



Les apprentissages d'un RETEX scientifique et collectif sur l'ouragan Irma (saison cyclonique 2017, Petites-Antilles du Nord, projet ANR TIREX)

Frédéric Leone, Yann Bérard, Stéphanie Defossez, Jérémy Desarthe, Virginie Duvat, Delphine Grancher, Philippe Palany, Narcisse Zahibo

► To cite this version:

Frédéric Leone, Yann Bérard, Stéphanie Defossez, Jérémy Desarthe, Virginie Duvat, et al.. Les apprentissages d'un RETEX scientifique et collectif sur l'ouragan Irma (saison cyclonique 2017, Petites-Antilles du Nord, projet ANR TIREX). *EchoGéo*, 2023, 64, <10.4000/echogeo.25043>. <hal-04316176>

HAL Id: hal-04316176

<https://hal.science/hal-04316176v1>

Submitted on 1 Dec 2023

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 4.0 - Attribution - Non-commercial use - International License

Les apprentissages d'un RETEX scientifique et collectif sur l'ouragan Irma (saison cyclonique 2017, Petites-Antilles du Nord, projet ANR TIREX)

*Lessons learned from a scientific and collective analysis of Hurricane Irma (2017
hurricane season, Lesser Antilles, ANR TIREX project)*

**Frédéric Leone, Yann Bérard, Stéphanie Defossez, Jérémy Desarthe,
Virginie Duvat, Delphine Grancher, Philippe Palany et Narcisse Zahibo**

**Édition électronique**

URL : <https://journals.openedition.org/echogeo/25043>

DOI : 10.4000/echogeo.25043

ISSN : 1963-1197

Éditeur

Pôle de recherche pour l'organisation et la diffusion de l'information géographique (CNRS UMR 8586)

Référence électronique

Frédéric Leone, Yann Bérard, Stéphanie Defossez, Jérémy Desarthe, Virginie Duvat, Delphine Grancher, Philippe Palany et Narcisse Zahibo, « Les apprentissages d'un RETEX scientifique et collectif sur l'ouragan Irma (saison cyclonique 2017, Petites-Antilles du Nord, projet ANR TIREX) », *EchoGéo* [En ligne], 64 | 2023, mis en ligne le 13 novembre 2023, consulté le 25 novembre 2023. URL : <http://journals.openedition.org/echogeo/25043> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/echogeo.25043>

Ce document a été généré automatiquement le 25 novembre 2023.



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY-NC-ND 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

Les apprentissages d'un RETEX scientifique et collectif sur l'ouragan Irma (saison cyclonique 2017, Petites-Antilles du Nord, projet ANR TIREX)

Lessons learned from a scientific and collective analysis of Hurricane Irma (2017 hurricane season, Lesser Antilles, ANR TIREX project)

Frédéric Leone, Yann Bérard, Stéphanie Defossez, Jérémy Desarthe, Virginie Duvat, Delphine Grancher, Philippe Palany et Narcisse Zahibo

Le projet TIREX

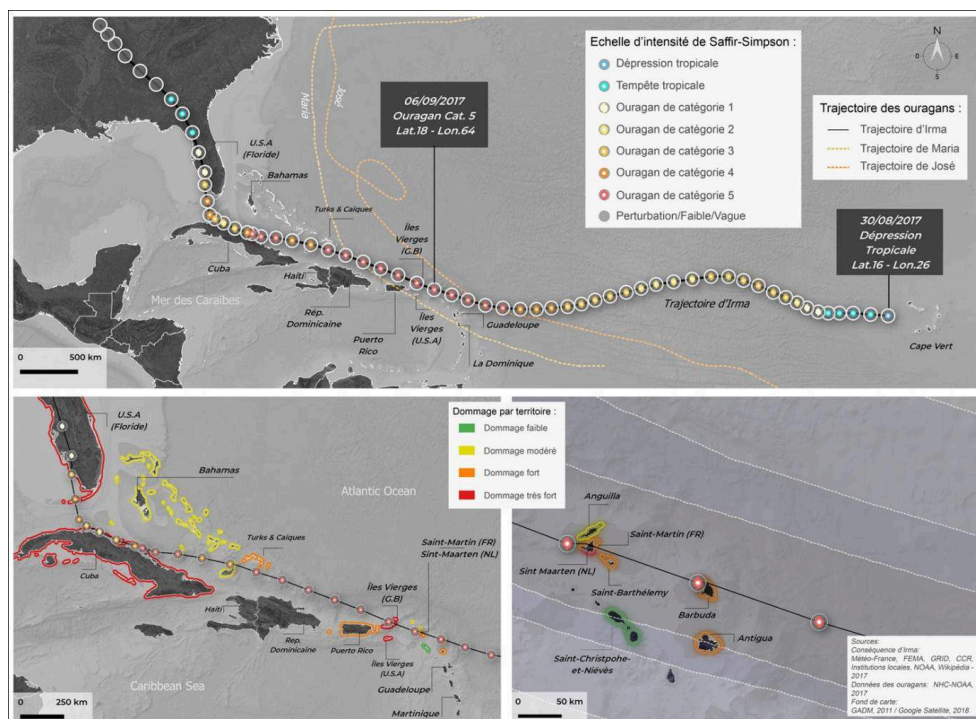
TIREX est un projet de recherche appliquée de 5 ans (2018-2022), coordonné par Frédéric Leone (PR, Géographe de l'université Montpellier 3), associant une quarantaine de chercheurs issus de cinq laboratoires publics du CNRS, de l'IRD, des universités de Paris 1, La Rochelle, Antilles et Montpellier 3, ainsi que de la Délégation Régionale Antilles Guyane de Météo-France (MF, P. Palany) et de la Caisse Centrale de Réassurance (CCR / J. Desarthe). Il a bénéficié d'une aide ANR de 517 245 € pour un coût global de l'ordre de 1,3 M € dans le cadre de l'AAP ANR Flash Ouragans 2017.¹

Sont donc également auteurs de cet article tous les membres du projet de recherche ANR TIREX, dont les responsables de tâches et/ou d'équipes suivants : Yann Bérard (LC2S), Stéphanie Defossez (LAGAM), Jérémy Desarthe (CCR), Virginie Duvat (UMRI LIENSs 7266), Delphine Grancher (LGP), Philippe Palany (Météo-France Antilles Guyane), Narcisse Zahibo (LARGE).

Introduction

- 1 Dans la nuit du 5 au 6 septembre 2017, l'ouragan Irma touchait les Antilles françaises, et plus particulièrement les îles du Nord, Saint-Martin (STM) et Saint-Barthélemy (STB) (Nicolas *et al.*, 2018). Ouragan de classe 5 sur l'échelle de Saffir-Simpson, Irma s'est caractérisé par des rafales de vent supérieures à 300 km/h et une submersion du littoral (illustration 1). Cet événement hors normes² a été l'occasion de développer un projet de recherche collectif impliquant une quarantaine de chercheurs, majoritairement géographes, issus de sept équipes, et dénommé TIREX³. L'objectif était d'articuler le retour d'expérience (RETEX) sur cinq années avec le transfert d'apprentissages vers les populations et les décideurs locaux. Le projet partait du constat d'absence de transfert de connaissances acquises lors d'un précédent RETEX collectif réalisé suite au cyclone Lenny (1999) sur les Petites Antilles (programme EPR du MEDD, Sarant *et al.*, 2003 ; De Vanssay *et al.* 2004). TIREX répondait ainsi, à la fois à une demande scientifique visant à mieux comprendre les mécanismes et facteurs de production d'une catastrophe sur des territoires insulaires marqués par de fortes disparités socio-économiques, et par ailleurs à une demande sociétale et institutionnelle d'apprentissage des leçons d'une telle catastrophe pour anticiper l'adaptation face aux effets de futurs épisodes climatiques extrêmes. S'est alors posée la question des conditions et modalités de transfert de ces apprentissages scientifiques vers les décideurs et les populations, également associés à la production des savoirs, tout en cherchant à garantir la conservation de ces acquis sur le long terme au moyen de supports intelligibles, pérennes et accessibles.
- 2 L'apprentissage inhérent aux conséquences des catastrophes s'acquiert en particulier grâce aux RETEX dans lesquels il s'agit de « revenir de manière collective sur des événements pour en tirer des enseignements ; c'est une opportunité de progrès collectif ; c'est l'exploitation des aspects positifs d'une situation accidentelle » (Lagadec, 2001). Mais rares sont dans la littérature scientifique les RETEX continus post-catastrophe articulant à la fois l'analyse des phases d'impact, de crise, et de post-crise en suivant les processus de restauration et de reconstruction sur plusieurs années. En géographie, on peut néanmoins citer les travaux de Leone & Gaillard (1999) sur les conséquences de l'éruption du Pinatubo aux Philippines, de Hernandez (2010) et Cotellet (2014) suite à l'ouragan Katrina aux USA, ou encore de Etienne (2018) sur la reconstruction post-séisme en Haïti sur plus de 7 années. Les très nombreux autres travaux de reconstitution des effets et dynamiques sociales et territoriales post-catastrophes naturelles s'inscrivent essentiellement sur le temps court de la crise (Pagney, 1990 et 1999 ; Duvat *et al.*, 2016 ; Rey *et al.*, 2017). Il s'agissait donc dans ce projet de développer une méthode de RETEX scientifique continue, multi-dimensionnelle, essentiellement empirique, et dont la valeur ajoutée porte sur la spatialisation multiscalaire et multi-temporelle des impacts et des dynamiques de relèvement post-cyclone.

Illustration 1 – La trajectoire de l'ouragan Irma et ses effets au voisinage des Antilles (septembre 2017, catégorie 5).



Source : Projet ANR TIREX. Auteur : T. Candela.

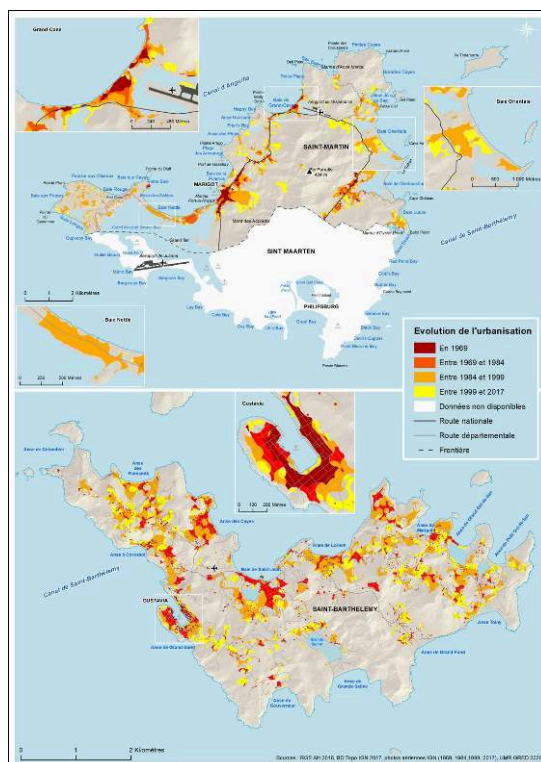
- 3 Les catastrophes peuvent être interprétées comme le prolongement de situations d'urgence quotidienne et de vulnérabilités profondes, parfois exacerbées par la catastrophe (Oliver-Smith, 1991 ; Wisner *et al.*, 2003 ; Leone et Vinet, 2006 ; Gaillard, 2008 ; Duvat, 2008 ; Hernandez, 2009 ; Magnan *et al.*, 2012 ; Defossez *et al.*, 2017). Les interactions entre développement et catastrophe sont multiples et peuvent être des leviers efficaces pour infléchir les trajectoires de développement des régions affectées (Anderson et Woodrow, 1989 ; Jha *et al.*, 2010 ; Lizarralde *et al.*, 2010 ; Lyons *et al.*, 2010 ; Moatty *et al.*, 2017 ; Davidsson, 2020).
- 4 Le suivi du processus de reconstruction permet d'apprécier les capacités de résilience et d'adaptation du système insulaire face aux risques majeurs, tant dans ses dimensions environnementales que sociales (Quarantelli, 1984 ; Gaillard, 2007 ; Revet, 2011 ; Longépée, 2014 ; Duvat, 2015 ; Collodi *et al.*, 2019), en particulier dans un contexte de changement climatique clairement identifié aux Antilles par les études disponibles (Cantet *et al.*, 2014 ; Pilon *et al.*, 2017 ; Belmadani *et al.*, 2017).
- 5 La question des modalités de transmission des connaissances entre scientifiques et gestionnaires des risques se pose aussi bien du point de vue des acquis scientifiques avérés que de la manière dont ils sont véhiculés et par la suite appropriés. Il s'agit alors d'éclairer les logiques d'action et de rendre compte, à travers une approche par l'étude des interactions (Mucchielli, 2004), des savoirs mobilisés – experts, profanes – en situation de catastrophe, et de leurs modes de circulation. Cette démarche réflexive autour des ressources et des compétences propres aux acteurs concernés, s'inscrit dans une perspective positive de reconnaissance de l'influence des contextes locaux et des capacités des individus et des communautés à faire face en situation de catastrophe naturelle (Pelling, 2003). En contrepartie, elle interroge également le rapport entre la

place des solidarités collectives et celle de l'implication des institutions publiques (Gilbert, 2013 ; Quenault, 2015).

