nationale et municipale, qui devra gérer et faire la maintenance de la base de données dans le futur, dans le cadre dans IDS.. Il est partagé, accessible sur des appareils mobiles et a ouvert la voie à un travail collaboratif en mettant à contribution des acteurs gestionnaires du territoire, mais il s'est effectué aussi avec la participation des habitants concernés. Celle-ci doit être encore élargie.

Par ailleurs, la prise de conscience par la collecte d'information auprès des foyers a montré son utilité pour la connaissance de toutes les vulnérabilités et non seulement des aléas. Le système permet également la diffusion de consignes à caractère informatif et formatif pour envisager l'atténuation des risques. Ainsi, les données issues du cadastre des logements permettent de disposer de l'information sur l'état des constructions qui nécessitent des interventions pour l'amélioration des habitations dégradées quand cela s'avère possible et pertinent dans la perspective d'une diminution de la vulnérabilité physique du bâti et par conséquent de la vulnérabilité globale. La base de données relationnelle facilite la mise à jour des données et permet le suivi de l'évolution de la vulnérabilité soit sociale soit physique des habitations.

Limites et perspectives

Le SIF conçu présente quelques limites, notamment dans le domaine des représentations de la vulnérabilité des immeubles de plusieurs étages. En effet, ces immeubles peuvent avoir plusieurs logements, dont la collecte électronique des informations et leur enregistrement dans le système est possible, mais ces informations ne sont pas visualisables en l'état. Il faudrait donc trouver à l'avenir un critère de représentation spatiale 3D, voire multi-couches, étant

donné qu'il n'est pas souhaitable de s'en tenir à la moyenne des indices de vulnérabilité de plusieurs ménages en vue de leur représentation. Ce problème demande une représentation du bâti en 3D.

Une autre difficulté est que le système suppose un plan cadastral enregistré au préalable. Cette difficulté majeure ne permet pas la collecte des données de bâtiments pour lesquels la mairie ne dispose pas, dans ses bases de données, d'informations géométriques. Il s'agit d'un élément essentiel pour ce pays en voie de développement où il existe un nombre important de bâtiments informels. Il faut trouver un moyen de collecter les coordonnées des bâtiments sur le terrain ou de les digitaliser sur le terrain pour compléter la base de données spatiales.

Une autre limitation du système est liée à la métrique utilisée pour évaluer la vulnérabilité. En effet, les bornes de classe proposées ne sont associées à aucune série statistique parce que ces séries n'existent pas encore. Néanmoins, à partir du moment où l'on commencera à stocker les données, on pourra améliorer les valeurs attribuées à chaque modalité. Le profil des différents utilisateurs du système reste par ailleurs à faire. Dans ce cadre, le module *WebGIS*, c'est-à-dire le partage de l'information cartographique à travers un serveur *WebGIS*, constituera l'un des cadres de recherche à poursuivre dans un proche avenir.

Références bibliographiques

- Administration foncière, (n.d.). « Glossaire du foncier pour l'Afrique Subsaharienne et Méridionale ». URL : <https://www.formesdufoncier.org/pdfs/FoncierAfrique.pdf>
- Almeida, G. (2002). *O código de Terra*. Lisboa : Livraria Saber, Lda.
- Almeida, R. (2013). « Dommages Pluies ». *Journal de 20 heures*. Cap-Vert, Praia. URL : http://rtc.cv/index.php?paginas=13&id_cod=27881
- Amaral, I. (1964). *Santiago de Cabo Verde: A terra e os homens*. Lisboa : Junta de Investigações do Ultramar.
- Antoine, J.-M. (2012). *Géohistoire des catastrophes et des risques torrentiels. Une histoire de l'environnement pyrénéen*. Université de Toulouse II-Le Mirail, Département de Géographie et Aménagement. URL : <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/75/66/68/PDF/HDR-JMA.pdf>
- Aviotti, A. (2011). *Contribution à la caractérisation de la vulnérabilité de l'habitat individuel face à l'inondation. Vers un outil d'autodiagnostic*. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris.
- Bailly, A. S., (Dir.), Attali, J., Dollfus, O., Eckert, D., D'Ercole, R., Paskoff, R., Pierret, C., Pigeon, P., Thouret, J. C. (1996). *Risques Naturels. Risques de Sociétés*. Paris : Economica.
- Balica, S. F. (2007). *Development and application of flood vulnerability indices for various spatial scales*. Unesco-IHE.
- Barroca, B., Bernardara, P., Mouchel, J. M. & Hubert, G. (2006). *Indicators for identification of urban flooding vulnerability*. *Natural Hazards Earth System Science*, 6, pp. 553–561. URL: <https://doi.org/10.5194/nhess-6-553-2006>
- Barroca, B., Pottier, N., & Lefort, E. (2005). « Analyse et évaluation de la vulnérabilité aux inondations du bassin de l'Orge aval ». *Actes Des Septièmes Rencontres de TheoQuant, Atelier*, 3. URL : http://www.researchgate.net/publication/228370276_Analyse_et_valuation_de_la_vuln_rabi_lit_aux_inondations_du_bassin_de_l%27Orge_aval/file/e0b49517ba0898129b.pdf
- Bebiano, J. B. (1932). *A Geologia do Arquipélago de Cabo Verde*. Lisboa: Composto e Impresso na Oficina Gráfica, Lda, 275 p.
- Beijo, L. A., Muniz, J. H. & Neto, P. C. (2005). "Maximum rainfall return period by extreme values type I distribution in Lavras, Minas Gerais state, Brazil". *Ciênc. Agrotec.*
- Beven, J. (2016). *Hurricane Fred*. National Hurricane Center Tropical Cyclone Report. https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL062015_Fred.pdf
- Blong, R. (2003). "A review of damage intensity scales". *Natural Hazards*, n°29, 57–76.
- Borga, M., Gaume, E., Creutin, J.D., Marechi, L. (2008). "Surveying flash floods: gauging the ungauged extremes". *Hydrological Processes* 22(18):3883-3885. Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/hyp.7111

