



HAL
open science

Résilience post-Pam Vanuatu : suivi du processus de RESILIENCES sociétale et environnementale POST-cyclone PAM et renforcement des capacités de prévention des risques naturels majeurs au Vanuatu

Frédéric Leone, Tony Rey, Loïc Le De, Stéphanie Defossez, Monique Gherardi,
Benjamin Pradel, Marc Despinoy, Catherine Sabinot, Gilbert David, M. Garcia

► **To cite this version:**

Frédéric Leone, Tony Rey, Loïc Le De, Stéphanie Defossez, Monique Gherardi, et al.. Résilience post-Pam Vanuatu : suivi du processus de RESILIENCES sociétale et environnementale POST-cyclone PAM et renforcement des capacités de prévention des risques naturels majeurs au Vanuatu. [Rapport de recherche] Fonds de coopération économique, sociale et culturelle pour le Pacifique dit “ Fonds Pacifique ” (FP), IRD, Université Montpellier 3, Université d’Auckland, Croix Rouge française au Vanuatu. 2019, 78 p. <hal-03078329>

HAL Id: hal-03078329

<https://hal.science/hal-03078329v1>

Submitted on 13 Feb 2025

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.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License

AAP FP 2016

Rapport final

RESILIENCES POST-PAM VANUATU

« Suivi du processus de RESILIENCES sociétale et environnementale POST-cyclone PAM et renforcement des capacités de prévention des risques naturels majeurs au VANUATU »



Suivi du processus de RESILIENCES sociétale et environnementale POST - cyclone PAM et renforcement des capacités de prévention des risques naturels majeurs au VANUATU

Pr. Frédéric Leone (dir.)

Tony Rey, Loic le De, Stéphanie Defossez, Monique Gherardi, Benjamin Pradel

Marc Despinoy, Catherine Sabinot, David Gilbert, Manon Garcia

janvier 2019

Sommaire

Présentation	3
Thème 1 : Résilience sociétale	4
1. Approche socio-géographique.....	4
2. Approche socio-anthropologique	15
Thème 2 : Résilience environnementale	18
1. Diagnostic géomorphologique et environnemental (littoral d’Efaté).....	18
2. Apport de la télédétection satellitaire dans l’étude de la résilience sociétale et environnementale post-cyclone	19
2.1. Phase 1.....	19
2.2. Phase 2.....	28
Thème 3 : Renforcement des capacités de prévention	46
1. Identification et cartographie des risques littoraux dans les baies de Mele et Vila (aléas, enjeux, vulnérabilités).....	46
2. Proposition d’un plan d’évacuation tsunami (Efaté)	61
Annexes	78

Comment citer ce rapport :

Leone F. (dir.), Defossez S., Despinoy M., Garcia M., Gherardi M., Gilbert D., le De L., Pradel B., Rey T., Sabinot C. (2019) – Résiliences post-Pam Vanuatu : suivi du processus de résiliences sociétale et environnementale post-cyclone PAM et renforcement des capacités de prévention des risques naturels majeurs au Vanuatu », Rapport final, Projet Fonds Pacifique 2016, Ambassade de France au Vanuatu, 78 p. + annexes.

Présentation

Ce projet de coopération régionale sur le suivi et la prévention des désastres naturels (*Disaster Risk Reduction*) fait suite à une première mission d'évaluation scientifique post-cyclone Pam réalisée à T+3 mois (juin 2015) avec l'appui financier de l'IRD et le concours de l'Ambassade de France au Vanuatu, de la Croix-Rouge française au Vanuatu, de l'Université Paul Valéry Montpellier 3, de l'Université d'Auckland, du centre IRD de Nouméa et des UMR GRED et ESPACE DEV (rapport ci-dessous). Il s'agit de poursuivre le suivi du processus de résiliences sociétale et environnementale des communautés et territoires de Tanna et Efaté, et d'en évaluer les dynamiques spatiales et temporelles (notamment par télédétection satellitaire), les mécanismes, les modalités, les ressources, les enjeux, les acteurs et les performances, à T+n mois. Cette évaluation permettra de mieux prendre en compte les attentes, les ressources (biologiques, économiques), les expériences, les capacités et les savoirs locaux des communautés dans différents outils de prévention des risques naturels majeurs (sensibilisation, systèmes d'alerte, plans d'évacuation, cartographies participatives, abris traditionnels) développés en particulier par le VMGD et la Croix Rouge. Ce projet a donc l'ambition de développer des partenariats scientifiques régionaux et internationaux pour renforcer le volet social et communautaire de la prévention des risques majeurs en mobilisant du mieux possible les communautés bénéficiaires et leurs ressources, grâce aux expériences tirées de la gestion de crise du cyclone Pam et de ses multiples impacts. Il a été organisé en 3 thèmes et 6 livrables impliquant des chercheurs et enseignants-chercheurs de l'Université Paul Valéry Montpellier 3, de l'IRD (Montpellier et Nouméa) et deux universités de Nouvelle Zélande (*School of environment Université d'Auckland et School of Public Health and Psychosocial Studies, Auckland University of Technology*).

Thème 1 : Résilience sociétale

1. Approche socio-géographique

1.1. Introduction

Vanuatu is located in the South Pacific. The country is composed of 83 islands and is categorized as a Small Island Developing State (SIDS). Vanuatu is highly prone to natural hazard-related disasters and climate change. This archipelago is exposed to a wide range of hazards including Tropical Cyclones (TCs), tsunamis, volcanic eruptions, earthquakes, and floods. Between 1990 and 2014, disasters linked to Tropical Cyclones (TCs) accounted for 97.6% of the combined economic losses (UNISDR, 2017). In addition, Vanuatu is the worst affected country by the consequences of climate change as share of Gross Domestic Product (GDP) in the Pacific region (UN-OHRLLS, 2015). The associated challenges include more rapid-onset events such as TCs, storm surges and flooding (Vincent et al., 2011) which are particularly intense during El Niño and La Niña (Hoeke et al., 2013). Climate change might also increase the amount and intensity of slow-onset hazards such as droughts and sea-level rise (Nurse et al., 2014).

Vanuatu has similar vulnerabilities with most SIDS, such as weak governance, lack of infrastructure, high levels of relative poverty, limited social security system and colonial history (Connell, 2013). Vulnerabilities also include remoteness, dependence on imported goods and international aid, lack of financial and technical capacities, rapid rural-urban migration, and loss of culture and knowledge through migration (Briguglio, 1995; Lewis, 2009; Pelling and Uitto, 2009). On the other hand, the local populations possess capacities for addressing Disaster Risk Reduction (DRR) challenges, including Climate Change Adaptation (CCA) (Kelman and West, 2009). Examples of capacities and resources include effective kinship networks, strong identity and high sense of community, important cultural heritage, highly diversified livelihoods, strong local knowledge, remittances sent by relatives and extensive experience of dealing with both social and environmental changes (Bonnemaison and Penot-Demetri, 1994; Campbell, 2006; 2009; Kelman and West, 2009; Lewis and Kelman, 2010).

On the 13th of March 2015, Vanuatu was severely hit by category 5 Tropical Cyclone (TC) Pam. TC Pam brought damaging winds estimated to be 250 km/h with gusts of 320 km/h and subsequent rainfall (OCHA, 2015). The disaster affected more than 70% of the country's population of 270,000 and severely affected their livelihoods (GoV, 2015). For the first time in its history, the Government of Vanuatu (GoV) issued a generalized appeal for international assistance that led to a huge influx of international aid that the country had never experienced (Barber, 2015). In May - June 2015, our team carried out fieldwork in Tanna Island, which was badly affected by the disaster. Tanna Island has a total population of about 21,000. Like most rural areas in Vanuatu, Tanna Island has very limited infrastructure (e.g. few roads are sealed, most communities do not have electricity). The land system is customary, which means ownership from local populations over their lands¹. The economy consists of a mix of subsistence farming and commercial agriculture (Sardos et al. 2015). Our study aimed to understand the disaster impacts on local communities, their capacity to face disaster and the recovery challenges they faced. This fieldwork was about three months

¹ The land and resource tenure system in Vanuatu is complex and the subject of many unresolved problems (for a review see: Jolly, 1992; Bonnemaison and Penot-Demetri, 1994).

after TC Pam, a timeframe considered by external aid agencies (i.e. government of Vanuatu, International Organizations, Non-Governmental Organisations (NGOs) to be the start of the *early recovery* phase.

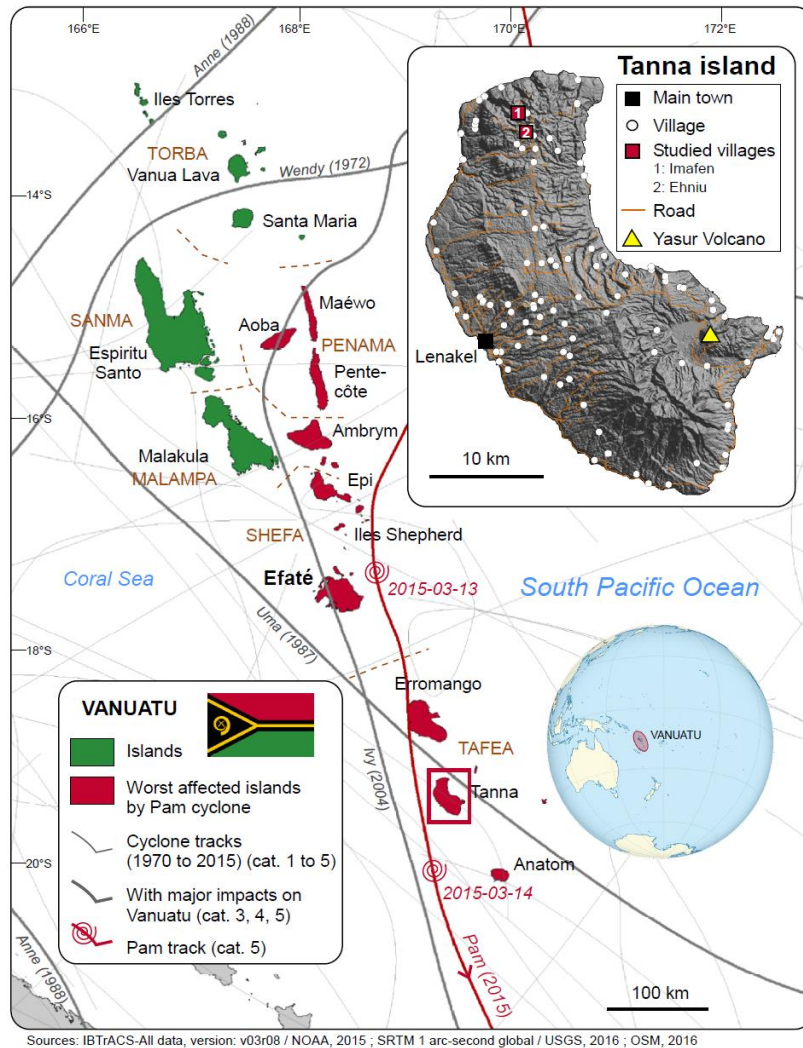
A second fieldwork was done mid-February 2017; almost two years after TC Pam hit the country. For both donors and aid agencies, this timeframe corresponded to the end of the recovery period. The aim of this research project was to understand local communities' resilience in recovering from TC Pam. This involved a) assessing to what extent local people recovered; b) appraising the difficulties faced by local people and which resources/strategies were developed to overcome them; and c) understanding how to better support and integrate such resources/strategies within the existing policies geared towards Disaster Risk Reduction (DRR) and strengthening resilience in Vanuatu. The next section details the methodology used in this research and section 3 provides the preliminary findings.

1.2. Methods

The present study relies on Focus Groups (FGs) using participatory activities carried out with disaster-affected people. Participatory methods emphasize the legitimacy of local people to contribute to knowledge production on issues that directly affect them (Chambers, 1998). Participatory approaches and tools are generally successful in generating relevant qualitative and quantitative data and have long been used in disaster studies, including in the Pacific Islands region (Cronin et al., 2004; Warrick, 2009; Kelman et al., 2011; Le Dé et al., 2015).

Fieldwork was conducted in Imafen and Enhiu. These villages are respectively composed of 137 and 58 households and located in Tanna Island (Figure 1). Introduction of the FGs in both communities involved a *TokTok* (formal introduction) where the researchers and facilitators explained the rationale of the project, its objectives and how the information would be used. This was also the opportunity for local people to ask questions and express expectations. An important aspect of the *TokTok* was also to emphasize that it was not a project led by the French Red Cross but a separate research project that received support from this organisation. This was indispensable to avoid any confusion and raise expectations that could not be addressed in this research.

Figure 1: study sites



Facilitation was done in *Bischlamar*, the national language. FGs with participatory tools started with presenting the data produced by the local community in May-June 2015. We used pictures of the activities and prints of the figures produced by people in 2015. This enabled to initiate discussion about TC Pam's impacts, people's needs and the recovery process. This FG discussion was followed by Venn diagram activity (Figure 2). Venn diagram consisted of drawing five concentric circles on the ground. The recovery needs/objectives identified during the 2015 fieldwork were written on cards. Participants were then asked to list new recovery needs/objectives that appeared since 2015. After discussing this as a group, the participants allocated the cards (or recovery needs/objectives) on the Venn diagram. The closer from the centre of the diagram meant that the need/objective had been addressed and the further meant that this was an unmet recovery need/objective. Once a consensus was reached, the participants explained to the

facilitators the information produced, emphasizing why and how the different recovery needs were either achieved or unmet.

Figure 2: Venn diagram



Source: Authors' own, Ehniu, Tanna (February 2017).

These activities were followed by carousel with scoring technique. The carousel implied dividing each group in three smaller groups. This activity involved writing on flipcharts different categories for the participants to brainstorm about, including 1) recovery difficulties/challenges faced, 2) opportunities to recover, and 3) resources and strategies used to recover. Each small group spent about 4-5 minutes on each flipchart and after that time rotated clockwise to the next flipchart. This enabled each participant to add information for each category (difficulties/challenges, opportunities and resources/strategies used). The carousel was followed by a scoring activity. Using sticky dots, the participants scored from zero to two the information produced. Sticky dots were used as follow: zero sticky dots = not important, one sticky dot = 'more or less' important and two sticky dots = important to very important. This two-fold activity was followed by a FG discussion during which participants explained the information generated. This was an opportunity to clarify results and have in-depth discussion about different aspects of the recovery. The activities were done with three groups of about 10-15 participant each, including the youth, women and men. The same activities were replicated in Ehniu but we used two gender-balanced groups. This is because the number of women and youth participants was much lower than in Imafen. In turn, in Ehniu more time allowed to carry extra activities including matrix scoring and proportional piling activities and thus investigate further different aspects dealing with the recovery and mechanisms developed to recover.

Carrying out participatory activities in remote communities such as in Vanuatu can be challenging (Warrick, 2011). Overall, the participatory activities 'worked' quite well in the sense that they allowed including a

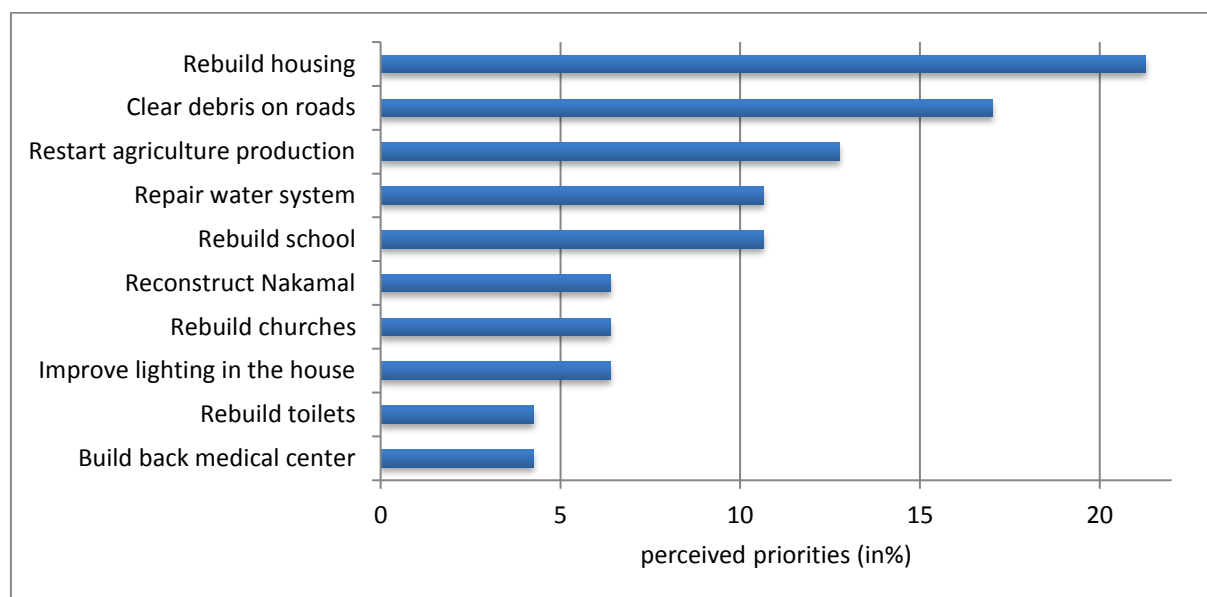
wide range of participants including women and the youth. They also helped foster dialogue and knowledge sharing. The visual aspect of the Venn diagram proved very effective to engage people and generate discussion. The carousel activities were useful to involve a wide range of people and generate rich qualitative and quantitative data, including with innumerate and illiterate participants. A debriefing session was held afterward with the different facilitators of the activities. This helped reflecting upon the tools themselves and the information produced as well as compare and discuss findings. The information was then analysed using the key themes developed throughout the activities and the objectives of the research project. Numbers produced by and with local people are presented in diagrams and tables in the preliminary results section.

1.3. Preliminary results

Identifying met and unmet recovery needs

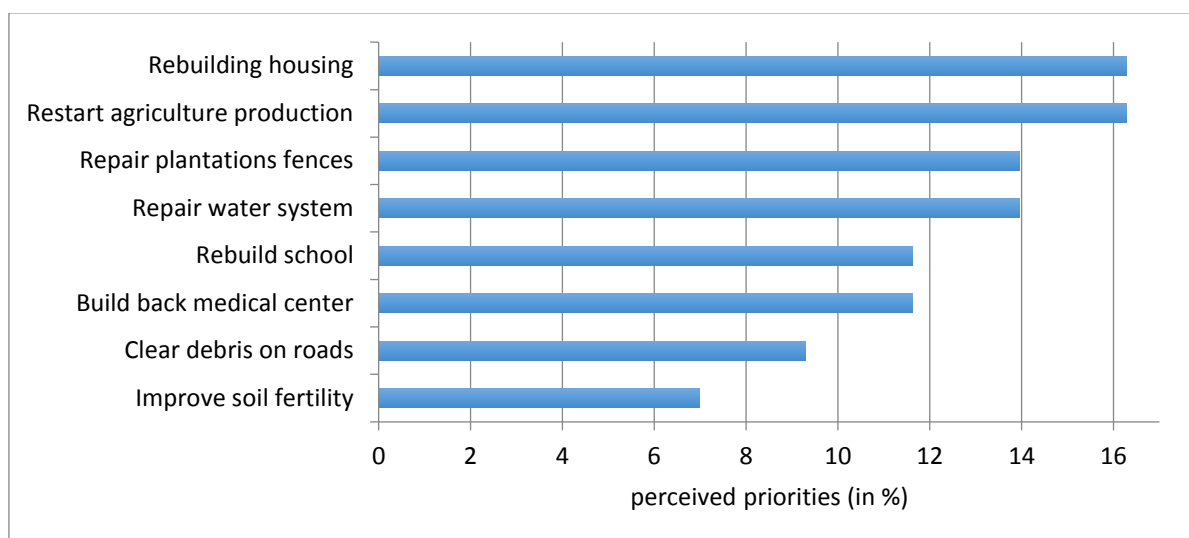
Three months after TC Pam the recovery needs in both communities were quite similar including rebuilding housing, restarting agricultural production, repair water system, clean debris on road, rebuild schools and medical center (Figure 3 and 4). These recovery priorities reflected basic needs in order to make a living such as shelter, water, food, health, education and social relationship. Each community also emphasized more specific needs in order to recover effectively. For example, in Imafen, the repair of fences was important since animals were eating newly replanted crops thus preventing them to quickly recover. In Ehniu the repair of the Nakamal, churches and lighting in houses were seen as important to recover. The Nakamal is the place where males meet and discuss political and socio-economic matters. It is also the place where important information is communicated to the community members. Lighting in the houses was seen as an important aspect for women since they need it to both cook and help children do their homework, thus reflecting the need to recover a normal daily life after the disaster.

Figure 3: Perceived recovery needs in Ehniu 3 months after TC Pam



Source: listing with proportional piling.

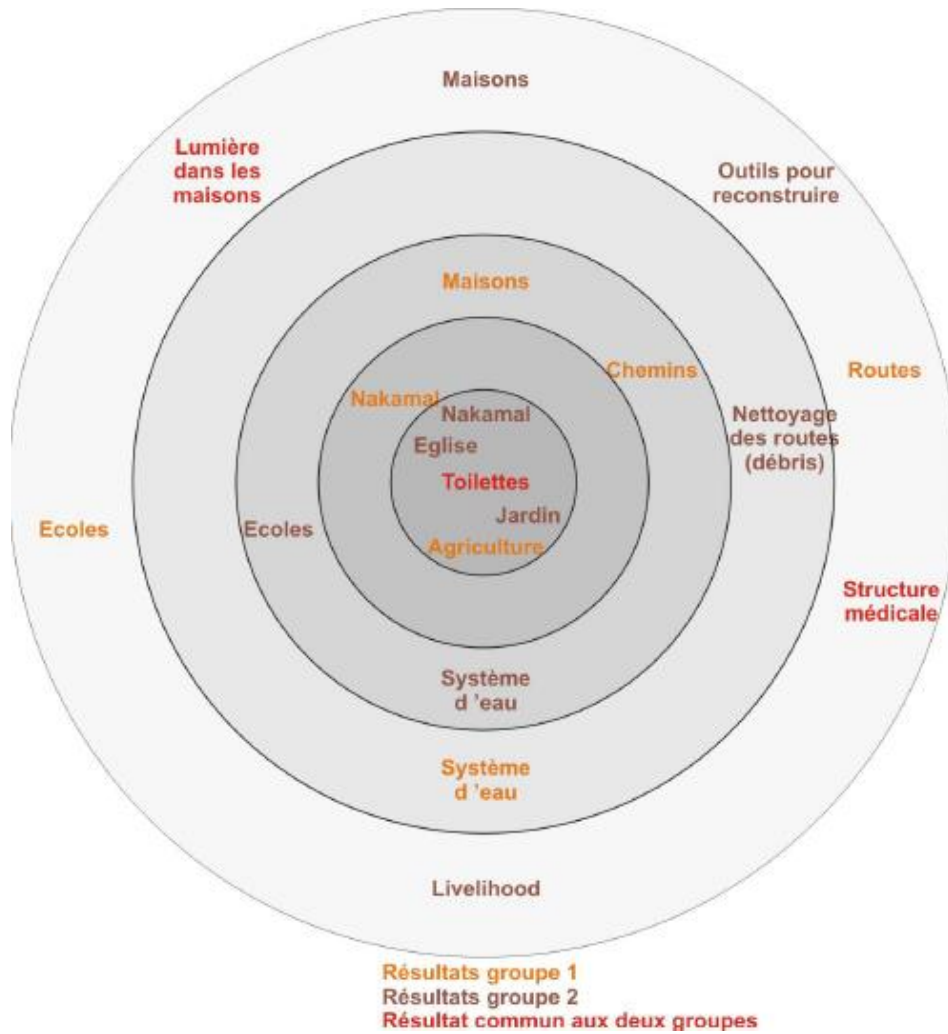
Figure 4: Perceived recovery needs in Imafen 3 months after TC Pam



Source: listing with proportional piling.

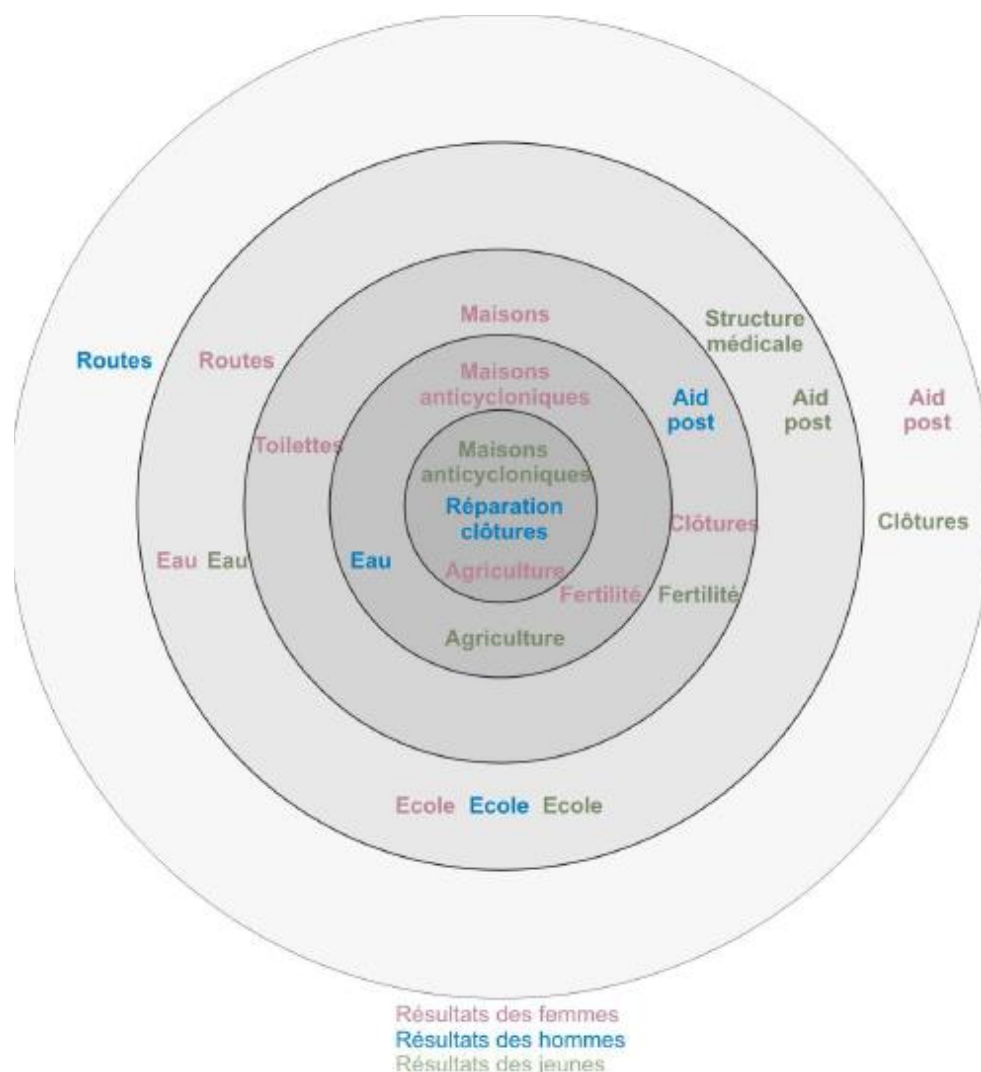
Almost two years after TC Pam, data from the Venn diagrams (Figure 5 and 6) shows that in both villages, local communities managed to restart agricultural production, which was identified as a priority in 2015. However, local people explained that they did not recover fully to levels before TC Pam. This is because their livelihoods depends largely on agricultural production and some trees and crops, significant within their livelihood system, would take more than two years to regrow. For example Kava takes about 3 years to regrow, coffee 3 to 4 years, and sandalwood from 15 to 20 years.

Figure 5: Met and unmet recovery needs post-TC Pam (T+23 months)



Source: Venn diagram, Ehniu

Figure 6: Met and unmet recovery needs post-TC Pam (T+23 months)



Source: Venn diagram, Imafen

Results demonstrate that local communities generally managed to rebuild or repair the impacted houses. This was perceived as the main priority three months after TC Pam both in Imafen and Ehniu. However, results show mixed views on the extent to which local communities recovered and reduced disaster risk. Local people generally used natural material and traditional construction techniques. However, the rebuilding of houses was temporary: people used other types of construction materials than those normally utilized, which are stronger and last much longer. People explained that most of the natural material used to build permanent shelter had not regrown yet. FG participants emphasized that the high demand for natural material construction was placing an important burden on the limited resources of the islands. After TC Pam, people would have to walk very far to get the ropes and other material needed to reconstruct their houses on a permanent fashion. The poor quality of roads and/or pathways affected by TC Pam made it even more challenging to access such material.

In regards to housing, the extent to which people recovered and reduced disaster risk is questionable. For example in Ehnio people rebuilt bigger and more comfortable but not necessarily more cyclone-resistant houses. At the same time, FG participants explained rebuilding *Nimenten* (traditional anti-cyclonic shelters) after TC Pam. The construction of these traditional shelters had been slowly abandoned over the year. However, after TC Pam local people realized that such traditional shelter were often more resistant than western housing construction. External aid agencies such as the French Red Cross highly encouraged the reconstruction of *Nimenten* in order to preserve such traditional knowledge and reduce disaster risk.

Overall, most recovery needs that required local communities input were addressed (e.g. houses, cyclone-resistant shelters, agricultural activity), but those that required external aid (e.g. government support) were partially addressed to unmet. This includes water issues, rehabilitation of roads, reconstruction of the schools and the medical centre (Figure 4 and 5), which require resources that are outside local communities. Surely, many of these issues existed prior TC Pam and were aggravated after this event, which thus relate to long-term development issue and DRR.

Understanding the resources and strategies developed for recovery

The second objective of the research was to understand the different difficulties that local communities faced during the recovery process. The objective was also to appraise how local people overcame such difficulties and challenges so they could successfully recover. Results in both villages were very similar and thus are compiled in table 1. This table indicates that the main recovery issue was related to the roads and pathways that were either damaged or impracticable because of debris from TC Pam. This rendered very difficult cooperation between local communities (e.g. exchange of seeds, plant cuttings, tools etc..) and access to natural construction material. Many of the difficulties faced in the recovery were also linked to the multiple natural hazards that hit the local communities. Participants emphasized drought (one of the strongest drought in years according to local people), volcanic ashes, cyclones, heavy rains, earthquakes, insects, and pests. This reflects the fact that Vanuatu is one of the country most exposed to natural hazards worldwide. It also emphasizes that recovery is not linear and homogenous. Recovery is rather a process associated with recurrent disasters and is thus frequently interrupted, often on a regular basis, by newly emergent-small scale disasters. The recovery therefore takes the form of a complex and multi-directional process, completely different from the standardized recovery models used by external aid agencies (Shrestha, 2016).

Table 1: recovery difficulties, opportunities and mechanisms

Difficulties/challenges	Score	Opportunities	Score	Resources and mechanisms	Score
Poor quality of roads and pathways	14	IOs and INGOs	30	Natural water sources	9
Drought	9	Government	14	Gardens	9
volcanic ashes	9	Local NGOs	13	Praying	8
Cyclones	7	Church organisations	8	Community cooperation	7
Rebuild schools	6	Community cooperation	7	Nakamal	6
Lack of drinkable water	5	Schools	6	Traditional medicine	6
Poor water system	5	Remittances	4	Schools	5

Climate change	5	Aid post	4	Aid post	4
Soil fertility	4	Political parties	3	Remittances	4
Disease and hygiene	4	Traditional knowledge	1	Livestock	4
Heavy rains	4			Nimenten	4
Lack of material	3			Houses (traditional techniques)	4
Doctor access	3			Roads	3
Safe areas to reestablish gardens and houses	2			Sport	3
earthquakes	2			Toilets	3
School fees	2			Food preservation	3
Rebuild houses	1			Nasituan (local NGO)	2
Insects and pests	1			Land ownership	2
				FAUL	2
				Coffee	1
				Roots	1
				Fishing	1
				Artefacts	1
				BINAT	1
				Weather man	1

Source: Carousel with scoring (Ehniu and Imafen).

Opportunities to recover are emphasized in Table 1. While external aid agencies (e.g. IOs, INGOS, government, local NGOs, churches) were seen as main opportunities to recover, FG discussions indicated mixed views on the support received in order to recover effectively. On the one hand, FG participants emphasized positive support from IOs and local NGOs who helped facilitating some of mechanisms local communities applied or addressing recovery issues faced. For example, the Red Cross supported the reconstruction of Nimenten and houses integrating both traditional knowledge and western construction materials. Nasituan, a local NGO, provided agricultural training to overcome soil fertility issues emphasized by locals and adapt to climate change.

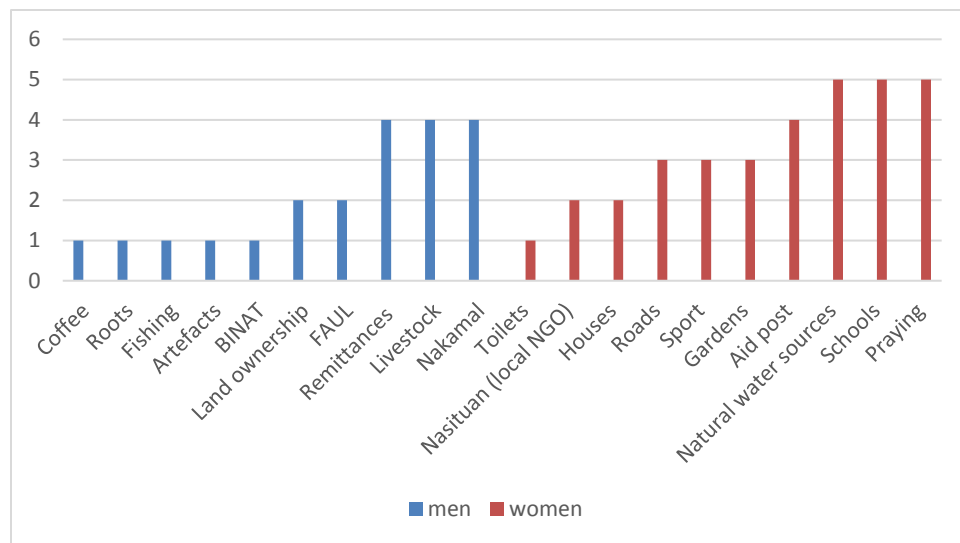
On the other hand, FG participants explained that large amount of rice (considered luxury in this part of the world) were sent after TC Pam as aid relief. This was one of the findings of our previous fieldwork. Almost two years after TC Pam, FG participants emphasized that their children became relatively dependent on rice. Women were particularly worried about that. This had created a financial burden on them, since it implied to generate more income in order to buy rice. Further investigation would be required to understand the significance of this dependence on rice and the long-term cultural, social and economic impacts on local communities. FG participants emphasized limited support from the government, which sometimes had negative effects on the recovery strategies developed. For example, many FG participants explained stopping sending their kids to schools because they could not afford paying the school fees². In the same vein, lack of drinkable water and unrepaired water system created hygiene issues and diseases. Furthermore,

² After TC Pam the government of Vanuatu waived the school fees nationwide. However, this information / measure did not reach the communities of this study.

damaged roads and/or road debris affected local communities' capacities to exchange with adjacent communities, access material essential for the reconstruction or ability to reach quickly the medical center.

The participatory activities indicated that in order to recover local people displayed a large array of resources and mechanisms. Table 1 emphasizes the strong role played by local and traditional knowledge (e.g. natural water resources, gardens, traditional medicine, traditional housing construction, food preservation, roots and weatherman), social organization and support (remittances, community cooperation, land ownership) and high diversification of livelihoods. Overall, FG participants emphasized their active role in the recovery process rather than relying intensively on external aid agencies. Furthermore, while the data collected in Imafen indicates that men and women emphasized the same difficulties and opportunities to recover, the mechanisms developed by men and women were quite different (Figure 7). For example men used mainly the Nakamal, livestock and remittances while women emphasized praying, schools and natural water resources. Such findings reflect the fact that post-disaster the resources mobilized to recovery are not extraordinary but generally those that are rooted in people's livelihoods pre-disaster.

Figure 7: Mechanisms and resources developed by men and women post-TC Pam



Source: Carousel with scoring (Imafen)

Summary of findings

- People in Tanna possess strong capacities to cope and recover from TC Pam. Even though they were badly impacted they displayed mechanisms based on their rich/diverse livelihood resources. People achieved many recovery needs that they identified beforehand. External aid was useful on the short term but on the long term people managed to deal with the event largely because of their strong capacities and resources. On the long-term, some negative impact such as in developing dependence on rice.

- Recovery is not linear and homogenous. Many hazards and small-scale disaster such as drought, landslides, heavy rains, and cyclones made it more difficult to recover and rendered the recovery process uneven and difficult. This is different from what is usually conceptualized in the existing recovery models (e.g. (e.g. Kates & Pijawka, 1977; Cuny, 1983). Standard classification that has emerged is an *emergency phase*, a *transitional phase* (or rehabilitation phase) and a *reconstruction phase*. These models generally guide the

actions of aid agencies post-disaster. Findings confirm that the recovery phases identified by aid agencies are often different from the recovery process experimented by local communities.

- At the time of the fieldwork, people had not fully recovered and felt it would take some time. Many recovery needs were in the hand of external aid/government (e.g. rebuilding schools, roads, water system, medical center) and related to long-term development issue that generally existed pre-disaster. Addressing those aspects is indispensable to reduce vulnerability and build disaster resilience.

- After TC Pam local people realized they needed to better prepare to future hazards. Lessons learned were on food security mechanisms/gardens (e.g. grow kumara and taro rather than manioc and ignam), on traditional knowledge for shelter and use traditional housing with material available onsite (resist better than western house and cheaper). External aid agencies need help strengthen these resources and mechanism so local communities will be more resilience to future disasters.

En complément, la publication suivante située en **annexe 1** valorise une partie du travail préliminaire à cette étude :

LE DÉ L., REY T., LEONE F., DAVID G. (2018) - Sustainable livelihoods and effectiveness of disaster responses: a case study of tropical cyclone Pam in Vanuatu - *Natural Hazards*, <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3174-6>

2. Approche socio-anthropologique

2.1. Introduction

Un autre volet de la résilience sociétale portait sur les représentations et le vécu des habitants de plusieurs localités littorales de l'île d'Efaté et cherchait à rendre compte des savoirs et des pratiques mises en œuvre par chacun pour faire face au cyclone et aux lendemains de ce dernier. Au terrain collectif Université Paul Valéry -IRD auquel a participé G. David, se sont ajoutés 3 mois d'ethnographie menés par M. Garcia principalement localisées à Takara intégrant quelques jours de terrain à Nguna et à Vila et ses environs en 2016-2017, puis un terrain d'une semaine sur l'ensemble du littoral d'Efaté mené en binôme par G. David et C. Sabinot en août 2018. Ce dernier terrain a permis d'approfondir des questionnements soulevés par M. Garcia et de mettre à jour quelques données portant les aménagements de la route littoral et du développement touristique à Efaté.

2.2. Méthodes d'enquêtes employées et choix des sites

Quelques mois après le terrain collectif sur Efaté et Tana, un sujet de Master 2 a été proposé pour développer une compréhension plus fine des transformations vécues sur l'île d'Efaté et comprendre les processus de résiliences sociales et territoriales qui ont vu le jour sur le littoral. Une phase préparatoire basée sur des réunions de visu à Paris puis à distance par skype entre M. Garcia, E. Wittersheim et C. Sabinot et un travail de revue de littérature et d'écriture conduit par M. Garcia a conduit à la réalisation du terrain de recherche de M. Garcia entre le 3 septembre et le 11 décembre 2016. Des entretiens complémentaires ont été menés à Vila, Takara, Vao et auprès des hébergements touristiques en mars et août 2018 par C. Sabinot et G. David.

A Vila, plusieurs entretiens ont été menés afin d'appréhender le contexte et affiner les choix de terrain dans le nord de l'île. Ont entre autres été rencontrés Christopher Bartlett, directeur du GIZ (ONG allemande travaillant essentiellement sur Nguna / Pele), David Bridier (Croix rouge Française), Vincent Lebot, chercheur agronome, Sandrine Wallez (association Activ' qui cherche à développer les filières du cacao, café, vanille etc. avec des petits producteurs de l'archipel et a eu un rôle relativement central dans la résilience au cyclone Pam). Des observations participantes ont été conduites au marché d'Efaté (durant les marchés quotidiens et lors d'une réunion des petites hortultrices et vendeuses du marché) et un entretien

long a été mené avec la responsable des différentes associations gravitant autour du marché et cuisinière au marché).

Deux courts terrains ont été réalisés à Nguna (Du 13 Septembre au 17 Septembre et du 6 au 8 Décembre) pendant lesquels ont été conduits, en plus des entretiens individuels, des temps d'observation de rencontres collectives, en particulier celles de l'assemblée de femmes de Nguna à Pele autour de l'organisation de l'église presbytérienne des deux îles et celle de l'« awarness » sur le changement climatique animé par John Ronneth dans le hall communautaire (power point focus sur la mer et les poissons). Durant ce dernier, près d'un tiers du village était présent. Enfin, de l'observation participante a pu être réalisée dans deux jardins et des entretiens ont été conduits sur le lexique employé pour décrire l'environnement et le cyclone qui a transformé le paysage.

Les deux paragraphes suivants font la synthèse du nombre et des types d'observation et d'entretiens qui ont été menés sur les sites de Nguna et de Takara

- Nguna (Unakap – Neura – Malaliu) :

Observations jardins et pêche / collecte coquillages : 7

Entretiens enregistrés : 6

Entretiens formels non enregistrés, avec prise de notes) : 4

Histoires coutumières enregistrées : 3

Observations diverses (réunions de village, atelier ONG...) : 9

- Takara (nord est Efate) :

Nombre d'observations liées à la pêche ou au jardin : 17

Nombre d'entretiens enregistrés longs : 18 (+ 1 de 20 minutes)

Nombre d'entretiens non enregistrés (informels) : 4

Observations diverses (église, réunions...) : 7

Entretiens enregistrés à Port Vila : 3

Enfin, 7 entretiens enregistrés ont été menés à Vila. Des ouvrages et des documentations diverses ont été consultés à la bibliothèque et aux archives du centre culturel du Vanuatu.

2.3. Principaux résultats

Les principaux résultats émanant de ces recherches sont compilés dans le mémoire de Master de Manon Garcia soutenu en septembre 2017 à Paris :

Garcia Manon (2017) - *Dans le sillage du cyclone PAM. Quand la catastrophe fait quotidien au Vanuatu* - sous la direction de E. Wittersheim et C. Sabinot. Mémoire de Master 2 *Etude comparative du développement*, EHESS.

Le plan du rapport est en **annexe 2**.

Enfin, une communication co-écrite par M. Garcia et C. Sabinot au colloque ICEF le 17 avril 2018 a été présentée (7th International Conference on Environmental Future Humans and Island Environments) dans la session 16: How is climate affecting patterns of island migration? Elle s'intitule « Local knowledge and gender issues in Vanuatu: thinking the cyclone Pam through the dynamics of economic migration » et fait suite à une réflexion qui a été questionnée dans la suite du mémoire de M. Garcia et vise à démontrer la diversité des moyens et des réseaux mobilisés par les habitants d'Efate et des îles du Vanuatu en général pour faire face aux événements cycloniques aujourd'hui, articulant des savoirs et des savoir-faire anciens et

nouveaux, des activités lucratives réalisées au pays et dans les pays partenaires de la région, des réseaux d'aide internationale et d'entraide locale. Le résumé présenté lors du colloque est le suivant et s'intéresse en particulier au rôle des partenariats bilatéraux avec l'Australie et la Nouvelle-Zélande dans la résilience post-cyclone.

