HAL
open science

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

Frédéric Leone, Annabelle Moatty

▶ **To cite this version:**

Frédéric Leone, Annabelle Moatty. 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. [Rapport de recherche] Université Paul Valéry Montpellier 3 / LAGAM. 2021. hal-03279119

HAL Id: hal-03279119

https://hal.science/hal-03279119v1

Submitted on 6 Jul 2021

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.

ANR TIREX

Transfert
des apprentissages
de Retours d'Expérience
scientifiques

Saison cyclonique 2017 - Petites Antilles

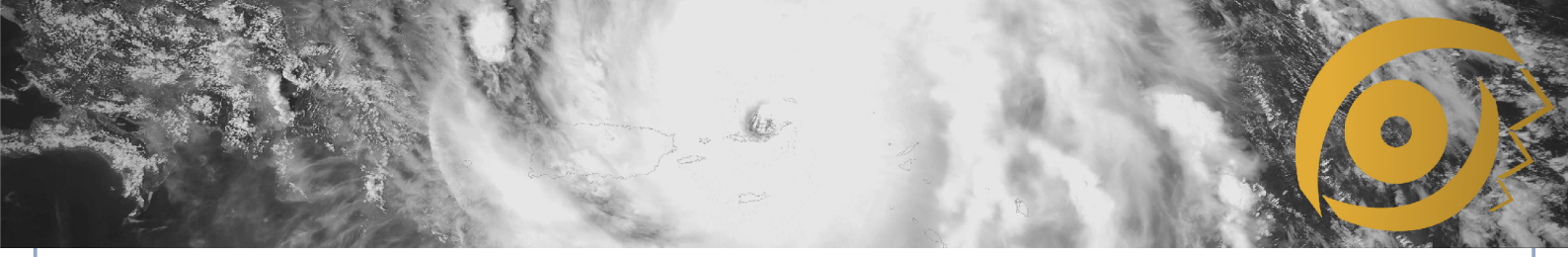
LES CONNAISSANCES ET APPRENTISSAGES DE TERRITOIRES CYCLONÉS

(Petites Antilles, saison cyclonique 2017)

Fiches de synthèse des principaux résultats du projet ANR TIREX à l'attention des décideurs

SITE DU PROJET TIREX :
HTTPS://TIREX.UNIV-MONTP3.FR/

Vue depuis Fort Louis, © Moatty, 2018



TRANSFERT
DES APPRENTISSAGES
DE RETOURS D'EXPÉRIENCE
SCIENTIFIQUES

ANR TIREX

SAISON CYCLONIQUE 2017 - PETITES ANTILLES

Avant-Propos

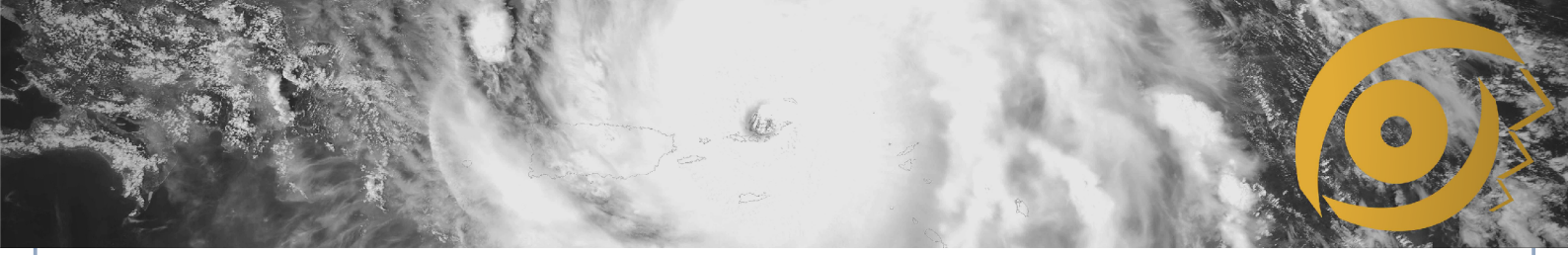
Le projet TIREX (*Transfert des apprentissages de retours d'expérience scientifiques*), dirigé par Pr. Frédéric LEONE, part du constat que les résultats des retours d'expérience scientifiques ne sont pas assez communiqués aux acteurs des territoires concernés.

En analysant la saison cyclonique 2017 dans les Petites Antilles, TIREX répond à la fois à une demande scientifique visant à mieux comprendre les mécanismes et facteurs de production d'une catastrophe sur des territoires insulaires, ainsi qu'à une demande sociétale et institutionnelle d'apprentissage des leçons des catastrophes pour anticiper l'adaptation aux effets de futurs épisodes climatiques extrêmes.

Ce projet est porté par un groupement scientifique de métropole et des Antilles, à forte composante universitaire en sciences humaines et sociales, spécialiste des régions étudiées et de la gestion des risques et catastrophes. Il associe également deux directions interrégionales de Météo-France, ainsi qu'un acteur privé, la Caisse Centrale de Réassurance.

A travers cette synthèse coordonnée par Annabelle MOATTY, le projet TIREX tend à capitaliser, valoriser et transférer les acquis scientifiques du retour d'expérience vers des partenaires locaux, au premier rang desquels les collectivités de Saint-Martin et Saint-Barthélemy, des 31 communes littorales de Guadeloupe, des trois préfectures concernées, et de l'Etat-Major Interministériel de Zone Antilles (EMIZA).

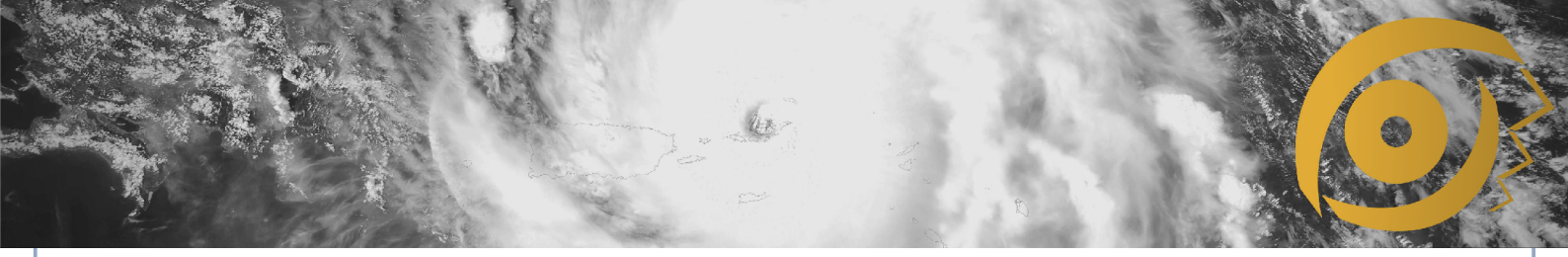
Cette synthèse est composée de 4 classeurs qui reprennent les grands thèmes scientifiques traités par l'équipe TIREX. Au sein de chaque classeur, des fiches de synthèse détaillent les sujets abordés en présentant les objectifs et la méthode mobilisée pour y répondre, les principaux résultats, ainsi que des recommandations et ressources bibliographiques "pour aller plus loin".



Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'ensemble des personnes rencontrées à Saint-Martin, Saint-Barthélemy, en Guadeloupe mais aussi en Métropole et à la Dominique pour le temps qu'ils ont su nous consacrer lors des missions de terrain collectives dans ce contexte de reconstruction post-catastrophe.

Pour leur aimable collaboration et leur soutien, nous remercions sincèrement les habitants, associations et communautés, les entreprises, les agents et élus des collectivités territoriales et services de l'Etat, les collèges et lycées ainsi que les différentes institutions présentes sur ces territoires.



Liste des Contributeurs

Gaël ARNAUD, *Université des Antilles, UMR LARGE*

Anthony ARNOULD, *Université Paul Valéry, UMR GRED*

Aurore BARBIER, *Université Paul Valéry, UMR GRED*

Samuel BATTUT, *Université Paul Valéry, UMR GRED*

Dimitri BECHACQ, *Université des Antilles, UMR LC2S*

Ali BEL MADANI, *Météo-France DIRAG/EC-MPF*

Yann BERARD, *Université des Antilles, UMR LC2S*

Didier BERNARD, *Université des Antilles, laboratoire LARGE*

François BONNARDOT, *Météo-France DIROI/EC*

Olivier BOUSQUET, *Météo-France DESR/LACy*

Thomas CANDELA, *Université Paul Valéry, UMR GRED*

Julien CAVERO, *Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, UMR LGP*

Raphaël CECE, *Université des Antilles, UMR LARGE*

Elise CHATEFROU, *Météo-France DIRAG/EC-MPF*

Stéphanie DEFOSSEZ, *Université Paul Valéry, UMR GRED*

Jérémy DESARTHE, *Caisse Centrale de Réassurance*

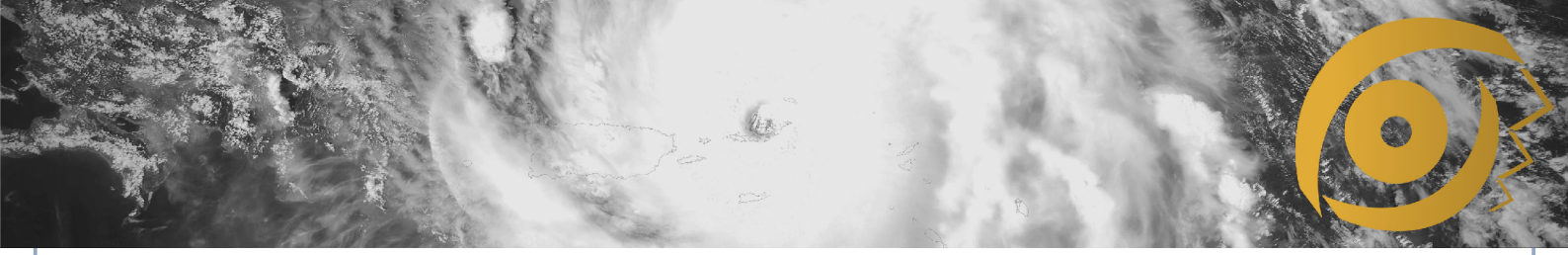
Bernard DUDON, *Université des Antilles, UMR LARGE*

Virginie DUVAT-MAGNAN, *La Rochelle Université, UMR LIENSs*

Ghislain FAURE, *Météo-France CNRM*

Monique GHERARDI, *Université Paul Valéry, UMR GRED*

Delphine GRANCHER, *Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, UMR LGP*



Emilie LAGAHE, *Université Paul Valéry, UMR GRED*

Frédéric LEONE, *Université Paul Valéry, UMR GRED*

Yann KRIEN, *La Rochelle Université, UMR LIENSs & Université des Antilles, laboratoire LARGE*

Chloé MAFFRE, *Météo France DIRAG/EC-MPF*

Sylvie MALARDEL, *Météo-France DESR/LACy*

Isaure MARION, *Météo-France DIRAG/EC-MPF*

Annabelle MOATTY, *Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, UMR LGP & La Rochelle Université, UMR LIENSs*

Philippe PALANY, *Météo-France DIRAG/EC-MPF*

Matthieu PEROCHE, *Université Paul Valéry, UMR GRED*

Valentin PILLET, *La Rochelle Université, UMR LIENSs*

Benjamin PRADEL, *L'Avion Jaune*

Laure RAYNAUD, *Météo-France CNRM*

Tony REY, *Université Paul Valéry, UMR GRED*

Martin ROBUSTELLI, *Université Paul Valéry, UMR GRED*

Nicolas ROCLE, *INRAE*

Marion SEROT, *Université des Antilles, UMR LC2S*

Lucile STAHL, *La Rochelle Université, UMR LIENSs*

Freddy VINET, *Université Paul Valéry, UMR GRED*

Clément VIRMOUX, *Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, UMR LGP*

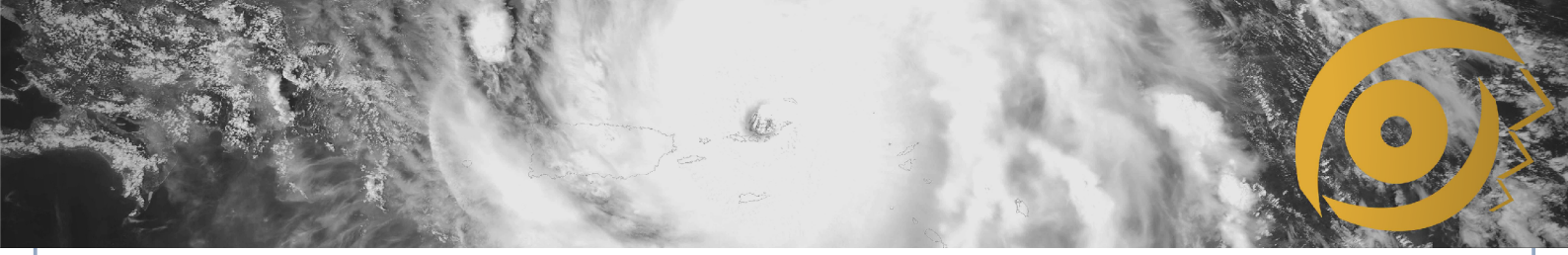
Natacha VOLTO, *La Rochelle Université, UMR LIENSs*

Narcisse ZAHIBO, *Université des Antilles, laboratoire LARGE*

ANR TIREX

TRANSFERT
DES APPRENTISSAGES
DE RETOURS D'EXPÉRIENCE
SCIENTIFIQUES

SAISON CYCLONIQUE 2017 - PETITES ANTILLES



Sommaire

Avant-Propos

Remerciements

Liste des Contributeurs

Introduction

Classeur #1 - Trajectoires de Vulnérabilités Territoriales 1950 - 2017

Fiche #1 - L'Histoire des Ouragans
Fiche #2 - Trajectoire d'exposition et de vulnérabilité de Saint-Martin
Fiche #3 - Caractérisation multiscalaire des vulnérabilités
Fiche #4 - Capacités de réponses à l'échelle individuelle

Classeur #2 - Impacts et résilience des environnements côtiers

Fiche #1 - Reconstitution des conditions météorologiques cycloniques
Fiche #2 - Incertitudes sur les vents et les pluies
Fiche #3 - Hydrodynamique côtière
Fiche #4 - Impacts et vulnérabilités des côtes
Fiche #5 - Les dommages assurés

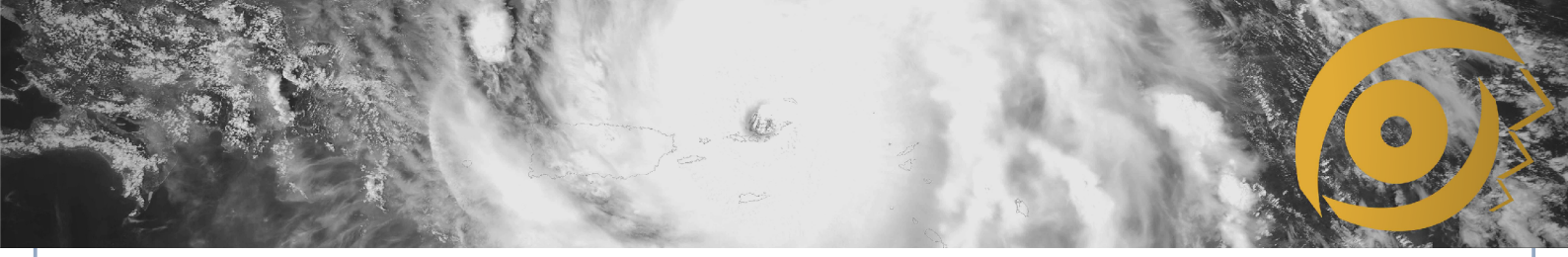
Classeur #3 - Gestion de crise et suivi de la reconstruction territoriale

Fiche #1 - Cartographier un territoire cycloné
Fiche #2 - Cartographie des dommages, pillages et relèvement
Fiche #3 - Les temps de la gestion de crise IRMA et les seuils de basculement associés
Fiche #4 - Collecte et gestion des déchets en post-catastrophe
Fiche #5 - Rumeurs et gestion post-catastrophe
Fiche #6 - Adolescents et solidarités post-catastrophe

Classeur #4 - Transfert du Retour d'Expérience

Fiche #1 - Valorisation des informations géographiques dans le cadre d'un RETEX
Fiche #2 - Drone et analyse des impacts d'Irma
Fiche #3 - La pratique du RETEX scientifique en contexte ultramarin

ANR TIREX



Introduction

La saison cyclonique 2017 a été particulièrement active et destructrice.
Sur les 17 tempêtes tropicales formées cette année-là, 10 sont devenues des ouragans et 6 ont atteint une catégorie supérieure ou égale à 3 sur l'échelle de Saffir-Simpson. C'est la première fois depuis la réalisation de relevés que 3 ouragans de catégorie 4 ont atteint les côtes américaines (Harvey, Irma et Maria).

Le samedi 2 septembre, Irma se trouve à environ 2 000 km des Petites Antilles.
Le matin du dimanche 3 septembre, à 1 500 km du nord de l'Arc antillais, Irma présente un œil est assez mal formé.
Le matin du mardi 5 septembre, grâce aux conditions environnementales très favorables, Irma s'est très brutalement intensifiée au cours des 24 heures précédentes. L'œil se trouve alors à 09 h UTC à 460 km de la Guadeloupe et 630 km des Îles du Nord.

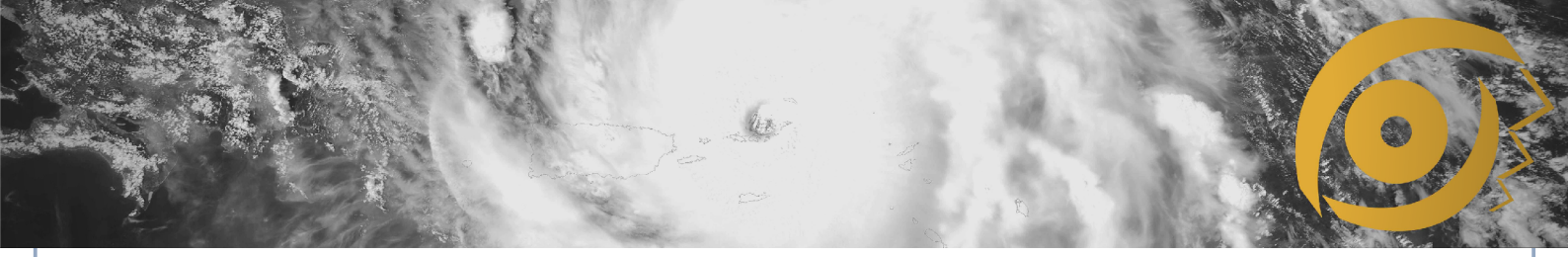
Une reconnaissance en avion américaine de la fin de nuit montre que IRMA s'est intensifié en catégorie 5 avec des vents moyens de 150 kt (280 km/h) près du centre, accompagnés de rafales de 185kt (340 km/h).

Une reconnaissance aérienne du 5 septembre a permis d'obtenir des données d'intensité ahurissante : 160kt (295 km/h) en vents soutenus près du centre avec des rafales atteignant 195kt (360 km/h).

Sur la partie française de Saint-Martin, l'ouragan Irma a causé la mort de onze personnes et généré des dommages très importants sur le parc immobilier, soit environ 16 000 constructions.

Les rapports officiels font état de 95 % du bâti endommagé, avec 20 % de constructions complètement détruites dont plusieurs bâtiments publics. La préfecture, la médiathèque et 4 établissements scolaires sur 21 sont considérés comme irrécupérables. Egalement très endommagés, les réseaux d'eau, d'électricité et de téléphonie fixe et mobile ont été partiellement voire totalement coupés dans certains quartiers.

Sur l'île de Saint-Barthélemy, le montant des dommages des biens assurés a dépassé les 800 millions d'euros, avec 8 720 sinistres déclarés (ce montant représente une estimation *a minima* en raison des nombreux bien non assurés). Le coût du sinistre est élevé : 118 000 euros pour les habitations, 325 000 euros pour les professionnels - dont 6,4 millions d'euros pour les hôtels.



Les catastrophes et les périodes d'immédiate post-crise qui s'en suivent sont très médiatisées, mais la reconstruction ne fait pas l'objet d'autant d'attentions. Le processus de reconstruction mobilise pourtant des fonds et énergies considérables sur des pas de temps longs, allant de trois à plus de vingt ans.

Pour comprendre les conséquences des décisions prises, parfois à la hâte, au moment de la programmation des actions de reconstruction, il est nécessaire d'envisager le relèvement des sociétés et la recomposition des territoires dans le temps long.

La post-catastrophe est composée de cinq périodes, de l'urgence au relèvement – en passant par la réhabilitation, la restauration et la reconstruction –, les gestionnaires et décideurs mobilisent et adaptent les outils financiers, administratifs et réglementaires pour impulser et soutenir le relèvement.

Les territoires et groupes sociaux ne sont pas égaux devant la reconstruction et expérimentent des variations de durée des différentes phases. La reconstruction a sa propre temporalité sans pour autant être déconnectée des temps du développement du territoire dont elle est une composante.

Le choix d'une reconstruction "éthique et préventive", c'est-à-dire qui mette en œuvre l'ensemble des décisions et actions qui permettent un relèvement efficace en termes de qualité de vie (justice sociale et territoriale) et d'adaptation préventive afin de réduire les vulnérabilités) prend nécessairement plus de temps qu'une reconstruction au plus près de l'identique.

En termes spatio-temporels, la reconstruction n'est ni uniforme ni homogène et on constate des variations locales de temporalités depuis l'échelle individuelle jusqu'à celle des quartiers et des groupes sociaux. Ces variations trouvent leurs origines dans la gravité des dommages, la localisation des foyers sinistrés et leur isolement, la stratégie de reconstruction choisie (à l'identique ou différemment, sur place ou en délocalisant), et dans les facteurs socio-économiques structurants (moyens économiques, accès aux ressources, connaissances dans des domaines clés).

Plus de deux ans après le passage d'Irma, les situations sont très inégales entre les deux îles de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy, et les taux de reconstruction des bâtiments à Saint-Barthélemy sont supérieurs à ceux de sa voisine saint-martinoise.

Annabelle MOATTY

CLASSEUR #1

Trajectoires de Vulnérabilités Territoriales 1950-2017

Face à un besoin de reconstruction plus résiliente qui nécessite de s'adapter aux pressions climatiques futures, ce classeur vis à comprendre les mécanismes et facteurs de vulnérabilité (qui sous-tendent la catastrophe) et de production du risque, et d'identifier les leviers et les barrières en matière d'adaptation et de mitigation des risques.

© Moatty, 2018

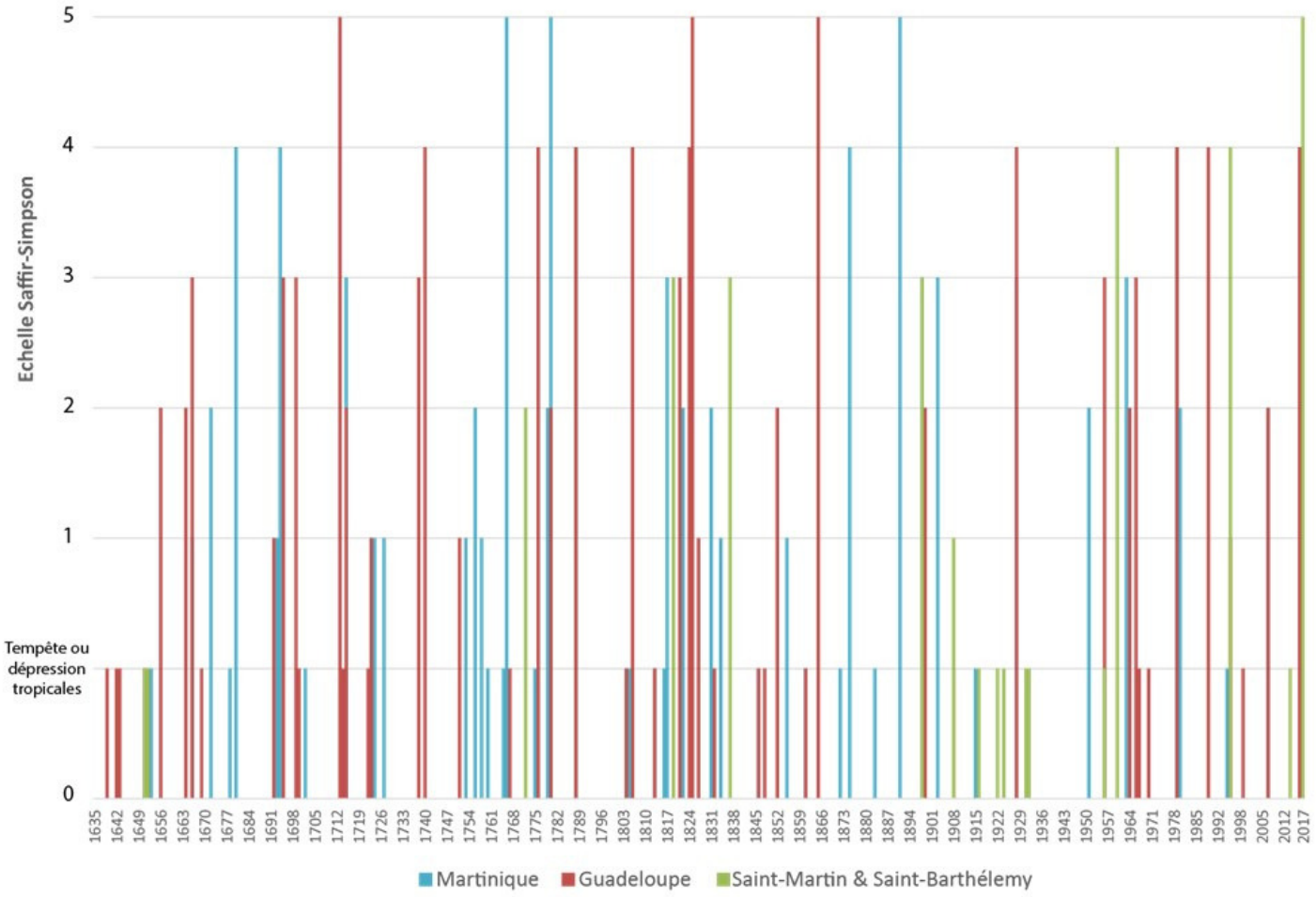
Pour accéder à l'onglet Trajectoires de Vulnérabilité sur le site :
HTTPS://TIREX.UNIV-MONTP3.FR/2-VULNERABILITE.HTML

L'Histoire des Ouragans

J. Desarthe

Objectifs et Méthodologie

Pour améliorer la connaissance des sociétés sur l'exposition des territoires aux risques naturels, il convient de donner une épaisseur historique significative à l'étude des aléas. Les archives administratives contiennent de nombreux types de documents susceptibles d'apporter des éléments d'éclairages comme les inventaires des dommages, les correspondances entre les différents acteurs, les modes de secours apportés. Les informations permettent alors de saisir l'évènement et de suivre son déroulement depuis la survenance de l'aléa jusqu'aux réponses apportées par les sociétés. Il est alors possible de saisir les conséquences sur le quotidien et le fonctionnement des sociétés.



Menées sur plusieurs siècles, les données collectées contribuent également à reconstruire les trajectoires de vulnérabilités et de mieux appréhender l'exposition des sociétés et des territoires sur le temps long.

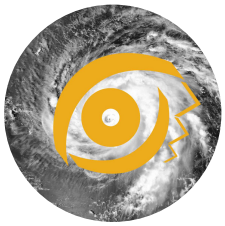
En outre, une démarche qualitative et quantitative a permis de proposer une reconstruction de la sévérité des ouragans dans les Antilles depuis le XVIIe siècle à partir de l'échelle Saffir-Simpson.

Principaux Résultats

- Constitution d'une base de données sur les ouragans dans les Antilles françaises
- SIG sur les dommages pour les principaux ouragans
- Reconstruction de la sévérité des ouragans selon l'échelle Saffir-Simpson

Recommandation

La reconstruction chronologique de la sévérité des ouragans met en évidence l'exposition des Antilles aux ouragans sur plusieurs siècles.
Elle peut servir de base à la ***construction d'une mémoire du risque cyclonique*** à Saint-Martin.



Pour aller plus loin

Desarthe J. (2014), ouragans et submersions dans les Antilles françaises, Etudes Caribéennes, n°29, https://doi.org/10.4000/etudescaribeennes.7176

Desarthe J., Moncoulon D. (2017), « Quatre siècles de cyclones tropicaux dans les départements français d'outre-mer », La Météorologie, n°99, p. 52-58

Desarthe J. (2020), Les temps de la catastrophes, Echo Géo, n°51, https://doi.org/10.4000/echogeo.19116

Trajectoire d'exposition et de vulnérabilité

V. Duvat, N. Volto, L. Stahl, A. Moatty, S. Defossez, J. Desarthe, D. Grancher, V. Pillet

Objectifs et Méthodologie

Un travail interdisciplinaire et historique (de la colonisation de l'île en 1648 aux cyclones de septembre 2017) de reconstruction de la Trajectoire d'Exposition (quels enjeux humains sont exposés au risque cyclonique sur le littoral, depuis quand et pourquoi ?) et de Vulnérabilité (quels facteurs expliquent la prédisposition du territoire à être affecté par les cyclones, depuis quand et pourquoi ?) de la partie française de l'île de Saint-Martin a été réalisé dans le but de mettre en évidence les causes profondes des catastrophes cycloniques, autrement dit de déterminer le rôle des héritages historiques dans l'amplification des impacts des crises cycloniques contemporaines (Duvat et al., 2021).

Ce travail s'est appuyé sur quatre sources principales :

1. L'analyse de la documentation existante : archives ; textes juridiques ; bases de données démographiques, socio-économiques, et cartographie des hauteurs d'eau associées à la submersion marine générée par le cyclone Irma ; littérature scientifique ; rapports parlementaires
2. La collecte de données sur le terrain, relatives à l'aménagement du littoral, aux mesures de réduction des risques, aux politiques environnementales, à l'état des écosystèmes côtiers et aux impacts des cyclones de septembre 2017
3. La réalisation d'enquêtes auprès de la population et d'entretiens semi-directifs auprès des acteurs concernés
4. La production de données sur l'évolution de l'exposition du bâti et des routes et sur l'évolution du trait de côte

Ces données ont été intégrées à deux bases de données, une base de données qualitatives et une base de données spatialisées sous la forme d'un SIG (Système d'Information Géographique), qui ont été utilisées pour reconstruire la Trajectoire d'Exposition et de Vulnérabilité de Saint-Martin. Cet exercice a consisté à raconter ce qui, dans l'histoire particulière de ce territoire, le rend particulièrement vulnérable aux impacts des cyclones.

Cette histoire a été notamment retranscrite sous la forme de représentations graphiques dont deux sont présentées ci-dessous (les autres sont consultables dans les publications indiquées à la fin de cette fiche). Elles mettent en lumière le rôle des héritages historiques dans l'exposition et la vulnérabilité de Saint-Martin aux catastrophes cycloniques ainsi que les facteurs spécifiques et les effets de rétroaction qui engendrent une exacerbation de leurs impacts sur ce territoire. Les résultats obtenus ont permis d'identifier des pistes pour réduire les catastrophes futures en désamorçant des mécanismes clés impliqués dans la production des catastrophes cycloniques.

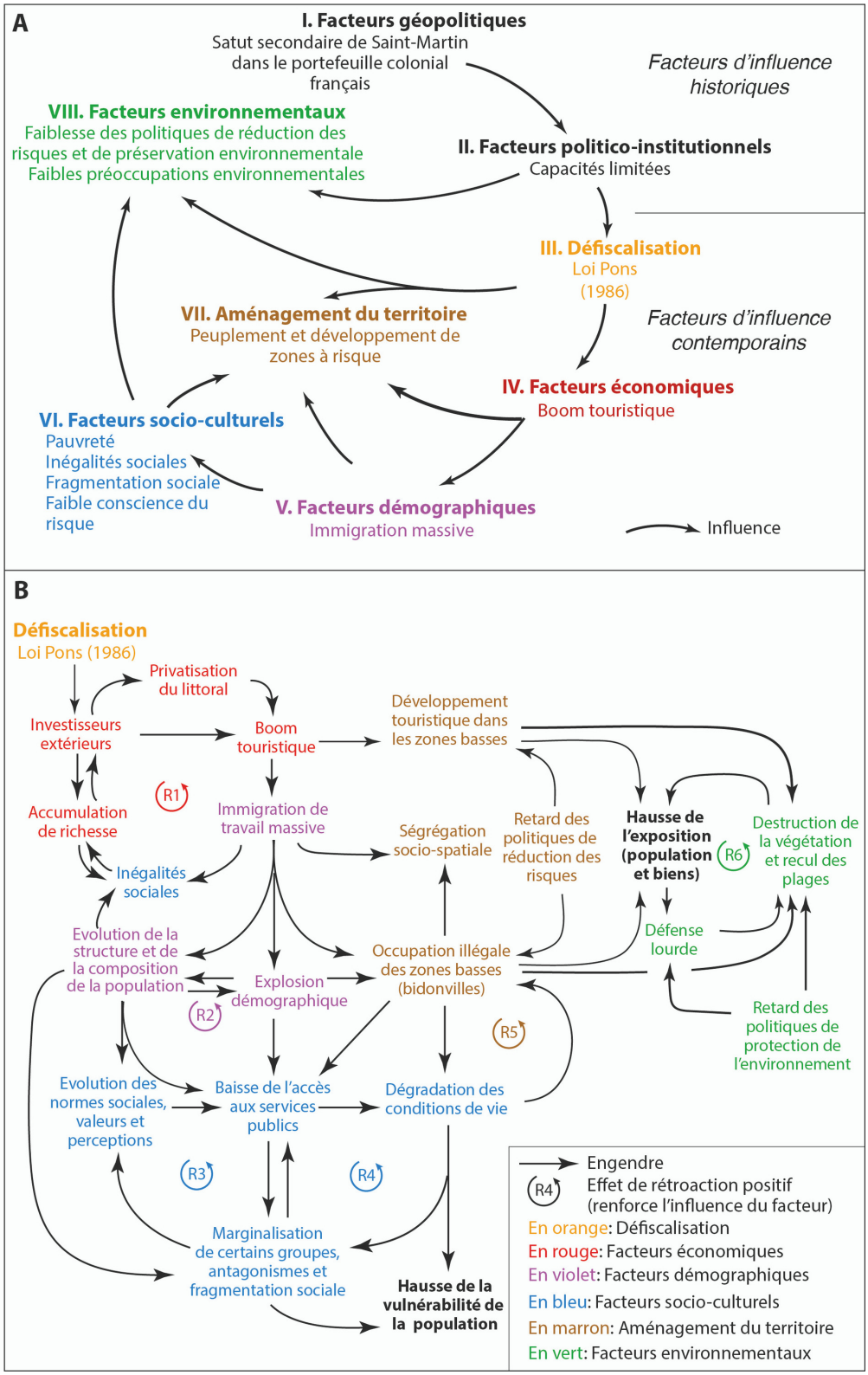
Principaux Résultats

▶ *Identification de 8 catégories de facteurs de vulnérabilité* (cf. figure page suivante)

Facteurs géopolitiques, politico-institutionnels, fiscaux, économiques, démographiques, socio-culturels, relatifs à l'aménagement du territoire et environnementaux. Ces facteurs sont à l'origine de la forte exposition et de la forte vulnérabilité de Saint-Martin aux cyclones.

L'histoire coloniale et politique de ce territoire, colonie « secondaire » dans le portefeuille colonial français, explique les capacités politiques et institutionnelles limitées de Saint-Martin par rapport à d'autres outre-mer mieux dotés, ainsi qu'un retard important dans l'adoption et

l'application des lois. Le non-respect fréquent du droit de la prévention des risques à Saint-Martin et le retard (par rapport à la Métropole) des politiques de réduction du risque cyclonique dans les outre-mer expliquent les impacts particulièrement dévastateurs des cyclones de 2017 dans la bande côtière.



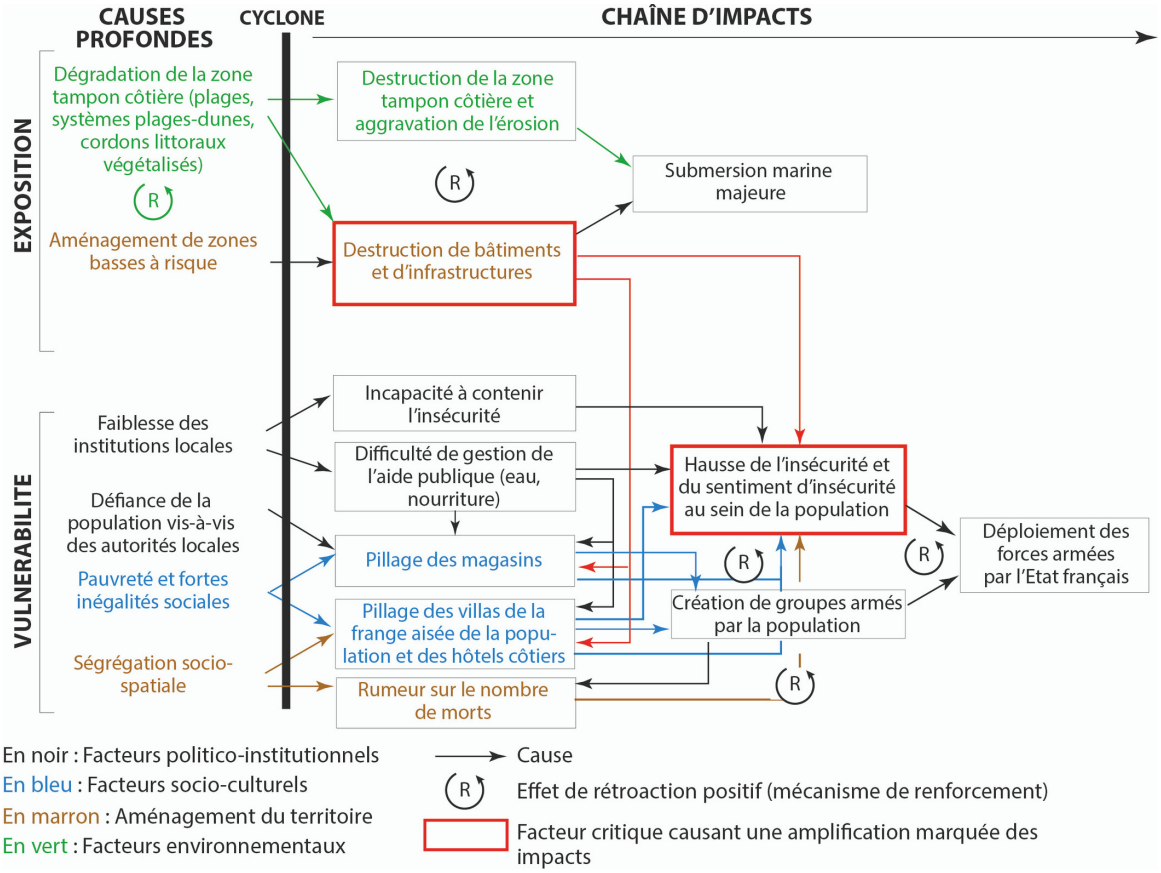
Causes profondes de l'exposition et de la vulnérabilité de la bande côtière aux cyclones à Saint-Martin.