- Borges, M. (2013). *Bacia da Trindade: Análise dos riscos Hidrológicos para a Cidade da Praia*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Cabo Verde. URL: http://portaldodoconhecimento.gov.cv/bitstream/10961/4082/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_MOISES_BORGES_FINAL.pdf
- Braud I. *et al* (2014). "Multi-scale hydrometeorological observation and modelling for flash-flood understanding". *Hydrology and Earth System Sciences* 18, 3733 - 3761
- Camãra Municipal da Praia. (2014). *Plano Diretor Municipal*. Cabo Verde.
- Campus, S., Forlati, F., Barbero, S. & Bovo, S. (2007). *Evaluation and prevention of natural risk*. Taylor & Francis e-Library.
- CEPRI (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire). (2014). *Evaluation des dommages liés aux inondations sur les logements*. Rapport. France. URL : http://cepri.net/tl_files/Guides%20CEPRI/CEPRI%20rapport%20logement%20mars%202014.pdf
- Chauviteau, C., & Vinet F. (2006). « La vulnérabilité des établissements recevant du public et des entreprises face aux inondations : une méthode d'analyse appliquée dans le bassin de l'Orb (Hérault). *Ingénieries*, (46), pp. 15 à 33.
- Chen, X., Chen, L., Zhao, J. & Yu, Z. (2014). « Modeling inundation of seasonally flooded wetlands at McCarran Ranch on Truckee River, USA". *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 2(5), 3711–3740. URL : <https://doi.org/10.5194/nhessd-2-3711-2014>
- Christofolletti, A. (2007). *Modelagem de sistemas ambientais*. São Paulo : Edgard Blücher.
- Comité technique « Foncier et Développement. (2009). *Gouvernance foncière et sécurisation des droits dans les pays du Sud. Livre Blanc des acteurs française de la Coopération*, Paris, AFD/Ministère des affaires étrangères et européennes.
- Correia, R. (2007). *Modelação cartográfica em ambiente SIG de susceptibilidade à erosão hídrica dos solos : caso da bacia da Ribeira dos Picos Santiago (Cabo Verde)*. Dissertação de mestrado em Geografia Física e Estudos Ambientais, apresentada à Fac. de Letras da Univ. de Coimbra, Portugal.
- Costa, F. L. (2002). *Evolução geomorfológica quaternária e dinâmica actual na bacia da Ribeira Seca (Santiago oriental - Cabo Verde)*. Dissertação apresentada ao Instituto de Investigação Científica Tropical para prestação de provas de acesso à categoria de Investigador Auxiliar, Lisboa.
- Cunha, L. (2013). « Vulnerabilidade : a face menos visível do estudo dos riscos naturais ». In *Riscos naturais, antrópicos e mistos. Homenagem ao Professor Fernando Rebelo*. Coimbra, pp. 153-165.
- Cutter, S. L. (1996). *Vulnerability to environmental hazards*. URL, September 9, 2014: http://webra.cas.sc.edu/hvri/docs/Progress_Human_Geography.pdf
- Cutter, S. L. (2011). A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. Dale, P. & McLaughlin, J. D. (2003a). *Land Administration*. Oxford University Press.
- Dauphiné, A. (2004). *Risques et Catastrophes. Observer, Spatialiser, gérer*. Paris : Armand Colin.
- Dauphiné, A. & Provitolo, D. (2007). « La résilience : un concept pour la gestion des risques ». *Annales de géographie*, 654(2), 115. URL : <https://doi.org/10.3917/ag.654.0115>

- Davis, S. A. & Skaggs, L. L. (1992). *Catalog of Residential Depth damage functions*. Used by the Army Corps of Engineers in Flood Damage Estimation. IWR Report 92-R-3, Institute for Water resources, US Army Corps of Engineers, FT Belvoir, VA.
- Dawson, R. J., Peppe, R. & Wang, M. (2011). "An agent-based model for risk-based flood incident management. *Natural Hazards*", 59(1), 167–189.
- Decreto-Lei n°43/2010, 27 de setembro de 2010. Aprova Regulamento Nacional do Ordenamento do Território e° Planeamento Urbanístico (RNOTPU). Pub. L. No. B. O. N 37 I Serie, Republica de Cabo Verde.
- Dewan, A. M. (2013). *Floods in a Megacity: Geospatial Techniques in Assessing Hazards, Risk and Vulnerability*. Dordrecht, New-York: Springer.
- Diniz, A. C. (1985). *República de Cabo Verde. Carta de zonagem agro-ecológica e da vegetação, Ilha de Santiago*. Lisboa : Instituto para a Cooperação Económica.
- Douvinet, J., Delahaye, D. & Langlois, P. (2008). « Modélisation de la dynamique potentielle d'un bassin versant et mesure de son efficacité structurelle ». *Cybergeo*. URL : <https://doi.org/10.4000/cybergeo.16103>
- Douvinet, J. (2008). *Les bassins versants sensibles aux « crues rapides » dans le Bassin Parisien – Analyse de la structure et de la dynamique de systèmes spatiaux complexes*. Thèse de doctorat, spécialité Géographie. Université de Caen. < tel-00344612 >
- Dubois, J., Mitterand, H., Dauzat, A. & Larousse. (2016). *Dictionnaire étymologique & historique du français*. Paris: Larousse.
- Enemark, S. (2010). *From Cadastre to Land Governance in Support of the Global Agenda the Role of Land Professionals and*. Presented at the FIG.
- Enemark, S. (2009). *Sustainable Land Administration Infrastructures to support Natural Disaster Prevention and Management*. New-York: UN Regional Cartographic Conference for the Americas.
- Ferreira, D. de B. (1987). « La crise climatique actuelle dans l'archipel du Cap Vert. Quelques aspects du problème dans l'île de Santiago ». *Finistera*, 22(43), 113–152.
- Garido, C. (2007). *As catástrofes naturais como condicionantes ao desenvolvimento dos PALOP*. URL : http://www.africanos.eu/ceaup/uploads/WP_2007_04.pdf
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortunõ, L. & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Prentice Hall, Pearson Education.
- Heitor, A. M. & Pina, A. P. (2003). *Águas subterrâneas em Cabo Verde - Qualidade da Água na Ilha de Santiago*. 6o SILUSBA – Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. Cabo Verde.
- Instituto de Investigação Científica Tropical, (Portugal). & Cabo Verde. (1998). *História general de Cabo Verde*. Instituto de Investigação Científica Tropical.
- Kelman, I. (2003). *Physical flood vulnerability of residential properties in coastal, eastern England*. University of Cambridge.
- Kouadio, S. (2016). *Les technologies smartphone comme outils d'aide à l'alerte face aux crues rapides en France - Expérimentations dans le Vaucluse et le Var*. Thèse de doctorat, spécialité Géographie, Université d'Avignon. Français. < tel-01485285 >

- Leone, F. (1996). *Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvement de terrain*. Orléans, Ed. BRGM.
- Leone, F. (2007). *Caractérisation des vulnérabilités aux catastrophes « naturelles » : contribution à une évaluation géographique multirisque (mouvements de terrain, séismes, tsunamis, éruptions volcaniques, cyclones)*. Mémoire d'HDR, spécialité Géographie, Université Paul Valéry – Montpellier III. < tel-00276636 >
- Lhomme S., Serre D., Laganier R., Diab Y. (2010). « Les réseaux techniques face aux inondations ou comment définir des indicateurs de performance de ces réseaux pour évaluer la résilience urbaine », *Le Bulletin de l'Association des Géographes français*, pp. 487-502.
- Lima, I. P. (2012). *Inundações urbanas: desafios ao ordenamento do território. O caso da Cidade da Praia (Cabo Verde)*. Tese de mestrado, Geografia - Geografia Física e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território.
- Marques, M. (1990). « Caracterização das grandes unidades geomorfológicas da Ilha de Santiago (República de Cabo Verde) : contribuição para o estudo da comportamentação da paisagem ». *Garcia de Orta : série de estudos agrónómicos.*- vol. 17 (1-2) (1990), p. 19-29.
- Maurin, A. (1992). *Le cadastre en France : Histoire et rénovation*. Paris : CNRS, 413 p.
- Mercier, D. (Ed.). (2013). *Géomorphologie de la France*. Paris : Dunod.
- Messner, F., Penning-Rowsell, E., Green, C., Meyer, V., Tunstall, S. & Veen, A. (2007). *Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods*.
URL : www.floodsite.net
- Mericskay, B. & Roche, S. (2011). Cartographie 2.0 : le grand public, producteur de contenus et de savoirs géographiques avec le web 2.0. URL :
<https://journals.openedition.org/cybergeogeo/24710>
- Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire. 2018a. *Guide méthodologique à l'attention des collectivités relatif aux secteurs d'information sur les sols (SIS) et à la carte des anciens sites industriels et activités de service (CASIAS)*. URL:
https://www.georisques.gouv.fr/files/photos-diverses/14-05-2018/20180420_GuideCollectivites_v2_vf.pdf
- National Research Council. (1980). *Need for multipurpose Cadastre. Panel on a Multipurpose Cadastre*. Committee on Geodesy. Assembly of Mathematical and Physical Sciences. National Research Council.
- Peck, A., Karmakar, S. & Simonovic, S. P. (2007). *Physical, economical, infrastructural and social flood risk – vulnerability analyses in GIS*. URL, September 15, 2014 :
<http://ir.lib.uwo.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=1019&context=wrrr>
- Piton, G., Carlados, S., Recking, A., Tacnet, J.-M., Liebault, F., Kuss, D., Queffelec, Y. et Marco, O. (2019). « Fonctions des barrages de correction torrentielle ». *Cybergeogeo : European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, document 896. URL :
<http://journals.openedition.org/cybergeogeo/32190> ; DOI : 10.4000/cybergeogeo.32190
- Ramsbottom, D., Floyd, P., Penning-Rowsell, E., DEFRA/Environment Agency Flood and Coastal Defence R & D Programme (Great Britain). (2003). *Flood risks to people: phase 1*. G. B., Department for Environment, F. & R. A. & Environment Agency.