Le résumé de cette communication est en **annexe 3**

Ces résultats ont été confrontés de nouveau au terrain par G. David et C. Sabinot en 2018 et feront l'objet de suites.

Thème 2 : Résilience environnementale

1. Diagnostic géomorphologique et environnemental (littoral d'Efaté)

Les deux publications suivantes font état de ce travail déjà valorisé dans des revues internationales. Elles sont visibles en **annexes 4 et 5**.

Rey T., Le Dé L., Leone F., David G. (2017) - Leçons tirées du cyclone Pam au Vanuatu (Mélanésie) : aléas côtiers, crues éclair et dommages - *Géomorphologie : relief, processus, environnement* [En ligne], URL : <http://geomorphologie.revues.org/11842>.

Rey T., Le De L., Leone F., Gilbert D. (2017) - An integrative approach to understand vulnerability and resilience post-disaster: the 2015 cyclone Pam in urban Vanuatu as case study - *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, Vol. 26 Issue: 3, doi: 10.1108/DPM-07-2016-0137

2. Apport de la télédétection satellitaire dans l'étude de la résilience sociétale et environnementale post-cyclone

2.1. Phase 1

Analyse temporelle et phénomène de résilience

L'analyse des bases de données mondiales (USGS) nous a amené à conclure qu'il existe très peu d'images satellitaires métriques ou décimétriques exploitables autour de l'épisode cyclonique PAM (mars 2015). Seules quelques images Pléiades (0,5 m de résolution spatiale) sont disponibles. Afin de mettre en évidence l'impact du cyclone PAM sur l'environnement physique et de mesurer la capacité de résilience des milieux, il est nécessaire de disposer d'une série temporelle de données spatialisées. Pour cela nous disposons de produits issus d'images MODIS (« *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* » de la NASA) depuis le début de l'année 2000. Le produit choisi est un indice de végétation reflétant l'activité photosynthétique spécialement créé pour les données MODIS : EVI (« *Enhance Vegetation Index* »). Cet indice caractérise ainsi efficacement les différents états de végétation dans tous les écosystèmes et pour tous les climats. Il est ainsi très utilisé dans le cadre d'études sur la gestion des ressources naturelles et pour la recherche opérationnelle (Phompila *et al.*, 2015 ; Liu *et al.*, 2017). Il est corrigé des effets atmosphériques et des effets de réflectance bi-directionnels. Il existe en plusieurs synthèses temporelles (journalier, 8 jours ou 16 jours) et en plusieurs résolutions spatiales (250m, 500m et 1km). Les importantes couvertures nuageuses autour de cet évènement nous ont orientés sur l'utilisation des synthèses sur 16 jours à la résolution spatiale de 250 m. Cet indice « composite » est un produit spécifique MODIS permettant d'éliminer les pixels de mauvaise qualité radiométrique (pixels concernés par les Sirius par exemple) et de conserver les pixels de bonne qualité géométrique (pixels les plus au nadir). La figure 1 suivante présente le produit EVI sur Efate pour les années 2014, 2015 et 2016 (autour du cyclone PAM). Les variations de verts correspondent à l'activité photosynthétique (fort pour vert foncé et faible pour vert clair).

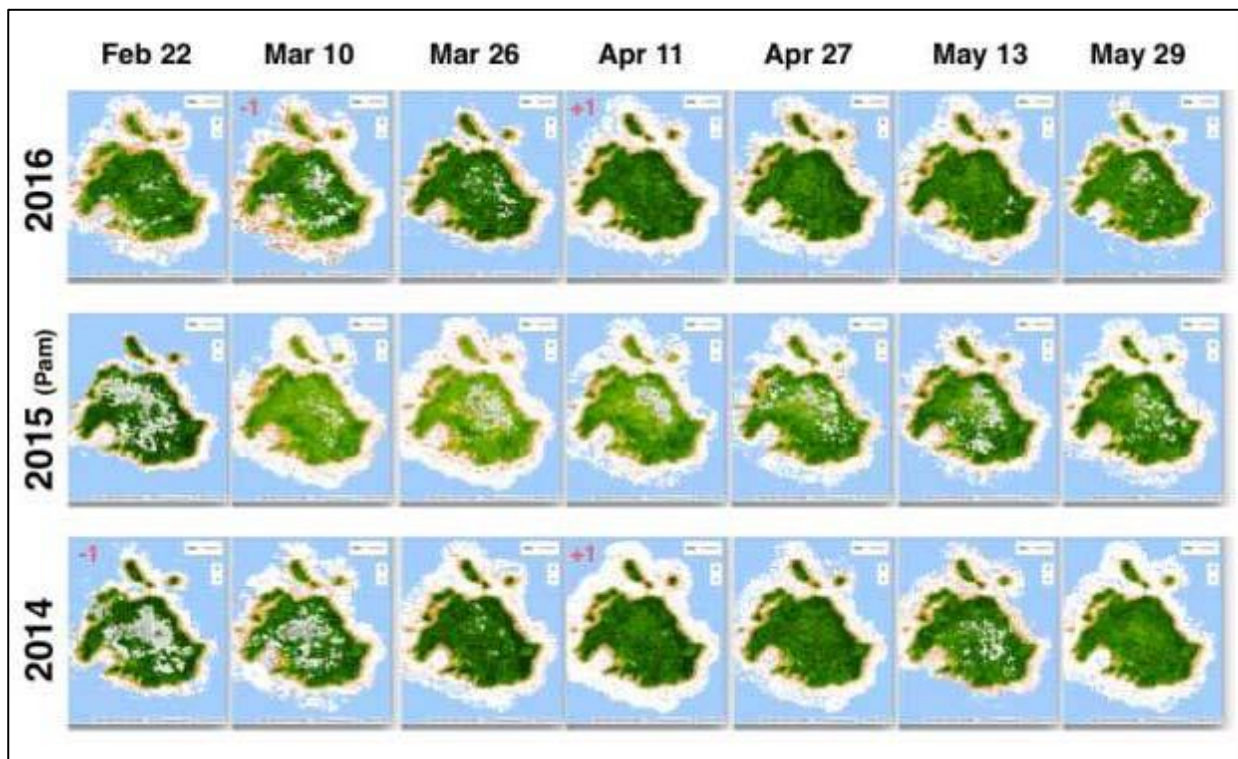


Figure 1 : Série de l'indice EVI sur images MODIS sur EFATE (2014 à 2016)

Nous nous sommes servis d'une cartographie de l'occupation des sols établie en 2008 dans le cadre du projet GERSA (Despinoy *et al.*, 2008) pour identifier les classes « forêt dense » et « Savane ». La classe Savane comprend les classes savane herbeuse, savane arbustive et arborée. Un exemple des valeurs de l'indice EVI est donné pour la classe Forêt dense dans la figure 2 suivante. On s'aperçoit que l'épisode cyclonique de PAM est particulièrement marquant car le signal chute considérablement (pic marqué par la flèche noire). Ceci est également vrai pour la classe savane.

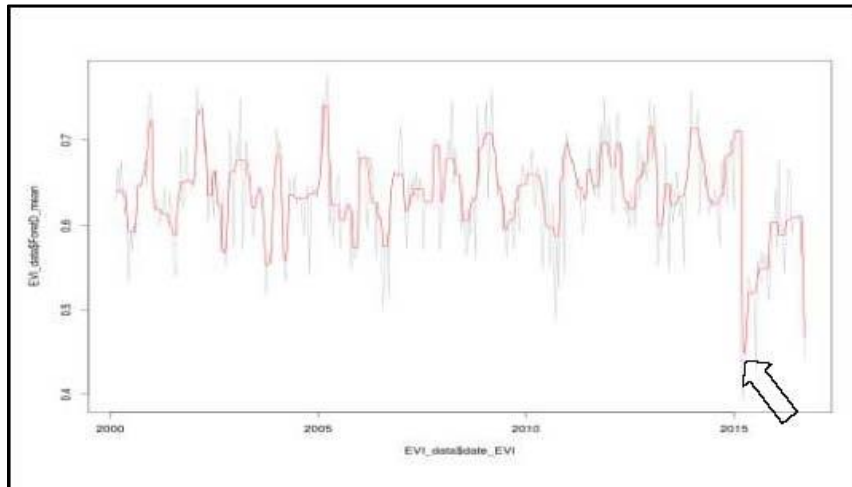


Figure 2 : Valeurs moyennes des EVI pour la classe forêt dense pour toutes les images de 2000 à 2016 (en gris la courbe brute ; en rouge la courbe lissée)

Afin de répondre aux objectifs fixés par le projet, nous avons créé un indice d'anomalie à partir de ces images d'EVI permettant de mettre en évidence directement les anomalies des activités photosynthétiques. L'avantage de cette donnée est qu'elle permet une estimation relativement précise du degré d'impact sur ces différents types d'environnements naturels et anthropiques.

Produit « ANOMALIES »

Les anomalies sont calculées à partir de l'indice de végétation EVI de MODIS et représentent les différences à la moyenne par quinzaine. On calcule ainsi la moyenne de l'EVI sur tout Efate pour la période 2000 à 2016. Cette donnée nous sert de base à partir de laquelle nous observons les différences des EVI par quinzaine. Une valeur d'anomalie négative représente une dégradation de l'activité photosynthétique et donc un impact du cyclone sur l'environnement d'Efate. A l'inverse, une valeur positive d'anomalie, représente un gain en activité photosynthétique qui est représenté souvent par un changement de couvert végétal (passage d'une forêt à de l'herbe dense et verte). Une valeur nulle d'anomalie ne représente aucun changement par rapport à la moyenne. La figure 3 suivante représente les valeurs d'anomalies d'EVI sur EFATE pour la date du 22 mars 2015 (post PAM).

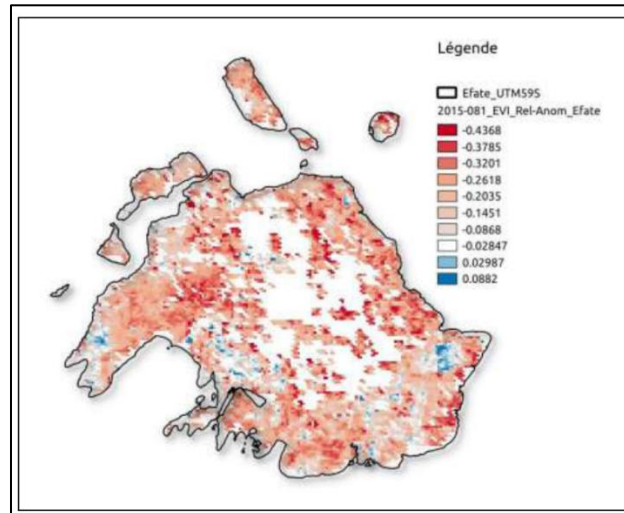


Figure 3 : Image des anomalies d'activité photosynthétique sur Efate pour le 22 mars 2015

Ainsi, sont extraites de toutes les données d'anomalies, les valeurs pour les classes « Forêt Dense » et «Savane » ainsi que pour la moyenne globale de l'EVI (toutes classes confondues) sur Efate (Figure 4). En observant les épisodes cycloniques majeurs survenus dans cette zone au cours des 16 dernières années (Paula, 2001 ; Sose, 2001 et Ivy, 2004 et enfin PAM en 2015) nous pouvons remarquer les impacts de ces cyclones sur les valeurs d'EVI dans la figure suivante (pics négatifs => perte d'activité photosynthétique).

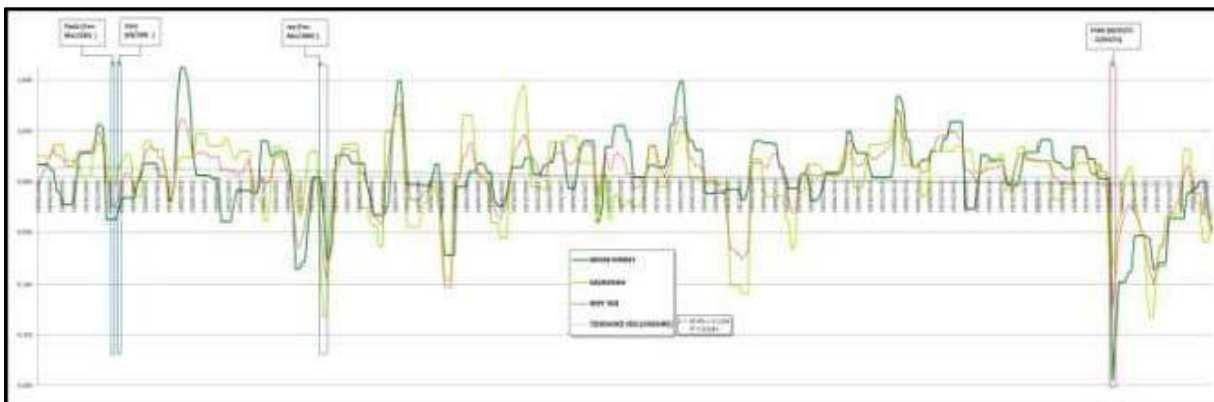


Figure 4 : Courbes de moyennes d'anomalies d'EVI pour les classes « forêt dense », « savane » et valeur moyenne globale sur Efate (2000 à 2016)

Cependant, il semblerait que d'autres impacts ont été suffisamment importants pour que les valeurs d'EVI

soient également perturbées (exemple en 18/10/2003 ; 18/10/2005 ; 18/10/2009). Ceci ne peut pas être considéré comme un cycle de végétation car pour d'autres mois d'octobre les valeurs sont positives. Il est également intéressant de noter que la tendance des valeurs de l'indice sur cette période de 16 ans est légèrement négative (droite en pointillée grise sur les Figure 4 et Figure 5). Ce qui permet d'avancer l'hypothèse qu'il existe une diminution lente et progressive de l'activité photosynthétique sur Efate depuis 2000. L'explication de cette diminution n'est pas à l'ordre du jour d'autant plus qu'il sera difficile d'en établir la cause (quelle est la part de l'anthropisation de celle des événements climatiques récurrents ?), cependant elle permet la constatation d'une perte lente et constante de la biomasse végétale. Ce qui peut être un facteur intéressant pour les projections dans le futur et pour la prise de décision quant à une politique de reboisement par exemple. La figure 5 suivante représente une extraction de la figure précédente autour des dates du cyclone PAM pour les valeurs d'anomalies d'EVI et pour les deux classes (Forêt Dense et Savane), d'une part, et pour la moyenne des EVI globale, d'autre part.

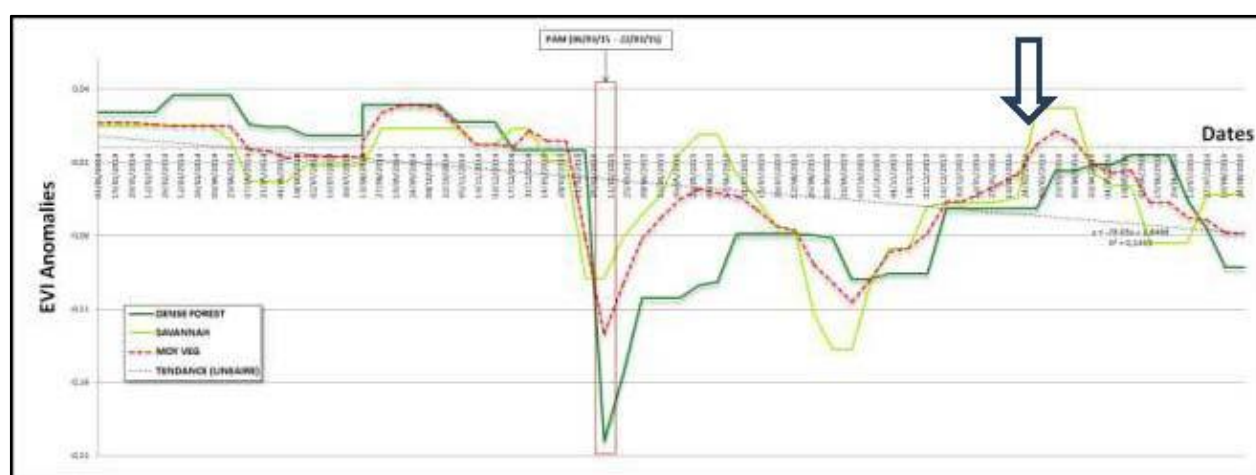


Figure 5 : Courbes des moyennes d'EVI pour les classes Forêt Dense et Savane ainsi que pour l'ensemble d'Efate -Courbe de tendance

Les résultats présentés dans cette figure montrent un « retour à la normale » (au sens de l'activité photosynthétique modulo la baisse générale) de l'environnement global et des deux classes de végétation au **bout d'un mois** (flèche noire pointant la date du 05 mars 2016).

Influence des distances à la trace cyclonique

Il est évident que la distance au cyclone joue un rôle fondamental dans les impacts sur les milieux. Cependant, peut-on établir des seuils de distances à partir desquels les impacts peuvent être négligeables, moyens ou forts ? La réponse à cette question est importante notamment pour les décideurs dès lors que la trace d'un cyclone est fournie en avance par les services météorologiques. Il s'agit là de mettre en évidence un gradient d'impact d'un cyclone sur l'environnement en termes d'activité photosynthétique en fonction de la distance au cyclone. Des résultats ont été obtenus à partir de différents buffers sur les cartes d'anomalies. Ceux-ci restent cependant à être consolidés notamment par l'observation de données provenant d'autres cyclones sur d'autres îles proches du Pacifique.

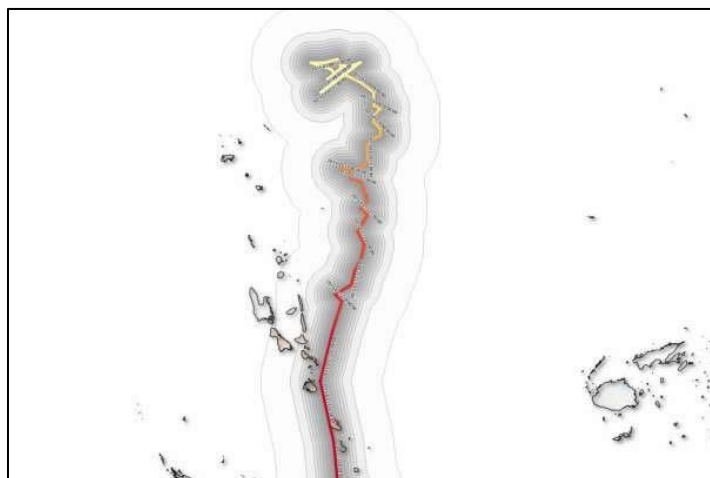


Figure 6 : Trace du cyclone PAM (mars 2015) au large du Vanuatu et buffers de distances (de 0 à 200 km)

Des buffers ont été définis pour les valeurs suivantes : 0-10 km ; 10 à 20km ; 20 à 30 km ; 30 à 40 km ; 40 à 50 km ; 50 à 60 km (Figure 7). Au-delà, il n'existe plus de valeurs d'anomalies car nous sommes en-dehors d'Efate.

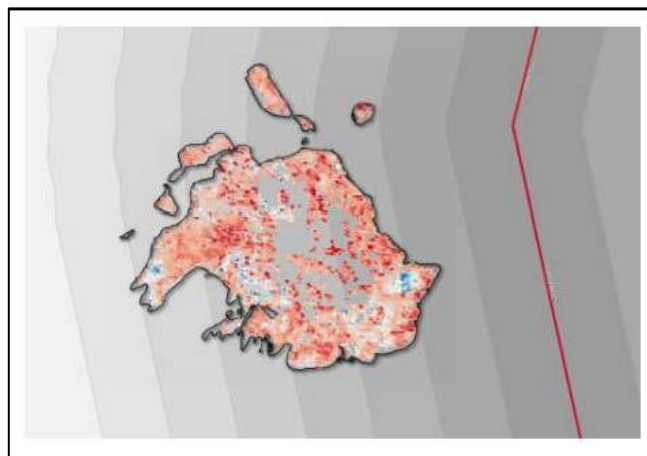


Figure 7 : Zones de buffers de 10 km allant de 10 km (gris foncé) à 80 km (gris clair) sur la carte des valeurs d'anomalies d'EVI sur Efate (trace du cyclone PAM en rouge)

La figure 8 suivante présente les valeurs de moyennes d'anomalies globales pour Efate (courbe en noir) et pour les classes Forêt Dense (vert foncé) et Savane (vert clair). Ces résultats montrent qu'il n'existe pas de corrélation par rapport à la distance au cyclone. En effet, l'inversement de la courbe de Savane pour le buffer 30-40 km indiquerait qu'avant ce seuil (à gauche sur la figure 8 suivante), l'impact est moins fort en étant proche du cyclone et, qu'après ce seuil, l'impact diminuerait en fonction de l'augmentation de la distance. Il est possible que la topographie de l'île (montagnes culminants à 640 m environ) joue un rôle dans ces changements de pente sur les courbes d'anomalies. Cependant, pour la classe Forêt Dense, la courbe montre une certaine logique qui voudrait signifier que plus on s'éloigne du cyclone, moins l'anomalie est négative

(moins il y a de perte). Par ailleurs, il est à noter que les différences de valeurs sont minimales. La fluctuation est de l'ordre de 0,04 pour la classe forêt (très faible) et de 0,115 pour la classe savane. Ces faibles valeurs indiquent que l'état de la végétation est globalement identique sur l'île d'Efate surtout pour les classes de végétation dense.

En conclusion, à cette échelle d'observation (buffers successifs de 10 km, images satellitaire à 250 m de résolution spatiale) on ne peut rien conclure quant à l'impact du cyclone PAM en fonction de l'éloignement. Seule une tendance est à remarquer concernant un changement des valeurs probablement dû à l'effet topographique de l'île.

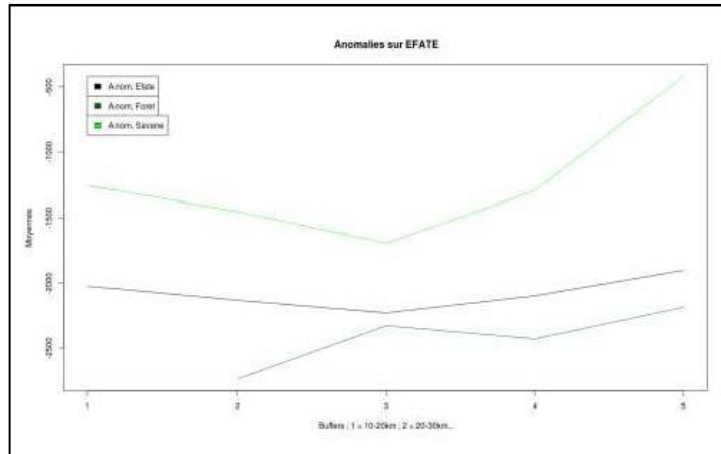


Figure 8 : Courbes des moyennes des anomalies sur Efate (noir), pour la classe forêt (vert foncé) et pour la savane (vert clair)

Etant donné qu'à cette échelle d'observation il n'est pas possible de conclure, qu'en est-il d'une analyse à une échelle plus régionale (Vanuatu) c'est-à-dire à l'échelle du Vanuatu ? Nous avons réalisé la même étude avec les buffers plus larges suivants : 0-100 km ; 100-150 km ; 150-200 km ; 200-250 km et 250-300 km (Figure 9 suivante).

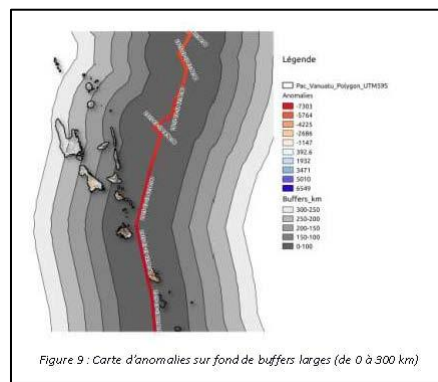
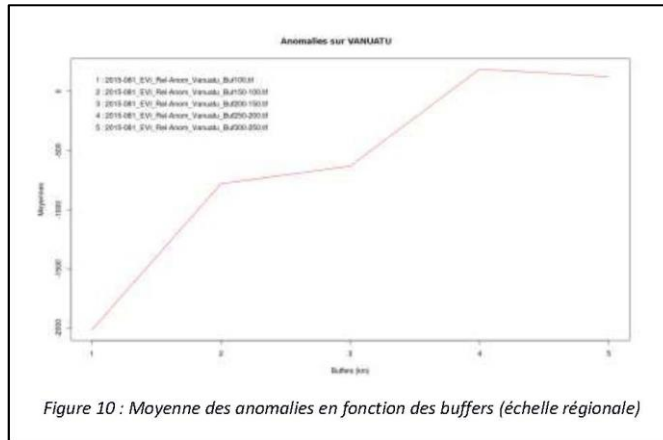


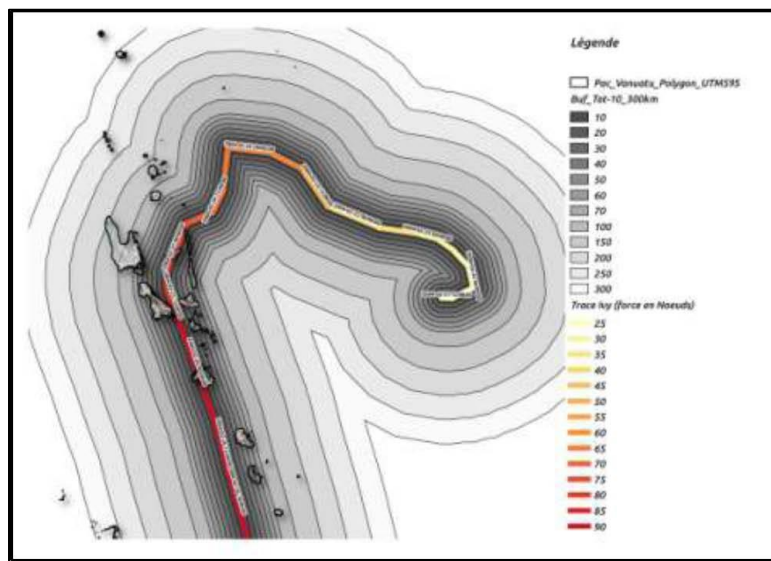
Figure 9 : Carte d'anomalies sur fond de buffers larges (de 0 à 300 km)

La courbe présentée dans la figure 10 montre une tendance nette de diminution de l'impact cyclonique en fonction de l'éloignement à la trace du cyclone PAM.



Cette courbe montre clairement une différence de valeurs d'anomalies de 0,22 synonyme d'un passage de l'état de végétation impactée (gauche de la courbe) à un état normal, c'est-à-dire à un retour des valeurs d'anomalie à 0. Un maximum est enregistré pour le buffer 200-250 km. Au-delà il y aurait plus d'impact cyclonique sur la végétation.

Cependant, est-ce que ces valeurs d'indice sont fiables à cette échelle ? Pour le confirmer nous avons récupéré la trace d'un autre cyclone qui a impacté fortement le Vanuatu se situant dans la période 2000 à 2016 (période d'acquisition des produits MODIS). Le cyclone IVY est survenu entre le 21 février 2004 au le 01 mars 2004 en étant au plus fort sur l'île d'Efate le 26 février 2004 (Figure 11). Ce cyclone de catégorie 4 n'a pas été aussi violent en termes d'intensité de vent avec des maximums de 90 nœuds (166 km/h) contre 135 nœuds (250 km/h) pour PAM. Cependant, il est passé à la verticale du Vanuatu et a été très impactant pour l'environnement car les pluies ont été abondantes (journaux d'information).



Les cartes d'anomalies ont été générées pour cette période et les courbes sont présentées en figure 12 suivante. Les courbes en pointillée représentent les moyennes des valeurs brutes de l'indice EVI et les courbes en traits continus représentent les moyennes des valeurs d'anomalies pour les cyclones IVY (en bleu) et PAM (en rouge).

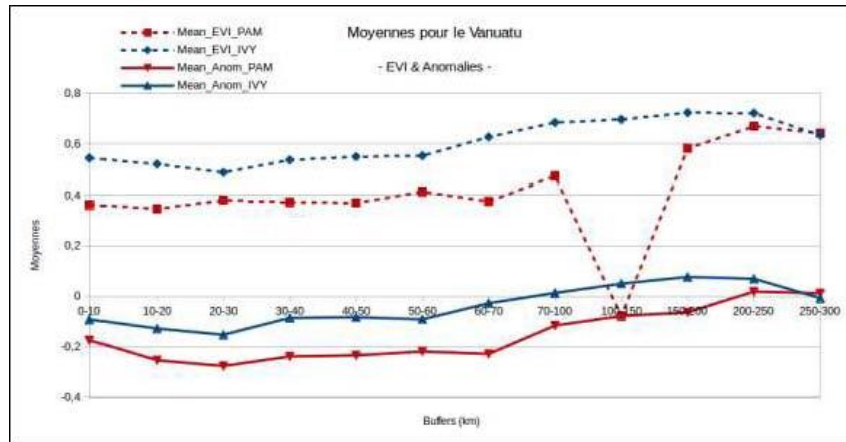


Figure 12 : Anomalies et EVI pour les cyclones IVY (bleu) et PAM (rouge) sur le Vanuatu

Une comparaison entre les valeurs d'EVI brutes pour les deux cyclones aurait pu être faite. Cependant, pour s'affranchir des effets inter annuel (différences en termes de température et de pluviométrie entre 2004 et 2015 influençant les valeurs d'EVI), la différence entre les moyennes des valeurs brutes de l'indice EVI et une référence représentée par la valeur de l'EVI pour la distance de 300 km a été calculée. Ainsi, les deux courbes en pointillée sont comparables entre elles et la différence des valeurs des courbes d'EVI par rapport à la valeur seuil à 300km (droite horizontale noire correspondant à la valeur d'EVI de 0,65) représente la perte en activité photosynthétique et donc un impact sur la végétation pour chacun des événements cycloniques. Une exception est remarquable pour le buffer 100-150 pour la courbe d'EVI de PAM qui présente un creux. Ceci s'explique par le peu de données pour ce buffer dans cette zone géographique d'une part et, d'autre part, par le fait que ces quelques pixels ne concernent que des zones à faibles EVI correspondant à une occupation du sol peu végétalisée. Néanmoins on ne retrouve pas ce creux sur la courbe d'anomalie (continue en rouge) car il s'agit d'un calcul de différence à la moyenne qui lisse donc cette différence. Ces courbes d'anomalies montrent une cohérence entre les valeurs pour les deux cyclones car elles suivent les mêmes évolutions.

Globalement les valeurs d'anomalies pour PAM sont inférieures (moins d'activités photosynthétiques) aux valeurs pour IVY. Ceci montre que l'impact sur la végétation pour le cyclone de catégorie 5 (PAM) est plus important que pour l'événement IVY.

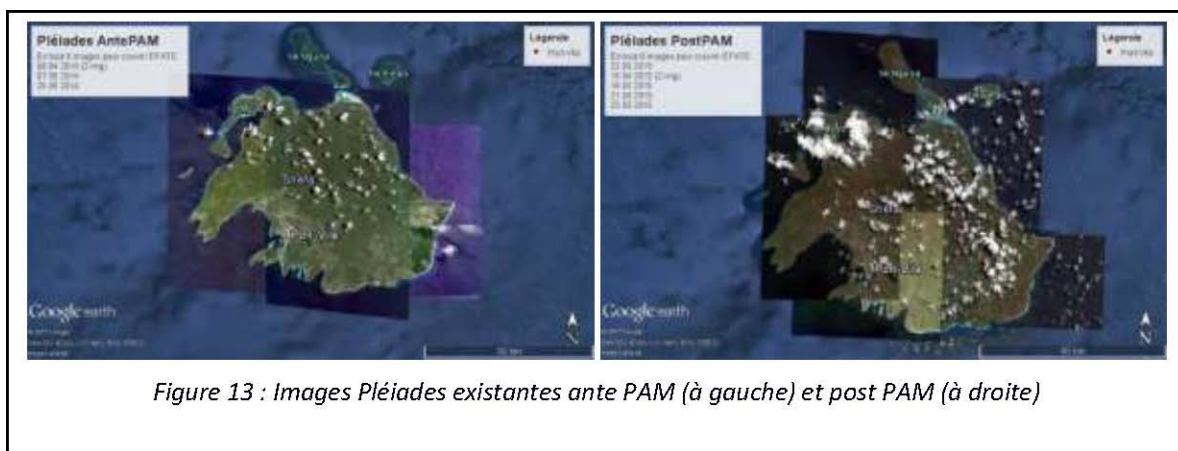
Analyse à l'échelle locale (Efate, Tana)

La recherche dans la base de données d'image d'archive de Pléiades a permis d'identifier des images avant le cyclone PAM et après le cyclone PAM. Cependant, les images post PAM sont nuageuses mais pourront permettre une analyse fine sur une thématique particulière et une zone géographique ciblée. Par exemple, les changements au niveau de l'urbain à Port-Vila ou l'évolution du côtier sur la partie sud-est de l'île (allant de Forari à Enam) ou encore au nord de l'île vers Napara.

NDVI pour la végétation urbaine et périurbaine (variation du NDVI ante et post PAM) sur zone Port Vila et nord est :

Culture moderne => vulnérable

Maraichage autour de Port Vila (carte occ sol cultural) => données



Les zones et les thématiques n'ont pas encore été définies précisément. Deux sites seront certainement proposés. Ce choix sera fait en concertation avec l'équipe des sciences humaines. Les images Pléiades seront commandées si possible dans le cadre du programme GEOSUD-THEIA afin de bénéficier d'un tarif préférentiel (1€/km²).

2.2. Phase 2

Le second volet du projet mis en œuvre concerne l'étude des impacts cycloniques post-PAM sur l'île d'Efate par le biais d'utilisation d'imagerie satellitaire très haute résolution spatiale (sub-métrique). Les paragraphes suivants détaillent les aspects techniques des traitements réalisés sur les images commandées dans le cadre du programme THEIA. Ils décrivent l'obtention de résultats des changements sur différentes classes et abordent des interprétations à remettre dans un contexte plus large du projet sur l'étude anthropique.

Les objectifs initiaux de cette tâche consistent à :

- Evaluer de façon quantitative les dégâts du cyclone PAM sur plusieurs classes d'occupation du sol (végétation, habitats...) et notamment dans des zones identifiées comme particulièrement touchées (Takara par ex.)
- Evaluer spatialement l'impact en fonction de la distance à la trace cyclonique (appliquer des zones de buffer et regarder les valeurs de NDVI pour chaque classe) [tâche rendue impossible due à la couverture spatiale réduite des images obtenues]

Spatialiser l'influence du cyclone par rapport à l'éloignement à sa trace n'est justifiable que sur une surface significative. La frange Ouest est, au plus large, de 10 km (cf. figures suivantes) ce qui engendre des buffers à la trace du cyclone très étroits (largeurs de 1 km au plus). Or, nous n'avons pas observé suffisamment de différences dans les valeurs de NDVI au sein d'une même classe entre les buffers pour conclure des variations. Cet objectif a donc été abandonné.

Les données Pleïades

Plusieurs images Pleïades (résolutions : spatiale de 0,5m et spectrale sur 4 longueurs d'onde) couvrant l'île d'Efate (Vanuatu) ont été commandées. Cette acquisition a été réalisée dans le cadre du programme Théia (<http://www.theia-land.fr/fr/actualites/programme-prise-vue-pleiades-2018>) permettant l'accès à ces données pseudo gratuitement. En effet, une limitation à 3000 km² a été imposée lors de cette commande. Ainsi, seule la frange côtière ouest et sud a pu être récupérée.

Les caractéristiques techniques des images sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques techniques des images obtenues

Année	Date Heure	Résolution spatiale (m)	Niveau de pré-traitement
2014	2014/04/09 23:18:55	0.5	Ortho
2014	2014/04/09 23:18:55	0.5	Ortho
2014	2014/04/09 23:19:08	0.5	Ortho
2014	2014/05/07 23:04:40	0.5	Ortho
—			
2015	2015/03/16 22:56:44	0.5	Ortho
2015	2015/03/21 23:08:05	0.5	Ortho
2015	2015/03/22 23:00:52	0.5	Ortho
2015	2015/03/22 23:00:52	0.5	Ortho
2015	2015/04/10 23:04:20	0.5	Ortho

Ci-après les couvertures des différentes images Pléiades fournies avec en orange les délimitations des différentes images décrites dans le tableau ci-avant.

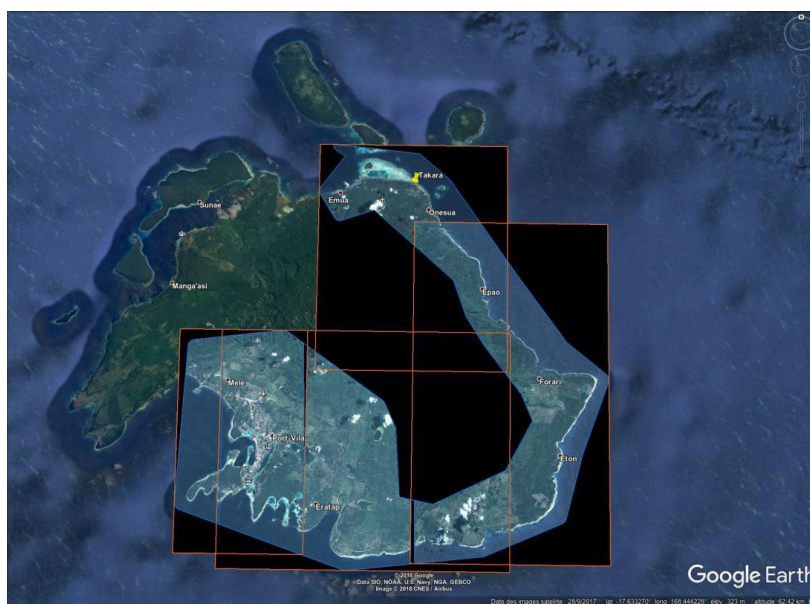


Figure 1 : Couverture de 2014



Figure 2 : Couverture de 2015

L'image ci-après montre les deux zones d'extraction choisies pour l'étude. La zone de Takara (en rouge), zone rurale traditionnelle, fait partie de l'étude anthropologique par l'équipe des sciences humaines du projet et la zone de Port-Vila (en jaune) qui a été choisie pour l'aspect urbain et péri-urbain (figure 4).



Figure 3 : Zones d'étude de Takara (en rouge) et Port-Vila (en jaune)

Focus sur la zone de Takara

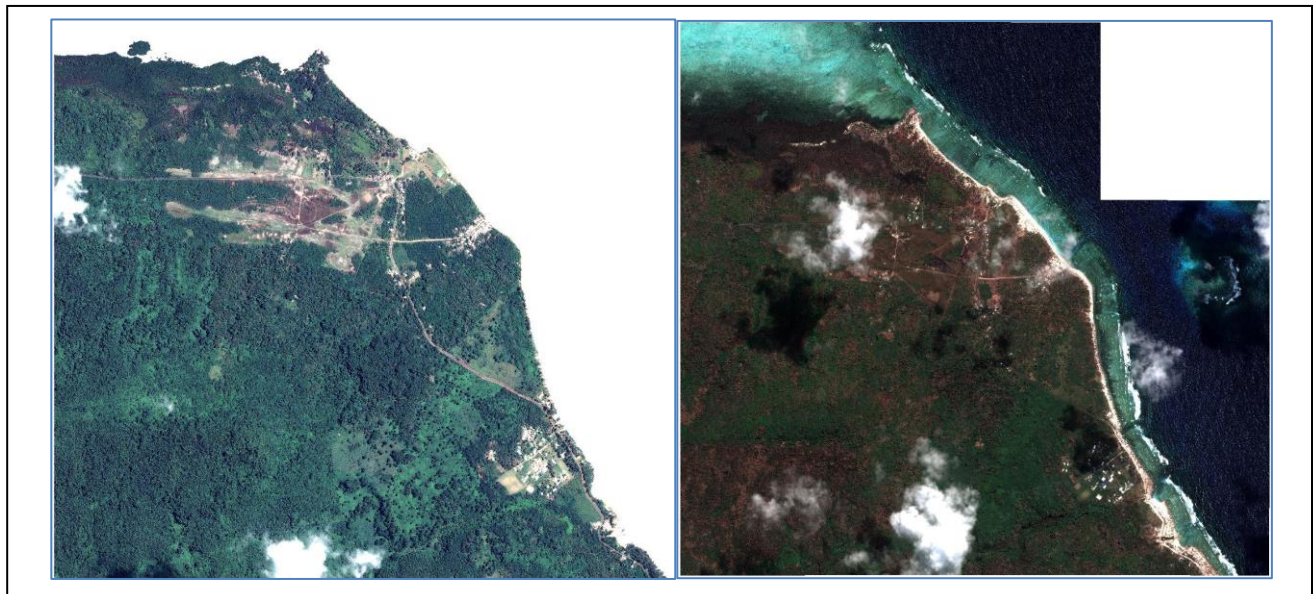


Figure 4 : Extraction sur la zone de Takara 2014 (à gauche) et 2015 (à droite)

Le tableau ci-dessous montre un aspect important pour les traitements qui suivront : le poids des images. En effet, la petite extraction sur la zone de Takara constitue une image de 1GOctets. Les temps de calculs sont très longs (6 à 15 heures en fonction de l'image sur nos ordinateurs) et nécessitent des ressources informatiques importantes.

Tableau 2 : Caractéristiques techniques des extractions d'image sur les zones d'étude

Nom de la zone	Nb canaux	Résolution spatiale (en m)	Nb de pixels	Poids de l'image (GOctets)
TAKARA	4	0,5	65 866 279	1
PORT-VILA	4	0,5		6

Méthodologie choisie

Le NDVI est un indice de végétation couramment utilisé en télédétection pour l'observation de l'état de la végétation car il est le reflet de l'activité photosynthétique d'une couverture végétale. Cet indice utilise les longueurs d'onde du PIR et R qui sont sensibles à ces variations photosynthétiques. De plus, il est également utilisé pour la discrimination des autres grands types de couverture au sol comme les sols ou les surfaces hydromorphes. De part ses valeurs continues et graduelles, le NDVI autorise les comparaisons inter-date et le seuillage sur l'histogramme de cet indice est une méthode pratique, rapide et fiable pour la séparation des classes.

Cet indice est constitué d'un rapport entre les canaux (ou longueur d'onde) du PIR et du R qui lui confère également une robustesse aux changements radiométriques dus le plus souvent aux conditions de prises de vues (distorsions dues aux effets de l'angle de prise de vue et de l'éclairage), au type de milieu (variations d'altitudes) ou de changement de date entre images. Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et 1 avec une répartition moyenne suivante (diffère légèrement en fonction des zones géographiques) :

- $-1 < \text{NDVI} < 0$: Eau
- $0 < \text{NDVI} < 0.2$: Sols Nus
- $0.2 < \text{NDVI} < 1$: Végétation

La continuité dans ses valeurs (gradient) permet d'introduire des sous classes en fonction du seuillage que l'on opère sur son histogramme. En exemple pour un milieu tropical insulaire comme Efate (Vanuatu) :

- $0.2 < \text{NDVI} < 0.4$: Végétation éparse
- $0.41 < \text{NDCI} < 0.6$: Végétation forestière (type secondaire)
- $\text{NDVI} > 0.6$: Végétation forestière (type dense)

Les résultats des différences entre les NDVI des images de 2014 et 2015 permettent ainsi d'établir des tendances d'évolution des milieux préétablis (classes), cependant sans quantification.