La faible implication de l'État dans le développement et l'administration de Saint-Martin jusqu'à une date récente est par ailleurs à l'origine d'un mode de développement spécifique à ce territoire, principalement basé sur la défiscalisation. Cela est illustré par les effets de la loi de défiscalisation dite « Pons » (1986) qui a engendré un boom économique (fondé sur la mono-activité touristique) et démographique (immigration massive) sans précédent.

Dans un contexte de retard des politiques de prévention des risques et de préservation de l'environnement, ce boom économique et démographique a entraîné l'aménagement systématique de la bande côtière au plus près de la mer, ce qui a créé une forte exposition de la population, des activités économiques et des infrastructures aux impacts des vagues cycloniques. Parce qu'il n'a pas été contrôlé, le boom démographique a contribué au renforcement des inégalités sociales et de la fragmentation de la société, et par ailleurs réduit l'accès de la population aux services publics (l'offre de services n'ayant pas suivi la demande), ce qui a également accru la vulnérabilité des populations.

L'encadré A présente les huit catégories de facteurs impliqués dans la production des catastrophes cycloniques et leurs interdépendances. L'encadré B détaille les impacts de la loi Pons dans la production de l'exposition et de la vulnérabilité du territoire, en mettant en évidence les effets de rétroaction (c'est-à-dire de renforcement) qui opèrent au sein du système territorial.

Les causes profondes de l'exposition et de la vulnérabilité de la population de Saint-Martin aux cyclones amplifient les impacts des cyclones sur ce territoire



Chaîne d'impacts des cyclones de septembre 2017 montrant le lien entre les causes profondes de l'exposition et de la vulnérabilité du territoire (cf. figure précédente) et la chaîne d'impacts de ces cyclones

La forte exposition de la population, des activités économiques et des infrastructures aux impacts des vagues cycloniques explique l'ampleur des dégâts causés par les cyclones de 2017 sur le littoral (Desarthe et al., 2020). L'existence d'un front d'urbanisation pratiquement continu sur le littoral a fortement accru les impacts érosifs de ces cyclones (jusqu'à 166 m de recul du trait de côte, pour une valeur moyenne de recul de 68 m à l'échelle de l'île) en favorisant les pertes de sable et en empêchant tout dépôt de sédiments sur le haut de plage et l'arrière-plage. Les deux tiers des plages de Saint-Martin ont été fortement érodées. Selon les sites côtiers, 11 à 71 % de la zone bâtie a été submergée par les vagues générées par le cyclone Irma. C'est dans l'anse Marcel, à Grand Case et à Marigot que les taux de submersion ont été les plus élevés en raison de l'altitude très faible du bâti (62 à 94% des bâtiments ont été construits à moins de 3 m d'altitude sur ces sites côtiers). La végétation côtière, très dégradée dans les zones urbanisées, n'a pas pu jouer le rôle de barrière naturelle, ce qui explique la pénétration des vagues sur une grande distance à l'intérieur des terres. La comparaison des niveaux d'érosion et de submersion observés sur les sites naturels et urbanisés a permis d'établir que l'urbanisation et ses impacts destructeurs sur l'environnement côtier sont des facteurs majeurs d'amplification des impacts des vagues cycloniques.

La faiblesse des institutions, le manque de confiance de la population dans les autorités publiques (notamment pour le respect de la loi et le maintien de la sécurité sur le territoire), la pauvreté de certaines franges de la population, les fortes inégalités sociales et la forte ségrégation socio-spatiale qui caractérisent ce territoire, ont contribué à l'insécurité et au sentiment d'insécurité ressentis par la population suite au passage d'Irma. L'importance des dégâts causés aux habitations et aux hôtels sur le littoral ainsi que l'inquiétude et la détresse de la population ont encouragé les pillages et la propagation de rumeurs sur les impacts de l'événement

(par exemple, sur le nombre de morts causé par le cyclone Irma ; Moatty et al., 2020). Cela illustre bien la manière dont les causes profondes de la vulnérabilité (ici renforcée par le manque de confiance de la population vis-à-vis des autorités publiques et la forte ségrégation socio-spatiale) d'un territoire peuvent se manifester pendant une crise.

Recommandations spécifiques aux îles du Nord

Réduire l'exposition et la vulnérabilité aux cyclones de Saint-Martin exige d'agir sur les facteurs historiques et la chaîne d'impacts présentés ci-dessus.

Les politiques de réduction des risques, d'aménagement du territoire et de gestion de l'environnement constituent des leviers majeurs pour ***réduire l'exposition de la population, du bâti et des infrastructures, et de l'économie touristique*** aux impacts des vagues cycloniques. Cela passe par des efforts de ***planification préventive de l'urbanisation et du développement touristique***, et par l'application effective du droit.

En complément, un autre levier de réduction des risques est la ***réduction de la vulnérabilité via le renforcement des capacités politico-institutionnelles et administratives*** (capacité des autorités locales à gérer les crises) du territoire, et la réduction des inégalités sociales et de la pauvreté qui créent de fortes distorsions.

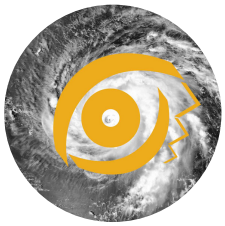
Recommandations générales sur la reconstruction post-cyclone

Réduire l'exposition de la population, du bâti et des infrastructures, et de l'activité touristique aux impacts des cyclones s'impose pour prévenir les catastrophes cycloniques futures.

Cela peut être réalisé à travers différents modes de reconstruction plus adaptés au contexte territorial saint-martinois (zones basses inondables, submersibles et sensibles à l'érosion) :

- La reconstruction du bâti endommagé ou détruit à ***plus grande distance du trait de côte et en dehors des zones submersibles***, qui consisterait à mettre en œuvre la stratégie de relocalisation des biens et des personnes exposées vers des zones plus sûres, dans la mesure des possibilités et au regard des contraintes associées (foncières, financières, etc.)
- L'***adaptation technique*** des bâtiments et infrastructures au risque cyclonique, par exemple en promouvant les constructions résistantes aux vents cycloniques et surélevées (ex. sur pilotis) non exposées à l'impact direct des vagues cycloniques (par ex., en Polynésie française). Cette seconde stratégie, dénommée accommodation, peut être combinée à la première
- La ***« contre-attaque »***, qui consiste à surélever les zones côtières les plus basses par remblayage (aménagement de terre-pleins) et à y implanter les infrastructures essentielles requérant la proximité de la mer (ex. : usine de dessalement de l'eau de mer) afin de les placer hors de portée des niveaux marins extrêmes, notamment dans les zones urbaines et industrielles

L'adaptation au risque cyclonique ne doit pas faire oublier les autres risques : il est nécessaire de vérifier l'adéquation des mesures relatives à la prévention des dégâts cycloniques avec les mesures visant) ***prévenir les autres risques naturels*** auxquels est exposé le territoire (par exemple, les toits en béton construits après Irma sont dangereux face au risque sismique).



Pour aller plus loin

Desarthe, J., Bauduceau, N., Quantin, A., 2020. Les défis soulevés par la reconstruction post-Irma. Annales des Mines 98. http://www.annales.org/re/2020/resumes/avril/08-re-resum-FR-AN-avril-2020.htmll#08FR

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.

Duvat V., Magnan A., 2014. Le cyclone Luis à Saint-Martin, In : V. Duvat & A. Magnan, Des catastrophes... "naturelles"
? Coll. Essais, Le Pommier-Belin, Paris, 368 p., Chapitre 5 (pp. 123-147).

Duvat V., 2008. Le système du risque dans l'île de Saint-Martin (Petites Antilles). Développement Durable et Territoire, Dossier 11 « Catastrophes et territoires », mis en ligne le 6 novembre 2008. URL : http://developpementdurable.revues.org/sommaire6753.html

Moatty, A., Grancher, D., Virmoux, C., Cavero, J., 2019. Bilan humain de l'ouragan Irma à Saint-Martin : la rumeur post-catastrophe comme révélateur des disparités socio-territoriales. Géocarrefour 93/2. http://journals.openedition.org/geocarrefour/12918

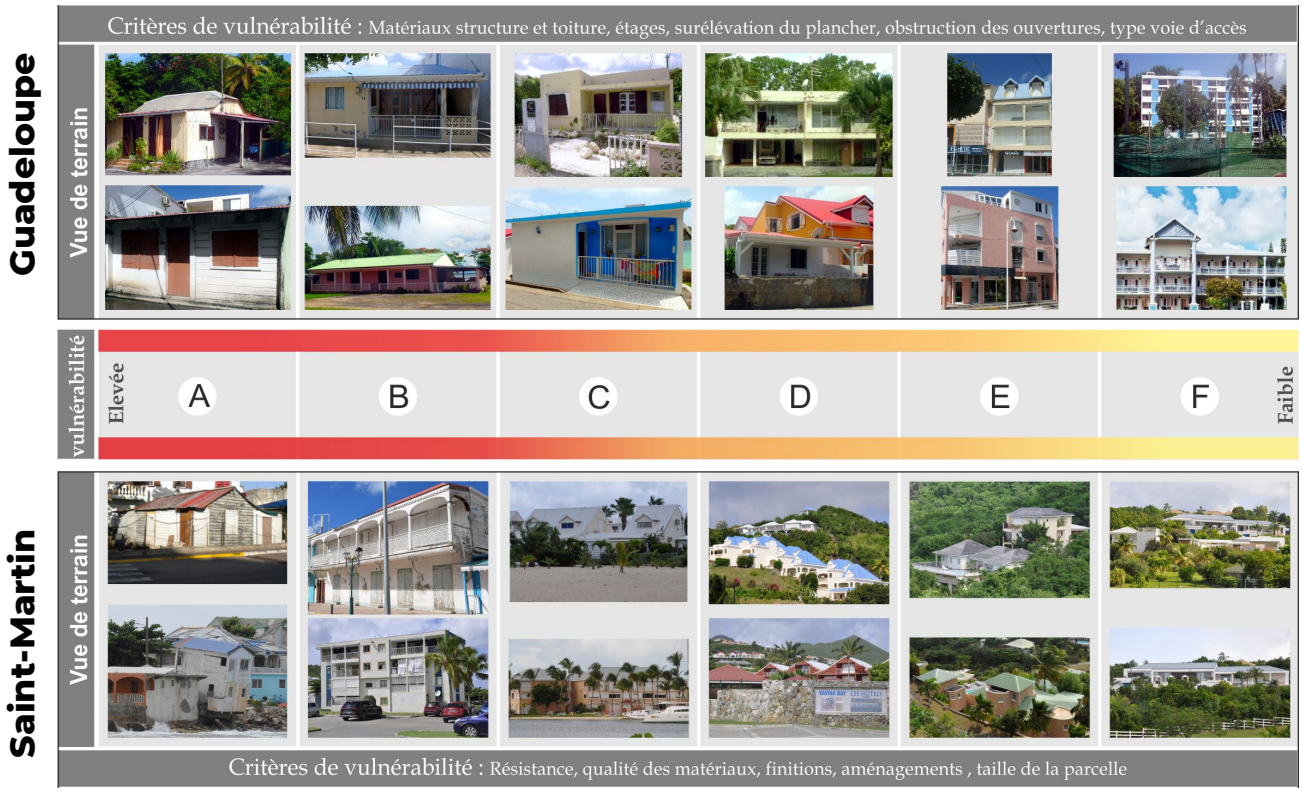
Caractérisation multiscalaire des vulnérabilités

S. Defossez & M. Gherardi

Objectifs et Méthodologie

L'évaluation et la cartographie de la vulnérabilité aident à caractériser le territoire dans sa sensibilité et capacités d'endommagement. L'approche analytique des vulnérabilités renseignent l'endommagement potentiel du bâti (vulnérabilité structurelle) ainsi que la dangerosité du bâti (vulnérabilité humaine liée au bâti), lequel présente des caractéristiques spécifiques aux Antilles (Terral et Selise, 2018). La caractérisation du bâti reflète par ailleurs la vulnérabilité socio-économique. In fine, le diagnostic de vulnérabilité participe à la création de données inédites in situ. Toutefois, la finalité de cette démarche en comparant la Guadeloupe et Saint-Martin, ne réside pas exclusivement dans la production de résultats mais interroge également la méthodologie d'évaluation. Il concerne exclusivement les bâtis à usage d'habitations.

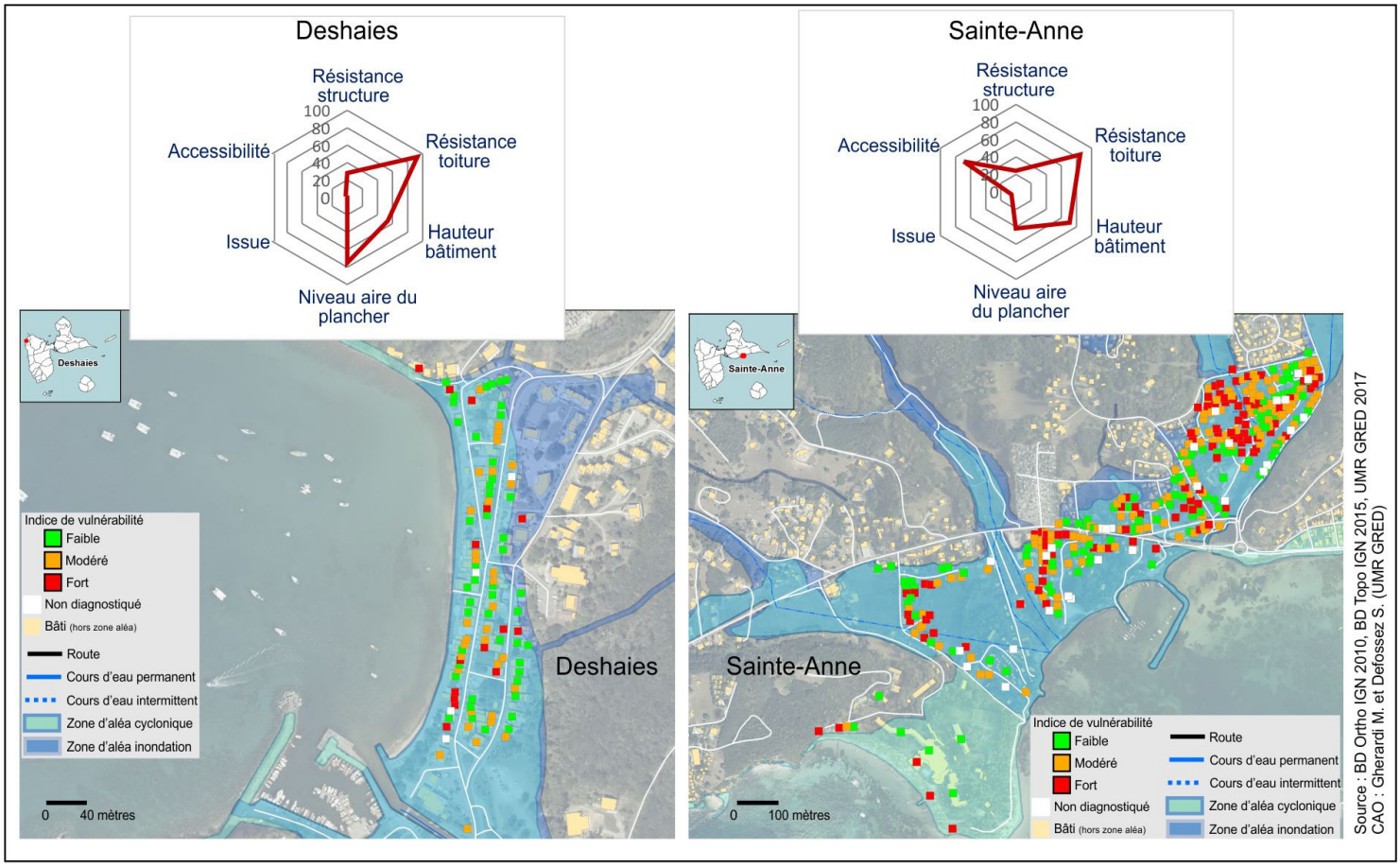
L'évaluation et la mise en carte de la vulnérabilité s'établissent à plusieurs échelles spatiales (échelle large du territoire administratif à échelle fine du bâtiment) et sur la base d'indicateurs et de critères. A échelle du bâti, le diagnostic nécessite une ressource humaine (un ou des observateurs) sur le terrain pour qualifier chaque bâtiment en fonction des critères définis. La méthode est transposable à condition d'adapter les critères au contexte local. A échelle du territoire administratif, ce diagnostic s'appuie généralement sur les caractéristiques socio-économiques et démographiques. En France, l'Insee apporte une richesse de données statistiques à échelle infra communale (IRIS). Cependant, nous arguons sur la nécessité de relevés de terrains pour apporter plus de précisions au diagnostic.



Classes de vulnérabilités en fonction des critères structurels appliqués en Guadeloupe (la somme du nombre de critères par bâti a constitué l'indice de vulnérabilité en 3 catégories, faible modéré, fort) et à Saint-Martin

Les entités infra communales ne sont parfois pas révélatrices des réalités de terrain. Si le diagnostic à échelle du bâti reste très chronophage, il l'est moins à échelle des îlots de quartiers, même s'il nécessite également une vérification de terrain. L'autre limite repose sur une certaine homogénéité du bâti. La méthode n'est pas transposable à des territoires où l'urbanisation serait trop mixte (en termes de standing). Dans les deux cas, la méthode comporte une part de subjectivité dans le choix des critères puis dans la manière de les représenter (sous forme d'indice par exemple). Le choix des critères reste dépendant de recherches sur la résistance du bâti et de l'endommagement potentiel, sur la base de recherches antérieures (Defossez et al., 2018) et de bibliographie scientifique et technique, avec une prise en compte du contexte local (type d'architecture).

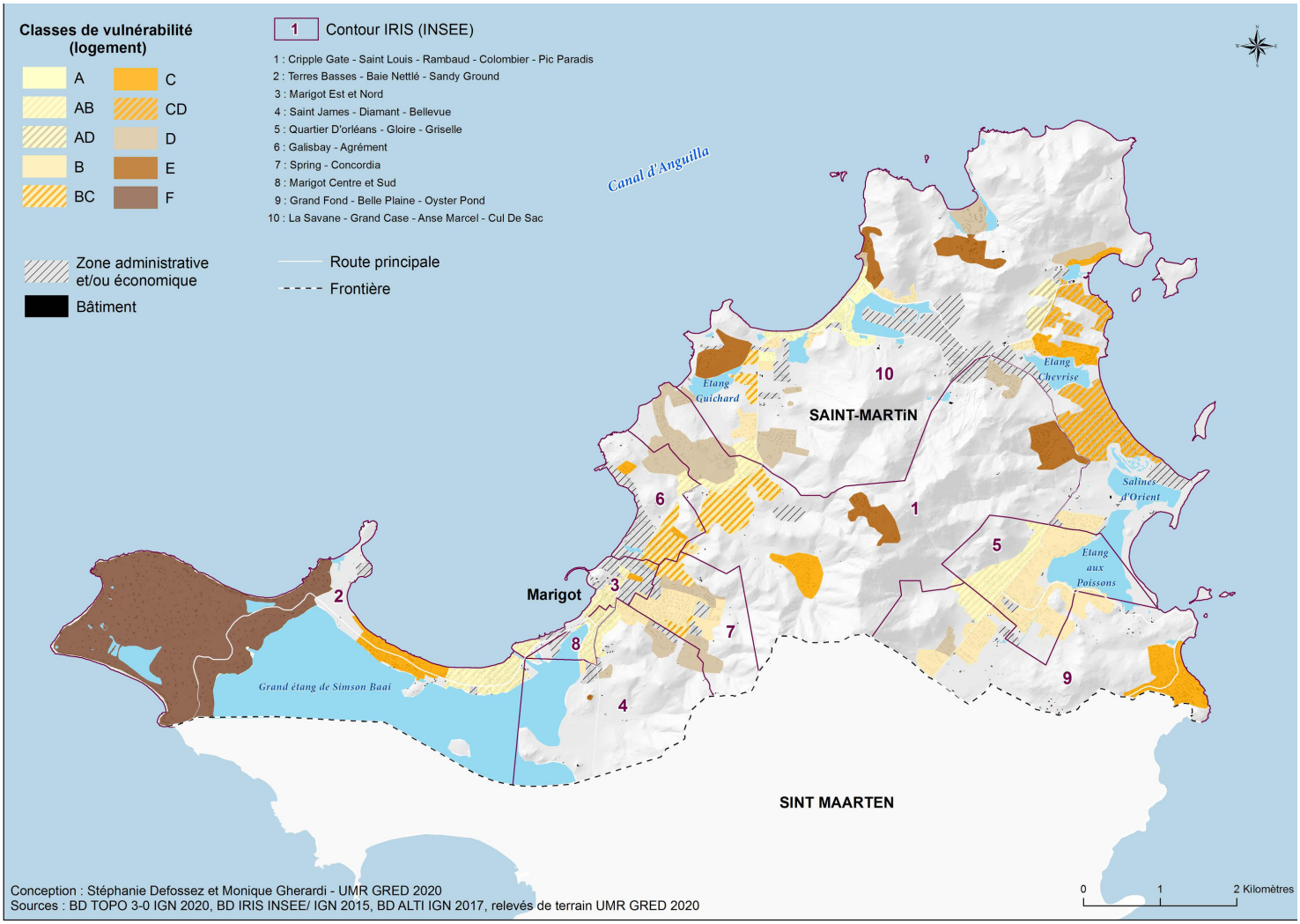
En Guadeloupe, le diagnostic a été réalisé à échelle du bâti sur les 13 communes les plus exposées au risque hydro-climatique (plus de 2000 bâtis). Les critères ont servi à la création d'un indice de vulnérabilité. Celui-ci a été conçu en additionnant le nombre de critères par bâti, en fonction duquel est attribué un niveau de vulnérabilité faible, modéré et fort (cf. figure page précédente).



Comparaison des niveaux de vulnérabilité du bâti et leur répartition des critères de vulnérabilités entre deux communes de Guadeloupe (Deshaies et Ste-Anne) - Extrait de l'atlas de vulnérabilité des 13 communes

A Saint-Martin l'évaluation a été établie à échelle de quartiers/îlots de quartiers et couvre tout le territoire (côté français). La typologie du bâti s'est fondée sur des critères structurels (résistance du bâti, qualité des matériaux, finition, aménagements des abords, taille de la parcelle) (cf. figure page précédente).

Cette analyse a vocation à révéler plus qu'une vulnérabilité, assimilée à un endommagement potentiel, une vulnérabilité socio-économique.



Vulnérabilité socio-économique de Saint-Martin

Principaux Résultats ▶ *Guadeloupe*

Pour la Guadeloupe, l'analyse des critères a rendu compte de la vulnérabilité à échelle du bâti par commune mais a aussi permis une comparaison entre les communes (fig.2). Sur l'ensemble des bâtiments diagnostiqués sur le territoire guadeloupéen, une large proportion de bâtiments est concernée par 2 ou 3 critères de vulnérabilité [1] alors que seulement 2% des bâtis cumulent 5 critères. Dans une dimension globale, les communes étudiées se caractérisent par une vulnérabilité modérée, même si dans certaines communes une part non négligeable du bâti cumule plus de 4 critères de vulnérabilité.

L'échelle fine d'analyse montre des bâtis plus vulnérables. L'analyse de la nature du critère montre une prépondérance de deux critères dépendant de normes architecturales répondant à des modes d'habitats et de vie. Les constructions traditionnelles aux Antilles se composent de toit en tôle, critère qui apparait majoritaire dans l'analyse de la vulnérabilité, et de nombreuses habitations construites de plain-pied. Les logiques de construction ne répondent pas en premier lieu à des adaptations au risque, mais surtout à des normes architecturales inhérentes au territoire ou encore aux matériaux disponibles ou au coût des matériaux (cases basses au toit de tôle) moins résistants aux effets des aléas naturels. Cependant, il existe des normes para cycloniques et concernent une partie du bâti. L'analyse des critères considérés individuellement affiche des disparités quantitatives et spatiales inter-communales. Certains critères se démarquent dans leur répartition hétérogène dans certaines communes, comme celui du niveau d'aire du plancher ou celui de l'accessibilité. Les résultats amènent une réflexion sur des stratégies de réduction de la vulnérabilité (Defossez et al., 2019).

[1]L'analyse globale décrite ici ne permet pas de nommer les critères concernés puisqu'il s'agit d'un nombre de critères quel que soit la nature du critère.

▶ *Saint-Martin*

Pour Saint-Martin, l'objectif visait une caractérisation de la vulnérabilité socio-économique en s'appuyant sur une méthode d'observations de terrains, à partir de critères interprétés par les observateurs comme reflétant un niveau socio-économique. Le terrain vient affiner les données statistiques constituées avec des limites administratives, qui dans le cas de Saint-Martin masquent une inégalité socio-économique infra (cf. figure page précédente). L'exemple de l'IRIS « Terres basses-Baie Nettlé-Sandy Ground » est révélateur. Cet ensemble infra communal est regroupé au sens statistique, mais la réalité de terrain montre trois sous-ensembles très marqués, du quartier populaire à Sandy Ground aux résidences luxueuses à Terres-Basses.

A échelle de Saint-Martin, la répartition spatiale de l'habitat est largement sectorisée (ségrégué), des quartiers ou îlots de quartiers composés d'habitats précaires côtoient des zones de haut, voire très haut standing. L'habitat de standing se situe (majoritairement dans des zones plus isolées sur les hauteurs et accessible par des routes résidentielles) ou à l'intérieur de community gates.

La variable touristique influe largement sur la délimitation de ces classes, avec l'équivalent de stations balnéaires à Baie Orientale notamment, comprenant à la fois des habitations de standing et une offre de services touristiques (bar, restaurants, hôtels, etc.). Les quartiers ou îlots de quartiers d'un niveau socio-économique plus faible regroupent majoritairement des habitations principales, comme à Sandy Ground et Quartiers d'Orléans sauf à Grand Case. Ce quartier à majorité de résidents permanents a la particularité d'accueillir en 1ère et 2nde ligne littorale, une rue dédiée aux commerces et à la gastronomie française, très recherché par les touristes étrangers. Enfin, Marigot présente une plus grande mixité de par son rôle administratif, attirant à la fois des zones industrialo-portuaires, commerciales, administratives et des quartiers résidentiels aux multiples facettes sociales.

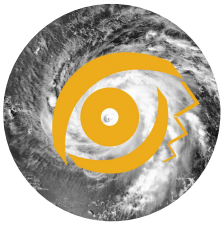
Recommandations

Intégrer les ***normes de constructions*** aux réglementations (urbanisme, PPR, etc.) et ne pas négliger l'exposition à d'autres risques, (exiger des normes pour le risque sismique notamment)

Pour les nouvelles constructions ou reconstructions : Respecter les ***normes anticycloniques*** (ex : toit en tôle, recommandations des compagnons bâtisseurs), ***prévoir l'autonomie en eau*** (citerne intégrée à la construction)

Adopter des mesures de ***réduction de vulnérabilité*** (protection des ouvertures en cas de cyclone), et (faire) vérifier avant chaque saison cyclonique l'état de la ***toiture et des fixations,*** l'***étanchéité*** des joints d'ouvertures

Privilégier l'***évacuation des habitations situées en zone littorale***



Pour aller plus loin

Defossez S., Vinet F., Leone F., 2018, Diagnostiquer la vulnérabilité face aux inondations : progrès et limites, pp. 263-282, In Vinet F. (dir.), Inondations 1 : la connaissance du risque. Elsevier/ISTE éditions, Londres, 388 p.

Defossez S., Gherardi M., Cargnelutti L., Battut S., Bigot V., Rey T., Péroche M., Leone F, 2019, Indicateurs de vulnérabilité, Rapport du WP Synthèse et vulgarisation : géo-indicateurs du changement climatique et des risques, communication et valorisation des résultats, Projet FEDER/région Guadeloupe Changement Climatique et Conséquences sur les Antilles Françaises (C3AF), 44 p.

Terral R. et Sélise M., Dynamiques urbaines communes et spécificités des villes des Antilles françaises (Guadeloupe, Martinique) des origines de la colonisation (1635) à nos jours, Études caribéennes [En ligne], 39-40 | Avril-Août 2018, DOI : 10.4000/etudescaribeennes.12811

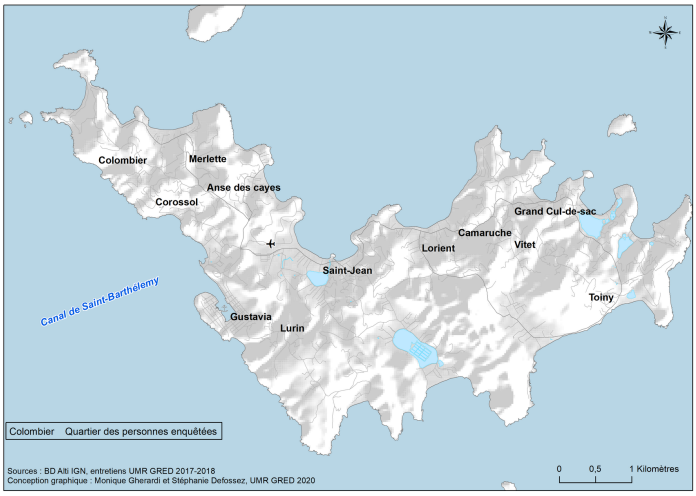
Capacités de réponse à l'échelle individuelle

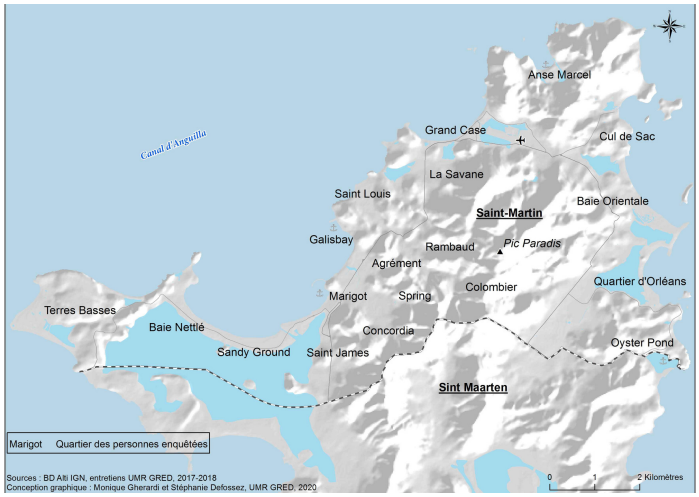
S. Defossez & M. Gherardi

Objectifs et Méthodologie

La gestion de la crise est organisée au niveau institutionnel (gestionnaires, prévisionnistes, autorités...), mais les populations y participent également, directement ou indirectement, à échelle individuelle. L'objectif de notre approche visait à identifier l'implication et le rôle des populations face à un évènement exceptionnel, en analysant le vécu et les comportements avant (quelles anticipation et préparation ?), pendant (mise en sécurité) et après (principalement la phase d'urgence). Cette étude avait vocation à donner la parole aux populations (Defossez et Gherardi, 2020). Deux enquêtrices sont allées à la rencontre des populations sur la base d'entretiens narratifs, fondés sur une grille d'entretien (cf. figure ci-dessous), s'organisant selon les temporalités avant-pendant-après.

Les entretiens menés en vis-à-vis ont laissé la parole aux sinistrés et les enquêtrices se sont efforcées d'intervenir le moins possible. Les échanges ont eu lieu dans un contexte neutre (café, extérieur) ou au domicile des répondants, en français et parfois en anglais, à Saint-Martin (102 entretiens) et Saint Barthélemy (17 entretiens) (cf. cartes ci-dessous). Les premiers échanges ont eu lieu quelques semaines après le passage du cyclone IRMA (fin octobre 2017), puis en mai 2018. Une cohorte d'une vingtaine de personnes volontaires a fait l'objet d'un suivi grâce à des entretiens menés en mars 2019 et en octobre 2020. L'étude a privilégié au départ une démarche qualitative et moins quantitative, puis s'est inscrite sur le « long » terme.



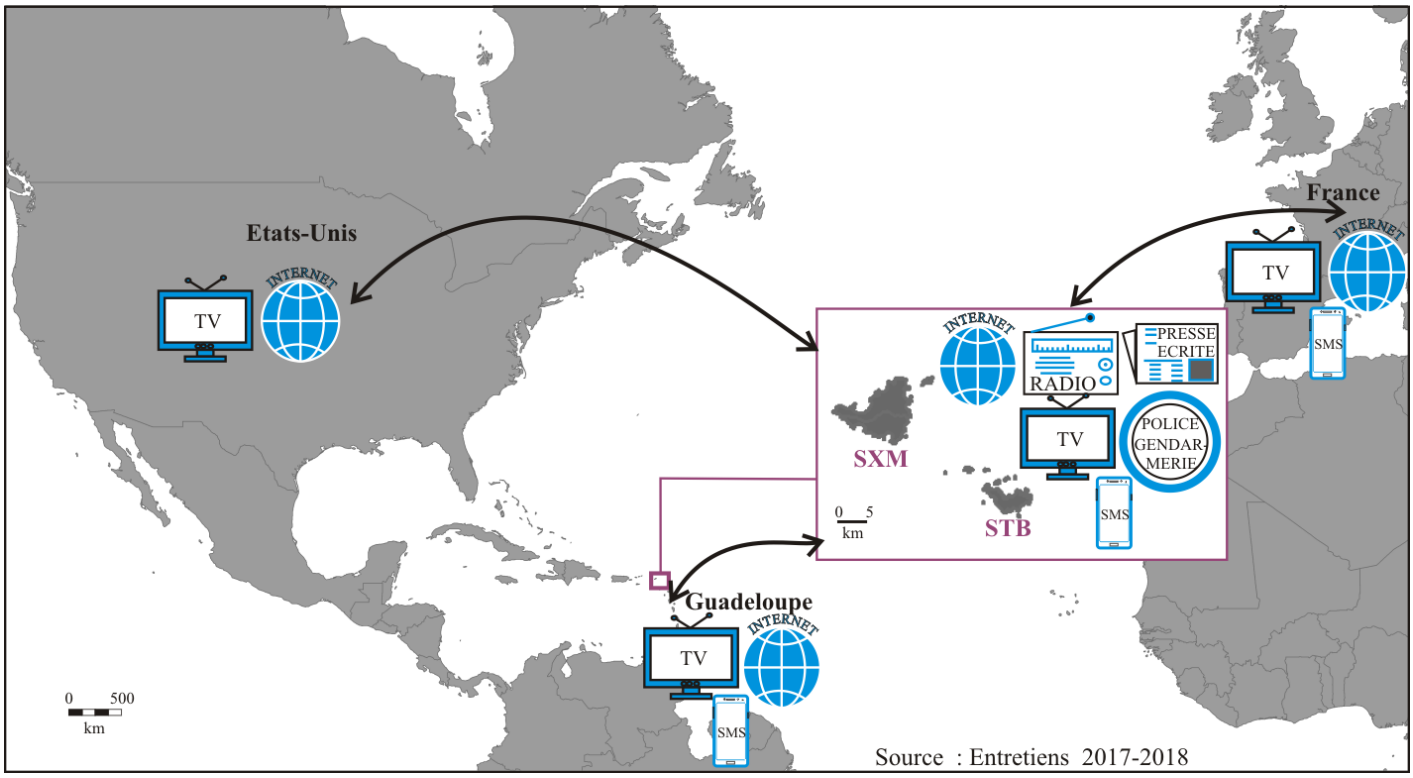


Quartiers des personnes interrogées à Saint-Barthélemy et Saint-Martin

Grille d'entretien

AVANT	PENDANT	APRÈS
-Connaissance du contexte cyclonique (saisons, vigilances, consignes, vécu...) -Diffusion des informations (radio, internet, famille...) -Réactions à l 'approche du cyclone (protection des maisons, provisions...) -Marqueurs du début de l 'événement (phénomène naturel, alerte, voisinage...)	-Réactions (confinement, sortie...) -Sentiment de préparation à l 'évènement -Pertinence des consignes -Problèmes rencontrés (dommages, peur, blessure...)	-Marqueurs et réactions de fin d 'évènement -Aides immédiates (qui, quand, de quelle nature?) -Accès au logement, aux réseaux... -Objectifs et priorités

-Informations de cadrage : nombre d 'occupants, type de logement, durée de vie à Saint-Martin...



Sources d'informations

Principaux Résultats ▶ *Avant*

Des résultats similaires sont apparus pour Saint-Martin et Saint-Barthélemy dans les phases avant et pendant, mais des réactions différentes se sont révélées dans la phase post-crise.

Une population vigilante dès le début de la saison cyclonique avec un suivi régulier des vigilances météorologiques, plusieurs fois par jour à l'approche du cyclone. Mais le cyclone a été sous-estimé par les populations préparées à un évènement similaire à Luis, ce dernier largement dépassé dans son intensité par Irma.

Les informations tirées des médias (fig. 3) proviennent surtout de sites internet considérés par les interrogés comme des sites spécialisés (« SXM cyclone » ou « Weather Channel »). Les îles (et plus encore Saint-Martin) sont empreintes de culture américaine, d'où le fait que les interrogés se soient tournés en priorité vers les sites internet et les chaînes de télévision américaines. On retrouve également les sources d'informations par les réseaux sociaux (facebook notamment avec la page d'Olivier Tisserand, féru de météorologie) et les échanges par sms avec les proches vivant en Guadeloupe ou en métropole. Enfin, sur place, les forces de l'ordre ont informé et encouragé les populations littorales à évacuer.

Peu d'évacuations anticipées ont été constatées, notamment par méfiance des abris sûrs.

Leur taux d'occupation a été assez faible parmi les interrogés, comme à l'échelle de l'île (méfiance due à l'endommagement constaté sur ces abris lors du cyclone Luis, mais aussi due à la promiscuité dans ces abris, et surtout à la confiance sur la résistance de leur habitation). Cependant, chacun des interrogés connaissait la localisation de l'abri sûr de son quartier.

