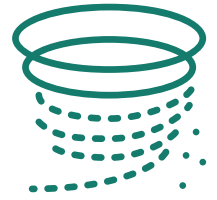


Les apprentissages scientifiques d'un RETEX multidimensionnel sur le cyclone IRMA (projet ANR TIREX)



Frédéric Leone¹, Jérémy Desarthe²

(1) Laboratoire de Géographie et d'Aménagement de Montpellier (LAGAM), Université Montpellier 3.

(2) Direction des Réassurances & Fonds Publics, CCR

INTRODUCTION

Dans la nuit du 5 au 6 septembre 2017, l'ouragan Irma a touché les Antilles françaises, et plus particulièrement les îles du Nord de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy. Ouragan de classe 5 sur l'échelle Saffir-Simpson, Irma s'est caractérisé par des rafales de vent supérieures à 300 km/h et une submersion du littoral et des zones basses de l'île de Saint-Martin.

Les îles de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy ont été durement éprouvées. Au total, onze personnes sont décédées et les dommages ont été considérables^[1]. Les réseaux de communication et d'énergies ont été en grande partie endommagés. Les dommages sur les biens assurés s'élèvent à plus de 2 Md€ pour des territoires où seulement 40 % des habitants disposent d'une assurance habitation. Irma est l'événement le plus important depuis la mise en place du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles en 1982.

À la suite de la saison cyclonique marquée par des ouragans de forte intensité (Harvey, José, Irma, Maria), l'Agence nationale de la recherche a lancé le programme OURAGAN pour lequel le projet TIREX a été retenu. Coordonné par le professeur Frédéric Leone, ce projet regroupe plusieurs établissements de recherche et organismes afin de construire un retour d'expérience multidimensionnel destiné aux acteurs locaux afin de leur permettre d'anticiper l'adaptation aux effets de futurs épisodes climatiques extrêmes.