Pour obtenir une valeur quantitative des changements temporels pour les différentes occupations du sol, il est nécessaire de disposer d'une base d'information sur la répartition des classes sur la zone d'étude. Pour cela nous avons réalisé une classification de l'image de référence (non impactée par le cyclone). Celle-ci a été utilisée ensuite pour réaliser des corrélations entre les valeurs des NDVI des images de 2014 et 2015 et ce, pour les classes obtenues dans la classification.

Le modèle de classification utilisé, XGBoost ou "eXtreme Gradient Boosting" (Friedman, 2000 ; Friedman et al., 2001 ; Friedman, 2002), est constitué de bibliothèques libres d'accès utilisées dans notre cas pour le traitement d'images satellitaires. Il vise à fournir une bibliothèque évolutive, portable et distribuée de « Gradient Boosting » (GBM, GBRT, GBDT)“. Le « Gradient Boosting » est une technique d'apprentissage machine (learning machine) adapté aux problèmes de régression et de classification, qui produit un modèle de prédiction sous la forme généralement d'arbres de décision (decision tree). Les avantages principaux de cette application résident dans la rapidité d'exécution sur un gros volume de donnée et fournit, aujourd'hui, de meilleurs résultats que pour des classificateurs plus classiques comme le Support-Vector-Machine, encore appelé "SVM" (résultats de benchmark sur <https://github.com/dmlc/xgboost/tree/master/demo#machine-learning-challenge-winning-solutions>).

Par ailleurs, des couches de textures (textures d'Haralick), dérivées des canaux bruts et des indices de végétation, sont calculées en amont et alimentent le modèle XGBoost. Ces informations augmentent considérablement la capacité de discrimination des objets mais également le poids des données. Nous alimentons donc ce modèle avec plus de 60 couches différentes.

Cette classification est donc particulièrement adaptée à notre étude et en particulier à nos images Pléiades qui possèdent plusieurs dizaines de millions de pixels.

La quantification de l'évolution des milieux entre les images est ainsi rendue possible par les procédures de traitements résumés ci-après sous forme de graphique (figure 5).

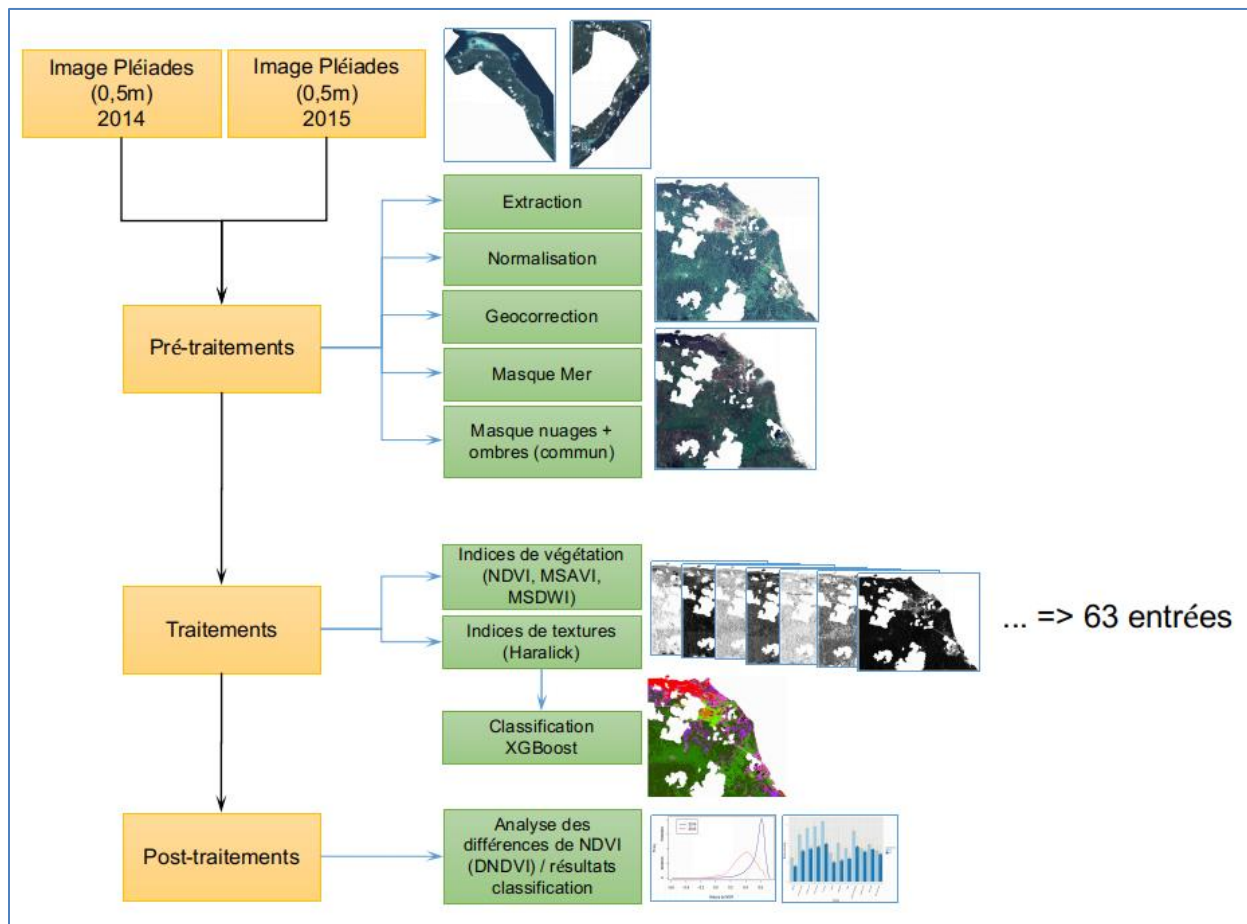


Figure 5 : Description schématique des étapes de traitement

Prétraitements des données

Une partie concernant la normalisation des images est nécessaire pour rendre ces images comparables entre elles. Il s'agit de réaliser une correction géométrique de l'image de 2015 sur celle de 2014 afin de limiter le plus possible les décalages géométriques. Cette étape a été réalisée sur le logiciel libre QGIS. L'erreur de positionnement moyen (RMS) de 6 pixels (3 m) a été obtenue après application du modèle de correction basé sur un polygone de degré 2 et un processus de réaffectation des pixels basé sur la méthode du "plus proche voisin" (permet de conserver le plus possible les valeurs radiométriques de l'image d'origine).

Une deuxième étape de préparation des images concerne la normalisation de l'emprise au sol des images. Tous les traitements des images (sauf la géo-correction) ont été réalisés sous le langage open source "R". Les modules utilisés pour les traitements d'image demandent une rigueur particulière dans les résolutions spatiales et les zones d'emprises (extent).

Une troisième étape consiste dans la fabrication d'un masque des nuages et des ombres ainsi qu'un masque de l'espace maritime. Cette étape a été réalisée par vectorisation sous le logiciel libre QGIS. Le masque des nuages et des ombres est le cumul sur les 2 images. La partie maritime a été délimitée sur l'image de 2014 et constitue la limite entre la végétation et le sable.

Ces deux masques ont été appliqués indifféremment sur les images de 2014 et 2015.

Traitements des données

Utilisation des indices de végétation NDVI

Le calcul de l'indice de végétation NDVI sur chacune des images a été réalisé. Les histogrammes de fréquences des NDVI (figure 6) montrent une diminution de la moyenne des valeurs (0,6 pour 2014 contre 0,4 pour 2015). Cette différence dans les courbes montre que l'impact du cyclone PAM a été particulièrement important et en particulier sur la végétation (pic des valeurs dans les valeurs élevées du NDVI).

Cette différence de NDVI est exploitée dans la suite de l'étude en introduisant le calcul des différences des NDVI (**NDVI_Takara2014 - NDVI_Takara2015**). Le produit ainsi créé "**DNDVI**" met en évidence l'évolution du milieu. La figure 7 montre ces différences avec en rouge les valeurs correspondantes aux zones les plus touchées par le cyclone (perte de signal plus importante), en bleu les zones présentant un gain d'activité chlorophyllienne (zones herbacées verdoyante après les pluies par exemple) et en blanc (ou bleu très clair) les zones qui n'ont pas ou peu évoluées.

Figure 6 : courbe des histogrammes des fréquences des images NDVI pour la zone d'étude de Takara

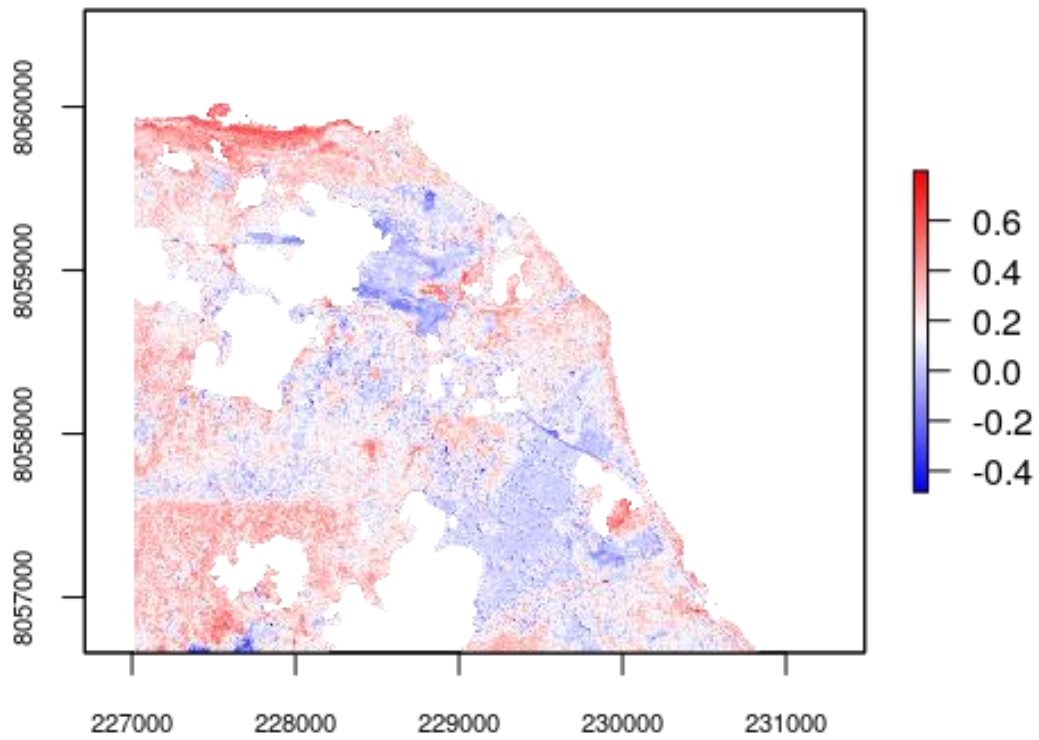
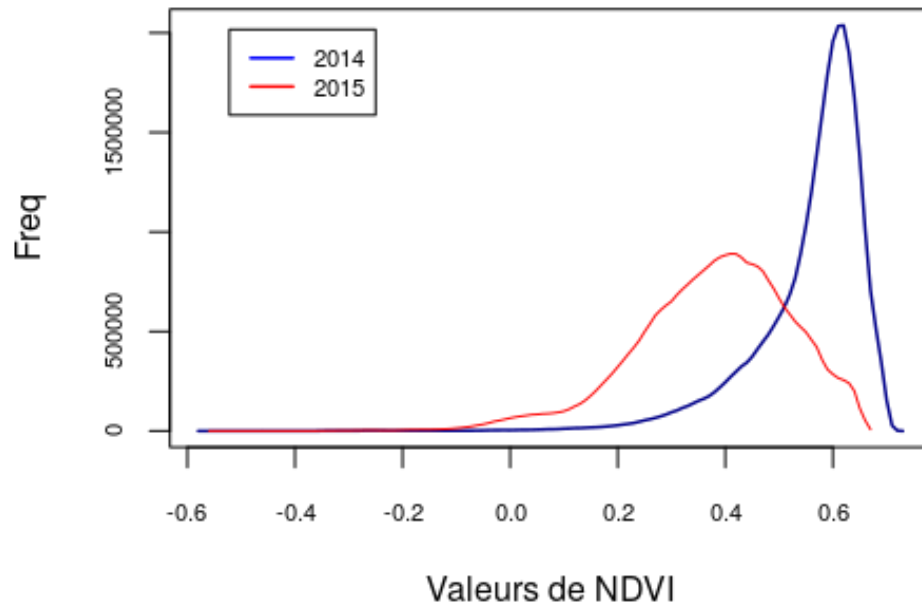


Figure 7 : Produit des différences de NDVI

Cette représentation spatiale permet de cerner rapidement les zones les plus touchées par le cyclone. On peut ainsi remarquer que les zones au nord, correspondantes aux mangroves, sont les plus touchées.

Ces résultats ne permettent cependant pas d'établir une quantification des impacts du cyclone PAM sur ces classes d'occupation du sol (végétation, cultures...) sur la totalité de la zone d'étude. Pour ce faire, il est nécessaire d'établir une classification de l'image de référence (2014) et d'étudier les changements à partir de ces résultats entre 2014 et 2015.

Classification

Le processus de classification permet de regrouper les pixels de l'image en classes prédéterminées. Les classes ont été choisies par photo-interprétation sur l'image Pléiades (0,5m) et par vérification de terrain (mission du 11 au 13 novembre 2018). La vectorisation de ces dernières sur l'image brute de 2014 (polygones) a servi de base pour les traitements. Ces classes sont au nombre de douze :

1. Savanne_Arboree
2. Forêt_Sec
3. Bitume
4. Cocotiers_Bord
5. Sols_Nus_Pistes
6. Savanne_Herb
7. Habitat
8. Sols Nus2
9. Cocotiers_Int
10. Sable
11. Forêt_Dense
12. Mangrove

A noter qu'une distinction a été faite pour la classe cocotier en séparant les individus situés au bord de mer, peu associés à un autre type de végétation, de ceux situés à l'intérieur des terres, souvent compris dans une forêt. La classe habitat dans cette zone de Takara inclue tous les types d'habitats (durs ou traditionnels).

Le protocole de traitement consiste en 3 étapes principales :

1. Classification sur zone géographique non impactée par le cyclone (image Pléiades de 2014),
2. Extraction des valeurs des NDVI de 2014 et 2015 pour chacune des classes issues de l'étape précédente,
3. Comparaison des différences de NDVI 2014/2015 pour ces classes.

On pourra ainsi chiffrer les évolutions des classes en termes de pertes ou de gains de valeurs de pixel entre les deux dates via les valeurs des NDVI.

Il est impossible de faire cette étude d'évolution via la classification entre 2014 et 2015 car les changements créés par le cyclone PAM sur le milieu engendrent la création de nouvelles classes (forêt secondaire abimée, mangrove défeuillée, cocotier défeuillé...) qui n'autorisent donc pas la comparaison inter-date.

La base de données fournie en entrée du modèle de classification par arbre de décision "XGBoost" pour cette étude est constituée de 63 couches d'information qui sont issues de mélanges entre les indices de végétation (NDVI, MSAVI, MSDWI) pour la différenciation entre les classes de végétation et de sols, les canaux bruts de l'image (bleu, vert, rouge, PIR) et les textures d'Haralick (mean, variance, homogeneity,

contrast, dissimilarity, entropy, second_moment, correlation) qui améliorent les distinctions entre les objets au sol par leur forme et les contrastes de leurs valeurs radiométriques.

Ces calculs de textures ont été réalisés sur les images par le biais de fenêtres glissantes de dimension de 25 pixels X 25 pixels (soit 12.5 m X 12.5m au sol).

Résultats de classification

La figure 8 présente la classification supervisée avec ses 12 classes. Cette dernière a pu être vérifiée par la prise de points de contrôles à l'aide de photo-interprétation d'une part et de vérification de terrain d'autre part. En tout environ 120 points (10 par classe) ont permis d'évaluer cette classification. La matrice de confusion ci-après évalue le résultat à plus de 88% (tableau 3). Ce qui indique que plus de 88% des pixels ont bien été classés. Cette matrice permet également d'identifier la répartition des mauvaises classifications dans les autres classes.

Tableau 3 : Matrice de confusion en pixel et en pourcentage pour l'image de 2014

	Savanne Arboree	Foret_Sec	Bitume	Cocotiers Bord	Sols_Nus Pistes	Savanne_Herb	Habitat	Sols Nus2	Cocotiers Int	Sable	Foret_Dense	Mangrove	
Savanne Arboree	273689	791	30	480	2	78	30	14	2	0	4110	18	279 244
Foret_Sec	132	875885	0	232	0	0	0	0	728	0	442501	0	1 319 478
Bitume	20	287	52051	16	3	25	250	0	0	0	219	101	52 972
Cocotiers_Bord	4244	6069	0	66893	13	18	147	78	6040	0	14902	1181	99 585
Sols_Nus_Pistes	291	0	9	55	26997	135	565	460	0	4	0	0	28 516
Savanne_Herb	220	0	0	0	6	83620	0	477	0	0	0	6	84 329
Habitat	516	0	139	305	120	1	73393	23	0	0	4	0	74 501
Sols Nus2	101	0	2	57	31	306	0	105446	0	0	26	205	106 174
Cocotiers_Int	17	5844	0	1230	0	0	0	0	223662	0	162274	549	393 576
Sable	0	0	0	16	106	0	179	0	0	4134	0	0	4 435
Foret_Dense	156	86864	0	227	0	0	0	0	10014	0	3415008	780	3 513 049
Mangrove	31	2	26	2	0	0	0	98	57	0	6212	464936	471 364
	279 417	975 742	52 257	69 513	27 278	84 183	74 564	106 596	240 503	4 138	4 045 256	467 776	6 427 223

	Savanne Arboree	Foret_Sec	Bitume	Cocotiers Bord	Sols_Nus Pistes	Savanne_Herb	Habitat	Sols Nus2	Cocotiers Int	Sable	Foret_Dense	Mangrove
Savanne Arboree	98,0	0,1	0,1	0,7	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Foret_Sec	0,0	89,8	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	10,9	0,0
Bitume	0,0	0,0	99,6	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cocotiers_Bord	1,5	0,6	0,0	96,2	0,0	0,0	0,2	0,1	2,5	0,0	0,4	0,3
Sols_Nus_Pistes	0,1	0,0	0,0	0,1	99,0	0,2	0,8	0,4	0,0	0,1	0,0	0,0
Savanne_Herb	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	99,3	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Habitat	0,2	0,0	0,3	0,4	0,4	0,0	98,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sols Nus2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4	0,0	98,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Cocotiers_Int	0,0	0,6	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	93,0	0,0	4,0	0,1
Sable	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,2	0,0	0,0	99,9	0,0	0,0
Foret_Dense	0,1	8,9	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0	84,4	0,2
Mangrove	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	99,4

Overall Accuracy : 88,15
Kappa : 0,81

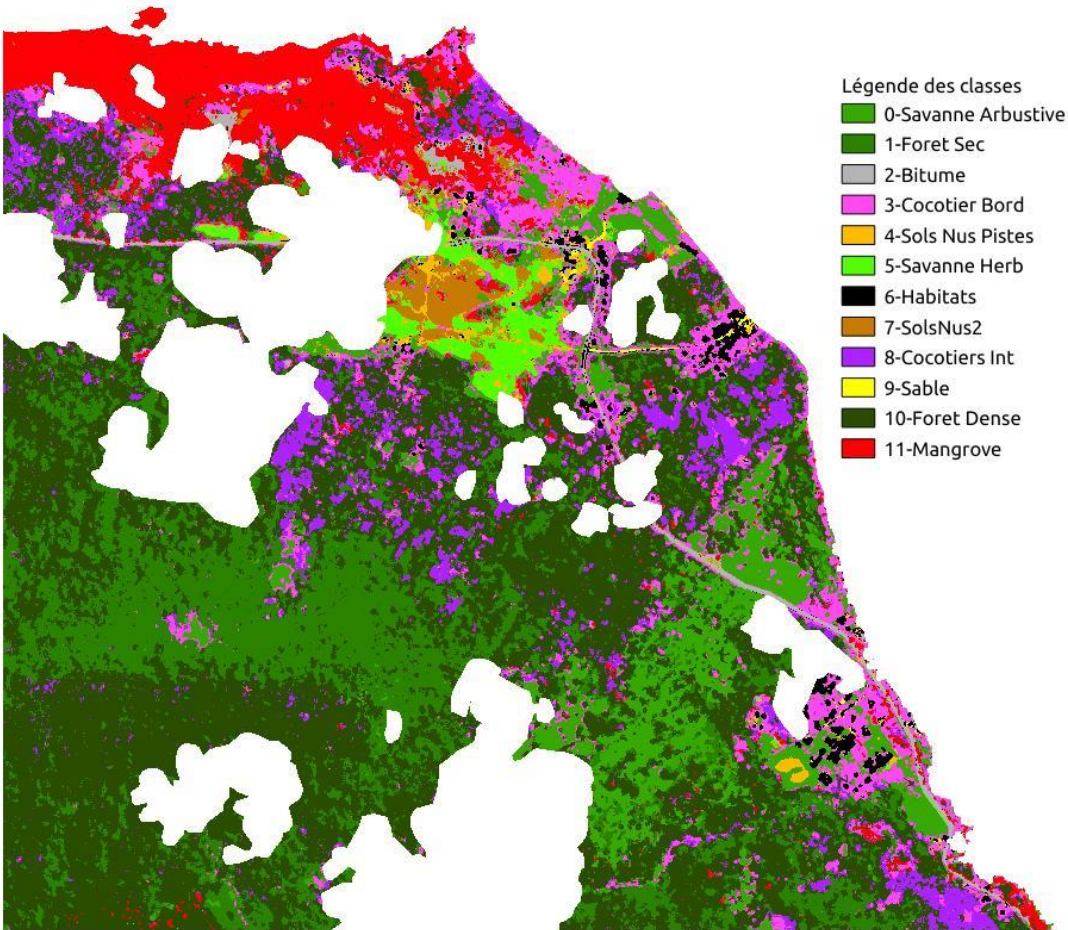


Figure 8 : Classification XGBoost de Takara en 2014

Post-traitements (analyses des résultats)

Cette classification sera ainsi utilisée pour extraire les valeurs par classes des images NDVI de 2014 et 2015.

Le graphique à bâtons suivant est une image des évolutions des valeurs moyennes de NDVI par classes entre 2014 et 2015 (figure 9). Il permet ainsi de quantifier les pertes et les gains en termes de signal d'indice de végétation servant à évaluer l'importance des impacts du cyclone PAM par classe d'occupation du sol. Ce graphique présente plusieurs informations :

- en bleu clair : les valeurs de NDVI par classes pour l'année 2014,
- en bleu foncé : les valeurs de NDVI par classes pour l'année 2015,
- en orange : l'écart type par classe,
- la valeur au sommet des bâtons bleus foncés correspondent à la valeur en pourcentage de gain (valeur positive) ou de perte (valeur négative) par rapport à 2014 pour chacune des classes. En exemple, pour la classe « Forêt Dense » une diminution de 38% de la valeur moyenne du NDVI est calculée entre 2014 et 2015 sur toute la zone d'étude (Takara).

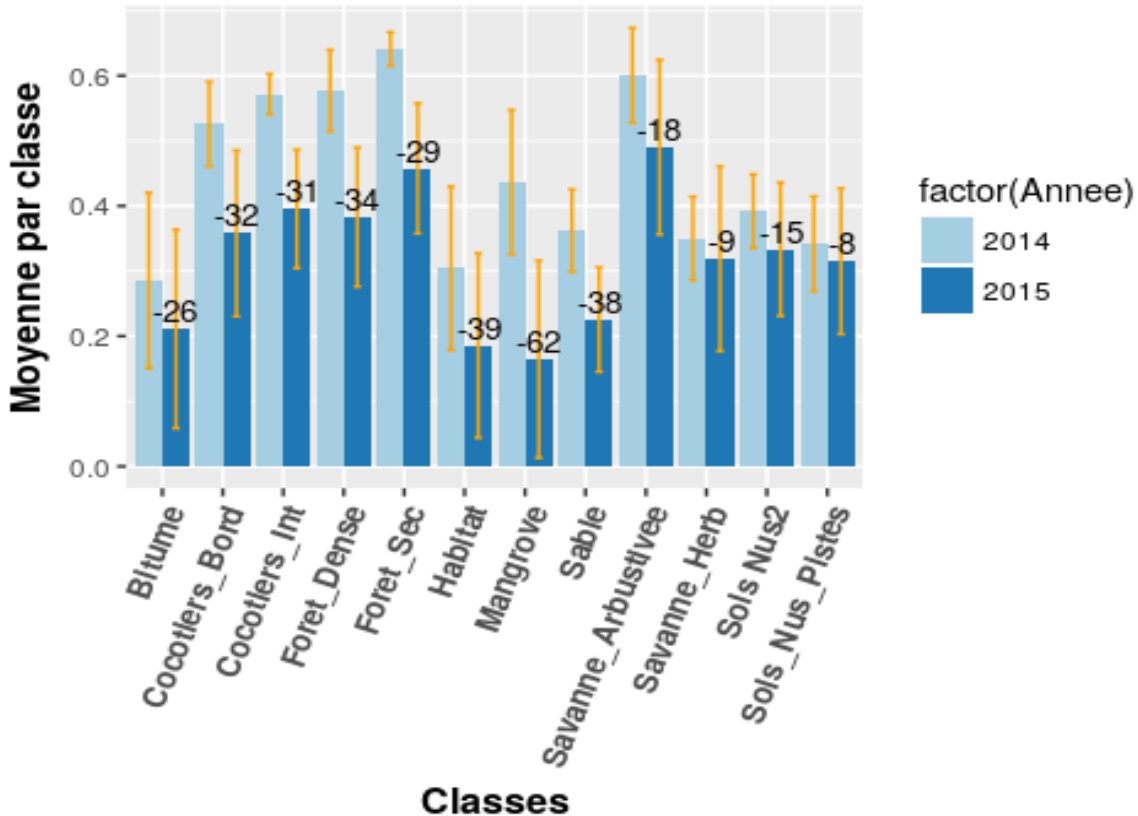


Figure 9 : Moyennes des NDVI par classe et pour les 2 dates (zone de Takara)

Ces derniers résultats sur Takara montrent des indications importantes sur les évolutions des différentes classes ante/post PAM (figures 4 et 8). Ainsi, 9 classes sur 12 présentent une forte variation du NDVI qui implique un changement d'état dans chaque classe. Seules 3 classes (savane herbeuse et 2 types de sols nus) correspondantes à des classes proches des sols nus ont peu évoluées car ont peu été impactées par le cyclone.

En fonction du type de classe, cette variation est interprétable de façon différente.

- Une diminution dans les classes de végétation (Cocotiers, Forêts, Herbacés et Mangroves) montre une perte d'activité photosynthétique donc une diminution de la couverture de la végétation par disparition de celle-ci. Les forêts denses et secondaires sont particulièrement touchées avec respectivement 34% et 29% de pertes. Cependant, la classe ayant subi le plus de pertes est la Mangrove avec une diminution de 62% du signal NDVI par rapport à 2014.
- La diminution de la moyenne du NDVI dans la classe « Habitat » (-39%) probablement due à la disparition des toitures (signal plus fort du NDVI) au profit de sols nus (signal du NDVI plus faible).
- La classe Bitume affiche une diminution en raison de la présence de sable des plages sur les parties côtières de la route après cyclone. Les valeurs de NDVI pour le sable sont plus faibles que pour le bitume.
- La classe « plage » concerne uniquement les parties ensablées à l'intérieur des terres (tannes d'arrières mangrove, sable sur pistes côtières...). Les résultats pour cette classe présentent également une baisse

de la moyenne du NDVI (-31%) en raison d'une disparition du sable au profit de sols nus plus sombres (rochers) post cyclone.

Focus sur la zone de Port Vila

La méthode utilisée pour cette partie d'Efate (figures 10 et 11 , tableau 4) est identique à celle utilisée précédemment pour la zone de Takara (figure 8 et tableau 3). Seuls les résultats et leurs interprétations seront présentés ici.

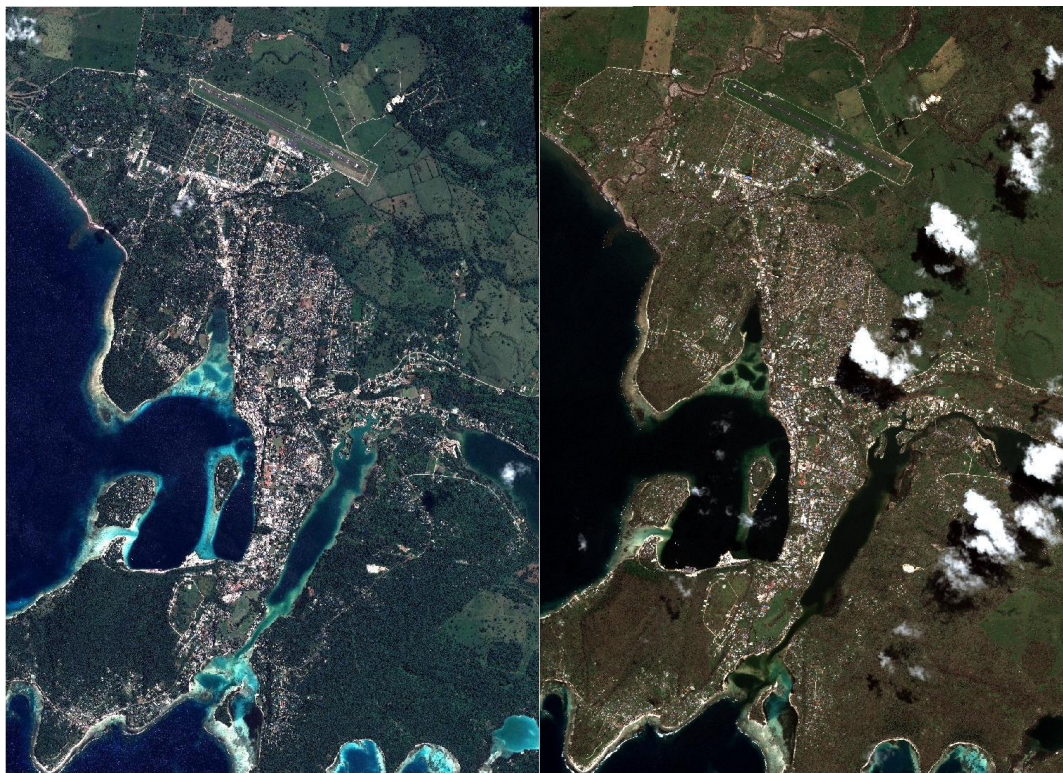


Figure 10: Extraction sur la zone d'étude de Port-Vila (à gauche : 2014 et à droite : 2015)

Classification

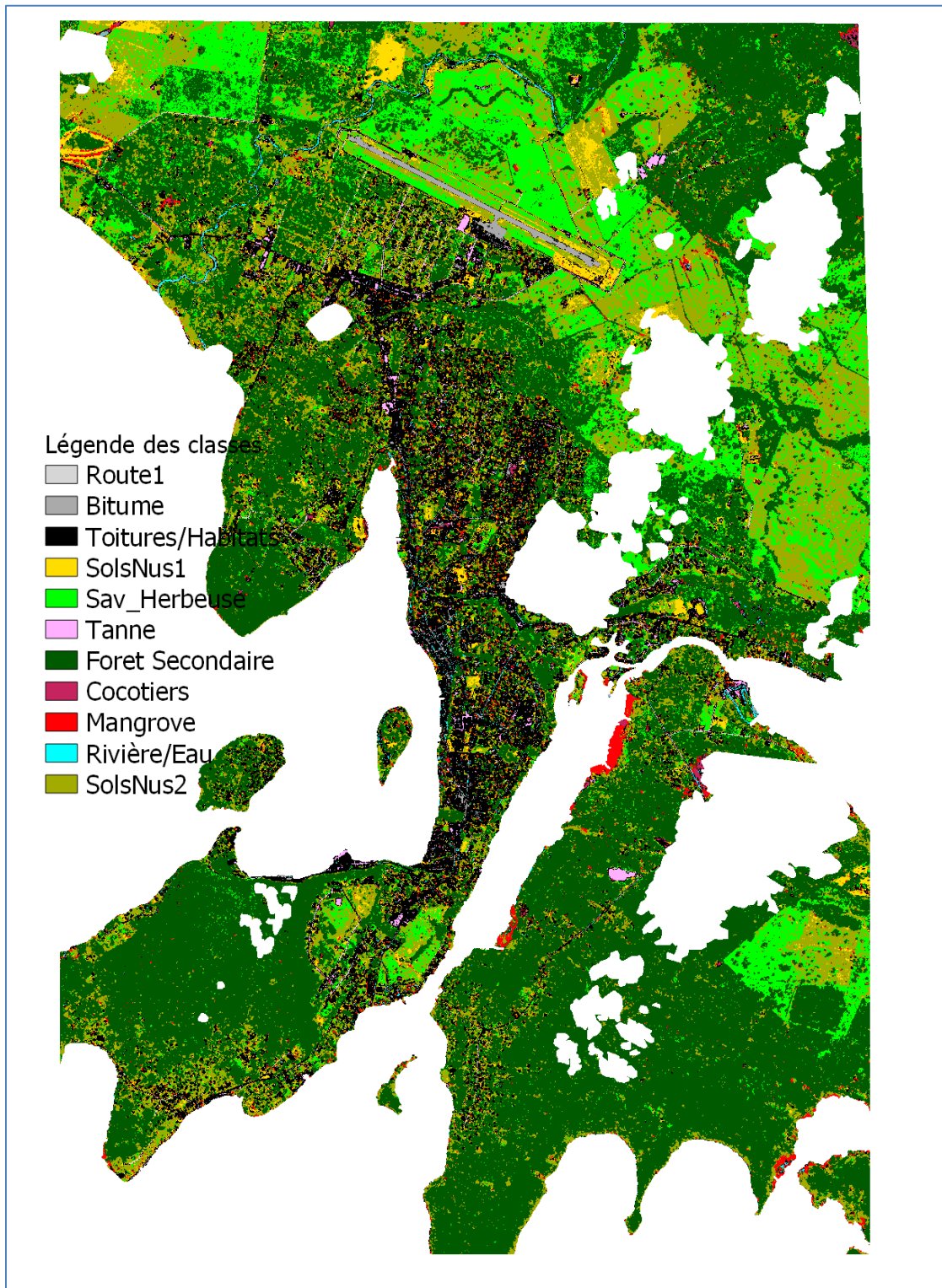


Figure 11 : Classification XGBoost de Port-Vila en 2015

Tableau 4 : Matrice de confusion en pixel et en pourcentage pour l'image de 2015

	Route1	Bitume	Toitures	Sols_Nus1	Sols_Nus2	Foret_Sec	Tanne	Mangrove	Riviere	Cocotiers	Sav_Herb	
Route1	22302	0	79	0	0	0	0	0	0	0	0	22381
Bitume	0	511430	1221	0	0	0	72	0	77	0	0	512800
Toitures	23	704	203515	0	80	5	87	3	25	0	0	204442
Sols_Nus1	0	0	12	24356	0	0	0	7	0	0	0	24375
Sols_Nus2	3	0	140	0	68797	0	0	0	0	0	0	68940
Foret_Sec	0	0	15	0	0	1337460	0	0	5	4916	2265	1344661
Tanne	0	0	83	0	0	0	14979	0	0	0	0	15062
Mangrove	0	0	6	12	0	62	1	169576	0	346	0	170003
Riviere	0	1	89	0	0	0	5	0	18293	0	0	18388
Cocotiers	0	0	16	6	0	6482	0	89	7	291262	307	298169
Sav_Herb	0	0	0	0	0	1669	0	0	0	45	267795	269509
	22328	512135	205176	24374	68877	1345678	15144	169675	18407	296569	270367	2948730

	Route1	Bitume	Toitures	Sols_Nus1	Sols_Nus2	Foret_Sec	Tanne	Mangrove	Riviere	Cocotiers	Sav_Herb
Route1	99,88	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bitume	0,00	99,86	0,60	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	0,42	0,00	0,00
Toitures	0,10	0,14	99,19	0,00	0,12	0,00	0,57	0,00	0,14	0,00	0,00
Sols_Nus1	0,00	0,00	0,01	99,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sols_Nus2	0,01	0,00	0,07	0,00	99,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Foret_Sec	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	99,39	0,00	0,00	0,03	1,66	0,84
Tanne	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	98,91	0,00	0,00	0,00	0,00
Mangrove	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01	99,94	0,00	0,12	0,00
Riviere	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	99,38	0,00	0,00
Cocotiers	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,48	0,00	0,05	0,04	98,21	0,11
Sav_Herb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,02	99,05

Total Accuracy **99,36**

Kappa **0,8**

Les résultats de la classification sur la zone de Port Vila sont particulièrement élevés (99%). Ce qui indique que presque tous les pixels de l'image ont bien été classés.

Post-traitements (analyses des résultats)

Les résultats sur Port Vila montrent des différences dans l'évolution des classes ante/post PAM (figure 12). Ainsi, 10 classes sur 12 présentent une forte variation du NDVI qui implique un changement d'état dans chaque classe. Seules 2 classes (Mangrove et Route) correspondantes à des classes qui ont peu été impactées par le cyclone (12% de différence).

En fonction du type de classe, cette variation est interprétable de façon différente.

- Une diminution dans les classes de végétation (Cocotiers, Forêt secondaire et Herbacés) montre une perte d'activité photosynthétique entre 32 et 34% donc une diminution de la couverture de la végétation par disparition de celle-ci. Seule la classe végétale « Mangrove » aurait subi une perte substantielle correspondant à -17%. Ceci est probablement dû au fait que les zones soient réduites et enclavées (zones en rouge sur la figure précédente).

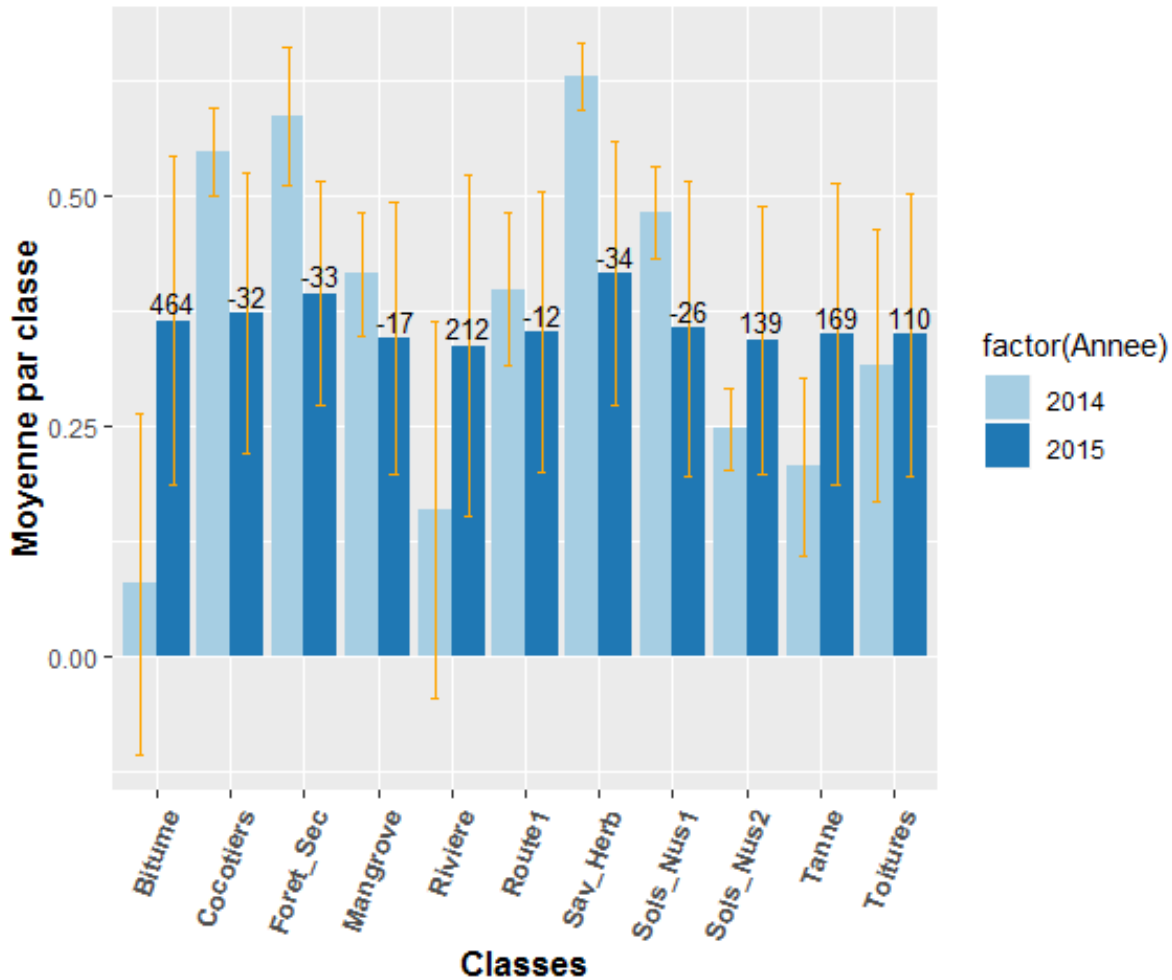


Figure 4 : Moyennes des NDVI par classe et pour les 2 dates (zone de Port Vila)

- Les chiffres pour la classe « Toiture/Habitat » (+10%) montre que les habitations n'ont pas été véritablement touchées par le cyclone dans cette zone de l'île. Ceci est probablement dû au fait que la plupart des habitations ne sont pas artisanales.
- On constate des augmentations conséquentes dans les classes de Sols_Nu2 (sols faiblement végétalisés : +39%) pour lesquels le peu de végétation a pu reverdir et fournir une différence positive en terme d'activité photosynthétique.
- La classe Tanne (sols nus blanc d'arrière mangrove ou de carrière) montre une augmentation (+69%) qui n'est pas vraiment explicable. Seules des informations de terrain post cyclonique peuvent permettre de comprendre cette augmentation.
- Diminution dans la classe Sols_Nus1 qui correspond à des sols nus sans végétation, voire bétonnés sans certaines parties (bordures aéroport par exemple) qui pourrait correspondre à un sol humide après les intempéries.

- La classe « Rivière » montre une augmentation (+112%) du signal probablement due à une « pollution » du signal de la végétation en bordure plus verdoyante après les pluies du cyclone ou des arbres tombés dans la rivière.
- Les classes « Bitume » (+364%) et « Route 1 » (-12%) sont très aléatoires car elles sont essentiellement dépendantes des conditions environnementales physiques post-cyclonique (sable ou végétation sur la route, piste d'atterrissage lavée par les pluies...).

Conclusions générales

En premières conclusions des analyses géomatiques, sur la zone de Takara, on constate que les impacts cycloniques sur les mangroves et sur les cocotiers, qui constituent des zones de cultures ou de pêche, sont considérables. Les cocotiers à l'intérieur des terres semblent être un peu moins touchés que ceux situés sur la côte en raison de leur situation au cœur d'un milieu forestier.

Les habitations ont également été touchées fortement et nous avons constaté que nombre des bâtiments en matériaux locaux ont été reconstruits relativement rapidement. Les maisons « en dur » (toits en tôles et murs en ciment) demandent plus de temps et d'argent pour la reconstruction. Le travail ethnographique mené en 2016 puis en 2018 a permis d'identifier les différents moyens et réseaux mobilisés par les habitants afin de rendre possible une reconstruction avec des matériaux solides voire de développement de nouvelles infrastructures. L'engagement des habitants dans les programmes bilatéraux Vanuatu-Australie et Vanuatu-Nouvelle-Zélande a permis à de nombreuses personnes d'obtenir des revenus par les activités saisonnières rémunérées dans ces pays. L'argent a ainsi pu être investi dans le logement, le développement d'infrastructures touristiques, l'acquisition de matériel de pêche, etc. Il a aussi été par ailleurs un moyen de parvenir aux besoins alimentaires les semaines qui ont suivi le passage du cyclone lorsque l'appui du NDMO était insuffisant.