La vitesse de déplacement du cyclone a fait évoluer les niveaux de vigilance très rapidement et a participé à une préparation parfois à la dernière minute et souvent insuffisante (en quantités notamment) ou inadaptées (nourriture à cuisiner alors que les réseaux électriques ont été coupés), particulièrement à Saint-Martin.

De manière générale, les populations possèdent des connaissances sur les cyclones, les consignes en cas de vigilance. Cependant, la rapidité du phénomène et le souvenir d'un évènement sous-estimé ont faussé leurs anticipation et préparation.

Pendant

Les populations ont montré une bonne connaissance des phénomènes naturels et ont identifié le début et la fin de l'évènement grâce aux manifestations naturelles, principalement la force du vent et dans une moindre mesure les précipitations. Les interrogés ont évoqué deux phases de vent et de pluie avant et après (avec direction contraire), le passage de l'œil du cyclone, synonyme d'accalmie.

Quelques personnes ont apparenté la violence des vents à un séisme, tant l'impression de mouvement de la maison était forte. D'autres ont comparé la brutalité et la soudaineté des vagues à un tsunami. Ces témoignages proviennent essentiellement de résidents du littoral dont le ressenti est singulier par rapport aux autres interrogés.

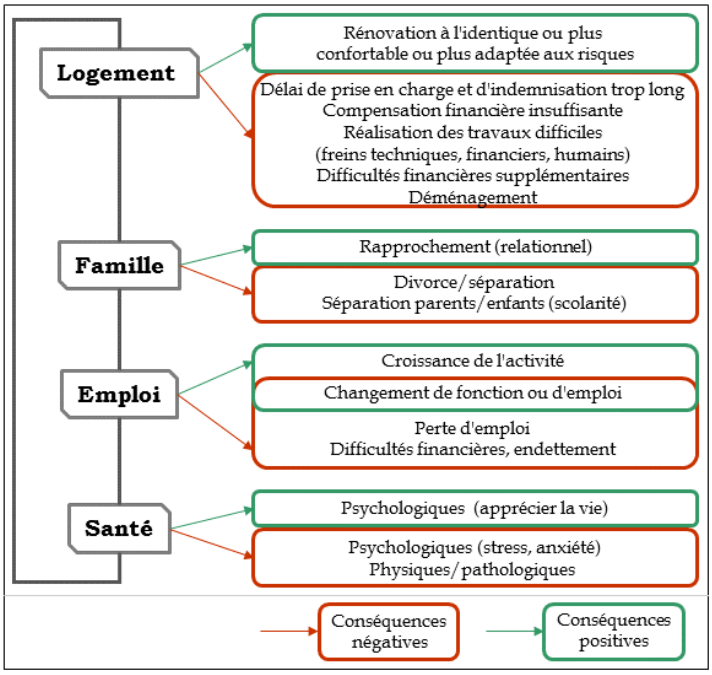
Ceci renvoie à l'exposition et à la vulnérabilité des populations littorales face aux cyclones. Confrontée à ces manifestations naturelles, la réaction unanime du confinement a prévalu, en majorité au domicile, à échelle du foyer ou en groupes de famille, amis, voisins.

Ceux qui connaissaient le phénomène cyclonique sont sortis pendant l'œil du cyclone, afin de consolider les fermetures, se réfugier à l'étage inférieur ou encore accueillir des voisins en danger (notamment quand une partie du toit a été endommagée ou emportée). De nombreuses personnes ont dû se réfugier dans une pièce aveugle pendant plusieurs heures. La force du phénomène semble ne pas laisser le choix sur les prises de décisions pendant le cyclone et pousse au confinement.

Après

Saint-Martin

Le paradoxe de la phase d'urgence est largement évoqué par les personnes interrogées. La solidarité entre voisins côtoie le chacun pour soi, voisins solidaires qui peuvent être perçus dans le même temps comme pilleur. Les populations se sont organisées à échelle d'un quartier ou de quelques maisons, mais étaient également dans l'attente d'aides extérieures, de la Collectivité et de l'Etat, et se sont senties délaissées par les autorités. A Grand-Case, la perception est plus singulière, le passage du président Macron a montré l'intérêt du pays pour ce territoire éloigné de la métropole. Quelques heures après le passage d'Irma, deux évènements sont venus perturber toute la chaîne d'organisation et de gestion de crise. Quelques heures à peine après le passage d'Irma, le cyclone José a été annoncé. Les communications étaient impossibles à échelle de l'île, mais les populations ont été informées de manière informelle ; d'autre part, les pillages, les vols, l'insécurité, sont venus supplanter l'impact du cyclone. Beaucoup ont considérés que les pillages ont fait plus de mal que le cyclone ! Les échanges révèlent également un manque d'anticipation des institutions. Des ravitaillements mis en place par les institutions ou les ONG, ont



Changements consécutifs au cyclone

été jugés désorganisés ou parfois totalement inadaptés (conserves à cuire alors que les réseaux électriques étaient hors service). Des routes difficilement praticables (ou impraticables), des réserves d'eau et de nourriture insuffisantes pour certains, des réseaux d'eau, d'électricité et de téléphone coupés pour tous. La lenteur de remise en état des réseaux a perturbé une volonté de retour à la normale (difficultés qui ont duré de quelques jours à plusieurs semaines).

Saint-Barthélemy

La sensibilisation au risque et les capacités individuelles des habitants ont largement participé à une auto-organisation, dès les premières heures après le passage d'Irma, appuyés par la participation d'entrepreneurs, prépositionnés en collaboration avec la collectivité (entreprises de BTP portugaises notamment). L'absence de l'Etat a été systématiquement évoquée par les interrogés, même si les propos sont à nuancer, puisque tous ont approuvé la décision du président de la Collectivité de se passer de l'aide gouvernementale. Dans la phase d'urgence deux préoccupations (simultanées) majeures ont guidé les réactions des sinistrés : communiquer et nettoyer.

Le manque de communication au sein de l'île, puis avec l'extérieur, avec les proches à St Martin, aux Antilles, en métropole ou ailleurs (recherche d'informations sur l'ampleur des dégâts, pertes humaines, ...), est apparu comme une grande difficulté très vite compensée par la mise en place de bornes wifi « Irma ». La participation au relèvement s'est expliquée par la volonté et la motivation de chacun à faire repartir l'économie de l'île, un devoir collectif, liée en grande partie à l'attachement territorial qui se fait moins ressentir sur l'île de Saint-Martin.

Recommandations pour les Populations

+ Etablir et consulter une ***check-list*** pour une préparation plus adaptée

S'impliquer dans le respect des ***consignes de préparation*** à la saison cyclonique (élagage, sécurisation des abords de la maison mis à l'abri des véhicules : semi-enterrer et sangler les petites embarcations par exemple)

Quitter les habitations de bord de mer pendant le cyclone

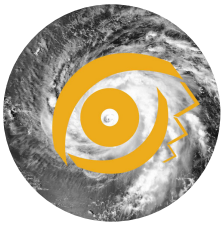
Identifier des ***personnes ressources*** (ce peut être le chef de quartier) qui assureraient le relai entre les institutions et les populations notamment dans la phase d'urgence (informations sur les points et heures de ravitaillement par exemple)

Recommandations pour les Autorités

+ Renforcer la ***communication sur les cyclones*** (en passant par les Conseils de quartier)

Diffuser l'information vers les populations (et pas uniquement démarche active des populations à la recherche d'informations)

(Ré) instaurer les ***relations et la confiance entre les autorités et les populations*** en communiquant sur les actions et mesures de prévention des risques naturels (exemple sur les nouveaux critères des abris cycloniques)



Pour aller plus loin

Defossez et Gherardi, 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. DOI : https://doi.org/10.4000/echogeo.18987

Dourlens, 2003 « La question des inondations. Le prisme des sciences sociales ». Ministère de l'équipement, des transports et du logement, CERPE, 105 p.

Wybo J-L, 2009 « Le retour d'expérience : un processus d'acquisition de connaissances et d'apprentissage ». In -Specht M., Planchette G., Gestion de crise : le maillon humain au sein de l'organisation, Economica, 19 p.

CLASSEUR #2

Impacts et Résilience des Environnements Côtiers

Ce classeur est centré sur la compréhension des processus de contrôle des impacts des cyclones. Ce travail constitue une étape fondamentale pour reconstruire plus résilient et s'adapter au changement climatique.

© Moatty, 2018

Pour accéder à l'onglet Impacts des Cyclones sur le site :
HTTPS://TIREX.UNIV-MONTP3.FR/3-HISTORIQUE.HTML

Reconstitution des conditions météorologiques cycloniques

P. Palany, A. Bel Madani, E. Chatefrou, G. Faure, D. Bernard, R. Cécé

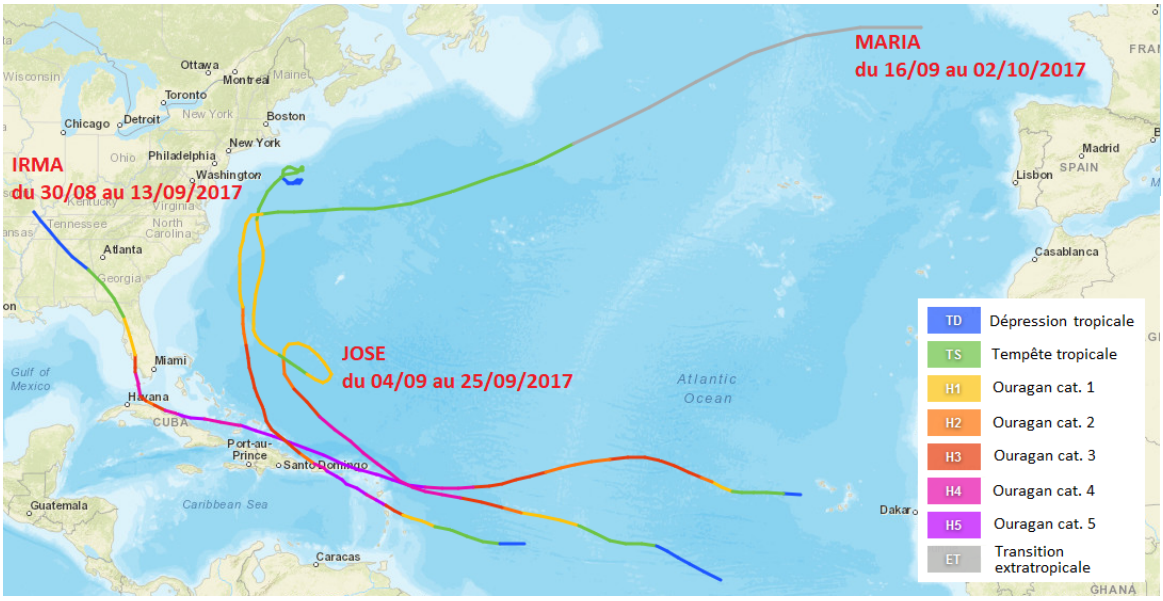
Objectifs et Méthodologie

L'objectif est de reconstituer les conditions météorologiques des évènements cycloniques de la saison 2017 dans les Antilles en les simulant par l'intermédiaire de modèles météorologiques numériques à haute résolution. Les observations météorologiques ayant arrêté de fonctionner sur les îles de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy avant le passage de l'œil du cyclone Irma, le modèle opérationnel de Météo-France AROME 2.5km a été complété par des simulations de modèles à plus fine résolution : le modèle en mode recherche Arome 1.3km et le modèle WRF ARW (280m, 90m, 30m).

Le modèle WRF ARW a été préalablement validé avec les données d'observation des stations de Météo-France pour les rafales et les cumuls de pluie induits par l'ouragan Maria sur l'archipel de la Guadeloupe.

Dans un premier temps, les prévisions du modèle opérationnel AROME 2.5km seront comparés aux observations météorologiques de Guadeloupe et de Martinique puis aux simulations du modèle en mode recherche AROME 1.3km.

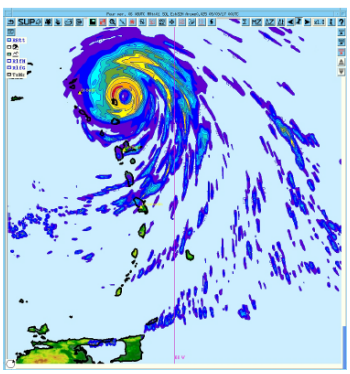
Dans un second temps, les résultats très haute résolution de WRF (280m, 90m, 30m) seront comparés aux dégâts observés et utilisés pour une meilleure compréhension des effets d'Irma sur les îles de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy.

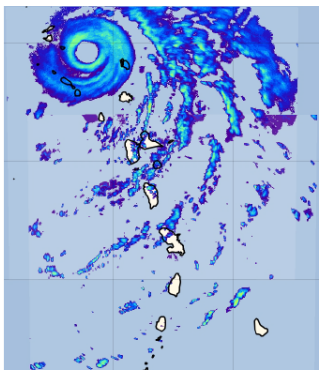


Trajectoires analysées des cyclones Irma, Jose et Maria, d'après l'outil de suivi des cyclones de la NOAA

Principaux Résultats

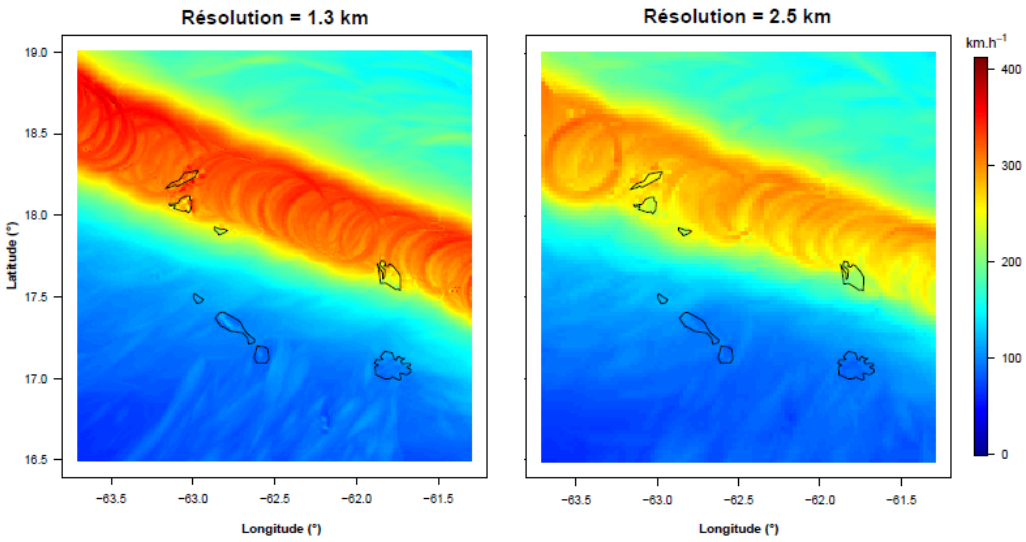
- ***AROME 2.5km*** modélise avec une grande précision les structures pluvieuses des cyclones (cf. figure à droite) avec de légères erreurs de position des centres des cyclones (cf. figure page suivante), principalement aux échéances supérieures à 30 heures.



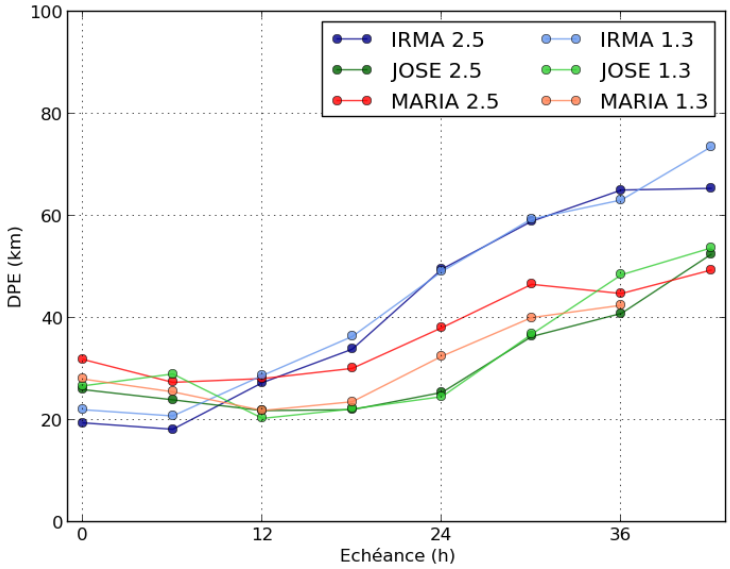


Structure pluvieuse de Irma le 06/09/2017 à 08h UTC : prévision H+32 AROME 2.5km (à gauche) et observations radar (à droite)

▶ ***AROME 1.3km*** **modélise également très bien la trajectoire (cf. figure à droite) et l'intensité des cyclones de 2017. Il représente les champs d'intérêt (vents et pluie) de manière plus réaliste que AROME 2.5km, en se rapprochant des valeurs extrêmes de vent moyen (295km/h relevés dans l'après-midi du 05 septembre) ou de rafales (321 km/h enregistrés par une station non officielle de Saint-Barthélemy) lors du passage de Irma (cf. figure ci-dessous).**



Maximum des rafales à 10m sur 24 heures au passage de Irma pour le réseau du 5/09/2017 à 18h UTC

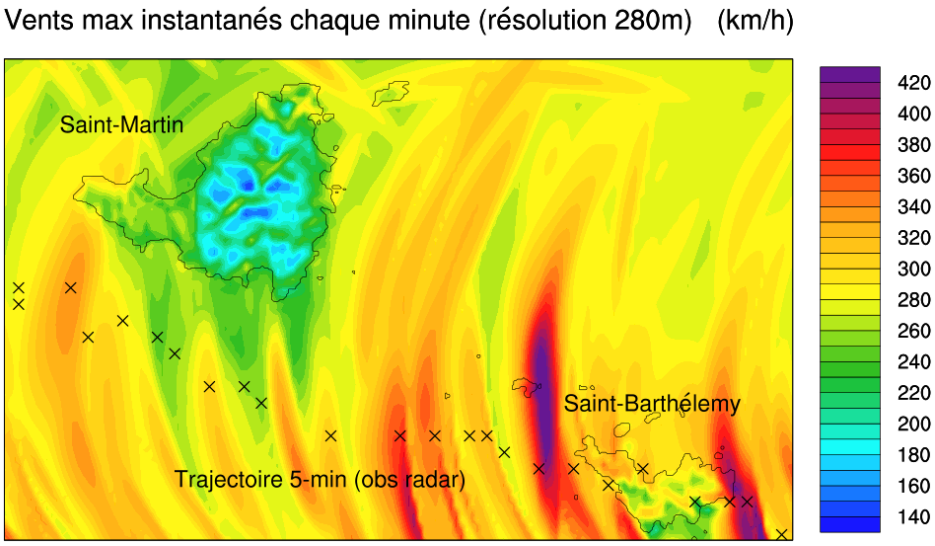


Moyenne des erreurs de position des centres des cyclones en fonction de l'échéance de prévision par AROME 2.5km et AROME 1.3km

Dans le cadre du projet TIREX, la résolution de 1,3km n'est toutefois pas suffisante pour une étude des impacts à l'échelle locale. On lui préférera WRF ARW.

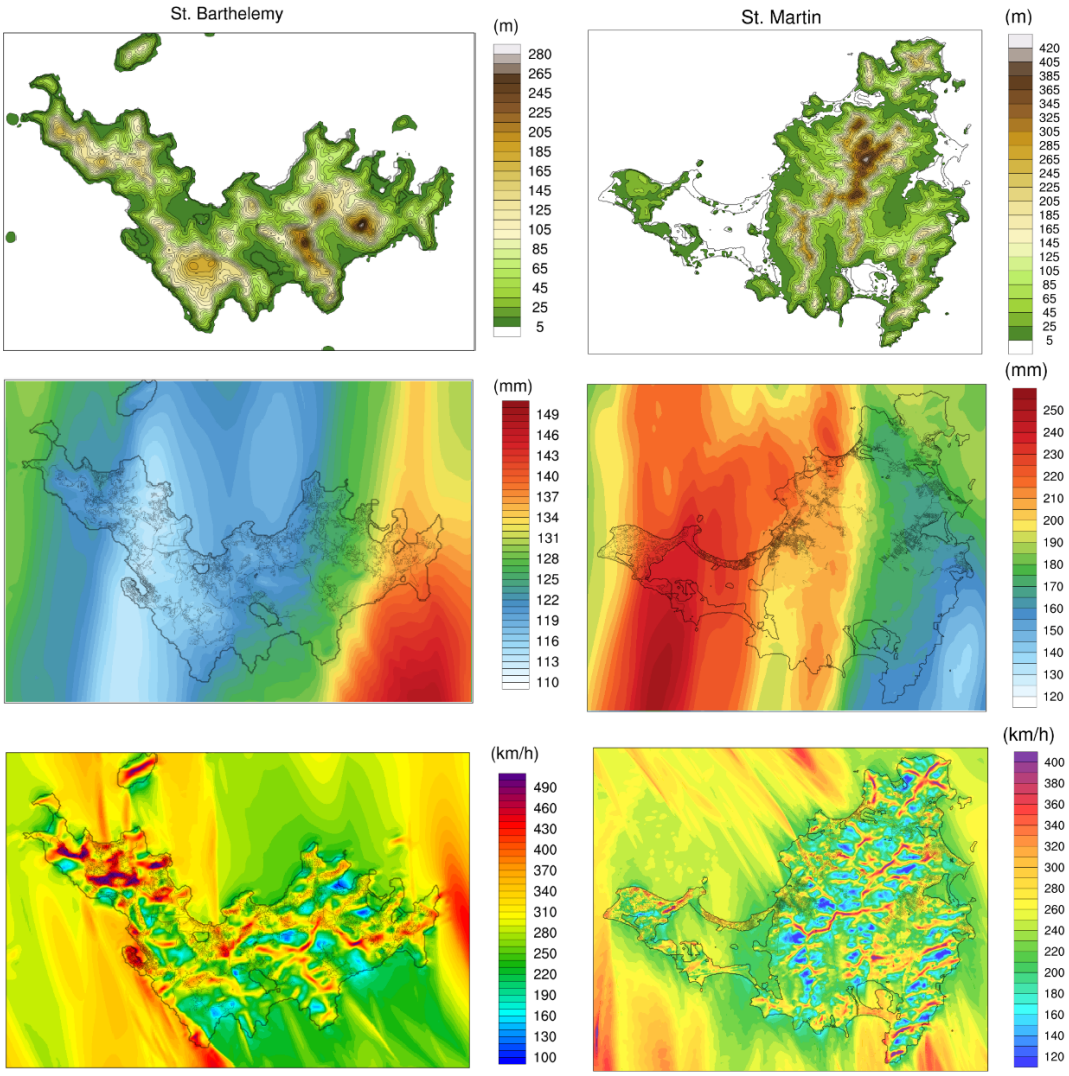
Ce modèle, validé par les observations météorologiques de Maria en Guadeloupe, permet par sa résolution de 280m de mieux représenter les violentes rafales du mur de l'œil du cyclone Irma. WRF a ainsi retrouvé des valeurs de pression et de vents très proches des valeurs observées : 924hPa de minimum de pression simulé contre 914hPa observé au cœur du cyclone, des valeurs maximales de vent soutenu de 80m/s comme estimées par le NHC, ainsi que des rafales instantanées simulées dépassant 110m/s quand les observations moyennées sur 3 secondes se situent entre 80 et 100m/s le 06/09/2017 à 11h locales.

Ces simulations ont également confirmé que l'île de Saint-Barthélemy, située sur la trajectoire du centre du cyclone d'après les observations radar, a été impactée par les plus violentes rafales d'Irma (cf. figure à droite). L'île de Saint-Martin a subi les effets du cadran Nord-Ouest de l'œil, moins actif.



Valeurs maximales de vents instantanées en km/h lors du passage du cyclone Irma (WRF 280m). Les croix noires représentent la trajectoire du cyclone d'après les données radar

Les ***simulations à 30 m de résolution du modèle WRF ARW*** ont quant à elles permis de représenter à la fois les petites structures turbulentes à l'origine des rafales extrêmes dans le mur de l'œil ainsi que les effets locaux de chacune des deux îles sur les vents et les pluies cycloniques (relief, occupation des sols) (Cécé et al. 2020). Cette étude à maille très fine a permis d'identifier les zones d'aléas cycloniques à l'échelle d'un quartier.

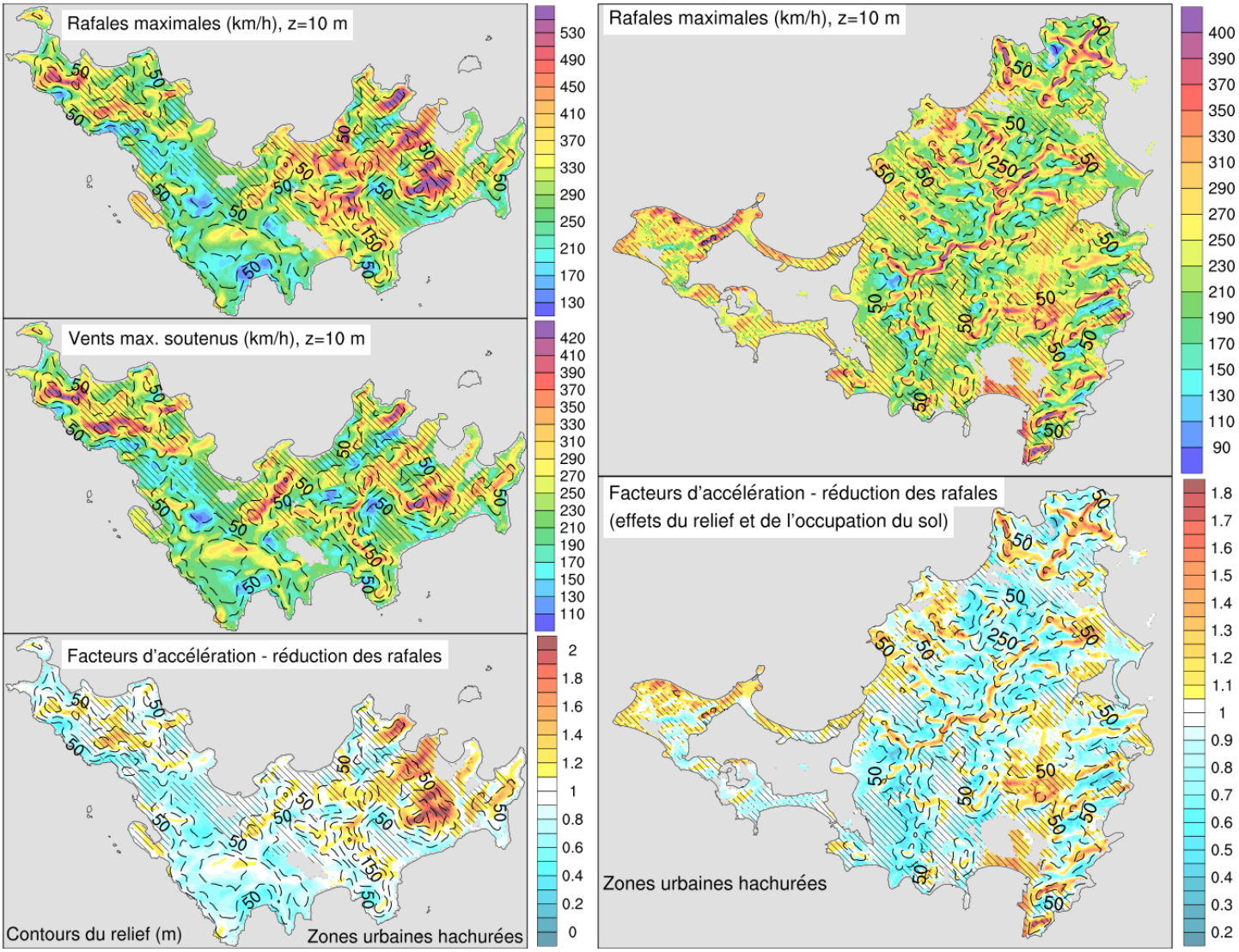


Simulations WRF à 30m de résolution : (a-b) topographie à 30m (m), (c-d) cumuls de pluie sur 12h (mm)

Alors que les ***cumuls de pluie simulés à 30m*** de résolution semblent très peu influencés par la topographie (figures 7 et 8), les rafales induites en mer (360-380 km/h) par Irma sont fortement perturbées par le relief des îles de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy. En effet, les crêtes génèrent un resserrement des lignes de pression et d'importants mouvements ascendants à l'origine des valeurs instantanées supérieures à 460 km/h sur l'île de Saint-Barthélemy. Cette gamme de rafales correspond aux valeurs records mesurées dans les tornades les plus puissantes (512 km/h en 1999). Les effets de l'occupation des sols sur les champs cycloniques ont aussi été analysés.

Pour quantifier ces effets locaux (relief et occupation du sols) sur les rafales cycloniques, un facteur d'accélération – réduction des rafales a été calculé à 30 m de résolution sur les deux îles. Il repose sur les résultats de deux configurations de simulation : la première incluant le relief et l'occupation des sols des îles « REAL », la seconde incluant la suppression des îles et leur remplacement par un masque de mer « SEA ». Le facteur d'accélération – réduction des rafales correspond au rapport des valeurs REAL/SEA.

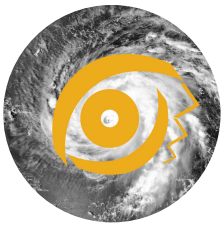
Tandis que sur les crêtes de montagne une rafale cyclonique marine peut-être accélérée d'un facteur 1,4, les zones de faible relief avec de la mangrove peuvent en revanche avoir un effet réducteur de moitié (facteur de 0,5).
L'analyse de ces facteurs d'accélération – réduction de rafales pourrait aider au développement de plan de prévention et d'aménagement avec des codes de construction mieux adaptés aux différentes zones d'exposition sur les deux îles.



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

Recommandation

+ La reconstitution des évènements avec des modèles à très haute résolution (AROME 1.3km, WRF 280m, WRF 30m) n'est possible qu'*a posteriori* : les coûts de calcul pour ces simulations ne permettent pas de les utiliser en temps réel.
Elles ne peuvent donc être utilisées en opérationnel lors d'un évènement cyclonique.
Cependant ces ***reconstitutions fines et réalistes peuvent aider à la prévention des risques*** (par exemple pour l'identification des zones d'accélération de vent et du facteur d'accélération associé).



Pour aller plus loin

Cécé, R., Bernard, D., Krien, Y., Leone, F., Candela, T., Péroche, M., Biabiany, E., Arnaud, G., Belmadani, A., Palany, P., and Zahibo, N.: A 30-m scale modeling of extreme gusts during Hurricane Irma (2017) landfall on very small mountainous islands in the Lesser Antilles, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., https://doi.org/10.5194/nhess-2020-241, accepted, 2020.

Duvat, V.; Pillet, V.; Volto, N.; Krien, Y.; Cécé, R.; Bernard, D. High human influence on beach response to tropical cyclones in small islands: Saint-Martin Island, Lesser Antilles. Geomorphology, 2019, 325, pp.70-91. (10.1016/j.geomorph.2018.09.029).

Faure, G.; Chambon, P.; Brousseau, P. Operational implementation of the AROME model in the Tropics: multiscale validation of rainfall forecasts ; Weather and Forecasting (submitted)

Jury, M.; Chiao, S.; Cécé, R. The Intensification of Hurricane Maria 2017 in the Antilles. Atmosphere, MDPI 2019, 10 (10), pp.590.

Krien, Y.; Arnaud, G.; Cécé, R.; Ruf, C.; Belmadani, A.; Khan, J.; Bernard, D.; Islam, A.; Durand, F.; Testut, L.; Palany, P.; Zahibo, N. Can We Improve Parametric Cyclonic Wind Fields Using Recent Satellite Remote Sensing Data? Remote Sens. 2018, 10, 1963.

Pillet V.; Duvat, V.; Krien, Y.; Cécé, R.; Arnaud, G.; Pignon-Mussaud, C. Assessing the impacts of shoreline hardening on beach response to hurricanes: Saint-Barthélemy, Lesser Antilles. Ocean and Coastal Management, 2019, 174, pp.71-91. ⟨10.1016/j.ocecoaman.2019.03.021⟩.

Rey, T.; Leone, F.; Candela, T.; Belmadani, A.; Palany, P.; Krien, Y.; Cécé, R.; Gherardi, M.; Péroche, M.; Zahibo, N. Coastal Processes and Influence on Damage to Urban Structures during Hurricane Irma (St-Martin & St-Barthélemy, French West Indies). J. Mar. Sci. Eng. 2019, 7, 215.

Incertitudes sur les vents, les pluies et les aléas marins

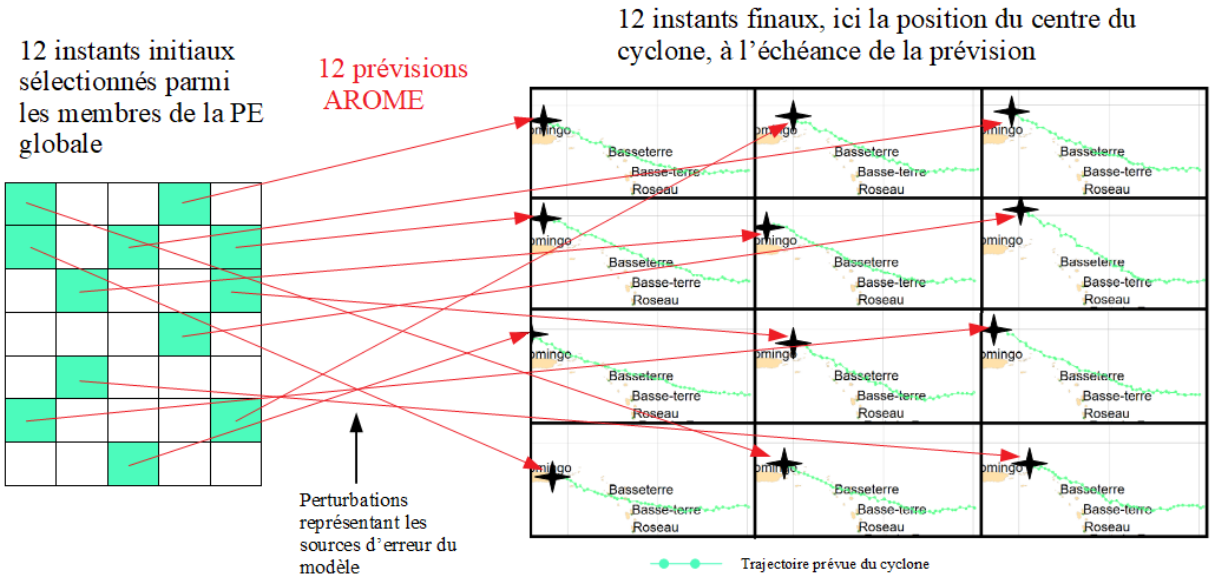
P. Palany, A. Bel Madani, I. Marion, C. Maffre, *L. Raynaud, F. Bonnardot, S. Malardel, O. Bousquet, Y. Krien*

Objectifs et Méthodologie

L'objectif est d'examiner l'apport de la prévision probabiliste des vents et des pluies pour la prise de décision lors des épisodes cycloniques.

La méthode retenue pour l'élaboration des prévisions probabilistes est de « rejouer » les évènements cycloniques de 2017 avec le système de prévision d'ensemble à échelle régionale PE AROME (expérimental en Outre-Mer) de Météo-France (Bouttier et al., 2016). Ce système, appelé par la suite PE AROME OM, est constitué de 12 prévisions perturbées (aussi appelés membres de l'ensemble). Les couplages latéraux sont fournis par les membres d'une prévision d'ensemble à échelle globale (soit celle du Centre Européen de Prévision Météorologique à Moyen Terme : EPS, soit celle de Météo-France : PEARP). Les différentes sources d'incertitude (état initial, surface, modèle) sont représentées avec des techniques de perturbation à l'état de l'art (Raynaud & Bouttier, 2016 ; Bousquet et al., 2020) (cf. figure ci-dessous). Ces simulations ont servi à l'élaboration de prototypes de cartes probabilistes à destination des gestionnaires de crise aux Antilles françaises, qui ont pu en prendre connaissance en juin 2019. Ainsi, les décideurs ont été sensibilisés à l'information qu'apporte une prévision probabiliste sur les vents et la pluie. L'approche retenue pour représenter les incertitudes de prévision sur les aléas marins est d'utiliser ces 12 prévisions atmosphériques pour forcer un modèle hydrodynamique couplé (le modèle de circulation SCHISM couplé au modèle de vague WWM). Si les temps de calcul actuellement nécessaires à cette production ne permettent pas d'imaginer une prochaine utilisation de cette méthode en opérationnel, les simulations issues de ces travaux reflètent l'état de l'art de la prévision probabiliste de submersion marine.

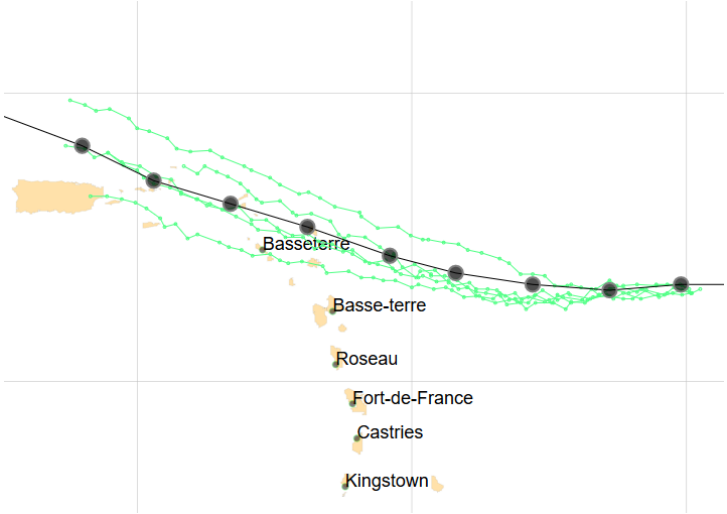
Les 12 instants initiaux sont une estimation de l'ensemble des états atmosphériques « possibles » à l'instant initial de la prévision, permettant de tenir compte des sources d'erreur dans les conditions initiales et aux limites latérales du modèle : 12 membres sont sélectionnés parmi les 50 membres de l'EPS ou parmi les 35 membres de la PEARP.