MÉTHODOLOGIE

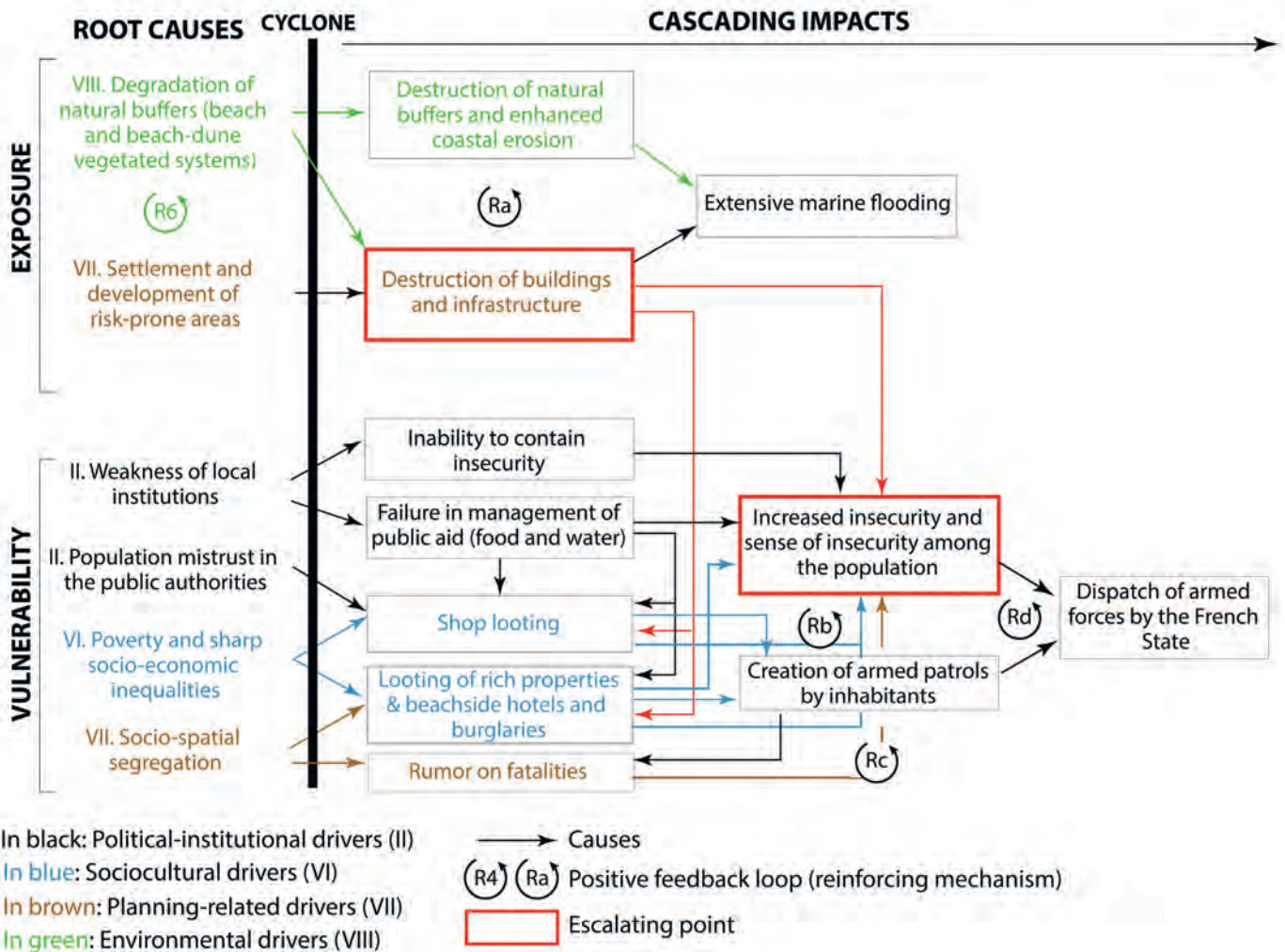
TIREX est organisé en tâches complémentaires croisant les compétences de tous les membres du groupement (histoire et géographie des risques, analyse spatiale, géomorphologie, sciences politiques, médiation scientifique, physique de l'atmosphère, modélisation, climatologie). TIREX porte une dimension pré-opérationnelle d'accompagnement des acteurs de la gestion des risques et de la reconstruction, populations comprises, via le transfert et la mise en pratique des résultats. La consolidation, dissémination et valorisation des résultats du projet sont adaptées au contexte culturel et géographique des territoires ciblés. Elles mobilisent des outils de transfert des savoirs et d'éducation non-vateurs, fondés sur des approches participatives, des mises en situation, des outils numériques en ligne et interactifs, des story-maps, des guides de bonnes pratiques, des ateliers réguliers... Le projet intègre les dernières connaissances sur les évolutions futures du climat aux Antilles apportées par le programme en cours C3AF sur le changement climatique et ses conséquences aux Antilles (<https://c3af.univ-montp3.fr/>).

Tâche 1 (Trajectoires de vulnérabilités territoriales 1950-2017) : l'analyse des archives a permis de répertorier les cyclones historiques et de caractériser leurs impacts. Une analyse documentaire ainsi que trois campagnes d'entretiens (en lien avec la tâche 3) ont été réalisées auprès des populations (suivi d'une cohorte)

apportant des éléments sur les facteurs de production du risque ainsi que l'évaluation des vulnérabilités et capacités de résilience ante catastrophe.

Tâche 2 (Impacts et résilience des environnements côtiers) : des modèles numériques ont été implémentés afin de reproduire le vent, les précipitations, les vagues, et les submersions marines du cyclone Irma. Une campagne bathymétrique a été réalisée sur plusieurs sites afin de combler l'absence de données actuelles sur les petits fonds. Les modèles ont permis de réaliser une cartographie des hauteurs de vagues, et de mieux comprendre les forts contrastes d'impacts du cyclone sur certaines anses. Nous étudions en parallèle les impacts et réajustements sur Anguilla et sur Tortola et Anegada. L'analyse des dommages sur le bâti au moyen de drones a pu être confrontée aux données fournies par les agences de cartographie rapide (Copernicus, Sertit) afin d'apprécier le niveau de fiabilité spatiale et attributive de ces données acquises par photo-interprétation d'images satellitaires.