Sur la zone de Port Vila les classes sont un peu différentes de celle de Takara et ne possèdent pas, par exemple, de classe « Forêt dense ».

Au niveau végétation, les comparaisons ne doivent pas être faites sur des moyennes de plusieurs classes confondues. En effet, si l'on compare les classes « Cocotiers », « Forêt Secondaire », « Mangrove » et « Savane Herbeuse » pour les 2 zones d'étude nous obtenons une moyenne proche (-30,2% pour Takara et -29% pour Port Vila). Or, ces moyennes sont considérablement différentes quand on les regarde en détail. Par exemple, sur la zone de Takara, les mangroves ont particulièrement souffert du passage de PAM mais pas sur Port Vila. En contrepartie, la classe « Savane herbeuse » accuse un recul de -34% pour Port Vila contre -9% pour Takara.

Les classes habitats/toitures (-39% pour Takara et +10% pour Port Vila) sembleraient montrer des dégâts plus importants pour Takara (zone rurale à constructions traditionnelles) que pour Port-Vila (zone urbaine à construction en béton).

Des enquêtes anthropo-géographiques devront être menées en zone péri-urbaine de Vila ainsi que sur les autres îles afin de poursuivre la compréhension des transformations physiques constatées et l'adaptation des sociétés à celles-ci.

Références

- Friedman, J., Hastie, T. , Tibshirani, R., 2000. Additive logistic regression: a statistical view of boosting. *Annals of Statistics*, 28(2):337–407.
- Friedman, J. H. 2001. Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine. *Annals of Statistics*, 29(5): JSTOR, 1189–1232.
- Friedman, J., 2002. Stochastic gradient boosting. *Computational Statistics & Data Analysis*, 38(4):367–378.

Thème 3 : Renforcement des capacités de prévention

1. Identification et cartographie des risques littoraux dans les baies de Mele et Vila (aléas, enjeux, vulnérabilités)

Méthodologie et hypothèses

La vulnérabilité peut être qualifiée de propension à l'endommagement ou au dysfonctionnement de différents éléments exposés (biens, personnes, activités, fonctions, systèmes) constitutifs d'un territoire ou d'une société donnée (LEONE et al., 2010). Une approche intégrée dans l'étude des risques doit prendre en compte cette notion. Elle se réfère au fait que l'élément exposé à l'aléa peut subir des dommages différents en fonction de sa résistance. Diagnostiquer cette vulnérabilité est une étape importante dans l'appréciation et la spatialisation du risque même si elle demeure bien moins formalisée et standardisée que les méthodes d'évaluation de l'aléa. Le diagnostic de vulnérabilité a pour objectif d'identifier les points sensibles du territoire face au risque de submersion. Cette approche applique principalement une méthode développée dans différents travaux universitaires conduit par l'UMR GRED. Le diagnostic consiste à relever des caractéristiques pour chaque bâtiment des secteurs exposés. Pour étudier chaque bâtiment les relevés de terrains ont été réalisés à pieds, ou encore en canoë et en drone pour les secteurs non visibles depuis le réseau routier, à Port Vila, Pango, Malapoa et Erakor. Dans un second temps les caractéristiques des bâtiments ont été reportées sous Excel afin d'être ensuite exploités dans une base de données SIG.

Cette analyse a pour objectif de mettre en évidence les secteurs les plus sensibles à la submersion. A première vue, les infrastructures de la ville semblent vulnérables à cet aléa, mais de façon inégale. En l'absence d'un modèle d'inondation précis, il n'a pas été possible de déterminer la vitesse d'arrivée du tsunami sur la côte, ne permettant pas d'établir une cartographie des destructions des bâtiments ainsi que des probabilités de décès comme cela a pu être fait par Leone et al., 2012.

Néanmoins, il est indispensable de considérer une hauteur d'eau maximale pour définir l'exposition du bâti à l'aléa submersion marine. En effet les impacts sur les bâtiments ne seront pas les mêmes en fonction de l'ampleur de l'événement. Le cyclone Pam a généré un *run-up* de cinq mètres localement, inondant les terres, en fonction de la topographie côtière et de la résistance du cordon dunaire, parfois jusqu'à 150 m de distance au rivage. Toutefois les événements auraient pu être plus destructeurs si le cyclone s'était produit à une autre période et conjugué au phénomène El-Nino par exemple, connu pour augmenter le niveau marin (CORREGE et al., 2000). Cependant dans la première partie de ce cette recherche il a été défini que la zone de danger équivaut à la tranche d'altitude 0-20 m, correspondant à une submersion par tsunami. C'est cette enveloppe spatiale (multi-aléas) qui a été retenue pour réaliser le diagnostic.

Plusieurs questionnements découlent alors de cette démarche :

- Quels critères permettent de prendre en compte la vulnérabilité ?
- Comment construire une grille d'évaluation applicable sur le terrain ?
- Des zones plus vulnérables que d'autres s'inscrivent- elles dans le paysage ?
- Des classes de vulnérabilité ressortent- elles ?
- La vulnérabilité est- elle corrélée avec d'autres facteurs ?

Nous répondrons à ces hypothèses avec l'appui des SIG. La méthodologie employée pour réaliser le diagnostic de vulnérabilité est détaillée dans la figure 1.

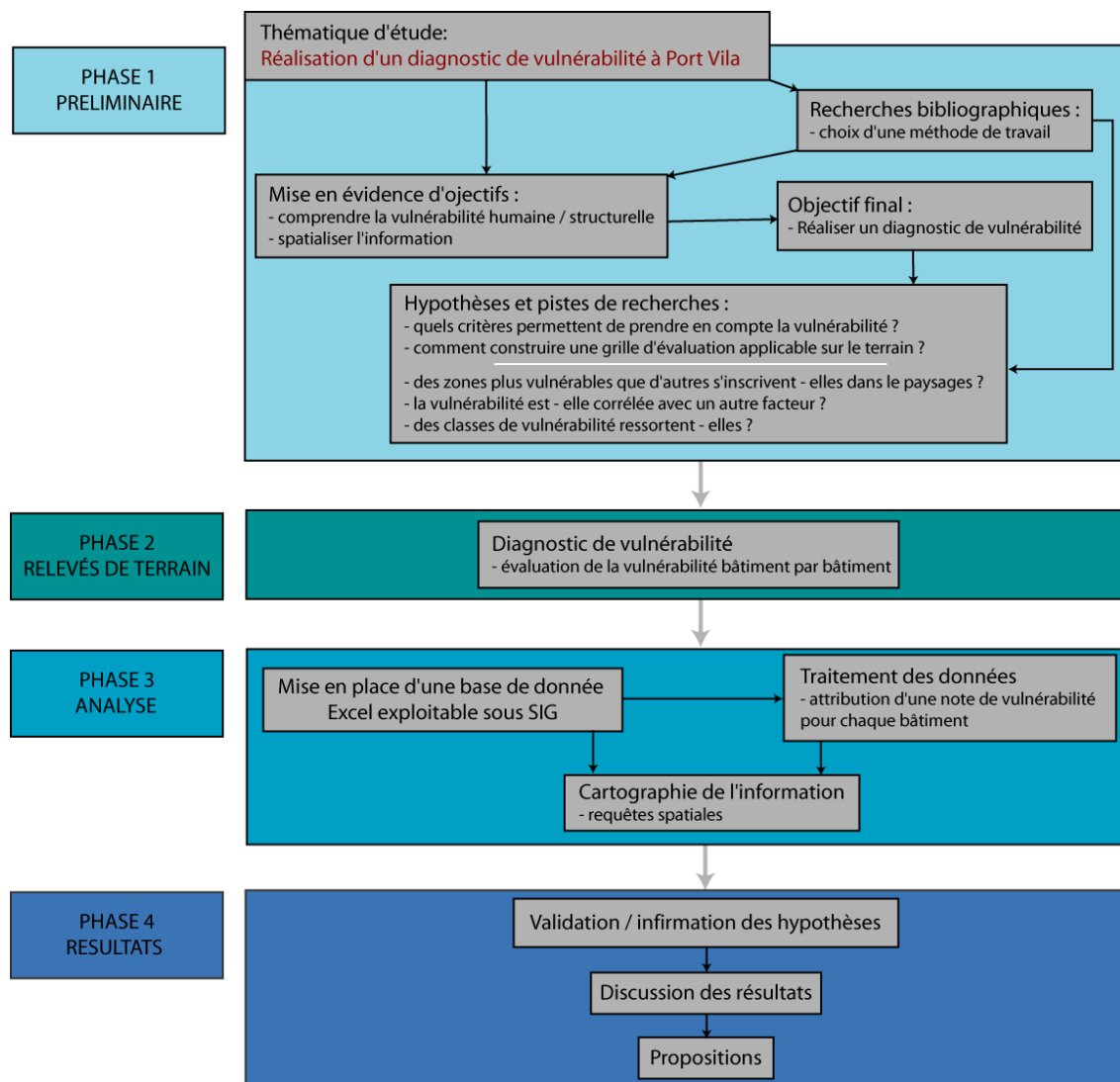


Figure 1 - Organigramme méthodologique pour établir un diagnostic de vulnérabilité (B.PRADEL, 2017)

Les enjeux physiques et économiques

Sur le littoral de Port Vila, l'aléa maximal de référence retenu est la zone des 0-20 m. Suite aux effets mécaniques d'une submersion l'étalement urbain est remis en question par le risque auquel il s'expose (D'ERCOLE, 2009) tandis que la situation économique de Port Vila tend à localiser les activités en bordure de mer (ports de plaisance, port de pêche, commerces, etc.) vers des centres actifs et attractifs touristiquement parlant. L'analyse de la vulnérabilité des enjeux physiques et économiques s'appuie sur une analyse technique (qualité des matériaux, pertes économiques potentielles), à laquelle s'ajoute une dimension humaine, induite par la typologie des habitats, faisant état des dommages potentiels après l'impact d'une submersion. La figure 2 représente les enjeux physiques exposés à une submersion de type cyclonique (d'après le cyclone Pam) ou à une submersion engendrée par un tsunami au *run-up* de 20 m dans le centre-ville et le village de Pango.



Figure 2 – Exposition des enjeux à l'aléa submersion marine (Crédit photo : B.PRADEL, 2017)

La vulnérabilité humaine face au risque

Il a été défini qu'une hauteur d'eau modérée de 50 cm suffit à limiter le déplacement d'un adulte sportif en situation de crise, lorsque la vitesse du courant est supérieure à 1 m/s. C'est pourquoi il a été décidé d'intégrer une dimension humaine au diagnostic de vulnérabilité en essayant de comprendre quels sont les éléments structuraux du bâti favorables ou défavorables à la réduction de la vulnérabilité humaine. En effet si l'exposition des personnes sur les réseaux est bien connue (RUIN, 2007) dans le cas des submersions marines les décès peuvent s'expliquer en partie par des critères « extérieurs » liés au type de bâti et font référence à une vulnérabilité subie que l'on peut qualifier de « passive » (VINET *et al.*, 2011).

Critères de vulnérabilité et cartographies

Pour répondre au besoin d'un diagnostic de vulnérabilité, l'un des points de la méthodologie employée est la conception d'une grille de vulnérabilité optimisant l'estimation du degré de vulnérabilité de chaque bâtiment sur le terrain. Elle s'inspire des travaux universitaires menés par Leone *et al.*, 2012 mais également de la typologie des destructions mise en place suite au RETEX du cyclone Pam. Une telle grille permettra l'évaluation de chaque bâti avec les mêmes critères dans l'optique d'une comparaison et d'une quantification de leur niveau propre de vulnérabilité, tant d'un point de vue physique qu'humain. La forte dépendance

mise en évidence par Vinet *et al.*, 2011 entre les structures du bâti et les décès associés entre en compte dans cette étude où les critères de vulnérabilité humains et du bâti seront donc très liés et associés. Par exemple, un critère prenant en compte la vulnérabilité structurelle influencera sur la vulnérabilité humaine interne et externe au bâtiment. Autre exemple, un édifice constitué de tôle (vulnérabilité structurelle) n'assurera pas une protection correcte de ses occupants (vulnérabilité humaine) et les débris pourront impacter les personnes sur les réseaux.

Afin de mettre en place cette grille, nous avons au préalable réalisé le diagnostic des bâtiments sur un échantillon dans la localité Malapoa. Il convient d'expliquer les critères retenus dans cette étude de vulnérabilité :

- Les types de matériaux utilisés : ce critère prend en compte les types principaux de matériaux utilisés pour la construction de l'édifice (LEONE *et al.*, 2012). Nous avons distingué trois sous-critères permettant de recenser les trois matériaux principaux, en les classant selon leur importance. Il permettra ainsi de faire ressortir les bâtiments constitués de matériaux plus résistants. Les trois types de constructions sont constitués soit uniquement de tôle, soit de béton et de tôle, soit exclusivement de béton. Ce critère permet d'apprécier tant la vulnérabilité structurelle qu'humaine.
- La présence d'étage(s) : si la présence d'un étage refuge permet la mise en sécurité des personnes il influence également sur la vulnérabilité structurelle. En effet les structures porteuses du bâtiment ayant pour but de soutenir son propre poids varient en fonction du nombre d'étage(s) : plus le bâtiment comporte des étages plus la structure porteuse sera importante. Leone *et al.* (2007) ont établi que des poteaux inférieurs à 20 cm de côté n'avaient pas de chance de résister à la puissance d'un tsunami du type Banda Aceh (2004).
- La présence d'une grande ouverture : selon Leone *et al.* (2012), les bâtiments comprenant plus de quatre mètres d'ouverture en rez-de-chaussée ont une pénétration d'eau théorique plus importante que d'autres moins ouverts. Cette étude considère donc qu'une ou plusieurs ouvertures, sur une même façade et de plus de 4 m² augmente la vulnérabilité humaine du bâti mais peut contribuer à réduire la vulnérabilité structurelle.
- La surélévation de la structure : ce critère vise à déterminer si le bâtiment est plus haut que les prévisions de l'aléa maximal. Si le bâtiment est par exemple sur pilotis il sera moins soumis à une hauteur d'eau importante.

Classification du bâti

Dans le but d'analyser la qualité des bâtiments face à la submersion marine, une typologie du bâti (Figure 3) a été mise en place. Le classement des bâtiments se fait en fonction des degrés de résistances de la structure. Cinq classes sont retenues en se basant sur la typologie des destructions post-cyclone ainsi que sur les modèles de F. Leone (2007) et H. Mayaguezz (2015). Ces modèles de typologies déterminent des classes de bâti en fonction de l'endommagement que provoquerait une vague de submersion suite à l'arrivée d'un tsunami (Mayaguezz, 2015). Près de 1700 bâtiments ont été diagnostiqués durant la phase de terrain sur le secteur d'étude. La classe la plus vulnérable représente 38 % de l'ensemble du bâti. A caractère résidentiel elle abrite une forte densité de population la nuit notamment. La classe B, encore très vulnérable représente 13 % des constructions. Ces deux classes, les plus susceptibles d'être totalement endommagées en cas de submersion, représentent alors plus de la moitié du bâti présent dans la zone d'étude. La classe intermédiaire (C) représente 39 % de la zone d'étude. Elle représente des maisons individuelles de plain-pied. La classe D, principalement des commerces ou hôtels, ne représente que 7 % de l'ensemble du bâti diagnostiqué. La classe E, la plus résistante, représente quant à elle uniquement 1 % de l'ensemble du bâti.

Types de bâtiments	Individuels			Collectifs	
	A	B	C	D	E
Classes	Bâtiments auto-construit de plain-pied. Constitués principalement de matériaux peu résistants de type bois et tôle. Structure porteuse < 5cm de coté.	Bâtiments auto-construit de plain-pied. Constitués principalement de matériaux peu résistants renforcés d'une structure en béton. Structure porteuse < 5cm de coté.	Bâtiments de plain-pied. Constitués de maçonnerie plus résistante de type béton renforcé et parpaing. Pouvant parfois comporter un étage Structure porteuse < 10cm	Bâtiments constitués de maçonnerie plus résistante de type béton renforcé et parpaing, avec de grandes ouvertures et 1 à 2 étage Structure porteuse < 10cm	Bâtiments à plus de 3 étage propice à l'évacuation verticale. Constitués de maçonnerie plus résistante de type béton renforcé et parpaing. Structure porteuse env. 20cm
Vues terrain des bâtiments					
Exemples de bâtiments - Fonction(s)	Habitat résidentiel populaire ou commerce de proximité.	Habitat de petite taille principalement résidentiel ou bungalow destiné au tourisme.	Villas ou maisonnettes. Fonction résidentielle.	Commerces fortement présents en centre ville, souvent couplés à une fonction résidentielle à l'étage.	Certains hôtels, banques ou autres activités commerciales.

Figure 3 - Typologie de vulnérabilité du bâti à Port-Vila (B.PRADEL, 2017)

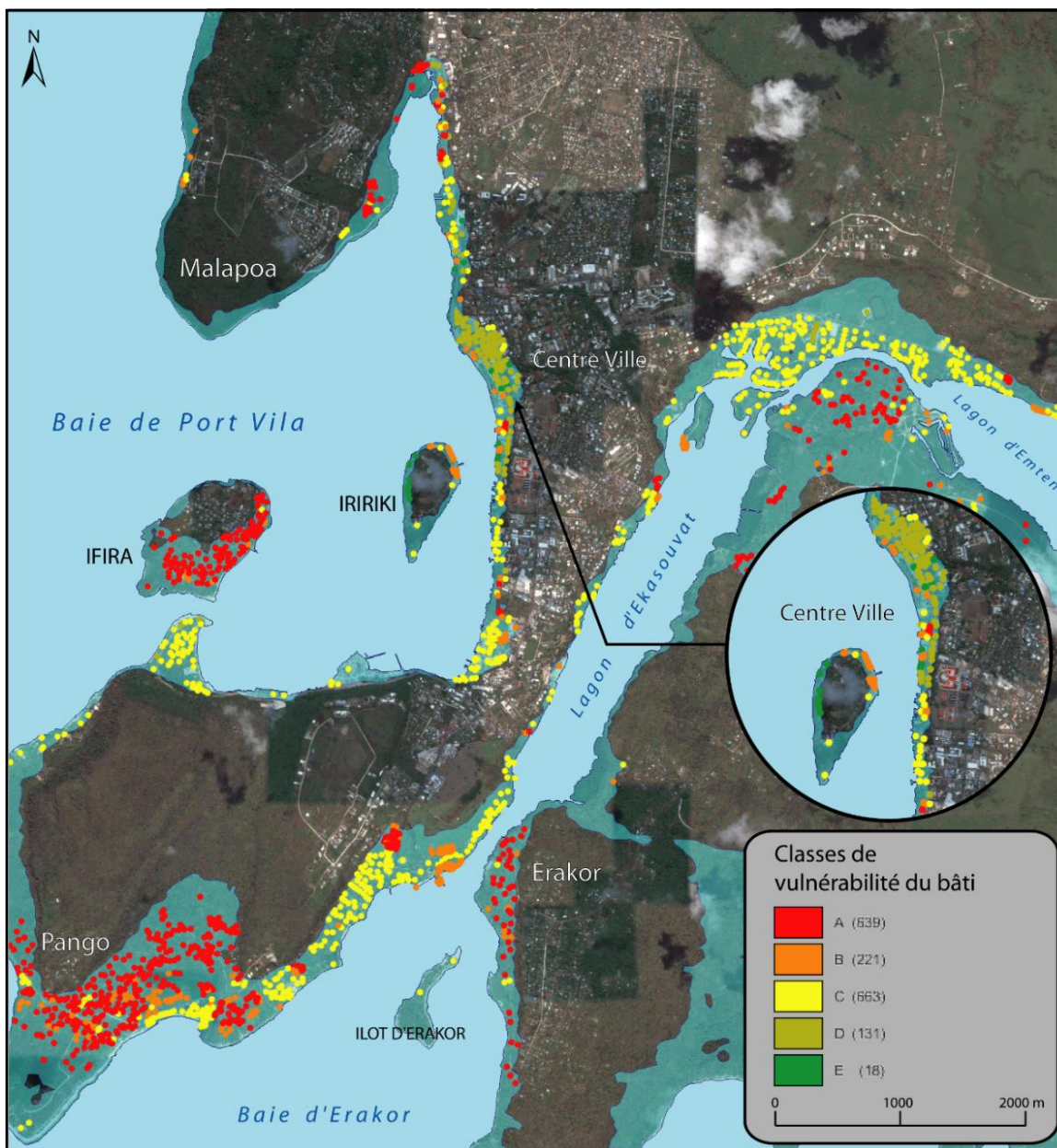


Figure 4 – Cartographie des classes de vulnérabilité du bâti

Cette cartographie permet d’appréhender le potentiel d’endommagement des bâtiments du secteur d’étude. De grands ensembles géographiques se dessinent : Alors que l’îlot d’Ifira ainsi que les villages de Pango, Erakor et Malapoa montrent un fort potentiel d’endommagement les pourtours du littoral sont de classe moyenne, quelques bungalows destinés au tourisme apparaissent face aux lagons, le centre-ville montre une surreprésentation de la classe D, moins dommageable, et contient la classe E.

Un diagnostic plus détaillé de la vulnérabilité structurelle et humaine³ à travers une hiérarchisation des critères a également été mené. Sur la base des critères définis et expliqués (cf. supra) une pondération intra

³ La vulnérabilité évaluée à instant T est évolutive et nécessite un suivi, une mise à jour des enjeux et des vulnérabilités territoriales.

et inter critères participent à distinguer et qualifier la vulnérabilité structurelle et la vulnérabilité humaine liée à la dangerosité du bâti, les deux étant intimement liées. L'objectif vise la création d'un indice de vulnérabilité conçu sur la base d'attribution de « points » pour chaque critère en instaurant une hiérarchie entre chaque critère : la structure du bâti présente-t-elle un niveau plus important ou moins important que le critère de surélévation par exemple. Mais il s'agit également d'instaurer une hiérarchie des indicateurs pour chaque critère, la résistance des matériaux sera par exemple ainsi catégorisée en fonction de sa faible vulnérabilité (matériaux résistants) ou forte vulnérabilité (matériaux légers/précaires). La pondération inter intra critère diffère selon qu'on évalue la vulnérabilité humaine ou structurelle. La transparence hydraulique par exemple participe à réduire la vulnérabilité structurelle tandis qu'elle exacerbe la vulnérabilité humaine. Cette distinction rend nécessaire l'élaboration de deux cartes différentes de vulnérabilité structurelle (fig. x) et humaine (fig. x). La combinaison des pondérations produit un indice synthétique de vulnérabilité dont le niveau est qualifié de faible à fort. Cette cartographie est intrinsèque à chaque type de vulnérabilité, les classes sont définies par la méthode de discrétisation de Jenks (variation intra classe faible et variation inter classe forte). Elle ne permet pas de comparaison entre le niveau de vulnérabilité structurelle et humaine. Par conséquent les mêmes zones apparaissent dans les trois classes de vulnérabilité. Les secteurs plus vulnérables sont Pango, l'îlot d'Ifira, Erakor, Malapoa et l'ouest du lagon d'Emten tandis que les constructions de l'ouest de l'île d'Iriri et l'hyper-centre de Port-Vila dont les constructions sont principalement les édifices de grande taille (3 étages ou plus) destinés à l'accueil de touristes affichent une faible vulnérabilité.

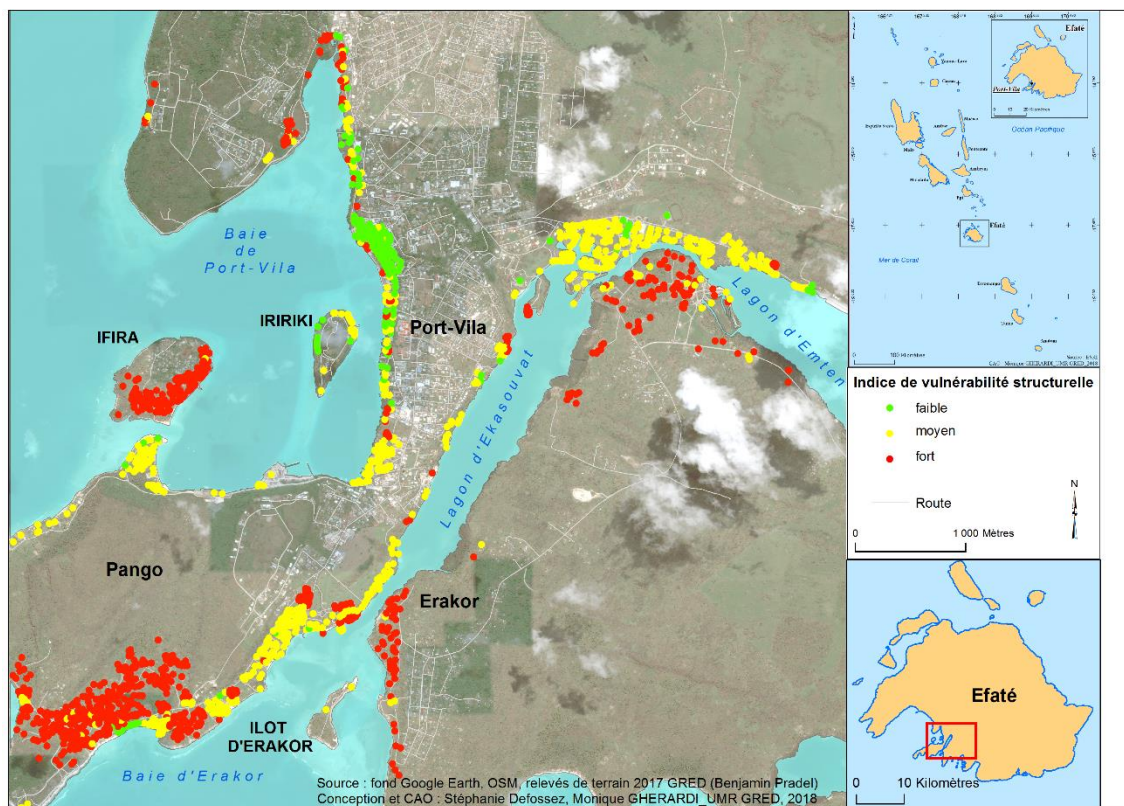


Figure 5 : Cartographie de l'indice de vulnérabilité structurelle (selon méthode de Jenks) à Port-Vila en 2017

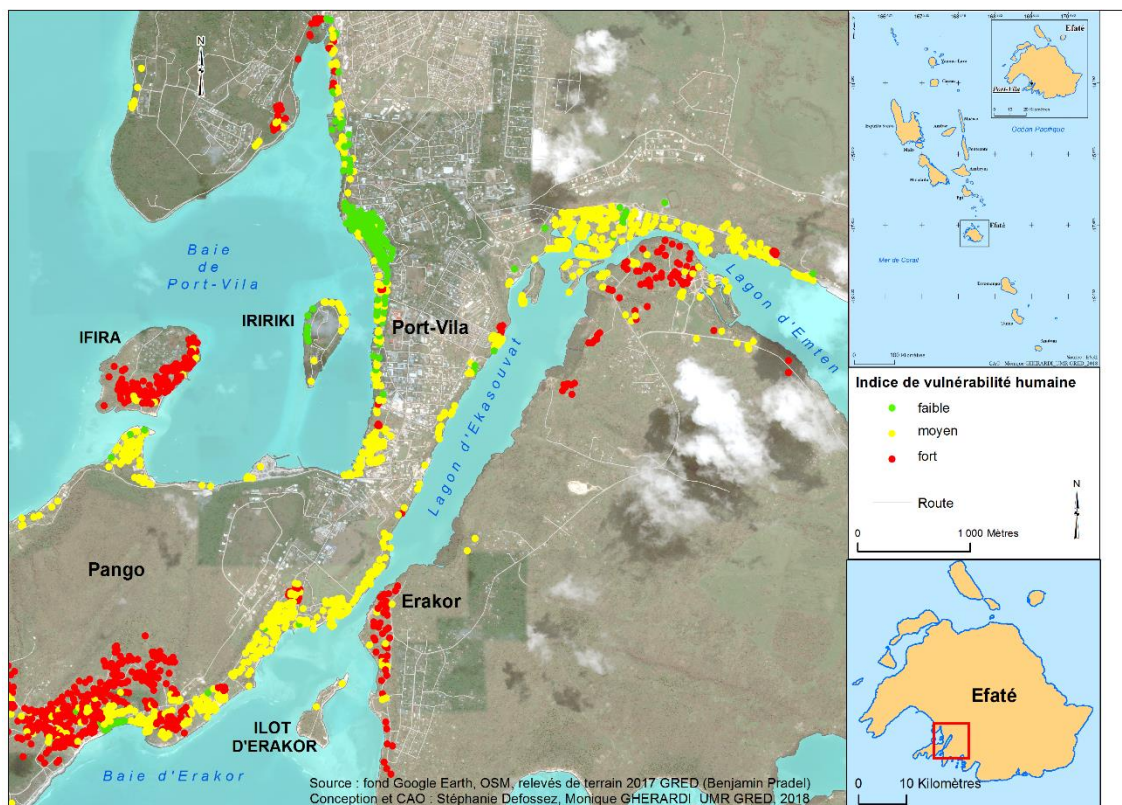


Figure 6 : Cartographie de l'indice de vulnérabilité humaine (selon méthode de Jenks) à Port-Vila en 2017

Dans cette démarche de création d'indice de vulnérabilité, il est intéressant de montrer s'il existe ou non des différences entre vulnérabilité structurelle et humaine. Nous obtenons des résultats grâce à une méthode de discrétisation encline aux comparaisons : l'écart-type⁴

⁴ rappelons-le, la pondération intra et inter critère diffère pour les deux types de vulnérabilité.

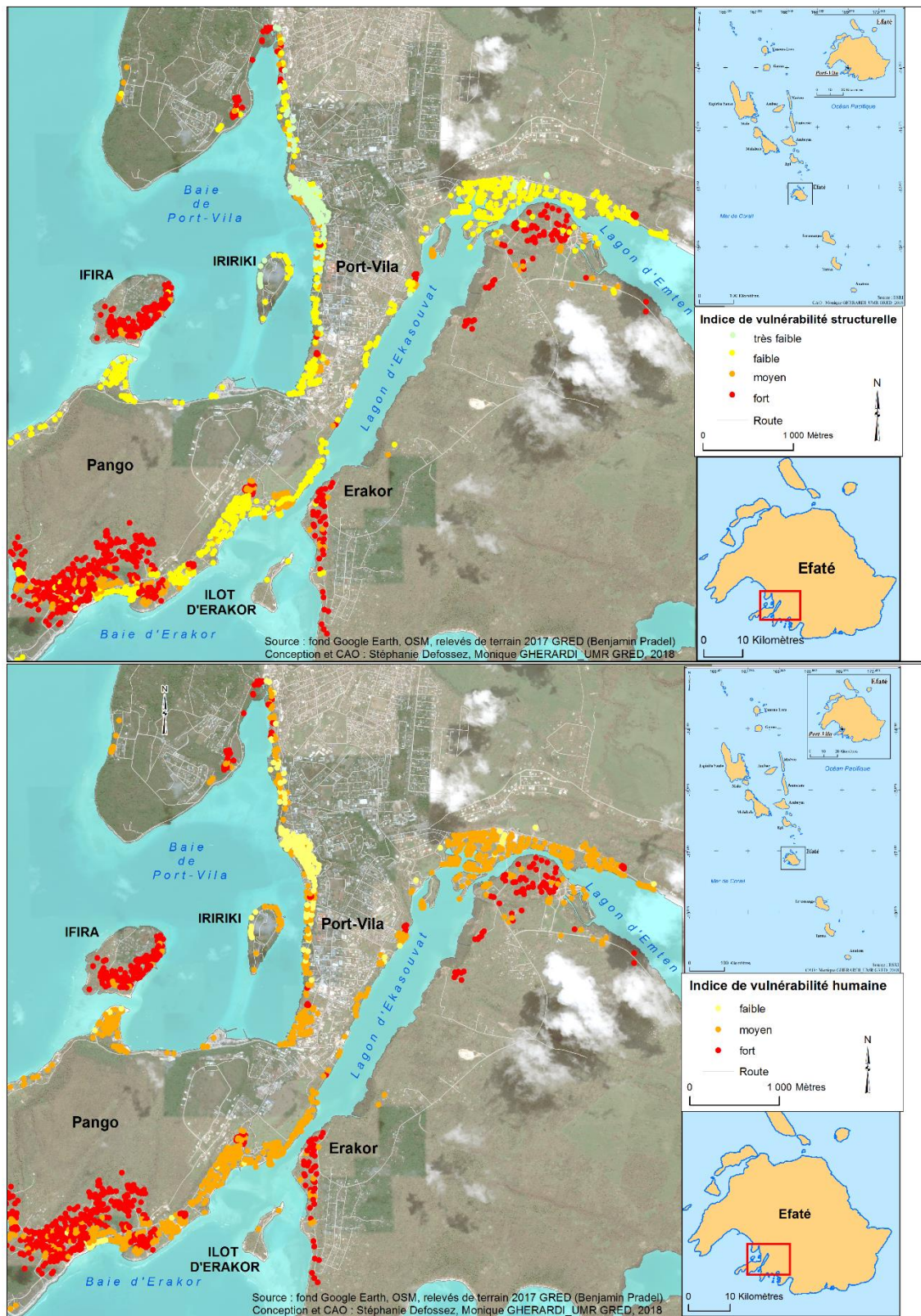


Figure 7 : Comparaison des niveaux de vulnérabilités structurelle et humaine à Port-Vila en 2017

Un niveau très faible apparaît qualifiant la vulnérabilité structurelle. Cette comparaison a pour objectif de montrer que la structure et les caractéristiques du bâti expriment la vulnérabilité structurelle mais surtout la vulnérabilité humaine. L'hyper-centre de Port-Vila se caractérise par une vulnérabilité structurelle très faible tandis que la vulnérabilité humaine y est faible. De nombreuses zones cumulent une forte vulnérabilité structurelle et également humaine à l'instar du nord de la baie de Port-Vila, Irifa, le sud de Pango, Erakor et la rive sud du lagon d'Emiten. Cette distinction doit permettre d'identifier des priorités de prévention et de gestion, ainsi l'analyse de la vulnérabilité humaine apporte des renseignements essentiels à la gestion de crise. L'exposition au risque est connue, des stratégies de protection et de prévention des risques existent mais la relation entre la structure du bâti mais aussi les comportements des populations avec les conséquences matérielles est prouvée (voir supra). Dès lors un focus sur la préparation à la gestion de crise (de la part de tous les acteurs) apparaît évident. Concernant les populations habitants en bordure littorale notamment l'évacuation anticipée peut être systématisée en cas d'évènement majeur. Le Vanuatu et notamment Port-Vila, dont les activités économiques se fondent sur le secteur tertiaire dont particulièrement le tourisme, doit s'inscrire dans une démarche de prévention des risques et des crises à destination de ces divers publics, résidents et touristes, les seconds étant *a priori* moins préparés. Nous rappelons que la saison cyclonique au Vanuatu concorde avec la fréquentation touristique élevée.

La vulnérabilité humaine ne se restreint pas à une corrélation avec des facteurs structurels du bâti. Des facteurs intrinsèques ou cognitifs la renseignent également. Nous partons du postulat que la connaissance et la conscience des risques participent à réduire la vulnérabilité humaine. Un individu préparé pourra *a priori* développer des comportements plus adaptés. Des questionnaires directs, menés à Port Vila entre février et avril 2017, auprès de 116 personnes, rendent compte de certains de ces facteurs. Les thématiques proposées dans le questionnaire concernent : le vécu, la connaissance et la perception des risques naturels par les habitants de Port-Vila. Il s'agit d'une analyse qualitative qui ne saurait être retranscrite sous forme quantitative à l'instar des critères structurels du bâti (cf. supra). Afin de rester dans une approche géographique, le questionnaire a, par ailleurs, inclus une question spatialisée. Les interrogés pouvaient s'exprimer sur la localisation des zones à risques en les dessinant sur un fond de carte à échelle de Port-Vila et d'Efaté. Les interrogés se sont exprimés sur les différents phénomènes associés aux cyclones (vent, inondation, submersion marine, glissements de terrain) en dessinant les zones qui selon eux sont le plus soumises à ce type de phénomènes.

Le savoir vernaculaire recueilli à travers ce questionnaire est mis en parallèle avec le savoir scientifique acquis par un retour d'expérience mené deux mois après le passage du cyclone PAM (Leone *et al.*, 2015), mais aussi avec la bibliographie existante sur le sujet et des modélisations multi-aléas issues du VMGD.

Les résultats homogènes pour l'ensemble des interrogés montrent une bonne connaissance des phénomènes et des zones soumises, même si l'emprise spatiale, définie par les interrogés, n'est pas identique pour tous (fig. x). Certaines zones soumises ne sont toutefois pas évoquées par les interrogés, comme le secteur nord-ouest de l'île qui est peu urbanisé mais où les espaces naturels présentent de l'endommagement potentiel. Cette absence de représentation des phénomènes dans ces zones peut s'expliquer par la nature du secteur, l'absence d'urbanisation masque l'endommagement possible alors qu'il est plus visible dans les zones urbanisées et atteint non seulement les enjeux matériels mais aussi les populations elles-mêmes.

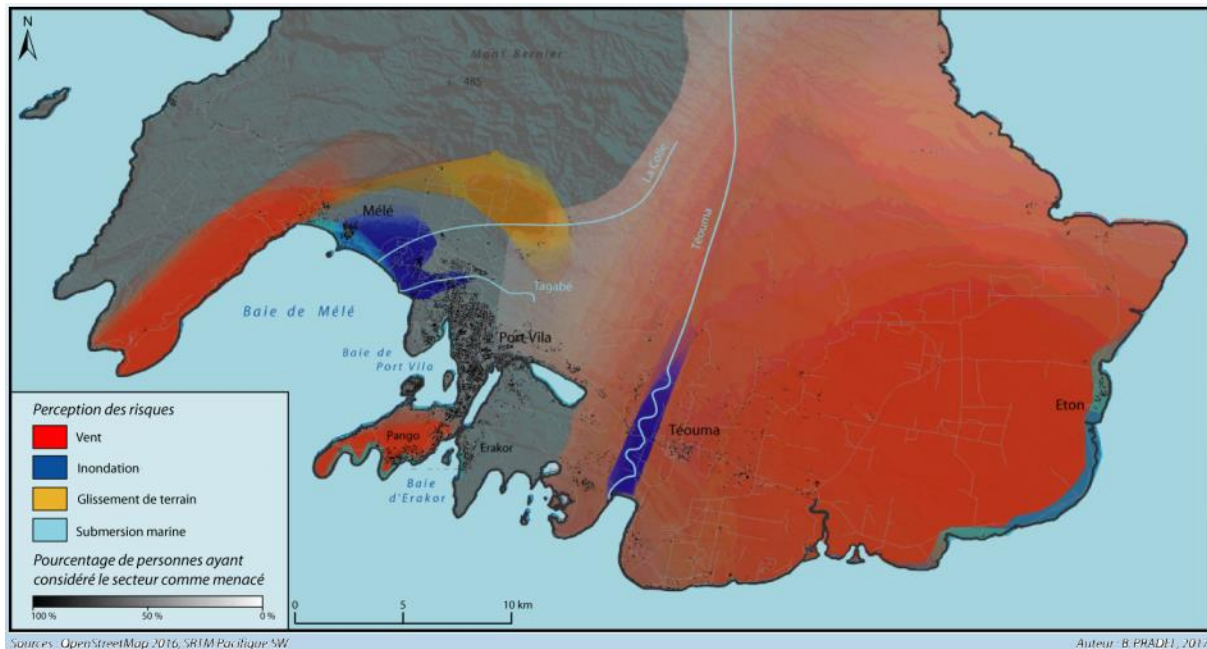


Figure 8 : Cartographie mentale des risques perçus par les populations interrogées de Port-Vila

Ainsi les divers phénomènes associés au cyclone (vent, inondation, submersion marine, glissements de terrain) paraissent connus et localisés par les interrogés participants selon nous à la réduction de la vulnérabilité humaine.

Les interrogés font preuve d'une connaissance des phénomènes de vent en identifiant clairement une côte au vent et une côte sous le vent avec des vents dominants à l'est et surtout sud-est (entre les villages d'Eton et Téouma) ainsi que sur le village de Pango et à l'ouest de la baie de Mélé notamment « la pointe du diable ». Les secteurs les plus soumis aux vents cités par les interrogés concordent avec les données relatives au vent moins important à l'intérieur de l'île et au contraire plus important dans les zones basses et les littoraux avec l'extrême sud-est et la pointe du diable, deux zones citées par la totalité des interrogés. Parfois le phénomène est surestimé comme c'est le cas pour le village de Pango systématiquement représenté par les interrogés alors que les données météorologiques n'affichent pas de vitesses maximums dans ce secteur. Cette surestimation peut s'expliquer par la concentration de dégâts dans ce secteur, qui rassemble une forte proportion d'habitats légers, suite au cyclone PAM en 2015 qui a laissé croire à des événements naturels plus intenses qu'en réalité. Les inondations auxquelles s'expose l'île apparaissent bien identifiées par les personnes interrogées tant sur le phénomène lui-même que sur les secteurs soumis. Les habitants sondés situent ces phénomènes le long de la rivière Téouma, cours d'eau qui a débordé en avril 2017 lors des précipitations qui ont accompagnées le cyclone Cook, ce qui a nécessité l'évacuation d'une partie du village éponyme. Cet événement a rappelé si nécessaire la capacité du cours d'eau à déborder. Lors du cyclone PAM, la plaine alluviale de Mélé a subi l'inondation de la rivière Tagabé qui est sortie de son lit sur une centaine de mètres environ. Cette zone largement identifiée par les interrogés correspond au secteur où les inondations liées au cyclone avaient causé le plus de dégâts. Concernant la submersion marine, la côte sud-est, soit la baie de Mélé, Pango ainsi que les baies de Port-Vila et d'Erakor jusqu'au second lagon, subissent des phénomènes importants d'invasion marine expliqués en partie par les phénomènes de résonances qui participent à accroître les *set-up* et *run-up* (Bertin et al., 2012). Il s'agit des secteurs localisés par les habitants interrogés. Le cyclone cause également des glissements de terrain. Les populations interrogées situent ces phénomènes sous le flanc sud-ouest de « Mélé » situé au nord de la baie éponyme, phénomènes dont la survenue est confirmée. Par contre, il existe une sous-estimation de ce type de phénomène, puisque le flanc nord d'un autre point haut, « le plateau », est soumis mais n'est pas évoqué dans les résultats des enquêtes.

La perception des risques par les populations interrogées dépend de leur connaissance du risque acquise par différents biais, dont le vécu qui constitue un socle essentiel de leur connaissance et conscience du risque. La mémoire de l'évènement tend à s'estomper au fil des ans, mais à l'inverse, le vécu récent influe les réponses des participants à l'enquête. Par exemple, le cyclone PAM, qui a eu lieu deux ans auparavant, guide les réponses et se trouve surreprésenté dans les réponses citées, mais il correspond aussi à une réalité de la matérialisation du risque. Les inondations d'avril 2017 ont également dicté les réponses et la connaissance du phénomène. De manière générale, savoirs vernaculaire et scientifique se confortent et montrent la connaissance des populations sur les phénomènes auxquels ils sont exposés. Malgré cela, plus de la moitié souhaite approfondir leurs connaissances des phénomènes, tandis que 17% des sondés attendent un système d'alerte plus performant pour la préparation à la gestion de crise. L'intérêt pour ces événements naturels reflète la conscience du risque, tout comme la connaissance des risques et la gestion de crise renseignent la culture du risque développée par les populations vanuataises. L'ensemble des éléments ressortant des analyses liés aux facteurs cognitifs donne des résultats qui concourent à réduire la vulnérabilité humaine, contrebalance ainsi la forte vulnérabilité humaine liée à la structure du bâti détaillée plus haut.