Principe de la prévision d'ensemble PE AROME Outre-Mer

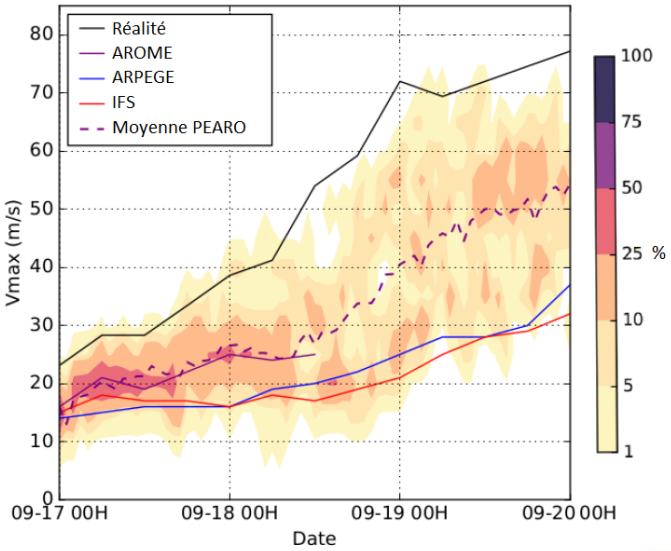
Principaux Résultats

- Les résultats issus d'une ***prévision d'ensemble permettent d'obtenir un scénario pour chacun de ses membres***. La trajectoire du cyclone Irma est par exemple bien prévue par la PE AROME OM construite à partir de l'EPS, comme on peut le voir sur la figure à droite. Chaque membre y est représenté en vert et la trajectoire du cyclone est en noir. Ces simulations ensemblistes apportent des résultats complémentaires aux sorties des modèles opérationnels déterministes (AROME, ARPEGE, IFS) et permettent notamment d'obtenir des scénarii alternatifs à la prévision déterministe (cf. figure ci-dessous), particulièrement critiques en situation extrême.



Prévisions de la trajectoire d'Irma par la PE AROME OM , réseau du 05/09/2017 à 00hUTC

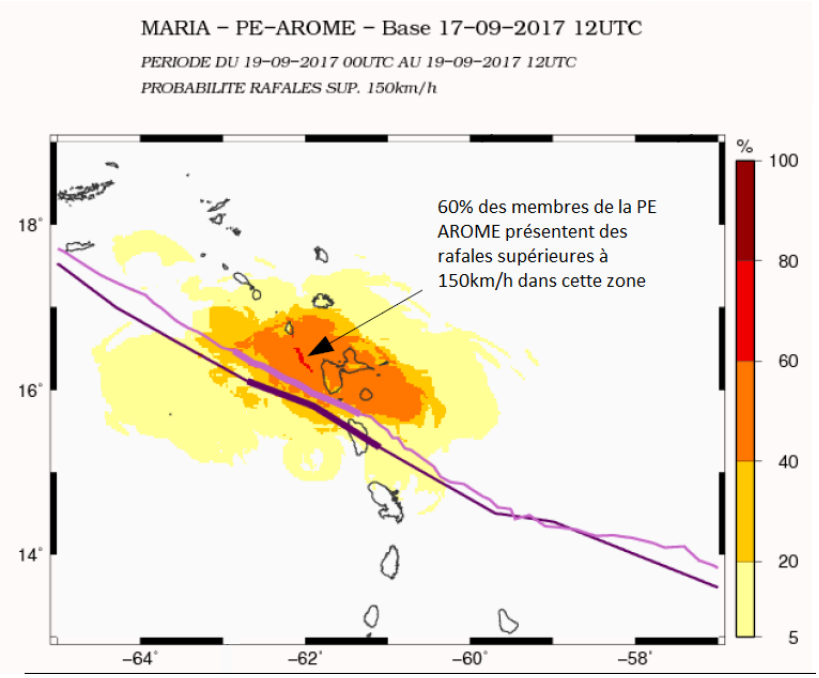
Ils offrent également une quantification de l'incertitude de la prévision, information utile aux gestionnaires de crise pour la prise de décision.



- Sur la figure de gauche, les ***probabilités associées aux 12 membres de la PE AROME*** sont représentées du jaune au violet. La largeur du panache renseigne sur l'incertitude de la prévision, elle augmente avec l'échéance. On peut ainsi voir que les modèles déterministes opérationnels (AROME, ARPEGE et IFS – Faure et al., 2020) ont sous-estimé la vitesse de vent maximale de Maria, tandis que certains membres de la PE AROME OM proposent des scénarii plus proches de la réalité.

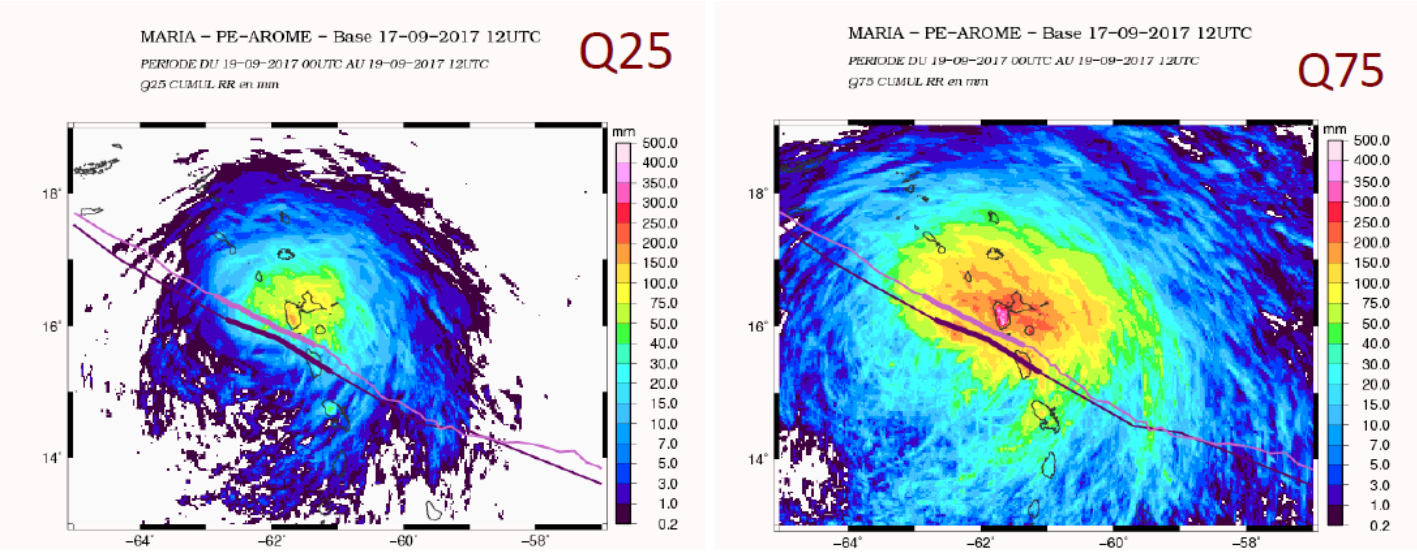
Panache de probabilités de vitesse de vent maximale pour Maria par la PE AROME OM, réseau du 17/09/2017 à 00hUTC (échéance 72h)

- A partir de ces simulations, différents ***prototypes de cartes probabilistes de vents et de cumul de pluie*** ont été développés.
  En violet foncé la trajectoire réellement observée de Maria, en violet clair la trajectoire moyenne calculée à partir des 12 membres de la PE AROME OM. La partie grasse est la portion de trajectoire correspondant à la période d'intérêt de la carte.



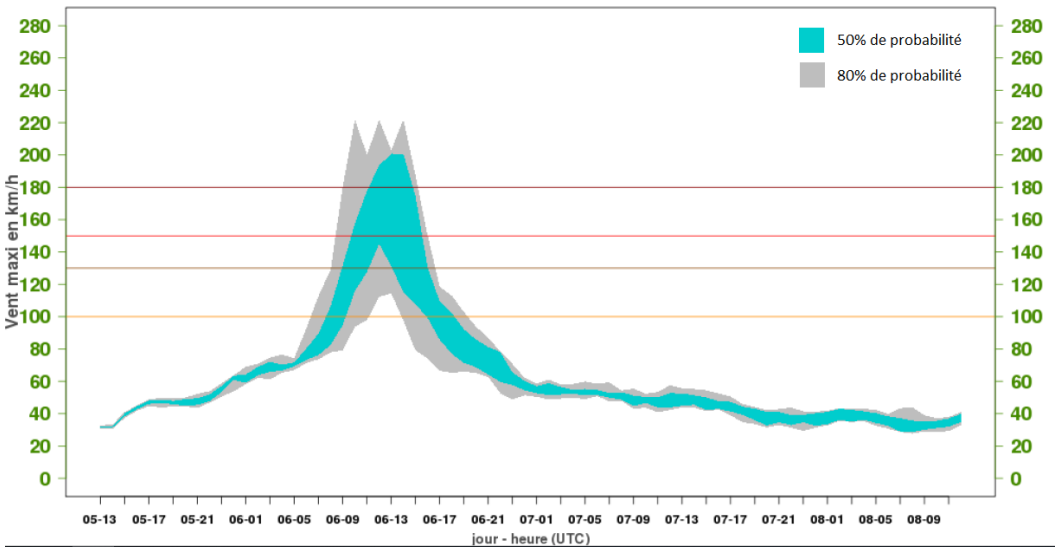
Carte de probabilité des rafales supérieures à 150 km/h de Maria par la PE AROME OM pour le 19/09/2017 de 00h à 12h UTC, échéance 48h.

La figure ci-dessous présente une ***carte de probabilité*** : chaque zone de couleur correspond à la probabilité de dépasser une valeur/seuil de vent donnée. Cette figure présente les cartes des quantiles Q25 et Q75 de cumul de pluie sur 6h. Ces cartes renseignent sur la sévérité potentielle de de l'évènement : il y a 75 % de probabilité de dépasser les cumuls de la carte Q25 et 75 % de se situer sous les cumuls de la carte Q75.
On peut également représenter sous forme de carte le quantile Q50 : le scénario médian de la prévision d'ensemble.



Cartes des quantiles Q25 (à gauche) et Q75 (à droite) de cumuls de pluie en 6h, prévus par la PE AROME OM pour le 20/09/2017 à 12hUTC (échéance 72h)

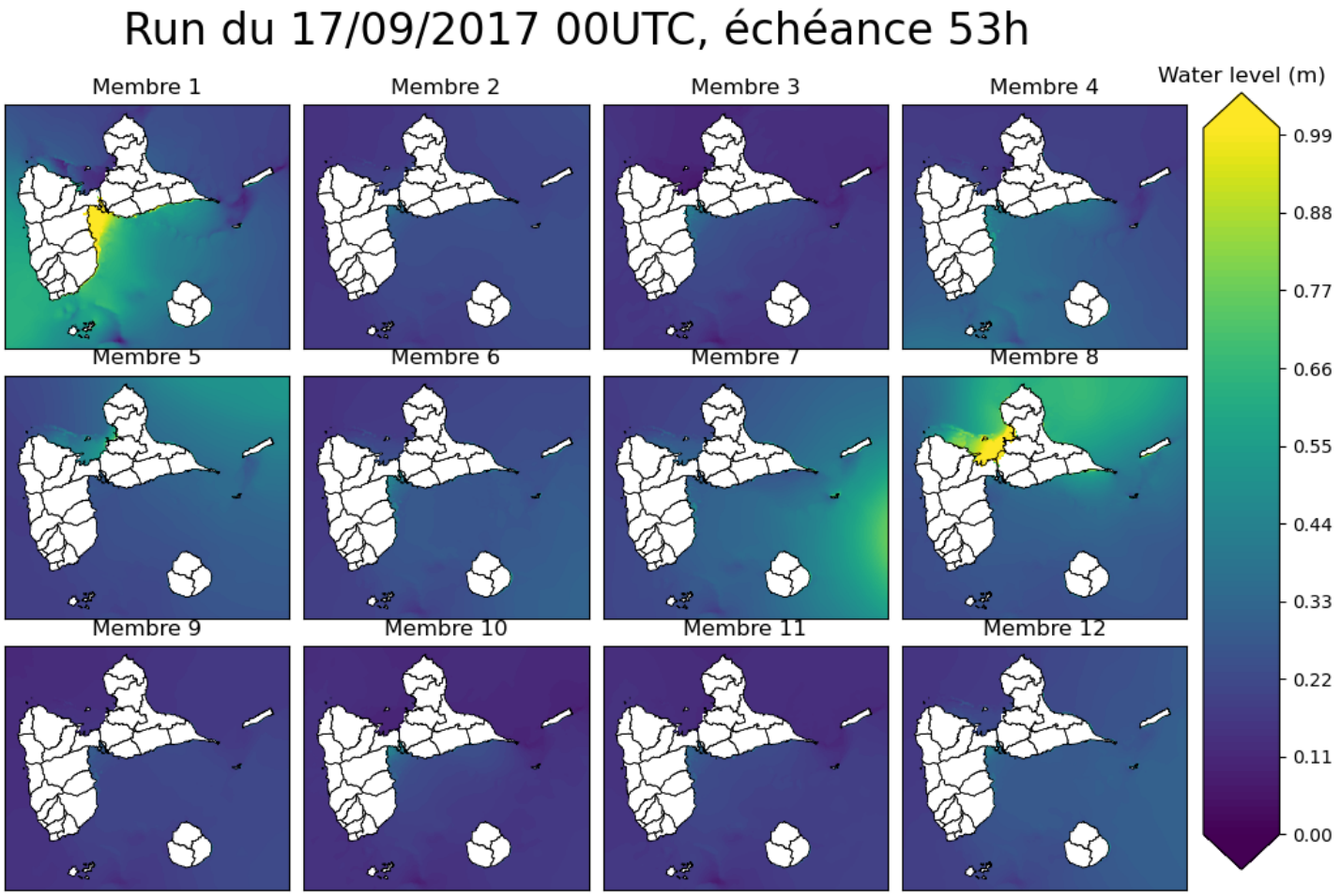
L'information probabiliste peut également se représenter sous la forme de ***séries temporelles*** (cf. figure de droite). En un point donné (ici à Saint-Martin), on représente l'évolution des rafales de vent prévues sur une période de deux jours.



Evolution temporelle des rafales de vent prévues à Saint-Martin lors du cyclone Irma, par la PE AROME OM, réseau du 05/09/2017 à 12hUTC. Il y a 50 % de probabilité d'être dans l'enveloppe bleue et 80 % dans l'enveloppe grise

Enfin, une autre façon de cartographier l'incertitude d'une prévision ensembliste est de s'intéresser aux ***différents scenarii de ses membres***. On peut ainsi représenter un paramètre (ici le niveau d'eau) sous forme de « vignettes » (cf. figure page suivante), chaque vignette correspondant à la prévision d'un membre.

Les prototypes de produits probabilistes sur les pluies et le vent ont été présentés aux gestionnaires de crise des Antilles françaises en juin 2019. Les conclusions de cet atelier indiquent que la cartographie est un support très attendu mais que l'expertise du prévisionniste reste essentielle à la bonne compréhension de l'information.

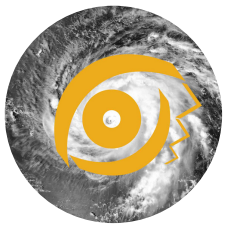


Vignettes des 12 membres issus du modèle couplé SCHISM+WWM forcé par la PEAROME OM, lors du passage de Maria en Guadeloupe. Pour une échéance donnée (ici 53h), les membres de l'ensemble peuvent être très différents.

Les travaux sur les aléas marins ont été réalisés en 2020 et sont à étudier de manière plus prospective car difficiles à mettre en œuvre en temps réel pour l'instant.

Recommandation

Dans le contexte de l'implémentation à venir de la PE AROME OM sur les Antilles, il sera nécessaire de ***former les gestionnaires de crise à l'utilisation de l'information météorologique probabiliste***. Les travaux engagés dans le cadre du projet TIREX en sont un premier aperçu.



Pour aller plus loin

Bousquet, O, Barbary, D, Bielli, S, Kebir, S, Raynaud, L, Malardel, S, & Faure, (2020). An evaluation of tropical cyclone forecast in the Southwest Indian Ocean basin with AROME-Indian Ocean convection-permitting numerical weather predicting system. Atmos Sci Lett. 2020; 21:e950. https://doi.org/10.1002/asl2.950

Bouttier, F., Raynaud, L., Nuissier, O. & Ménétrier, B. (2016). Sensitivity of the AROME ensemble to initial and surface perturbations during HyMeX. Quarterly journal of the Royal Meteorological Society, 142: 390-403. https://doi.org/10.1002/qj.2622

Faure, G., Chambon, P., & Brousseau, P. (2020). Operational Implementation of the AROME Model in the Tropics: Multiscale Validation of Rainfall Forecasts, Weather and Forecasting, 35(2), 691-710.

Raynaud, L. & Bouttier, F. (2016). Comparison of initial perturbation methods for ensemble prediction at convective scale, Quarterly journal of the Royal Meteorological Society, 142, 854-866, DOI : 10.1002/qj.2686.

Hydrodynamique Côtière

Y. Krien, B. Dudon, G. Arnaud, N. Zahibo

Objectifs et Méthodologie

L'objectif est de reconstituer, à l'aide de modèles numériques, les états de mer et les niveaux d'eau extrêmes atteints lors du cyclone IRMA à Saint-Martin et Saint-Barthélemy.

Ce travail a été réalisé grâce à SCHISM-WWM, un modèle état de l'art permettant de tenir compte du couplage entre les courants et les vagues avec une très bonne résolution spatiale (de l'ordre de quelques mètres).

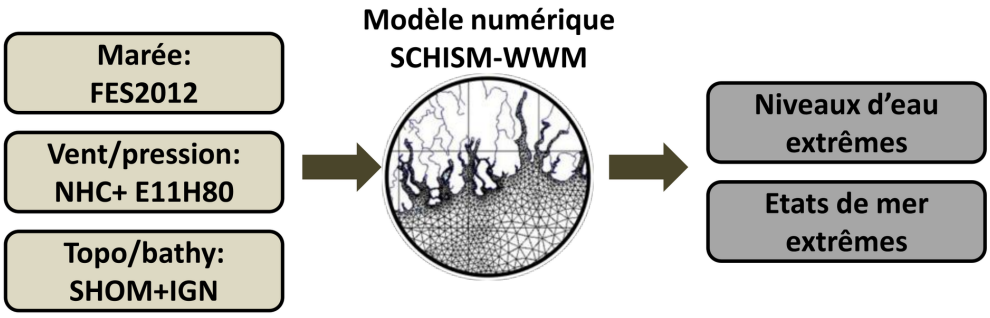
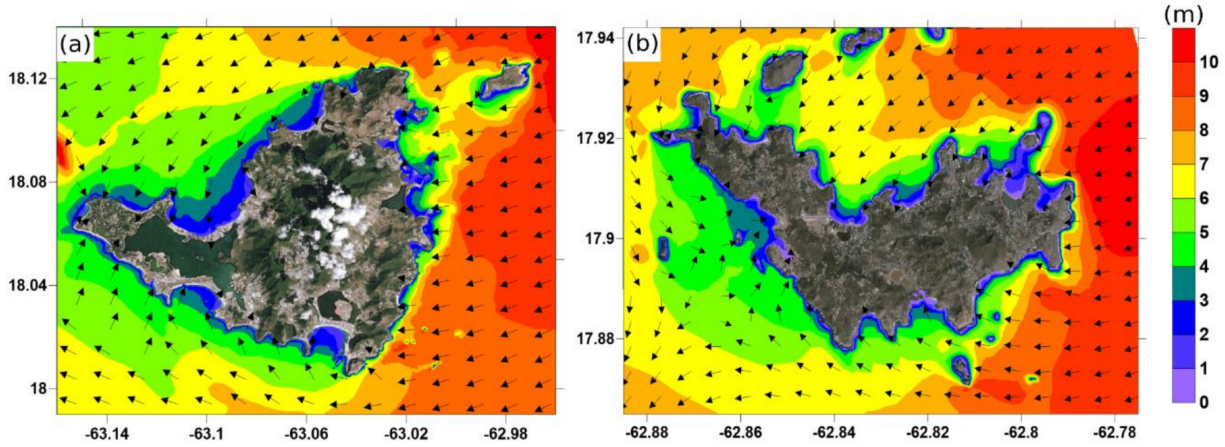


Schéma de la méthode de simulation des conditions hydrodynamiques extrêmes lors du cyclone IRMA sur Saint Martin et Saint-Barthélemy

Ce modèle a été forcé par la solution de marée FES2012 et des champs de vent/pression établis à partir de formules paramétriques améliorées (E11H80, Krien et al., 2018) appliquées à la trajectoire cyclonique reconstituée par le NHC (National Hurricane Center, « Best-Track Data»). Les données bathymétriques et topographiques utilisées ici sont celles qui étaient disponibles début 2020, à savoir : les données du SHOM, celles de la BD TOPO IGN, ainsi que des données globales GEBCO au large. Une campagne bathymétrique a été menée par ailleurs pour acquérir des données complémentaires sur 3 zones d'étude : la baie de Grand Case, la baie Orientale, et l'Anse Toiny. La résolution du modèle numérique varie spatialement. Elle est d'environ 10km au large et descend jusqu'à 50m à la côte et 10m sur les 3 sites mentionnés. Ce travail préliminaire sera repris en 2021 en tenant compte des nouvelles données lidar acquises par le SHOM et l'IGN.

Principaux Résultats

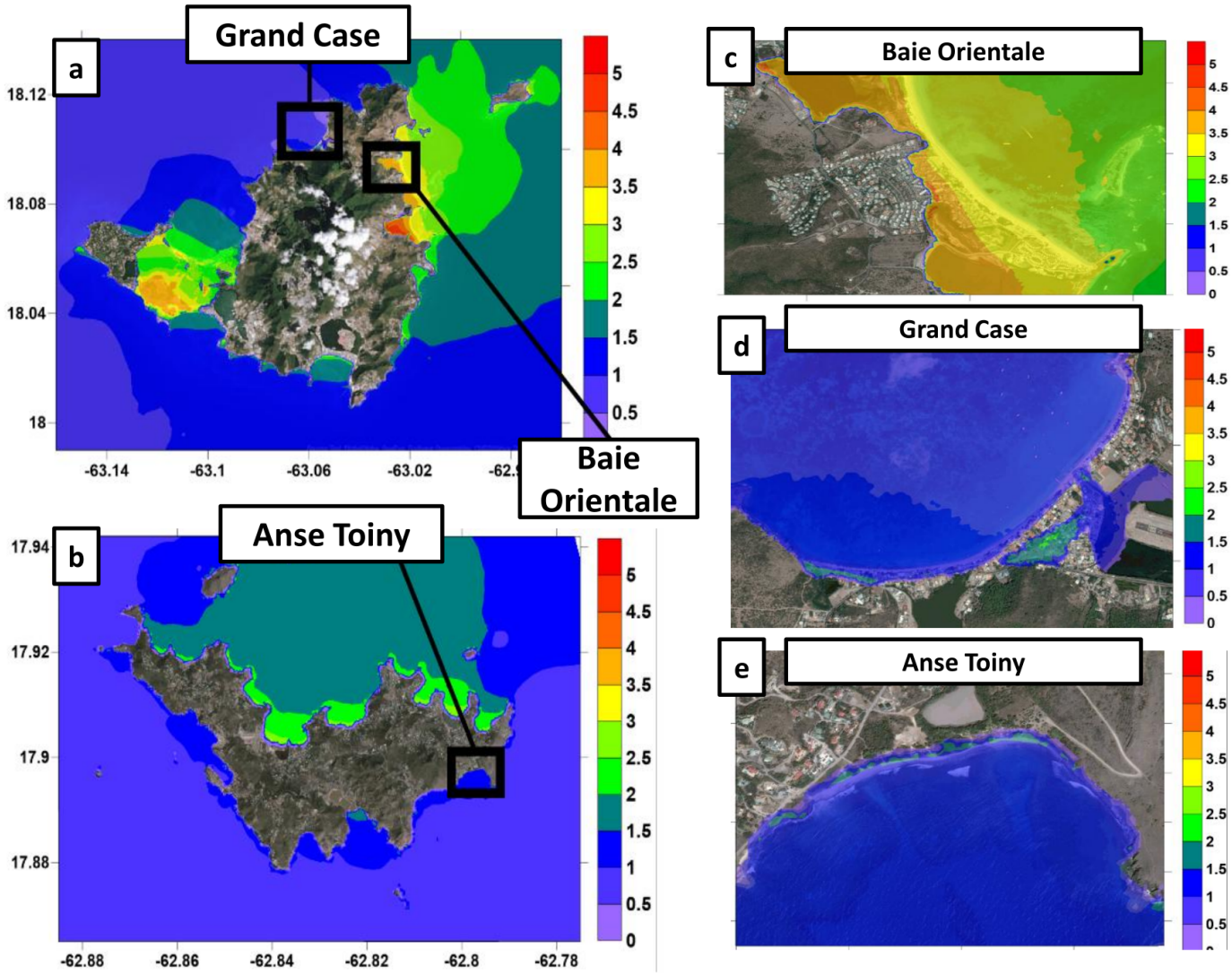
- Les résultats obtenus (Duvat et al., 2018, Pillet et al., 2019, Rey et al., 2019) indiquent que les littoraux exposés à l'Est ont été les plus touchés, avec des hauteurs significatives de vagues ayant dépassé les 10m au large des côtes au vent de Saint-Martin et Saint-Barthélemy (cf. figure ci-dessous). Ce constat est aussi valable pour des petites baies comme celle de Grand Case, dont la partie occidentale a été dévastée par des houles énergétiques, alors que la partie orientale, plus protégée des houles d'Est, a été relativement épargnée.



Hauteurs de vagues significatives maximales et direction moyenne des vagues au pic d'énergie au cours du cyclone IRMA pour Saint-Martin (a) et Saint-Barthélemy (b) (Rey et al., 2019)

Les surcotes ont atteint les 4m au niveau de Baie Orientale et ont même dépassées cette valeur dans le quartier d'Orléans (cf. figure ci-dessous), en raison de la combinaison d'une très faible pression atmosphérique, de vents extrêmement violents, et d'une surcote associée aux vagues. L'inondation est assez bien représentée dans ces zones avec les modèles numériques.

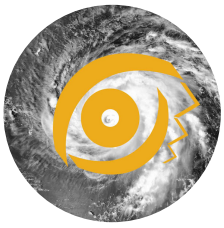
En revanche, les surcotes estimées au niveau de Grand Case et Anse Toiny (de l'ordre de 1-1.5m) par exemple, ne sont pas suffisantes pour reproduire parfaitement l'inondation observée sur le terrain, ce qui suggère que d'autres mécanismes (jet de rive, ondes infragravitaires) y ont joué un rôle non négligeable en termes de submersions marines.



Niveaux d'eau maximum (par rapport au niveau moyen) estimés par le modèle. (a) : Saint-Martin ; (b) : Saint-Barthélemy ; (c) : Baie Orientale ; (d) : Grand Case ; (e) : Anse Toiny. Cette figure est tirée de Rey et al., 2019.

Recommandation

Les données topographiques et bathymétriques disponibles lors de cette étude permettent d'avoir un bon ordre de grandeur des niveaux d'eau extrêmes à la côte et des états de mer. En revanche, elles n'ont pas une résolution/précision suffisantes pour représenter correctement l'inondation à terre dans la plupart des cas. Les ***cartes d'inondation représentées ici sont donc données uniquement à titre indicatif***. Elles n'ont pas pour objet d'être utilisées par les gestionnaires pour la mise en place, par exemple, de PCS, PPR, ou encore PGRI.



Pour aller plus loin

Duvat, V., Pillet, V., Volto, N., Krien, Y., Cécé, R., Bernard, D. (2018). Impacts of September 2017 tropical cyclones on Saint-Martin Island's beaches (Lesser Antilles). Geomorphology, DOI: 10.1016/j.geomorph.2018.09.029.

Krien, Y., Arnaud, G., Cécé, R., Khan, J., Belmadani, A., Bernard, D., Islam, A.K.M.S., Durand, F., Testut, L., Palany, P., Zahibo, N. (2018) Can we improve parametric cyclonic wind fields using recent satellite remote sensing data? Remote Sensing 10 (12), DOI: 10.3390/rs10121963

Pillet, V.; Duvat, V.K.E.; 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 and Coastal Management, 174, 71-91, DOI : 10.1016/j.ocecoaman.2019.03.021

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, MDPI, 2019, DOI :10.3390/jmse7070215

Dommages et inondations après le passage d'un ouragan extrême : Les îles de St Martin, St Barthélemy et la Dominique

T. Rey & S. Battut

Objectifs et Méthodologie

Le retour d'expérience (RETEX) géomorphologique s'intéresse aux effets plurifactoriels et multi sites des ouragans : évolution du littoral (phase érosive vs phase constructive), changements morphologiques, types d'inondation, leur ampleur et extension, les dommages liés à l'action de l'eau (surcote, vagues, inondations).

Le RETEX contribue à créer des données inédites sur les effets de l'ouragan et de questionner la variabilité des réponses d'une île à une autre, d'une cellule côtière à une autre et leur durabilité dans le temps et l'espace.

Les impacts des ouragans sur les littoraux sont rapides et brutaux. Les côtes réagissent différemment en raison de nombreux facteurs, souvent interconnectés, d'exposition et de vulnérabilité biophysiques et sociétales susceptibles d'amplifier les effets de l'ouragan sur les côtes. Par exemple :

- Alors que le recul des côtes est souvent pointé du doigt, n'est-ce pas là un processus d'ajustement, qui en plus, est réversible à moyen et long terme ?
- Sous quelles formes ces processus d'ajustement apparaissent–ils ?
- Par ailleurs, de quelle manière les plages les plus urbanisées se comportent-elles face à des ouragans extrêmes par comparaison aux côtes plus naturelles ?
- Les aménagements côtiers et l'urbanisation du littoral sont-ils responsables d'une aggravation des dommages ?
- Enfin, quel est l'influence des écosystèmes côtiers tels que la mangrove et les récifs coralliens dans l'atténuation des hauteurs de vague et dans la réduction des impacts d'un évènement météo marin extrême ?

Le RETEX géomorphologique tente de répondre à ses interrogations qui sont lourdes d'implication pour les décideurs.

Nous avons conduit des investigations sur les îles de Saint-Martin, Saint-Barthélemy et de la Dominique lesquelles ont été respectivement touchées par un ouragan de catégorie 5 au mois de septembre 2017.

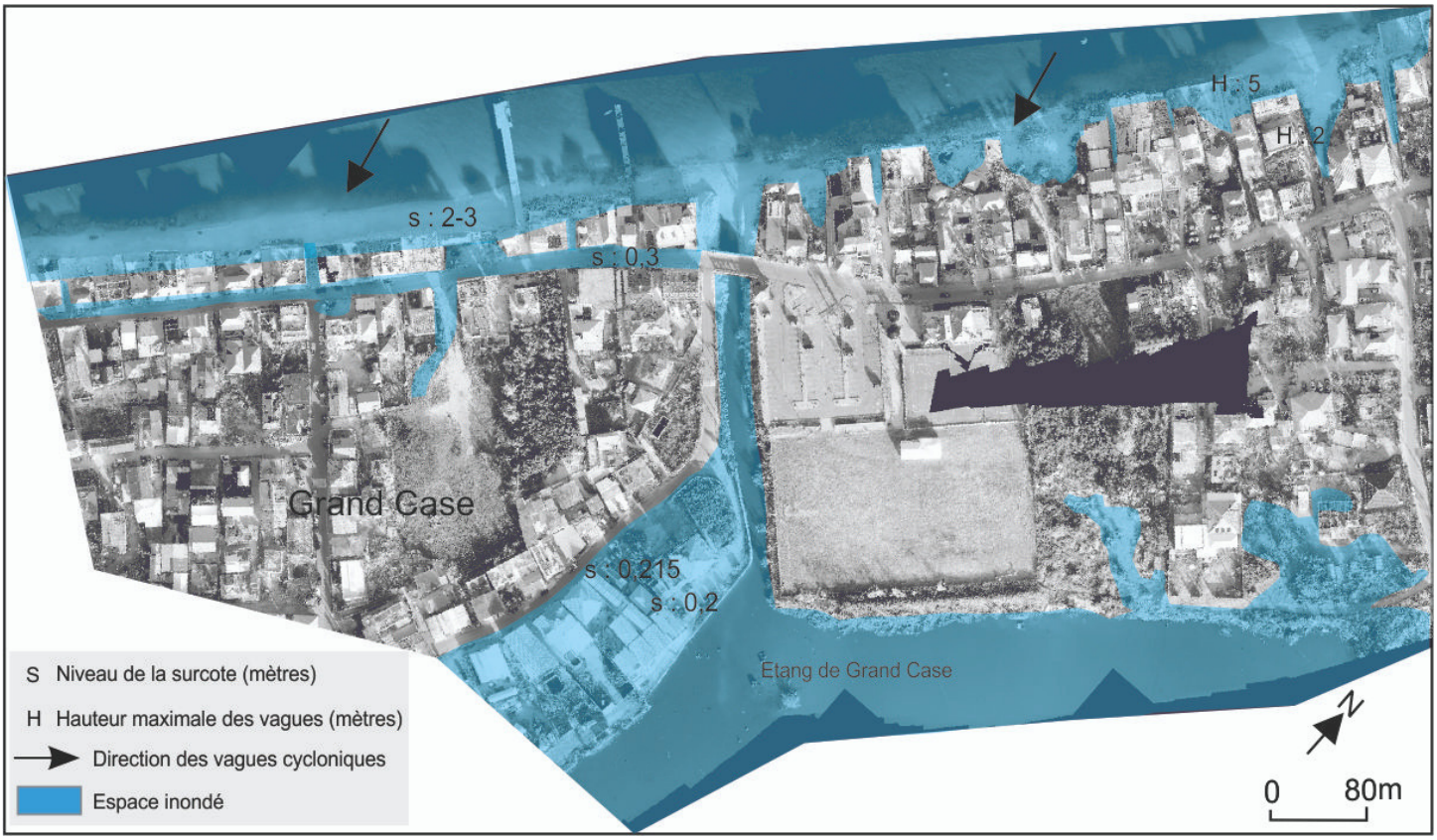
Les méthodes du RETEX géomorphologique reposent sur :

- Une analyse diachronique des côtes pour comprendre le fonctionnement du littoral sur le long terme , au-delà de l'impact ponctuel de l'ouragan : digitalisation des traits de côte au 1/600 (images par drone)
- Une évaluation des niveaux d'eau extrêmes : mesure des hauteurs maximales de jet de rive, délimitation des submersions marines à partir des traces, photo-interprétation, vidéos disponibles
- La qualification des dégâts liés à l'eau : causes et conséquences
- L'analyse de la végétation: type d'espèces (introduites et indigènes) et l'état de dégradation la cartographie des changements côtiers, des inondations et des dommages

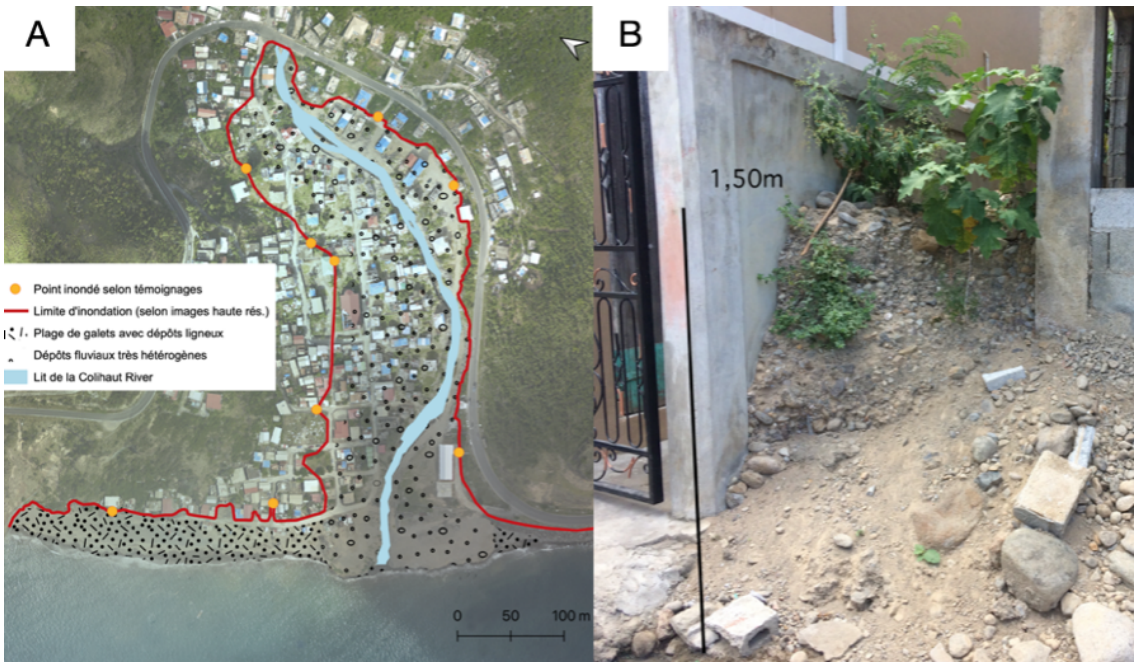
Principaux Résultats

▶ *Inondations polygéniques*

Selon les sites, les inondations ont eu une cinétique complexe, amplifiés par la conjonction de facteurs : submersion marine, débordement des étangs et ruissellement pluvial. Les fronts de mer urbanisés (habitations, murs) ont limité la submersion marine, en revanche l'imperméabilisation des sols a accru les inondations par ruissellement pluvial. Sur l'île de la Dominique, les écoulements fluviaux torrentiels ont amplifié les inondations sur la côte. Rues, impasses, habitations et résidences clôturées ont amplifié les niveaux d'eau, les vitesses d'écoulement et les dégâts.



Inondations polygéniques à Grand Case, Saint Martin (Rey et al., 2019)



Gauche : Conséquences des crues torrentielles causées par le passage de Maria dans le village de Colihaut (Nord-ouest de la Dominique).

A) Enveloppe d'inondation.

B) Accumulation de matériaux fluviatiles (blocs jusqu'à 2m de diamètre) sur les habitations et atteignant jusqu'à 2,50m de hauteur (Battut, 2019).