Tâche 3 (Gestion de crise et suivi de la reconstruction territoriale) : l'analyse de la gestion de crise et le suivi de la reconstruction se poursuivent grâce à des missions régulières aux Antilles (six missions depuis le cyclone). Des contacts privilégiés ont été établis avec des institutions, des associations et des habitants. Les premiers résultats ont permis de caractériser l'influence des réseaux sociaux dans la diffusion de la rumeur sur le nombre de morts ce qui a ajouté des difficultés à la gestion de la crise quelques jours après le cyclone. Une étude ciblée sur les adolescents de Saint-Martin, à travers des séances en classe, a permis de suivre le rôle de cette classe d'âge particulièrement vulnérable, lors de la phase de relèvement.



Tâche 4 (Consolidation des outils de transfert des apprentissages du RETEX) : les premiers produits cartographiques interactifs sont disponibles via une plateforme en ligne et sont enrichis de storymaps, le tout est implémenté dans un site web dédié au transfert des résultats et permettant de revisiter en ligne la saison cyclonique 2017 ([https://tirex.](https://tirex.univ-montp3.fr/)

[univ-montp3.fr/](https://tirex.univ-montp3.fr/)). D'autres actions de transfert sont programmées au moyen d'un jeu sérieux destiné aux autorités locales simulant une crise cyclonique virtuelle. Un guide pour la reconstruction territoriale préventive est disponible sous forme d'un classeur de fiches présentant les différentes méthodes du RETEX et ses apprentissages. A ce titre, une démarche

réflexive amène à s'interroger sur la définition du RETEX et sur ce qu'il peut apporter aux connaissances sur les risques et aux politiques de prévention. Ce faisant la réflexion porte aussi sur les limites du RETEX, ce qui est un attendu majeur du projet TIREX notamment au regard de RETEX conduits antérieurement dans la région (ex. cyclone Lenny en 1999).

cyclone
 # impacts
 # reconstruction
 # RETEX
 # Petites-Antilles

RÉSULTATS

En mobilisant des chercheurs d’horizons différents, il est possible d’appréhender l’événement dans toutes ces dimensions et d’enrichir les connaissances des risques et des vulnérabilités dans un territoire insulaire éloigné de sa métropole. Les principaux apprentissages et résultats s’articulent autour des principaux axes suivants :

1/ Trajectoires de vulnérabilités territoriales 1950 – 2017

L’analyse de l’exposition des territoires sur le temps long a permis la reconstruction des trajectoires de vulnérabilités et de comprendre les mécanismes et les facteurs de production des risques [2]. Saint-Martin se caractérise par son insularité mais également par sa distance à l’égard de la métropole et des autres territoires français des Antilles que sont la Guadeloupe – à laquelle elle fut jusqu’en 2007 rattachée administrativement – et la Martinique. Ce double éloignement a construit la spécificité économique et politique du territoire saint-martinois. Le développement du tourisme à partir des années 1960 a participé à rendre le territoire plus vulnérable sous l’effet d’une urbanisation massive du trait de côte. Ce développement s’est également accompagné par de fortes disparités socio-spatiales qui se traduisent par des vulnérabilités en terme de constructions de logements [3].

2/ Impacts et résilience des environnements côtiers

L’étude minutieuse des impacts et conséquences du cyclone a constitué une étape fondamentale. Il est essentiel de poser un diagnostic le plus exhaustif possible pour reconstruire un territoire plus résilient et adapté au changement climatique. Ainsi,