Les méthodes du projet TIREX

- 6 Il s'agissait de poursuivre le RETEX scientifique continu, intégré, spatialisé et multidimensionnel engagé sur le terrain dès octobre 2017 en mobilisant les compétences complémentaires et pluridisciplinaires de tous les membres du groupement, en géographie des risques, analyse spatiale, géomorphologie, sciences politiques, médiation scientifique, physique de l'atmosphère, modélisation, climatologie, etc. En parallèle, le projet a permis de mettre à l'épreuve les capacités d'expertise collective du consortium à l'occasion de 6 missions de terrain régulièrement espacées, et d'interroger la pratique du RETEX (approche réflexive) et ses finalités. Le projet s'est ainsi engagé dans le développement de modalités et d'outils de transfert des apprentissages scientifiques vers les acteurs de la gestion des risques et des crises, et des populations des Petites Antilles, tout en s'attachant à optimiser et adapter ces outils aux attentes locales en matière de prévention. Le projet a également permis d'intégrer les toutes dernières connaissances sur les évolutions climatiques futures aux Antilles apportées par un précédent projet PO FEDER Guadeloupe porté par une partie du consortium TIREX : le projet C3AF (URL: <https://c3af.univ-montp3.fr/>).
- 7 TIREX était organisé en cinq tâches. La tâche 1 avait pour objectif de reconstituer les trajectoires de vulnérabilités territoriales en analysant les facteurs de production du risque de catastrophe sur les territoires de STM et STB, mais également sur la Dominique (ouragan Maria), entre 1950 et 2017 (Duvat *et al.*, 2021). L'analyse des archives a permis de répertorier les cyclones historiques, leurs fréquences, et de caractériser leurs impacts (Desarthe, 2020 ; Leone *et al.*, 2020). 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 productions du risque ainsi que sur l'évaluation des vulnérabilités et des capacités de résilience *ante* catastrophe (Defossez et Gherardi, 2022 ; Defossez *et al.*, 2022). Le processus d'urbanisation des deux îles, en tant que premier facteur de production du risque cyclonique, a pu être reconstitué par photo-interprétation pour quatre dates (1969, 1984, 1999, 2017) (illustration 2). Amorcée dans les années 1960, l'urbanisation s'accélère dans les années 1980 avec une croissance du nombre de logements de + 195 % à Saint-Martin et + 84 % à Saint-Barthélemy, puis s'opère une décélération dans les deux îles. Cette croissance est souvent imputée, en partie, à la loi Pons de 1986 sur les outremer. La population a également connu une progression constante et rapide puis une légère baisse à Saint-Martin dans les années 2000 (les chiffres de populations y sont parfois contestés – sous estimés – en raison de la présence non comptabilisée d'immigrés illégaux).

Illustration 2 – Reconstitution de la tache urbaine des îles du Nord (Saint-Martin & Saint-Barthélemy) entre 1950 et 2017



Source : Projet ANR TIREX. Auteurs : M. Gherardi, S. Defossez, A. Barbier.

- 8 La tâche 2 s'intéressait aux conséquences physiques (infrastructures, dysfonctionnements, pertes économiques), géomorphologiques (environnements littoraux, érosion côtière et submersion), mais également à la reconstitution numérique à haute résolution des principaux phénomènes dommageables impliqués (trajectoires, précipitations, vents, submersion) afin d'établir des seuils de dommages significatifs et des corrélations spatiales entre la force des aléas et l'intensité des dommages. Une campagne bathymétrique a été réalisée sur plusieurs sites afin de combler l'absence de données sur les petits fonds. 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 leur niveau de fiabilité spatiale et attributaire, ces données étant acquises par photo-interprétation d'images satellitaires (Leone *et al.*, 2021).
- 9 La tâche 3 s'est focalisée sur le processus continu de gestion de crise (avant, pendant, après) et le suivi de la reconstruction territoriale au sens large (Moatty, 2015). La dynamique spatiale de la reconstruction a pu être quantifiée et cartographiée au moyen d'indicateurs originaux (réservations touristiques Airbnb, remise en état des piscines, relevés de terrain, télédétection automatisée). Ses leviers, blocages, acteurs, ont été identifiés au moyen d'entretiens et d'une analyse de la révision du Plan de Prévention des Risques Naturels post-Irma (Grancher *et al.*, 2020 ; Moatty et Grancher, 2022). La dimension sociale du processus a été analysée aux niveaux individuel et collectif en s'intéressant au vécu de la crise et de la post-crise, aux stratégies de relèvement, aux solidarités, aux disparités socio-spatiales, aux rumeurs, etc. (Defossez et Gherardi, 2020 ; Moatty *et al.*, 2019 ; Moatty, 2022). Des comparaisons ont pu être établies entre

STB et STM mais également avec l'île de la Dominique qui a subi le cyclone Maria (Battut *et al.*, 2022). Des contacts privilégiés ont été établis avec des institutions, des associations et des habitants. On a pu ainsi caractériser l'influence des réseaux sociaux dans la diffusion de la rumeur sur le nombre de morts, phénomène qui a ajouté des difficultés à la gestion de la crise quelques jours après le cyclone (Moatty *et al.*, 2019). Une étude ciblée sur les adolescents de STM a permis de suivre le rôle de cette classe d'âge particulièrement vulnérable, lors de la phase de relèvement (Moatty *et al.*, 2020).

- 10 La tâche 4 était dédiée à la production d'outils de transfert des apprentissages du RETEX et à la diffusion des connaissances acquises au cours de ces cinq années de RETEX. Pour ce faire, le projet a mobilisé des outils de transfert des savoirs et d'éducation novateurs, fondés sur des approches participatives, des mises en situation, des jeux sérieux, des outils numériques en ligne et interactifs de type *storymaps*, un guide de bonnes pratiques réunissant des fiches assorties de recommandations (Collectif scientifique du projet ANR TIREX, 2021)... En parallèle, 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 (Bérard *et al.*, 2022). Ce faisant, la réflexion porte aussi sur les limites du RETEX, ce qui était un attendu majeur du projet TIREX notamment au regard de RETEX conduits antérieurement dans la région. Plusieurs obstacles ont été identifiés, concernant aussi bien les conditions sociales de production des connaissances, les effets de cadrages institutionnels, les attendus épistémologiques tacites, le manque de prise en compte des contraintes au sein desquelles décision et action se déploient. La mise à plat de ces obstacles est apparue essentielle à la consolidation des outils de transfert des apprentissages du RETEX.

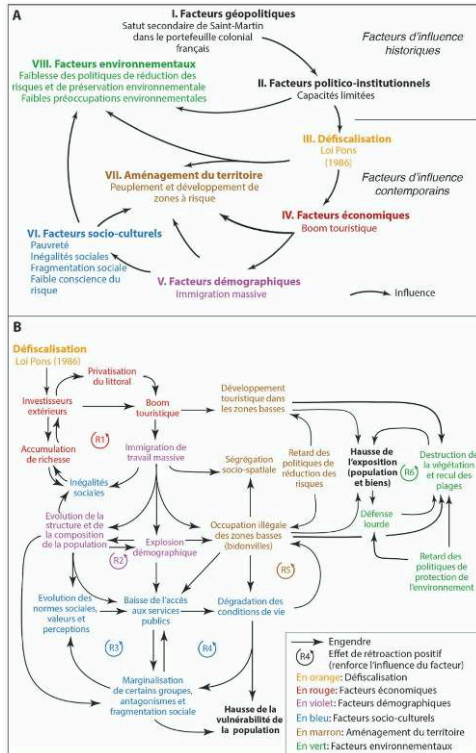
Les principaux apprentissages du RETEX TIREX

Trajectoires de vulnérabilités territoriales (1950-2017)

- 11 L'analyse de l'exposition des territoires sur le temps long a permis la reconstruction des trajectoires de vulnérabilités et d'exposition, et de comprendre les facteurs directs et indirects, et mécanismes de production des risques (Duvat *et al.*, 2021). 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 – dont elle fut jusqu'en 2007 rattachée administrativement – et la Martinique. Ce double éloignement a construit la spécificité économique et politique du territoire saint-martinois (Redon, 2007). Si le développement du tourisme à partir des années 1960 a participé à dynamiser le territoire, cette activité a rendu le territoire plus vulnérable sous l'effet d'une urbanisation massive du littoral (Defossez & Gherardi, 2021). Ce développement s'est également accompagné de fortes disparités socio-spatiales qui se traduisent par des vulnérabilités en termes de constructions et de logements. Nous constatons que les dynamiques socio-politiques historiques impliquant des modes de développement et de peuplement non durables, la faiblesse des institutions locales, la méfiance de la population envers les pouvoirs publics, les fortes inégalités sociales et la dégradation de l'environnement, ont maintenu STM sur une trajectoire de maladaptation (qui se définit par l'augmentation continue du risque et l'inefficacité des politiques publiques)

par le biais de puissants mécanismes de renforcement du risque opérant à la fois entre et pendant les événements cycloniques (illustration 3).

Illustration 3 – Les causes profondes de l'exposition et de la vulnérabilité aux cyclones de Saint-Martin

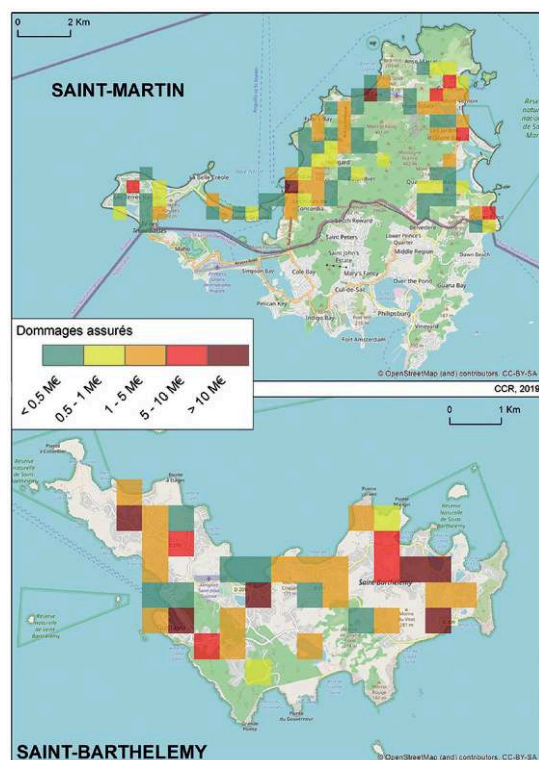


Source : Projet ANR TIREX. Auteurs : V. Duvat *et al.*, 2021.