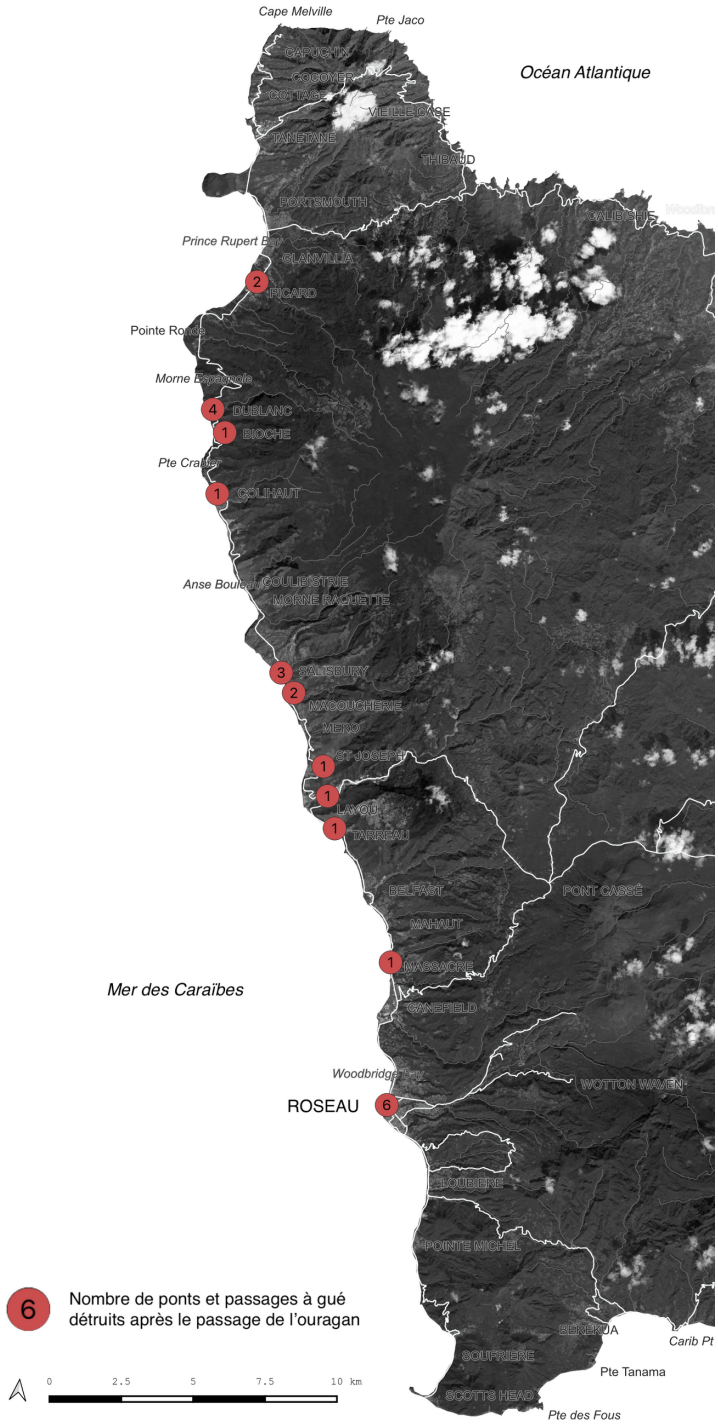
Dommages

Projection de matériaux, choc mécanique des vagues ont provoqué des dégâts extrêmement importants aux infrastructures, tels que la mise à nue de fondation, l'effondrement de murs et de maisons, façades « mitraillés » par des blocs, baies vitrées brisées, ensablement et inondation de l'intérieur des habitations.

Habitation détruite par une crue diluvienne lors du passage de l'ouragan Maria à Berekua, Dominique (Battut, 2019)

À la Dominique spécifiquement en raison de l'importante végétalisation de l'île, la mobilisation par la houle cyclonique des débris organiques (troncs et souches d'arbres) évacués en mer par les crues ont amplifié les dommages aux aménagements du front de mer.

Méga blocs et sables déposés dans les habitations (Saint-Martin, Rey et al., 2020)



Recensement des dommages aux ponts et passages à gués suite au passage de l'ouragan Maria sur la côte occidentale de la Dominique (Battut, 2019).

Digues et enrochements transversaux et longitudinaux de protection n'ont pas protégé les plages. Leur dislocation et transport par les vagues a augmenté les dommages pour les infrastructures directement situées en arrière (routes, habitations, ...).

Sur l'île de la Dominique, les cours d'eau en crue et les glissements de terrain (plus de 10 000) ont provoqué la destruction de nombreux ponts et routes littorales, coupant les communications entre les communes jusqu'à plusieurs semaines après l'évènement. Six ponts majeurs ont été complètement détruits.

Surcote cyclonique et vagues

Exposition accrue des côtes orientales de Saint-Martin et des côtes septentrionales de Saint-Barthélemy.
Surcote cyclonique à plus de 3 m soit plus d'un mètre par rapport aux données marégraphiques.

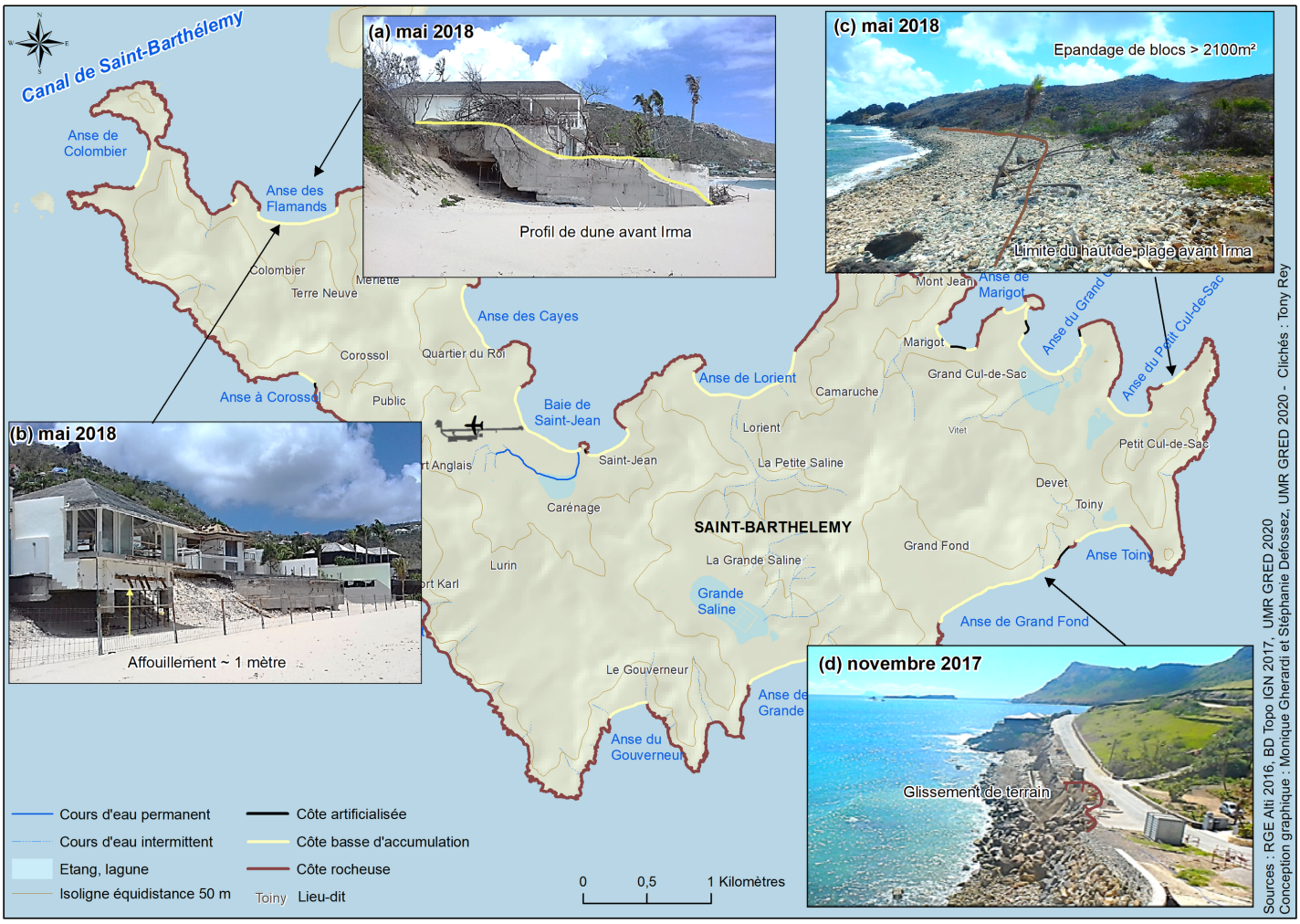
Le déferlement des vagues sur les fronts de mer densément urbanisés a participé à l'amplification des hauteurs de vagues (>6 mètres) et des dommages associés.

La surcote et les hauteurs maximales de vagues ont été moins importantes à la Dominique, ne dépassant pas les 4 mètres.

Extension maximale de la submersion marine dans les points bas du littoral, sans grands obstacles topographiques.

Les vagues puissantes ont déplacé des dalles de plus de 240 kg à plus de 35 m du rivage et des enrochements de plus d'une tonne à plus de 10 mètres du rivage.

La largeur et la densité de la mangrove n'étaient pas suffisantes pour avoir un effet sur l'atténuation de l'énergie des vagues, en revanche, la végétation a eu un rôle de filtre sur les blocs et les déchets.



Exemples d'impacts de l'ouragan Irma à Saint Barthélemy (Defossez et al., à paraître)

Changements côtiers

Les plages urbanisées, comprimées par, d'un côté la pression urbaine, et de l'autre la mer, n'ont pas pu s'ajuster aux processus météo-marins.

L'exiguïté ou l'inexistence d'une zone tampon du système plage-dune a conduit à une érosion latérale et verticale sévère de la plage.

L'ablation a pris diverses formes telles que la formation de falaises dunaires, le dégagement et démantèlement des dalles de beachrock. Dans le cas des fronts urbains quasi-continus, la ligne du rivage n'a pas évolué car fixé par les bâtiments. En revanche, la ligne de jet de rive a avancé vers le haut de plage, réduisant la surface et le volume de la plage.

Les plages marquées par une érosion préexistante au passage de l'ouragan ont plus de difficulté à récupérer. Les plages stables ou en engraissement récupèrent plus rapidement.

Sur les plages supérieures à 20 mètres de large et sur les côtes peu artificialisées, nous avons observé des transferts de sédiments vers l'arrière plage. Ce processus d'ajustement naturel de la côte a pris la forme de washover pour les côtes sableuses et d'épandages de blocs coralliens pour les plages à blocs et galets.

Sur l'île de la Dominique, les nombreux cours d'eau en crue lors du passage de Maria ont participé à l'engraissement des plages et à la formation de delta de crue.

▶ *Influence des écosystèmes côtiers à Saint-Martin et Saint-Barthélemy*

Les espèces indigènes ont mieux résisté tels que Coccoloba uvifera (le raisinier bord de mer) et certains palétuviers comme Laguncularia racemosa et Conocarpus erectus contrairement à Avicennia germinans et Rhizophora mangle qui accusent un fort taux de mortalité (Conservatoire, 2018). Les espèces les plus résistantes ont bloqué les débris (tôles, bois...) et filtré les matériaux biodétritiques réduisant ainsi les dommages.

Les récifs coralliens ont réduit les hauteurs de vague à la côte.

Recommandations générales sur la gestion du trait de côte

Appliquer les réglementations (loi littoral, 50 pas géométriques, PPRi) et ***adapter les constructions*** aux aléas de référence.

Interdire les constructions immédiatement en arrière des enrochements (Digues, brise-lames, épis), et toutes les formes de protection individuelle souvent mal conçues, inadaptées et contre-productives.

Améliorer la gouvernance entre les acteurs et définir en concertation les grandes orientations de développement du littoral.

Promouvoir la co-construction de stratégies de gestion du littoral pour éviter les blocages et les conflits.

Intégrer un ***comité scientifique dans les projets d'aménagements des littoraux*** et dans les stratégies de réduction des risques côtiers.

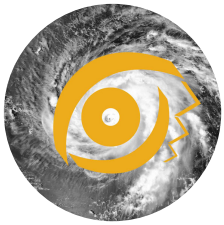
Adapter la solution de gestion du littoral à l'échelle de la cellule littorale et l'inscrire dans une dynamique temporelle (les actions ont une durée de vie limitée dans un système littoral changeant)

Adapter les méthodes (douces et lourdes) selon les enjeux exposés aux risques : avantages et inconvénients

Faire un ***suivi du littoral à long terme*** pour mesurer l'efficacité des méthodes et identifier la variabilité et les tendances d'évolution du littoral.

Faire l'étude systématique des 4 options de gestion

- ***Option 1 :*** suivre l'évolution naturelle là où les enjeux ne justifient pas une action de gestion du littoral
- ***Option 2*** : intervenir de façon limitée en accompagnant les processus naturels de mobilité du littoral
- ***Option 3 :*** organiser le repli stratégique (relocalisation) derrière une nouvelle ligne de défense, naturelle ou aménagée
- ***Option 4 :*** maintenir le rivage en conservant, en modifiant ou en réalisant des ouvrages de défense côtière pour les enjeux importants



Pour aller plus loin

Conservatoire du Littoral, 2018. Analyse et diagnostic écologique post-cyclone Irma 2017 à Saint-Martin. Rapport final, Juillet 2018. In Harteman M. Nature et développement. 93 p.

Defossez S., Rey T., Leone F., Gherardi M., Vinet F., Peroche M., Lagahe E., Cécé R., Bernard D. 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), Cahiers d'Outre-Mer, soumis.

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010. La gestion du trait de côte. Editions Quae, collection Savoir-faire.

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], 51 | 2020, DOI : https://doi.org/10.4000/echogeo.18666

Rey T., Leone F., Candela T., Belmadani A., Palany P., Krien Y., Cécé R. et al. 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, 215. doi:10.3390/jmse7070215

Les dommages assurés Cat'Nat'

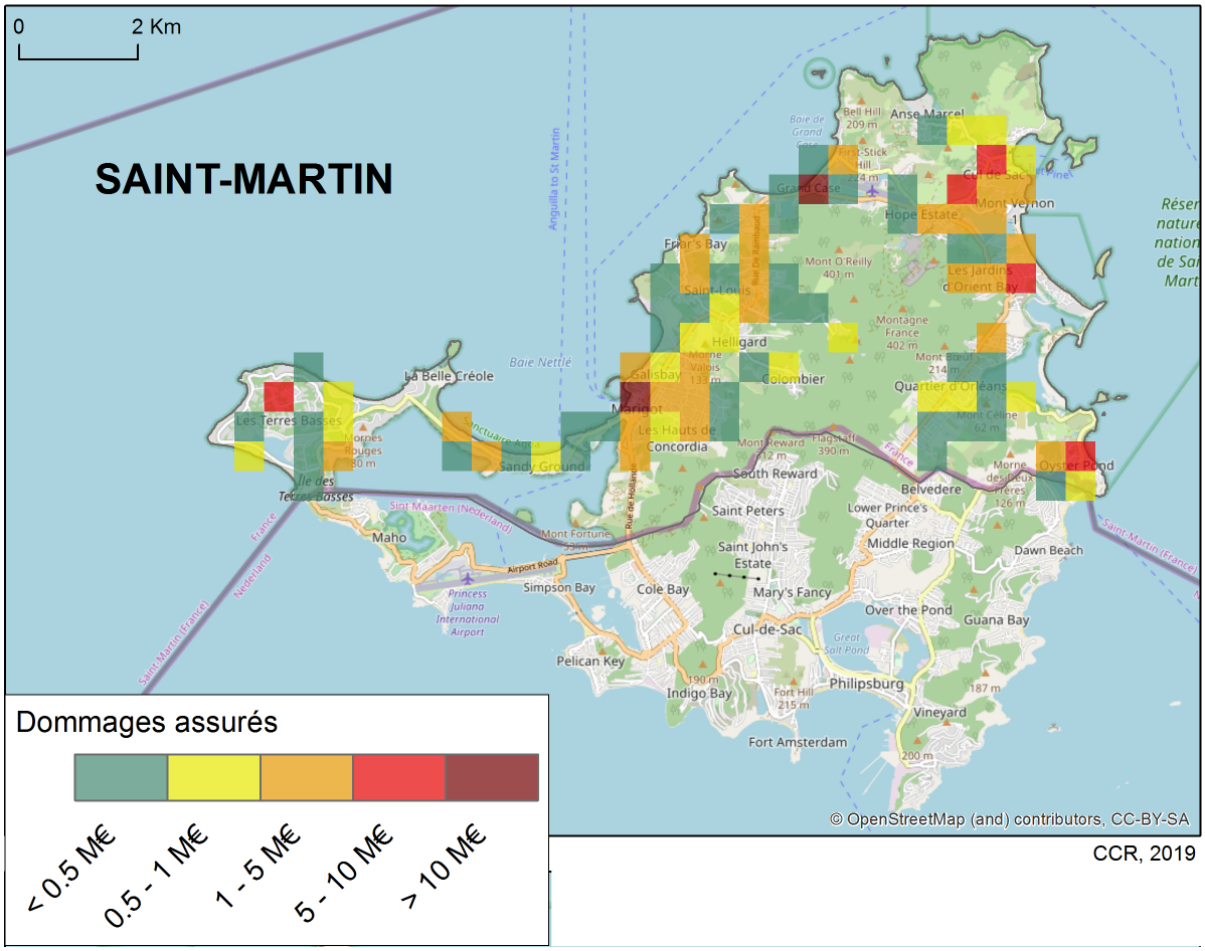
J. Desarthe

Objectifs et Méthodologie

Par son rôle au sein du système d'indemnisation des catastrophes naturelles, la Caisse centrale de réassurance dispose d'informations relatives aux dommages assurés. Au total, le montant des indemnisations au titre du régime Cat Nat pour l'ouragan Irma s'élève à 2 Md€.

Ces données disponibles pour les évènements majeurs qui ont fait l'objet d'une reconnaissance Cat Nat sont retraitées et géoréférencées par la CCR. Il est alors possible de proposer une répartition spatiale des dommages assurés. En raison du caractère confidentiel de ces données, seule une restitution sous la forme d'un carroyage avec une maille de 500 m est possible.

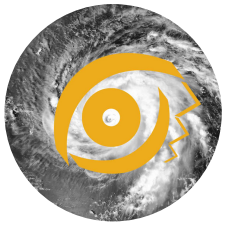
Principaux Résultats



Cartographie des dommages assurés Cat Nat

Cette cartographie représente la répartition des dommages assurés sur l'île de Saint-Martin.

En raison du taux de pénétration dans ce territoire, cette cartographie ne propose pas une reconstitution exhaustive des dommages subis par le territoire saint-martinois par le passage d'Irma.



Pour aller plus loin

Desarthe J., Bauduceau N., Quantin A. (2020), « Les défis soulevés par la reconstruction post-Irma », Annales des Mines, n°98, p. 36-40

CLASSEUR #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 retour institutionnel qui apporte une vision *top-down* des verrous et leviers d'actions pour mettre en œuvre une reconstruction moins vulnérable et plus résiliente est mis en regard de la perception par les habitants donnant une vision *bottom-up* de la sphère organisationnelle.

© Moatty, 2018

Pour accéder aux onglets Crise et Reconstruction sur le site :
HTTPS://TIREX.UNIV-MONTP3.FR/4-CRISE.HTML
HTTPS://TIREX.UNIV-MONTP3.FR/5-RELEVEMENT.HTML

Cartographier un territoire cycloné

T. Candela, F. Leone, M. Peroche, M. Robustelli

Objectifs et Méthodologie

Lors de la saison cyclonique de 2017, l'ouragan Irma a provoqué d'importants dommages sur plusieurs territoires de la Caraïbe. Tout comme de nombreuses catastrophes depuis près de vingt ans, les conséquences de cet événement ont été cartographiées par plusieurs services de cartographie rapide internationaux. Ces types de produits s'appuient sur l'imagerie satellitaire à très haute résolution afin d'identifier les dommages aux infrastructures, les pertes d'accessibilités et les zones de regroupement des sinistrés. Ces données gratuites sont utiles aux gestionnaires de crises et opérateurs afin d'optimiser la coordination des opérations de terrain très peu de temps après la survenue d'une catastrophe (Stevens, 2008).

Les îles de Saint-Martin et Saint-Barthélemy, particulièrement touchées par le cyclone dans la nuit du 6 au 7 septembre, ont ainsi bénéficié d'un suivi des dommages sur la période du 9 au 21 septembre. Cependant, d'après les entretiens menés auprès d'acteurs locaux et régionaux de la gestion de crise par les membres de l'équipe TIREX, il semble que ces cartes n'aient pas eu d'applications opérationnelles. Parmi les hypothèses qui peuvent expliquer ce manque d'utilisation : l'incertitude liée aux méthodes d'acquisition ou encore les problématiques de diversité et l'efficacité des modes de représentations cartographiques déjà soulevées à la suite du séisme de Haïti en 2010 (Kerle & Hoffman, 2013).

De plus, si ces cartes sont distribuées en priorité aux nombreux acteurs impliqués dans la gestion de crise (Stevens, 2008), d'autres acteurs, publics ou privés, sont amenés à intégrer ces données dans leurs stratégies et plans d'action (Battiston et al., 2019). Dès lors, il est essentiel de favoriser une compréhension identique des informations quantitatives (nombre de bâtiments endommagés) et qualitatives (niveau d'endommagement).
Il s'agit d'une part de pallier la diversité des modes de représentation existants et d'autre part de promouvoir un langage commun entre les différents acteurs lors des processus de gestion de crise, et ceci, quelles que soient les échelles de travail.

Partant de ce constat, nous avons mobilisé les données fournies par le service Copernicus EMS (EMS232, 2017) afin de développer un outil de transfert des connaissances adapté à une plus grande variété d'utilisateurs. Un prototype cartographique a été proposé à partir de Systèmes d'Information Géographique (SIG). Il est construit sur la base d'une grille régulière dont l'emprise spatiale est délimitée par la limite administrative de Saint-Martin. Chaque cellule de la grille a été utilisée pour récupérer l'information sur le nombre de bâtiments et les dommages évalués par Copernicus EMS.

Ces informations ont ensuite été transformées sous la forme d'un semi de points réguliers dont la position a été définie à partir du centre des cellules contenues dans la grille. À partir de ces points, il a été possible d'appliquer plusieurs choix sémiologiques afin de représenter les informations quantitatives et qualitatives. La variation de taille des points a été utilisée afin d'illustrer de manière proportionnelle la quantité de bâtiments endommagés. Tandis que la variation de couleur a été employée pour indiquer la moyenne des dommages par exemple.

Ce prototype qui prend la forme finale d'un « semi-régulier de points proportionnels » a ensuite été testé et confronté aux modes de représentations déjà existants lors de plusieurs phases d'expérimentation menées auprès d'utilisateurs variés.

Principaux Résultats

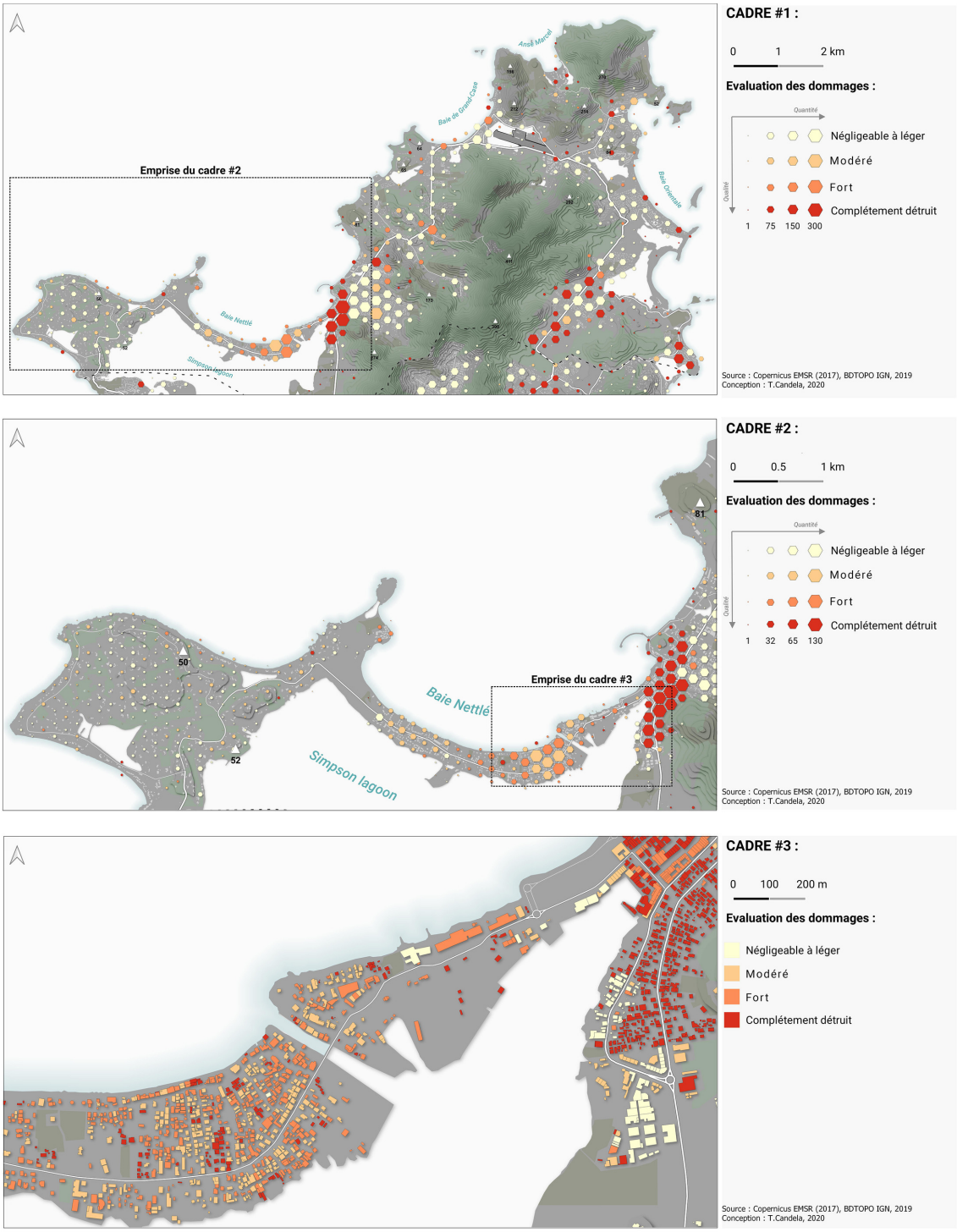
▶ *Cartographie multiscalaire des dommages*

À partir de cette méthode, nous pouvons jouer sur les échelles de représentation cartographique. Ce processus offre une vision globale des dommages dont la méthode de calcul permet la montée ou la descente d'échelle selon les besoins de l'utilisateur.

Comme nous pouvons voir sur la figure ci-dessous, l'évaluation des dommages réalisée à l'échelle du bâti par Copernicus peut être visualisée à plus petites échelles. Dans le cadre #1, le semi-régulier de points proportionnels répond aux besoins de connaitre les secteurs les plus touchées de l'île, mais également les moins touchées. Les premiers secteurs sont les espaces à risque où les interventions et les opérations de terrain doivent être priorisées. Les seconds secteurs, les espaces ressources qui disposent de moyens opérationnels, ou dans lesquels ils peuvent être installés.

Plus on augmente l'échelle cartographique (***cadre #2***) et plus la visualisation gagne en précision, tout en assurant l'emboitement des différents niveaux de visualisation.

Sur le ***cadre #3***, la simplification visuelle des données n'est plus nécessaire et les dommages sont affichés à l'échelle du bâtiment. Cette visualisation est particulièrement utile pour les opérations de terrain.



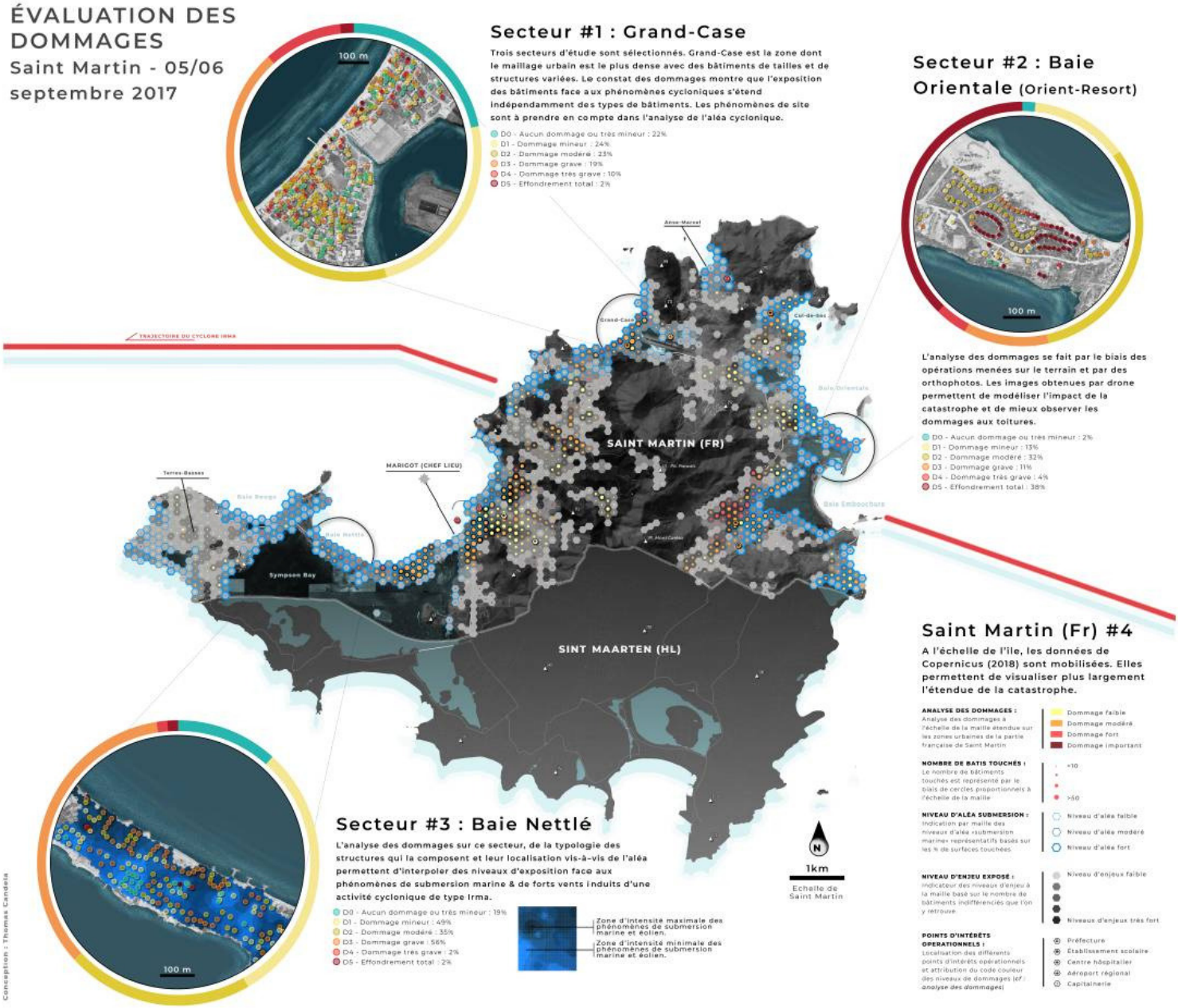
Cartographie multiscalaire des dommages

Nous voyons ainsi que malgré le lissage statistique des données, la méthode du semi-régulier de points proportionnels à l'avantage de préserver la dynamique des dommages causés par le cyclone (dans les limites de l'évaluation de Copernicus).

Cartographie intégrée des dommages

Cette méthode permet également d'élaborer des indicateurs spatio-temporels stables auxquels il est possible de rajouter d'autres éléments que les dommages. Cela peut-être par exemple, des indicateurs socio-économiques, de pillage, etc.

Dans la figure ci-dessous, les dommages à Saint-Martin sont illustrés à partir des données Copernicus de 2018, dernière évaluation des dommages en date. Ils sont représentés par un semi-régulier de points proportionnels. Le maillage ayant servi à l'extraction des dommages est également utilisé pour visualiser le niveau d'enjeu exposé et le niveau d'aléa de submersion. Les enjeux exposés sont définis par différents niveaux de gris qui colorisent la surface des cellules qui composent la grille tandis que l'aléa est représenté par l'épaississement des contours des cellules qui recensent des zones submergées. Cette figure illustre également les niveaux d'endommagement que l'on retrouve sur les trois secteurs d'étude du projet ANR TIREX : Grand-Case, Baie Orientale et Baie Nettlé.

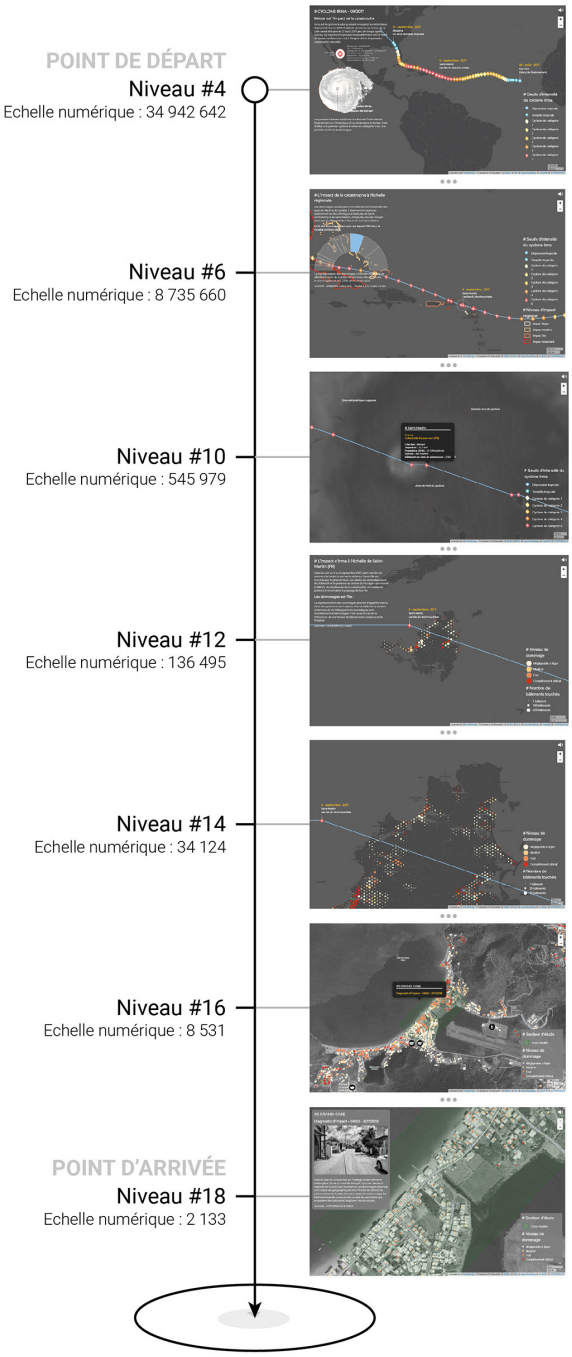


Cartographie multiscalaire des dommages

Cette figure est consultable en ligne via le lien suivant : https://tirex.univ-montp3.fr/3-historique.html

Cartographie interactive et sensorielle des conséquences d'une catastrophe

À l'heure actuelle les technologies numériques, permettent de redéfinir l'usage de la cartographie. Les SIG se joignent alors aux possibilités du web pour offrir de nouvelles perspectives à la carte statique traditionnelle. La carte dynamique offre de nombreuses possibilités de géovisualisation et d'interactions aux utilisateurs.
Ils peuvent naviguer au sein des données et interagir avec différents éléments sélectionnables. Les informations sont traitées et organisées en fonction des seuils de zooms afin d'en faciliter la lecture. La figure ci-dessous illustre les différentes étapes de la navigation sur la carte interactive. L'utilisateur débute son exploration par la trajectoire du cyclone et arrive progressivement aux dommages sur l'île de Saint-Martin.



CONTEXTE SUR L'ALEA ET SON IMPACT

Mise en place d'un contexte de l'aléa dès l'ouverture de la carte

Phase #1 :
- Genèse et fin du cyclone Irma
- Caractéristique de l'événement (puissance, dimension, etc.)
- Information sur les seuils d'intensité du cyclone Irma

Mise en place d'un contexte de l'impact à l'échelle régionale

Phase #2 :
- Information sur les seuils d'intensité du cyclone Irma
- Niveau de dommage à l'échelle régionale
- Coûts des dommages des cyclones depuis 1990 (Millards de $)

Mise en place d'un contexte sur le secteur d'étude

Phase #3 :
- Information sur les seuils d'intensité du cyclone Irma
- Information sur le secteur d'étude (île de Saint-Martin, partie française)

CONTEXTE SUR L'ENDOMMAGEMENT A SAINT-MARTIN (FR)

Analyse multiscalaire des dommages à partir des données Copernicus (EMSN-049, 2018)

Phase #4 :
- Représentation synoptique à l'échelle de l'île (partie française)

Phase #5 :
- Représentation descendante par emboitement de mailles successives (du niveau 12 à 15)

Phase #3 :
- Représentation ponctuelle des dommages à l'échelle du bâti (du niveau 16 à 18)
- Information sur le niveau de dommages des infrastructures critiques et sensibles
- Présentation des secteurs d'étude du projet TIREX pour l'évaluation des dommages et le suivi de la reconstruction

Cartographie dynamique des dommages causés par le cyclone Irma, le cas de Saint-Martin
Ce prototype de cartographie web est visualisable sur : https://worldismap.com/dommages-irma/

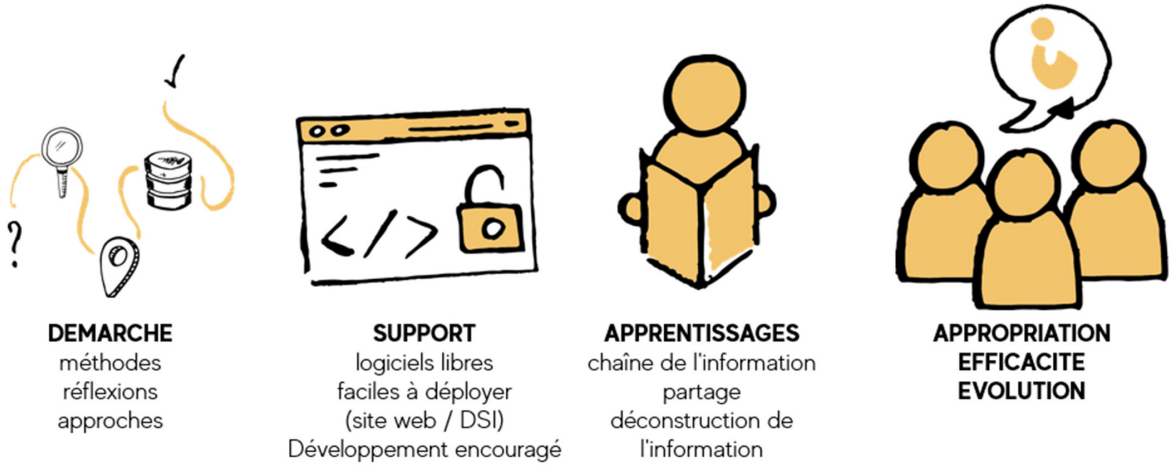
Par ailleurs, les méthodes visuelles peuvent être enrichies d'interactions sonores. Ces dernières sont créées au moyen d'enregistrements audios de témoignages, de bruits ambiants ou encore de reconstitutions. Ces dernières sont par exemple utilisées pour écouter les différents gradients de dommage.
Les sons s'intensifient en intégrant des bruits d'endommagement progressifs. Tous ces sons permettent de restituer des ambiances venant enrichir l'interaction de l'utilisateur avec un territoire. Ce prototype, développé sous SIG, a été porté sous Leaflet afin de profiter des possibilités du web et fournir une nouvelle expérience à l'utilisateur. L'objet de cette démarche est d'élargir les capacités d'utilisation de la carte traditionnelle à la géovisualisation, tout en permettant à l'utilisateur de naviguer au sein des données. En outre, le format est pensé pour être « responsive » et ainsi s'adapter à la fois aux écrans d'ordinateur et aux appareils mobiles.