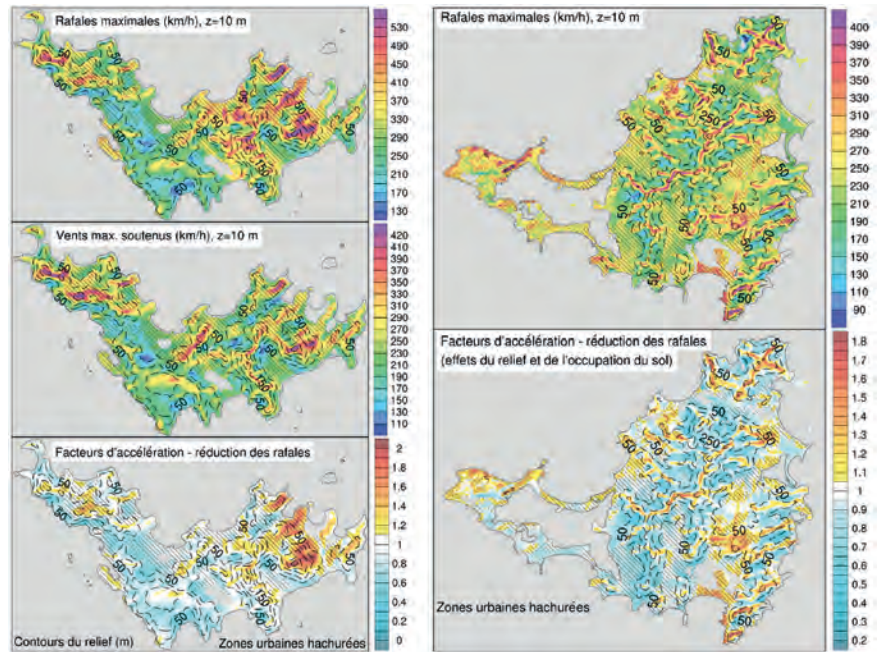


Figure 2 - Simulations WRF à 30 m de résolution : rafales max. (km/h) vents max. soutenus 1 min (km/h), facteurs d’accélération, réduction des rafales à Saint-Barthélemy (à gauche) et Saint-Martin (à droite) (Cécé et al., 2020)

un travail de modélisation numérique à haute résolution des phénomènes cycloniques a permis de reconstituer les conditions météorologiques cycloniques et les aléas météo-marins associés, en lien avec les dommages produits [4, 5].

Les différents résultats montrent que les inondations (débordement des étangs, ruissellement pluvial et submersions marines) ont eu une cinétique complexe. Si l’urbanisation des fronts de mer a limité la submersion marine, l’impermeabilisation des sols a accru les inondations par ruissellement pluvial [6]. Par ailleurs, les vents modélisés à une résolution inédite de 30 m ont montré des effets d’amplification le long des lignes de crêtes et des rafales ayant pu atteindre les 400 km/h. Les corrélations avec les intensités de dommages sur les bâtiments ont montré un seuil de dommage critique atteint autour de 200 km/h [4]. Ces dommages ont été beaucoup plus marqués sur Saint-Martin qu’à Saint-Barthélemy du fait

d’un bâti beaucoup plus vulnérable. En effet, les données fournies par le Service Européen Satellitaire Copernicus (2018) montrent que seulement 16 % du patrimoine bâti de Saint-Barthélemy a subi des dommages significatifs (contre 54 % à Saint-Martin), tandis que les dommages les plus graves ont concerné seulement 5 % des bâtiments de Saint-Barthélemy (contre 30 % à Saint-Martin). Cependant, nos propres relevés par drone et sur le terrain ont montré un manque de fiabilité de ces données de dommages obtenues par photo-interprétation d’images satellitaires au lendemain de la catastrophe [7].

Une analyse diachronique de la géomorphologie des différents sites retenus a permis de mettre en avant également les conséquences sur le trait de côte. De manière générale, les plages de Saint-Martin ont connu une diminution importante de leur surface. La présence de végétation ou encore de récifs coralliens ont permis localement de réduire les dommages