Impacts et résilience des environnements côtiers

- ¹² Le coût de l'ouragan Irma a été réévalué suite à nos travaux à 2,3 milliards d'euros ce qui en fait l'évènement le plus important depuis la naissance du régime Cat Nat en termes de dommages assurés (source CCR) (Desarthe *et al.*, 2020) (illustration 4).

Illustration 4 – Répartition spatiale des dommages assurés Cat Nat consécutifs au passage d'Irma sur Saint-Martin et Saint-Barthélemy (données agrégées par maille de 500 m de côté)

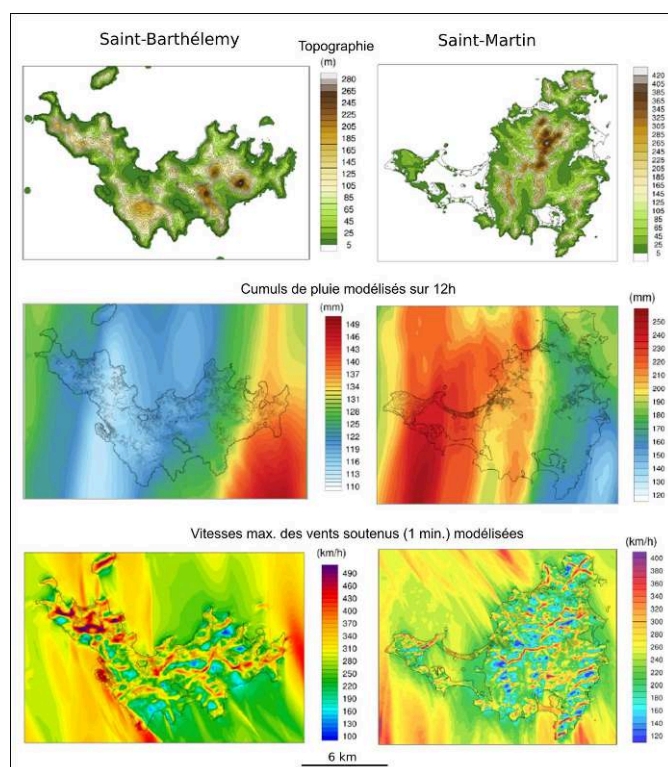


Source : Projet ANR TIREX. Auteurs : J. Desarthe *et al.* ; CCR.

- 13 Compte tenu de l'importante vulnérabilité des petites îles des Antilles face aux aléas cycloniques, la modélisation numérique aux très fines échelles (entre 300 m et 10 m de résolution) est essentielle pour mieux prévenir et gérer les impacts induits par les vents cycloniques (Cécé *et al.*, 2021). L'étude numérique novatrice développée a permis de combiner à la fois la représentation la plus réaliste des rafales extrêmes générées par des tourbillons intenses (*tornado-scale vortices*) dans le mur de l'œil, ainsi que les effets complexes à la surface des îles (dus au relief, à l'occupation du sol, ...). Le modèle numérique de prédiction météorologique *Weather Research and Forecasting* (WRF) avec une configuration de simulation aux grandes échelles (*Large Eddy Simulation*, LES) a été utilisé pour reconstruire le passage dévastateur de l'ouragan Irma sur les îles de STM et de STB. Les résultats ont montré la pertinence d'une résolution de 30 m pour simuler les structures tourbillonnaires les plus petites (*multiple subornadic-scale vortices*) pouvant conduire à des rafales instantanées de 132 m/s en mer. Sur les deux îles, nous avons identifié les zones à risque associées à des effets de site occasionnant des accélérations locales des rafales cycloniques. Ainsi, les vents modélisés à une résolution 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 (illustration 5). Les corrélations établies avec les intensités de dommages sur les bâtiments ont montré un seuil de dommage critique atteint autour de 200 km/h. Ces dommages ont été beaucoup plus marqués sur STM qu'à STB, du fait d'un bâti beaucoup plus vulnérable. En effet, les données fournies par le service européen satellitaire Copernicus (2018) ont montré que seulement 16 % du patrimoine bâti de STB ont subi des dommages significatifs (contre 54 % à STM), tandis que les dommages les plus graves ont concerné seulement 5 % des bâtiments de STB

(contre 30 % à STM). 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 (Leone *et al.*, 2021 ; Candela *et al.*, 2022a).

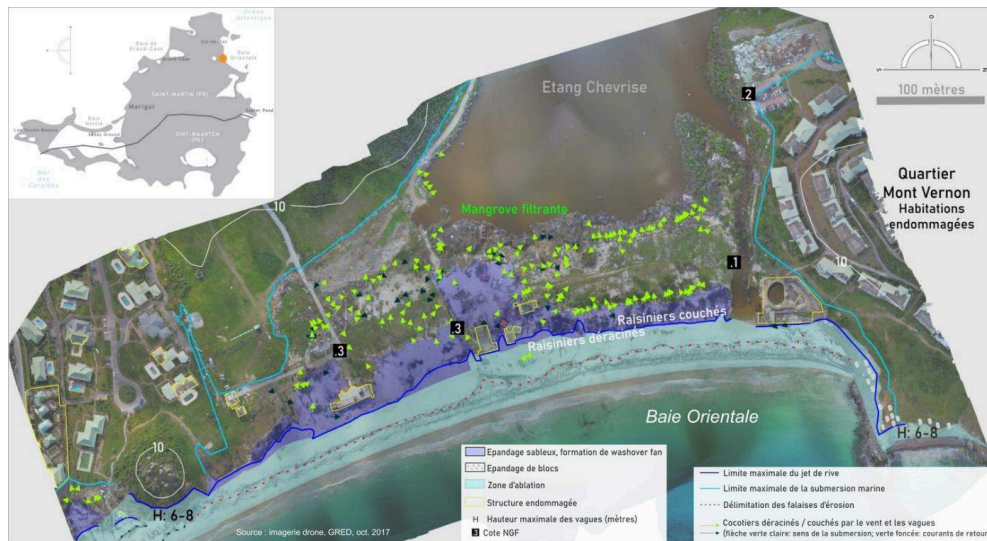
Illustration 5 – Reconstitution numérique des pluies et des vents cycloniques à une résolution de 30 m sur Saint-Barthélemy et Saint-Martin



Source : Projet ANR TIREX. Auteurs : R. Cécé *et al.*

- 14 Une analyse diachronique de la géomorphologie des différents sites retenus a permis de mettre en avant également les conséquences de la submersion marine et de la houle sur le trait de côte (Duvat *et al.*, 2019 ; Pillet *et al.*, 2019 ; Rey *et al.*, 2019 et 2020). De manière générale, les plages ont connu un recul important du trait de côte, par exemple de 15 m à Baie Nettlé (STM) et à Toiny (STB). Les plages des fronts de mer urbanisées, souvent exiguës comme à Grand Case (STM) ou Lorient (STB) ont par contre peu reculé du fait de leur état initial (souvent dégradé). En revanche leur altitude a considérablement baissé. La présence de végétation ou encore de récifs coralliens a permis localement de réduire les dommages, en bloquant les débris, ou en atténuant la hauteur des vagues à la côte (illustration 6). 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 deltas de crue (Battut *et al.*, 2022). D'autres analyses de terrain ont montré que les inondations ont eu une cinétique complexe dans les secteurs où les eaux de débordement des étangs se sont ajoutées au ruissellement pluvial et à l'inondation marine. Les effets de canalisations par les routes et les bâtiments, les fossés de drainage et le réseau hydraulique en général, ont produit des situations imprévisibles. Si l'urbanisation des fronts de mer a limité la submersion marine, l'imperméabilisation des sols a accru les inondations par ruissellement pluvial.

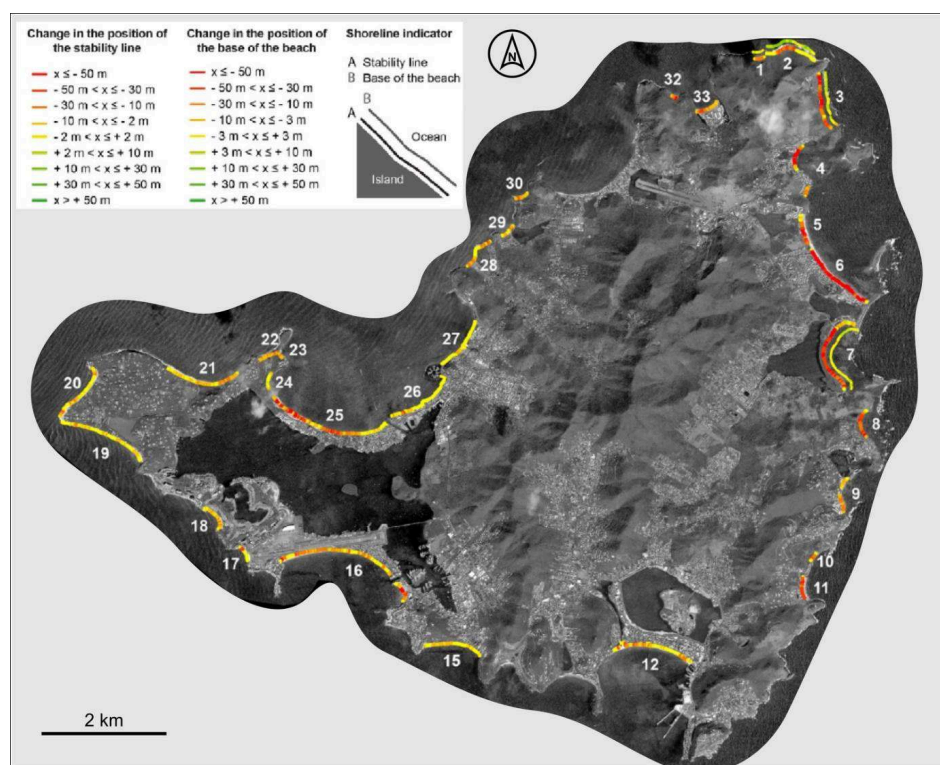
Illustration 6 – Cartographie sur image drone des zones submergées par Irma, impacts géomorphologiques et rôle protecteur de la mangrove au niveau de Baie Orientale (Saint-Martin)



Source : Projet ANR TIREX. Auteurs : T. Rey *et al.*

- 15 Par ailleurs, les valeurs de recul post-cyclone les plus fortes ont été mesurées sur la côte orientale de STM (valeurs de recul moyennes et maximales de - 68 m et - 166 m dans la baie Orientale et dans la baie de Cul-de-Sac, respectivement). Cette île se caractérise par de forts contrastes est/ouest illustrés par des valeurs de recul nettement moins fortes dans l'ouest (avec par exemple des valeurs moyennes et maximales de - 4 m et de - 30 m dans la baie aux Prunes) (illustration 7). Les valeurs de recul post-cyclone moyennes et maximales ont été moins élevées sur les autres îles : - 21 m et - 49 m à Tortola ; - 8 m et - 32 m à Anegada ; - 29 m et - 75 m à Anguilla ; - 18 m et - 62 m à STB. Les taux de recul ont été les plus élevés sur les sites exposés aux vagues cycloniques et sur lesquels le trait de côte n'était pas fixé par des aménagements.