▶ *Améliorer l'intégration des évaluations post-catastrophes dans les dispositifs locaux*

Malgré les incertitudes, ces données sont particulièrement adaptées à la reconstitution des spatio-temporelles des dommages. Elles se montrent particulièrement utiles pour des événements de grande ampleur, où les zones sont étendues et peuvent également toucher plusieurs territoires. Une fois la crise terminée, ces données alimentent les retours d'expérience permettant d'optimiser la gestion des crises futures. Ainsi, l'intérêt de développer une méthode sémiologiquement efficace répond à plusieurs besoins. Le premier est la nécessité d'adopter un langage commun entre les différents acteurs impliqués dans la gestion de crise. Le second concerne l'intégration de ces produits auprès des décideurs locaux et de leur stratégie de gestion des risques et des crises. En outre, la construction de telle carte doit tenir compte des besoins des utilisateurs en amont, mais également des retours d'expériences concernant leur utilisation en aval. Les expériences menées dans le cadre du développement de notre prototype démontrent tout l'intérêt de telles démarches, sans quoi, ces productions sont vouées à être délaissées, et ceci malgré leur grande utilité.

▶ *Expérimenter l'information préventive*

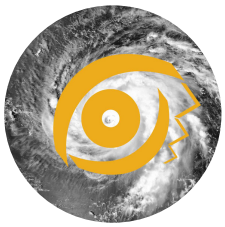
En dehors des processus de gestion de crise, l'utilité d'une telle réflexion s'intègre dans la valorisation et la capitalisation des données acquises par l'imagerie satellite, aéroportée, les diagnostics ou encore les enquêtes de terrain et les témoignages. La cartographie interactive permet l'intégration de ces données à des fins de sensibilisation en promouvant des supports facilement déployables et partageables sur internet.
Par ailleurs, les méthodes visuelles peuvent être enrichies d'interactions sonores. Ces dernières sont créées au moyen d'enregistrements audios de témoignages, de bruits ambiants ou encore de reconstitutions. Ces dernières sont par exemple utilisées pour écouter les différents gradients de dommage.
Les sons s'intensifient en intégrant des bruits d'endommagement progressifs. Tous ces sons permettent de restituer des ambiances venant enrichir l'interaction de l'utilisateur avec un territoire.
Ce prototype, développé sous SIG, a été porté sous Leaflet afin de profiter des possibilités du web et fournir une nouvelle expérience à l'utilisateur. L'objet de cette démarche est d'élargir les capacités d'utilisation de la carte traditionnelle à la géovisualisation, tout en permettant à l'utilisateur de naviguer au sein des données.
En outre, le format est pensé pour être « responsive » et ainsi s'adapter à la fois aux écrans d'ordinateur et aux appareils mobiles.



Transfert des connaissances pour l'information préventive

Mais elle permet également d'entrevoir la co-construction de l'information préventive. Les enquêtes menées sur Saint-Martin après l'ouragan Irma démontrent que la population est un maillon essentiel de la réduction des conséquences de la catastrophe et de la capacité de redressement des territoires (Defossez & Gherardi, 2020).

En traduisant les savoirs et les bonnes pratiques vernaculaires sous la forme d'information géographique dynamique et en les croisant avec les dispositifs de sauvegarde mis en place par les autorités locales (plan d'évacuation, site refuge, etc.), l'information préventive peut s'orienter vers de nouvelles perspectives d'apprentissage.



Pour aller plus loin

Battiston, S., Clandillon, S., Faivre, R., Tinel, C., & Wania, A. (2019). L'utilisation des services cartographiques numériques d'urgence par satellite à des fins de sécurité intérieure. Annales des Mines - Responsabilité et environnement, 94(2), 66-73. Cairn.info.

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.

Kerle, N., & Hoffman, R. R. (2013). Collaborative damage mapping for emergency response: The role of Cognitive Systems Engineering. Natural Hazards and Earth System Sciences, 13(1), 97-113. https://doi.org/10.5194/nhess-13-97-2013

Stevens, D. (2008). Increasing the Use of Geospatial Technologies for Emergency Response and Disaster Rehabilitation in Developing Countries. In S. Nayak & S. Zlatanova (Éds.), Remote Sensing and GIS Technologies for Monitoring and Prediction of Disasters (p. 57-71). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-79259-8_4

Cartographie des dommages, des pillages et de la reconstruction

F. Leone, A. Arnould, T. Candela

Objectifs et Méthodologie

L'œil d'Irma est passé sur les îles françaises du Nord dans la nuit du 5 au 6 septembre 2017. À Saint-Martin, les vents moyens ont soufflé à plus de 290-295 km/h et une rafale a été enregistrée à 317 km/h (Météo France). Selon les données du marégraphe de Marigot, la surcote marine a été estimée à de 2,8 m (Rey et al., 2020).
À l'approche du rivage, les vagues ont gonflé et déferlé avec violence. Vents et vagues ont causé des dommages considérables aux habitations et 95 % des structures de Saint-Martin ont été endommagées ou détruites (Gustin, 2017). Onze personnes y ont perdu la vie, plus quatre dans la partie néerlandaise à Sint Maarten. Aucun décès n'a cependant été constaté à Saint-Barthélemy.

Partant de ce constat, nous avons mobilisé les données satellitaires fournies gratuitement par le service européen Copernicus pour évaluer et cartographier les dommages les plus significatifs, et pour suivre le processus de reconstruction.
Les données du programme « Copernicus EMS Risk & Recovery Mapping » (Copernicus, 2018), permettent de suivre l'effort de reconstruction du bâti entre mars 2018 et juillet 2019, à un pas de temps variable de 1 à 4 mois.

Ces données brutes issues de la photo-interprétation d'images satellitaires de haute résolution Pléiades ont été commandées par le gouvernement français et ont été mises à disposition gratuitement. Malgré les incertitudes liées à d'éventuelles couvertures nuageuses et aux techniques de photo-interprétation, leur qualité nous a semblé suffisante et adaptée à une reconstitution spatiale et temporelle de la dynamique de reconstruction des bâtiments les plus fortement endommagés, c'est-à-dire les plus facilement identifiables sur les images satellitaires.

Ces données ont été complétées par des enquêtes de terrain, pour évaluer la reprise des activités et cartographier les pillages survenus durant et juste après le passage d'Irma. Elles ont été recueillies sur le terrain en mars 2018 et mars 2019, avec pour principal objectif, d'obtenir la durée de fermeture (en jours)
et la connaissance de pillages ou de tentatives de pillages.

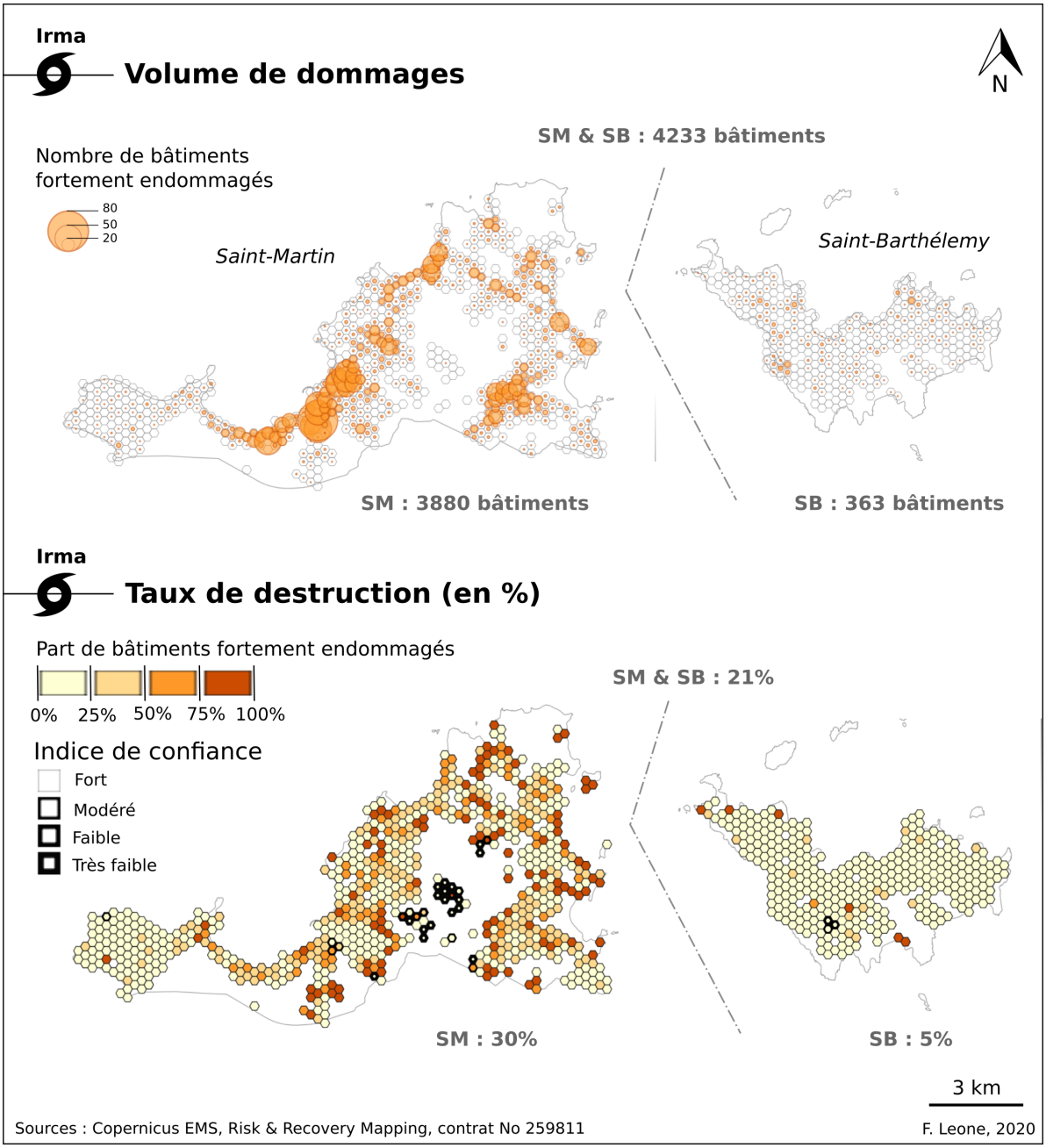
Les activités recensées (143 lieux à Saint-Barthélemy, 166 à Saint-Martin) recouvrent 10 classes de la nomenclature NAF/INSEE. Elles ont pu être comparées à la situation obtenue côté hollandais, au niveau du centre historique de Phillipsburg, où 36 lieux d'activités ont également été enquêtés.

Principaux Résultats

▶ *Dommages sur le patrimoine bâti*

Une reconstitution numérique à haute résolution des vents maximaux soutenus sur 1 minute (Cécé et al., 2020) montre clairement une accélération des vitesses le long des lignes de crêtes, pouvant dépasser les 350 km/h à Saint-Barthélemy.

Peu de toitures ont totalement résisté aux effets d'arrachement et d'impact, et des contrastes importants d'endommagement apparaissent entre les deux îles.

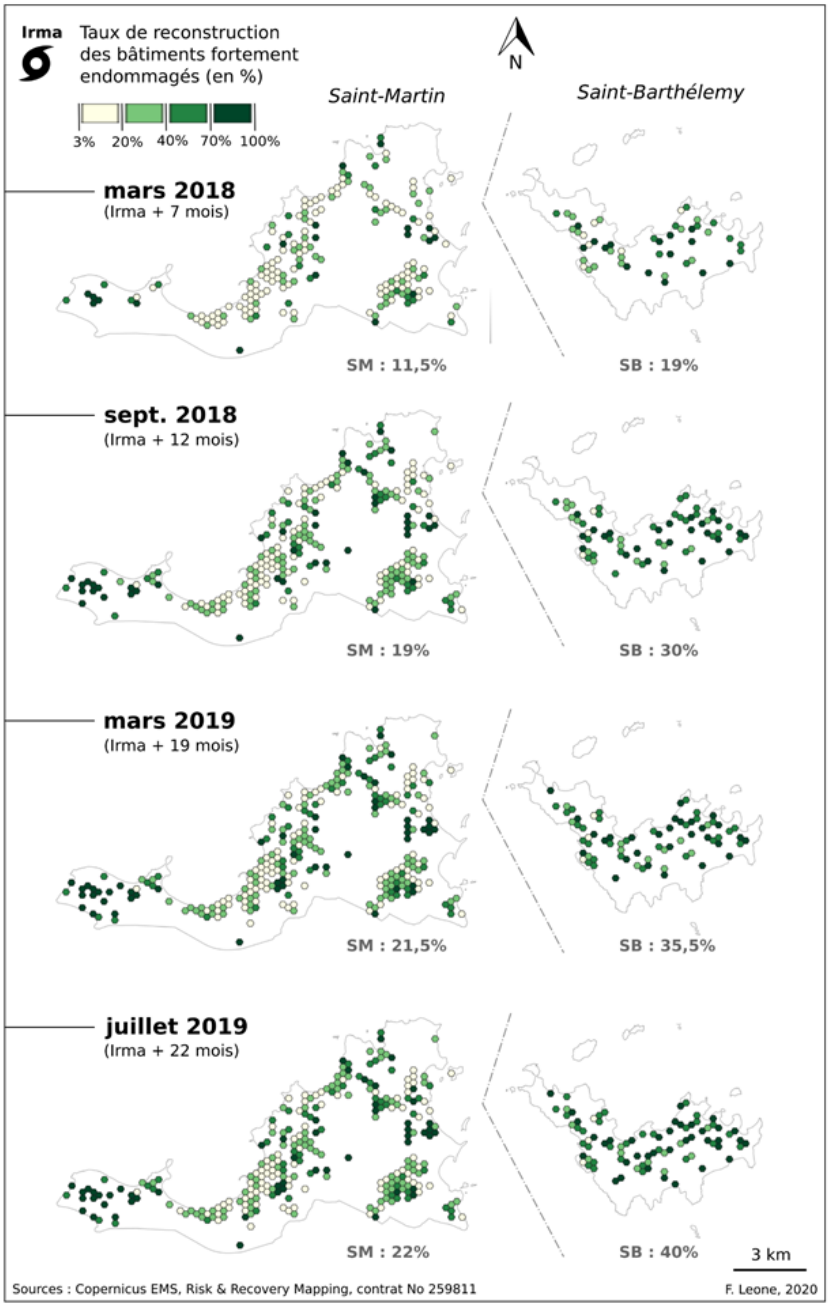


Cartographie des volumes de dommages et taux de destruction à Saint-Martin et Saint-Barthélemy

Compte tenu des conditions de vent et d'exposition aux vagues similaires, cette variabilité spatiale des dommages est le révélateur de contrastes socio-économiques très marqués entre ces deux îles, visibles en particulier à travers la résistance des constructions de Saint-Barthélemy. En effet, les données sur les niveaux de dommages 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. La cartographie du taux de destruction correspondant par mailles de 100 m de côté, montre très nettement ces contrastes inter et intra-îles.

▶ *Suivi de la reconstruction*

Le traitement cartographique de ces données repose ici sur la création d'un taux de reconstruction, applicable aux mailles de 100 m de côté comportant au moins un bâtiment fortement endommagé (niveaux 3 ou 4 de la typologie des dommages de Copernicus).



Le géo-indicateur de reconstruction ainsi établi permet de saisir une dynamique spatiale et temporelle exhaustive, à une échelle assez fine pour comprendre certaines logiques et révéler certains contrastes. Ainsi, on peut voir à travers la vitesse de reconstruction un indicateur de résilience territoriale, qui s'exprime fortement sur Saint-Barthélemy, comparé à Saint-Martin.

En juillet 2019, soit 22 mois après Irma, 40 % du bâti fortement endommagé de Saint-Barthélemy était totalement reconstruit, contre seulement 22 % à Saint-Martin. L'effort de reconstruction a 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.

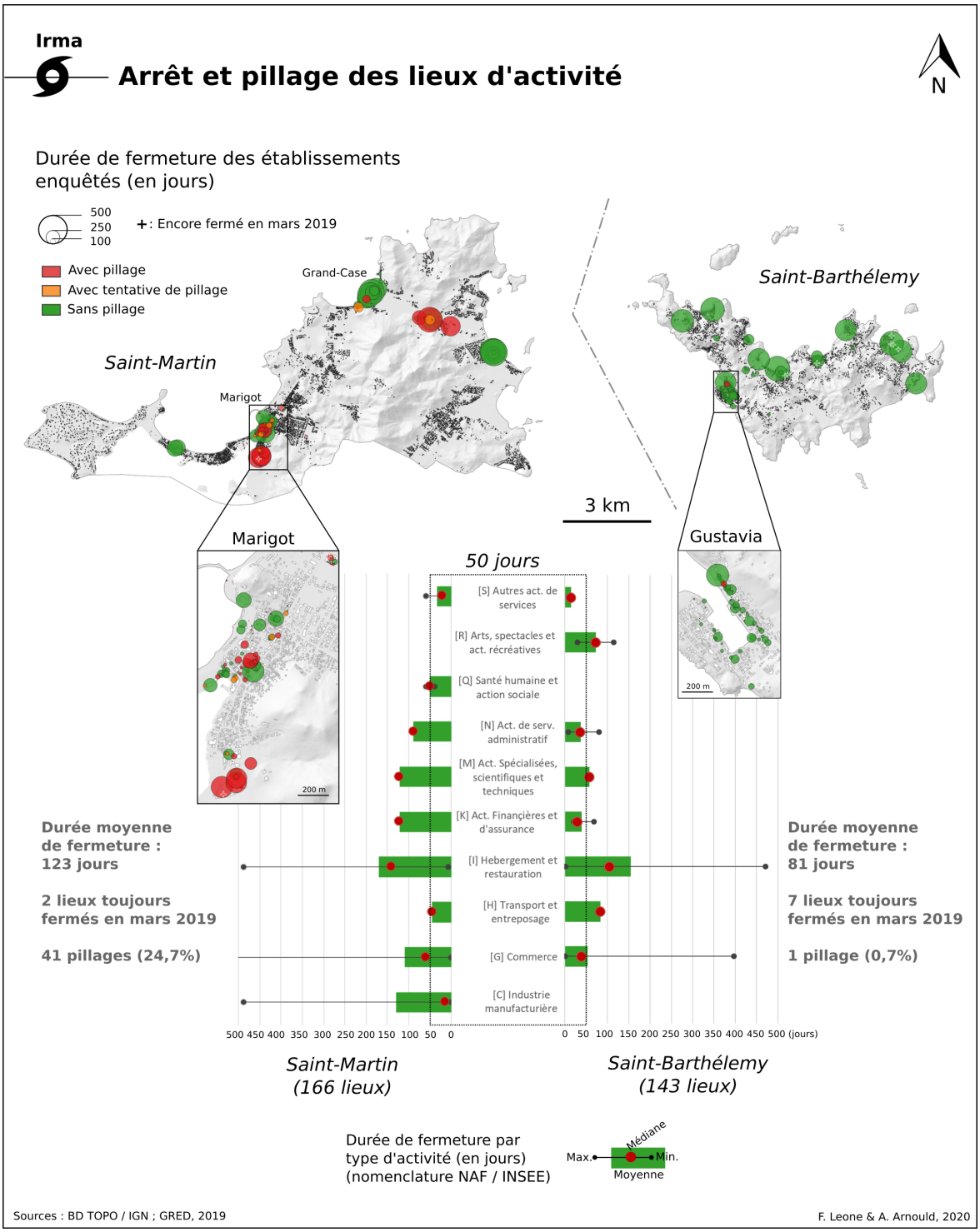
Ces contrastes s'expliquent bien
entendu par un volume total de dommages bien plus faible à Saint-Barthélemy, mais aussi par une plus grande capacité de relèvement. On constate que mailles les plus détruites, en particulier en volume de bâtiments, sont assez logiquement celles qui prennent le plus de temps à être reconstruites.

Taux de reconstruction des bâtiments fortement endommagés à Saint-Martin et Saint-Barthélemy

▶ *Analyse des reprises d'activité et pillages*

Le relèvement d'un territoire se mesure aussi à travers ses reprises d'activités, qu'elles soient économiques, commerciales, administratives ou de services. Ainsi, ce « réveil du territoire » a pu également être spatialisé au moyen d'une enquête systématique auprès de tous les lieux d'activité de Saint-Barthélemy, sur deux zones de Saint-Martin (Grand-Case et Marigot), et sur une zone de Sint-Maarten (Phillipsburg) à titre comparatif.
L'analyse spatiale des données montre une reprise d'activité globale et moyenne 1,5 fois plus rapide à Saint-Barthélemy avec 81 jours de fermeture contre 123 jours à Saint-Martin et 120 jours à Sint-Maarten. Les activités d'hébergement et de restauration ont été les premières à se relever, suivies des activités de transport.

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 établissements pillés soit 24,7 %). Ces pillages ont parfois provoqué davantage de pertes que l'ouragan lui-même, sans compter les traumatismes induits.



Une situation incomparable avec Saint-Barthélemy où un seul pillage de commerce a été signalé en bord de mer de Gustavia (boutique de luxe endommagée par les effets de la mer). Contrairement aux idées reçues, Phillipsburg a également connu une proportion importante de pillages, avec un total de 14 lieux concernés (39 %).

Sur les deux parties de Saint-Martin, 80% des bijouteries interrogées ont été pillés. Ce sont ces types de pillages d'opportunité qui ont dominé, à côté de ceux des commerces de biens électroniques, de mobilier et de bricolage.

Arrêt et pillage des lieux d'activité

Recommandations pour le territoire saint-martinois

Dans le cas de l'île de Saint-Martin, ***les actions de pillages ont parfois été aussi destructrices que les conséquences de l'ouragan***. Ces délits ont été jusqu'à détruire des activités commerçantes épargnées ou ralentir leur réouverture.
A l'image des évènements survenus à la Nouvelle-Orléans lors du passage de l'ouragan Katrina en 2005, Irma nous rappelle qu'au-delà d'un impact physique, il existe une dimension sociale des catastrophes que nous devons également anticiper.

Malgré l'activation de la vigilance météorologique grise comportant une interdiction temporaire de sortie après le passage de l'ouragan, les gens sont descendus dans les rues. Certains magasins alimentaires, éventrés par la force des vents, ont été pris d'assaut par les populations.

Il reste cependant difficile de différencier les motivations des « pilleurs », entre celles relevant du pillage d'opportunité ou d'actions de survie face à des lendemains inconnus.

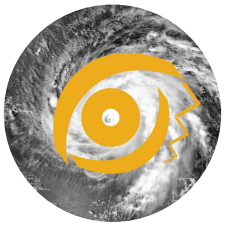
Recommandations générales sur la reconstruction

Le réveil d'un territoire peut se mesurer à travers une multitude d'***indicateurs qu'il faut pouvoir suivre dans le temps*** : indicateurs de reprise économique, indicateurs de reconstruction, indicateurs de réoccupation des lieux, etc.

Leur mise en carte permet de comprendre différentes ***dynamiques spatiales*** obéissant à des actions prioritaires, mais répondant aussi à l'intensité des dommages qui est elle-même le reflet de vulnérabilités socio-économiques très différenciées sur cet espace insulaire.

Trois années après le passage de l'ouragan Irma, on constate que la résilience de Saint-Barthélemy a été bien plus forte que celle de Saint-Martin, et que ces deux territoires se sont reconstruits globalement à l'identique, tant sur le plan spatial qu'architectural, à de rares exceptions près.

Aussi, la ***mise en place d'indicateurs fiables et généralisables*** dès le lendemain du passage d'un cyclone est une condition sine qua non du suivi du processus de reconstruction et de sa dynamique spatiale et temporelle.



Pour aller plus loin

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.

Copernicus (2018). EMSN049: Reconstruction monitoring of St. Martin and St. Barthélemy islands (post IRMA). Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises, activated on behalf of the Ministère des Outre-mer, Délégation interministérielle. Données accessibles en ligne sur : https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSN049

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], 51 | 2020, DOI : https://doi.org/10.4000/echogeo.18666

Les temps de la gestion de crise IRMA et les seuils de basculement associés

M. Péroche, F. Vinet, E. Lagahé, S. Defossez, F. Leone

Objectifs et Méthodologie

Les RETEX permettent d'identifier les facteurs influençant les dynamiques de la crise, d'analyser les réponses associées et d'en mesurer l'efficacité. L'approche scientifique et pluridisciplinaire déployée dans le cadre du projet TIREX, a été l'occasion d'aborder la question de l'organisation de gestion de crise du niveau local au national, sur une période d'environ un mois qui s'étend entre la détection du phénomène fin aout (phase d'anticipation) jusqu'à la fin du mois de septembre (phase d'urgence).

A travers cette approche, nous avons souhaité relever plus particulièrement les difficultés de la gestion de crise liées :

- à la cinétique du phénomène et aux incertitudes des prévisions météorologiques
- aux contraintes spécifiques des petits territoires insulaires (double/triple insularité, faible superficie
- des ressources locales limitées, éloignement, etc.
- à l'organisation pyramidale de la sécurité civile française et au principe de subsidiarité

Plusieurs séries d'entretiens ont été menées auprès de nombreux acteurs clés de la gestion de crise au cours de missions sur le terrain. La plupart ont été menés seulement un mois après l'événement sur les îles de Saint-Martin et Saint-Barthélemy. D'autres plus tard au cours de la première année en raison de l'absence sur l'île de ces interlocuteurs lors de la première mission. Le présentiel a été privilégié et seuls quelques entretiens ont été menés par téléphone.
Les rencontres avec les acteurs de certains organismes ayant contribué à la gestion de la crise étaient l'occasion de consulter les points de situation, les mains courantes et les premiers retours d'expériences à chaud. Des discussions informelles ont également été engagées auprès des personnels des infrastructures critiques, des réseaux, des centres de gestion des déchets et de commerçants (pillages) au cours de plusieurs missions de terrain tout au long du projet TIREX (Vinet et al., 2020 ; Arnould, 2019).

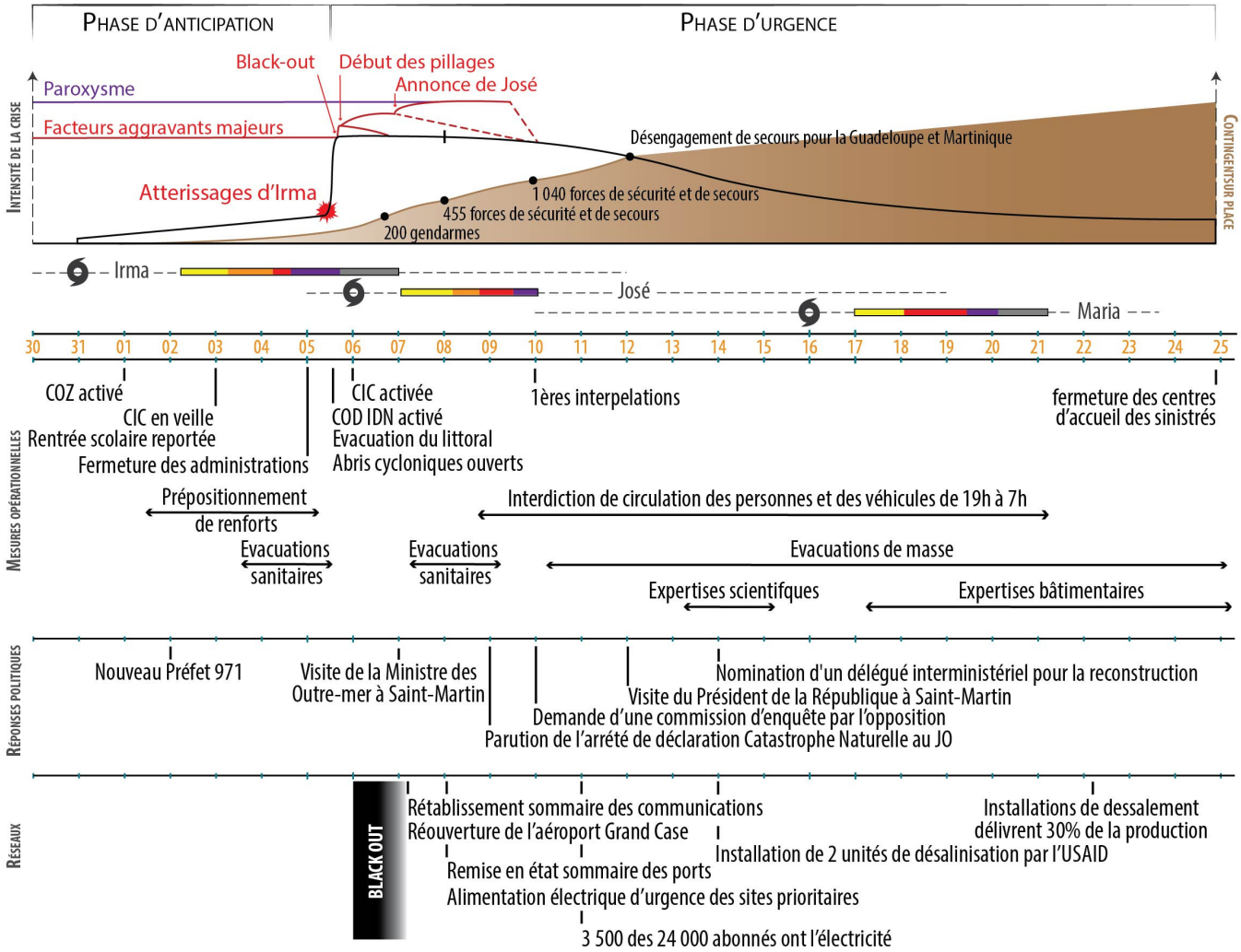
En complément de ces stratégies, un suivi sur des temps plus longs a été effectué par la lecture régulière de la presse et des réseaux sociaux ainsi que par l'analyse des rapports d'information de la délégation sénatoriale aux Outre-mer (Arnell et al., 2018) et de la mission d'information sur la gestion des événements climatiques majeurs dans les zones littorales de l'Hexagone et des Outre-mer (Sage et Haury, 2018). Cette complémentarité des stratégies de recueil a permis de confronter les expériences individuelles des gestionnaires aussi bien dans les chaînes de décision verticale qu'horizontale. Le bref délai assure une meilleure fiabilité de la mémoire des événements, tout en permettant une certaine prise de recul sur la crise. Le travail d'équipe interdisciplinaire a permis d'éclairer cette recherche par les expériences vécues de la crise du côté de la population (Defossez et Gherardi, 2020). Plus récemment, en octobre 2020, un focus groupe a été organisé auprès des acteurs locaux en place, afin d'identifier : les apprentissages du RETEX sur un temps plus long, les améliorations associées à venir ainsi que les lacunes qui persistent.

L'échelle la plus fine de cette étude porte sur les deux territoires de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy. Néanmoins afin de garantir une restitution synthétique des principaux résultats, cette fiche tient compte plus particulièrement des enseignements tirés des entretiens en lien avec le territoire de Saint-Martin partie française.

Principaux Résultats

▶ *Retracer la chronologie de la gestion de crise*

La frise chronologique synthétise les principaux événements marquants de la crise dans les phases d'anticipation et d'urgence. Elle s'étend depuis la détection du phénomène IRMA, le 30 août 2017, jusqu'à la fin du mois de septembre. La fermeture des centres d'accueil des impliqués pour leur rapatriement, le 25 septembre 2017, marque une certaine stabilisation de la situation, notamment par la fin des départs massifs de la population. Le 29 septembre est aussi une date symbolique importante pour l'Etat français, elle correspond à l'inauguration de la nouvelle préfecture. L'ancien bâtiment a été entièrement détruit au passage d'IRMA le 6 septembre à Saint-Martin.



Frise de synthèse de la gestion de crise IRMA dans les phases d'anticipation et d'urgence

La partie haute de la frise représente la courbe d'intensité de la crise, à laquelle s'ajoutent trois événements clairement identifiés au cours des entretiens comme effets de surcrise : un black-out total sur l'île pendant plusieurs heures, des pillages, et l'annonce du passage d'un 2nd cyclone. Bien que variable en fonction des missions des différents acteurs, le paroxysme de la crise est identifié aux alentours du 7 et 8 septembre.

Il correspond à une période de désorganisation importante au cours de laquelle les communications et les renforts sont encore très limités et où les pillages et les rumeurs associés accaparent l'attention. Face à cette situation fortement dégradée et à l'annonce du cyclone JOSE, une quantité importante de la population afflue vers l'aéroport pour quitter l'île. Seules les évacuations sanitaires (EVASAN) sont prises en

charge sur cette période. Cette partie de la frise est complétée d'une seconde courbe qui représente le contingent déployé sur les îles du nord. Cette information est difficile à quantifier précisément tant la diversité des acteurs (armée, santé, ONG, sécurité civile, etc.) est importante. Ici, elle tient compte du volume des forces annoncées par le Ministère de l'intérieur et le Ministère des Armées au cours des premiers jours de la crise. Le 25 septembre, près de 3 000 forces de sécurité et de secours sont comptabilisées sur place ce qui correspond au pic du contingent sur l'île.

Aux Antilles françaises, les procédures opérationnelles « cyclone » sont bien rodées. Elles se déclinent sous la forme de différents dispositifs au sein des services étatiques et des collectivités territoriales ainsi que dans le secteur privé (grands réseaux, transports, etc.). A l'annonce d'un phénomène météorologique potentiellement dommageable dans le bassin atlantique, ces différents organismes sont mis en veille et déclenchent les premières procédures standardisées.

Pour IRMA, l'information a circulé efficacement entre les services de gestion de crise et la direction Interrégionale de Météo-France, comme en témoignent la mise en veille puis l'activation précoce des différentes cellules de crises, zonale et départementale à l'annonce du phénomène. Seulement, malgré les progrès des services de météorologie en matière de simulations numériques des phénomènes extrêmes, comme les cyclones, il n'est pas possible d'anticiper précisément à plus de 24-36h ni leur trajectoire, ni leur intensité.

Cette incertitude, couplée à une dispersion des territoires français le long de l'arc insulaire des Petites-Antilles sur une distance de 450 km du nord au sud, complexifie la phase d'anticipation à chaque événement. Pourtant les premières mesures opérationnelles ont été prises plusieurs jours avant le passage de l'ouragan IRMA, comme le prépositionnement de forces de sécurité civile et des agents de liaisons sur les îles de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy, l'acheminement de matériel de secours, l'organisation d'évacuations sanitaires, etc. Bien que jugé insuffisant par certains, le prépositionnement d'un trop grand nombre de renforts sur place aurait conduit à les exposer. Les entretiens révèlent néanmoins qu'un prépositionnement plus massif en Guadeloupe ou en Martinique aurait permis une meilleure réactivité d'action vers les îles du Nord. Le cyclone IRMA a mis en exergue la difficulté à identifier des abris cycloniques sûrs face à un phénomène de catégorie 5.

La méconnaissance de l'intensité de l'aléa a contraint à la fermeture de deux abris jugés trop proches du littoral. Cette prise de décision s'est faite dans l'urgence le 5 septembre. Le même jour, un autre abri était évacué tandis qu'un quatrième restait fermé.

Finalement, sur les 11 abris identifiés comme sûrs par les autorités, 4 se sont avérés inutilisables. Ces défaillances, évacuations et fermetures en phase d'alerte violette ont encore un peu plus entériné la méfiance des populations envers ces structures.

Rétablir une certaine confiance vis-à-vis de la procédure de mise en sécurité proposée par les pouvoirs locaux s'avère être une étape indispensable pour une meilleure prise en charge des populations notamment dans la phase de recommandation d'évacuation des zones littorales.

Le premier seuil de basculement identifié survient dès les premières heures de la crise. Les réseaux de communication sont coupés, la remontée d'information du terrain est impossible et les premières reconnaissances aériennes laissent craindre le pire aux autorités. Les capacités locales de gestion de crise sont anéanties et les capacités régionales sont dépassées.

Sur cette période de crise hors cadre, où la nécessité de coordination et d'adaptation est déterminante, le principe de subsidiarité verticale fortement hiérarchisé sur lequel repose l'organisation de la gestion de crise en France est mis à mal. Dès les premières heures des difficultés de positionnement entre les responsabilités zonales et départementales entraînent des tensions.

La montée en charge du niveau national des différents ministères, la difficile expression des besoins, la faible intégration de certains acteurs (de la santé par exemple) et la méconnaissance des règles d'engagement pour les opérations civilo-militaires entraîneront des moments de

flottement dans les prises de décision. Il faudra plusieurs heures avant de réussir à déclencher les premières manœuvres coordonnées.
Les fortes élongations entre les îles, l'éclatement territorial des ressources, le tout couplé à un manque de capacité de projection maritime donne l'impression d'un manque de réactivité entre les besoins exprimés et les mesures prises sur le terrain. Le problème est exacerbé par le calage difficile avec les différentes cellules de crise en France métropolitaine, comme la CIC à Paris (décalage horaire, distorsion d'appréciation, etc.).
Le second seuil de basculement identifié au cours des entretiens est celui qui s'est opéré lorsque les actions de maintien de l'ordre, à la suite de pillages et des rumeurs associées, ont supplanté les opérations habituellement menées pour faire face aux catastrophes d'origine naturelle (sauvetage/déblaiement, gestion des impliqués, ravitaillement, etc.).
Les images véhiculées par les médias, notamment celles des départs massifs de la population vers la métropole (principalement chez les métropolitains nouvellement arrivés sur l'île), traumatisée par la violence du phénomène et le sentiment d'insécurité, ont favorisé l'adaptation de la réponse au profit de la sécurité sous les pressions politiques au niveau national. Par cette nouvelle disposition, certains acteurs de la gestion de crise ont été écartés temporairement complexifiant la chaîne de commandement notamment à l'échelon zonal. Ce niveau est pourtant indispensable à la coordination des missions sanitaires et à la centralisation de l'expression des besoins pour l'emploi des forces armées sur le territoire national.
La gestion de crise IRMA aura mobilisé une quantité et une diversité d'acteurs de la gestion de crise sans précédent en l'espace de quelques jours : sapeurs-pompiers, militaires de la gendarmerie et de la sécurité civile, agents de l'Etat, personnels de santé, personnels des forces armées, association/ONG, grands opérateurs réseaux (eau potable, électricité, télécommunication).
Les défis relevés par les personnels déployés sur le terrain et les chaînes de commandement ont été nombreux. Les acteurs interrogés au cours de cette étude apportent des regards complémentaires, parfois divergents, sur chaque temps de la crise. Tous ont souligné l'importance de conduire des exercices de préparation à la gestion de crise de grande ampleur. Ils sont les seuls à permettre une meilleure interconnaissance des capacités, des besoins et des contraintes de chaque service.
Cette connaissance est indispensable pour une plus grande réactivité et efficacité de réponse à la crise. C'est d'autant plus vrai que cette interconnaissance est mise à mal par un turnover des fonctionnaires particulièrement important dans les Outre-mer.
Ce renouvellement se déroule en général en septembre et projette parfois des personnels sans connaissance des contextes territoriaux et sans expérience de crise en pleine période cyclonique (pour l'atlantique nord). La conduite d'exercices devrait aussi permettre d'atténuer des problèmes managériaux évoqués à plusieurs reprises comme : assurer l'adéquation des missions au regard des compétences des acteurs déployés, limiter les sentiments d'exclusion de certains corps ou encore minimiser les différences de traitement entre les acteurs engagés sur le terrain.