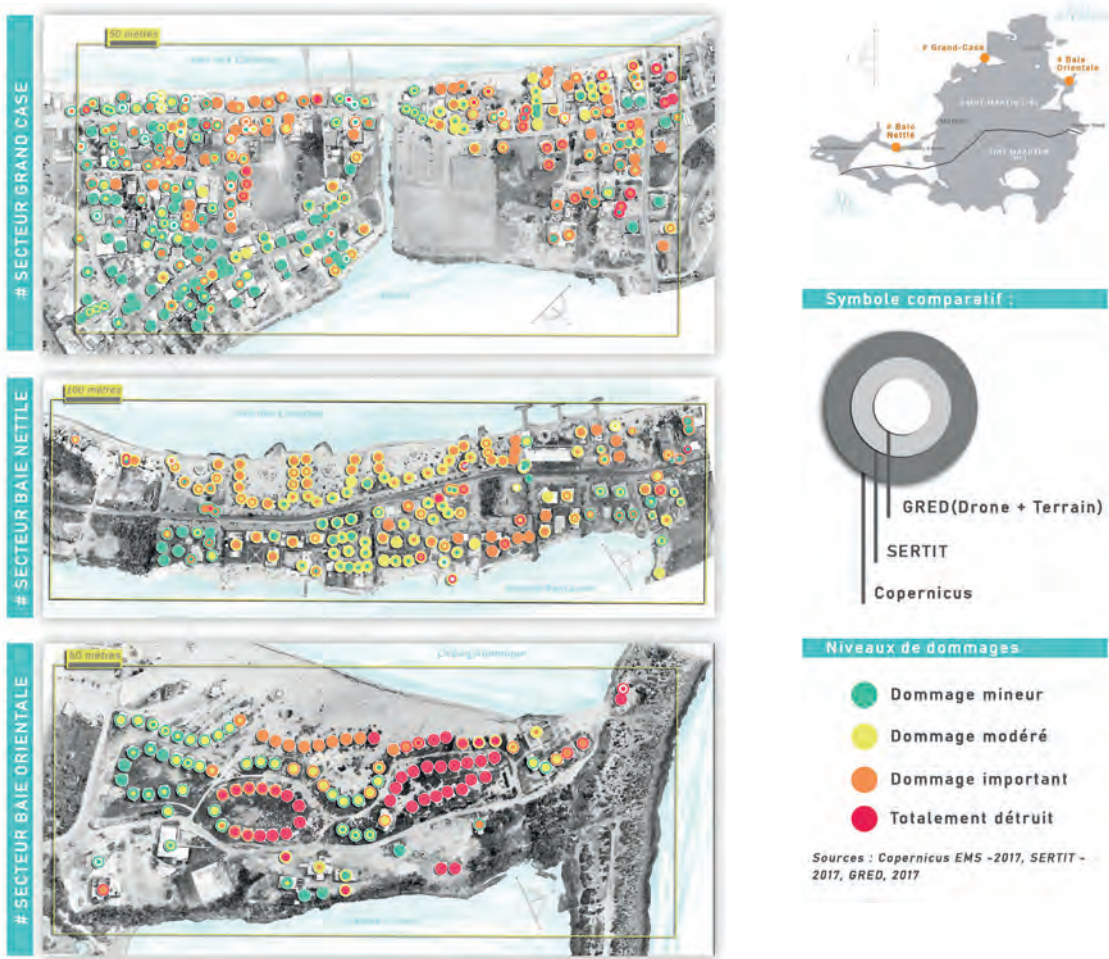


Figure 3 - Comparaison des trois sources de diagnostics de dommages (satellitaires pour Copernicus et SERTIT, drone et terrain pour GRED) (Saint-Martin) montrant les incertitudes sur l'estimation des dommages par voie satellitaire (Léone et al., 2021).

soit en bloquant les débris ou en réduisant la hauteur des vagues à la côte ^[5]. Dans d'autres territoires, comme l'île de la Dominique, la crue des cours d'eau a participé à l'engraissement des plages et à la formation de delta de crue.

3/ Gestion de crise et suivi de la reconstruction territoriale

L'analyse de la gestion de crise et du relèvement post-catastrophe des cyclones Irma, José et Maria permet d'alimenter les réflexions sur les processus d'apprentissage. Le thème de la production des

déchets post-Irma et de leur gestion a été particulièrement investi car c'est un enjeu fort du processus de reconstruction. Ainsi les cubages obtenus par drone et les traitements statistiques des données disponibles nous ont permis d'évaluer le poids total de débris produits par Irma sur Saint-Martin à 1,7 tonnes par habitants ^[8]. Par ailleurs, dans le cadre du projet, un géo-indicateur de suivi de la reconstruction a été établi à une échelle assez fine pour comprendre certaines logiques spatiales et révéler certains contrastes. Ce faisant, en juillet 2019 (22 mois après Irma),