- Rebelo, F. (1997). « Riscos e crise nas inundações rápidas em espaços urbanos. Alguns exemplos portugueses analisados a diferentes escalas ». *Territorium 4*.
- Rebelo, F. (1999). *Riscos de inundação rápida em Cabo verde. Apontamentos de observação numa breve visita à Praia e ao Mindelo em junho de 1999*.
- Rebelo, F. (2001). *Riscos naturais e acção antrópica: estudos e reflexões* (2nd ed.). Imprensa da Universidade de Coimbra. URL : <https://digitalis.uc.pt/handle/10316.2/2687>
- Reghezza, M. (2006). *Réflexions autour de la vulnérabilité métropolitaine : la métropole parisienne face au risque de crue centennale*. Université de Nanterre-Paris X. URL : http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/12/58/56/PDF/these_reghezza.pdf
- Renard, F. & Soto, D. (2014). *Évaluation spatiale du risque d'inondation par croisement de l'aléa et de la vulnérabilité des enjeux : application aux inondations du Grand Lyon*. Journées Doctorales en Hydrologie Urbaine, Lyon. URL : https://www.researchgate.net/publication/279442261_Evaluation_spatiale_du_risque_d_inondation_par_croisement_de_l_alea_et_de_la_vulnerabilite_des_enjeux_application_aux_inondations_du_Grand_Lyon
- Rocha, J. S. (1994). Prevenção de inundações e reabilitação de edifícios em zonas inundáveis. *Territorium 2*.
- Roy, F. & Viau, A. A. (2011a). “Les systèmes cadastraux : des instruments de base pour la gouvernance des territoires en Amérique latine ? ». *Norois*, (209), 147–166. URL : <https://doi.org/10.4000/norois.2699>
- Ruin I., Gaillard J.-C., Lutoff C., 2007, How to get there? Assessing motorist' flash flood risk perception on daily itineraries. *Environmental hazards*, 7, 235-244.
- Sabino, A. A., Querido, A. L. & Sousa, M. I. (2000). « Flood management in Cape Verde. The case study of Praia”. *Urban Water 1* (1999) pp.161-166.
- Saint-Martin, C. (2016). « Les RS en appui au système d'avertissement des crues AIGA-Hydro ». In *Les Smartphones et les réseaux sociaux comme outils d'aide à l'alerte face aux inondations : Enjeux et perspectives*. Université d'Avignon.
- Santos, M. E. M., Torrão, M. M., Soares, M. J., Instituto de investigação científica tropical (Portugal) & Instituto da investigação e do património culturais (Cap-Vert). (2007). *História concisa de Cabo Verde: Resumo da História geral de Cabo Verde*. Lisboa: Instituto de Investigação Científica Tropical.
- Schwab, J., Gori, P., Jeer, S., Geological Survey (U.S.) & American Planning Association. (2005). *Landslide hazards and planning*. Chicago, IL: American Planning Association.
- Semedo, J. M. (2012). “Evolução histórica da desertificação em cabo verde”. In *Cabo Verde: análise socioambiental e perspectivas para o desenvolvimento sustentável em áreas semiáridas* (p. 373). Fortaleza: Edições UFC.
- Serralheiro, A. (1976). *A geologia da Ilha de Santiago (Cabo Verde)*. Lisboa. Service Municipal des Pompiers, C. M. P. (2015). Registre des pompiers.
- Silva, P. F. (2014). *Avaliação das dinâmicas do crescimento urbano na cidade da Praia de 1969 a 2010, Cabo Verde* (Tese de Mestrado). Faculdade de Letas da Universidade do Porto. URL : <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/73589>

- Slaymaker, O. (Ed.). (1996). *Geomorphic hazards*. Chichester; New York: Wiley.
- Smith, K. (1992). *Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster*.
URL, September 9, 2014 : <http://www.worldcat.org/search?q=no%3A300929056>
- Soto, H. de. (2005). *Le mystère du capital : pourquoi le capitalisme triomphe en Occident et échoue partout ailleurs*. Paris : Flammarion.
- Spéry, L. (1999). *Historique et mise à jour de données géographiques : application au cadastre français*. Thèse de doctorat, spécialité Géographie, Université d'Avignon.
- Tava, J. de P. (2010). *Érosion des sols au Cap Vert : étude des processus et quantification à l'échelle de trois bassins versants de l'île de Santiago*. Thèse de doctorat, spécialité Sciences de la Terre. Université de Bourgogne. <tel-00659445>
- Tavares, C. (2014). *O ordenamento do território e a construção do futuro: da retórica discursiva à pratica das ações*. Praia, 251 p.
- Tanaka, S. S.(2009). *Análise de sistemas*. Volumes Ie III.Pearson Prentice Hal. SP, Brasil
- UNISDR. (2015a). *Cabo Verde Disaster & Risk Profile*.
URL : <http://www.preventionweb.net/countries/cpv/data/>
- UNISDR. (2015b). *Proposed Updated Terminology on Disaster Risk Reduction: A Technical Review*. URL:
http://www.preventionweb.net/files/45462_backgroundpaperonterminologyaugust20.pdf
- Valadas, B. (2004). *Géomorphologie dynamique*. Paris : A. Colin, Coll. Campus, 192 p.
- Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortunõ, L. & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Education, Madrid.
- Van Westen, C. (2103). "Remote Sensing and GIS for Natural Hazards Assessment and Disaster Risk Management". In: John F. Shroder (ed.) *Treatise on Geomorphology*, Vol. Volume 3, pp. 259–298. San Diego : Academic Press.
- Veyret, Y. & Reghezza, M. (2006). Vulnérabilité et risques. L'approche récente de la vulnérabilité. In *Annales des mines* (pp. 9–13). URL :
<http://www.annales.org/test-site/re/2006/re43/Veyret.pdf>
- Vinet, F. (2007). *Approche institutionnelle et contraintes locales de la gestion du risque Recherches sur le risque inondation en Languedoc-Roussillon*. Mémoire d'HDR, spécialité Géographie. Université Paul Valéry - Montpellier III. < tel-00288137 >
- White, G. F. (1942). *Human Adjustment to Floods. A Geographic Approach to the Flood Problem in the United States*. Department of Geography. University of Chicago, 235 p.
- Williamson, I., Enemark, S., Wallace, J. & Rajabifard, A. (2009). *Land administration for sustainable development*. Redlands, California : ESRI.