Illustration 7 – Réponse géomorphologique contrastée des plages suite à l'activité cyclonique de la saison 2017 (Saint-Martin)



Source : Projet ANR TIREX. Auteurs : V. Duvat *et al.*, 2019.

- 16 Quatre enseignements principaux peuvent être tirés de ces études (Duvat *et al.*, en prép.) :

- (1) Dans le nord des Petites Antilles, les cyclones ont un impact érosif durable sur les systèmes sédimentaires côtiers. Par conséquent, l'intensification des cyclones les plus intenses et l'augmentation de la hauteur des vagues cycloniques dus au changement climatique auront pour effet d'accélérer l'érosion de ces systèmes côtiers.
- (2) Le taux de réajustement post-cyclone (retour vers un état initial) des systèmes sédimentaires côtiers n'est pas corrélé au taux de recul du trait de côte.
- (3) La variabilité spatiale des impacts des cyclones est forte, à l'échelle régionale comme locale, en fonction de l'exposition aux vagues cycloniques et du degré de fixation du trait de côte. Là où il était présent, le bâti a limité le recul du trait de côte, mais au prix d'importants dommages et parfois de la contraction des plages.
- (4) Les taux de recul élevés du trait de côte qui s'observent lors du passage de cyclones intenses – et qui se combinent à des submersions marines étendues et à de forts dommages causés au bâti et aux infrastructures – constituent un solide argument pour repenser l'aménagement du territoire afin de réduire l'exposition et la vulnérabilité des systèmes côtiers des Petites Antilles du Nord aux impacts des événements cycloniques qui sont et continueront à être exacerbés par le changement climatique.

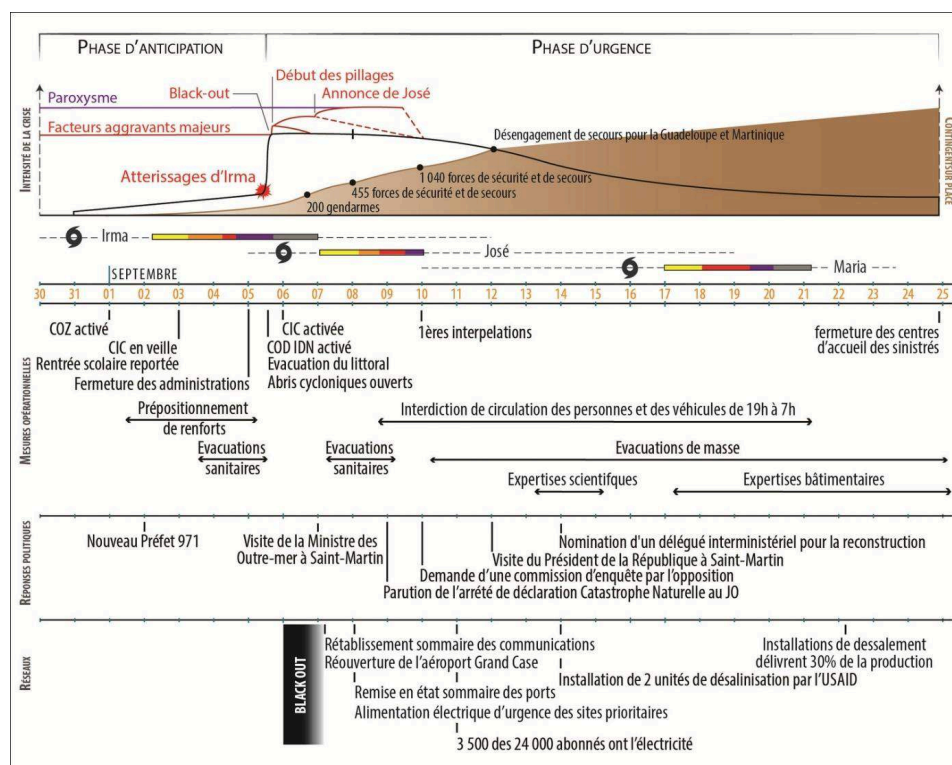
Gestion de crise et suivi de la reconstruction territoriale

- 17 La chronologie détaillée de la crise et des réponses apportées a été reconstituée et mise en ligne sur le internet site du projet⁴. Les premiers temps de la frise chronologique

relatent les principaux événements marquants des phases d'anticipation et d'urgence, depuis la détection du phénomène Irma le 30 août 2017, jusqu'à la fin du mois de septembre (illustration 8). Ils ont fait l'objet d'un traitement quantitatif traduit par une courbe d'intensité de la crise, à laquelle s'ajoutent trois événements clairement identifiés au cours des entretiens comme étant des éléments de surprise : un black-out de plusieurs heures sur l'île ; des pillages ; l'annonce du passage d'un second cyclone (José). Le paroxysme de la crise a été identifié aux alentours des 7 et 8 septembre. Une seconde courbe représente le contingent déployé sur les îles du nord. Elle tient compte du volume des forces annoncées par les Ministères de l'Intérieur et des Armées au cours des premiers jours de la crise. Le 25 septembre, près de 3 000 membres des forces de sécurité et de secours étaient comptabilisés sur place, ce qui correspond au pic du contingent extérieur sur l'île.

- 18 A l'approche d'Irma, les habitants de Saint-Martin ont été avertis et incités à évacuer vers des abris cycloniques pré-identifiés par les autorités. Des bus ont été déployés pour récupérer les personnes mais peu ont accepté d'évacuer malgré le risque de submersion marine. Ce cyclone a mis en exergue la difficulté de prévoir des abris cycloniques fiables. En effet, sur les onze abris prévus avant le passage d'Irma, deux ont été fermés le 5 septembre, soit la veille, un autre fut évacué le même jour, et un dernier n'a finalement jamais été ouvert (ces abris n'ont pas été considérés suffisamment fiables par les autorités, notamment à cause de leur vétusté ou proximité avec la mer ou les étangs). Ces défaillances en phase d'urgence ont encore un peu plus renforcé la méfiance des populations envers ces dispositifs préventifs.

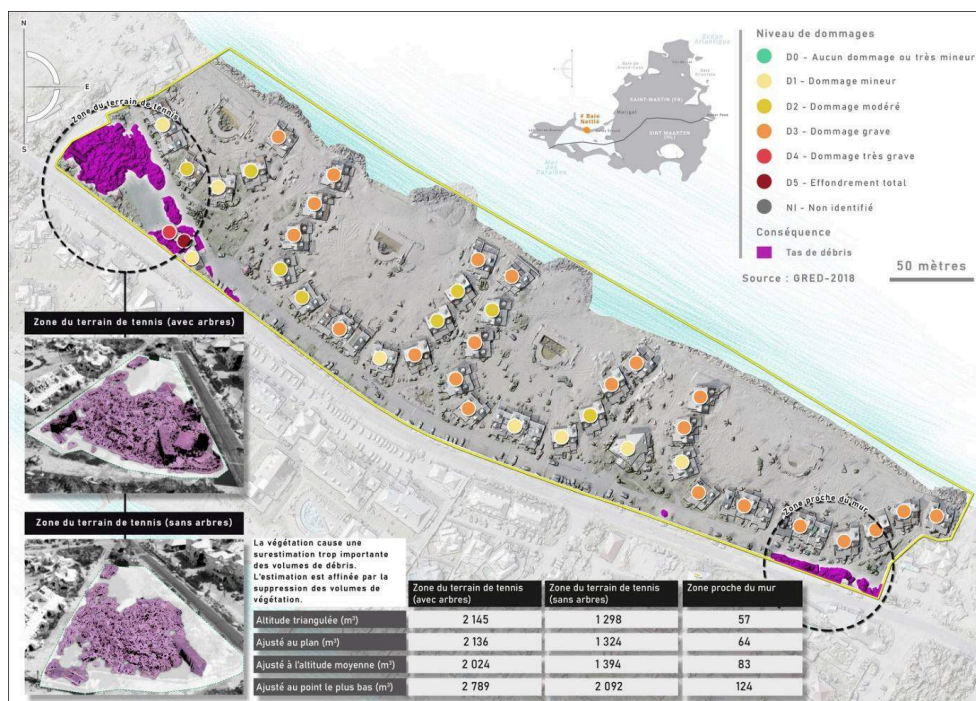
Illustration 8 – Reconstitution chronologique des premières semaines de la crise et des réponses apportées (saison cyclonique 2017, Saint-Martin)



Source : Projet ANR TIREX. Auteurs : M. Péroche, E. Lagahé, F. Vinet.

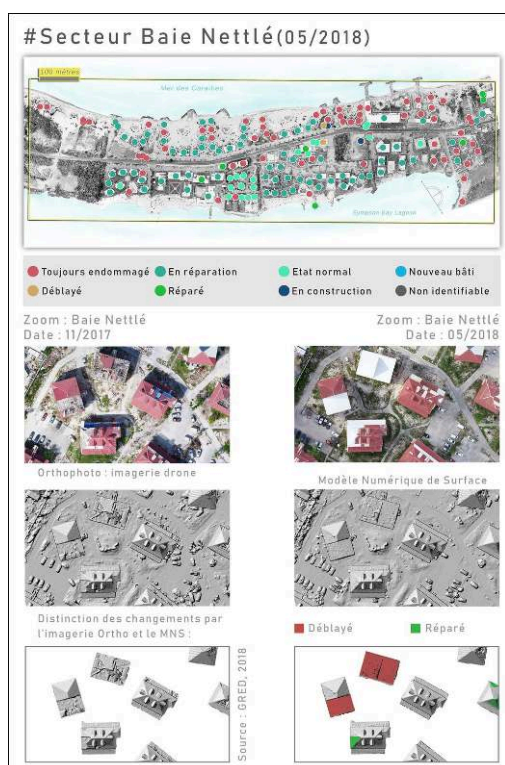
- 19 Le thème de la production des déchets post-Irma et de leur gestion a été particulièrement investi car c'est un enjeu fort du processus de reconstruction. Ainsi les cubages obtenus par drone et traitements statistiques des données de collecte nous ont permis d'évaluer le poids total de débris produits par Irma sur Saint-Martin à 1,7 tonnes par habitant, avant démolitions éventuelles (Vinet *et al.*, 2020) (illustration 9). Par ailleurs, 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 (illustration 10). En juillet 2019 (22 mois après Irma), 40 % du bâti fortement endommagé de STB était totalement reconstruit, contre 22 % seulement à STM. L'effort de reconstruction a par ailleurs été plus rapide à STB avec 19 % de ce bâti reconstruit (contre 11,5 % à STM) en mars 2018, soit sept mois après le passage d'Irma (illustration 11).

Illustration 9 – Exemple d'estimation des volumes de débris cycloniques (cubage) à partir de traitements photogrammétriques d'images acquises par drone et typologie des dommages sur les bâtiments (Saint-Martin)



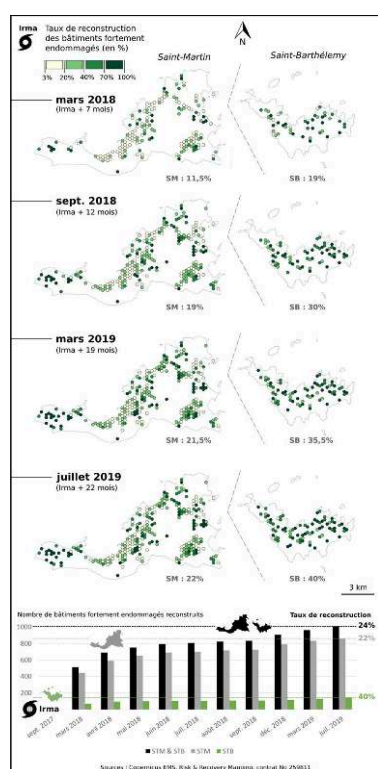
Source : Projet ANR TIREX. Auteurs : F. Leone, M. Péroche, T. Candela.