40 % du bâti fortement endommagé de Saint-Barthélemy était totalement reconstruit, contre 22 % seulement à Saint-Martin. L'effort de reconstruction a par ailleurs été plus rapide à Saint-Barthélemy avec 19 % de ce bâti reconstruit (contre 11,5 % à Saint-Martin) en mars 2018, soit sept mois après le passage d'Irma [3]. Ces contrastes s'expliquent bien entendu par un volume total de dommages bien plus faible à Saint-Barthélemy, mais aussi par une plus grande capacité de relèvement. Par ailleurs, les enquêtes systématiques menés auprès des lieux d'activité écono-

- # cyclone
- # impacts
- # reconstruction
- # RETEX
- # Petites-Antilles

> mique ont montré une reprise d'activité globale et moyenne 1,5 fois plus rapide à Saint-Barthélemy avec 81 jours de fermeture contre 123 à Saint-Martin. Les activités d'hébergement et de restauration ont été les premières à se relever, suivies des activités de transport. D'après ces mêmes enquêtes, les retards accumulés à Saint-Martin sont principalement dus à l'intensité des dommages sur les bâtiments associés, mais sont également le fait des pillages massifs qu'a connu cette île au lendemain du passage d'Irma (41 entreprises ou commerces pillés soit 24,7 %). Ces pillages ont parfois provoqué davantage de pertes que l'ouragan lui-même, sans compter les traumatismes induits [3].

CONCLUSION

Afin de consolider les apprentissages du RETEX et d'en assurer la transmission vers les populations et les décideurs locaux, les principaux résultats utiles du projet TIREX ont été mis en forme au moyen de différents supports cartographiques interactifs et de story-maps (récits cartographiques), donnant la possibilité de revisiter cette catastrophe. Un des enjeux du RETEX est en effet de préserver la mémoire des cyclones passés, d'en tirer les enseignements pour la prévention, la gestion de crise et la reconstruction durable des territoires impactés. Le site internet qui permet de conserver cette expérience est en ligne, ouvert au grand public, à vertu pédagogique, et rend également hommage à tous les habitants qui ont témoigné sur leur propre expérience de cette catastrophe <https://tirex.univ-montp3.fr/index2.html>. Qu'ils en soient remerciés./

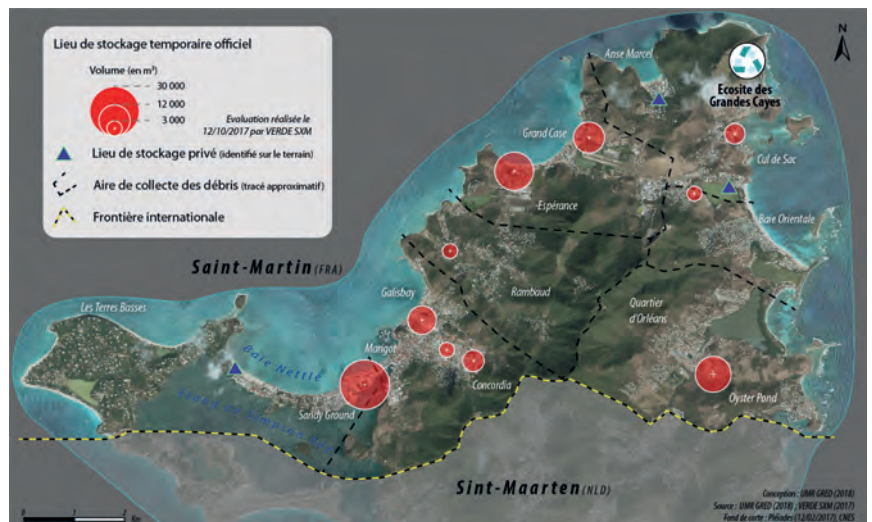


Figure 4 - Évaluation des dépôts et volumes de débris générés par l'ouragan Irma sur Saint-Martin (Vinet et al., 2020).