Table des matières

SOMMAIRE	3
RESUME	4
ABSTRACT	5
REMERCIEMENTS	7
SIGLE ET ABREVIATIONS	8
INTRODUCTION GENERALE	9
PARTIE I - LE RISQUE INONDATION AU CAP-VERT, ET EN PARTICULIER A PRAIA : UNE PREOCCUPATION SOCIETALE TRES TARDIVE	19
INTRODUCTION DE LA PARTIE I	20
CHAPITRE 1 – ÉVALUER LE RISQUE : CADRAGE THEORIQUE ET TERMINOLOGIQUE	21
INTRODUCTION DU CHAPITRE 1	21
1.1. LE RISQUE : UN CONCEPT POLYSÉMIQUE LARGEMENT DÉBATTU	22
1.1.1. <i>Le risque présuppose un aléa, des enjeux, des vulnérabilités</i>	22
1.1.2. <i>L'aléa : un phénomène délicat à évaluer avec précision</i>	26
1.1.3. <i>L'exposition : une notion souvent confondue avec la vulnérabilité</i>	27
1.1.4. <i>La vulnérabilité : du sens commun à une métrique scientifique</i>	28
1.2. ANALYSE CRITIQUE DES MÉTHODES D'ÉVALUATION	30
1.2.1. <i>Une dichotomie entre l'espace de l'aléa et l'espace des enjeux</i>	31
1.2.2. <i>Des formules quantitatives peu opérationnelles</i>	32
1.2.3. <i>La monétarisation des dommages : une variable indispensable</i>	34
1.3. LE RISQUE INONDATION : UN RISQUE PARTICULIER ET ATYPIQUE	35
1.3.1. <i>La crue et l'inondation : deux significations différentes</i>	35
1.3.2. <i>Des méthodes d'évaluation diversifiées selon les critères retenus</i>	38
1.3.3. <i>Pas une, mais des vulnérabilités</i>	41
1.3.4. <i>Les dommages, révélateurs des vulnérabilités sous-jacentes</i>	48
1.4. ÉLÉMENTS DE DISCUSSIONS	49
CONCLUSIONS DU CHAPITRE 1	51
CHAPITRE 2 – L'ENDOMMAGEMENT : UN INDICATEUR A EVALUER A TRAVERS LES ECHELLES	52
INTRODUCTION DU CHAPITRE 2	52
2.1. UNE PREMIÈRE ANALYSE À L'ÉCHELLE ARCHIPÉLAGIQUE	53
2.1.1. <i>Les dommages recensés dans les archives nationales</i>	53
2.1.2. <i>Les dégâts recensés dans les bases de données internationales</i>	57
2.2. UNE SECONDE ANALYSE À UNE ÉCHELLE PLUS FINE : PRAIA	59
2.2.1. <i>Des sinistres qui deviennent annuellement observés</i>	59
2.2.2. <i>Une expansion urbaine rapidement mise en cause</i>	61
2.3. UNE RÉALITÉ POUR UN GRAND NOMBRE D'ACTEURS	63
2.3.1. <i>Un sujet de recherche de plus en plus étudié par les scientifiques</i>	63
2.3.2. <i>Des médias mobilisés, même si leur fiabilité reste discutable</i>	65
2.4. ÉLÉMENTS DE DISCUSSIONS.....	70

CONCLUSIONS DU CHAPITRE 2	73
CHAPITRE 3 – PRAIA : UN TERRITOIRE CUMULANT DES VULNERABILITES MULTIFORMES	74
INTRODUCTION DU CHAPITRE 3.....	74
3.1. UN CADRE BIOPHYSIQUE PROPICE AUX ALÉAS	74
3.1.1. <i>Un climat semi-aride, mais des intensités pluviométriques élevées</i>	74
3.1.2. <i>Un relief à forte pentes, propice à la concentration des écoulements</i>	80
3.1.3. <i>Des formations altérées, propices aux glissements de terrain</i>	83
3.1.4. <i>Des pentes propices à la rapidité de diffusion spatiale</i>	85
3.2. DES ENJEUX SOCIODÉMOGRAPHIQUES IMPORTANTS	88
3.2.1. <i>Une population en constante augmentation</i>	88
3.2.2. <i>Un étalement urbain non maîtrisé</i>	91
3.2.3. <i>Une précarité accrue dans les zones périphériques et inondables</i>	94
3.3. PROFILS DES DOMMAGES OCCASIONNÉS SUR LES LOGEMENTS	96
3.3.1. <i>Un questionnaire pour affiner le diagnostic territorial.....</i>	96
3.3.2. <i>Tendances dégagées à partir des analyses statistiques</i>	98
CONCLUSIONS DU CHAPITRE 3	103
CONCLUSIONS INTERMEDIARIES.....	105

PARTIE II - CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DES VULNERABILITES A L'AIDE D'UN SYSTEME D'INFORMATION FONCIERE (SIF)..... 107

INTRODUCTION DE LA PARTIE II..... 108

CHAPITRE 4 – POURQUOI PROPOSER UN SYSTEME D'INFORMATION FONCIERE (SIF) A REFERENCE SPATIALE ? 109

INTRODUCTION DU CHAPITRE 4.....	109
4.1. LES BÉNÉFICES À ATTENDRE D'UN SIF	109
4.1.1. <i>Définition du concept</i>	109
4.1.2. <i>Des avantages indéniables et largement plébiscités.....</i>	111
4.1.3. <i>Des expériences déjà éprouvées dans de nombreux pays.....</i>	112
4.2. UNE OPPORTUNITÉ CONTEXTUELLE POUR LE CAP-VERT.....	115
4.2.1. <i>Un cadastre marqué par l'héritage colonialiste</i>	115
4.2.2. <i>La modernisation vers un Système d'Information Cadastral (SIC).....</i>	119
4.2.3. <i>Pourquoi faudrait-il plutôt privilégier un SIF ?.....</i>	123
4.3. UNE OUTIL PLUS OPÉRATIONNEL POUR L'ADMINISTRATION FONCIÈRE	126
4.3.1. <i>Les missions allouées à l'administration foncière.....</i>	126
4.3.2. <i>Les évolutions de l'administration foncière cap-verdienne</i>	129
4.3.3. <i>Des risques trop longtemps minimisés par l'administration</i>	131
4.3.4. <i>Une diversité d'acteurs, source de complexité</i>	135
4.4. ÉLÉMENTS DE DISCUSSIONS	137
CONCLUSION DU CHAPITRE 4.....	140