Recommandations pour le territoire saint-martinois

+ ***Mutualiser les PC de crise et renforcer les procédures opérationnelles concertées*** (polices territoriales, STIS/centre de secours, Gendarmerie, PAF, etc.) en veillant à intégrer le niveau zonal, le volet santé (ARS, ARS-Z, SAMU, hôpitaux, etc.) et en détaillant les règles d'engagement des moyens de l'armée ;

Réévaluer les compétences de la préfecture déléguée pour gagner en autonomie vis-à-vis de la Guadeloupe notamment pour les services de Gendarmerie et des sapeurs-pompiers ;

Renforcer la ***cohérence*** (temporalité, consignes) des mesures prises entre les ***parties française et hollandaise*** de l'île de Saint-Martin et insérer des officiers de liaison au sein des dispositifs de crise ;

Déployer de manière coordonnée un ***système d'information et d'alerte aux populations multi-vecteurs***, dont les réseaux sociaux, pour diffuser des conduites à tenir et des consignes de mise en sécurité ;

Fiabiliser les moyens de communication vers l'extérieur et anticiper le besoin de communication pour les populations en phase d'urgence (installation de bornes wifi par exemple) ;

Constituer un ***groupe de travail entre les services de communication des différentes institutions et les journalistes locaux*** (presse, radio, TV) afin de démentir efficacement et rapidement les rumeurs ;

Créer une ***Réserve Communale de Sécurité Civile*** avec la mise en place d'actions de sensibilisation de la population notamment en début de saison cyclonique et dans les phases de vigilance, les enjeux : citoyen acteur de sa propre sécurité / autonomie 48h (eau notamment) ;

Renforcer localement les échanges entre élus, représentants de l'Etat et des services déconcentrés, avec des représentants locaux (en nombre) à l'échelle des quartiers et assurer une animation et des rendez-vous périodiques ;

Etablir et diffuser une ***liste officielle des abris cycloniques***, accompagnée d'une carte, de la liste des noms de quartiers correspondants ainsi que leur capacité d'accueil ;

Identifier et communiquer des ***référents officiels « abris cycloniques »*** ainsi que leurs coordonnées par quartier via le plus grand nombre de vecteurs de communication possible ;

Assurer l'***accès aux médicaments*** par la sécurisation des pharmacies et en recommandant à la population de conserver avec eux leurs papiers d'identité et les ordonnances ;

Anticiper la ***gestion des débris cycloniques*** ;

Favoriser la mémoire et perdurer les apprentissages de la catastrophe IRMA au sein des services de l'Etat et de la population.

Recommandations générales sur la reconstruction

Renforcer la connaissance scientifique de l'aléa cyclonique et des effets associés aux Antilles françaises et réévaluer la cartographie des zonages : les relevés des plus hautes eaux post-Irma ont révélé que la submersion marine prévue par le PPRN de Saint-Martin a été largement dépassé;

Évaluer l'exposition, la vulnérabilité, les capacités d'accueil et l'organisation des abris cycloniques identifiés sur les territoires français ;

Renforcer, améliorer, et anticiper une ***communication de crise adaptée aux différents contextes territoriaux, notamment au cours de la phase d'anticipation***. La catastrophe IRMA a profondément affecté les populations, les attentes seront fortes notamment sur les thèmes du maintien de l'ordre, des abris cycloniques, des évacuations sanitaires et des renforts ;

Mener des ***diagnostics sur les infrastructures critiques***, dont les réseaux de distribution d'énergie (électricité, gaz, hydrocarbures) et les réseaux de télécommunications (téléphonie, internet) afin d'identifier leur vulnérabilité et leurs liens fonctionnels afin d'anticiper les effets domino

(transports, eau, assainissement...) - favoriser la rédaction des Plans de Continuité d'Activité ;

Développer une ***culture de crise commune*** entre les différents acteurs et favoriser l'intégration des association et organisation spontanée de la société civile ;

Clarifier les messages de vigilance Météo-France auprès de la population en améliorant les produits graphiques et cartographiques à usage prédictifs.
Ces éléments sont souvent recherchés dans les bulletins du National Hurricane Center (centre météorologique régional spécialisé de l'Atlantique Nord), même par les journalistes perturbant la communication officielle de crise ;

Augmenter le nombre d'exercices de niveau régional et national (type RICHTER) pour améliorer la connaissance des modes opératoires et des contraintes des différents services et acteurs (exemple du secteur de la santé et des forces armées).
Des exercices annuels de préparation au risque tsunami sont joués au mois de mars à l'échelle de la région Caraïbe.
Ils pourraient être l'occasion de mobiliser périodiquement une chaîne d'acteurs élargie du niveau départemental jusqu'au national ;

Veillez à ce que l'***échelon zonal conserve ses attributions*** par rapport aux cellules de crise nationales et départementales (améliorer l'interconnaissance, augmenter les exercices) ;

Anticiper la projection à 24h de forces supplémentaires sur l'île française non menacée par la trajectoire cyclonique et décider d'une procédure standard pour le choix d'implantation d'un hub logistique et des points d'appui (transport, ravitaillement, accueil des impliqués, etc) ;

Anticiper la ***sidération des contacts parfois à haut niveau de responsabilité***, veiller à assurer des renforts dans les postes de commandement et organiser de manière précoce le relais des équipes ;

Assurer l'***adéquation et l'autonomie*** (nourriture et hébergement) des moyens humains envoyés localement ;

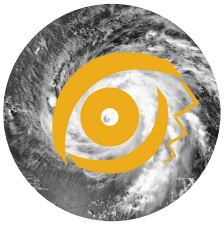
Assurer une ***meilleure interopérabilité des moyens de communications interministériels*** et créer des bases de données communes pour un meilleur partage des informations ;

Evaluer les ***capacités de projection des renforts***, notamment la composante maritime, aussi bien par des moyens étatiques que par les privés (contractualiser en amont) ;

Établir des ***règles de priorité strictes*** pour définir les évacuations sanitaires et anticiper les départs volontaires ;

Engager une large réflexion sur les ***dates de prise de poste des fonctionnaires à haut niveau de responsabilités dans les Outre-mer*** ;

Renforcer la ***coopération internationale*** notamment pour l'emploie des moyens de transport ou encore pour la mise à disposition de matériel spécifique et non disponible dans la région (exemple des unités de dessalement).



Pour aller plus loin

Arnould A. (2019). La reconstitution spatiale et temporelle des chaînes d'impacts territoriaux, Mémoire de Master 2 GCRN, Université Paul-Valéry Montpellier 3, 121 p.

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.

Sage, M., Haury, Y. (2018). la gestion des événements climatiques majeurs dans les zones littorales de l'hexagone et des Outre-mer , Tome 2, comptes rendus des auditions - rapport d'information de l'Assemblée Nationale, 431 p.

Arnell, G., Darnaud, M., Jasmin, V. (2018). Risques naturels majeurs : urgence déclarée Outre-Mer - rapport d'information de la délégation sénatoriale, 224 p.

Vinet, F., Peroche, M., Palany, P., Leone, F., Gherardi, M., Grancher, D., Moatty, A., et Defossez, S. (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. DOI : https://doi.org/10.4000/cybergeo.34154

Collecte des déchets débris post-Irma entre septembre 2017 et avril 2018

F. Vinet, M. Péroche, P. Palany, F. Leone, M. Gherardi, S. Defossez, A. Moatty, D. Grancher

Objectifs et Méthodologie

Les cyclones produisent de grandes quantités de débris qui constituent un véritable défi pour les autorités locales chargées de les collecter et de les traiter (Brown & Milke, 2016). Les volumes en jeu représentent parfois plusieurs années de flux « normal » de déchets produits par un territoire. Les débris (branches, tôles...) représentent un danger par les projectiles qu'ils constituent et par l'encombrement des voies de communication et d'évacuation comme cela a été étudié pour les séismes (Bertran Rojo et al., 2017).

Les débris peuvent également receler des produits potentiellement inflammables ou explosifs insoupçonnés. De même la formation de gaz dans des dépôts mal contrôlés peut favoriser des incendies. La gestion des débris constitue un enjeu sanitaire et environnemental. Les débris post-catastrophes renferment des produits polluants : hydrocarbures, produits phytosanitaires, objets électroniques contenant des métaux lourds et des terres rares, etc. L'enjeu est aussi sanitaire du risque de prolifération d'insectes vecteurs de maladies et de rats dans les déchets non traités (GEIDE, 2013). L'enjeu sanitaire devient politique lorsque s'ajoutent les nuisances olfactives et esthétiques.

Le cyclone Irma illustre la disproportion entre le défi à relever d'une part, et les moyens dégradés à disposition des acteurs locaux de la filière en phase post crise d'autre part. A partir de missions de terrain et des données récoltées auprès des acteurs locaux, ce travail s'appuie sur une analyse qualitative et quantitative des débris collectés par l'entreprise concessionnaire du lieu final et unique de dépôt des débris post Irma à Saint-Martin : l'Ecosite. L'étude envisage successivement le processus et la chronologie de la collecte, la quantification des débris collectés à l'Ecosite de Saint-Martin et leur traitement.

Des comparaisons avec d'autres cyclones à Saint-Martin et sur d'autres territoires (Luther, 2008) montrent de manière synthétique comment les caractéristiques du phénomène cyclonique et celle du territoire touché influencent le type et le volume des débris mais aussi leur collecte et leur traitement.

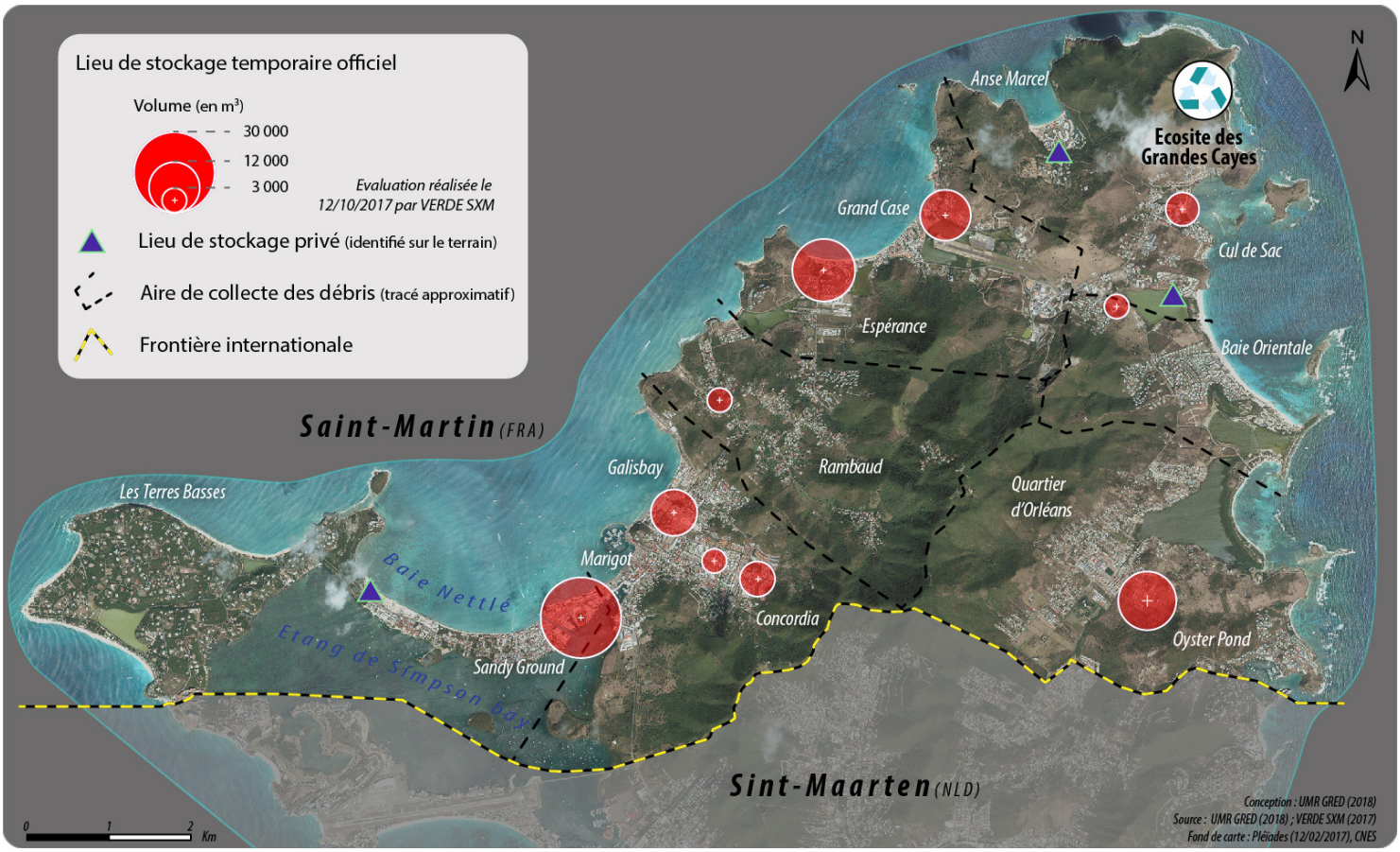
Principaux Résultats

▶ *La collecte des débris post cycloniques*

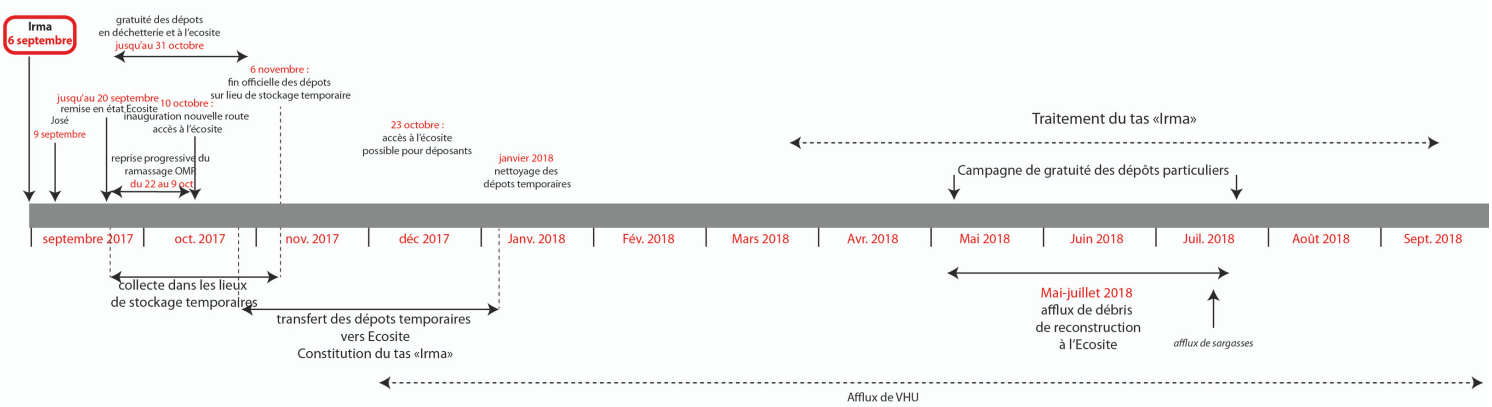
La collecte des débris post cycloniques s'effectue dans un contexte dégradé : manque de moyens humains et matériels (camions), problèmes d'accessibilité, manque d'espaces de stockages...

La première phase de collecte (un mois et demi environ) a consisté à entreposer les débris sur des lieux de stockage temporaires (cf. figure ci-dessous). Une partie des débris a été triée au départ mais très vite le dépôt s'est avéré anarchique avec un mélange encombrants/déchets verts/ordures ménagères.

La deuxième phase a consisté à stocker les débris des dépôts temporaires près de l'Ecosite avant traitement définitif. Entre le 20 octobre 2017 et janvier 2018 ce sont 50 000 tonnes de débris qui ont été collectés à l'Ecosite en plus de la collecte « normale ». Cette sur-collecte s'est prolongée en 2018 par l'arrivée des débris de reconstruction issus de la démolition et de la reconstruction des bâtiments endommagés par Irma. Elle représente trois ans de collecte normale de déchets.



Les dépôts temporaires de débris post Irma à Saint-Martin (partie française)



Chronologie de la collecte et du traitement des débris post Irma à Saint-Martin

Les débris cycloniques se répartissent en six postes majeurs dits « cyclono-dépendants » : les déchets verts, les encombrants, les métaux (tôles principalement), les VHU (Véhicule Hors d'Usage) et les BHU (bateaux hors d'usage), les DEEE (déchets d'équipements électriques et électroniques). Le cyclone génère aussi des gravats mais plutôt en phase de démolition, plusieurs mois après le cyclone.

▶ *Le traitement des débris*

Une grande partie des déchets verts s'est décomposée et le volume broyé et traité en compostage a été in fine faible (quelques centaines de tonnes). Les encombrants ont été en partie recyclés pour ceux qui contenaient du métal ou bien enfouis. Les VHU ont été recyclés par une filière spéciale installée à l'Ecosite. Les BHU, non recyclables, ont tardé à être retirés des eaux et traités. Les DEEE ont été expédiés par conteneur en Guadeloupe ou aux Etats-Unis. Finalement, les seuls débris véritablement valorisables sont les débris métalliques. Malgré des moyens modestes présents

à Saint-Martin, les débris cycloniques ont été collectés et traités en deux ans. A noter que l'île voisine de Saint Barthélemy a choisi d'exporter par barge en Guadeloupe la plus grande partie des débris générés par Irma.

▶ *La prévention*

La prévention est très difficile et les populations sont très peu sensibilisées au problème des débris et/ou déchets. Les campagnes de collecte préventive des déchets organisés par la collectivité deux mois avant Irma, en début de saison cyclonique, avaient rencontré peu de succès. En revanche, on observe une augmentation des dépôts à l'Ecosite la veille du cyclone (principalement des déchets verts). Le traitement des débris est ralenti par les aspects techniques (manque d'espace, de personnel qualifié et de machines de traitement) et par les problèmes administratifs (démarches administratives préalables à la destruction des VHU et BHU, retards ou erreurs dans les passages de marchés publics...).

▶ *Les débris : indicateur des vulnérabilités et du suivi de la reconstruction*

Si la principale collecte de débris a été réalisée dans les trois mois qui ont suivi Irma, la collecte de débris de reconstruction (dont les gravats) a perduré plus d'un an après Irma.
Parallèlement, les ordures ménagères qui constituent le principal poste de déchets en temps normal ont diminué en volume après Irma suite à la diminution de la population et de l'activité touristique. La légère reprise de l'activité touristique fin 2019 se lit dans l'augmentation des tonnages d'ordures ménagères avant une nouvelle chute de la collecte en 2019 et 2020 (Crise COVID 19, crise sociale, ...). Les déchets sont un indicateur pour le suivi de la reconstruction et de la reprise d'activité post cyclonique (retour des habitants, reprise du tourisme...).
Le précédent cyclone (Gonzalo, cat. 1 en 2014) avait généré des débris mais avec une part plus grande de déchets verts et un peu d'encombrants mais dans une proportion beaucoup moins grande qu'après Irma (3 500 tonnes de sur-collecte contre 50 000 pour Irma).
Le traitement des débris post cycloniques doit être considéré comme une priorité de la reconstruction (au même titre que le rétablissement de la voirie ou des logements). Faute d'être anticipé, il peut engendrer des problèmes environnementaux (pollutions) sanitaires (gîtes larvaires, rats...) voire politique dus au mécontentement de la population.
La collecte des débris primaires a duré 4 mois. La collecte et le traitement de la sur-collecte se sont achevés fin 2019 avec le traitement des VHU et la résorption du tas « Irma » près de l'Ecosite. Des solutions restent à trouver pour la collecte et le traitement de certains types de débris comme les gravats ou les encombrants.

Recommandations spécifiques aux îles du Nord

+ ***Estimer et modéliser ex ante le volume à traiter*** en fonction de l'intensité du cyclone et des caractéristiques du territoire

Clarifier la gouvernance (entre autorités administratives, gestionnaires et concessionnaires) pour traiter, valoriser et réutiliser au maximum sur place certains déchets (gravats, végétaux, ...) et étudier particulièrement la question des encombrants non valorisables et non traitable (matelas, mobilier...)

Anticiper des zones de dépôts temporaires (notamment pour brûler les végétaux)

Clarifier le ***calendrier et la grille tarifaire d'accès à l'Ecosite*** et aux déchetteries

Communiquer sur la ***nécessité de réduire les débris*** potentiels dans les jours qui précèdent le

cyclone ou en début de saison cyclonique

Prévoir le ***prêt ou la location de machines de tri des déchets*** (broyeur à végétaux, trieur de métaux, séparateur à courant de Foucault...)

Recommandations générales sur la reconstruction

Séparer le plus tôt possible la collecte des débris cycloniques de la collecte des déchets conventionnels en particulier les ordures ménagères,

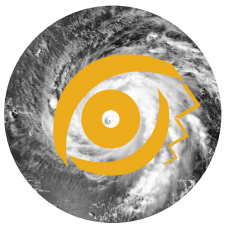
Veiller en priorité au ***rétablissement rapide des filières classiques de tri et de traitement*** des déchets (importation de nouveaux conteneurs verre, camions...)

Traiter au maximum ***au plus près de la zone sinistrée*** afin de limiter les transports (coûteux et générateurs de pollution carbonée)

Assurer la ***gratuité du dépôt*** pour les particuliers sous condition de tri

Mobiliser du personnel pour gérer le ***brûlage des déchets verts sur les zones de dépôt temporaire*** et pour surveiller le tri lors des dépôts

La gestion des déchets post cyclone est d'autant plus aisée qu'une discipline de ***tri et de dépôts encadrés*** aura été instaurée en temps « normal »



Pour aller plus loin

Béraud H., Nithart Ch., Durand M., 2019, Le difficile suivi des déchets post-catastrophe : le cas de l'Ouragan Irma à Saint-Martin. Risques Urbains, vol. 3, N° 1 ISTE editions https://www.openscience.fr/Numero-1-433

Bertran Rojo M., Beck E., Lutoff C., 2017, "The street as an area of human exposure in an earthquake aftermath: the case of Lorca, Spain", Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 17, 581–594.

Brown C., Milke M., 2016, "Recycling disaster waste: Feasibility, method and effectiveness". Resources Conservation and Recycling, vol 106, p. 21-32.

GEIDE, 2013, Cyclones. Prévenir, réagir, rétablir. Robin des Bois/ADEME, 3 vol.

Luther L., 2008, Disaster debris removal after Hurricane Katrina: status and associated issues, Washington, CRSCrf. congress, 21 p.

Vinet F., Peroche M., Palany P., Leone F., Gherardi M., Grancher D., Moatty A., Defossez S., 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 ; DOI https://doi.org/10.4000/cybergeo.34154

Bilan humain de l'ouragan Irma et rumeurs post-catastrophe

A. Moatty, D. Grancher, C. Virmoux, J. Cavero*

Objectifs et Méthodologie

Le passage de l'ouragan Irma a été le théâtre de plusieurs rumeurs. A Saint-Martin partie française, le bilan humain est de 11 morts et 2 disparus dont certains étaient sur des bateaux (il faut ajouter 4 décès à Sint-Maarten). Plusieurs rumeurs se sont répandues dans l'après Irma (l'évasion de détenus de la prison de Pointe-Blanche, l'évacuation de la Préfète hors de Saint-Martin, etc., Le Monde, 13/09/2017*[1]*) et celle qui est relative au nombre de morts (de 100 décès à quelques milliers) est la plus persistante puisqu'elle perdure plus d'un an après le passage de l'ouragan, entrainant toujours des conséquences socio-politiques locales.

Dans la nuit du 5 au 6 septembre 2017, les communications ont été coupées juste après le passage de l'œil de l'ouragan et pendant plusieurs heures provoquant un isolement propice au développement des rumeurs. Ceci « [est] très fréquent après les catastrophes, et semble constituer l'une des modalités par laquelle il [l'évènement] accède à l'existence sociale » (Dourlens, 2003).

La post-catastrophe est en effet une période propice au développement ou à la réactivation de rumeurs puisqu'elle est le temps des bilans et des retours d'expérience qui donnent lieu à une recherche de responsabilités (Moatty, Gaillard et Vinet, 2017).

Fondé sur une enquête de terrain à Saint-Martin côté français uniquement (8 classes de collège et lycée, plus de 60 entretiens individuels et 3 groupes de discussion) réalisée en novembre 2017 (2 mois après la catastrophe) et en novembre 2018 (14 mois après), ce travail propose d'identifier les origines et analyser les conséquences de la rumeur sur le nombre de morts qui révèle les structures socio-territoriales saint-martinoises, et questionne les modalités de la communication en période post-crise. Les résultats des enquêtes à Saint-Martin ont été complétés par des entretiens en métropole, une revue de presse et l'étude des chroniques tenues par un habitant de Saint-Martin qui parcourt l'île du 5 au 27 septembre 2017 (Bushmann, 2018).

Date	Information provenant de l'Etat	Information provenant de la COM
06/09	« Le bilan sera dur et cruel » (E. Macron)	« 95 % de l'île est détruite, il y a des cadavres de bateaux partout (...) on est en état de siège » (D. Gibbs, président de la COM)
	« Au moins 2 morts » (Ministère des Outre-mer)	
	« Au moins 6 morts » (Préfecture de Région)	
07/09	8 morts (G. Collomb, Ministre de l'Intérieur)	
	4 morts (E. Philippe, Premier Ministre)	
08/09	9 morts et 7 disparus (Ministère de l'Intérieur)	
11/09	« Une douzaine de morts et quelques disparus […] aucun décès n'est survenu après la catastrophe » (A. Buzyn, Ministre de la Santé)	
13/09	11 personnes décédées mais le bilan n'est pas définitif (A. Buzyn, Ministre de la Santé)	
15/09	« Prudence concernant le bilan humain car tout n'a pas été déblayé » (A. Girardin, Ministre des Outre-mer	
07/11		Publication de la liste des 10 noms de victimes (+ 1 non identifié)
Mai 2018	Fin des recherches de victimes	

Dans la première semaine après Irma, les bilans officiels diffusés par les différents ministères du gouvernement français se succèdent et se contredisent parfois (cf. tableau à gauche).

Une liste de victimes a été communiquée au public lors du conseil territorial du 9 novembre 2017, alors que la recherche officielle des victimes par l'IRCGN n'a pris fin qu'en mai 2018, n'occasionnant pas de mise à jour du bilan définitif.

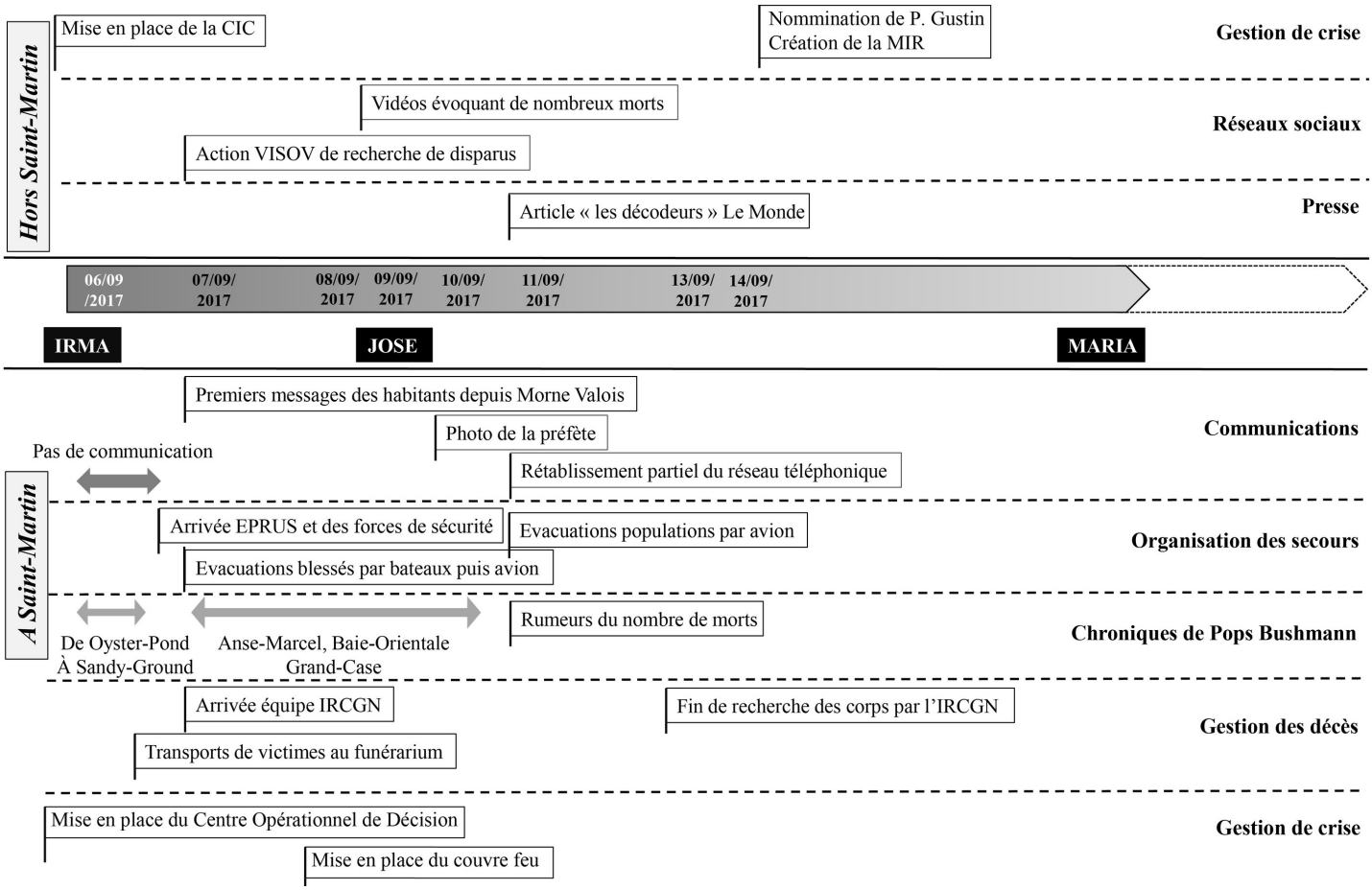
[1] https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2017/09/13/on-nous-cache-des-morts-aux-racines-des-rumeurs-sur-l-ouragan-irma_5185138_4355770.html

**Ces travaux ont bénéficié d'un co-financement de la Fondation Croix Rouge et du Fonds Axa pour la Recherche*

Principaux Résultats

▶ *Des difficultés de communication comme fondation de la rumeur*

Compte tenu des destructions, les communications étaient impossibles dans les premiers temps. Les messages transmis lorsque les télécommunications furent rétablies ont été parfois confus voire contradictoires et tardifs. Dans le même temps, l'importance de la couverture médiatique a compliqué d'autant le démenti que les sources d'information se multipliaient. A ce titre, l'influence des réseaux sociaux est cruciale. Elle a servi de chambre d'écho et, par là même, d'amplification aux différentes rumeurs ainsi qu'aux clichés.



Chronologie post-Irma à Saint-Martin vue par le prisme de la rumeur du nombre de morts

▶ *Un décalage perçu entre l'importance des dommages et le nombre de victimes*

L'ampleur des dommages et destructions (95 % des bâtiments et infrastructures détruits ou endommagés) a plaidé pour un bilan humain lourd. Plusieurs facteurs expliquent pourtant ce bilan réduit :

1. La politique de prévention au travers des consignes de comportement ainsi que la préparation des populations furent efficaces. En effet, les personnes enquêtées affirment toutes avoir fait des réserves d'eau et de nourriture, pris des mesures de protection de leur logement, et, pour certains, avoir évacué chez des proches pour être plus en sécurité ;
2. Toutes les personnes interrogées ont privilégié des liens personnels associés à un critère de solidité perçue du logement. J-C Huc et F. Pagney Benito Espinal (2015) expliquent également dans leurs travaux qu'il est fréquent aux Antilles de se regrouper dans la seule partie de la maison construite en dur (les toilettes ou la salle de bain le plus souvent), de courir se mettre en sécurité chez un voisin ;
3. Le niveau de développement du territoire explique également ce bilan. En effet, l'accès aux services de santé a été

maintenu, des moyens humains ont été déployés pour renforcer les actions de mise en sécurité des personnes et des biens. Le centre hospitalier de Saint-Martin était sinistré mais opérationnel avec un bloc opératoire fonctionnel. Les pharmacies ont été détruites et pillées mais l'accès aux médicaments n'a pas été interrompu (Bushmann, 2018), notamment grâce à la présence des équipes de l'EPRUS arrivées le 07/09/17 et l'installation de dispensaires par la Croix Rouge Française. La situation post-catastrophe dans la partie française de Saint-Martin ne peut donc pas être comparée à celle de Porto-Rico (sinistré par l'ouragan Maria en 2017) où le nombre de morts indirects est très élevé à cause notamment de la rupture du système de santé (Kishore et al., 2018) ;

4 La cinétique de l'ouragan a permis à certains de changer de refuge pendant le passage de l'œil. En effet, de nombreuses personnes ont quitté leur abri initial pour aller se réfugier chez des voisins un étage plus haut ou un étage plus bas avant que leur appartement ne soit dévasté (Bushmann, 2018, pp. 113 à 133) ;

5 L'aide aux personnes en situation de grande précarité sur le territoire est principalement constituée d'un accueil de jour pour les hommes et d'un centre d'hébergement pour les femmes : le Manteau de Saint-Martin qui comptait à l'été 2017, 150 hommes et 12 femmes avec leurs enfants. La veille de l'ouragan les travailleurs sociaux ont orienté les hommes sans domicile vers les refuges officiels (les femmes et enfants étant pris en charge au centre d'hébergement). Ils sont tous identifiés et aucun ne manquait après l'ouragan, certains ont bénéficié des rapatriements gratuits vers la Guadeloupe, la Martinique ou la métropole et reviennent progressivement sur l'île depuis l'été 2018.

▶ *Une diffusion facilitée par le lien fort de Saint-Martin à l'extérieur*

Dans son rapport de 2016, l'INSEE rappelle que de nombreux natifs de Saint-Martin vivent hors du territoire (https://www.insee.fr/fr/statistiques/2527810). De plus, en 2012, 18 % des habitants de Saint-Martin venaient des autres territoires des Outre-mer français et 16 % sont nés en France métropolitaine.

Structurellement, une grande partie des Saint-martinois a donc des liens forts avec les autres territoires français. La rumeur concernant les morts à Saint-Martin a été diffusée et amplifiée par sa circulation sur l'ensemble du territoire français.

▶ *Des conséquences sur la gestion de l'évènement*

La diffusion de ces fausses informations a eu un impact sur la gestion de la crise et de la post-crise. Par exemple, la rumeur des évasions de la prison, associée aux incivilités (vols alimentaires, pillages, intrusions dans des propriétés privées, etc.), a fait pencher en faveur de l'envoi des forces spéciales françaises (parmi lesquelles le Groupe d'Intervention de la Gendarmerie Nationale) dont le nombre s'est avéré surdimensionné vis-à-vis de la situation sur place.

Ces discours sur la rumeur du nombre de morts suite à l'ouragan Irma expriment une forte « clustérisation » socio-territoriale qui traduit de fortes disparités en termes de niveaux de vie (« revenu disponible du ménage divisé par le nombre d'unités de consommation » (INSEE), entre les quartiers ainsi que l'imperméabilité des frontières entre quartiers et entre communautés. Les différentes communautés (ethniques, religieuses, d'intérêts, etc.) se connaissent mal et se fréquentent peu, en dehors des institutions au premier rang desquelles l'école, ce qui nourrit des fantasmes quant aux modes de vie respectifs des uns et des autres et dresse dans l'imaginaire collectif de chaque communauté des portraits caricaturaux « des autres ».

Recommandations générales sur la reconstruction

L'anticipation de la mobilisation des ressources humaines et matérielles :
En cas de catastrophe liée à un risque majeur (pandémie, canicule ou autre catastrophe « naturelle »), les premières estimations sont rapides (quelques heures en général), mais plusieurs facteurs peuvent retarder les autorités dans la consolidation du bilan humain.

Ces derniers peuvent être en partie jugulés par l'anticipation de renforts humains et matériels notamment pour faire face à :

- Indisponibilité des médecins pour établir les certificats de décès,
- Insuffisance du nombre de véhicules de transport,
- Difficultés d'identification des familles des défunts,
- En cas de décès massifs, la saturation des lieux de dépôt des corps avant mise en bière.

La coordination via la restructuration interministérielle :
S'ajoute à cela une multiplicité d'acteurs aux missions variées, que la création de cellules et missions interministérielles permet de coordonner :

- Le secours aux personnes et la gestion de crise dépend du Ministère de l'Intérieur,
- Les études épidémiologiques relèvent de la compétence du Ministère de la Santé et des Agences Régionales de Santé (ARS),
- La gestion des corps dépend à la fois des Ministères de l'Intérieur et de la Santé. Dans la procédure gestion des décès massifs (ORSEC – Gestion des décès massifs, procédures communes, 2005), c'est l'échelon départemental, par la voix du préfet qui est responsable de l'organisation de la chaîne funéraire (regroupement des corps retrouvés par les équipes de sauvetage, organisation des inhumations, délivrance des certificats de décès, information et accueil des familles, etc.),
- La procédure prévoit notamment d'avertir les responsables de cultes ainsi que les associations de la fédération France Victimes.