La vulnérabilité étudiée en géographie des risques renvoie à la notion de résilience qui se définit comme une capacité à surmonter, à faire face à une crise, un évènement ainsi qu'à un retour à la normale. L'analyse de la vulnérabilité au Vanuatu, à Port-Vila pour cette étude de cas mais aussi sur d'autres terrains comme l'île de Tanna, laisse penser qu'être vulnérable ne signifie pas être moins résilient et réciproquement. Les résidences de tourisme cossues et à plusieurs étages représentent les constructions les plus résistantes et donc les moins vulnérables à Port-Vila. Lors d'évènements extrêmes et ce fut le cas lors du cyclone PAM, ces bâtiments affichent un faible endommagement. Cependant, ce type d'établissement tout comme les commerces installés dans des bâtiments résistants montrent une résilience plus lente, à l'instar du complexe hôtelier d'Iriri dont la réhabilitation a duré 18 mois ou des commerces du centre de Port-Vila dont la réouverture a pu être possible seulement 6 à 12 mois après l'évènement, alors que nombreuses habitations en matériaux précaires avaient déjà été reconstruites. Les résultats des questionnaires permettent d'établir une corrélation entre type de bâtiments et temps de la résilience, sur la base de l'échantillon de personnes interrogées. La capacité de résilience d'un point de vue temporelle paraît plus faible pour les constructions plus résistantes et par conséquent *a priori* moins vulnérables.











TYPE DE CONSTRUCTION	DÉGATS ASSOCIÉS
<p data-bbox="407 239 743 264"><i>Construction constituée de tôle</i></p> 	<p data-bbox="889 239 1203 264"><i>Destruction intégrale de l'édifice</i></p> 
<p data-bbox="386 506 764 548"><i>Construction constituée de tôle avec une structure en béton</i></p> 	<p data-bbox="889 506 1203 548"><i>Destruction quasi-intégrale la structure de béton reste en place</i></p> 
<p data-bbox="418 749 721 774"><i>Construction constituée de béton</i></p> 	<p data-bbox="862 743 1230 785"><i>Destruction partielle endommagement du toit et des ouvertures</i></p> 
<p data-bbox="358 1058 786 1100"><i>Construction constituée de béton plus résistant la toiture est plane</i></p> 	<p data-bbox="894 1058 1182 1100"><i>Endommagement minime dégâts au niveau des ouvertures</i></p> 
<p data-bbox="418 1352 721 1377"><i>Construction de béton imposante</i></p> 	<p data-bbox="976 1352 1110 1377"><i>Pas de dégâts</i></p> 

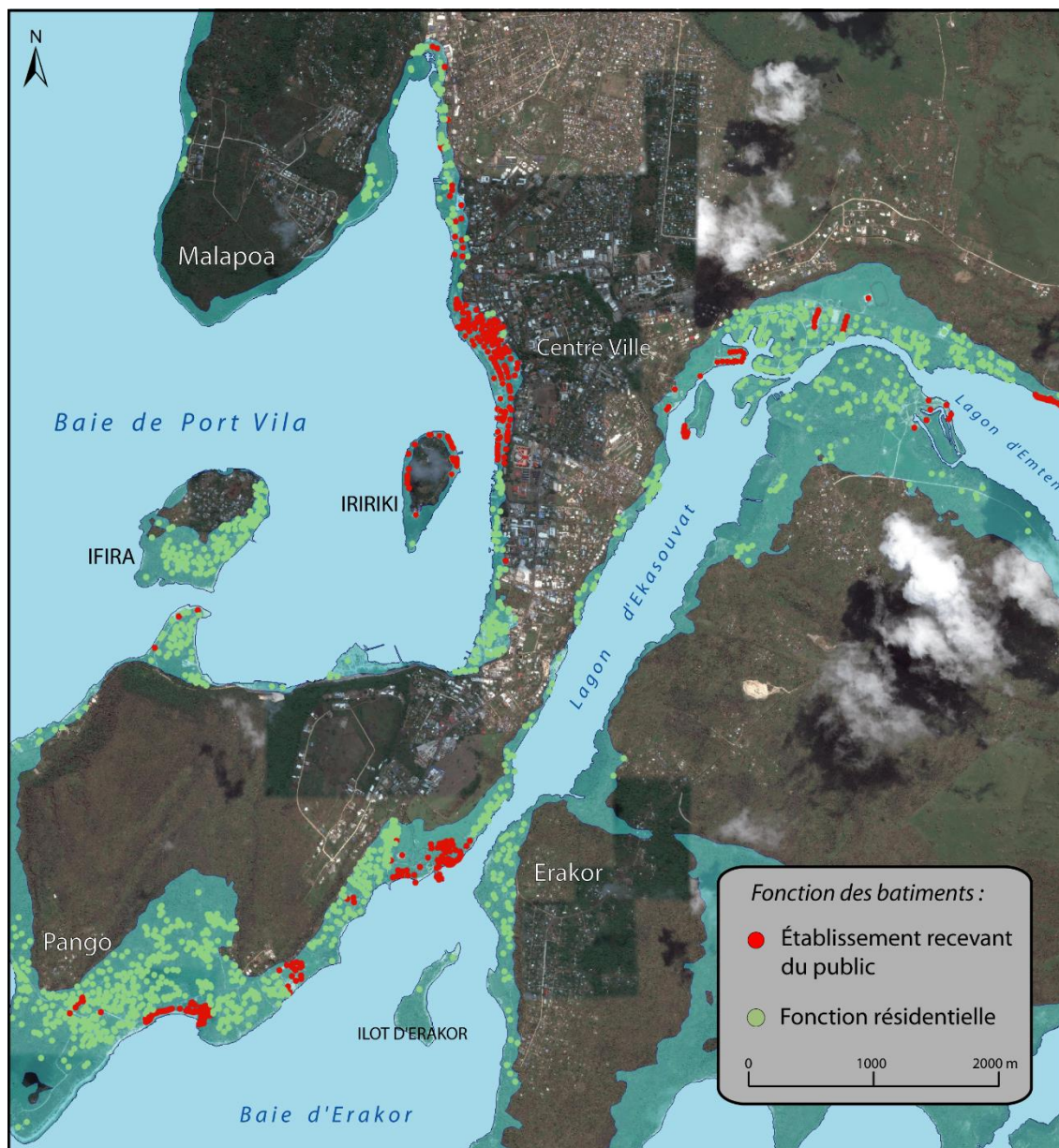
Figure 9 : Typologie des dégâts et destructions liée au cyclone PAM à Port-Vila.

La discontinuité de temporalité de résilience tient à différents facteurs dont la disponibilité des matériaux et des moyens humains pour reconstruire ou encore la disponibilité de la marchandise pour acheminer les commerces.

La résistance physique du logement ou des commerces ne représente certes pas la seule condition de résilience. La ressource économique des familles participant également largement à cette phase. Tout comme les commerçants en attente de marchandise, les populations agricoles (que ce soit une activité

économique ou la mise en culture d'un potager) s'inscrivent dans un temps de résilience plus long, estimé d'un an environ, dû notamment à la défoliation des cultures. D'autres phénomènes externes représentent également des facteurs de résilience. Le cyclone a été suivi quelques mois après par un épisode d'intense sécheresse (épisode d'*El Nino*) ralentissant la relance des activités agricoles et/ou potagères. D'un autre côté l'entraide a apporté l'organisation d'une réponse aux événements à l'échelle de la communauté et/ou des quartiers.

A échelle de Port-Vila et fort des résultats du diagnostic de vulnérabilité mené dans le cadre de cette étude, il est possible de conclure que la vulnérabilité territoriale reflète un dysfonctionnement territorial. Il ne s'agit plus de considérer seulement les enjeux directement exposés (situés dans une zone inondable par exemple) mais bien l'incapacité de fonctionnement du territoire, suite à l'endommagement ou l'inaccessibilité lié au phénomène naturel en relation avec des facteurs, économiques, sociaux ou encore démographiques. Les ressources endommagées (réseau électrique ou accueil touristique) répercutent les conséquences sur l'ensemble du territoire. A Port-Vila, les ressources se fondent sur une activité tertiaire à vocation touristique, et l'endommagement des infrastructures portuaires (accueil des ferrys touristiques) et d'hébergement par exemple, entraîne la perte économique bien au-delà du montant des réparations des dommages matériels.



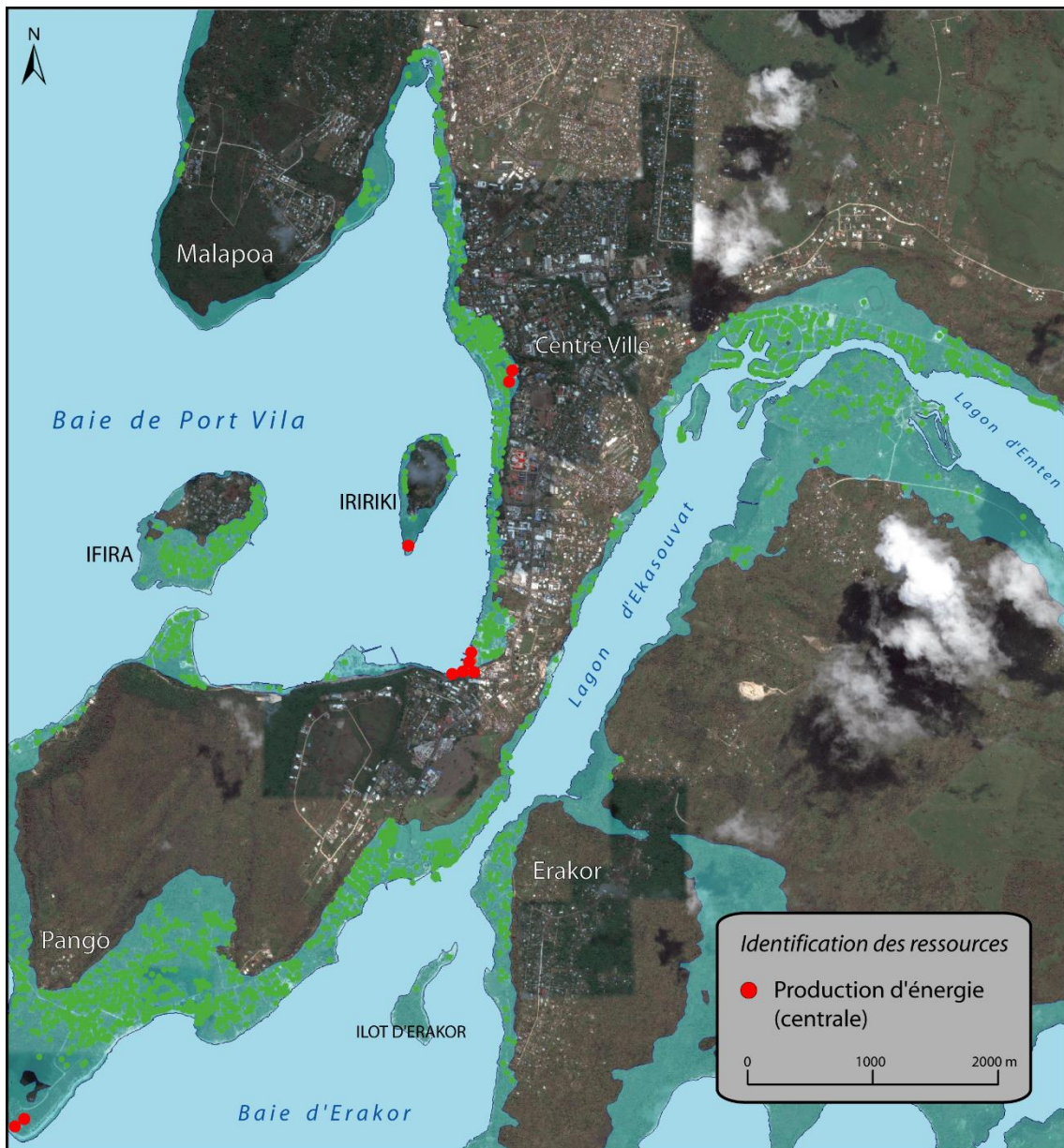
Source : GoogleEarth, 2017

Auteur : B.PRADEL, 2017

Figure 10 – Cartographie de la fonction des bâtiments (B.PRADEL, 2017).

De grands complexes hôteliers se dessinent sur Pangô ou Iririki par exemple. Les points isolés représentent pour la plupart des commerces de proximité. Les alignements de plusieurs points représentent en général des établissements scolaires. Cette analyse spatiale a pour objectif de cibler les zones les plus touristiques comprenant une population *a priori* moins consciente du risque que les locaux.

De même la présence sur ce secteur de l'île de centre de productions d'énergie (fig. 11) laisse entrevoir les potentielles difficultés territoriales et reflète la vulnérabilité fonctionnelle.



Source : GoogleEarth, 2017

Auteur : B.PRADEL, 2017

Figure 11 – Identification des ressources (B.PRADEL, 2017).

Cette troisième requête vise à localiser les ressources, ici les zones de production d'énergie. Quatre secteurs sensibles apparaissent. Ce critère permet d'appréhender la vulnérabilité fonctionnelle du territoire.

2. Proposition d'un plan d'évacuation tsunami (Efaté)

La conception d'un plan d'évacuation correspond à la mise au point d'un outil de prévention pour la mise en sécurité des personnes. Il s'agit d'un plan indiquant les zones sûres vers lesquelles se regrouper en cas de danger, permettant ainsi une meilleure organisation de l'évacuation. Il indique également le parcours à privilégier pour rejoindre ces zones sûres dans le laps de temps le plus court possible. Face à cette temporalité restreinte et à l'impossibilité de se protéger physiquement d'une vague de 20 m, la planification

préventive constitue l'un des outils les plus efficaces pour la sauvegarde des personnes, les biens ne pouvant être épargnés face à un tel événement.

Cette partie de l'étude repose sur les méthodologies développées par l'UMR Gouvernance, Risque, Environnement et Développement (GRED) avec notamment le projet MAREMOTI (2012) et la thèse de M. PEROCHE, 2016. Il s'agit du transfert des compétences de l'UMR au contexte vanuatais. Ces travaux favorisent l'évacuation pédestre. Ici nous nous sommes demandés si elle devait effectivement se faire de manière pédestre ou motorisée car les entretiens avec des personnes situées en zone vulnérable révèlent qu'en cas d'alerte beaucoup utilisent des véhicules pour se mettre à l'abri. Cependant la configuration de Port Vila pose problème car elle comporte un axe majeur principal partant du nord de la ville jusqu'au village de Pango. Déjà très congestionné en temps normal, en situation de crise l'axe pourrait s'immobiliser et bloquer la mise en sécurité des personnes. Le choix de l'évacuation pédestre a donc été favorisé conformément aux consignes de l'UNESCO en la matière.

Qualification des sites refuges

Un site refuge est un espace situé hors d'atteinte des eaux et pouvant accueillir des personnes en cas d'évacuation. Son objectif est de pouvoir accueillir des flux de personnes provenant des zones vulnérables et ce pendant une durée indéterminée. Il existe deux types de sites refuges :

- Les sites refuges horizontaux correspondent à une élévation topographique, supérieur à 20 m au Vanuatu + 5 m de marge de sécurité afin d'éviter tout effet de site ou imprécision du modèle numérique de terrain, soit 25 m.
- Les sites refuges verticaux sont anthropiques et correspondent à des structures suffisamment élevées et résistantes pour mettre en sécurité les populations. Il peut s'agir du toit d'un immeuble, d'une tour ou d'une plate-forme adaptée et construite à cet effet (LEONE et al., 2012). Dans le cas de Port Vila, et selon le diagnostic de vulnérabilité, les bâtiments pouvant faire face à un tsunami de 20 m ne représentent que 1 % de la totalité du bâti. Cette possibilité n'a donc pas été retenue.

La méthode consiste à diagnostiquer des zones potentiellement exploitables pour devenir des sites refuges horizontaux. Les critères appréciés dans la sélection d'un site refuge sont notamment :

- **La capacité d'accueil.** Elle représente le nombre théorique de personnes pouvant être accueillies dans un site refuge. Le calcul est établi en suivant la méthode de Jacobs qui prend en compte la surface d'occupation minimale d'un individu dans une situation de foule et « sans lien de dépendance du corps de ses plus proches voisins » à savoir « 10 pieds carrés » soit environ une personne au m².
- **La sécurité du site.** Pour l'évaluer il convient de considérer les dangers auxquels les individus seraient exposés au sein de la zone refuge. Par exemple en prenant en compte les dommages provoqués sur les édifices (effondrement total ou partiel), proches du site, lors d'un séisme précédant le tsunami. Ces débris potentiels pourraient également perturber l'accessibilité sur le réseau. Ainsi, les grands espaces enherbés ou les chemins éloignés d'une urbanisation intense ont été privilégiés dans la sélection.
- **L'accessibilité.** Nous favorisons dès que cela est possible la sélection de sites refuges qui bénéficient de plusieurs accès sans danger.
- **La disponibilité actuelle.** Ce critère vise à appréhender le degré d'accessibilité du site sur une période de temps la plus large possible, à n'importe quel moment du jour ou de la nuit.

- **La disponibilité future.** Ce critère s'associe au précédent. Il a pour objectif d'éviter les zones refuges pouvant avoir des modifications de disponibilité dans l'avenir, comme de futurs terrains constructibles.
- **La connaissance par les locaux.** Ce paramètre est important dans la conception d'un outil adapté à l'échelle du quartier ou de la communauté. Ainsi les sites refuges choisis ont été également validés par des habitants du secteur.

Les caractéristiques de chaque site refuge sont résumées dans une fiche descriptive (figure 12) comportant les informations sur les critères utilisés ainsi qu'une localisation aérienne du site et une photographie du terrain. Ainsi en suivant cette méthodologie 40 sites refuges ont pu être identifiés dans le secteur de Port Vila.

Port Vila		SR1			Critères de qualité
Nature du site	Nom local	Capacité d'accueil	Accessibilité	Disponibilité actuelle	
Terrain de football	Capitain Cook Stadium	4935 personnes	Bonne	Permanente	
Date : 21/03/2017		Photographie : B. Pradel, 2017		Source : GoogleEarth, 2017	
Commentaires	Très bonne accessibilité et sécurité. Le site refuge est un lieu connu des habitants du quartier.				

Figure 12 - Exemple de fiche descriptive d'un site refuge

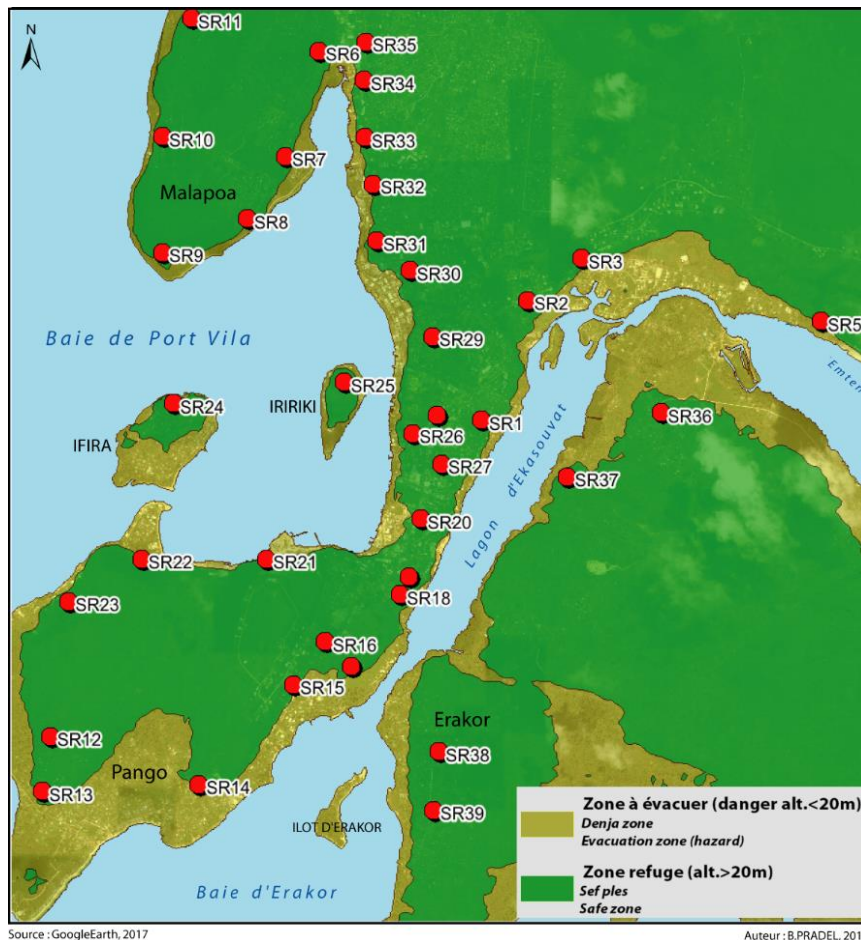


Figure 13 – Localisation des sites refuges retenus

Modélisation et optimisation de l'accessibilité aux sites refuges

L'optimisation de l'accessibilité aux sites refuges depuis les zones de danger se réalise à l'aide du logiciel de SIG MapInfo® et de l'outil RouteFinder®. Le logiciel peut être paramétré pour qu'il détermine le trajet le plus court en temps ou en distance. Lors d'une évacuation, c'est le temps entre la zone à évacuer et le site refuge qui doit être réduit le plus possible. Ainsi, c'est le paramètre « Fastest » déterminant les temps les plus rapides qui a été retenu. L'utilisation de cet outil demande la construction d'un graphe routier. La théorie des graphes permet de traiter les problèmes de cheminement et d'accessibilité sur un territoire donné (LEONE. et al., 2013). Il faut donc retranscrire les routes visibles sur le terrain en un objet mathématique, dans le logiciel de SIG, composé d'arcs et de sommets. Les arcs correspondent aux segments composant le réseau routier alors que les sommets, représentés par des points, sont les nœuds du réseau routier (intersections entre les tronçons). Pour réaliser ce graphe toutes les routes de Port Vila ont été parcourues à pieds afin de vérifier qu'elles soient toutes praticables et de leur attribuer des critères : le logiciel demande de renseigner les vitesses de déplacement pour chaque type de voie. En effet, on considère qu'il existe une corrélation entre la largeur de la voie, le revêtement du sol et la vitesse de déplacement pédestre. Ces variations figurent dans la typologie du réseau routier (figure 14). Elle différencie six types de voies, classées de façon décroissante en fonction de leur vitesse de déplacement :

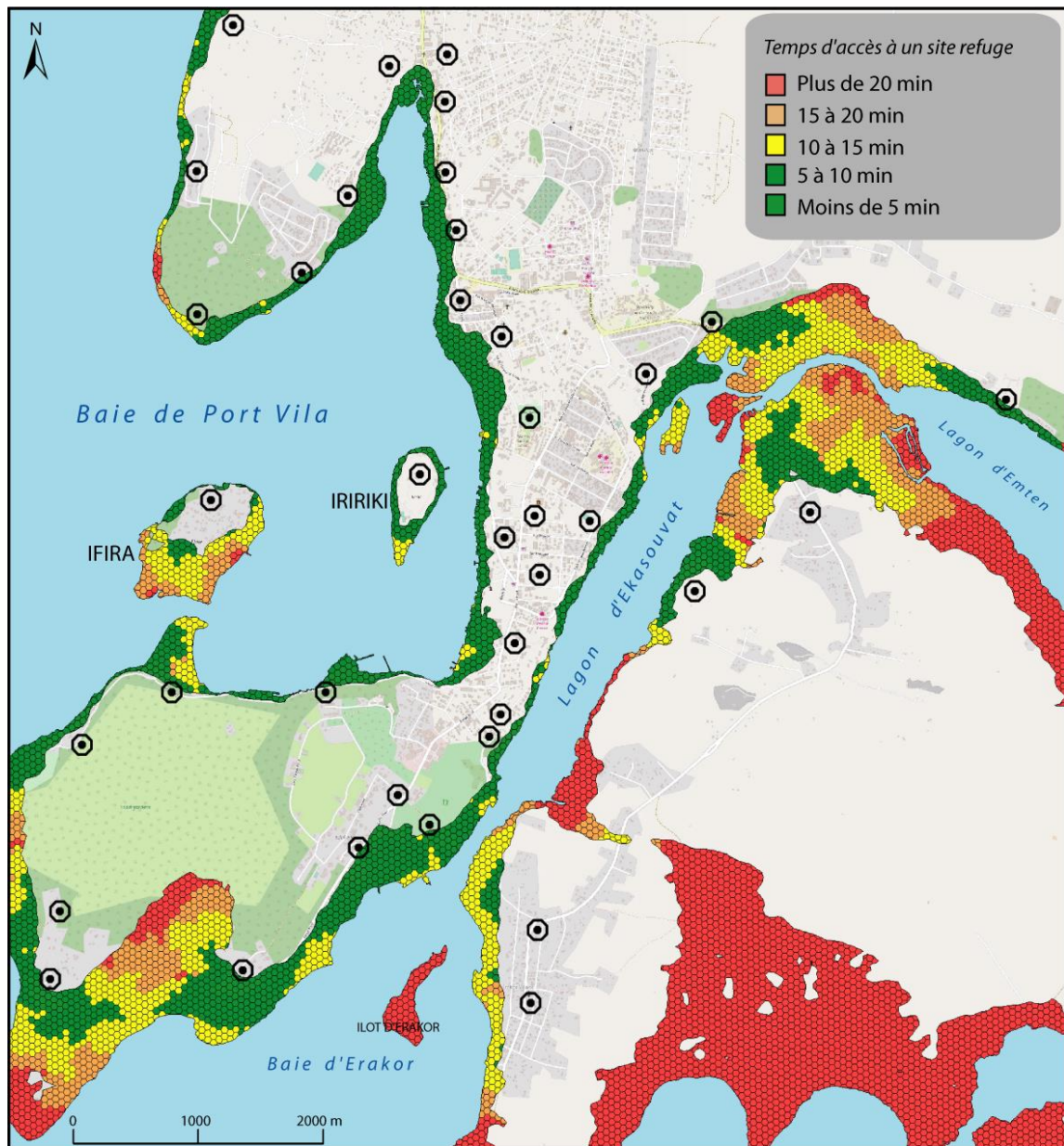
- **Avenue.** Une avenue correspond à un tronçon en bitume ou asphalte d'au moins 13 m de largeur. Parfois ce tronçon peut être divisé en deux voies par un terre-plein central.
- **Rue.** La rue, large de 6 à 13 m est souvent bordée d'un espace pour piétons. Elle constitue une partie importante des types de voies du graphe routier de Port Vila.
- **Ruelle.** Ce type de voie est différent de la rue car sa largeur est comprise entre un et six mètres. Son revêtement est toujours constitué de bitume ou d'asphalte.
- **Sentier.** Il fait référence à un chemin de taille et de revêtement variable de type « naturel » et sans entretien particulier.
- **Plage.** Ce type de voie fait référence aux chemins de sable donnant accès à la plage. Dans le graphe routier, ils connectent la plage avec le reste du réseau.
- **Point de congestion.** Ils correspondent à des rétrécissements brutaux d'un itinéraire d'évacuation (un pont étroit ou un escalier par exemple).

Type de Voie	Largeur	Revêtement	Vitesse de Déplacement (km/h)	Code SIG	Photo Terrain
Avenue	> 13 m	Bitume Asphalte	5,35	1	
Rue	6 à 13 m	Bitume Asphalte	4,94	2	
Ruelle	1 à 6 m	Bitume Asphalte	4,88	3	
Sentier	Variable	Naturel	3,50	4	
Plage	Variable	Sable	3,00	5	
Point de Congestion (escalier, pont)	Variable	Variable	0,50	6	

Figure 14 – Typologie du réseau routier (B.PRADEL, 2017).

L'outil RouteFinder® utilise un algorithme de recherche des plus courts chemins, ici l'algorithme de Dijkstra (1959). Il permet de créer une matrice dans laquelle seront sélectionnés les plus courts chemins depuis la zone à évacuer vers les sites refuges les plus proches (PEROCHE et al., 2014). Selon Leone et al. (2014), le temps d'accès maximal à respecter est de 15 minutes pour 800 mètres de distance. Une cartographie des

temps d'accès a pu être réalisée (figure 15). Cette étape consiste à calculer, pour chaque maille de départ dans la zone de danger, le temps d'accès minimum vers le centroïde du site refuge le plus proche. Une discrétisation spatiale en cinq classes a été ensuite réalisée sur les valeurs de temps d'accès (en minutes).



Source : OpenStreetMap, 2017

Auteur : B.PRADEL, 2017

Figure 15 – Représentation des temps d'accès aux sites refuges par les itinéraires les plus rapides (B.PRADEL, 2017)

Cette carte montre de grands ensembles géographiques. Sur le pourtour de la baie de Port Vila les personnes ont facilement accès à un site refuge en moins de 10 minutes voire en moins de cinq minutes. Les deux sites refuges destinés au village d'Eton sont accessibles en 10 à 15 min. Cependant trois secteurs, Pango (sud-ouest et nord-est), l'îlot d'Ifira, et l'ouest du lagon d'Emten, comportent un temps d'accès au site refuge le plus proche supérieur à 15 voire 20 minutes. Enfin l'ouest de la baie d'Erakor comporte également un manque d'accessibilité majeur. Ces temps d'accès longs peuvent s'expliquer par la faible quantité de réseau routier disponible et donc par la faible concentration d'enjeux. En effet les enjeux se situent principalement

sur les pourtours de la baie de Port Vila, où l'accès à un site refuge peut se faire en moins d'un quart d'heure. En utilisant la relation entre le temps d'accès et le site refuge le plus proche il est possible d'identifier le « champ d'influence, ou bassin d'évacuation » de chaque site refuge. Ce terme fait référence à l'ensemble d'un espace qui sera concerné par un site refuge plutôt qu'un autre en cas d'évacuation. C'est à dire qu'au moment de l'alerte, les individus présents dans cet espace devront évacuer vers le site refuge qui leur correspond. Cette sectorisation des sites refuges est représentée dans la figure 16, par une couleur associant chaque site refuge à son aire d'influence.

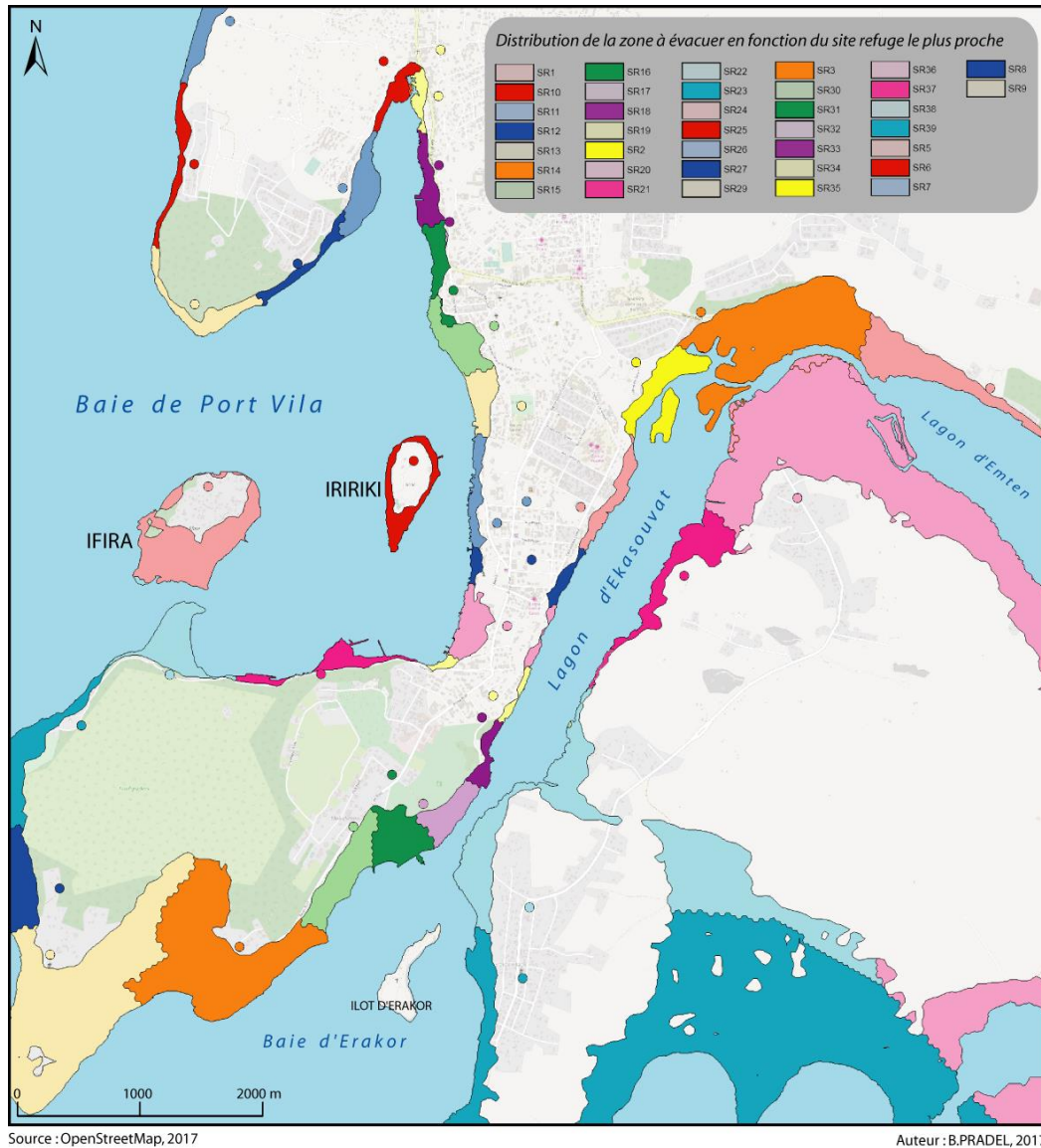


Figure 16 – Distribution des zones à évacuer en fonction du site refuge le plus proche sur le secteur de Port Vila (B.PRADEL, 2017)

Chaque secteur étant assorti d'un site refuge, il est apparu utile de comparer la capacité de celui-ci avec la démographie du secteur qu'il draine. L'absence de données démographiques précises sur Port Vila ne rend pas cette étude possible à l'échelle de toute la zone d'étude. Toutefois une estimation de la fréquentation humaine, à titre exploratoire, a pu être réalisée à l'échelle du centre-ville.

Caractérisation des poches d'enjeux humains en centre-ville

Le centre-ville de Port Vila dépend quasi-exclusivement du tourisme. Toutes les activités sont tournées vers la restauration ou la vente. C'est le secteur qui connaît le plus de fluctuations en termes de fréquentation, souvent par des étrangers faisant de cet espace un enjeu central en cas de crise. Il est l'espace de Port Vila le plus densément peuplé et ses réseaux routiers sont régulièrement congestionnés.

La grande majorité des touristes arrivent par avion d'Océanie, plus de la moitié de la masse touristique est composée d'australien (SIMEONI, 2009). Mais beaucoup de touristes d'un jour venus en paquebots font escale à Port Vila au cours de leur croisière dans le Pacifique. Ils représentent une augmentation importante de la densité de population en centre-ville. 3100 personnes quittent le navire pour visiter le centre-ville de Port Vila (ROYAL CARIBBEAN INTERNATIONAL, 2017). Ces fluctuations sont à prendre en compte dans l'anticipation des évacuations en s'assurant que les sites refuges sélectionnés et le réseau routier soient en mesure d'accueillir tout le flux.

Dans cette étude de fréquentation trois scénarii sont pris en compte :

- **Scénario S1.** Il correspond à la densité maximale de population. En matinée, en semaine ; au moment de l'arrivée du bateau de croisière.
- **Scénario S2.** Il correspond également à la densité de population au cours d'une matinée de semaine mais cette fois sans croisiéristes. Le pic de fréquentation du centre-ville par les Ni-Vanuatais est entre 10h et midi.
- **Scénario S3.** Celui-ci caractérise la fréquentation le soir ou le dimanche (moment et jour où les commerces ferment, le centre-ville devient alors presque désert).



Fiche synthétique : étude de la fréquentation de Port Vila

Phase préliminaire

Observation du terrain et définition des scénarii

- Semaine, avec bateau (S1) ou sans (S2)
- Dimanche et soir (S3)

Relevés de terrain : fréquentation des bâtiments

Proespection à pieds dans chaque bâtiment en S1, S2 et S3
Comptage visuel et relevés sur les dalles de terrain

Relevés de terrain : fréquentation du réseau routier

Estimation du nombre moyen de passagers par véhicule
Survol des axes routiers en drone : comptage du nombre de véhicule

Cartographie et SIG

Attribution à chaque polygone son nombre de personnes
Calcul de densité



Résultats

- Représentation géographique des densités de population en tache de chaleur
- Comparaison entre les trois scénarii
- Définition des espaces les plus fréquentés représentant alors les poches d'enjeux humains



Figure 17 - Méthode d'estimation de la fréquentation du centre-ville

Cartographie des résultats

L'étude de fréquentation permet de comprendre à l'échelle du centre-ville quels sont les enjeux humains exposés au risque de tsunami en fonction de différentes temporalités. Le marché de Port Vila reste l'enjeu central du secteur. Toujours fréquenté (jour et nuit), il accueille les plus grandes densités de population. Dans le cas du scénario S1 l'apport du flux touristique encombre l'axe principal du réseau routier et des ERP au nord. Les scénarios S1 et S2 sont semblables mais les concentrations humaines sont moins importantes dans le second cas. Le troisième scénario représentant la fréquentation en soirée ou le dimanche montre que les hôtels du centre-ville sont fréquentés, ainsi que le marché comme dans les deux cas précédents. La poche d'enjeu humain remarquable et permanente se forme donc autour du marché couvert, lieu symbolique de la ville.

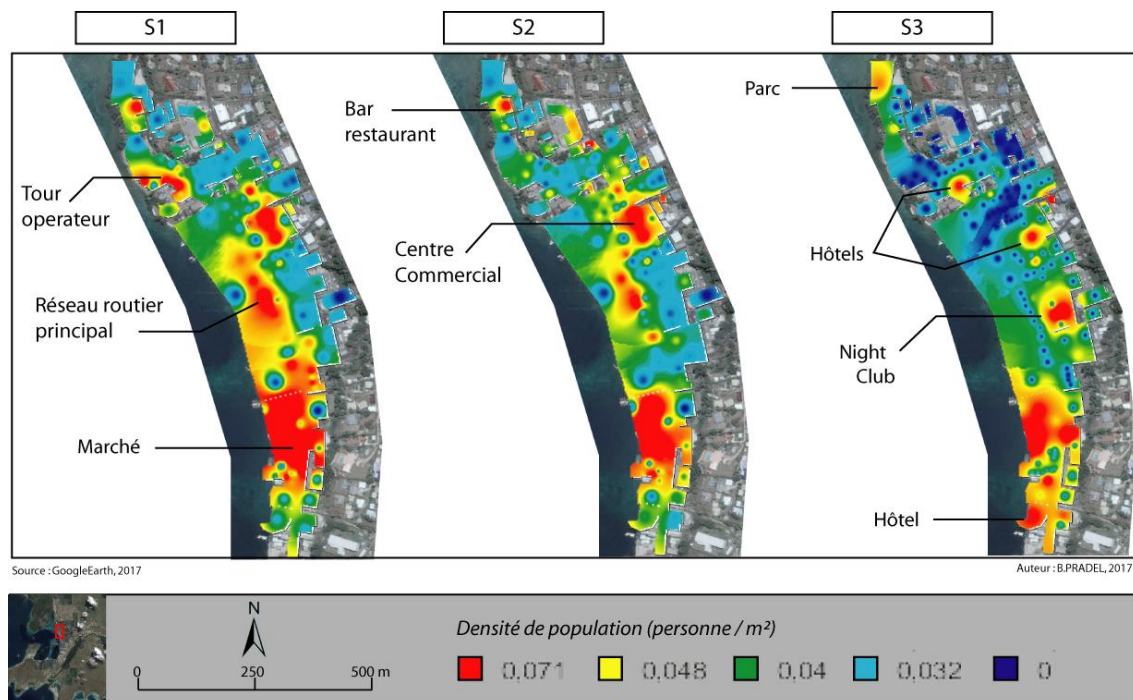


Figure 18 – Modélisation spatiale de la fréquentation humaine du centre-ville de Port Vila (B.PRADEL, 2017)

Proposition d'un plan d'évacuation pour la ville de Port Vila

En suivant la méthodologie et la charte graphique développées par l'UMR GRED sur les Antilles (Projet EXPLOIT), un prototype de plan d'évacuation a été proposé pour Port-Vila en cas d'alerte tsunami (figure 13).



Figure 19 – Plan d'évacuation tsunami pour la ville de Port-Vila

Sur ce plan, la zone jaune, à évacuer, correspond à la zone de danger potentiel. Elle a été délimitée avec le scénario de submersion extrême mais crédible correspondant à un télé-tsunami de 20 m *run-up*. La zone refuge correspond à la zone de mise en sécurité des personnes. Il s'agit de l'ensemble du territoire dont l'altitude est supérieure à 20 m. Elle est représentée par la couleur verte qui symbolise couramment une situation de sécurité (PEROCHE, 2016). Sont également représentés sur ce plan les itinéraires d'évacuation qui correspondent aux parcours optimisés et modélisés en temps de trajet pédestre pour rejoindre le site refuge le plus proche. Ces sites refuges sont les lieux privilégiés pour le rassemblement des personnes en cas d'alerte. Ils ont été principalement choisis pour leur sécurité et pour leur connaissance par la population. Des zooms de cette planification sont disponibles pour assurer une lecture optimisée à l'échelle du quartier.

Balisage d'un itinéraire d'évacuation pour le centre-ville.

C'est à partir de 2008 que l'UNESCO encourage les états membres des différents groupements Intergouvernementaux de Coordination (GIC) à déployer des systèmes d'alerte tsunami sur les littoraux exposés. Cela s'accompagne sur le terrain de panneaux approuvés, aux normes ISO. Il s'agit de trois signalétiques qu'il convient de compléter par des informations supplémentaires comme une flèche de direction, des noms de lieux ou encore des distances à parcourir (KONG, 2009).



Figure 20 – Types de panneaux ISO-normés pour l'affichage de l'aléa tsunami et les évacuations.

Il convient d'adapter cette signalétique au contexte local. Nous proposons à titre d'exemple le balisage d'un itinéraire d'évacuation pour du centre-ville visant à relier le marché de Port Vila à son site refuge de référence, l'Independence Park (figure 21). Cette aspect de notre étude porte un volet opérationnel de planification des évacuations qui permet de renforcer les capacités locales de prévention du risque tsunami.



Figure 21 – Exemple de balisage d’itinéraire d’évacuation avec implantation virtuelle de panneaux (B.PRADEL, 2017)

Confrontation des résultats aux attentes locales

Depuis janvier 2017 la capitale du Vanuatu est déjà équipée de plans d’évacuation. Ils ont été financés par la Banque Mondiale et réalisés par l’agence Néo-Zélandaise GNS Science. Ils ont été développés pour faire face à un tsunami comportant un *run-up* de 35 m (LUKOVIK et al., 2016), soit 15 m de plus que notre hypothèse. Cette hauteur d’eau est issue de l’une de leurs modélisations. Les sites refuges ont été ensuite qualifiés avec une approche participative menée par l’un des membres du VMGD.