CHAPITRE 5 - CONCEPTION DU SYSTEME ET PREMIER RESULTATS OBTENUS..... 141

INTRODUCTION DU CHAPITRE 5.....	141
5.1. INDICATEURS CRÉÉS POUR ÉVALUER LES VULNÉRABILITÉS	142
5.1.1. <i>Choix des variables retenues et pondérations appliquées.....</i>	142
5.1.2. <i>Caractérisation des premières variables retenues.....</i>	146
5.1.3. <i>Caractérisation des variables complémentaires.....</i>	150
5.2. CONCEPTION DU SIF.....	153
5.2.1. <i>Justification du matériel utilisé</i>	153
5.2.2. <i>Spécifications fonctionnelles détaillées du système</i>	154
5.2.3. <i>Description des principaux cas d'utilisations.....</i>	157
5.2.4. <i>Description du diagramme d'activités.....</i>	161
5.2.5. <i>Description des diagrammes de séquences.....</i>	162

5.3.	ARCHITECTURE DU SIF	164
5.3.1.	<i>Modélisation conceptuelle des données</i>	164
5.3.2.	<i>Diagramme d'entités/rerelations (ER)</i>	165
5.3.3.	<i>Architecture du système d'information SIFgRin</i>	169
5.4.	MISE EN APPLICATION DE SIFGRIN.....	170
5.5.	PREMIERS RÉSULTATS OBTENUS.....	174
5.5.1.	<i>Une meilleure connaissance des vulnérabilités à une échelle fine</i>	174
5.5.2.	<i>Une vulnérabilité globale par ménage qui devient mesurable</i>	176
5.5.3.	<i>Une zone d'expansion des crues mieux circonscrite</i>	177
5.5.4.	<i>Un outil qui permet d'imaginer différents scénarios</i>	179
5.6.	PERSPECTIVES ET ÉLÉMENTS DE DISCUSSIONS	180
CONCLUSION DU CHAPITRE 5		183

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS 185

<i>Synthèse des principaux résultats obtenus</i>	185
<i>Apports méthodologiques et thématiques</i>	186
<i>Limites et perspectives</i>	187

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 189

TABLE DES MATIERES 195

TABLE DES ILLUSTRATIONS..... 198

TABLE DES TABLEAUX..... 200

ANNEXES..... 201

<i>Annexe I</i>	201
<i>Annexe II</i>	202
<i>Annexe III</i>	203
<i>Annexe IV</i>	204
<i>Annexe V</i>	205
<i>Annexe VI</i>	206
<i>Annexe VII</i>	208

Table des illustrations

FIGURE 0.1 : LOCALISATION DE L'ARCHIPEL DU CAP-VERT ET DE LA VILLE DE PRAIA SUR L'ÎLE DE SANTIAGO	11
FIGURE 0.2 : CARTE DES RISQUES DE LA VILLE DE PRAIA, D'APRÈS LE PLAN DIRECTEUR MUNICIPAL (PDM)	13
FIGURE 1.1 : ÉVALUATION DU RISQUE NATUREL	31
FIGURE 1.2 : TYPOLOGIE DES CRUES ET INONDATIONS DANS LA VILLE DE PRAIA	37
FIGURE 1.3 : CONTEXTE GÉOMORPHOLOGIQUE D'INONDATION FLUVIALE	38
FIGURE 1.4 : ÉVALUATION DES VULNÉRABILITÉS	45
FIGURE 1.5 : FONCTION DES DOMMAGES	49
FIGURE 1.6 : SCHÉMA CONCEPTUEL D'ÉVALUATION DU RISQUE D'INONDATION	50
FIGURE 2.1 : ÉVÉNEMENTS DOMMAGEABLES PAR ÎLE, ENTRE 1900 ET 2013, D'APRÈS LES DONNÉES DE L'INVENTAIRE DES ARCHIVES HISTORIQUES NATIONALES	53
FIGURE 2.2 : NOMBRE DE PERSONNES AFFECTÉES PAR DIFFÉRENTS TYPES D'ALÉAS ENTRE 1900 ET 2013, D'APRÈS LES ARCHIVES HISTORIQUES NATIONALES	55
FIGURE 2.3 : RÉPARTITION DES ALÉAS DANS LA VILLE DE PRAIA, ENTRE 1900 ET 2013	56
FIGURE 2.4 : ÉVOLUTION DU TISSU URBAIN AU COURS DE 41 DERNIÈRES ANNÉES (D'APRÈS SIVA, 2004)	62
FIGURE 2.5 : EXPOSITION AUX ENJEUX, VILLE DE PRAIA, CAP-VERT	62
FIGURE 2.6 : FRÉQUENCE DES RISQUES NATURELS SURVENUS ENTRE 1980 ET 2010	66
FIGURE 2.7 : PERTES HUMAINES PROVOQUÉES PAR LES INONDATIONS AU CAP-VERT ENTRE 1980 ET 2010	67
FIGURE 2.8 : EXPOSITION DES ENJEUX OBSERVÉS SUR LE TERRAIN	71
FIGURE 2.9 : CONTEXTE GÉOMORPHOLOGIQUE ET INFORMATION SUR LA HAUTEUR D'EAU DANS LE LIT D'UNE RIVIÈRE D'APRÈS LA POPULATION	72
FIGURE 3.1 : GRAPHIQUE TYPIQUE DU RÉGIME THERMOPLUVIOMÉTRIQUE AU CAP-VERT	75
FIGURE 3.2 : VARIATION MOYENNE ANNUELLE DES PRÉCIPITATIONS SELON L'ALTITUDE AU CAP-VERT, 1960 -1990	76
FIGURE 3.3 : LOCALISATION DES POSTES PLUVIOMÉTRIQUES	77
FIGURE 3.4 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DE PRÉCIPITATIONS JOURNALIÈRES POUR LES POSTES PLUVIOMÉTRIQUES AYANT UNE INFLUENCE SUR LA VILLE DE PRAIA, 1976-2010	78
FIGURE 3.5 : APERÇU GÉNÉRAL DES RELIEFS DE L'ÎLE DE SANTIAGO, CAP-VERT ; MNT, RÉOLUTION DE 20 M	81
FIGURE 3.6 : CARTE HYPSONÉTRIQUE DE LA VILLE DE PRAIA	83
FIGURE 3.7 : CARTE GÉOLOGIQUE DE LA COMMUNE DE PRAIA	84
FIGURE 3.8 : BÂTIMENTS CONSTRUITS SUR L'UNITÉ GÉOLOGIQUE DU COMPLEXE ÉRUPTIF ANTÉMIOCÈNE (CA); DÉTAIL DE LA VILLE DE PRAIA, CAP-VERT	85
FIGURE 3.9 : CARTE DES PENTES, VILLE DE PRAIA	86
FIGURE 3.10 : EXTENSION DE L'URBANISATION DE LA VILLE DE PRAIA EN AVAL DU BASSIN DE TRINDADE	88
FIGURE 3.11 : PART DE LA POPULATION DE PRAIA DANS L'ENSEMBLE DE L'ÎLE DE SANTIAGO	89
FIGURE 3.12 : TAUX DE CHÔMAGE PAR MUNICIPALITÉ	90
FIGURE 3.13 : TAUX DE CROISSANCE MOYEN ANNUEL INTERCENSITAIRE DE LA VILLE DE PRAIA (PR)	91
FIGURE 3.14 : CARTE D'OCCUPATION ET D'UTILISATION DES SOLS DE LA VILLE DE PRAIA, CAP-VERT	92
FIGURE 3.15 : RÉPARTITION DE LA POPULATION DE LA VILLE DE PRAIA PAR QUARTIER, 2010	93
FIGURE 3.16 : DENSITÉ DE POPULATION PAR QUARTIERS, VILLE DE PRAIA, 2010	93
FIGURE 3.17 : NOMBRE MOYEN DE PERSONNES PAR BÂTIMENT ET PAR QUARTIER, 2010	94