Illustration 10 – Exemples de traitements altimétriques différentiels acquis par drone permettant de suivre la reconstruction du bâti à deux dates et typologie (Saint-Martin)



Source : Projet ANR TIREX. Auteurs : F. Leone, M. Péroche, T. Candela.

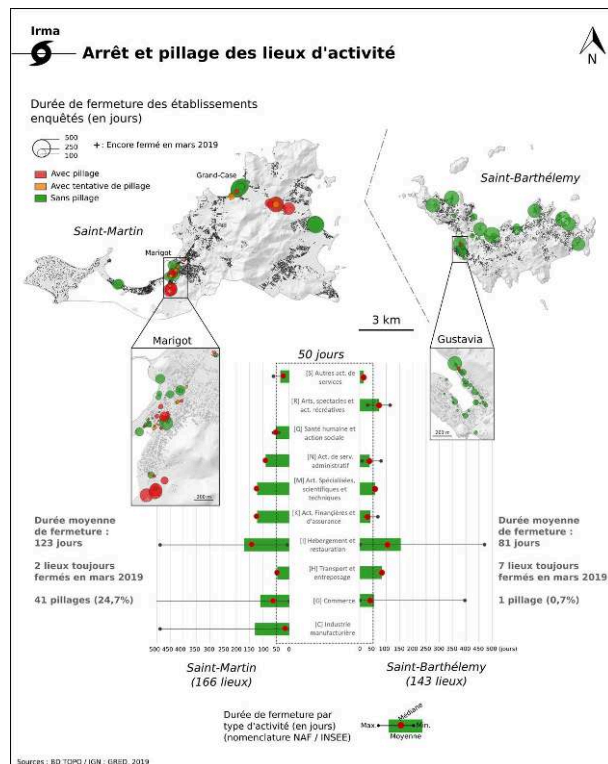
Illustration 11 – Comparaison de la dynamique de reconstruction du patrimoine bâti fortement endommagé entre Saint-Martin et Saint-Barthélemy



Source : Projet ANR TIREX. Auteur : F. Leone.

- 20 Ces contrastes s'expliquent bien entendu par un volume total de dommages bien plus faible à STB, mais aussi par une plus grande capacité de relèvement (Defossez *et al.*, 2022). Par ailleurs, les enquêtes systématiques auprès des lieux d'activité économique ont montré une reprise d'activité globale et moyenne 1,5 fois plus rapide à STB avec 81 jours de fermeture contre 123 à STM. Les activités d'hébergement et de restauration ont été les premières à se relever, suivies des activités de transport. Les retards accumulés à STM ont été principalement dus à l'intensité des dommages sur les bâtiments associés, mais ont également été le fait des pillages massifs à STM au lendemain du passage d'Irma (41 établissements pillés soit 24,7 %) (illustration 12). Ces pillages qui ont parfois provoqué davantage de pertes que l'ouragan lui-même, sans compter les traumatismes induits.

Illustration 12 – Arrêt et pillage des lieux d'activité suite au passage de l'ouragan Irma (Saint-Martin vs Saint-Barthélemy)



Source : Projet ANR TIREX. Auteurs : F. Leone, A. Arnould, T. Candela.

- 21 Le passage de l'ouragan Irma a été le théâtre de plusieurs rumeurs, en particulier sur le nombre de morts (Moatty *et al.*, 2019). A Saint-Martin, le bilan humain a été de 11 morts et 2 disparus dont certains étaient sur des bateaux. Du point de vue des sinistrés ce nombre officiel de victimes est apparu faible, du fait du décalage avec la catastrophe vécue et perçue, de l'ampleur du phénomène et du traumatisme causé par cette crise, de la présence de personnes en situation irrégulière, de sans domicile fixe et marginaux, de zones d'habitat très précaire, dans un contexte de méfiance du grand public envers les autorités. Dès le lendemain de la catastrophe, la rumeur d'un bilan compris entre 100 et plus de 1 000 morts fut démentie par de nombreuses investigations ainsi que par des communiqués officiels. Plus d'un an après elle persistait, entraînant des conséquences socio-politiques qui ont influencé la reconstruction post-catastrophe (Moatty *et al.*, 2021). Cette analyse a permis d'identifier les origines et de comprendre les conséquences de cette rumeur qui révèle la particularité des structures socio-territoriales saint-martinoises, et questionne les modalités de la communication en période post-crise.
- 22 Les dommages de l'ouragan Irma sur le territoire et la société de Saint-Martin ont mis en évidence l'accumulation de vulnérabilités structurelles, organisationnelles et socio-économiques de long terme qui ont amplifié les conséquences de l'ouragan. Moatty et Grancher (2021) ont montré que les lacunes de communication et de concertation avec la Collectivité ont contribué à la détérioration du climat social post-Irma. De plus, la réactivation de conflits latents cristallisés autour de l'aménagement du territoire a apporté une nuance supplémentaire. En effet, l'échec des premières phases de concertation autour de la révision du Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRn)⁵,

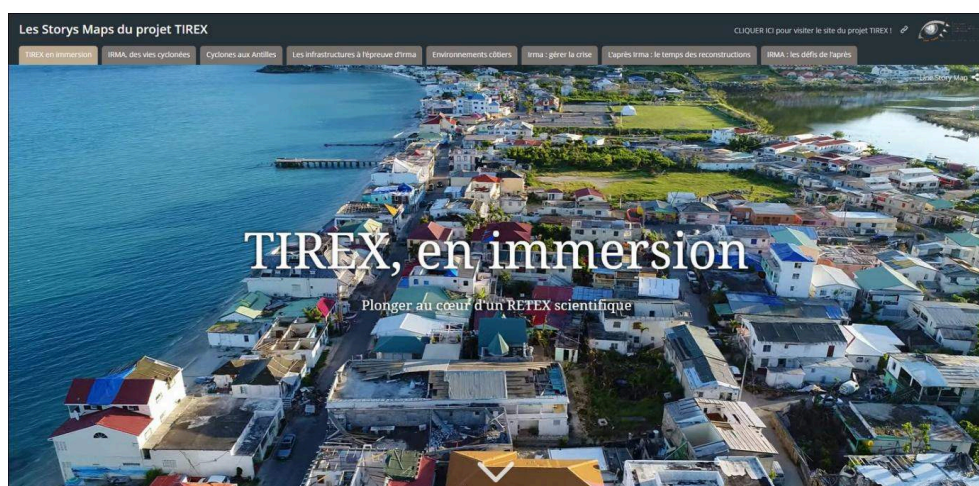
ainsi que l'absence de consensus sur la stratégie de développement économique, ont conduit à la persistance des structures préexistantes et témoignent de la puissance de l'inertie du système face aux bifurcations de trajectoire. Il en a résulté un climat de défiance et une exacerbation des tensions au sein de la société, ainsi qu'une reproduction des modèles de développement et d'aménagement. Aussi, cinq années après le passage d'Irma, nous constatons que le littoral de Saint-Martin a été reconstruit quasiment à l'identique.

- 23 Néanmoins, la restructuration de la gouvernance post-catastrophe a généré un gain de temps et d'efficacité en permettant de contourner de nombreux canaux traditionnels de communication et d'administration qui, s'ils sont garants d'une utilisation juste des fonds publics, prennent beaucoup de temps. Cette capacité à réagir rapidement et de manière coordonnée, associée aux élans de solidarité à différentes échelles a permis de limiter le nombre et la persistance de situations d'extrême précarité (Moatty, 2022). La combinaison des réponses institutionnelles et des capacités à faire face des habitants a permis d'éviter une catastrophe humanitaire. D'une part, les acteurs institutionnels ont été en mesure de mettre en œuvre des stratégies de gestion efficaces et efficientes. D'autre part, la vulnérabilité des habitants au risque de pénurie d'eau douce durant la crise a été fortement réduite par une adaptation construite bien en amont d'Irma, en réponse au contexte local (Reghezza-Zitt *et al.*, 2021). Le réengagement de l'État et les moyens déployés, ont aussi engendré un plus grand respect des lois et des normes en vigueur, favorisant ainsi une plus grande équité sociale et économique. Pour ces raisons, le cas de Saint-Martin illustre la volonté des autorités nationales et locales à saisir cette opportunité de changement vers davantage de résilience collective (Moatty et Grancher, 2021 ; Moatty *et al.*, 2021).

Quelques outils de transfert des apprentissages

- 24 Afin de consolider les apprentissages du RETEX et d'en assurer la transmission vers les populations et les décideurs locaux, les principaux résultats du projet TIREX ont été mis en forme au moyen de différents supports cartographiques interactifs et de *storymaps* (cartographies narratives), donnant la possibilité de revisiter cette catastrophe⁶ (illustration 13). 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 sinistrés. Le site internet qui permet de conserver cette expérience est en ligne, ouvert au grand public, à vertu pédagogique. Il rend également hommage à tous les habitants qui ont témoigné sur leur propre expérience de cette catastrophe.

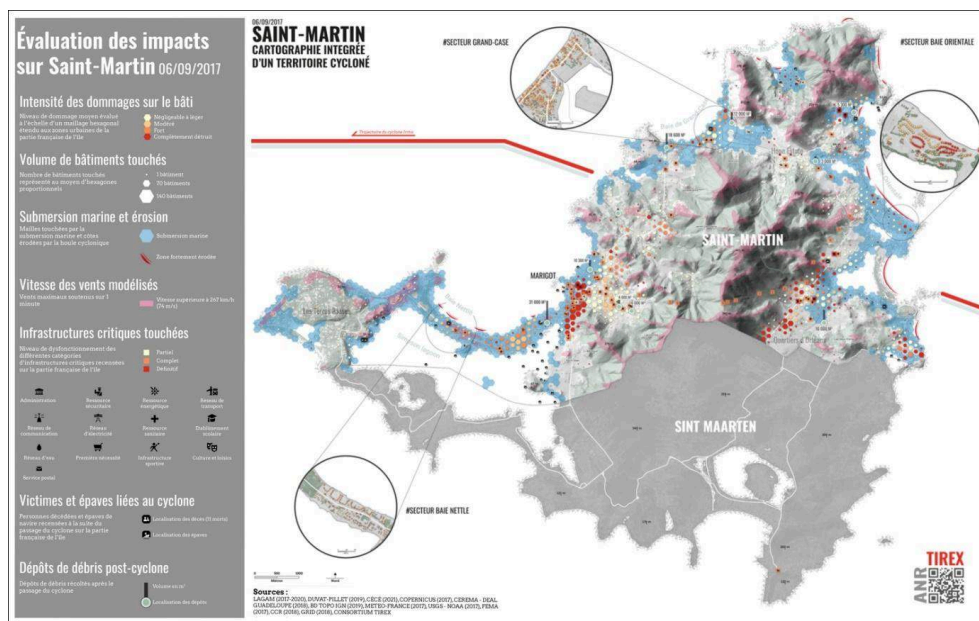
Illustration 13 – Les storymaps du projet TIREX pour revivre le cyclone Irma et ses impacts physiques et humains sur Saint-Martin et Saint-Barthélemy (Petites-Antilles du Nord)



Source : Projet ANR TIREX. Auteurs : E. Lagahé *et al.*
[Accessible en ligne]. URL: <https://arcg.is/1KXmn1>

- 25 En lien avec la production cartographique associée au projet, les grandes quantités de données récoltées ou produites au cours du RETEX ont permis d'explorer de nouvelles représentations spatiales (cartes sonores, interactives, dynamiques⁷, cartes en semi-réguliers de points proportionnels, cartes intégrées, incertitudes spatiales...), de les optimiser et de tester leur efficacité et leur compréhension auprès de communautés d'utilisateurs variés, au moyen de différents protocoles, en particulier d'*eyetracking* (Candela *et al.*, 2022a et 2022b). L'outil cartographique a ainsi été étudié, en tant qu'objet d'analyse partagé propice aux actions interdisciplinaires et en tant que support d'information utile au transfert des connaissances, pendant et après le retour d'expérience, auprès des populations et des acteurs de la gestion des risques et des crises (Candela & Leone, 2022 ; Péroche *et al.*, 2021) (illustration 14).