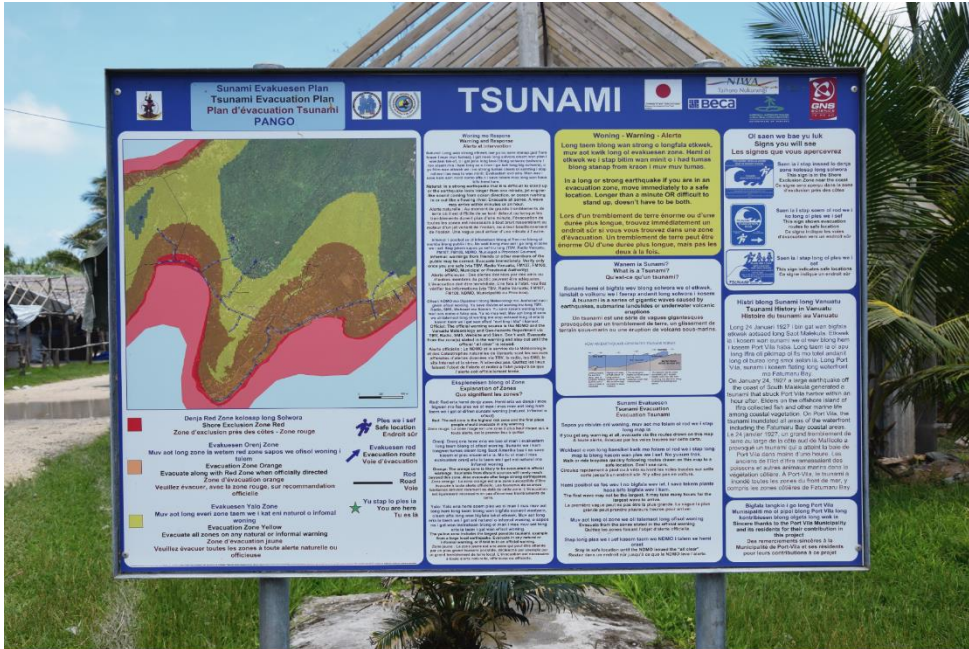


Figure 22 – Extrait du plan d'évacuation existant (crédit photo : F. Leone, 2017)

Aussi, il nous est apparu intéressant de confronter nos hypothèses et résultats avec le plan existant, notamment au moyen des temps disponibles pour évacuer. Pour ce faire les sites refuges existants ont été géo-référencés et un calcul d'accessibilité a été réalisé. Il montre que la majeure partie du littoral de Port Vila peut être évacuée en moins de 15 mn. Cependant le modèle d'inondation de GNS Science ne permet pas de proposer des sites refuges du côté du port ou sur les îlots d'Ifiria et d'Iririki. Les sites refuges proposés au nord d'Erakor par la population ne permettent pas aux habitants situés entre les deux lagons de s'évacuer en moins de 20 mn. Une cartographie des différentiels de temps entre le plan que nous proposons et celui existant a pu être réalisée. Cette cartographie montre que le sud de la baie de Port Vila présente un surcoût de temps d'évacuation de plus de 20 mn d'écart avec notre proposition. Autrement dit, le fait de surestimer les hauteurs de vague d'un futur tsunami dégrade les capacités d'évacuation dans ce secteur.

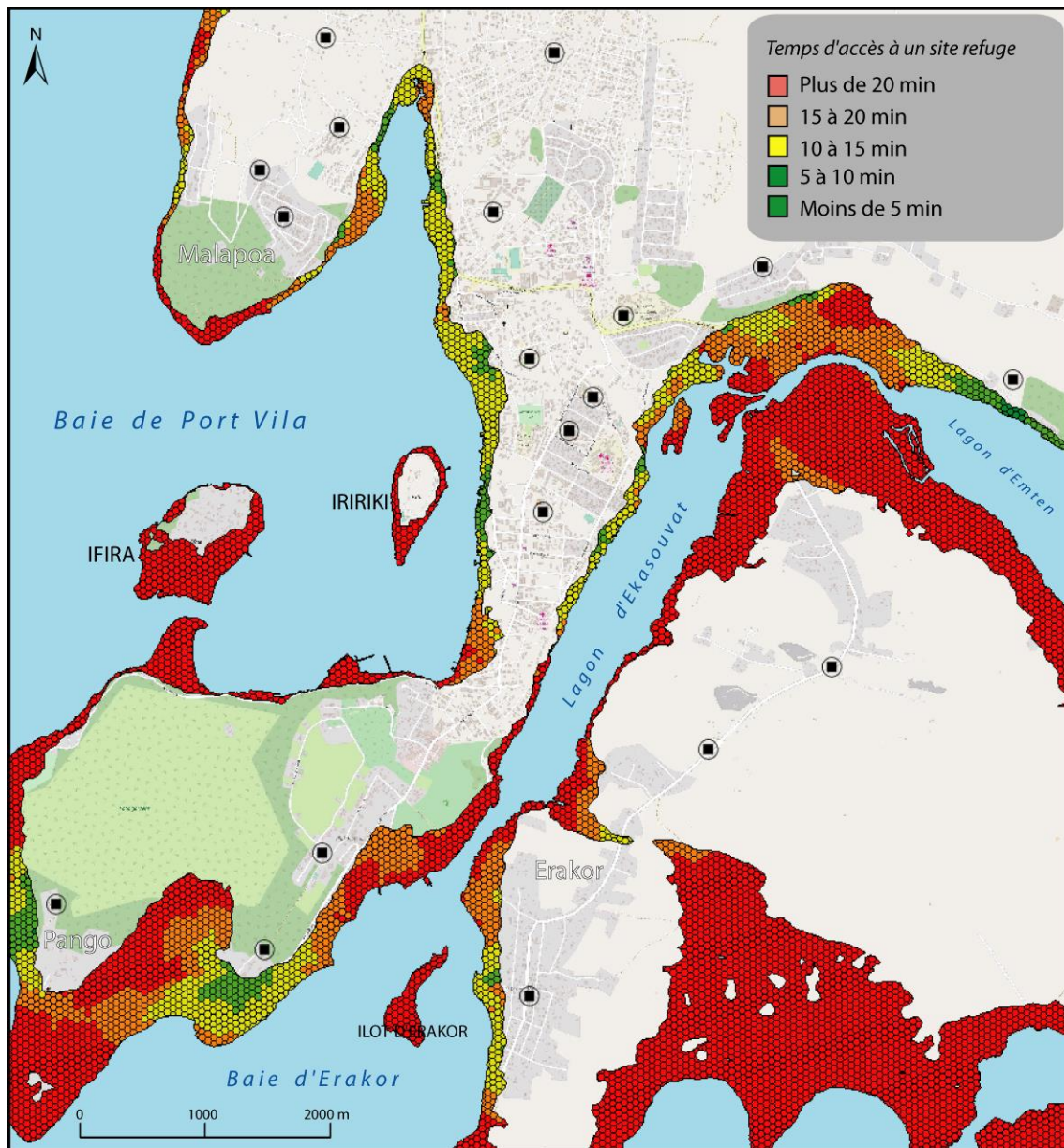


Figure 23 – Accessibilité des zones refuges fournies par le plan existant (B.PRADEL, 2017).

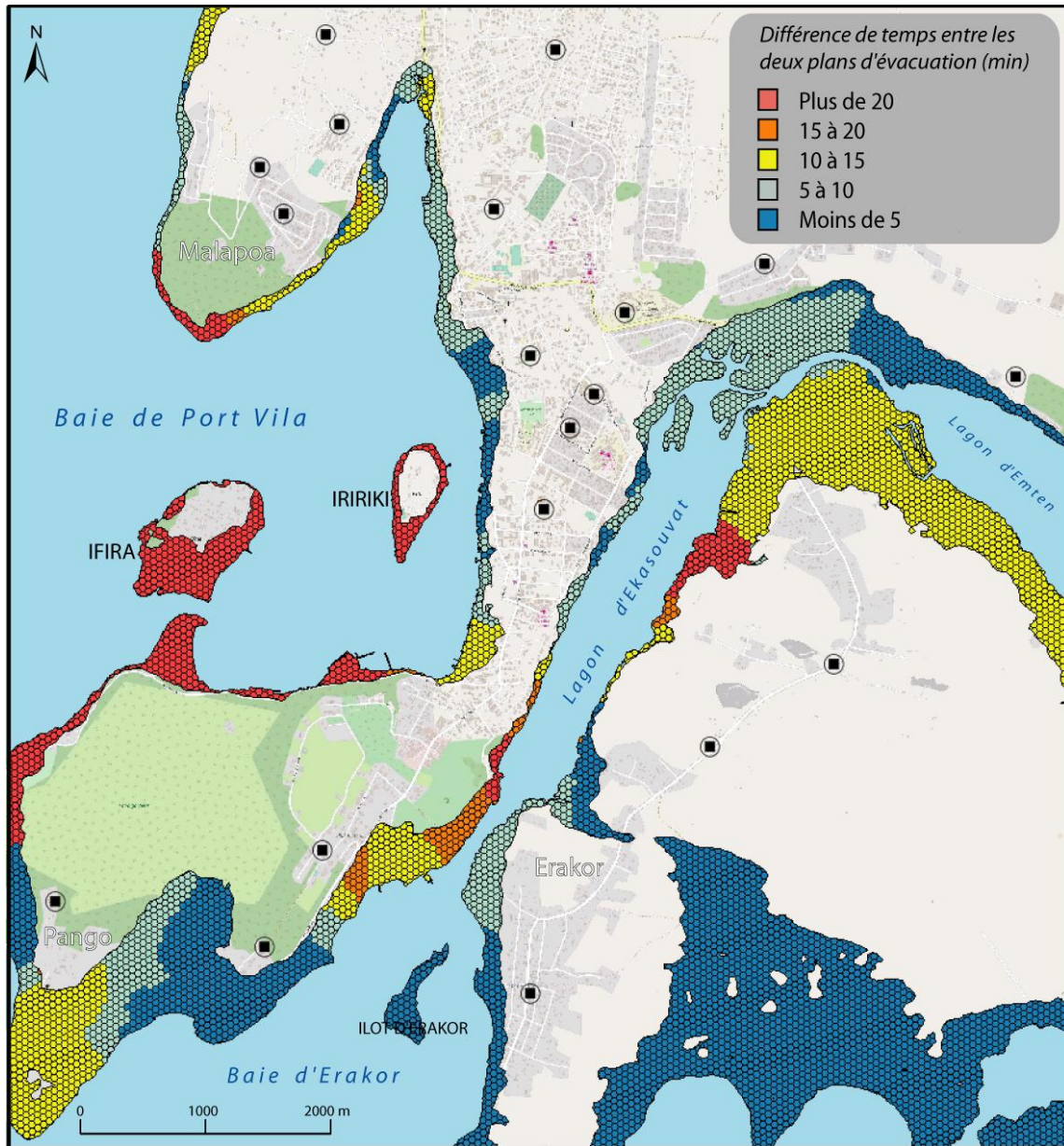


Figure 24 – Différentiel de temps entre les deux plans d'évacuation

Des entretiens avec des habitants ont montré que l'évacuation proposée par les autorités locales ne reposait pas sur des modalités pédestres, ce qui est contraire aux recommandations internationales en la matière. Les habitants sont habitués à fuir en voiture et ce système est même relativement organisé, les chauffeurs de bus prenant les personnes plus vulnérables. Mais le fait de retenir des sites refuges parfois trop éloignés du littoral et d'encourager l'évacuation en véhicule risque de provoquer une congestion rapide du réseau et de perturber le processus.

Toutefois les enquêtes menées sur le terrain montrent que les populations se sentent à 45 % exposées au risque de tsunami. Notre travail semble donc légitime et la méthodologie employée visant à optimiser les itinéraires d'évacuation pédestre montre tout son intérêt pour augmenter la sécurité.

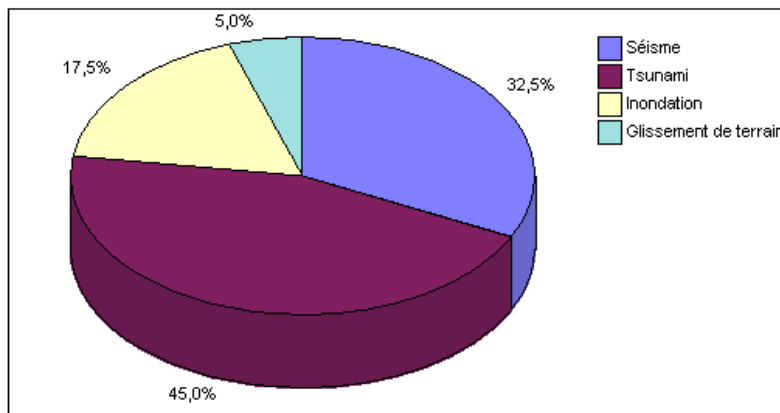
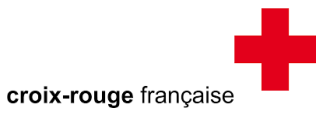


Figure 25 – Sentiment d'exposition à un autre risque que les cyclones

Les populations demeurent très réactives face aux risques et sont compétentes dans l'auto-alerte (chaque séisme important engendre l'éloignement immédiat des populations du littoral). Ceci peut contribuer à affiner la perception du risque et à favoriser l'évacuation pédestre, plus efficace en cas de congestion du réseau routier. Cette étude vient renforcer les capacités locales de prévention du risque tsunami au Vanuatu, dans un contexte où 58 % des personnes interrogées révèlent vouloir être d'avantage informées sur les moyens de réduction des désastres naturels.



Annexes

Annexe 1 – Article publié

LE DÉ L., REY T., LEONE F., DAVID G. (2018) - Sustainable livelihoods and effectiveness of disaster responses: a case study of tropical cyclone Pam in Vanuatu - *Natural Hazards*, <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3174-6>

Sustainable livelihoods and effectiveness of disaster responses: a case study of tropical cyclone Pam in Vanuatu

Loïc Le Dé, Tony Rey, Frederic Leone & David Gilbert

Natural Hazards

Journal of the International Society
for the Prevention and Mitigation of
Natural Hazards

ISSN 0921-030X

Nat Hazards

DOI 10.1007/s11069-018-3174-6



Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by Springer Science+Business Media B.V., part of Springer Nature. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your article, please use the accepted manuscript version for posting on your own website. You may further deposit the accepted manuscript version in any repository, provided it is only made publicly available 12 months after official publication or later and provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link must be accompanied by the following text: "The final publication is available at link.springer.com".

Sustainable livelihoods and effectiveness of disaster responses: a case study of tropical cyclone Pam in Vanuatu

Loïc Le Dé¹ · Tony Rey^{2,3} · Frederic Leone^{2,3} · David Gilbert⁴

Received: 31 October 2016 / Accepted: 8 January 2018
© Springer Science+Business Media B.V., part of Springer Nature 2018

Abstract Category 5 tropical cyclone Pam hit Vanuatu in March 2015, affecting thousands of people. Three months after the event, this study compared the responses from both external aid agencies and the disaster-affected communities to identify convergences, duplications and gaps. The research relies on 13 interviews with aid agencies and eight focus group discussions with participatory activities at local community level. While aid agencies actively responded during and after Pam, local people too responded to the event with strategies based on livelihoods diversification, food security techniques, traditional knowledge and cooperation intra- and inter-communities. The study emphasizes the need for an integrative approach where disaster responses from the top-down integrate that from the bottom-up. Aid agencies should build on the livelihood mechanisms developed at local level so responses and recovery can be more effective, socioculturally acceptable and may lead to sustainable outcomes of disaster risk reduction including climate change adaptation.

Keywords Disaster · Sustainable livelihoods · Rural communities · Local knowledge · Aid agencies · Disaster risk reduction · Climate change adaptation · Small Island Developing States · Pacific region

1 Introduction

The Republic of Vanuatu is an archipelago of 83 islands located in the South Pacific. Categorized as a Small Island Developing State (SIDS), Vanuatu is particularly vulnerable to

✉ Loïc Le Dé
loic.le.de@aut.ac.nz

¹ School of Public Health and Psychosocial Studies, Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand

² Department of Geography, University of Paul Valéry, Montpellier, France

³ UMR GRED, Montpellier, France

⁴ UMR Espace-Dev, IRD (Research Institute for Development), Montpellier, France

natural hazard-related disasters and climate change. Vanuatu is highly exposed to tropical cyclones, tsunamis, volcanic eruptions, earthquakes and floods. From 1990 to 2014, disasters related to tropical cyclones (TCs) accounted for 97.6% of the combined economic losses (UNISDR 2017). Vanuatu is also the worst affected country by the consequences of climate change as share of gross domestic product in the Pacific region (UN-OHRLS 2015). The challenges posed by climate change include more rapid-onset events, such as TCs, flooding and storm surges (Vincent et al. 2011) more intense during El Niño and La Niña (Hoeke et al. 2013), as well as slow-onset hazards, such as the sea-level rise and droughts (Nurse et al. 2014).

Vanuatu shares similar vulnerabilities with many other SIDS, such as lack of infrastructure, weak governance, limited social security system, high levels of relative poverty and colonial history (Connell 2013). Vulnerabilities also include remoteness, lack of financial and technical capacities, dependence on imported goods and international aid, rapid rural–urban migration and loss of culture and knowledge through migration (Briguglio 1995; Lewis 2009; Pelling and Uitto 2001). At the same time, people have lived in Vanuatu for more than 3000 years and similar to most SIDS, its population possesses capacities for addressing disaster risk reduction (DRR) challenges, including climate change adaptation (CCA) (Kelman and West 2009). Examples of capacities and resources include: strong kinship networks, high sense of identity and community, unique cultural heritage, highly diversified livelihoods, strong local knowledge, remittances sent by relatives and extensive experience of dealing with both social and environmental changes (Campbell 2006, 2009; Kelman and West 2009; Lewis and Kelman 2010).

On the 13th of March 2015, Vanuatu was severely hit by category 5 tropical cyclone (TC) Pam. TC Pam brought damaging winds estimated to be 250 km/h with gusts of 320 km/h and subsequent rainfall (OCHA 2015). The disaster affected more than 70% of the country's population of 270,000 and severely affected their livelihoods (GoV 2015). For the first time in its history, the Government of Vanuatu (GoV) issued a generalized appeal for international assistance that led to a huge influx of international aid that the country had never experienced (Barber 2015).

Natural hazard-related disasters are very common in Vanuatu and local communities generally perceive them as normal and expected rather than extraordinary (Galipaud 2002). Historically, local people often used livelihood strategies to cope with recurrent natural hazards. These strategies were based on their skills, local knowledge, values, social relationships and other resources endogenous to them (Campbell 1990, 2006, 2009; Cronin et al. 2004; Walshe and Nunn 2012; Craven 2015). Nowadays, it is recognized that external aid should support the livelihoods of those affected and interventions should fit within their sociocultural contexts (DFID 1999; Scoones 2009). Responses can thus be more effective as they match the needs of those affected and may ultimately lead to sustainable outcomes that address DRR including CCA (Kelman and Mather 2008; Daly et al. 2010; Kelman et al. 2017). This first requires recognizing that local people are generally not passive and weak, but instead often develop livelihood mechanisms to overcome disasters (Furedi 2007). It also necessitates an integrative approach that includes actions from both the top-down and the bottom-up (Gaillard and Mercer 2013), which entails appraising local people's views and priorities on how best to support their livelihoods within the programs developed in the aftermath of such events (Daly and Brassard 2011; Moatty et al. 2017). This differs from the top-down and command and control approach usually adopted during and after disasters, which emphasizes international organizations and national government actions at the detriment of local coping strategies (Hewitt 1983; Oliver-Smith 1990; Wisner et al. 2012; Gaillard and Mercer 2013).

Different studies have critically analysed disaster responses provided by external aid agencies (e.g. Barber 2015; Coate et al. 2006; Kapadia 2014), and many have focused on local people's mechanisms to respond to such events (e.g. Campbell 1990, 2006; Gaillard et al. 2009; Rampengan et al. 2014). However, very few studies have analysed responses from both the top-down and the bottom-up to identify potential convergences and gaps. Focusing on TC Pam that recently hit Vanuatu, the present study is an attempt to address this gap. The next section provides a short review of the literature on livelihoods in the context of disasters, followed by the methodology of this research. Sections 4 and 5 identify the impacts, related responses and needs at the community level. Section 6 then identifies aid responses from external actors. This enables the presented analysis in Sect. 7 of local communities and external aid responses that identifies duplications, gaps and convergences, and discuss effectiveness and sustainability of disaster responses.

2 Livelihoods in the context of disaster

The concept of livelihoods was developed to appraise the complex way in which people make a living and understand the motives and consequences of adopting a particular livelihood strategy (Scoones 1998). Livelihoods refer to people's resources and capacities to meet basic needs and sustain them durably, including in the face of stresses (e.g. seasonality, environmental degradation) and shocks (e.g. disasters related to natural hazards, economic crises) (Chambers and Conway 1992). Livelihoods encompass resources central to coping and recovery that are usually endogenous to local communities, including traditional and local knowledge, social organizations and solidarity networks, skills and technologies (Scoones 2009). Furthermore, "a livelihood is sustainable which can cope with and recover from stress and shocks, maintain or enhance its capabilities and assets, and provide sustainable livelihood opportunities for the next generation" (Chambers and Conway 1992: 6).

Disasters are amplifiers of people's everyday hardships and rather than extraordinary measures taken in the case of rare events, most livelihood strategies developed to overcome disasters relate to resources and assets that are rooted in people's everyday life (Anderson and Woodrow 1989). People's ability to face and recover from disasters also depends on their capacity to access and use resources exogenous to local communities (Watts and Bohle 1993). This might include getting sufficient government support, having access to aid relief and recovery programmes from Non-Governmental Organizations (NGOs), and accessing formal loans and insurance (DFID 1999). Thus, the variable access individuals and communities have to livelihood resources, such as employment, land, health care, credit, savings, social networks, legal rights or external aid makes them more vulnerable or resilient to disasters (Blaikie et al. 1994).

Academics and practitioners increasingly recognize that enhancing the livelihoods of local communities represents the most sustainable way to increase their abilities to overcome the impacts of disasters (Scoones 1998; Twigg 2007). Yet, the different policies and actions carried out in disaster response and recovery have often proved unable to effectively support the livelihoods of those affected (Coate et al. 2006; Kapadia 2014). International organizations and NGOs involved in disaster response generally lack accurate data at the community level, including information on the mechanisms that people implement during and after disasters as well as the reasons why they adopt specific livelihood strategies (Scoones 1998; Ellis 2000). Furthermore, current disaster management practices tend

to emphasize the knowledge and actions of governments and aid agencies, rather than taking into account local people's efforts to overcome disasters (Heijmans 2001; Gaillard and Mercer 2013). Local people are generally perceived as weak and passive "victims" in need of external support in the face of disasters (Furedi 2007). Accordingly, aid agencies often neglect local populations' perceptions, usually making suppositions on their needs and priorities, and failing to integrate them as actors of response and recovery efforts (Heijmans 2009; Daly and Brassard 2011). As a result, aid responses have often failed to address the longer-term livelihood recovery challenges faced by affected people, especially those who are most vulnerable (Bolin and Stanford 1998; Khan et al. 2015). In some cases, aid assistance and recovery programmes have even worsened economic conditions, undermined existing coping mechanisms and created high dependency on external assistance thereby generating conditions for another disaster to happen (Middleton and O'Keefe 1997; Anderson and Woodrow 1989; Campbell 2015).

During and after disasters, individuals and local communities are not passive but instead often display abilities to overcome disasters and/or adapt to changing environments. In SIDS, populations have showed abilities to cope with and adapt to recurrent natural hazards. For example, indigenous people of Tikopia in the Solomon Islands hit by Cyclone Zoe in 2002 survived using traditional housing and shelters (Kelman 2005; Yates and Anderson-Berry 2004). Paulson (1993) explained that after cyclone Ofa hit Samoa in 1990, more than two-thirds of the traditional open houses made with local materials had been completely rebuilt within 5 months, while none of the European-style houses that had been demolished were rebuilt during this timeframe. Likewise, researchers have emphasized the key role played by cooperation systems, kinship and reciprocity in dealing with disasters (Campbell 2006; Mercer et al. 2010; Le Dé et al. 2015). Furthermore, disaster-affected people can have different perceptions of needs and recovery than that of governments and external agencies. For these reasons, it has been acknowledged that strengthening people's livelihoods and achieving sustainable recovery should be considered from the perspectives of those affected and that aid actors should build on disaster response mechanisms that exist at local level (Mercer et al. 2010; Daly and Brassard 2011, Shaw et al. 2011).

Actively including local communities within the needs assessment, response and recovery post-disaster does not mean excluding governments and aid agencies from this process. Rather, effective response and recovery implies an integrative process where resources from outside stakeholders or the top-down (e.g. institutional, economic, technical) are effectively mobilized and amalgamated with that of local communities or the bottom-up (e.g. livelihoods mechanisms, local knowledge) (Wisner et al. 2012). Different authors have shown that effective response and sustainable recovery occurred when actions took into account local capacities within the decision-making process (Oliver-Smith 1990; Schilderman and Lyons 2011). Relevant stakeholders should work together with disaster-affected communities in finding ways to support their actions, ones that are culturally and socially adapted to local contexts and promote DRR, including CCA (Twigg 1999; Shaw et al. 2011; Le Dé 2017). Few authors have also emphasized the need for more accountability from disaster agencies towards aid recipients, which might include people-based delineation of criteria to successful recovery and monitoring of assistance programmes (Twigg 1999; Eyben 2008). This guidance is in opposition with the top-down and centralized approach traditionally adopted in disaster management.

3 Methodology

The present study relies on a mix of semi-structured interviews with key informants and participatory activities with local communities from Tanna Island, Vanuatu. Fieldwork took place mid to end of June 2015. A total of 13 interviews were conducted with key informants involved in the response of TC Pam. Key informants included staff from the GoV (e.g. National Disaster Management Office (NDMO)), local organizations and international NGOs (e.g. Adventist Development and Relief Agency (ADRA), Diocese de Port Vila, Save the Children, Oxfam) and international organizations (e.g. International Organization for Migration, French Red Cross, World Bank). The interviews took place in Port Vila, the capital of Vanuatu, and aimed at understanding the role played by national and international agencies during and after the response to TC Pam.

In order to understand the impacts on and responses of rural communities, participatory activities were carried out with disaster-affected households. Participatory methods and tools have long been used in disaster studies (Chambers 1998), including in the Pacific Islands region (Cronin et al. 2004; Warrick 2009; Kelman et al. 2011). Participatory approaches recognize the legitimacy of local people in being actively involved in the production of knowledge on issues that directly affect them (Cornwall 2011). At the same time, participatory approaches and tools have been criticized (Cooke and Kothari 2001) and their limitations examined when academics do participatory disaster research (Le Dé et al. 2014). Despite such critiques, participatory techniques have often proved successful in producing valuable qualitative (Cronin et al. 2004) and quantitative information (Gailard et al. 2016). These methods enable the integration of perspectives and priorities of local people, including those marginalized and generally excluded from the research process (Chambers 1998). This is essential since local communities are not homogenous entities, but differ in terms of socio-economic level, political power, perceptions and historical background, which are all factors that influence their access to resources and livelihood strategies (Guijt and Shah 1998). The participatory methods used in this study involved a large array of disaster-affected people, including women, youth and those who are illiterate and innumerate. In Vanuatu, these groups generally have less power and experience difficulties with getting their voices heard (Webb 2017). Nonetheless, it is inevitable that some voices are left out and fully representing the views of all the community members is, in practice, a goal impossible to achieve (Cornwall 2011).

Participatory activities involved 60 participants from Imafen and Ehniu, and the sample was gender balanced. These villages are, respectively, composed of 137 and 58 households and located in Tanna Island (Fig. 1). This island has a total population of 21,000 and was an area badly affected by TC Pam. The land system is customary, which implies ownership from local populations over their lands.¹ The economy of rural Vanuatu is based on a mix of subsistence farming and commercial agriculture activities (Sardos et al. 2015). Like most other rural areas in Vanuatu, Tanna Island has very limited infrastructure. Recruitment of the participants was done with the support from the French Red Cross that over the years has built a strong relationship in this area of Vanuatu. The meetings started with an introduction of the research project and the opportunity for participants to ask questions and express their expectations. It was also very important to clearly explain that the research project was conducted by academics who were not affiliated with the French Red

¹ The land and resource tenure system in Vanuatu is complex and the subject of many unresolved problems (for a review see: Jolly, 1992; Bonnemaïson and Penot-Demetry 1994).

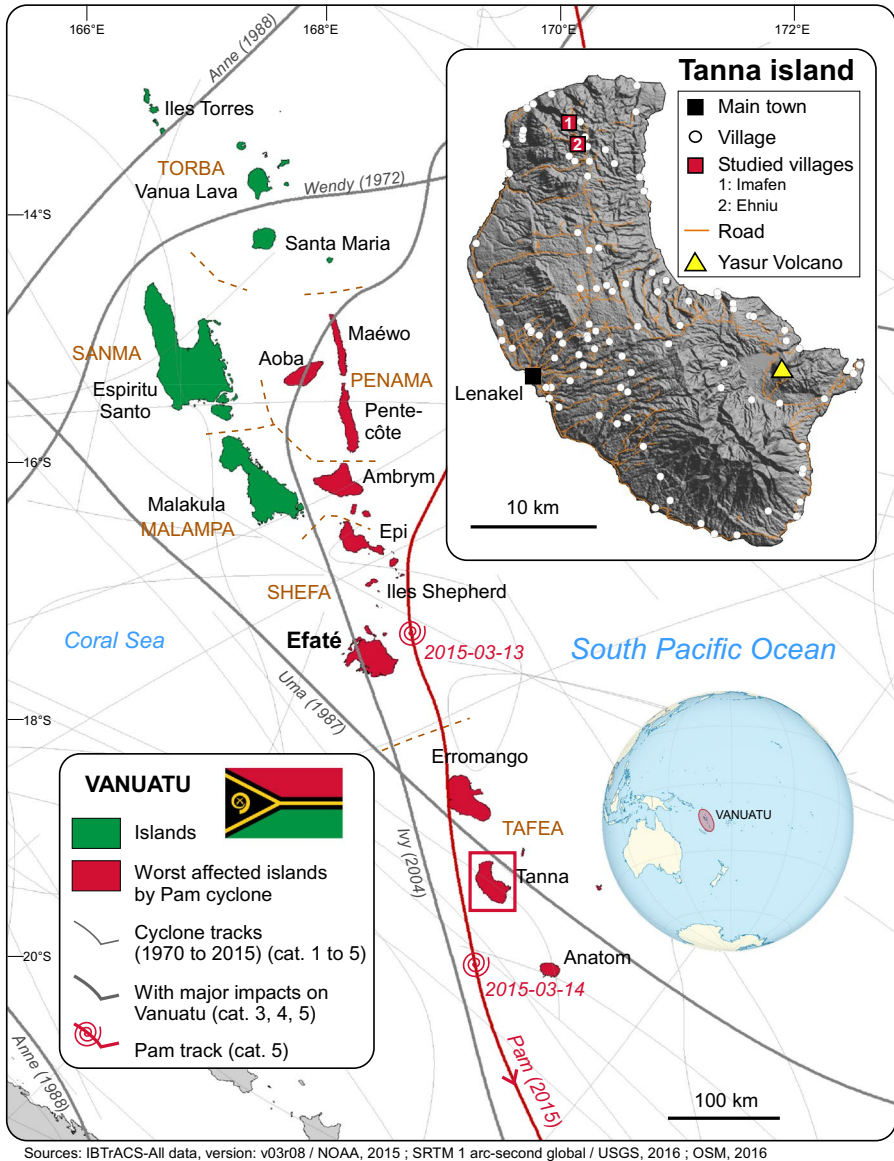


Fig. 1 Study sites. Sources: IBTrACS-All data, version: v03r08/NOAA 2015; SRTM 1 arc-second global/USGS 2016; OSM 2016

Cross. Such aspect was essential in order not to raise expectations, especially in a post-disaster context when external aid can be critical. The participatory activities were conducted in Bislama, the national language and co-facilitated with local villagers.

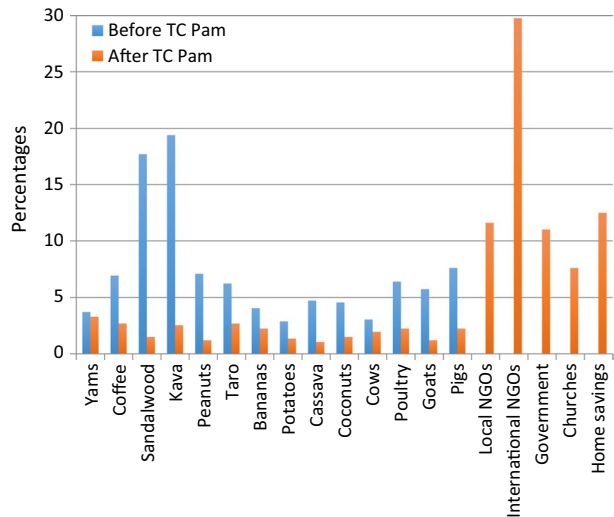
Participatory methods included the wheel of resources, proportional piling and listing. The wheel of resources started with group discussions during which the participants identified resources that they use on a day-to-day basis to make a living. Participants then



Fig. 2 Wheel of resources in Imafen. *Source:* Authors' own photography (24 June 2015)

identified “new” resources that they accessed and mobilized after TC Pam. These resources were written on cards and then placed in a circle (or wheel) drawn on the ground (Fig. 2). This activity was followed by the proportional piling technique. Each participant represented her/his household and was provided with 20 stones to be allocated in function of the importance of each resource for the household. This activity was carried out twice, before and after ($T + 3$ months) TC Pam. After every session, participants explained their choices to the facilitators. This enabled insightful group discussions about TC Pam’s impacts on participants’ livelihoods and access and mobilization of resources to overcome the event. The last activity involved listing and proportional piling. Participants were divided in groups of five to eight and listed their perceived needs for recovery. These were written on cards that were then placed on the ground. Participants were given 40 stones that they allocated in order of their priorities: the more important the recovery needs, the more stones to be allocated. After visual observations and group discussions (e.g. “is this our main need for recovery?”), the stones were re-distributed until a consensus was reached. This activity was followed by discussions about the disaster response, recovery needs, challenges faced and implications in terms of livelihood strategies. For every activity, quantitative information was carefully recorded. Such information was transformed into percentages and presented in the form of charts. The following sections present the results produced by such methods.

Fig. 3 Households' resources before and after (T + 3) TC Pam.
Source: Wheel of resources, Imafen village ($n = 42$)



4 Assessing the impacts of TC Pam on local communities

4.1 TC Pam impacts on livelihood resources and related responses

The first objective was to understand which resources local people used to make a living, both before and after TC Pam. Figure 3 indicates that before TC Pam, households from Imafen mainly relied on farming, which represented 77.2% of their livelihood resources. Kava (19.4%) and sandalwood (17.7%) constitute their main source of income. Furthermore, the results show that villagers rely on a large diversity of crops and fruits as well as farming animals. The participants indicated that four households within the village had members working overseas seasonally and bringing back remittances, but none of them took part in the participatory activity.

Figure 3 demonstrates that 3 months after TC Pam, the impact on farming was still strong, which represented only 19.9% of the households' livelihoods. Kava and sandalwood were considerably affected. Yams remained almost the same (3.3%) as before TC Pam. In turn, coconuts (1.5%) and cassava (1%) decreased considerably compared to before the disaster. Yams have been identified as being quite resistant to cyclones, but in turn Campbell (1990: 16) pointed out in the early 1990s that "growing ascendancy of the cassava and the coconut has serious implications for disaster vulnerability". In the same vein, Paulson (1993) argued that in the Pacific region, reliance on coconut as a cash crop and on cassava have highly contributed to the vulnerability of local communities. Coffee, bananas and peanuts were significantly impacted. Similarly, farming animals become about three times less important in households' livelihoods (from 22.8% before TC Pam to 7.6% afterwards). More specifically, cows (1.9%), poultry (2.2%), goats (1.2%) and pigs (2.2%) reduced considerably since people lost animals in the event or had to consume them to survive.

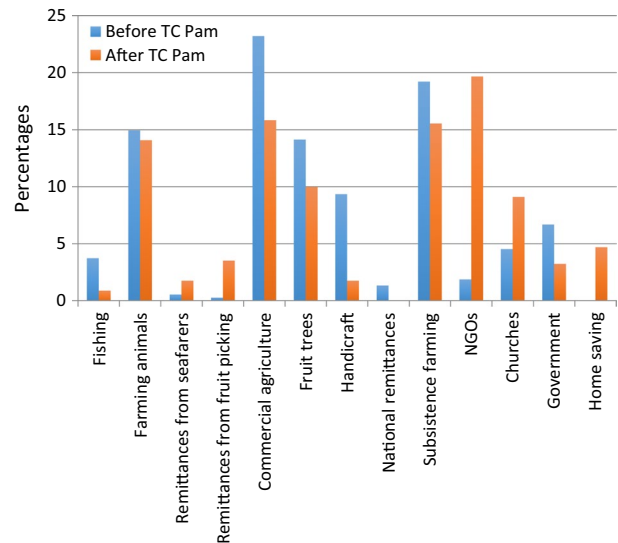
Overall, such information clearly reflects the impact of the cyclone on participants' main resources. External aid and government support appeared to be significant in households' livelihoods. International NGOs were perceived to represent almost a third of people's livelihood resources (29.8%), while local NGOs represented 11.6%, the government 11% and churches 7.6%. People explained receiving food relief, such as rice considered as

Table 1 Crops and fruits grouped in categories

Livelihood resources	Crops and fruits
Fishing	Prawns, fish
Cattle	Pigs, goats, poultry
Commercial agriculture	Coffee, tapac, sandalwood, kava, coconuts
Fruit trees	Coconuts, oranges, grapefruits, namape
Handicraft	Sandalwood
Subsistence farming	Lettuce, peanuts, sugar cane, taro, cassava, kava, cattle, island cabbage, yam

Participants indicated that some crops might appear in two different categories (e.g. excess of products from subsistence farming)

Fig. 4 Households' resources before and after (T + 3) TC Pam. Source: Wheel of livelihood resources, Ehniu village ($n = 18$)



a “luxury” in this part of the world, getting the damaged water system repaired, receiving seeds to restart agricultural production, being provided with tarpaulins and other temporary shelters for school classes to be run, and receiving lamps to replace broken ones. Moreover, the participants used their home savings to overcome the event. They indicated not having access to bank loans, explaining that they did not know how to get such information.

The same activity was carried out in the Ehniu village. The participatory process revealed that the participants’ livelihoods were perceived as much more diversified than in Imafen and that more crops and fruits were grown. Indeed, a decision was made to group them into broader categories defined by the participants themselves (Table 1). This approach was used only in Imafen so the proportional piling, which involved a limited number of stones, could be conducted effectively. Figure 4 indicates that before TC Pam households relied mainly on commercial agriculture (23.2%), subsistence farming (19.2%), farming animals (14.9%) and fruit trees (14.1%).

Following TC Pam, commercial agriculture (15.8%) and handicrafts (1.8%) were perceived to have decreased significantly as a livelihood, since the sandalwood and other tree crops like coconuts were badly affected. Tree crops have generally been developed

in Pacific region with the introduction of the cash economy and are nowadays exported to national and international markets. Yet, such crops are more likely to be affected by cyclones (Paulson 1993; Campbell 2009) in contrast with more traditional crops like yam that are less vulnerable to TCs or volcanic hazards and have a function of food security during disasters (Sardos et al. 2015). Subsistence farming was only slightly impacted and still represented 15.5% of the resources people mobilized post-disaster. Participants explained that they consumed different crops that they normally sell and acknowledged that the crops used for subsistence farming overall resisted better to the cyclone. With 14.1%, farming animals represented an important aspect of people's resources. This was very similar to the pre-disaster situation. Moreover, people indicated receiving less government support after cyclone Pam at only 3.2%. Yet, the focus group (FG) discussion indicated that this information was largely due to the perception that people had of their needs versus the response provided by the central government; according to the participants, government support was only received 1 month after TC Pam and was not enough. In turn, participants indicated that some resources became quite significant, including NGOs (19.6%) and churches' support (9.1%). Finally, international remittances increased quite significantly with 3.5% from fruit picking (generally through the New Zealand Recognized Seasonal Employer (RSE)) and 1.8% from seafarers.

4.2 The central role of social resources and local knowledge

In the aftermath of TC Pam, local people indicated that solidarity systems played a significant role in their response to the disaster. These occurred at different levels. Within families, traditional social security systems were still strong; for example, the elderly generally had support from their children to overcome difficulties linked with the disaster.

Mutual help also took place at the village level; FG discussions revealed that the Community Disaster Committees (CDCs)² supported the most vulnerable people within the village. In short, the CDCs are composed of different representatives (e.g. chiefs, women, elderly, people with disabilities, etc.) that reflect the composition of local communities and give a voice to those identified as being vulnerable. Since June 2014, they have a primary role in disaster preparedness (e.g. identifying local vulnerabilities and capacities, mapping safe areas), response (e.g. carrying out post-disaster assessment) and recovery (e.g. making links between local community and government efforts). In Imafen, people explained that they prioritized the rebuilding of houses for two widows that were women-headed households as they were identified as vulnerable. In Ehnui, the villagers decided to rebuild two houses of elderly households. These decisions reflect the active role of CDCs as well as the social cohesion that exists in rural communities (Webb 2017).

Over time, cooperation also took place amongst the villages. People explained that they were exchanging plant cuttings and seeds to restart agricultural production. Cooperation seemed to also occur between islands, such as the exchange of food, money, seeds and other products between Port Vila and Tanna. Furthermore, cooperation functioned at the transnational level through remittances, which was seen by those affected as a mechanism that could become important within the mid- to long-term recovery phases. These different levels of cooperation have been documented in the existing literature on Vanuatu

² CDCs have been developed from 2011 with the input of CARE and the French Red Cross in collaboration with the National Disaster Management Office (NDMO). They have recently been renamed CDCCCs (Community Disaster and Climate Change Committees).

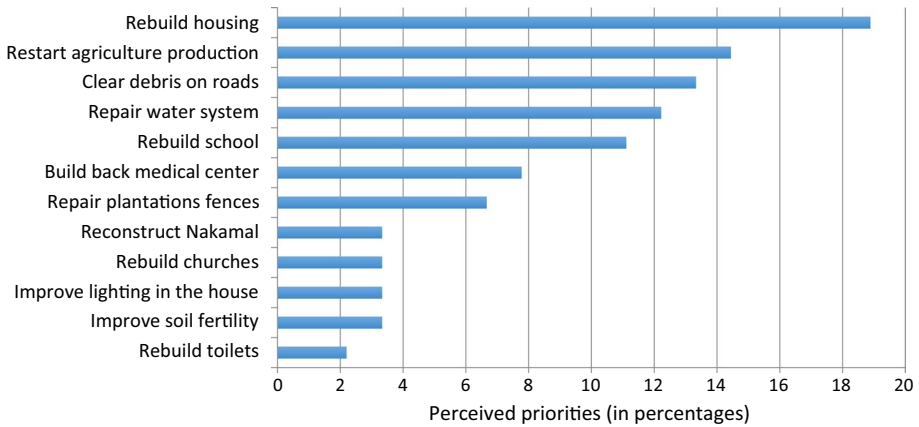


Fig. 5 Recovery needs of local communities. *Source:* Participatory proportional piling (n = 42)

(Bonnemaïson and Penot-Demetry 1994; Campbell 1990, 2006; Walshe and Nunn 2012; Craven 2015). Findings indicate that cooperation still remains strong and critical in local people's ability to respond to disaster.