LES PARTENAIRES

Le projet ANR TIREX (2018-2022) : Transfert des apprentissages de Retours d'Expériences scientifiques pour le renforcement des capacités de réponse et d'adaptation individuelles et collectives dans un contexte de changement climatique (Petites Antilles du Nord - saison cyclonique 2017)

Lien vers le site du projet : <https://tirex.univ-montp3.fr/>

Lien vers les storymaps du projet : <https://arcg.is/1KXmn1>

Les partenaires du projet TIREX :

- Laboratoire Gouvernance, Risque, Environnement, Développement (GRED)
- Laboratoire de Recherche en Géosciences et Énergies (LARGE)
- LC2S Laboratoire Caraïbéen de Sciences Sociales (LC2S)
- Laboratoire de Géographie Physique : Environnements Quaternaires et Actuels (LGP)
- Laboratoire Littoral, Environnement et Sociétés (LIENSs)
- Météo-France Direction interrégionale Antilles Guyane (DIRAG)
- Caisse Centrale de Réassurance (CCR)

RÉFÉRENCES

1. Desarthe, J., Bauduceau, N., Quantin, A., 2020. Les défis soulevés par la reconstruction post-Irma. *Annales des Mines*, 98. <http://www.anales.org/re/2020/resumes/avril/08-re-resum-FR-AN-avril-2020.html#08FR>
2. Duvat V., Volto N., Stahl L., Moatty A., Defossez S., Desarthe J., Grancher D., Pillet V., (2021). Understanding interlinkages between long-term trajectory of exposure and vulnerability, path dependency and cascading impacts of disasters in Saint-Martin (Caribbean), *Global Environmental Change*, 67, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102236>
3. Collectif scientifique du projet ANR TIREX (Dir. F. Leone, Coord. A. Moatty) (2021). Les connaissances et apprentissages de territoires cyclonés (Petites Antilles, saison cyclonique 2017) : synthèse des principaux résultats du projet ANR TIREX à l'attention des décideurs, 91 p., <https://www.calameo.com/books/006591530b5bdb6016ed1>
4. Cécé R., Bernard D., Krien Y., Leone F., Candela T., Péroche M., Biabiany E., Arnaud G., Belmadani A., Palany P., Zahibo N. (2020). A 30-m scale modeling of extreme gusts during Hurricane Irma (2017) landfall on very small mountainous islands in the Lesser Antilles. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, <https://doi.org/10.5194/nhess-2020-241>
5. Duvat V., Pillet V., Volto N., Krien Y., Cécé R., Bernard D., (2019). High human influence on beach response to tropical cyclones in small islands : Saint-Martin Island, Lesser Antilles, *Geomorphology*, 325, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.09.029>
6. Rey T., Leone F., Candela T., Belmadani A., Palany P., Krien Y., Cécé R., Gherardi M., Péroche M., Zahibo N. (2019). Coastal Processes and Influence on Damage to Urban Structures during Hurricane Irma (St-Martin & St-Barthélemy, French West Indies). *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(7):215, <https://doi.org/10.3390/jmse7070215>
7. Leone F., Péroche M., Candela T., Rey T., Vinet F., Gherardi M., Defossez S., Lagahé E., Pradel B. (2021). Drone et cartographie post-désastre : exemples d'applications sur un territoire cycloné (Petites Antilles du Nord, ouragan Irma, septembre 2017). *Cartes & géomatique : revue du Comité français de cartographie (CFC)*.
8. Vinet F., Péroche M., Palany P., Leone F., Gherardi M., Grancher D., Moatty A., Defossez D. (2020). Collecte et gestion des débris post-cycloniques à Saint-Martin (Antilles françaises) après le passage du cyclone Irma (sept. 2017). *Cybergeo : European Journal of Geography*, 937, <http://journals.openedition.org/cybergeo/34154> ; DOI: <https://doi.org/10.4000/cybergeo.34154>

CITATION

Léone F., Desarthe J., Les apprentissages scientifiques d'un RETEX multidimensionnel sur le cyclone IRMA (projet ANR TIREX), In *Rapport Scientifique CCR 2020* ; CCR, Paris, France, 2021, pp. 76-81