Illustration 14 – Synthèse cartographique des principaux impacts physiques générés par l'ouragan Irma sur Saint-Martin



Source : Projet ANR TIREX. Auteurs : T. Candela, F. Leone, et al.
[Accessible en ligne]. URL: <https://hal.science/hal-03854235>

- 26 Dans les territoires d'outre-mer, les adolescents sont un public particulièrement absent des études sur les risques. Pourtant Moatty *et al.* (2020) ont montré qu'ils sont, en cas de catastrophes, impliqués personnellement et non uniquement spectateurs. Partant de ce constat un jeu sérieux sur table, dénommé *Ouragame*, a été construit et testé, afin de sensibiliser ces jeunes acteurs de la crise aux modalités et enjeux de la post-catastrophe cyclonique, en particulier sur le moyen et le long terme (illustration 15). Le jeu sérieux constitue une méthode originale de transfert des apprentissages, notamment vers les populations jeunes, qui permet aux joueurs de « vivre » l'apprentissage plutôt que de le subir. Les créateurs du jeu (Grancher *et al.*, 2022) sont partis du constat que les jeux sérieux ayant pour thématique les risques naturels sont essentiellement centrés sur la phase de prévention. De plus, dans un cadre éducatif, les règles de jeu qui sont développées mobilisent surtout les connaissances thématiques et scolaires. On ne retrouve que de manière parcellaire la confrontation aux cas réels et à la complexité, qui demeure inhérente à la gestion d'une crise (durée, emprise spatiale et sociétale). Le jeu *Ouragame* est prévu pour être intégré dans les programmes scolaires pour une séance en classe entière. L'enseignant choisit le contenu des cartes qu'il veut soumettre aux élèves et les éléments qu'il souhaite aborder dans le débriefing. Il ajuste ainsi la séance en fonction du vécu des élèves et de leur expérience. *Ouragame* vient d'être édité pour une diffusion dans l'ensemble des territoires français d'outre-mer.

Illustration 15 – Le plateau de jeu sérieux *Ouragame* destiné à sensibiliser le jeune public aux stratégies de gestion d'un territoire cyclonné (version mai 2023)



Source : Projet ANR TIREX. Auteurs : D. Grancher et al.

Discussions

- 27 La saison cyclonique 2017, par son ampleur, est venue poser à la communauté scientifique internationale de nombreuses questions sur la physique et la dynamique des cyclones, mais a aussi demandé de s'interroger, dans un contexte de changement climatique, sur la problématique de l'incertitude dans la prévision qu'il n'est pas possible d'éliminer malgré les progrès permanents de la modélisation numérique. Dans ce contexte, il a été opéré le « rejeu » des événements cycloniques de 2017 avec la prévision d'ensemble à échelle régionale PE AROME de Météo-France (elle sera complètement opérationnelle en 2023). Ces simulations ont servi à l'élaboration de prototypes de cartes probabilistes à destination des gestionnaires de crise, présentées et discutées lors d'un Atelier en juin 2019. Mais c'est aussi un ensemble de prototype de représentation de l'information probabiliste pour les paramètres pluies et vent qui ont pu être présentés et discutés avec ces mêmes gestionnaires. Au-delà de tous les outils, modèles et nouveaux moyens pour apprécier à juste titre le risque, ce sont l'importance de la relation entre acteurs, le partage des enjeux et des priorités, qui paraissent encore être les fondamentaux d'une gestion de crise efficace afin d'éviter les confusions dans un contexte d'une circulation d'informations météorologiques variées se diffusant rapidement sur les médias et réseaux sociaux. Cette immersion en sciences humaines a donc permis à Météo-France de s'interroger pour faire évoluer les pratiques d'amélioration de la gestion de crise cyclonique aux Antilles françaises.

- 28 Ce RETEX holistique et inédit a mis en exergue l'urgence de s'attaquer aux causes profondes de l'exposition et de la vulnérabilité des territoires insulaires pour réduire les risques côtiers et cycloniques, actuels et futurs. Dans le contexte actuel d'accroissement des pressions météo-marines, nos résultats permettent de réinterroger les stratégies de protection mises en œuvre sur ces territoires.
- 29 Vingt ans après les initiatives lancées par le CNRS et l'École des Mines notamment, les conditions de réalisation des retours d'expérience (RETEX) et l'analyse de leurs effets sur les politiques du risque restent à renforcer et à capitaliser. La contextualisation des RETEX (formes historiques et situées, acteurs, territoires et savoirs impliqués) apparaît tout d'abord comme un chantier encore peu exploré, alors qu'elle permet d'éclairer de manière située ses résultats autant scientifiques que sociétaux. La contribution du projet TIREX au transfert des apprentissages qui œuvrent à une approche intégrée suppose également de poursuivre la réflexion quant à l'invention de nouvelles modalités d'association entre producteurs de savoirs, gestionnaires de crise et populations, en menant un « RETEX sur le RETEX ». Ils mettent en particulier en évidence la trajectoire maladaptative de Saint-Martin au cours des dernières décennies, illustrée par la hausse continue du risque sous l'effet de l'augmentation de l'aléa, de l'exposition et de la vulnérabilité, y compris en raison de politiques publiques inefficaces.
- 30 Au-delà de l'institutionnalisation du RETEX comme pratique de gouvernement du risque en France et du rôle-clé joué par les sciences humaines et sociales dans la formalisation des méthodes de RETEX intégrés, nous appelons à franchir une nouvelle étape. L'hypothèse qui sous-tend notre approche est qu'un RETEX scientifique capable d'apprendre de lui-même, de ses frictions tant sur le terrain (avec les pouvoirs publics comme les populations) qu'entre disciplines et dans la mise en œuvre de ses méthodologies, de « ce qui ne marche pas » comme « de ce qui marche », permet de consolider le transfert de ses apprentissages. Nous proposons de formaliser cette démarche sous la forme de trois boucles d'apprentissage, allant des résultats aux épistémologies et à l'éthique de la recherche en passant par l'enquête et le cadrage du RETEX. Sur cette base, nous interrogeons la pratique du RETEX scientifique en contexte ultramarin et formulons une série de recommandations à destination des producteurs de RETEX scientifiques et de leurs commanditaires (Bérard *et al.*, 2022) :
- privilégier la recherche des causes systémiques (et « profondes ») sur le procès en responsabilité (bien souvent illusoire) après la catastrophe et sortir d'une lecture individualisante de la gestion de crise, mettant en scène des « héros » d'un côté et des « boucs-émissaires » de l'autre ;
 - appeler à l'intégration d'une perspective de long terme et à la mise en série des RETEX, au-delà du « présentisme » (que l'injonction de la recherche par projet à « produire » sur un temps court alimente également à sa façon), de la rupture ou du caractère exceptionnel, singulier, irréductible de l'événement, qui empêche de penser les similarités et donc d'apprendre d'une catastrophe ou d'une crise à l'autre ;
 - faciliter la co-construction transversale ou horizontale (« par le bas », les territoires, l'intégration des savoirs locaux, etc.), ce qui passe, pour les territoires ultramarins, par l'acquisition de compétences interculturelles, l'élaboration de protocoles d'accord entre institutions pour la formation, le partage de compétences et la formalisation d'une solidarité interterritoriale destinée à répondre collectivement aux événements à venir.

- 31 Entre RETEX scientifiques, politiques post-catastrophes et résilience territoriale, au-delà de la seule gestion de crise, en guise de conclusion, deux défis restent à relever pour les territoires ultramarins :
- le développement de la recherche, de l'enseignement supérieur et de la formation professionnelle (et *in fine* de l'expertise) dans les territoires dits « périphériques » ou « éloignés » des outre-mer, notamment en réponse au « *turnover* » des gestionnaires de crise venus de l'Hexagone et qui y retournent (tous les 2-3 ans en moyenne) comme facteur de risque engendré ou aggravant des catastrophes « naturelles », au profit de la capitalisation des expériences, de leur transmission et de leur appropriation par les pouvoirs locaux et les populations ;
 - réussir à « banaliser le RETEX » pour l'intégrer en tant que « nouveau référentiel » (Gilbert, 2001) dans le cours normal des procédures de concertation et de participation qui tendent aujourd'hui à donner un contenu démocratique à la gestion des risques (« forums hybrides »), dans des sociétés de tradition orale où coexistent, là peut-être plus qu'ailleurs, une diversité de « visions du monde », une diversité de manières de se représenter les catastrophes et les risques « naturels » (e.g. Pradel, 1999).

Conclusion

- 32 D'une manière générale ce travail contribue à la compréhension de la vulnérabilité de petits territoires insulaires face à l'aléa cyclonique en privilégiant une approche fine et quantitative, centrée sur les enjeux et leurs interdépendances fonctionnelles. Les enseignements tirés permettent de repenser la résilience de ces territoires, tant d'un point de vue de leur aménagement que des normes de protection/prévention à instaurer en contexte micro-insulaire exposé à de multiples aléas naturels. Cependant, afin de faciliter l'intégration d'une « éthique préventive », la stratégie de reconstruction doit être intégrée dans les outils de planification existants pour maintenir une continuité avec les autres processus de prévention et de développement (Moatty *et al.*, 2017). TIREX contribue à la construction d'une représentation et d'une mémoire collectives de ce que peuvent être les conséquences directes et indirectes d'un cyclone de catégorie 5, afin de mieux s'y préparer dans le futur. Cette recherche démontre que des approches interdisciplinaires à long terme sont nécessaires pour mieux comprendre la dépendance au sentier et identifier les leviers permettant de la rompre dans des contextes à risque. À Saint-Martin, cette rupture nécessite l'alignement des capacités institutionnelles locales avec les politiques nationales de réduction des risques, la promotion de la justice sociale et l'implication des communautés locales dans la prise de décision. Cette étude confirme donc la pertinence des approches rétrospectives pour soutenir l'adaptation au changement climatique.