Other mechanisms included the rebuilding of temporary houses with natural material available on site and the use of traditional designs and techniques, thus reflecting strong traditional knowledge. People also indicated eating non-affected crops that are resilient to TCs and planting fast growing crops, such as cabbage and lettuce. These mechanisms enabled local people to survive and deal with the longer-term challenges faced following the event. These were particularly important since external aid did not arrive immediately in the villages and people had to largely rely on themselves to deal with their basic livelihood needs.

5 Understanding local communities' recovery needs

This research tried to understand the different recovery needs or challenges that disaster-affected households were facing from their own perspectives. The perceived recovery needs were quite similar in the two impacted villages (Fig. 5). Results indicated that the main recovery need was the rebuilding of houses (18.9%). The cyclone destroyed many houses, and people generally rebuilt temporary homes with material available on site. Yet, participants explained that the materials used would only last 1 year, while the materials they commonly utilize last 5–6 years. TC Pam severely impacted the natural materials they use for housing and they would now have to travel very long distances to obtain such materials. This partly explains why clearing debris on roads (13.3%) was pointed out as the third priority. Indeed, some participants explained that it was almost easier to rebuild with metal sheets and nails, which questions if this option would not, in the long-term, contribute to the loss of traditional construction techniques and knowledge. Furthermore, participants highlighted that clearing debris was also important as villagers had to travel long distances to reach unaffected medical centres, exchange seeds and cuttings with neighbouring villages and access natural materials to rebuild their houses that had been affected.

Restarting agricultural production (14.4%) was one of the main concerns of local people. Participants indicated that subsistence and commercial farming was central to their livelihoods and estimated having lost about 80% of their production. They believed that it would take at least 2–3 years to return to normal levels of agricultural production. Furthermore, local people explained that crops, such as kava and sandalwood, which are central to their livelihoods would, respectively, take 4–5 and 15–20 years to regrow and thus represented important challenges in terms of recovery.

Recovery priorities also included repairing the damaged water system (12.2%) and rebuilding the school (11.1%) and the medical centre (7.8%). The participants emphasized that most of the public infrastructure was badly damaged or totally destroyed. Furthermore, repairing plantation fences (6.7%) was identified as one of villagers' priorities. TC Pam had destroyed most of the plantation fences and their cows, pigs and goats could access their plantations, thus damaging the recently replanted crops that would be consumable within about 3 months after being planted (e.g. cabbage, cucumbers, corn). This aspect was taken seriously in Imafen where a village meeting had been held.

Finally, participants emphasized the importance of reconstructing the Nakamal³ (3.3%) as well as the church (3.3%), which demonstrates the social function of these elements in the ni-Vanuatu culture. It is important to indicate that the reconstruction of the Nakamal mainly reflected the view from males since females do not usually have access to them. Participants also noted the issue of lights within houses (3.3%); women generally expressed this concern as they spend time in the "kitchen house" cooking and taking care of the children. Women expressed difficulties with only one light as they could not cook and help their children to do their homework at the same time. Furthermore, participants acknowledged the need to improve the fertility of their soil (3.3%) since their attempts to regrow some of the lost crops were often unsuccessful, and the need to rebuild toilets (2.2%) as community members were often forced to resort to open defecation.

6 Government and external aid response

6.1 Post-disaster needs assessments to inform aid response

On the 15th of March 2015, the GoV declared a State of Emergency. International aid brought humanitarian tools and services into Vanuatu, most of them being new to the country (Barber 2015). Many of the aid agencies had limited knowledge of the local context. A United Nations Disaster Assessment and Coordination (UNDAC) team was implemented for 3 weeks to support the NDMO and the Vanuatu Humanitarian Team (VHT) with assessment, management of information, mobilization of resources as well as civil-military coordination. The NDMO had the responsibility to carry out the needs assessments, which collected crucial information to guide the disaster response and distribution of aid. Two weeks after TC Pam (when telecommunications had been re-established), NDMO was provided by the CDCs with an assessment of the impact of TC Pam. The assessment was either oral (e.g. through radio) or written. The procedure in place implies that CDCs communicate information to the provinces that then transmit it to the NDMO. However,

³ The Nakamal is used in each village for meetings and ceremonies. This place is also utilized for preparing and drinking kava, central to Ni-Vanuatu culture. The Nakamal is often restricted to men.

according to the Humanitarian Action Plan (HAP) report, the NDMO “lacked the depth to advise medium and longer-term planning of humanitarian response and early recovery, prompting the Government to initiate multi-cluster in-depth assessments at the community level” (GoV 2015: 9).

Our findings indicate that eventually members of the HAP (comprised mostly of external aid actors and representatives of foreign governments) ignored the assessment of NDMO and decided to carry out their own needs assessments, thus dismissing the role and responsibilities of the CDCs. NDMO staff explained that there was a misunderstanding between NDMO and the external aid actors. One of the key informants stated “The HAP arrived with helicopters in villages, without informing local chiefs that they were coming. They stayed generally for one hour, would do their assessment and leave”. Two key informants confirmed such information. Another interviewee said that this approach was very problematic since the information based on the HAP assessment was often wrong, thus making difficult to inform the response of aid agencies. For some interviewees who were well established in the country, this top-down approach went against the capacity building efforts done with the CDCs for the past 3 years.

6.2 Disaster response from external aid actors

Following TC Pam, it was estimated that damage or destruction had occurred to 68% of the rainwater harvesting catchment structures, more than 70% of the health facilities, up to 50% of the primary and secondary schools, and about 70–80% of agricultural production (GoV 2015). It was estimated that half the population was in need of food assistance, 40% required drinking water, and about a third required emergency shelter (OCHA 2015). The cluster coordination mechanism, adopted by the NDMO, Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA) and the VHT in 2011, was activated for the disaster response. Despite constraints in logistical access and challenges in terms of information accuracy, food relief was distributed to all affected people (e.g. rice, noodles, tinned fish), emergency provisions of safe drinking water was delivered to more than 21,000 people, 26,000 people had their water supply systems repaired, and an estimated 45,500 people received hygiene and sanitation kits (GoV 2015). Moreover, seeds were sent to rural communities, and the Australian government shipped thousands of agricultural tools to help with the impact of the disaster on agriculture.

Key informants explained that the GoV instigated a number of measures aimed at contributing to local people’s efforts of reconstruction and recovery, including the removal of the 12% Goods and Services Tax (GST) on construction materials during the 3 months that followed TC Pam in order to help with the rebuilding process. People could also claim in advance a part of their retirement pension from the Vanuatu National Provident Fund (VNPF), which is normally received past 55 years old. Furthermore, the Central Bank of Vanuatu removed the interest on bank loans for 3 months following the disaster. However, some of the interviewees were questioning the ability of these policies to reach the most vulnerable, especially those living in rural areas. Moreover, one of the issues raised by most of the key informants was the lack of or inconsistency of information at community level. For many interviewees there was a need to understand people’s livelihoods, but there was a real lack of data at the community level. For example, a key informant explained that in Tanna Island, basic information, such as the name and location of certain villages, to more detailed data, such as the impact of the cyclone on the communities was often missing. Most of the interviewees explained that this was due to a lack of information pre-disaster and conducting an assessment very quickly, thus resulting in inaccurate data. This

knowledge gap was very problematic to inform aid intervention and matching needs in disaster-affected areas.

7 Responses from local communities and aid agencies: identifying convergences, duplications and gaps

TC Pam significantly impacted rural communities. Rather than being passive victims waiting for external help, local communities developed a wide range of mechanisms to deal with the disaster impacts. Coping strategies were based on the combination of high livelihood diversification, strong local knowledge and effective cooperation systems intra- and inter-community that enabled them to deal with their immediate needs. Local communities also demonstrated the capability to undertake, through CDCs, damage assessments and communicate such information to governmental agencies in a timely fashion. However, external aid agencies dismissed such data, prioritizing their own post-disaster needs assessment. This approach had different negative implications. Firstly, the duplication of assessment efforts resulted in a waste of resources, delays in responses and inaccurate data on disaster-impacted communities, thus making it hard for external aid agencies to adequately guide their response and recovery actions. Section 6.2 demonstrates that external aid responses did not always align with local needs. Such finding is consistent with the viewpoint of another researcher who was in Ipao Island during TC Pam (Hazelgrove-Planel 2015).

Secondly, CDCs were initially developed to empower local communities with disaster-related aspects before, during and after such events (Webb 2017). The top-down and command and control approach applied during TC Pam worked against the community-based DRR and CCA efforts initiated pre-disaster. Many of the external agencies that flew to Vanuatu after TC Pam lacked knowledge about both local stakeholders and actions developed before the event (Barber 2015). This was later emphasized in the TC Pam lessons learned workshop that stressed the need to “ensure [that] international teams are aware of the local context and coordination mechanisms” (SPC 2016: 5). Different authors have underscored the importance of involving disaster-affected people in the post-disaster assessment. If well implemented, this approach can be cost-effective, yield accurate data, better address local needs, empowers those affected with the disaster response and speed up the recovery process (Buckle et al. 2003; Pardasani 2006; Daly and Brassard 2011). Yet, such a bottom-up approach is not without difficulties. It requires that local communities feel confident with the assessment tools and are properly trained before disasters. It also implies that international aid agencies are aware and utilize these tools initiated pre-disaster (Moatty et al. 2017).

In the aftermath of TC Pam, relief aid was supplied to disaster-affected people in the form of food (e.g. rice, noodles and tinned fish), repairing the damaged water systems, provision of seeds, building temporary structures for school classes to be held, medical assistance and lamps to replace broken ones. Despite the lack of accurate data on impacted communities, some of these measures clearly addressed local people's immediate needs. For example, repairing water systems was seen as very important for local people to deal with their basic needs. Setting up temporary schools was also quite important as children within affected communities could have their day-to-day life re-established. Medical assistance was also highlighted as very needed, especially since the nearest operational medical centre often implied travelling very long distances. The provision of seeds aligned with

local people's needs for restarting agricultural production. This reflects that while local communities apply a wide range of coping mechanisms post-disaster, thanks to their endogenous livelihood resources, many of the resources required for effective response and recovery depend on actors and forces external to them (Gaillard and Mercer 2013; Christoplos 2006).

Beyond delivering aid that addresses short-term needs, a major task for governments and external agencies is to support locals in ways that do not undermine their existing mechanisms, promotes self-reliance and generates sustainable outcomes (Campbell 2015; Mercer et al. 2010; Christoplos 2006; Smith and Wenger 2007). Academics have argued that relief aid has overall negatively impacted the way isolated groups from the Pacific Island Countries (PICs) cope with natural hazards. For example, Meleisea (1987) explained how in the 1970s tons of tinned fish were sent as food relief to Samoa following a cyclone, which started a heavy reliance on imported food for the local populations.⁴ In the same vein, Thaman et al. (1979) highlighted that in many PICs the cultivation of cyclone-resistant crops, famine foodstuffs and traditional methods of storing food have progressively been lost because of food relief practices. Furthermore, some authors claimed that where centralized or external aid agencies took over aid relief efforts, cooperation amongst communities or between islands has declined (Lewis 1981; Waddell 1983; Bayliss-Smith et al. 1988).

Academics and practitioners have increasingly emphasized the need for interventions to be culturally and socially adapted to local context and practices (Shaw et al. 2011; Schilderman and Lyons 2011; Khan et al. 2015). Furthermore, community-based approaches stress the need to build on local people's mechanisms, skills and knowledge (Marsh 2001; Cronin et al. 2004; Mercer et al. 2007, 2010; Walshe and Nunn 2012). Our study identifies different response gaps where external aid failed to address some needs. For example, it is questionable whether the large distribution of rice and tinned fish, considered as a luxury in this part of Vanuatu, will not have long-term negative effects on food security mechanisms developed at the local level. In addition, findings suggest that for locals, prompt clearing of debris on roads and pathways was a priority as it would have allowed communities to better cooperate (e.g. exchanging plant cuttings and seeds) and provided greater access to natural construction materials to rebuild permanent homes. Moreover, remittances being sent by seafarers and fruit pickers in Australia and New Zealand increased post-TC Pam. Locals saw remittances as a way to recover from the event, but there was to our knowledge no support provided from the top-down to facilitate this livelihood strategy post-disaster.

Finally, our study suggests a number of aspects that external aid agencies should focus on so disaster interventions can be more effective in achieving the goals of DRR, including CCA. The high diversification of livelihoods enabled local people to survive and cope successfully with the event. External aid agencies should support such diversified livelihoods, since it may contribute to people's capacity in dealing with different natural hazards, including cyclones, droughts, volcanic ashes or floods (Scoones 1998, 2009; Kelman and Mather 2008). External aid should also encourage agricultural practices that promote the use of traditional crops resistant to cyclones and other hazards (e.g. yams). These crops play a core role in food security in the face of disasters (Sardos et al. 2015), which contributes to DRR. Lastly, traditional housing construction strategies and knowledge about natural materials proved effective during TC Pam. It enabled local communities to quickly build shelters and not rely on imported construction materials or external help. Responses

⁴ Many argue that this actually started earlier as a result of tinned army rations in World War 2.

from the top-down initiated post-disaster should work on preserving these knowledge, skills and capacities, which does not necessarily preclude the integration of scientific knowledge (Cronin et al. 2004; Mercer et al. 2007, 2010).

8 Concluding remarks

This paper explored the impacts of TC Pam on rural communities from Tanna Island and the related responses from both local people and external aid agencies. The present case study highlighted that, in the face of disasters, local communities are not passive, but rather active to deal with such events. During and after TC Pam local communities implemented different livelihood mechanisms involving knowledge of the local environment, traditional knowledge, and social relationships and cooperation. The paper thus emphasized the need to build on the mechanisms local communities developed to overcome the disaster, arguing that external aid should support cooperation systems at different scales, help preserve traditional housing construction techniques and promote high diversity of livelihoods. These recommendations are in line with the literature on SIDS, which identifies three core areas of focus: food security, inter- and intra-community cooperation and settlements (Mercer et al. 2007; Campbell 1990, 2006, Kelman and West 2009; Le Dé et al. 2015). Such an approach emphasizes that disaster-affected communities should be at the centre of disaster interventions and be given a primary role with the issues that directly affect them (Shaw et al. 2011; Gaillard and Mercer 2013). This may prevent humanitarian interventions from duplicating or overlapping with local communities' efforts to cope with such events. It may also create the conditions for sustainable response and recovery thereby making a link between short-term humanitarian objectives and longer-term developmental objectives (Le Billon 2000; Longley and Maxwell 2003). These recommendations do not only apply to Vanuatu but to SIDS in general that face common specificities and challenges for DRR, including CCA.

Acknowledgements The authors thank the French Institute of Research for Development/Institut de recherche pour le développement (IRD) who funded this research. We also thank the French Red Cross in Vanuatu for their collaboration. We are particularly grateful to David Bridier, Robert Butal and Julien Lambertini for their support on the field.

References

- Anderson M, Woodrow P (1989) *Rising from the ashes: development strategies in times of disasters*. Westview Press, Boulder
- Barber R (2015) One size doesn't fit all: tailoring the international response to the national need following Vanuatu's cyclone Pam. Save the children australia, CARE Australia, Oxfam Australia, and World Vision Australia
- Bayliss-Smith T, Bedford R, Brookfield H, Latham M (1988) *Islands, islanders and the world: the colonial and post-colonial experience in eastern Fiji*. Cambridge University Press, Cambridge
- Blaikie P, Cannon T, Davis I, Wisner B (1994) *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Routledge, London
- Bolin R, Stanford L (1998) The northridge earthquake: community-based approaches to unmet recovery needs. *Disasters* 22(1):21–38
- Bonnemaizon J, Penot-Demetry J (1994) *The tree and the canoe: history and ethnogeography of Tanna*. University of Hawaii Press, Honolulu
- Briguglio L (1995) Small island developing states and their economic vulnerabilities. *World Dev* 23(9):1615–1632

- Buckle P, Marsh G, Smale S (2003) The development of community capacity as applying to disaster management capability. Research project report 14/2002. Emergency Management Australia, Canberra
- Campbell JR (1990) Disasters and development in historical context: tropical cyclone response in the Banks Islands, Northern Vanuatu. *Int J Mass Emerg Disasters* 8:401–424
- Campbell JR (2006) Traditional disaster reduction in Pacific Island communities. GNS Science, Lower Hutt
- Campbell JR (2009) Islandness: vulnerability and resilience in Oceania. *Shima Int J Res Island Cult* 3(1):85–97
- Campbell JR (2015) Development, global change and traditional food security in Pacific Island countries. *Reg Environ Change* 15(7):1313–1324
- Chambers R (1998) Beyond “Whose reality counts?” New methods we now need? *Stud Cult Organ Soc* 4(2):279–301
- Chambers R, Conway G (1992) Sustainable rural livelihoods: practical concepts for the 21st century. IDS discussion paper 296. Institute of Development Studies, University of Sussex, Brighton
- Christoplos I (2006) The elusive ‘window of opportunity’ for risk reduction. ProVention Consortium Forum 2006, 2–3 February 2006, Bangkok, Thailand
- Coate B, Handmer J, Choong W (2006) Taking care of people and communities. Rebuilding livelihoods through NGOs and the informal economy in Southern Thailand. *Disaster Prev Manag Int J* 15(1):135–145
- Connell J (2013) Islands at risk? Environments, economies, and contemporary change. Edward Elgar, Cheltenham
- Cooke B, Kothari U (2001) Participation: the new tyranny?. Zed Books, London
- Cornwall A (2011) The participation reader. Zed Books, London
- Craven LK (2015) Migration-affected change and vulnerability in rural Vanuatu. *Asia Pac Viewp*. <https://doi.org/10.1111/apv.12066>
- Cronin SJ, Gaylord DR, Charley D, Alloway BV, Wallez S, Esau JW (2004) Participatory methods of incorporating scientific with traditional knowledge for volcanic hazard management on Ambae island, Vanuatu. *Bull Volcanol* 66(1):652–668
- Daly P, Brassard C (2011) Aid accountability and participatory approaches in post-disaster housing reconstruction. *Asian J Soc Sci* 39(1):508–533
- Daly M, Poutasi N, Nelson F, Kohlhasse J (2010) Reducing the climate vulnerability of coastal communities in Samoa. *J Int Dev* 22(2):265–281
- DFID (1999) Sustainable livelihoods guidance sheets. DFID Department for International Development, London
- Ellis F (2000) The determinants of rural livelihood diversification in developing countries. *J Agric Econ* 51(2):289–302
- Eyben R (2008) Power, mutual accountability and responsibility in the practice of international aid: a relational approach. In: IDS working paper no. 305
- Furedi F (2007) The changing meaning of disaster. *Area* 39(4):482–489
- Gaillard JC, Mercer J (2013) From knowledge to action Bridging gaps in disaster risk reduction. *Prog Hum Geogr* 37(1):93–114
- Gaillard JC, Maceda EA, Stasiak E, Le Berre I, Espaldon MVO (2009) Sustainable livelihoods and people’s vulnerability in the face of coastal hazards. *J Coast Conserv* 13(2):119–129
- Gaillard JC, Cadag JRD, Hore K, Le Dé L, McSherry A (2016) A typology of participatory numbers. *Dev Pract* 26(8):998–1012
- Galipaud JC (2002) Under the volcano: Ni-Vanuatu and their environment. In: Torrence R, Grattan J (eds) *Natural disasters and cultural change*. Routledge, London, pp 162–171
- Government of Vanuatu (GoV) (2015) Tropical cyclone Pam—humanitarian action plan
- Guijt I, Shah MK (1998) The myth of community: gender issues in participatory development. Intermediate Technology Publications, London
- Hazelgrove-Planel L (2015) Cyclone Pam from the field: adapting to climate change? *Anthropol Today* 31(6):20–21
- Heijmans A (2001) Vulnerability: a matter of perception. In: Disaster management working paper 4/2001. Benfield Greig Hazard Research Centre, London
- Heijmans A (2009) The social life of community-based disaster risk reduction: origins, politics and framing. In: Disaster studies working paper 20. Aon Benfield University College London Hazard Research Centre, London
- Hewitt K (1983) The idea of calamity in a technocratic age. In: Hewitt K (ed) *Interpretations of calamity from the viewpoint of human ecology*. Allen and Unwin, Boston, pp 3–32
- Hoeke RK, McInnes KL, Kruger JC, McNaught TRJ, Hunter JR, Smithers SG (2013) Widespread inundation of Pacific islands triggered by distant-source wind-waves. *Glob Planet Change* 108(1):128–138

- Jolly M (1992) Custom and the way of the land: past and present in Vanuatu and Fiji. *Oceania* 62(4):330–354
- Kapadia K (2014) Sri Lankan livelihoods after the tsunami: searching for entrepreneurs, unveiling relations of power. *Disasters* 39(1):23–50
- Kelman I (2005) Some outlying effects of Cyclone Zoe. In: Jeggle T (ed) *Know risk*. Tudor Rose Publications, Leicester, and UN Secretariat for the International Strategy for Disaster Reduction, Geneva. p 237
- Kelman I, Mather TA (2008) Living with volcanoes: the sustainable livelihoods approach for volcano-related opportunities. *J Volcanol Geoth Res* 172(1):189–198
- Kelman I, West JJ (2009) Climate change and small island developing states: a critical review. *Ecol Environ Anthropol* 5(1):1–16
- Kelman I, Lewis J, Gaillard JC, Mercer J (2011) Participatory action research for dealing with disasters on islands. *Isl Stud J* 6(1):59–86
- Kelman I, Mercer J, Gaillard JC (eds) (2017) *The Routledge handbook of disaster risk reduction including climate change adaptation*. Routledge International Handbooks, Routledge, p 528
- Khan KS, Shanmugaratnam N, Nyborg ILP (2015) Recovering from disasters: a study of livelihoods in post-quake villages in northern Pakistan. *Disasters* 39(2):339–361
- Le Billon P (2000) The political economy of war: what relief agencies need to know. Humanitarian practice network, network paper 33. Overseas Development Institute, London
- Le Dé L (2017) Connecting knowledge and policy for disaster risk reduction including climate change adaptation. In: Kelman I, Mercer J, Gaillard JC (eds) *Routledge handbook of disaster risk reduction and climate change adaptation*. Routledge, London, pp 274–285
- Le Dé L, Gaillard JC, Friesen W (2014) Academics doing participatory disaster research: how participatory is it? *Environ Hazards* 14(1):1–15
- Le Dé L, Gaillard JC, Friesen W, Smith FM (2015) Remittances in the face of disasters: a case study of rural Samoa. *Environ Dev Sustain* 17(3):653–672
- Lewis J (1981) Some perspectives on natural disaster vulnerability in Tonga. *Pac Viewp* 22:145–162
- Lewis J (2009) An island characteristic. *Shima Int J Res Isl Cult* 3(1):3–15
- Lewis J, Kelman I (2010) Places, people and perpetuity: community capacities in ecologies of catastrophe. *ACME Int e-J Crit Geogr* 9(2):191–220
- Longley C, Maxwell D (2003) Livelihoods, chronic conflict and humanitarian response: a synthesis of current practice. In: Working paper 182, Overseas Development Institute, London
- Marsh G (2001) Disaster management and the role of community in the post-modern age. In: Paper presented at the 5th conference of the European Sociological Association. 28 August–1 September. Helsinki, Finland
- Meleisea M (1987) *Lagaga: a short history of Western Samoa*. Institute of Pacific Studies, University of the South Pacific, Suva
- Mercer J, Dominey-Howes D, Kelman I, Lloyd K (2007) The potential for combining indigenous and western knowledge in reducing vulnerability to environmental hazards in small island developing states. *Environ Hazards* 7(4):245–256
- Mercer J, Kelman I, Taranis L, Suchet-Pearson S (2010) Framework for integrating indigenous and scientific knowledge for disaster risk reduction. *Disasters* 34(1):214–239
- Middleton N, O'Keefe P (1997) *Disaster and development: the politics of humanitarian aid*. Pluto Press, London
- Moatty A, Gaillard JC, Vinet F (2017) From disaster to development: challenges and opportunities of the post-disaster recovery. *Ann Geogr* 714(1):169–194
- Nurse L, McLean R, Agard J, Briguglio LP, Duvat V, Pelesikoti N, Tompkins E, Webb A (2014) Small islands. *Climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability*. Part B: regional aspects, contribution of working group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, pp 1613–1654
- Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (2015) *Flash appeal emergency response plan for Vanuatu, tropical cyclone Pam, March–June 2015*
- Office of the High Representative for the Least Developed Countries, Landlocked Developing Countries and Small Island Developing States (UN-OHRLLS) (2015) *Small Island Developing States in numbers: climate change edition 2015*. UN-OHRLLS
- Oliver-Smith A (1990) Post-disaster housing reconstruction and social inequality: a challenge to policy and practice. *Disasters* 14(1):7–19
- Pardasani M (2006) Tsunami reconstruction and redevelopment in the Maldives. *Disaster Prev Manag Int J* 15(1):79–91
- Paulson DD (1993) Hurricane hazard in Western Samoa. *Geogr Rev* 83(1):43–53

- Pelling M, Uitto JI (2001) Small island developing states: natural disaster vulnerability and global change. *Environ Hazards* 3(2):49–62
- Rampengan MMF, Boedhihartono A, Law L, Gaillard JC, Sayer J (2014) Capacities in facing natural hazards: a small island perspective. *Int J Disaster Risk Sci* 5(1):247–264
- Sardos J, Muller S, Duval MF, Noyer JL, Lebot V (2015) Root crops diversity and agricultural resilience: a case study of traditional agrosystems in Vanuatu (Oceania). *Agric Hum Values*. <https://doi.org/10.1007/s10460-015-9657-0>
- Schilderman T, Lyons M (2011) Resilient dwellings or resilient people? Towards people-centred reconstruction. *Environ Hazards* 10:218–231
- Scoones I (1998) Sustainable rural livelihoods: a framework for analysis. In: IDS working paper 72. Institute for Development Studies, Brighton
- Scoones I (2009) Livelihoods perspectives and rural development. *J Peasant Stud* 36(1):171–196
- Shaw R, Ishiwatari M, Arnold M (2011) Community-based disaster risk management. The World Bank, Washington
- Smith GP, Wenger D (2007) Sustainable disaster recovery: operationalizing an existing agenda. In: Rodríguez H, Quarantelli EL, Dynes RR (eds) *Handbook of disaster research*. Springer, New York, pp 234–257
- SPC (2016) Tropical cyclone Pam lessons learned workshop report June 2015. SPC Pacific Community, Suva, Fiji
- Thaman RR, Meleisea M, Makasiale J (1979) Agricultural diversity and traditional knowledge as insurance against natural disasters. In: Annex 10 in *Natural disaster prevention, preparedness and rehabilitation meeting*, South Pacific Bureau for Economic Cooperation, 26–30 November 1979, Suva
- Twigg J (1999) The age of accountability? Future community involvement in disaster reduction. *Aust J Emerg Manag* 14(4):51–58
- Twigg J (2007) Characteristics of a disaster-resilient community: a guidance note, version 1. UK Department for International Development's Disaster Risk Reduction Inter-agency Coordination Group, London
- UNISDR (2017) Vanuatu disaster and risk profile: basic country statistics and indicators. Preventionweb managed by UNISDR. <http://www.preventionweb.net/countries/vut/data/>
- Vincent E, Lengaigne M, Menkes C, Jourdain N, Marchesiello P, Madec G (2011) Interannual variability of the South Pacific Convergence Zone and implications for tropical cyclone genesis. *Clim Dyn* 36(1):1881–1896
- Waddell E (1983) Coping with frosts, governments and disaster experts: some reflections based on a New Guinea experience and a perusal of the relevant literature. In: Hewitt K (ed) *Interpretations of calamity: from the viewpoint of human ecology*. Allen & Unwin, Boston, pp 231–262
- Walshe RA, Nunn PD (2012) Integration of indigenous knowledge and disaster risk reduction: a case study from Baie Martelli, Pentecost Island, Vanuatu. *Int J Disaster Risk Sci* 3(4):185–194
- Warrick O (2009) Ethics and methods in research for community-based adaptation: reflections from rural Vanuatu. *Particip Learn Action* 60:76–87
- Watts MJ, Bohle HG (1993) The space of vulnerability: the causal structure of hunger and famine. *Prog Hum Geogr* 17(1):43–67
- Webb J (2017) Does gender responsive disaster risk reduction make a difference? A comparative study of category five tropical cyclone Pam in Vanuatu. Care International in Vanuatu, Port Vila. Retrieved from https://www.care.org.au/wp-content/uploads/2017/04/CARE_Vanuatu_DRR_Impact_Study_3_FINAL_web_amend.pdf
- Wisner B, Gaillard JC, Kelman I (eds) (2012) *Handbook of hazards and disaster risk reduction*. Routledge, London
- Yates L, Anderson-Berry L (2004) The societal and environmental impacts of Cyclone Zoe and the effectiveness of the tropical cyclone warning systems in Tikopia and Anuta, Solomon Islands, 26–29 December 2002. *Aust J Emerg Manag* 19(1):16–20

Annexe 2 – Plan du mémoire de Manon Garcia

Garcia Manon (2017) - *Dans le sillage du cyclone PAM. Quand la catastrophe fait quotidien au Vanuatu* - sous la direction de E. Wittersheim et C. Sabinot. Mémoire de Master 2 *Etude comparative du développement*, EHESS.

CHAPITRE 1 – VIVRE LA CATASTROPHE.....	23
I – Anthropologie et catastrophe : une alliance impossible ?	24
<i>A – Nommer l'événement</i>	<i>24</i>
<i>B – Un panorama des recherches sur la catastrophe</i>	<i>27</i>
<i>C – Événement, évènementialité et catastrophe</i>	<i>29</i>
II – Raconter le cyclone : le temps de l'action.....	32
<i>A – Vivre avec, quelle relation aux catastrophes ?</i>	<i>32</i>
<i>B – La parole à l'enquêté : que s'est-il passé ?</i>	<i>33</i>
<i>C – Mesurer l'événement</i>	<i>44</i>
1 – La comparaison : cyclone Betsy (1992), cyclone Uma (1987)	44
2 – Compter les dégâts pour dresser un bilan	48
III – Anticiper l'événement.....	51
<i>A – Quelle place pour la kastom ?</i>	<i>51</i>
<i>B – Quelques changements dans les pratiques.....</i>	<i>53</i>
<i>C – Les alertes</i>	<i>57</i>
1 – La chaleur et les fruits : des alertes connues par tous.....	57
2 – La radio.....	58
3 – Les vents.....	59
4 – Le serpent	60
CHAPITRE 2 – HABITER LE LITTORAL.....	62
Introduction	63
I – Une histoire de l' « habiter »	65
<i>A – Questionner les raisons de l'installation sur la « menland »</i>	<i>65</i>
1 – L'attrait de la ville.....	65
2 – L'eau	67
<i>B – Décolonisation et création d'un nouveau village : la (re)naissance de Takara</i>	<i>68</i>
1 – Un territoire disponible.....	68
2 – Un sujet sensible.....	73
3 – L'histoire coutumière de Takara et ses variantes.....	75
II – Dynamiques spatiales et architecturales au travers des cyclones	79
<i>A – Se déplacer</i>	<i>79</i>
<i>B – Construire une « bonne maison »</i>	<i>82</i>
<i>C – Inégaux face au cyclone ?</i>	<i>88</i>
CHAPITRE 3 - SPATIALISER LA CATASTROPHE	92
Introduction	93

I – Un rapport fluctuant à l’espace littoral.....	94
<i>A – Remettre en question l’insularité.....</i>	<i>94</i>
1 – Une ouverture sur le monde.....	94
2 – Éloge du mouvement comme territorialité.....	95
3 – Le littoral.....	96
4 – La mangrove.....	101
<i>B – La mer : entre craintes et bienfaits.....</i>	<i>104</i>
1 – « Si tu devais décrire ton village à quelqu’un qui n’est jamais venu ici, que lui dirais-tu ? ».....	104
2 – Le double sens de « Klinim ».....	106
II – Usages de la mer en contexte post-cyclonique: une pluralité de pratiques.....	109
<i>A – Observation de la pêche : quelle place pour une jeune chercheuse ?.....</i>	<i>109</i>
<i>B – La place du secteur halieutique en temps « normal ».....</i>	<i>112</i>
<i>C – La place du secteur halieutique après le cyclone.....</i>	<i>115</i>
CHAPITRE 4 : URGENCE ET DÉVELOPPEMENT APRÈS LA CATASTROPHE.....	121
Introduction.....	122
I – Le temps de l’urgence.....	123
<i>A – L’organisation de l’aide humanitaire.....</i>	<i>125</i>
1 – Gouvernement et ONG : une coordination.....	125
2 – Une répartition inégale de l’aide.....	128
3 – L’exemple de Nguna.....	129
<i>B – Usages des dons : des stratégies variées.....</i>	<i>131</i>
1 – La revente.....	132
2 – La résolution des conflits.....	133
3 – « Faire l’histoire ».....	135
II – De l’urgence au développement.....	138
<i>A – Vulnérabilité et résilience : quelles significations pour ces notions « valises » ?.....</i>	<i>138</i>
1 – Contextualiser les concepts de résilience et de vulnérabilité.....	138
2 – Un contenu sémantique flou.....	140
2 – La vulnérabilité comme élément de spectacle : l’usage de la photographie.....	142
<i>B – Le cas d’Oxfam à Nguna.....</i>	<i>143</i>
III – La catastrophe au quotidien : le cas de la sécheresse.....	147
<i>A – L’eau : un marqueur spatio-temporel du quotidien.....</i>	<i>147</i>
1 – La place de l’eau dans l’espace-temps du village.....	147
2 – Se positionner en tant que femme sur le terrain.....	151
3 – Un objet au centre du collectif.....	152
<i>B – La sécheresse, dans la continuité du cyclone Pam ?.....</i>	<i>156</i>
<i>C – Quelques cadres d’interprétation de la sécheresse et du cyclone.....</i>	<i>158</i>
1 – Le registre du divin.....	158
2 – Origines anthropiques.....	159
3 – Le changement climatique.....	159

Annexe 3 – Résumé de la communication de M. Garcia et C. Sabinot

Colloque ICEF le 17 avril 2018 et présentée au 7th International Conference on Environmental Future Humans and Island Environments, session 16: How is climate affecting patterns of island migration?

« Local knowledge and gender issues in Vanuatu: thinking the cyclone Pam through the dynamics of economic migration »

***Résumé :** New bilateral programs have strengthened economic migration between Vanuatu and New-Zealand (the “Recognised Seasonal Employer” program) and between Vanuatu and Australia (the “Seasonal Worker Programme”), since 2008 / 2009. These programs lead almost exclusively male Vanuatu inhabitants (Ni-Vanuatu) to work there for a period of up to seven months. This should be viewed in a context of work force scarcity in the horticultural and wine industries, combined with the pacific islands’ wishes to join the labor market. However, this migration has taken a new dimension when cyclone Pam, a category 5 system on the Saffir-Simpson scale, hit the archipelago in March 2015. On the North-East of Efate Island, surprisingly, the cyclone didn't restrain the men's migration. To some extent, it encouraged it. This talk will focus on the aftermath of those departures which has included leaving a part of the village reconstruction unfinished, as well as creative an excessive workload for women (gardening work, house and water management). Furthermore, we will discuss the use of the money earned during those months abroad. During this time, the spending of money has evolved in various ways, from daily survival necessities for some, to ways of reaching new standards of living for others. Moreover, we will question the way cyclone Pam has (re)activated the desire to build a “good house” (gudfala haos), a shift in perception regarding building materials and the transmission of local knowledge. Finally, we will clarify how migration, local knowledge, and social space have been modified by this particular event; creating new inequalities.*

Annexe 4 – Article publié

Rey T., Le Dé L., Leone F., David G. (2017) - Leçons tirées du cyclone Pam au Vanuatu (Mélanésie) : aléas côtiers, crues éclair et dommages - *Géomorphologie : relief, processus, environnement* [En ligne], URL : <http://geomorphologie.revues.org/11842>.

Annexe 5 – Article publié

Rey T., Le De L., Leone F., Gilbert D. (2017) - An integrative approach to understand vulnerability and resilience post-disaster: the 2015 cyclone Pam in urban Vanuatu as case study - *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, Vol. 26 Issue: 3, doi: 10.1108/DPM-07-2016-0137

Annexe 6 - Poster scientifique présenté lors du colloque Géorisque 2018 (23 janvier, Montpellier)

Identifier les vulnérabilités et les capacités de résilience sociétale et environnementale par un RETEX sur le long terme

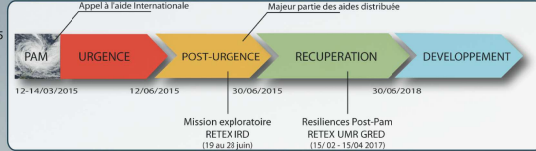
PRADEL Benjamin¹, REY Tony¹, DEFOSSEZ Stéphanie¹, GHERARDI Monique¹, LE DÉ Loïc², LEONE Frédéric¹
¹ UMR GREDD | IIRD & Université Paul-Valéry Montpellier III ² Auckland University of Technology, Faculty of Health and Environmental Sciences

Le cyclone PAM : une crise majeure pour l'archipel

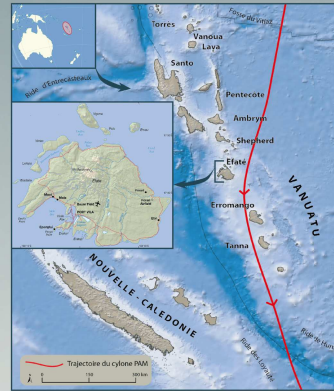
Le cyclone PAM frappe l'archipel du Vanuatu en mars 2015. Les vents dont les vitesses sont estimées à plus de 250 km/h s'accompagnent de pluies violentes et de houles cycloniques, responsables d'inondations et de submersions marines. Au total, plus des deux tiers de la population ont été affectés par le phénomène. Ce cyclone de catégorie 5 dévaste notamment l'île capitale d'Efaté, où 6 personnes y trouvent la mort. Afin de comprendre les mécanismes et processus d'endommagement ainsi que l'intensité des dommages, un RETEX a été mené deux mois après cet événement de haute énergie. Une fois les conséquences évaluées, le RETEX¹ a vocation à assurer un suivi de la résilience des sociétés et des territoires. Deux ans² après le passage du cyclone PAM, le RETEX s'est poursuivi afin de suivre les étapes de la reconstruction et d'identifier, a posteriori, les vulnérabilités structurelles et humaines ainsi que la perception sociale des risques.

¹ LEONE F., REY T., LE D. L., GILBERT D., 2015
² PRADEL B., LEONE F., REY T., DEFOSSEZ S., GHERARDI M., LE D. L., 2017

Figure 1. Positionnement des RETEX au sein du passage officiel de la crise post-Pam



Le Vanuatu : un territoire sensible aux aléas naturels



Composé de 83 îles et îlots sur près de 1000 km de nord au sud, cet archipel formant un arc volcanique se situe dans la partie méridionale de la Mélanésie. L'activité tectonique intense engendrant un fort potentiel tsunamigène et la difficulté de prévision du risque cyclonique suite à la proximité immédiate de l'archipel avec la zone de cyclogénèse (parfois à cheval sur les îles du nord) rendent le Vanuatu très exposé face aux risques littoraux. Il est frappé par une dépression tropicale ou un cyclone en moyenne une fois par an. Près de 240 000 habitants peuplent le Vanuatu dont plus de 60 000 résident sur l'île d'Efaté, principalement dans sa capitale Port Vila (58 369 habitants en 2008) dont l'économie repose sur les activités liées au tourisme. La concentration des populations, des activités et de l'urbanisation sur cette île la rend particulièrement vulnérable.

▲ Figure 2. Localisation du Vanuatu et aperçu de la trajectoire du cyclone de catégorie 5 « PAM »

Caractérisation des impacts cycloniques

La reconstitution de l'événement s'est fondée sur une approche géomorphologique et hydrodynamique combinée à des témoignages de sinistrés donnant un constat de l'évolution des côtes ainsi que l'emprise spatiale de la submersion et les niveaux de run-up. Les données d'aléa font émerger les repercussions (dommages) sur les activités anthropiques vérifiées grâce aux témoignages des populations. Cette approche s'inscrit dans une dimension spatio-temporelle, notamment grâce à des analyses diachroniques déterminantes.



Sur le littoral d'Efaté, de nombreux complexes touristiques ont été endommagés suite au passage de l'onde de tempête provoquée par le cyclone PAM.

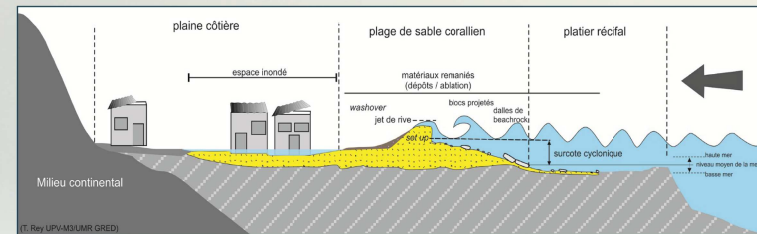
▲ Figure 3. Visuel ante et post cyclone PAM

L'observation de débris de ponce, végétaux et sable coquillé (tempestites) sur le haut de plage et l'arrière plage caractérise les hauteurs de vagues, l'intensité et l'extension spatiale de la submersion marine.



1. Submersion marine ; 2. Dépôts de vague de haute énergie ; 3. Plage de sables coralliens ; 4. Cinématique des courants ; 5. Digue de front de mer endommagée ; 6. Ligne de déferlement des vagues cycloniques.

▲ Figure 4. Reconstitution des effets du cyclone dans la baie d'Erakor

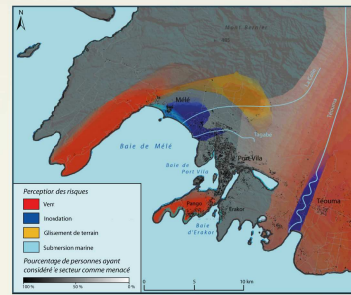


▲ Figure 5. Surcote cyclonique, inondation et changements côtiers sur l'île d'Efaté ▲

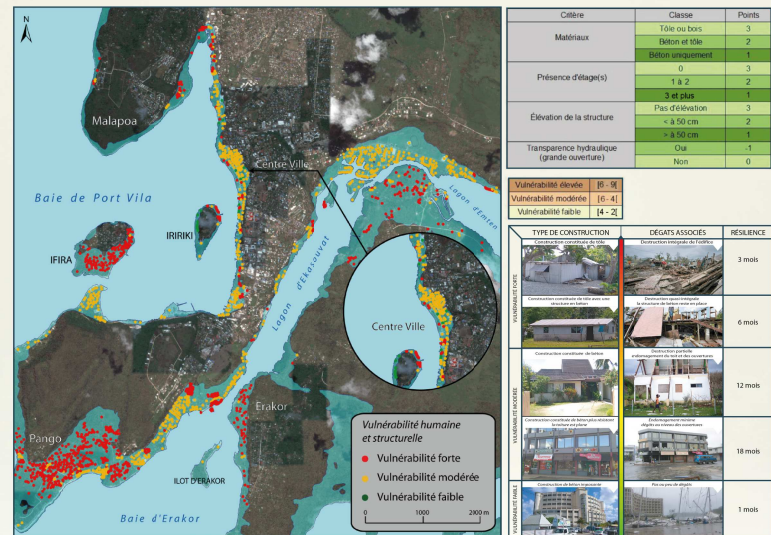
Évaluation de la vulnérabilité structurelle et humaine

L'approche d'évaluation de vulnérabilités repose sur la conception d'un indice de vulnérabilité structurelle et humaine (figure 7) en identifiant, à partir des dégâts certains points sensibles du bâti. Cet indice permet l'évaluation de chaque bâti avec les mêmes critères dans l'optique d'une comparaison et d'une quantification de leur niveau propre de vulnérabilité. Des enquêtes et entretiens complètent cette phase de terrain et visent à évaluer la perception des risques et à comprendre les processus et la temporalité de la résilience.