FIGURE 3.18 : PROPORTION DE BÂTIMENTS PRÉCAIRES PAR ZONE	95
FIGURE 3.19 : LES ZONES INONDABLES DE PRAIA	96
FIGURE 3.20 : LES DEUX PREMIÈRES DIMENSIONS RETENUES DANS LES DOMMAGES CAUSÉS PAR L'INONDATION	100
FIGURE 3.21 : RÉPARTITION DU POIDS DES PROCESSUS D'ENDOMMAGEMENT	101
FIGURE 3.22 : MENACE D'EXCAVATION DE FONDATIONS, EN FOND DE VALLÉE	102
FIGURE 3.23 : VALEURS DES DOMMAGES, EN ESCUDOS CAPVERDIENS	102
FIGURE 3.24 : CLASSIFICATION DES LOGEMENTS SELON LES PERTES DÉCLARÉES	103
FIGURE 4.1 : FLUX DE BASE DE L'INFORMATION CADASTRALE. ENTITÉS ET ATTRIBUTIONS	117
FIGURE 4.2 : EXTRAIT DE FEUILLE CADASTRALE - VARZEA, EN FORMAT DWG	117
FIGURE 4.3 : LE SYSTÈME D'INFORMATION FONCIÈRE AU CAP-VERT	122
FIGURE 4.4 : ÉTAPES DE LA GESTION DES RISQUES	124
FIGURE 4.5 : L'ADMINISTRATION FONCIÈRE, MODIFIÉ DE DALE ET MACLAUGHLIN (2003, P.2).....	127
FIGURE 4.6 : DROIT, VALEUR ET USAGES DU FONCIER.....	128
FIGURE 4.7 : LE CADRE JURIDIQUE ET LÉGISLATIF DE LA GESTION DU FONCIER	132
FIGURE 4.8 : OUTILS DE PRÉVENTION ET GESTION DES RISQUES NATURELS	135
FIGURE 4.9 : SERVICES IMPLIQUÉS DANS LA GESTION DES RISQUES AU CAP-VERT	136
FIGURE 4.10 : ANALYSE SWOT DE LA GESTION DU RISQUE INONDATION À PRAIA, CAP-VERT.....	139
FIGURE 5.3 : TYPES D'HABITATION, VILLE DE PRAIA, CAP-VERT.....	147
FIGURE 5.4 : CAS D'UTILISATION DU SYSTÈME : AUTHENTIFICATION	154
FIGURE 5.5 : CAS D'UTILISATION DU SYSTÈME	156
FIGURE 5.6 : DIAGRAMME D'ACTIVITÉS DU SIF ENVISAGÉ	161
FIGURE 5.7 : DIAGRAMME DE SÉQUENCE : EFFECTUER L'AUTHENTIFICATION	162
FIGURE 5.8 : DIAGRAMME DE SÉQUENCE : ÉVALUER LA VULNÉRABILITÉ PHYSIQUE DES BÂTIMENTS	163
FIGURE 5.9 : DIAGRAMME DE SÉQUENCE : ÉVALUER LA VULNÉRABILITÉ DU MÉNAGE.....	164
FIGURE 5.10 : DIAGRAMME DE CLASSE DU SIF ACTUELLEMENT ENVISAGÉE	165
FIGURE 5.11 : MODÉLISATION LOGIQUE DE LA BASE DE DONNÉES, ORIENTÉE-OBJET, SUR LE MODÈLE PHYSIQUE DE L'UML	166
FIGURE 5.12 : IMPLÉMENTATION PHYSIQUE DE LA BASE DE DONNÉES À RÉFÉRENCE SPATIALE SUR POSTGRESQL/POSTGIS	167
FIGURE 5.13 : IMPLÉMENTATION PHYSIQUE DE LA BASE DE DONNÉES À RÉFÉRENCE SPATIALE SUR POSTGRESQL/POSTGIS	168
FIGURE 5.14 : DIAGRAMME DE SÉQUENCE	169
FIGURE 5.15 : LES COMPOSANTS DU SYSTÈME.....	170
FIGURE 5.16 : CAPTURE D'ÉCRAN DE «LOGIN».....	171
FIGURE 5.17 : CAPTURE D'ÉCRAN DE L'UTILISATEUR CITOYEN	172
FIGURE 5.18 : CAPTURE D'ÉCRAN PRINCIPAL BACKEND.....	172
FIGURE 5.19 : ÉCRAN D'AFFICHAGE DU QUESTIONNAIRE WEB PRÉSENTANT LES VARIABLES RETENUES.....	173
FIGURE 5.20 : SCRIPT SQL POUR LE CALCUL DE LA VUNÉRABILITÉ.....	174
FIGURE 5.21 : ÉCRAN D'AFFICHAGE DE LA VULNÉRABILITÉ GLOBALE DU BÂTI SELON LES CRITÈRES RETENUS.....	175
FIGURE 5.22 : PROPORTION DU NIVEAU DE VULNÉRABILITÉ HUMAINE ET SOCIOÉCONOMIQUE DES MÉNAGES ENQUÊTÉS	176
FIGURE 5.23 : ÉCRAN D'AFFICHAGE DE LA VULNÉRABILITÉ HUMAINE ET SOCIOÉCONOMIQUE DES FOYERS	177
FIGURE 5.24 : CARTE DE LA VULNÉRABILITÉ ET DE L'ALÉA INONDATION, QUARTIER DE VARZEA, VILLE DE PRAIA	178
FIGURE 5.25 : CARTE DE CLASSEMENT DU BÂTI EN FONCTION DU DEGRÉ DE RISQUE FACE À L'ALÉA INONDATION.....	181
FIGURE 5.26 : RÉPARTITION DES MÉNAGES SELON LEUR NIVEAU DE RISQUE, QUARTIER DE VARZEA, VILLE DE PRAIA	181
FIGURE 5.27 : ÉCRAN D'INVENTAIRE DES PERTES APRÈS LA CATASTROPHE	182
FIGURE 5.28 : INTÉGRATION DES DONNÉES DE L'IDS DU CAP-VERT DANS LE SYSTÈME SIFGRIN	183