BIBLIOGRAPHIE

- Anderson M.B., Woodrow P., 1989. *Rising from the ashes: development strategies in times of disasters*. Boulder and San Francisco, Westview Press/Unesco, 338 p.
- Battut S., Rey T., Cécé R., Bernard D., Krien Y., 2022. Responses and adjustments of the coastal systems of Dominica (Lesser Antilles) when faced with an extreme event: Hurricane Maria (September 2017). *Natural Hazards* [En ligne]. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05668-2>
- Belmadani A., P. Palany, A. Dalphiné, R. Pilon, F. Chauvin, 2017. Future changes in cyclonic wave climate in the North Atlantic. AGU Fall Meeting [En ligne], paper NH51A-0110. URL: <https://agu.confex.com/agu/fm17/meetingapp.cgi/Paper/251612>
- Bérard Y., Rocle N., Serot M., 2022. Retours d'expérience et politiques du risque outre-mer : de la production des savoirs au transfert des apprentissages. *Revue d'anthropologie des connaissances* [En ligne], vol. 16, n° 1. URL: <http://journals.openedition.org/rac/26374> - DOI: <https://doi.org/10.4000/rac.26374>
- Candela T., Leone F., 2022. Saint-Martin (Antilles). Cartographie intégrée d'un territoire cycloné [Accessible sur HAL]. Poster colloque final de restitution de l'appel à projets Ouragans 2017, 21 & 22 novembre 2022, Champs-sur-Marne. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03854235>
- Candela T., Leone F., Péroche M., Robustelli M., 2022a. Cartographier un territoire « cycloné » : Saint-Martin après le passage de l'ouragan Irma (Antilles du Nord, sept. 2017). *Mappemonde* [En ligne], 24 p. DOI: <https://doi.org/10.4000/mappemonde.7730>
- Candela T., Péroche M., Sallaberry A., Rodriguez N., Lavergne C., Leone F., 2022b. Visualising post-disaster damage on maps: A user study. *International Journal of Geographical Information Science* [En ligne]. DOI: <https://doi.org/10.1080/13658816.2022.2063872>
- Cantet P., M. Déqué P. Palany J.-L. Maridet, 2014. The importance of using a high-resolution model to study the climate change on small islands: The Lesser Antilles case. *Tellus* [En ligne], vol. 66, n° 1, document 24065. DOI: <https://doi.org/10.3402/tellusa.v66.24065>
- Cécé R., Bernard D., Krien Y., Leone F., Candela T., Péroche M., Biabiany E., Arnaud G., Belmadani A., Palany P., Zahibo N., 2021. 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* [En ligne]. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-21-129-2021>
- Collectif scientifique du projet ANR TIREX (Leone F. dir. ; Moatty A. coord.), 2021. Les connaissances et apprentissages de territoires cyclonés (Petites Antilles, saison cyclonique 2017) : fiches de synthèse des principaux résultats du projet ANR TIREX à l'attention des décideurs [En ligne], 91 p. URL: https://tirex.univ-montp3.fr/publi/Synthese_Decideurs_ANR_TIREX_Ouragans.pdf
- Collodi J., Pelling M., Fraser A., Borie M., Di Vicenz S., 2021. How do you build back better so no one is left behind? Lessons from Sint Maarten, Dutch Caribbean, following Hurricane Irma. *Disasters* [En ligne], n° 45, p. 202-223. DOI: <https://doi.org/10.1111/disa.12423>
- Cotelle P., 2014. Une géographie de l'insécurité urbaine post catastrophe : le cas de la Nouvelle-Orléans et du cyclone Katrina (USA, 2000-2010). Thèse de doctorat, Géographie, Université de Montpellier, 675 p.

- Davidsson Å., 2020. Disasters as an opportunity for improved environmental conditions, *International Journal of Disaster Risk Reduction* [En ligne], vol. 48, document 101590. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101590>
- De Vanssay B., Sarant P.M., Pagney F., Leone F., Colbeau-Justin L., Pontikis R., 2004. Retour d'expérience : la reconstruction post-catastrophe. Développement durable et réduction de la vulnérabilité. In Scarwell H. J., Franchomme M. (dir.), *Contraintes environnementales et gouvernance des territoires*. Editions de l'Aube nord, 8 p.
- Defossez S., Vinet F., Leone F., 2017. Assessing Vulnerability to Flooding: Progress and Limitations Chap. 14. In Vinet F. (ed.), *Floods 1: Risk Knowledge*. London, ISTE edition, p. 241-258.
- Defossez S., Gherardi M., 2020. Face au cyclone Irma ! Le rôle des populations dans la gestion de la crise à Saint-Martin (Petites Antilles, îles du Nord). *EchoGéo* [En ligne], n° 51. URL: <http://journals.openedition.org/echogeo/18987> - DOI: <https://doi.org/10.4000/echogeo.18987>
- Defossez S., Gherardi M., 2021. Responses of populations for coping with an extreme event: Saint-Martin and Saint-Barthélemy in the wake of hurricane Irma. *Territorium* [En ligne], n° 28(II), p. 43-54. URL: <https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/9553/7264>
- Defossez S., Rey T., Leone F., Gherardi M., Vinet F., Candela T., Péroche M., Cécé R., Bernard D., 2022. Capacités de relèvement d'un territoire insulaire français face à un ouragan extrême : Retour d'expérience sur l'ouragan Irma à Saint-Barthélemy (Petites-Antilles). *Les Cahiers d'Outre-Mer*, n° 284, p. 471-508.
- Desarthe J., 2020. Les temps de la catastrophe. L'ouragan de septembre 1928 en Guadeloupe. *EchoGéo* [En ligne], n° 51. URL: <http://journals.openedition.org/echogeo/19116> - DOI: <https://doi.org/10.4000/echogeo.19116>
- Desarthe J., Bauduceau N., Quantin A., 2020. Les défis soulevés par la reconstruction post-Irma. *Annales des Mines. Responsabilité et environnement* [En ligne], n° 98, p. 36-40. DOI: <https://doi.org/10.3917/re1.098.0036>
- Duvat V., 2008. Le système du risque à Saint-Martin (Petites Antilles françaises), *Développement durable et territoires* [En ligne], Dossier 11. URL: <http://journals.openedition.org/developpementdurable/7303> - DOI: <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.7303>
- Duvat V., 2015. Changement climatique et risques côtiers dans les îles tropicales. *Annales de Géographie*, n° 705, p. 541-566.
- Duvat V., Magnan A., Étienne S., Salmon C., Pignon-Mussaud C., 2016. Assessing the impacts of and resilience to Tropical Cyclone Bejisa, Reunion Island (Indian Ocean). *Natural Hazards*, p. 1-40.
- Duvat V. K. E., 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* [En ligne], n° 325, p. 70-91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.09.029>
- Duvat V. K. E., 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* [En ligne], vol. 67, 102236. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102236>
- Duvat V., Pillet V., Volto N., Simon-Bouhet B., 2022. Enseignements de l'étude des impacts immédiats et durables des cyclones de 2017 sur l'évolution de la position du trait de côte dans les Petites Antilles du nord (Saint-Martin, Saint-Barthélemy, Anguilla, Tortola, Anegada). Résumé, *Rencontres Géorisques 2022*, Université des Antilles, Guadeloupe.

- Etienne J.O., 2018. Stratégies d'acteurs et logiques d'action dans la reconstruction post-catastrophe de Port-au-Prince : approche par les vulnérabilités post-catastrophes. Thèse de doctorat, Université de Paris 8.
- Gaillard J. C., 2007. Resilience of traditional societies in facing natural hazards. *Disaster Prevention and Management : An International Journal*, vol. 16, n° 4, p. 522-544.
- Gaillard J.-C., 2008. Differentiated adjustment to the 1991 Mt Pinatubo resettlement program among lowland ethnic groups of the Philippines. *Australian Journal of Emergency Management*, n° 23, p. 31-39.
- Gilbert C., 2001. Retours d'expérience : le poids des contraintes. *Annales des Mines*, p. 9-24.
- Gilbert C., 2013. De l'affrontement des risques à la résilience. Une approche politique de la prévention, *Communication & langages*, n° 176, p. 65-78.
- Grancher D., Brunstein D., Moatty A., Caverio J., Vermoux C., 2020. Dynamiques touristiques d'une île exposée aux cyclones : le cas de Saint-Martin aux Antilles [Accessible sur HAL]. In CIST2020 - Population, temps, territoires, Collège international des sciences territoriales (CIST), nov. 2020 (Paris-Aubervilliers, France), session 1, p. 33-43. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03114090>
- Grancher D., Anselme B., Durand P., Pinet J., Chenel A., Higgs M., Martinet L., Trichet P., Tréhard M., (accepté). Ouragame un jeu pour comprendre la post-catastrophe. In Leone F., Vinet F. (dir.). *La saison cyclonique 2017 aux Antilles : apprentissages scientifiques et transferts de connaissances*. Montpellier, Ed. Pulm.
- Hernandez J., 2009. The LongWay Home : une catastrophe qui se prolonge à La Nouvelle-Orléans, trois ans après le passage de l'ouragan Katrina. *L'Espace géographique*, n° 38, p. 124-138.
- Hernandez J., 2010. ReNew Orleans? Résilience urbaine, mobilisation civique et création d'un « capital de reconstruction » à la Nouvelle-Orléans après Katrina. Thèse de doctorat, Université de Paris 10.
- Jha A.K., Barenstein J.D., Phelps P.M., Pittet D., Sena S., 2010. Safer homes, stronger communities: a handbook for reconstructing after natural disasters. Washington, The World Bank, 407 p.
- Lagadec P., 2001. Le rapport de la commission d'Enquête britannique sur l'ESB au Royaume Uni entre 1986 et 1996. *Cahiers du GIS risques collectifs et situations de Crise*, n° 1, juillet 2001.
- Leone F., Gaillard J.C., 1999. Analysis of the institutional and social responses to the eruption and the lahars of Mount Pinatubo volcano from 1991 to 1998 (Central Luzon, Philippines), *Geojournal*, n° 49, p. 223-238.
- Leone F., Vinet F., 2006. La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles. *Analyses géographiques*. Montpellier, Publications de l'université Paul-Valéry.
- Leone F., Battut, Bigot V., Cousin Thorez G., Candela T., Vinet F., 2020. Mortalité et cyclones en Guadeloupe (Antilles françaises). *EchoGéo [En ligne]*, n° 51. URL: <http://journals.openedition.org/echogeo/18919> - DOI: <https://doi.org/10.4000/echogeo.18919>
- 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 cyclonné (Petites Antilles du Nord, ouragan Irma, septembre 2017). *Cartes & géomatique [Accessible sur HAL]*. *Revue du Comité français de cartographie (CFC)*, n° 245-246, p. 163-177. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03607811/>