La comparaison entre les risques perçus et les conséquences du cyclone apprises au cours du RETEX ou encore via la modélisation d'aléas, semble cohérente. La perception sociale des risques présente une très grande cohérence d'un individu à l'autre. Même si l'extension spatiale des phénomènes n'est pas toujours identique, toutes les personnes interrogées identifient clairement des « poches » de risque tenant compte à la fois des aléas et de la structure de leurs habitations. Le territoire présente majoritairement une vulnérabilité importante toutefois compensée par une riche connaissance des phénomènes.



▲ Figure 6. Perception sociale des risques sur l'île d'Efaté ▲



▲ Figure 7. Indicateur et cartographie de la vulnérabilité à Port Vila ▲

Discussion : vers un outil opérationnel ?

L'étude des impacts physiques et environnementaux du cyclone révèle que la trajectoire de PAM a généré une surcote marine entraînant des vagues puissantes dont la hauteur maximale est estimée à 5 mètres, inondant les terres et submergeant les habitations parfois jusqu'à 150 m du rivage comme dans la baie d'Erakor par exemple.

La spatialisation de la vulnérabilité montre une disparité géographique et permet d'identifier 5 secteurs principalement vulnérables au risque de submersion. Le village de Pango, l'îlot d'Ikira, Erakor, Malapoa et le secteur à l'ouest du lagon d'Emten. Le pourtour du littoral comprend des bâtiments avec une vulnérabilité modérée. Seuls les secteurs du centre ville et la face ouest de l'îlot d'Iririki comprennent quelques bâtiments à vulnérabilité faible. Le potentiel d'endommagement des bâtiments est bien perçu par la population, se sentant plus à risque dans les secteurs les plus vulnérables. Cette conscience du risque permet de favoriser la gestion de crise, alors que la cartographie de l'aléa et des changements côtiers conjuguée à la cartographie des vulnérabilités a une vocation opérationnelle. Ces cartographies apportent des réflexions sur l'aménagement des littoraux dans l'avenir ou encore sur la réponse ante et post crise en cas de futur événement, en planifiant des interventions dans les secteurs où la vulnérabilité y est la plus forte.

Annexe 7 – Plan d'évacuation détaillé de Port-Vila

PLAN D'EVACUATION TSUNAMI

SUNAMI EVAKUESEN PLAN

TSUNAMI EVACUATION PLAN

Port Vila



0 1000 2000 Mètres



PLAN D'EVACUATION TSUNAMI

SUNAMI EVAKUESEN PLAN TSUNAMI EVACUATION PLAN

Centre-Ville



Zone à évacuer
Denja zone
Evacuation zone (hazard)



Itinéraire d'évacuation
Evakuesen rod
Evacuation route



Site refuge tsunami
Ples we i sef
Safe location

Itinéraire d'évacuation
Evakuesen rod
Evacuation route

Zone à évacuer (danger alt.<20m)
Denja zone
Evacuation zone (hazard)

Zone refuge (alt.>20m)
Sef ples
Safe zone

Route
Rod
Road

Bâtiment
Haos
Building

PLAN D'EVACUATION TSUNAMI

SUNAMI EVAKUESEN PLAN TSUNAMI EVACUATION PLAN

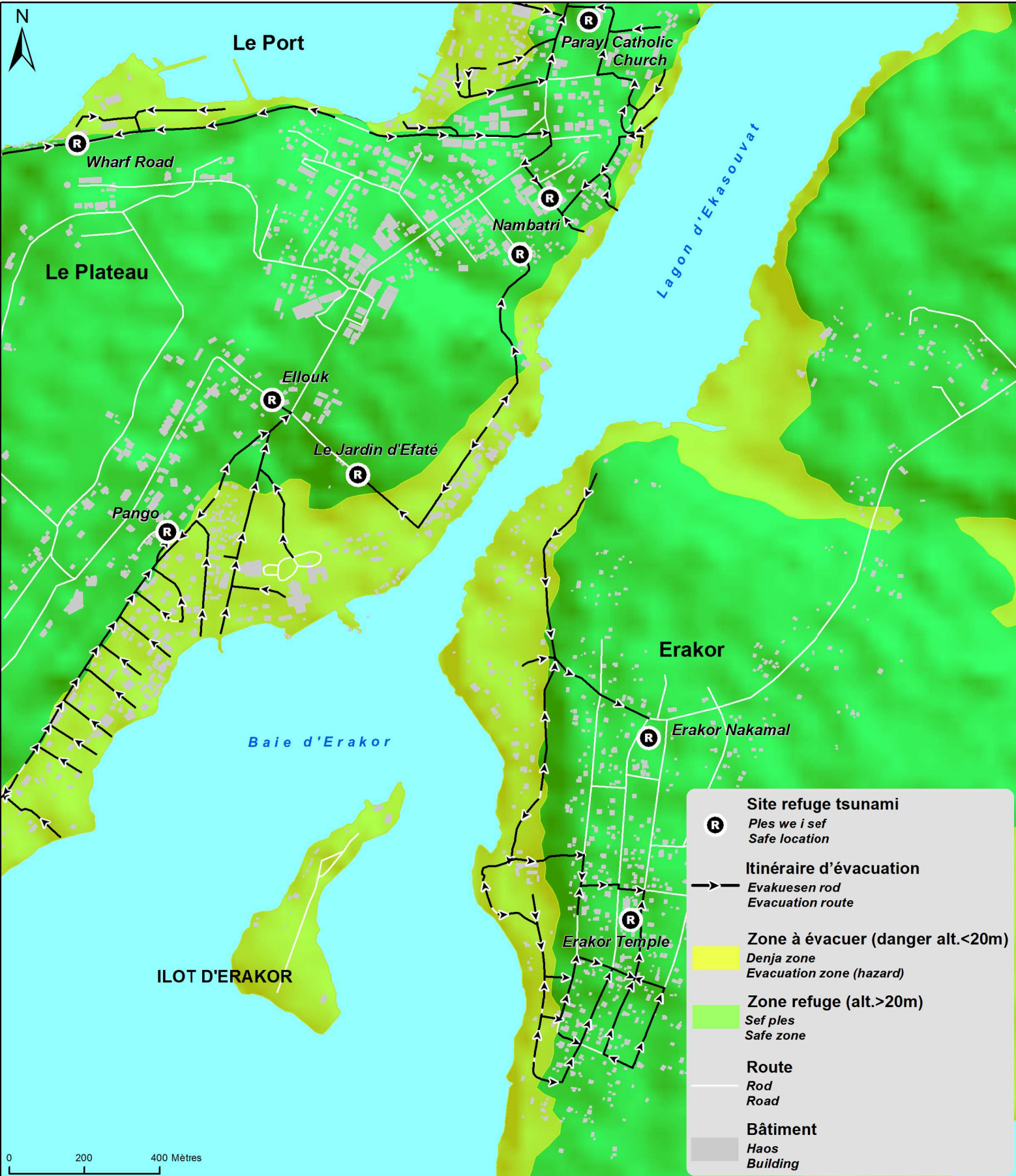
Erakor



Zone à évacuer
Denja zone
Evacuation zone (hazard)



Itinéraire d'évacuation
Evakuesen rod
Evacuation route



Site refuge tsunami
 Ples we i sef
 Safe location

Itinéraire d'évacuation
 Evakuesen rod
 Evacuation route

Zone à évacuer (danger alt.<20m)
 Denja zone
 Evacuation zone (hazard)

Zone refuge (alt.>20m)
 Sef ples
 Safe zone

Route
 Rod
 Road

Bâtiment
 Haos
 Building

0 200 400 Mètres

PLAN D'EVACUATION TSUNAMI

SUNAMI EVAKUESEN PLAN TSUNAMI EVACUATION PLAN

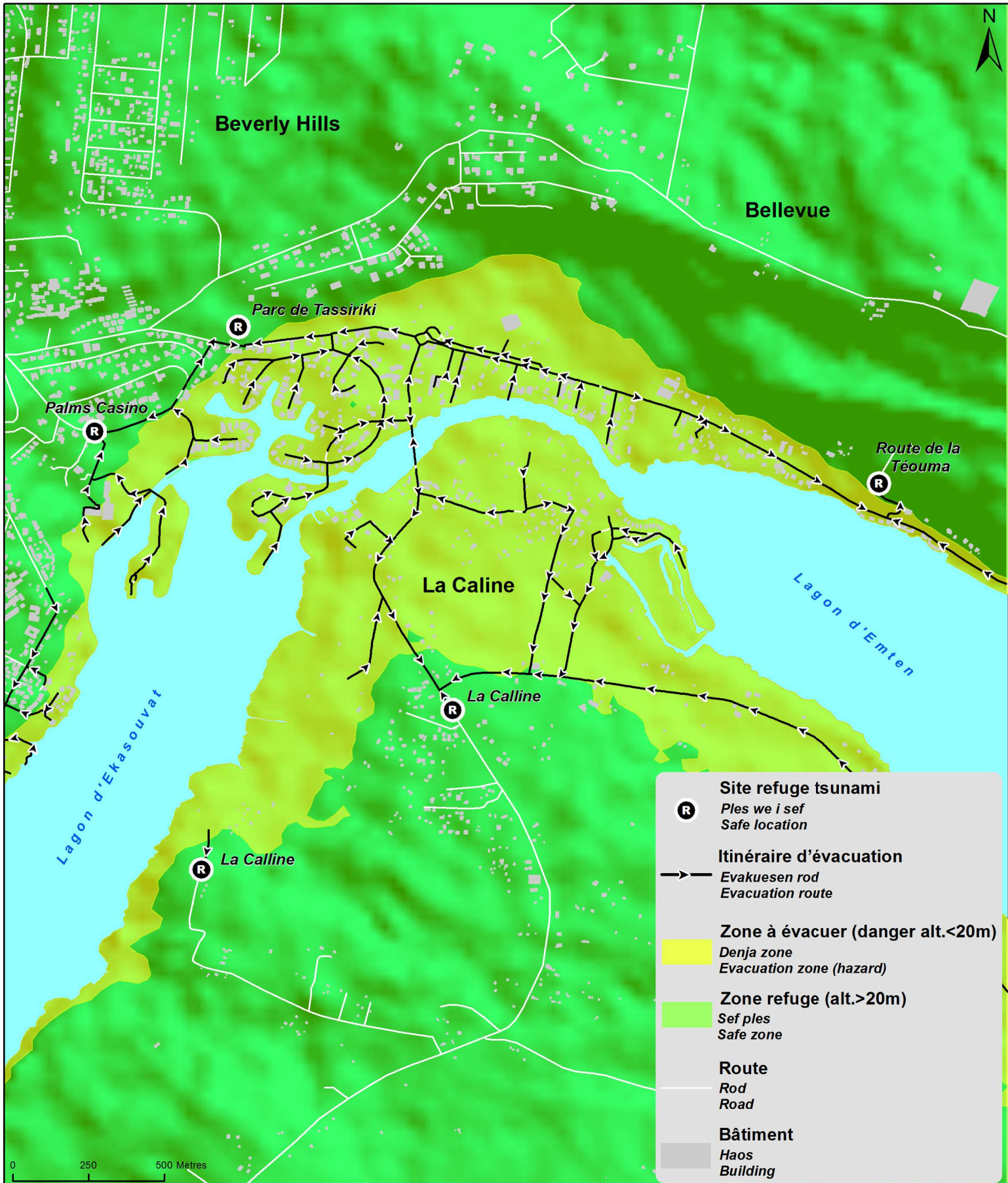
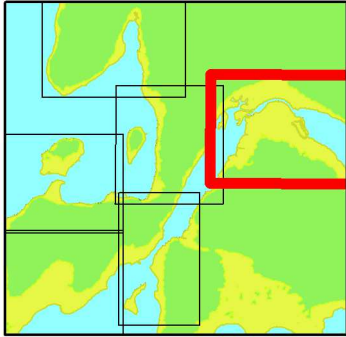
La Caline



Zone à évacuer
Denja zone
Evacuation zone (hazard)



Itinéraire d'évacuation
Evakuesen rod
Evacuation route



Site refuge tsunami
 Ples we i sef
 Safe location

Itinéraire d'évacuation
 Evakuesen rod
 Evacuation route

Zone à évacuer (danger alt.<20m)
 Denja zone
 Evacuation zone (hazard)

Zone refuge (alt.>20m)
 Sef ples
 Safe zone

Route
 Rod
 Road

Bâtiment
 Haos
 Building

0 250 500 Metres

PLAN D'EVACUATION TSUNAMI

SUNAMI EVAKUESEN PLAN TSUNAMI EVACUATION PLAN

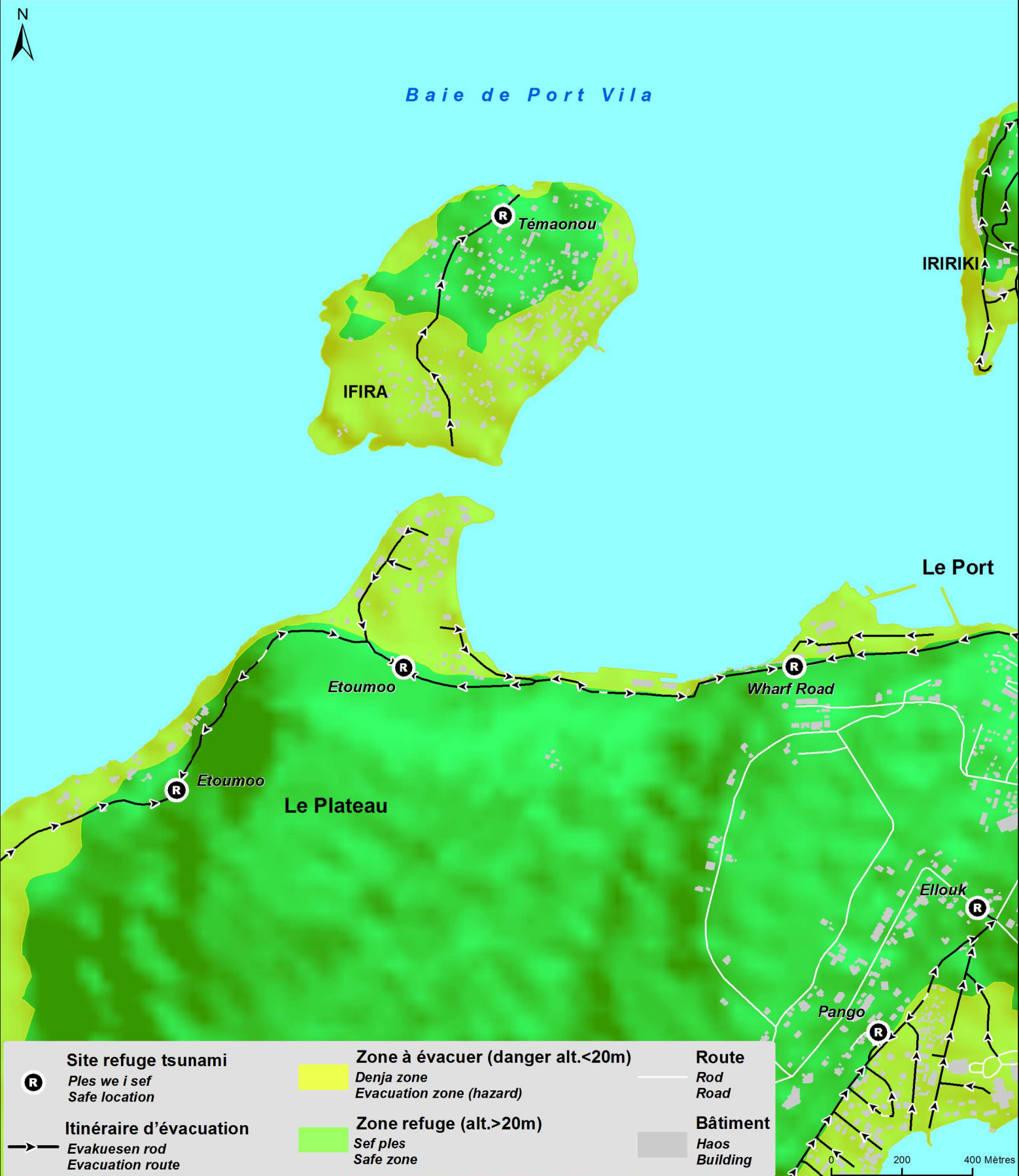
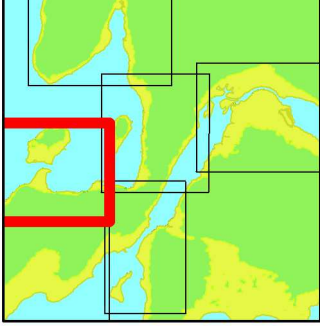
Le Port

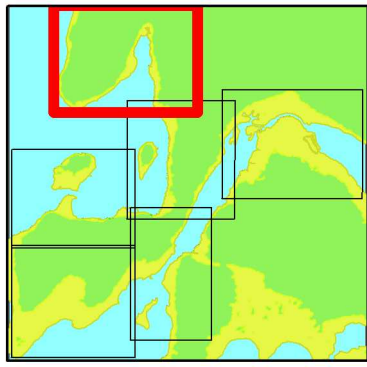


Zone à évacuer
Denja zone
Evacuation zone (hazard)



Itinéraire d'évacuation
Evakuesen rod
Evacuation route





PLAN D'EVACUATION TSUNAMI

SUNAMI EVAKUESEN PLAN

TSUNAMI EVACUATION PLAN

Malapoa

Zone à évacuer
Denja zone
Evacuation zone (hazard)

Itinéraire d'évacuation
Evakuesen rod
Evacuation route



Sources : OpenStreetMap, GREDD, 2017 | Conception : B. Pradel & GREDD, 2017

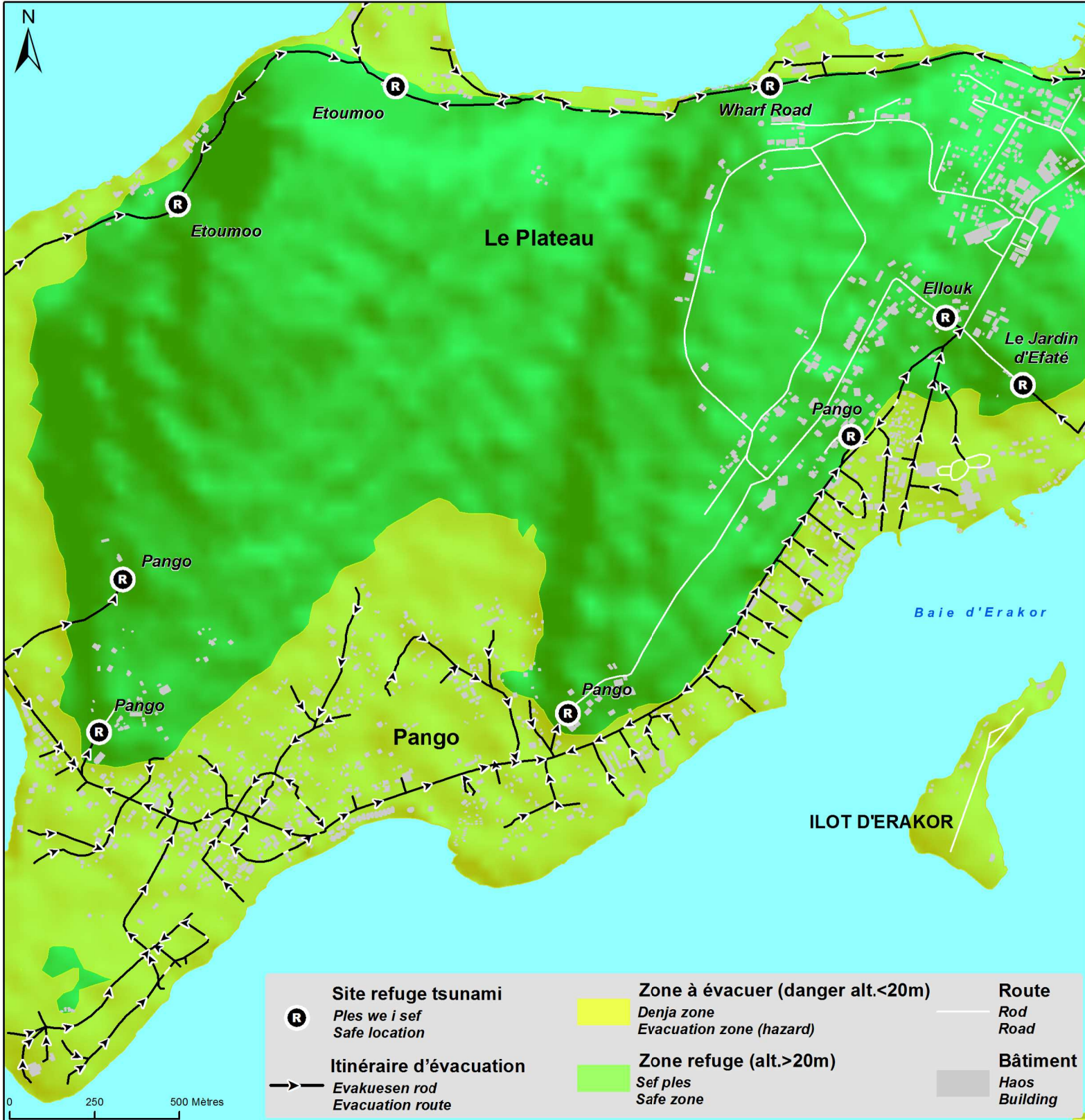
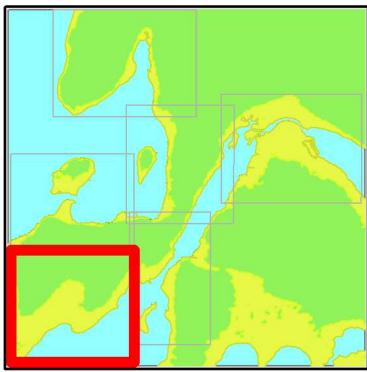
	Site refuge tsunami Ples we i sef Safe location		Zone à évacuer (danger alt.<20m) Denja zone Evacuation zone (hazard)		Route Rod Road
	Itinéraire d'évacuation Evakuesen rod Evacuation route		Zone refuge (alt.>20m) Sef ples Safe zone		Bâtiment Haos Building

PLAN D'EVACUATION TSUNAMI
SUNAMI EVAKUESEN PLAN
TSUNAMI EVACUATION PLAN

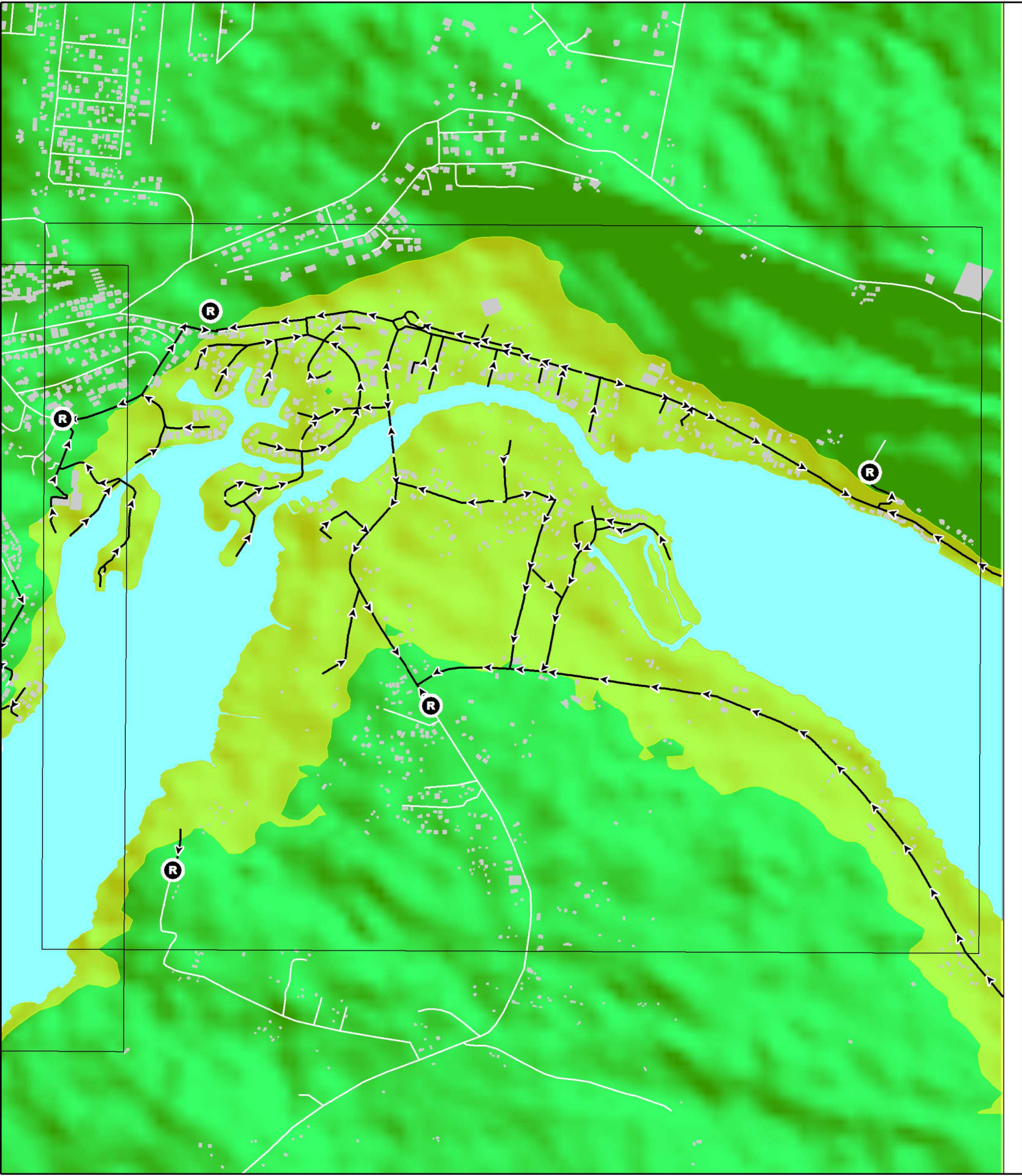
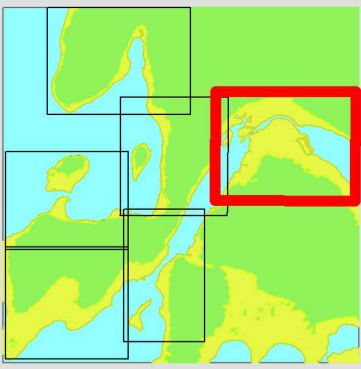
Pango

Zone à évacuer
 Denja zone
 Evacuation zone (hazard)

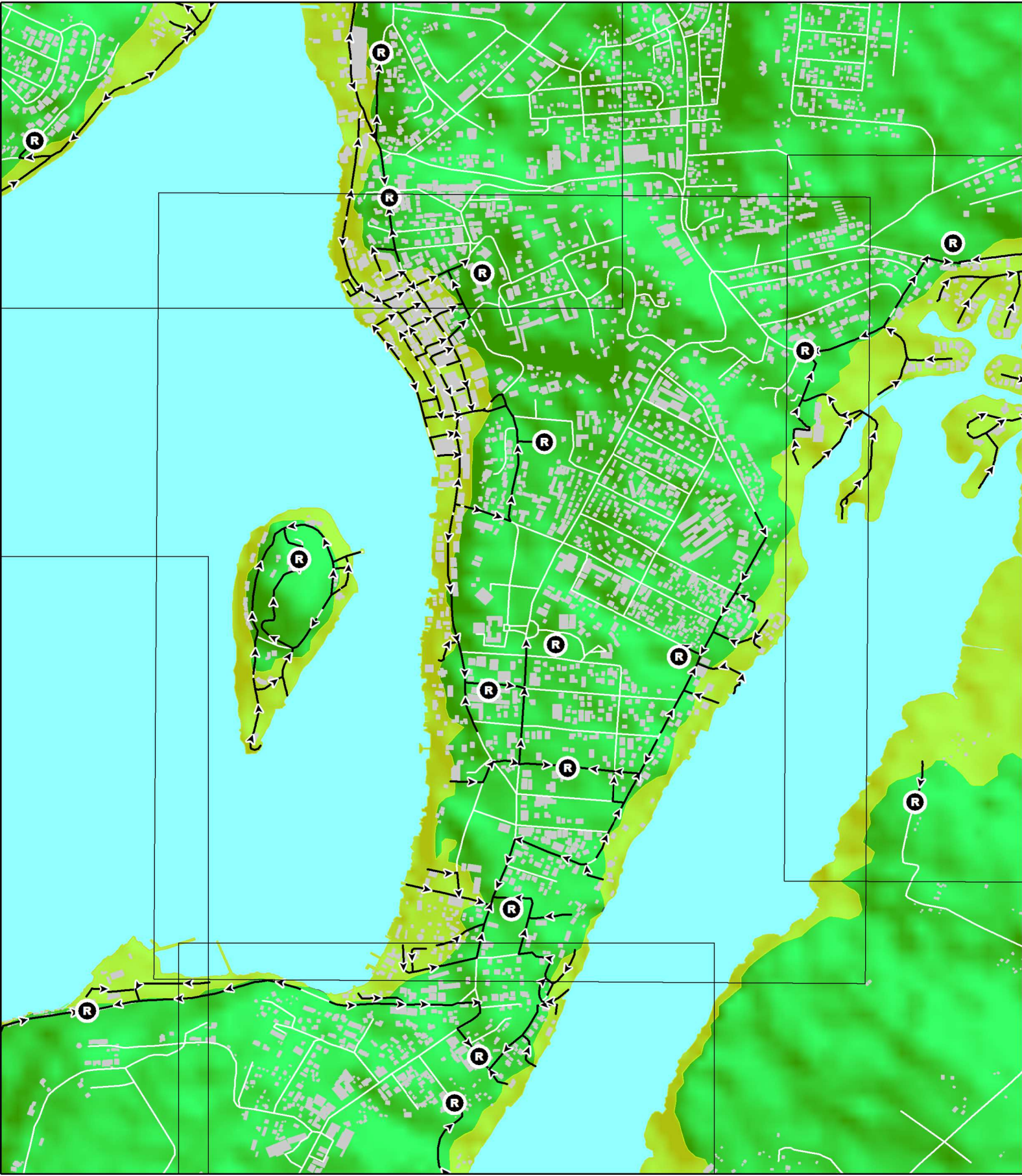
Itinéraire d'évacuation
 Evakuesen rod
 Evacuation route



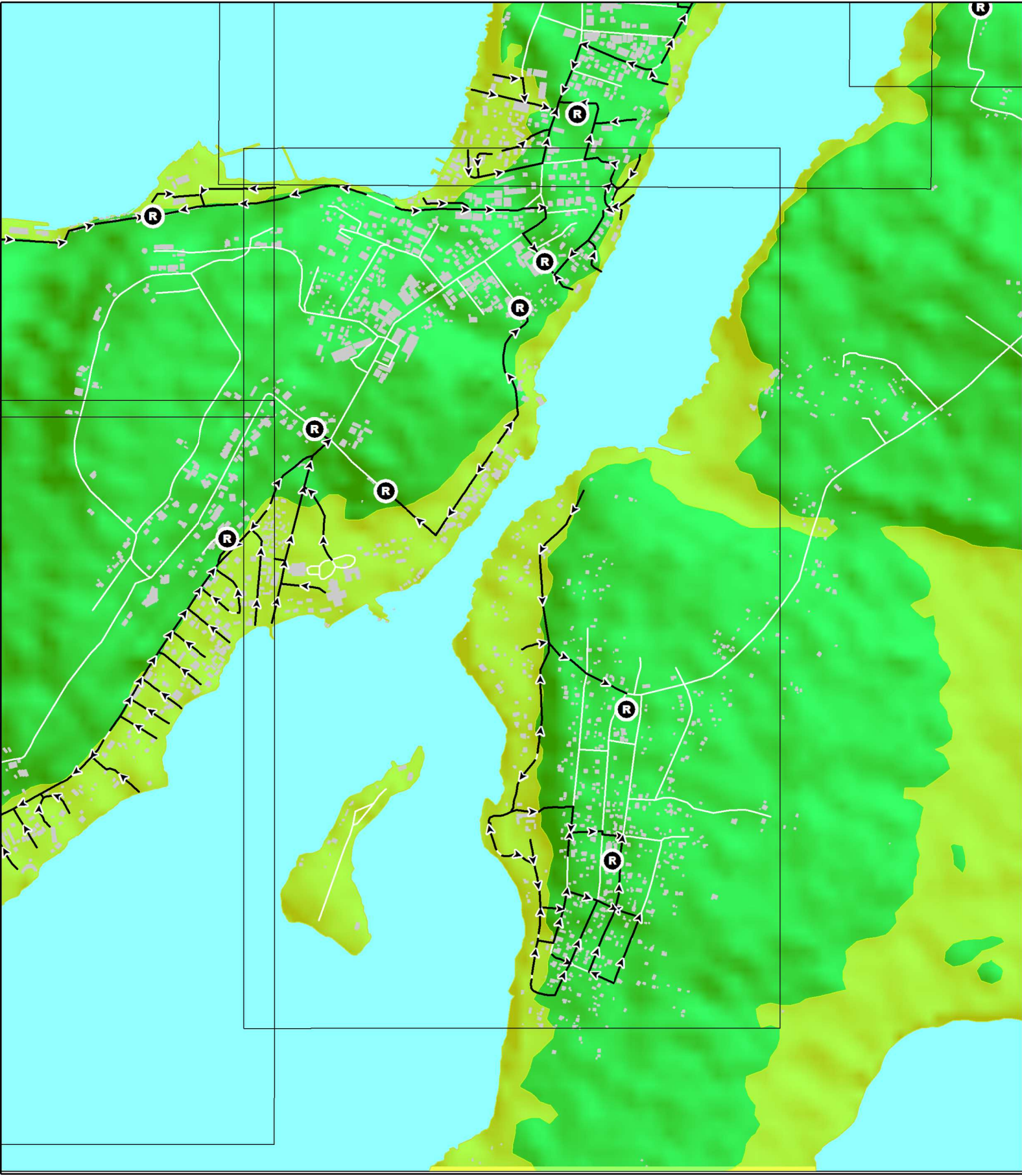
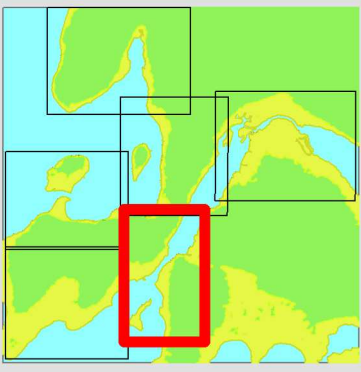
La Caline



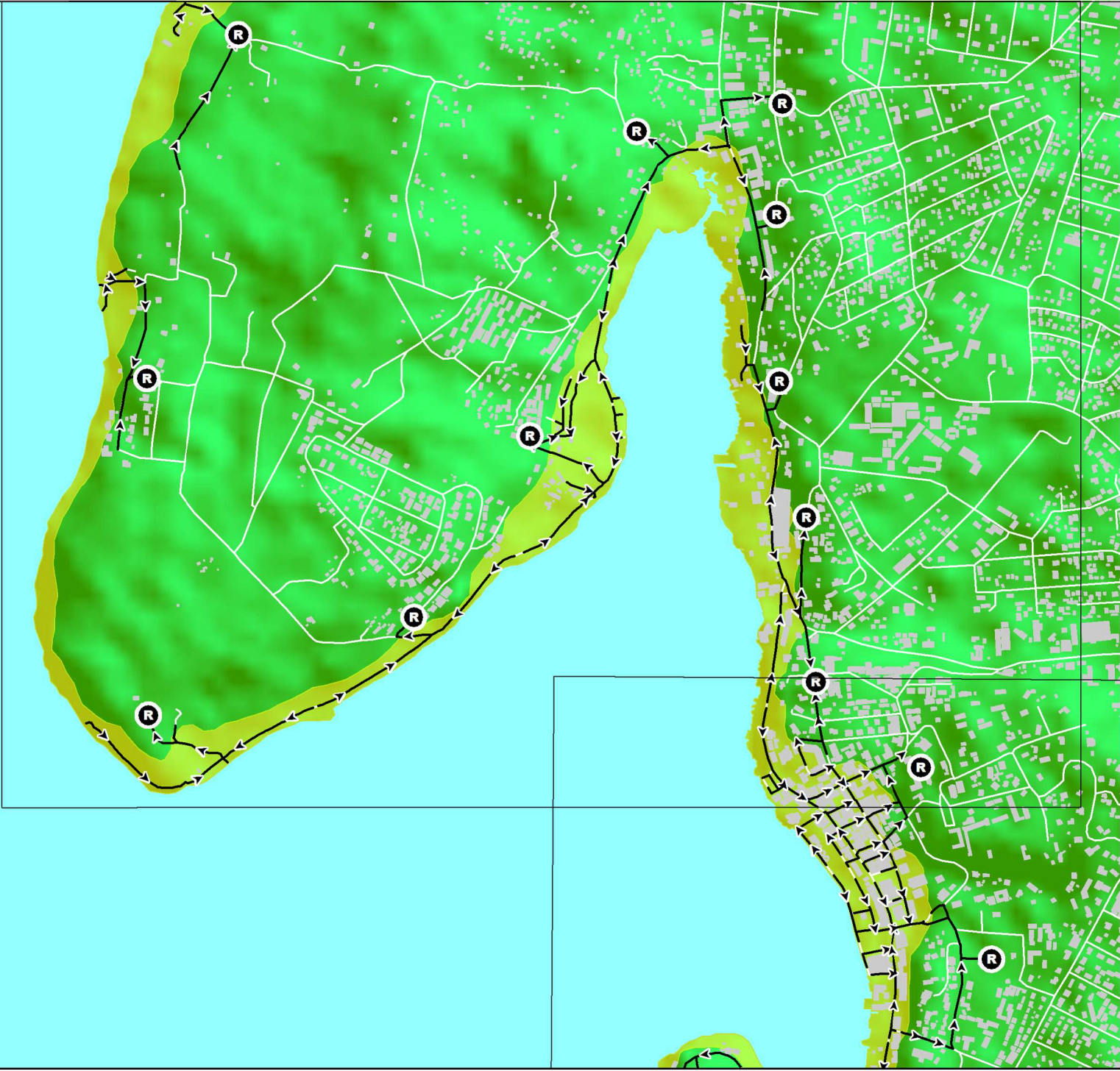
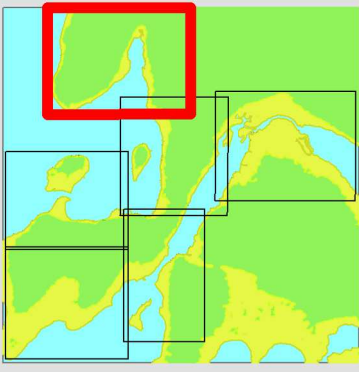
Centre-Ville



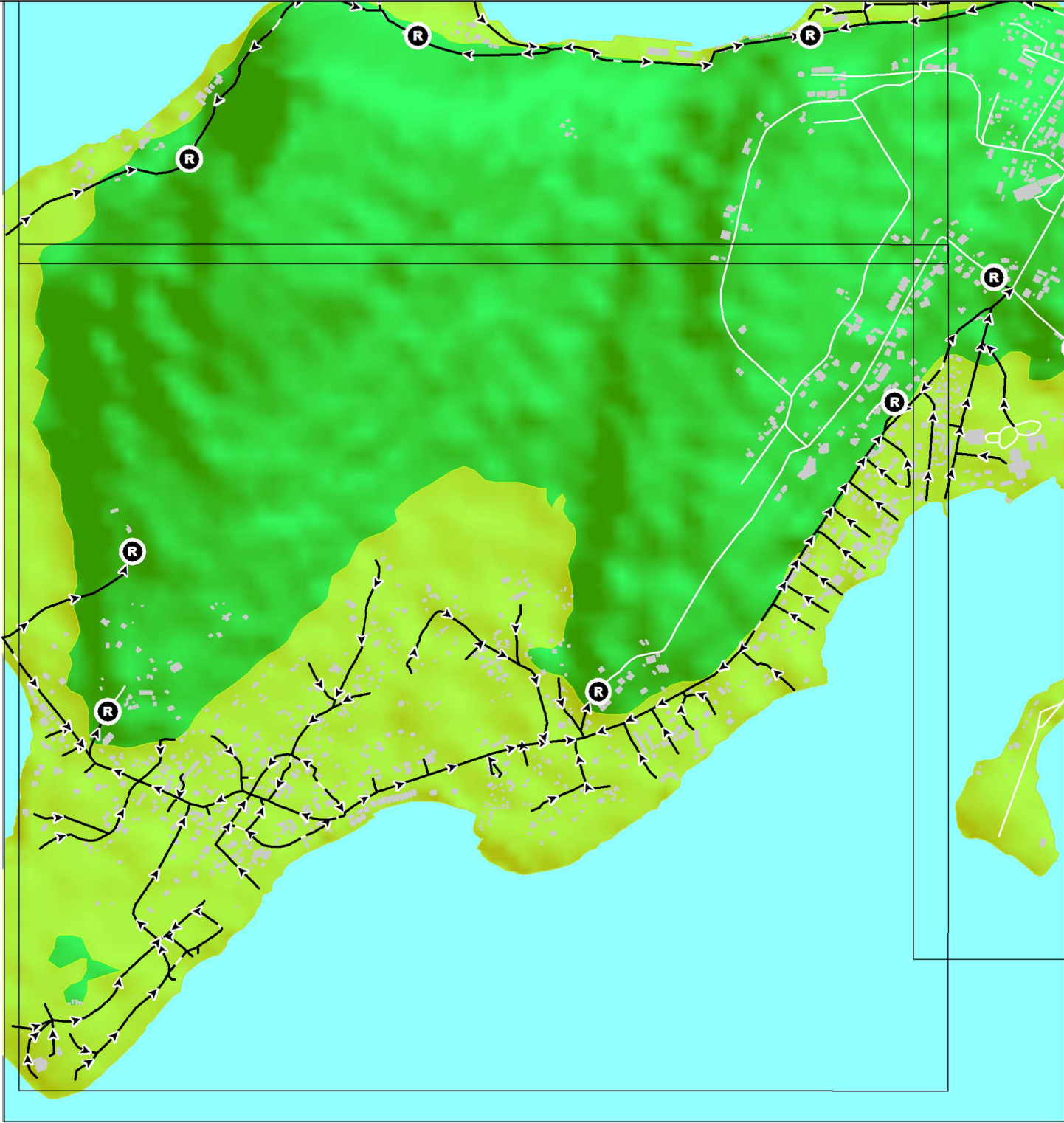
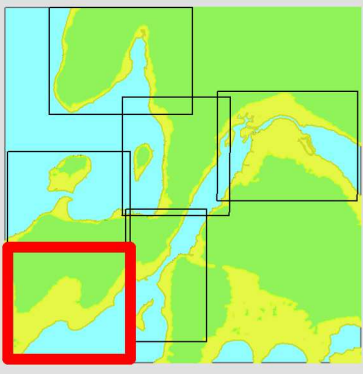
Erakor



Malapoa



Pango



Le Port