Table des tableaux

TABLEAU 1.1 : DÉFINITION DU RISQUE SELON DIFFÉRENTS AUTEURS ET DOMAINES SCIENTIFIQUES	24
TABLEAU 1.2 : ÉLÉMENTS À CONSIDÉRER DANS L'ÉVALUATION DES VULNÉRABILITÉS	42
TABLEAU 1.3 : VARIABLES À CONSIDÉRER POUR ÉVALUER LA VULNÉRABILITÉ, D'APRÈS SUSAN CUTTER	47
TABLEAU 2.1 : SYNTHÈSE DES RISQUES NATURELS AU CAP-VERT ENTRE 1900-2013.....	58
TABLEAU 2.2 : OCCURRENCES DES INONDATIONS DANS LA VILLE DE PRAIA.....	60
TABLEAU 2.3 : RÉSUMÉ DES PUBLICATIONS SUR LES INONDATIONS DANS LA VILLE DE PRAIA	65
TABLEAU 2.4 : SYNTHÈSE DES PERTES HUMAINES ENREGISTRÉES POUR L'ANNÉE 1984	68
TABLEAU 2.5 : STATISTIQUES DES DÉCÈS PROVOQUÉS PAR LA SÉCHERESSE ENTRE 1773 ET 1943	69
TABLEAU 3.1 : ESTIMATIONS DES VALEURS DE PRÉCIPITATION MAXIMALE QUOTIDIENNE	79
TABLEAU 3.2 : INDICES MORPHOMÉTRIQUES DES PRINCIPAUX BASSINS DE LA VILLE DE PRAIA, CAP-VERT	87
TABLEAU 3.3 : COMPARAISON DES INDICATEURS ASSOCIÉS AUX ZONES INONDABLES DÉLIMITÉES DANS LE CADRE D'ÉTUDES DÉJÀ RÉALISÉES PAR LA MAIRIE ET LE GOUVERNEMENT	96
TABLEAU 3.4 : TYPOLOGIE DES 99 LOGEMENTS EN FONCTION DU STATUT D'OCCUPATION	97
TABLEAU 3.5 : VARIABLES RETENUES POUR ÉTABLIR LE PROFIL DES DOMMAGES	99
TABLEAU 4.1 : ANALYSE DES EXPERTS DU RISQUE NATUREL DANS LA LÉGISLATION CAP-VERDIENNE	138
TABLEAU 4.2 : ANALYSE DES EXPERTS DE SERVICES DE GESTION DES RISQUES.....	138
TABLEAU 5.1 : CATÉGORIES DE VULNÉRABILITÉ CONSIDÉRÉES DANS L'ÉTUDE	144
TABLEAU 5.2 : VULNÉRABILITÉS PHYSIQUES DES BÂTIMENTS ET MODALITÉS RETENUES	145
TABLEAU 5.1. VULNÉRABILITÉ DES CONSTRUCTIONS SELON LES REVÊTEMENTS	148
TABLEAU 5.2. VULNÉRABILITÉ DES CONSTRUCTIONS SELON LE HAUTEUR D'EAU ET L'ORIENTATION DES PORTES	149
TABLEAU 5.3. VULNÉRABILITÉ SELON LE STATUT D'OCCUPATION	150
TABLEAU 5.4. VULNÉRABILITÉ SELON LE STATUT DU CHEF DE MÉNAGE	150
TABLEAU 5.5. VULNÉRABILITÉ SELON LE NOMBRE DE PERSONNES ÂGÉES.....	151
TABLEAU 5.6 : SPÉCIFICATIONS FONCTIONNELLES DÉTAILLÉES DU SYSTÈME	155
TABLEAU 5.7 : AUTHENTIFICATION DES UTILISATEURS.....	157
TABLEAU 5.8 : ENREGISTREMENT DES DONNÉES DE VULNÉRABILITÉ PHYSIQUE DES BÂTIMENTS.....	157
TABLEAU 5.9 : ENREGISTREMENT DES DONNÉES POUR LA VULNÉRABILITÉ HUMAINE ET SOCIO-ÉCONOMIQUE	158
TABLEAU 5.10 : ENREGISTREMENT DES DONNÉES POUR ÉVALUER LA VULNÉRABILITÉ GLOBALE DU MÉNAGE	159
TABLEAU 5.11 : ENREGISTREMENT DES DONNÉES POUR CONSULTER LE NIVEAU DE RISQUE DE CHAQUE MÉNAGE	159
TABLEAU 5.12 : ENREGISTREMENT DES DONNÉES POUR ÉVALUER LE RISQUE FACE À L'INONDATION	160
TABLEAU 5.13 : SCÉNARIOS PRÉVUS POUR IDENTIFIER LES INDICES DE RISQUE EN CROISANT LES DIFFÉRENTES CATÉGORIES DE VULNÉRABILITÉ, LA HAUTEUR D'EAU ET L'HISTORIQUE DES INONDATIONS.....	179
TABLEAU 5.14 : CRITÈRES RETENUS POUR L'ÉVALUATION DES RISQUES.....	180

Annexes

Annexe I

Érosion hydrique (ravinement) susceptible de fragiliser les fondations et la structure de bâtiments



Photo R. Correia, 2017

Annexe II

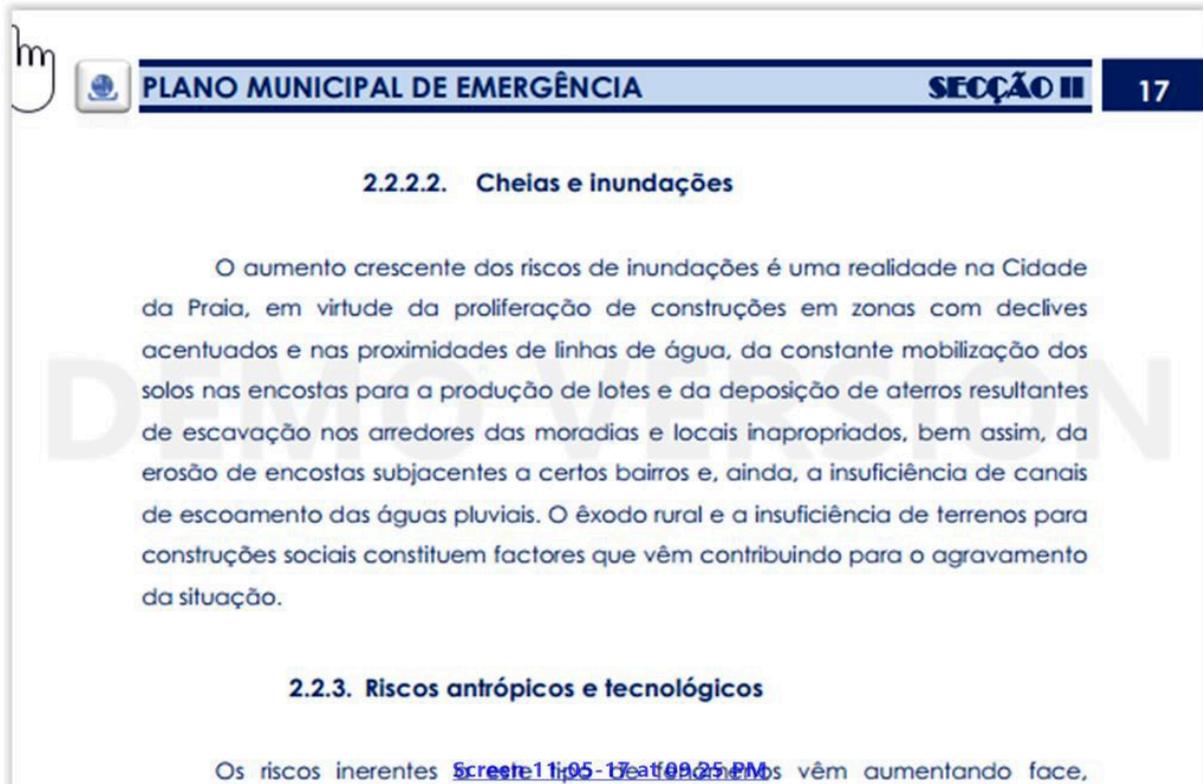
***Mesure de protection contre l'inondation :
seuil de porte d'entrée rehaussé d'environ 50 cm***