- Lizarralde G., Johnson C., Davidson C. (Dir.), 2010. *Rebuilding after disasters: from emergency to sustainability*. London and New York, Spon Press, Routledge, 282 p.
- Longépée E., 2014. *La résilience des systèmes socio-écologiques des États atolliens dans le contexte du changement climatique : le cas de Kiribati (Pacifique Sud)*. Thèse de doctorat, Université de La Rochelle.
- Lyons M., Schilderman T., Boano C., 2010. *Building back better: delivering people-centred housing reconstruction at scale*. Londres, Practical Action Publishing, 388 p.
- Magnan A., Duvat V., Garnier E., 2012. Reconstituer les « trajectoires de vulnérabilité » pour penser différemment l'adaptation au changement climatique, *Natures Sciences Sociétés* vol. 20, n° 1, p. 82-91.
- Moatty A., 2015. *Pour une Géographie des Reconstructions post-catastrophe : Risques, Sociétés et Territoires* [Accessible sur HAL]. Thèse de doctorat, Montpellier, Université Paul Valéry, 491 p. URL: <https://theses.hal.science/tel-01299800/document>
- Moatty A., Gaillard J., Vinet F., 2017. Du désastre au développement : les enjeux de la reconstruction post-catastrophe. *Annales de géographie*, n° 714, p. 169-194.
- Moatty A., Grancher D., Virmoux C., Caverio J., 2019. Bilan humain de l'ouragan Irma à Saint-Martin : la rumeur post-catastrophe comme révélateur des disparités socio-territoriales. *Géocarrefour* [En ligne], vol. 93, n° 1. URL: <http://journals.openedition.org/geocarrefour/12918> - DOI: <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.12918>
- Moatty A., Grancher D., Virmoux C., Caverio J., 2020. Organisation de la post-catastrophe après Irma à Saint-Martin, *EchoGéo* [En ligne], n° 51. URL: <http://journals.openedition.org/echogeo/19017> - DOI: <https://doi.org/10.4000/echogeo.19017>
- Moatty A., Grancher D., Duvat V. K., 2021. Leverages and obstacles facing post-cyclone recovery in Saint-Martin, Caribbean: Between the “window of opportunity” and the “systemic risk”? *International Journal of Disaster Risk Reduction* [En ligne], vol. 63, document 102453. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102453>
- Moatty A., 2022. *La reconstruction comme opportunité ? Vulnérabilités et solidarités après le cyclone Irma à Saint-Martin (Antilles françaises)* [En ligne]. Fondation Croix-Rouge française, Les Papiers de la Fondation, n° 44, 24 p. URL: https://www.fondation-croix-rouge.fr/wp-content/uploads/2022/12/fcrf_pdlf44_moatty_promo20_nov22_fr.pdf
- Moatty A., Grancher D., 2022. Reconstruction post-Irma à Saint-Martin : réviser les documents d'occupation des sols pour recomposer un territoire moins vulnérable. *Bulletin de l'association de géographes français* [En ligne], vol. 98, n° 3/4. URL: <http://journals.openedition.org/bagf/8498> - DOI: <https://doi.org/10.4000/bagf.8498>
- Mucchielli A., 2004. *Le constructivisme dans les études sur la communication*. Montpellier, Edition de l'Université de Montpellier 3, 314 p.
- Nicolas T., Pagney Bénito-Espinal F., Lagahé E., Gobinddass M. L., 2018. Les catastrophes cycloniques de septembre 2017 dans la Caraïbe insulaire au prisme de la pauvreté et des fragilités sociétales. *EchoGéo* [En ligne], n° 46. URL: <http://journals.openedition.org/echogeo/16439> - DOI: <https://doi.org/10.4000/echogeo.16439>
- Oliver-Smith A., 1991. Successes and failures in post-disaster resettlement. *Disasters*, n° 15, p. 12-23.
- Pagney F., 1990. Le vécu au passage et après le passage d'un grand cyclone caraïbe : l'impact de l'ouragan Hugo sur la population guadeloupéenne. *Climat et santé*, n° 3, p. 47-60.

Pagnéy F., 1999. Trois ouragans sur la Guadeloupe : Hugo, Luis et Marilyn et l'activité touristique. In Yacou A. (ed.), *Les catastrophes naturelles aux Antilles*. Paris, éditions Karthala.

Pelling M., 2003. The vulnerability of cities: natural disasters and social resilience. *Earthscan*, 212 p.

Péroche M., Lagahé E., Candela T., Leone F., Grancher D., Robustelli M., 2021. L'information géographique et la cartographie au service des retours d'expériences scientifiques post-catastrophes - Antilles, saison cyclonique 2017 [Accessible sur HAL]. *Cartes & géomatique : revue du Comité français de cartographie (CFC)*, n°245-246, p. 141-161. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03607820>

Pillet V., Duvat V., Krien Y., Cécé R., Arnaud G., Pignon-Mussaud C., 2019. Assessing the impacts of shoreline hardening on beach response to hurricanes: Saint-Barthélemy, Lesser Antilles. *Ocean & Coastal Management* [En ligne], vol. 174, p. 71-91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.03.021>

Pilon R., F. Chauvin A. Belmadani P. Palany, 2017. North Atlantic tropical cyclones: Historical simulations and future changes with the new high-resolution Arpege AGCM [En ligne]. AGU Fall Meeting, Poster A53C-2258. URL: <https://agu.confex.com/agu/fm17/meetingapp.cgi/Paper/239137>

Pradel L., 1999. Naturel, surnaturel : les phénomènes atmosphériques dans l'art oral caribéen. In Yacou A. (dir.), *Les catastrophes naturelles aux Antilles. D'une Soufrière à l'autre*. Paris, Karthala/CERC, p. 99-106.

Quarantelli E.L., 1984. Social problems of adjustment and relocation: some questions and some comments. *Proceedings of the International Conference on Disaster Mitigation Program Implementation*, Ocho Rios, p. 12-16.

Quenault B., 2015. La résilience comme injonction politique post-Xynthia. *EspacesTemps.net* [En ligne]. URL: <http://www.espacestemp.net/articles/la-résilience-comme-injonction-politique-post-xynthia/>

Redon M., 2007. Migrations et frontière : le cas de Saint-Martin. *Etudes Caribéennes* [En ligne], n° 8. URL: <http://journals.openedition.org/etudescaribeennes/962> - DOI: <https://doi.org/10.4000/etudescaribeennes.962>

Reghezza-Zitt M., Latreille A., Grancher G., 2021. Drinking and sanitary water access resilience in the aftermath of hurricane Irma. Addressing the freshwater supply system post-disaster recovery in Saint-Martin (French West Indies), September 2017. *Cybergeo: European Journal of Geography* [En ligne], document 989. URL: <http://journals.openedition.org/cybergeo/37279> - DOI: <https://doi.org/10.4000/cybergeo.37279>

Revet S., 2011. Une ethnographie des catastrophes est-elle possible ? Coulées de boue et inondations au Venezuela et en France. *Cahiers d'anthropologie sociale*, n° 7, p. 77-90.

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, n° 3, p. 259-275.

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* [En ligne], vol. 7, n° 7, document 215. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse7070215>

Rey T., Candela T., Péroche M., Leone F., 2020. Changements côtiers et inondations suite au passage d'un ouragan extrême (Irma, 2017) aux Petites Antilles. *EchoGéo* [En ligne], n° 51. URL: <http://journals.openedition.org/echogeo/18666> - DOI: <https://doi.org/10.4000/echogeo.18666>

Sarant P.M. (dir.), de Vanssay B., Leone F., Asselin de Beauville C., Pontikis C., Pagney F., Koussoula-Bonneton A., Colbeau-Justin L., Schick O., Lesales T., Gaspard G., Pollion G., Legrand E., Jean-Marius L., Benito-Espinal E., Boyer O., Faure Y., 2003. Retour d'expérience sur la prise de décision et le jeu d'acteurs : le cas du cyclone Lenny dans les Petites Antilles au regard du passé – Rapport final du programme « Evaluation et prise en compte des risques naturels et technologiques ». Paris, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (M.E.D.D.), 332 p.

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* [En ligne], document 937. URL: <http://journals.openedition.org/cybergeo/34154> - DOI: <https://doi.org/10.4000/cybergeo.34154>

Wisner B., Blaikie P., Cannon T., Davis I., 2003. At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters. Routledge.

NOTES

2. Il s'agit du premier atterrissage d'un ouragan de catégorie 5 sur une île des Petites-Antilles depuis 1851. A sa suite, un autre ouragan majeur, de catégorie 4, José, est venu menacer directement le Nord des Petites-Antilles, en passant à quelques dizaines de kilomètres. Quelques jours après, Maria atterrit sur la Dominique en catégorie 5 dans la nuit du 18 au 19 septembre 2017, puis sur Puerto Rico le jour suivant en catégorie 4 (Météo-France, 2017).

3. TIREX pour « 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) ». <https://tirex.univ-montp3.fr/>

4. URL Frise interactive de la crise: https://tirex.univ-montp3.fr/iframe/timelines/FRISE_gestioncrise.html

5. Il sera finalement approuvé le 3 novembre 2021, par arrêté préfectoral, soit quatre ans après le passage de l'ouragan Irma. Délégation interministérielle pour la reconstruction et Collectivité de Saint-Martin, 2021. *Carte des aléas et règles d'urbanisme*. URL: http://www.com-saint-martin.fr/Carte-des-al%C3%A9as-r%C3%A8gles-d-urbanisme_Saint-Martin-Antilles_1325.html

6. *Les Storys Maps* du projet TIREX. URL: <https://arcg.is/1KXmn1>

7. Exemple de cartographie interactive, multiscalaire et sonore des dommages : *Cyclone Irma, 09/2017. Retour sur l'impact de la catastrophe*. URL: <https://riscrises-maps.com/maps/dommage-irma-tirex/>

1. Les principaux résultats sont présentés sur le site : *Projet TIREX – Transfert des apprentissages des Retours d'Expériences scientifiques. Saison cyclonique 2017 aux Petites Antilles*. URL: <https://tirex.univ-montp3.fr/>

RÉSUMÉS

Cet article revient sur la saison cyclonique 2017, qui a fortement impacté les Petites-Antilles, en particulier lors du passage de l'ouragan Irma sur les îles de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy. Il présente les principaux résultats d'un retour d'expérience scientifique, collectif et multi-dimensionnel, mené durant cinq années dans le cadre du projet de recherche ANR TIREX. Au-delà de ses multiples apprentissages, le projet explore des modalités de transfert des connaissances vers les populations et les décideurs, et questionne la pratique du RETEX en général. TIREX a permis notamment d'améliorer l'alerte cyclonique aux Antilles, d'identifier les facteurs de vulnérabilité hérités, de comprendre les processus d'endommagement liés au vent et à la mer, de suivre les dynamiques de relèvement territorial et humain aux échelles individuelles et collectives, et plus globalement de renforcer les capacités d'adaptation et de réponse des sociétés antillaises face aux ouragans.

This article looks back at the 2017 hurricane season, which strongly impacted the Lesser Antilles, particularly during the passage of Hurricane Irma over the islands of Saint-Martin and Saint-Barthélemy. It presents the main results of a collective and multi-dimensional scientific feedback, conducted over five years as part of the ANR TIREX research project. In addition to the many lessons learned, the project explores ways of transferring scientific knowledge to the population and decision-makers, and questions the practice of RETEX in general. In particular, TIREX contributes to improve hurricane warnings, to identify inherited vulnerability factors, to understand the damage processes related to wind and sea, to monitor the dynamics of territorial and human recovery at the individual and collective levels, and more generally to strengthen the adaptation and response capacities of Lesser Antilles societies in the face of hurricanes.

INDEX

Keywords : hurricane, back analysis, West Indies, Irma, Reconstruction

Thèmes : Sur le Champ

Mots-clés : Ouragan, retour d'expérience (RETEX), Antilles, Irma, reconstruction

AUTEURS

FRÉDÉRIC LEONE

Frédéric Leone, frederic.leone@univ-montp3.fr, est professeur à l'Université Paul-Valéry Montpellier 3 et directeur du LAGAM (Laboratoire de Géographie et d'Aménagement de Montpellier).

YANN BÉRARD

Yann Bérard, maître de conférences à l'Université des Antilles et de la Guyane et membre du Laboratoire caribéen de sciences sociales (UMR 8053 - LC2S).

STÉPHANIE DEFOSSEZ

Stéphanie Defossez, maître de conférences à l'université Paul-Valéry-Montpellier 3 et directrice adjointe de l'UR LAGAM (Laboratoire de Géographie et Aménagement de Montpellier).

JÉRÉMY DESARTHE

Jérémy Desarthe, chargé de mission prévention des risques naturels au CCR (Caisse Centrale de Réassurance) et associé au laboratoire Histeme (EA 7455) de l'Université de Caen Normandie.

VIRGINIE DUVAT

Virginie Duvat, professeure à l'Université de La Rochelle et membre de l'Unité de recherche LIENSs - UMR 7266 (Littoral ENvironnement et Sociétés).

DELPHINE GRANCHER

Delphine Grancher, ingénieure de recherche du CNRS et membre du LGP - UMR 8591 (Laboratoire de Géographie Physique).

PHILIPPE PALANY

Philippe Palany, Météo-France Antilles Guyane et associé au Laboratoire Caribéen des Sciences Sociales.

NARCISSE ZAHIBO

Narcisse Zahibo, professeur à l'Université des Antilles et de la Guyane et directeur du Laboratoire LARGE (Laboratoire de Recherche en Géosciences et Énergies).