Photo R. Correia, 2017

Annexe III

Extrait du Plan d'Urgence : toute l'information disponible au sujet de risque d'inondation



PLANO MUNICIPAL DE EMERGÊNCIA **SECÇÃO II** **17**

2.2.2.2. Cheias e inundações

O aumento crescente dos riscos de inundações é uma realidade na Cidade da Praia, em virtude da proliferação de construções em zonas com declives acentuados e nas proximidades de linhas de água, da constante mobilização dos solos nas encostas para a produção de lotes e da deposição de aterros resultantes de escavação nos arredores das moradias e locais inapropriados, bem assim, da erosão de encostas subjacentes a certos bairros e, ainda, a insuficiência de canais de escoamento das águas pluviais. O êxodo rural e a insuficiência de terrenos para construções sociais constituem factores que vêm contribuindo para o agravamento da situação.

2.2.3. Riscos antrópicos e tecnológicos

Os riscos inerentes [Screenshot 11:05 - 17 at 09:25 PM](#) vêm aumentando face,

Plan d'urgence Municipal. Ville de Praia (traduction libre du annexe III)

1. Crues et inondations.

Le risque accru d'inondation est une réalité à ville de Praia, en raison de la prolifération de bâtiments situés dans des zones de fortes pentes et proches des rivières, de la mobilisation constante des sols sur les pentes pour la production de lots et la mise en décharge de produits resultatnts de l'escavation dans la proximité de logements inappropriés, ainsi que l'érosion des pentes sous-jacentes à certains quartiers et des canaux insuffisants pour les ruissellement des eaux de pluie.

L'exode rural et l'insuffisance des terres pour les constructions sociales sont des facteurs qui ont contribué à l'aggravation de la situation.

Annexe IV

Manifestation de l'aléa éruption volcanique en 2014, Ile du Fogo, Cap-Vert

Edição 679 – 3 Dezembro (Edition 679 - 3 décembre 2014)



Vulcão do Fogo/Erupção: lava destrói escola, casa e hotel

(Volcan ile du Fogo Cap Vert/ Eruption : Lave détruit l'école, les logements et l'hôtel) Source: <http://www.expressodasilhas.sapo.cv/sociedade/item/43471-vulcao-do-fogo-erupcao-lava-destrui-escola-casa-e-hotel>

Annexe V

Mesures structurelles mises en place par les pouvoirs publics pour atténuer l'impact des risques d'inondation urbaine. Foton. Praia.



Photo R. Correia, J. Moniz

Annexe VI

Types et modalités des catégories de vulnérabilité

<i>Type de vulnérabilité</i>	<i>Variables</i>	<i>Modalités</i>	<i>Notes</i>
Vulnérabilité humaine et socioéconomique des foyers	Sexe_chef_ménage	M	0
		F	3
	Age_chef_ménage	18 à 45 ans	0
		45 à 60 ans	1
		Plus de 60 ans	3
	Etat-civil_chef_ménage	Célibataire	3
		Pacsé	1
		Marié	0
	Niveau_instr_chef_ménage	Niveau basique	3
		Secondaire	1
		Supérieur	0
	Statut_prof-chef_ménage	Emploi permanent	0
		Emploi temporaire	2
		Chômage	3
	Salaire_mensuel	0 à 20 mille escudos	3
		20 à 40 mille escudos	2
		40 à 75 mille escudos	1
		> 100 mille escudos	0
	Autres_sources_revenus	Moins de 20 000\$	3
		Entre 20 000\$ e 40 000\$	2
		Entre 40 000 e 65 000\$	1
		Plus de 65 000\$	0
	Taille_ménage	Moins de ou égal à 4 personnes	0
		4 à 6 personnes	1
		Supérieur à 6 personnes	3
	Nombre_handicapés	Zéro (0)	0
		Un (1)	1
		Deux (2)	3
	Nombre_pers-âgées	2 idosos (> 65anos)	0
		Plus que 2 (deux) idosos	3
	Nombre_enfants	Jusqu'à 3 enfants (8 anos)	1
		0 (zéro)	0
		Plus de 3 (crianças)	3
	Nombre_chomeurs	0 (zéro)	0
		1 (un)	1
		2 à 3 personnes	3
		Plus de 3	3
	Depens_moy.mensuel_ménage	Jusqu'à 15.000\$	3
		entre 15.000\$ e 30.000\$	1
		> 30.000\$	0
	Pertes_potentiel_eletromen	Jusqu'à 60.000\$	0
		60.000\$ à 150.00\$	1
Plus que 150.000\$		3	
Statut_occupation	Propriétaire avec titre officiel	0	
	Propriétaire sans titre officiel	3	
	Prêt	2	
	Location	1	
	Autre situation	0	
Perception_crues	Bonne	0	
	Moyenne	2	
	Mauvaise	3	

Type de vulnérabilité	Variables	Modalités	Notes
Vulnérabilité. géographique et environnementale	Distance du cours d'eau	Moins de 20 m	3
		Plus 20 m	0
	Accessibilité	Bonne	0
		Mauvaise	1
		Interrompue	3
	Contexte géomorphologique	Zone basse	3
		Fond de vallon	3
		Sommet plat	0
		Pied des versants	2
		Partie moyenne des versants	0
	Accumulation des débris boue-déchets	Débris et boue	2
		Boue	1
		Débris, boue et s déchets	3

Annexe VII

Vulnérabilité physique, et géographique et environnementale des bâtiments (copie d'écran)

Suivi de la construction	Par vous-même
Hauteur seuil porte	Inférieur à cote des routes
Orientation de la Porte	Porte orientées vers cours d'eau
Mesures de Résilience	Construction du mur / Monter hauteur du seuil de porte
Distance du Plan d'Eau	0
Accessibilité de la Saison des pluies	Circulation Déficitaire
Accumulation de Matériaux (Junk)	Débris, boue, te déchets
Contexte Géomorphologique	La confluence / Fond Vallon / Zone Déprimées
Vulnérabilité Physique	1,69
Vulnérabilité G et E	3,00
Zone Inondable	3
Touchée par une inondation	Très souvent / Toujours
Vg	2,35
Rivière	(non défini)
Cave	N'existe pas
Année de Construction	2002

Fiche d'information des ménages et vulnérabilité humaine et socioéconomique (copie d'écran)

Dépenses Mensuelles	20 000,00
Autres Sources de Revenus du Ménage	15 000,00
Cuisinière à gas	0,00
Télévision	0,00
Voiture	0,00
Appareil CD/DVD	0,00
Congélateur	0,00
Micro-onde	0,00
Sofa	0,00
Réfrigérateur	0,00
Autres	0,00
Machine à laver	0,00
Titre de la Propriété	Propriétaire sans inscription officielle
Perception de l'Inondation	Moyen
Note	
VHES	1,20