Recommandations spécifiques sur la gestion des rumeurs

Ne pas sous-estimer et prendre en compte les rumeurs dès leur émergence dans la population (notamment via la surveillance des réseaux sociaux, par le biais de convention avec l'association VISOV par exemple)

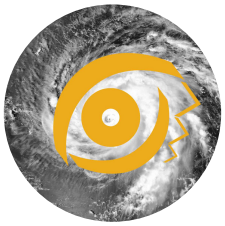
Limiter le nombre d'acteur officiels qui communiquent sur le bilan et son évolution, laisser le démenti des rumeurs aux cellules communication des autorités locales et nationales

Faire des ***points d'information plus réguliers*** (actuellement la moyenne est environ d'une communication toutes les 12h tant que le bilan n'est pas consolidé) quitte à répéter les informations, les ajuster au fur et à mesure

Expliquer davantage les procédures et notamment insister sur le principe de précaution et les incertitudes

Davantage ***commenter et expliquer le bilan*** une fois consolidé, faire des comparaisons et discuter les chiffres

Prendre en compte dans le démenti d'une rumeur qu'elle est ***multi-échelle***, elle s'ancre à l'échelle locale mais elle est diffusée et amplifiée par les échelons régionaux et nationaux lui servent de chambre d'écho



Pour aller plus loin

Bushmann P., 2018, Petites chroniques d'un très gros cyclone, éditeur Lyonnais-Baumann Alexandre, 152 p.

Dourlens C., 2003, La question des inondations au prisme des sciences sociales, CERPE, Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement (DRAST), 102 p.

Huc J-C., Pagney Benito-Espinal F., 2015, Les aléas de la prévision, In J-C Huc et M. Etna, 2015, Eclat de temps Anthologie des évènements climatiques extrêmes de la Guadeloupe, PLB Editions, 456 p.

Kishore N., Marques D., Mahmud A., Kiang M-V., Rodriguez I., Fuller A., Ebner P., Sorensen C., Racy F., Lemery J., Maas L., Leaning J., Irizarry R-A., Balsari S., O. Buckee C., 2018, Mortality in Puerto Rico after Hurricane Maria, The New England Journal of Medicine, 379, pp. 162-170 DOI: 10.1056/NEJMsa1803972

Moatty A., Gaillard J.C., Vinet F., 2017, Du désastre au développement : Les enjeux de la reconstruction post-catastrophe, Annales de géographie, no. 714 (2/2017), Armand Colin, pp. 169-194.

Moatty A., Grancher D., Virmoux C. and Cavero J., « Bilan humain de l'ouragan Irma à Saint-Martin : la rumeur post-catastrophe comme révélateur des disparités socio-territoriales », Géocarrefour [Online], 93/1.DOI : https://doi.org/10.4000/geocarrefour.12918

Vécu et perception des adolescents de la gestion de crise à la reconstruction

A. Moatty, D. Grancher, C. Virmoux, J. Cavero*

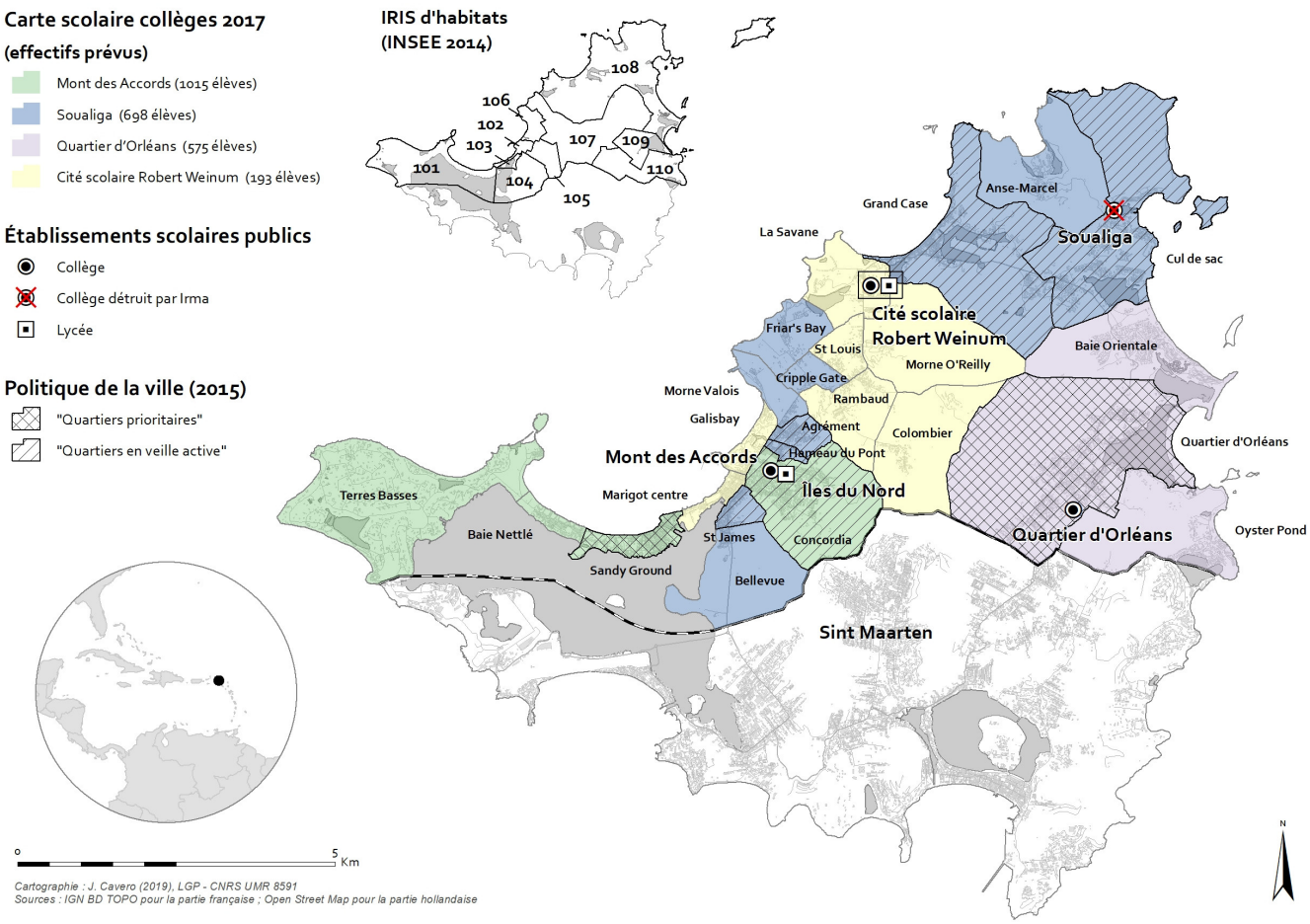
Objectifs et Méthodologie

Nous proposons dans ce travail de considérer les récits des adolescents en tant que données susceptibles d'alimenter les retours d'expérience post-catastrophe. Notre objectif est de comprendre le vécu des adolescents depuis la veille du cyclone et de caractériser les actions qu'ils ont menées en période post-crise. Si leur rôle est reconnu, leurs actions et les contextes de mise en œuvre méritent alors d'être précisés.

Pour recueillir des données, nous avons couplé deux méthodes :

- une cartographie collaborative réalisée avec les élèves de collèges et de lycées afin de reconstituer leur vécu du cyclone Irma. Ils ont ainsi choisi de représenter leurs lieux de vie successifs, les lieux de distribution, les lieux de communication par exemple
- un questionnaire individuel a été aussi distribué pour aborder l'implication individuelle de chaque élève dans la solidarité locale

Aux mois de novembre 2017 et 2018 nous avons réalisé en classe huit interventions de deux heures avec 191 élèves (sur environ 4 000 élèves du second degré) répartis dans quatre des cinq établissements secondaires publics de Saint-Martin (cf. carte ci-dessous). Le protocole, présenté au Rectorat, a été testé et validé dans une classe en 2017, puis reproduit dans les autres classes en 2018 (Moatty et al., 2020).



Présentation du territoire et localisation des établissements scolaires

**Ces travaux ont bénéficié d'un co-financement de la Fondation Croix Rouge et du Fonds Axa pour la Recherche*

À l'échelle internationale, les programmes de réduction des risques de catastrophe envisagent les mineurs comme acteurs de la prévention (Babugura, 2012), pourtant, les adolescents restent un « angle mort » de nombreuses études et des politiques publiques de prévention et de gestion des catastrophes (de Milliano, 2015). Ils sont soit associés à la catégorie des enfants soit à celle des adultes, et sont rarement identifiés comme étant un groupe distinct avec des besoins, des priorités et des ressources spécifiques. En période de crise et post-crise, les adolescents partagent les mêmes problématiques que les autres sinistrés (relogement d'urgence, accès à l'aide gouvernementale et humanitaire, interruption des services, etc.) mais également des problématiques spécifiques telles que l'éloignement plus ou moins temporaire du noyau familial (5 000 enfants séparés de leur famille pendant plusieurs semaines à plusieurs mois après le passage du cyclone Katrina - https://rems.ed.gov/docs/disasterreport_2015.pdf -, l'interruption de la scolarité ou encore l'accessibilité restreinte voire impossible des lieux de loisirs).

Selon les chiffres de l'INSEE (https://www.insee.fr/fr/statistiques/2845639), près de la moitié de la population de Saint-Martin a moins de 30 ans, dont 60 % a moins de 15 ans et 47 % des jeunes de moins de 25 ans vivent dans une famille monoparentale. En 2013, le taux de scolarisation des 6-14 ans est de 98,7 % et de 99 % pour les 15-17 ans. À Saint-Martin, le réseau d'éducation prioritaire concerne 78,8 % des élèves du premier degré. Le cyclone Irma, sur l'ensemble de sa trajectoire « a laissé sans ressources plus de 1,4 million de personnes, dont un quart d'enfants » (UNICEF, 2018). Le 3 septembre 2017 alors que le cyclone s'approche de Saint-Martin, la rentrée scolaire est reportée sine die pour les 8 000 élèves inscrits dans les écoles publiques et les 900 personnels de l'Éducation Nationale. Leur réouverture s'est faite progressivement en fonction des dégâts constatés sur les bâtiments, de leur disponibilité (certains ayant servi d'abri et de centre d'hébergement) et de leur localisation. La priorité a été donnée aux quartiers d'Orléans et de Sandy Ground (cf. carte ci-dessous). À partir des effectifs prévus pour la rentrée 2017 (total de 8519 élèves) et de la date de la réouverture effective de chaque établissement, nous estimons à plus de 250 000 le nombre total de jours manqués pour l'ensemble des élèves de la maternelle à la terminale des établissements scolaires publics, uniquement à cause de la fermeture des établissements.

Principaux Résultats

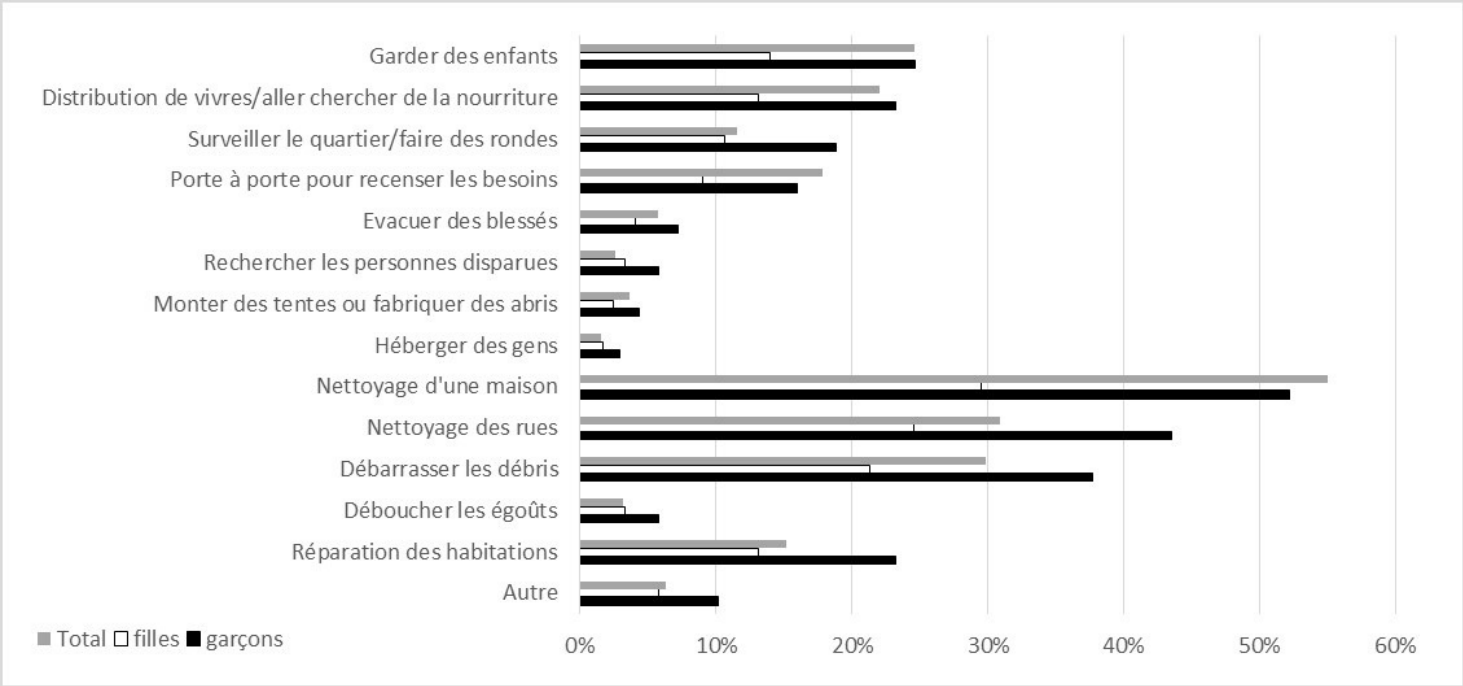
▶ *Retard de la rentrée scolaire*

Les dégâts dus aux cyclones (destruction des habitations, coupures de réseaux...) ainsi que la destruction totale ou partielle des établissements scolaires ont retardé la rentrée scolaire de tous les élèves. De nombreux adolescents ont dû changer plusieurs fois d'habitation pendant mais aussi après le cyclone en partant parfois hors de l'île. D'après nos entretiens avec l'Éducation Nationale et les enseignants, la majeure partie des élèves est revenue pour la rentrée de la Toussaint (le 6/11/2017), et d'autres sont revenus pour celle de septembre 2018. Certaines familles ont été séparées, les pères à Saint-Martin et les femmes et enfants ailleurs (Guadeloupe, Martinique, métropole, étranger), avec pour principale motivation la volonté de scolariser les enfants au plus vite. Le collège de Quartier d'Orléans et la cité scolaire R. Weinum ont rouvert le 2 octobre, et dans les autres établissements publics du secondaire les enseignements ont repris le 6 novembre 2017 (avec un effectif autour de 63 %). Certains établissements scolaires ont été complètement détruits, à l'image du collège Soualiga, définitivement fermé et fusionné avec la cité scolaire R. Weinum, entrainant d'importantes perturbations en termes d'emploi du temps et de conditions de travail, tant pour les enseignants et les élèves (cours condensés sur la matinée ou l'après-midi selon le niveau).

▶ *Des adolescents acteurs de la solidarité*

Les adolescents se sont impliqués dans la reconstruction de leurs quartiers et ont participé à la solidarité entre habitants. Lorsque l'on demande, via le questionnaire, aux 191 élèves « à quelles

actions de solidarité avez-vous participé depuis le passage d'Irma ? », une large majorité des réponses concerne les activités de nettoyage. Ces activités recouvrent le nettoyage d'une maison (55 %) (que ce soit la leur ou bien celle d'amis ou de membres de la famille), des rues (31 %) ainsi que le déblaiement des débris dans l'espace public (30 %). Les adolescents ont également participé aux actions d'entraide telles que la garde d'enfants (24 %), la distribution de vivres (22 %) ou encore la réparation d'habitations (15 %) (cf. figure ci-dessous).



Actions de solidarité réalisées par les adolescents à Saint-Martin après Irma

Dans l'immédiate post-crise, les conditions fortement dégradées, tant en termes d'accessibilité que de disponibilité des ressources humaines et matérielles mobilisables pour le maintien de l'ordre, ont donné naissance à des milices locales autoorganisées. Elles ont été constituées dès le lendemain de la catastrophe à l'échelle des résidences ou des groupes d'habitations voisins, par les sinistrés eux-mêmes. Tous les groupes enquêtés ont évoqué la situation d'insécurité les jours après Irma, en indiquant en particulier des zones pillées. Un peu plus de 12 % des élèves ont déclaré avoir été impliqués dans cette organisation et avoir pris part à des actions de surveillance. Les destinataires de ces actions de solidarité sont d'abord les voisins proches (60 %), l'entourage et la famille de l'adolescent (65 % des membres de la famille). Viennent ensuite, dans une logique de solidarité familiale, les membres de leur quartier (33 %), puis ceux d'un autre quartier (16 %).

La cartographie collaborative permet aux élèves de verbaliser leur vécu mais aussi de découvrir la situation des autres parties du territoire qu'ils connaissent moins, elle présente aussi l'intérêt de donner un cadre pour raconter le récit collectif de la catastrophe en dépassant la singularité des situations individuelles. Ce protocole nous a permis de montrer que les adolescents ont une bonne connaissance du déroulement et des enjeux de la période post-crise sur leur territoire. Le plus souvent restreinte au quartier d'habitation, l'information cartographiée est précise et met en lumière la perception d'inertie et d'inégalité dans le processus de reconstruction pour une tranche d'âge souvent absente des études. Elle nous a aussi permis de compléter l'analyse de la période post-crise faite à partir des données officielles de la préfecture et de la collectivité territoriale.

Recommandations spécifiques aux îles du Nord

Les adolescents saint-martinois ont indéniablement été des victimes, mais aussi des ***acteurs de la reconstruction*** puisqu'ils ont œuvré au nettoyage des rues et maisons, participé aux distributions d'eau et de nourriture et gardé des enfants. Ils ont aussi pris part aux actions de surveillance du quartier, l'évacuation de blessés ou encore la recherche de personnes portées disparues, actions a priori moins adaptées à leur âge.

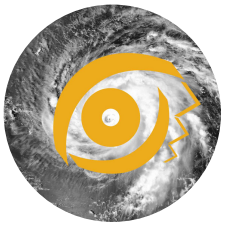
La prédominance du critère de ***proximité géographique*** dans le choix des personnes aidées s'explique d'un côté par les façons de vivre et de pratiquer le territoire, fortement structurées à l'échelle du quartier, voire du bloc de rue ou de la résidence, et d'un autre côté, par la faible mobilité des adolescents. Cette échelle est aussi révélatrice d'une différence majeure avec les actions menées par les adultes, qui s'étendent sur un territoire plus vaste, celui de l'île entière.

- ***Généraliser la démarche de débriefing*** et de retour d'expérience auprès de toutes les générations (adolescents compris, le protocole de cartographie collaborative est un support efficace pour construire et discuter d'un récit collectif),
- Proposer des ***outils pédagogiques fondés sur des exemples issus des évènements historiques locaux***, et renforcer l'information et la sensibilisation sur la post-crise et reconstruction post-catastrophe en milieu scolaire

Recommandations générales sur la reconstruction

Considérer le ***« nombre de jours de classe manqués »*** comme un indicateur de l'ampleur de l'évènement et de vitesse de la reconstruction

En cas d'évènement, ***associer et s'appuyer sur les structures existantes*** (associations, collectifs, scouts, MJC, etc.) pour encadrer et valoriser les actions liées à la reconstruction, en adaptant les missions à l'âge et aux compétences des participants. Les activités réalisées (nettoyage simple, soutient aux personnes âgées, distributions) sont valorisantes pour les adolescents et permet de leur attribuer un rôle adapté.



Pour aller plus loin

Babugura A., 2012. Children, youth and disaster. In Wisner B., Gaillard J.-C, Kelman I., The routledge handook of hazards and disaster risk reduction. Routledge handbook, p. 436-446.

De Milliano C., 2015. Luctor et emergo, exploring contextual variance in factors that enable adolescent resilience to flooding. International Journal of Disaster Risk Reduction [En ligne], vol. 14, p. 168-178. DOI : 10.1016/j.ijdrr.2015.07.005

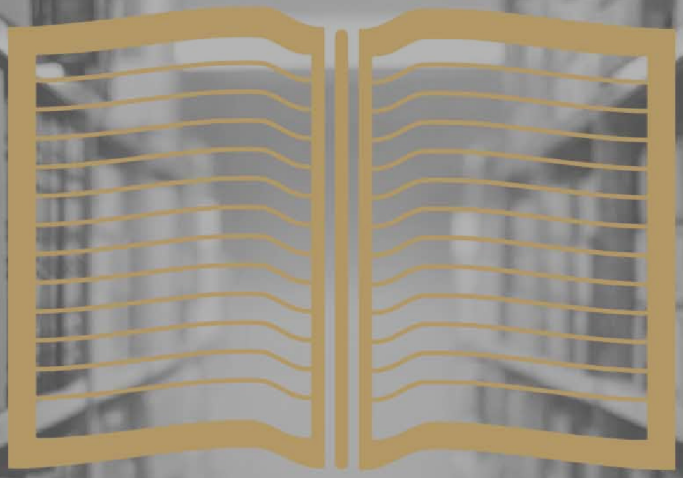
Moatty A., Grancher D., Virmoux C., Cavero J. (2020). Organisation de la post-catastrophe après Irma à Saint-Martin. EchoGéo [Online], 51 | 2020, DOI : https://doi.org/10.4000/echogeo.19017

Oiry A., & Grancher D., (2019). Le milieu scolaire : un terrain privilégié de l'enseignement et/ou de l'éducation aux risques naturels dans les territoires d'outre-mer ?. Les Cahiers d'Outre-Mer, 280(2), 567-598. https://doi.org/10.4000/com.10693

UNICEF, 2018. Action humanitaire pour les enfants en 2018. Vue d'ensemble, 20 p.

CLASSEUR #4

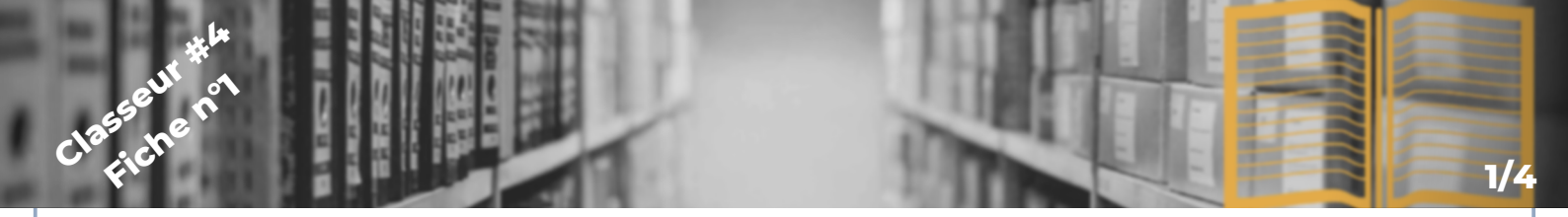
Transfert des Apprentissages du RETEX



Les transferts d'apprentissages ont pour objectif de contribuer au renforcement des capacités de réponses et d'adaptation individuelles, collectives et institutionnelles face aux cyclones et leur cortège d'aléas locaux dans un contexte de changement climatique.

© Moatty, 2018

Pour accéder aux Livrables sur le site :
HTTPS://TIREX.UNIV-MONTP3.FR/6-LIVRABLES.HTML



Valorisation de l'information géographique dans le cadre d'un RETEX : Quel(s) outil(s) pour quel(s) public(s) ?

E. Lagahé, M. Péroche, F. Leone, A. Barbier, T. Candela, D. Grancher

Objectifs et Méthodologie

Les trois premières années du programme de recherche ANR TIREX ont permis de capitaliser et valoriser une grande quantité de données dans le cadre du transfert de connaissances Les données spatiales récoltées, produites et analysées sont conséquentes et tout aussi diversifiées que leurs méthodes d'acquisition (dommages aux infrastructures et environnementaux par diagnostic territorial, relevés bathymétriques par sondage, acquisition d'images aériennes par drone, relevés géomorphologiques enquêtes par questionnaires et entretiens auprès des populations locales). Elles s'étendent depuis des échelles très localisées (bâtiment) à des emprises plus vastes (île, inter-île, archipel). Cette diversité de données a été harmonisée et cartographiée au moyen de plusieurs outils de SIG, DAO et modèles de simulation (©Arcgis Dekstop, ©Qgis, ©Adobe Illustrator, modèle AROME). Elle offre un large panel de représentations cartographiques destinées à supports statiques ou dynamiques en ligne. La mise en carte interactive de l'information spatiale est un enjeu important du projet TIREX pour transmettre efficacement les apprentissages du RETEX et développer un porté à connaissance durable auprès des décideurs et des populations exposés au risque cyclonique.

Le transfert des connaissances entre les producteurs et les utilisateurs de la donnée géographique est une partie centrale et essentielle du RETEX scientifique (cf. figure à gauche). Son originalité réside dans son aspect continu avec un transfert de connaissances volontairement dynamique et interactif avec les publics cibles. Bien qu'il existe des visuels éditables, les supports de valorisation choisis sont principalement numériques : il s'agit du site internet du projet TIREX et de l'utilisation de la plateforme Arcgis Online et ses applications associées (©Story Maps, ©Web Application, ©Dashboard).

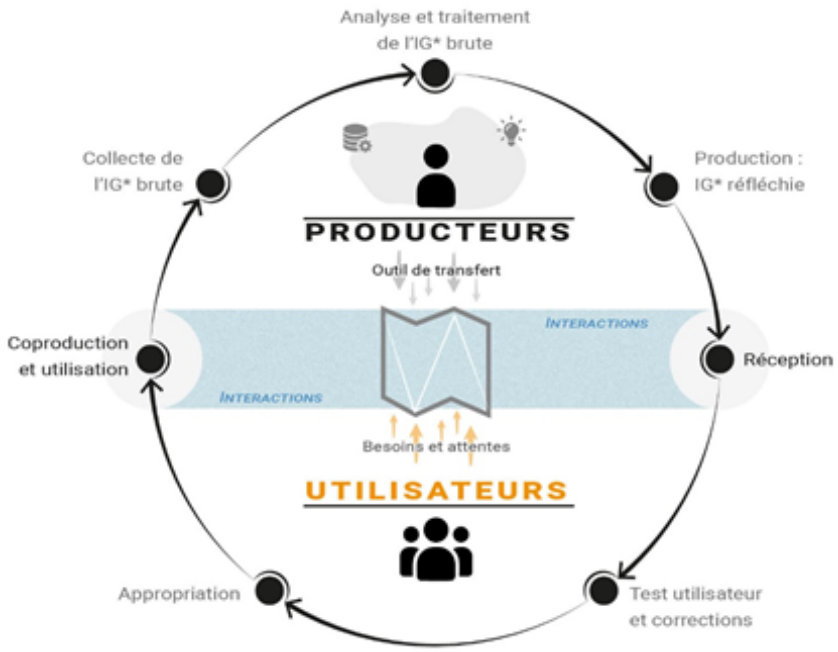


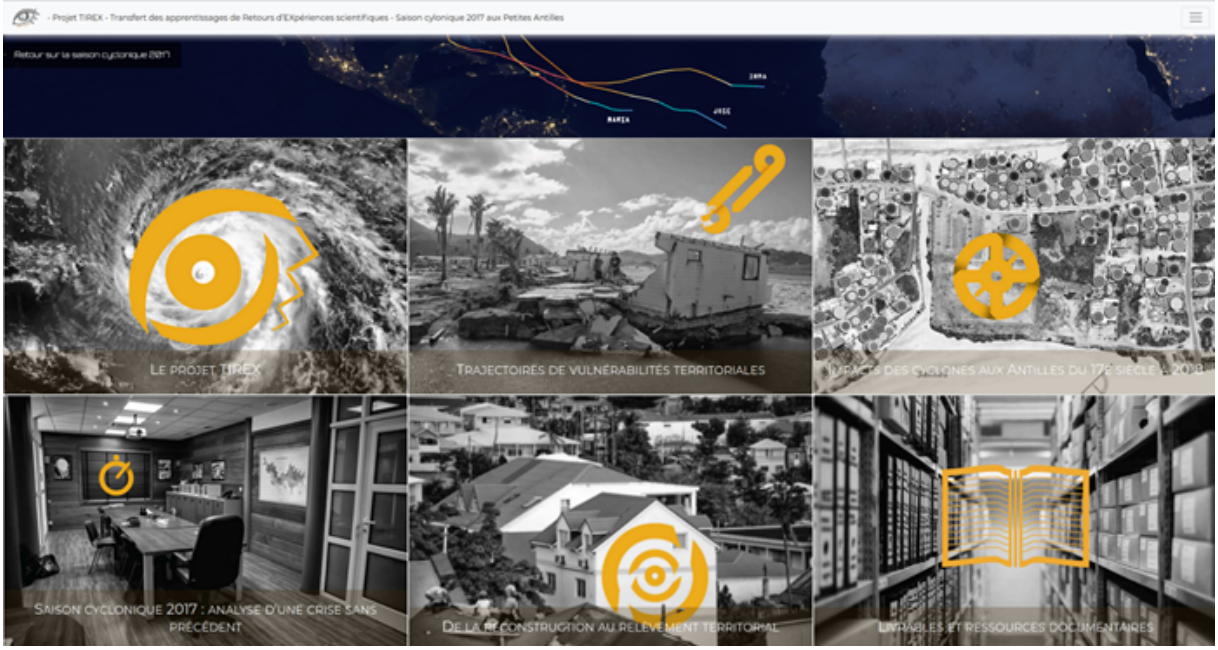
Schéma théorique de la production de l'information géographique et de son transfert dans le cadre d'un RETEX scientifique.
IG : Information Géographique.*

Principaux Résultats

Le site internet du projet TIREX

Le site internet du projet TIREX est accessible via le lien suivant : https://tirex.univ-montp3.fr.
Il fait office de vitrine pour l'ensemble des productions scientifiques du projet.

Il cible dans un premier temps un public plutôt averti avec une volonté forte d'ouvrir la connaissance à un public plus large.



Capture d'écran de l'interface du site internet du projet TIREX

D'un point de vue technique, son architecture est basée sur celle développée pour deux autres sites internet EXPLOIT (https://exploit.univ-montp3.fr/) et C3AF (https://c3af.univ-montp3.fr/). Le site se compose de six onglets (ou pages) qui reprennent les tâches du projet (cf. figure ci-dessus).
Sa conception repose sur l'accessibilité des livrables et le partage de leur contenu. Aussi, une réflexion particulière a été menée sur l'accès aux références bibliographiques et sur la charte graphique qui se veut épurée. Avec sa présentation plutôt académique qui se décline sous forme de grands titres et sous titres, on retrouve des définitions très généralistes pour aboutir à des résultats pointus issus du projet.
Cette disposition dite « en entonnoir » lui confère un aspect classique et pédagogique. Les outils utilisés pour alimenter le site internet sont de différentes natures. Ils sont exploités de façon complémentaire dans le but de créer des visuels attractifs. La bibliothèque ©Amchart4 (https://www.amcharts.com/) utilisée propose des éléments graphiques interactifs et ludiques prêts à l'emploi. Même si des notions en langages HTML et JavaScript sont nécessaires pour adapter certains graphiques, leur utilisation reste simple et facile d'accès.

Les huit Story Maps

Huit Story Maps ont été réalisées pour valoriser les données issues du projet TIREX. Avec une charte graphique unique pour chacune d'elle, elles livrent une version esthétique, vivante et originale des contenus scientifiques du projet.

Elles sont accessibles via un lien depuis le site internet et réparties selon l'architecture de ce dernier (cf. figure page suivante) et sont organisé comme suit :

T0 *Référence onglet site internet :* Le projet TIREX
Titre des story Maps associées : TIREX, en immersion / Plonger au cœur d'un RETEX scientifique
https://um3.maps.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=f68c6f2cd84340ba979dcd25a549ecd7

T1 *Référence onglet site internet :* Trajectoires de vulnérabilité
Titre des story Maps associées : IRMA, des vies cyclonées / Les populations racontent leur vécu de la crise avant, pendant, après
https://um3.maps.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=a71cda23d2be43e48be6ef33215cf304

T2 *Référence onglet site internet :* Impacts des cyclones aux Antilles du 17ème siècle à 2018
Titre des story Maps associées : Les infrastructures à l'épreuve d'Irma / Quantifier et spatialiser les dommages
https://storymaps.arcgis.com/stories/6e9158a06e3345febe0dd56ec1e0f1de

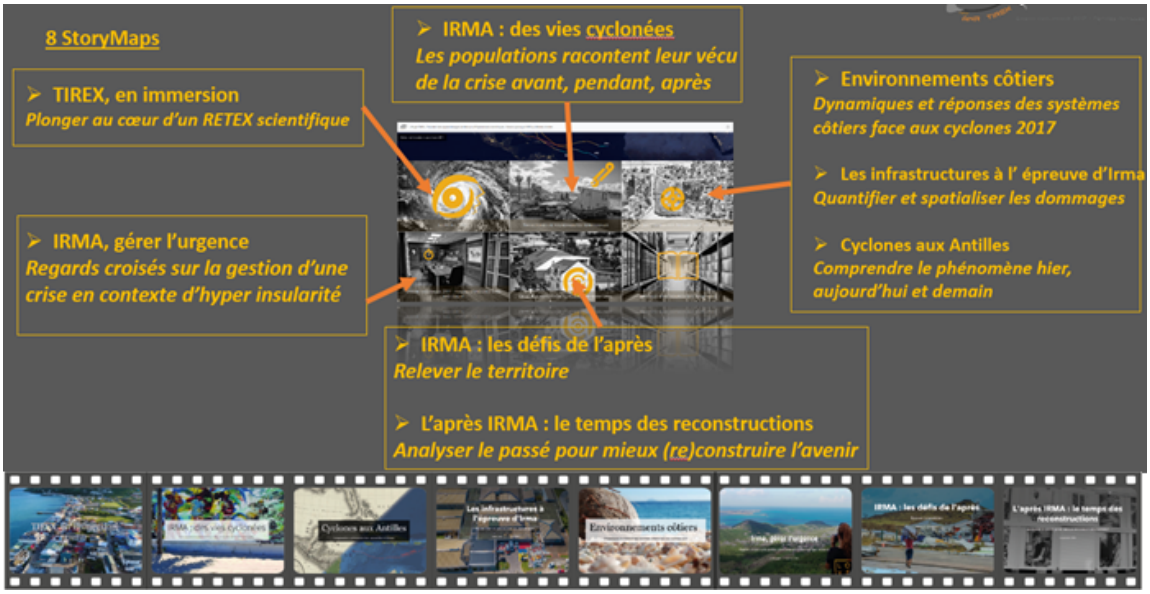
Titre des story Maps associées : Environnements côtiers / Dynamique et réponses des éco-morpho-systèmes côtiers face aux cyclones 2017
https://um3.maps.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=0624664f7c0f420b90c7e8addfe14eed

Titre des story Maps associées : Les cyclones aux Antilles / Comprendre le phénomène hier, aujourd'hui et demain
https://um3.maps.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=a5740ccb868446ec84ee3a11123660ef

T3 *Référence onglet site internet :* Saison cyclonique 2017 : analyse d'une crise sans précédent
Titre des story Maps associées : IRMA, gérer l'urgence / Regards croisés sur la gestion d'une crise en contexte d'hyper insularité
https://storymaps.arcgis.com/stories/6cb36221e8b743f3b89859afa77a8095

T3' *Référence onglet site internet :* De la reconstruction au relèvement territorial
Titre des story Maps associées : L'après IRMA : le temps des reconstructions / Analyser le passé pour mieux (re)construire l'avenir
https://storymaps.arcgis.com/stories/a09226c19d7c442aaf1709f4c8bf20de

Titre des story Maps associées : IRMA : les défis de l'après / Relever le territoire
https://storymaps.arcgis.com/stories/d7e5d8230ba24d3dadf43bc0699c0cf9



Répartition des huit Story Maps en fonction de l'architecture du site internet du projet

Développée par la société ESRI® pour sa plateforme ©Arcgis Online, ©Story Map est une application pouvant inclure des supports narratifs et multimédias (images, vidéos, audios). Les Story Maps sont une application à privilégier pour partager de l'information géographique car elles permettent de présenter un sujet, un évènement, un site ou bien encore une expérience dans son contexte géographique. Pour résumer, les Story Maps sont des narrations

géographiques à forte composante multimédia. Ce support dynamique constitue un outil pédagogique intuitif et accessible au plus grand nombre. Néanmoins, pour un effet optimal, il convient d'alimenter la Story Map avec des contenus synthétiques (texte, cartes, graphiques, etc.) et esthétiques. D'autres applications comme ©DashBoard et ©Web Applications complètent les possibilités de mise en carte et d'interactions entre les utilisateurs et l'information spatiale. Ces applications s'intègrent directement dans les Story Maps et disposent de fonctionnalités toujours plus innovantes, régulièrement mises à jour par la société Esri®. Elles sont basées sur la technologie de sites web réactifs, c'est-à-dire que leur contenu s'adapte aux différents supports mobiles tels que les smartphones et/ou tablettes

Recommandations organisationnelles

+ Maintenir un ***échange régulier entre les partenaires du projet*** pour d'une part, améliorer l'interconnaissance des procédés d'acquisition, d'analyse et de traitement des données spatiales, et d'autre part favoriser l'interdisciplinarité.

Orienter le transfert de connaissances sur le ***moyen à long terme à l'échelle du territoire***, vers les institutions locales.

La diffusion et l'appropriation des résultats par le grand public dépendront également des ***relais mis en place localement*** pour favoriser leur diffusion.

Recommandations techniques

+ Choisir une ***solution technique appropriée de stockage de la donnée***, et s'assurer de sa viabilité et de sa maintenance tout au long du projet, et au-delà.

Centraliser la production des données spatiales harmonisées et veiller à leur interopérabilité, pour en faciliter l'organisation puis le partage en fin de projet.

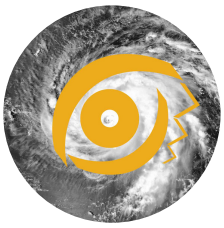
Garantir une ***maintenance fiable et assurer des mises à jour régulières*** sur les supports numériques en ligne (site internet et Story Maps) après l'arrêt du programme de recherche.

S'assurer de ***respecter la réglementation*** concernant les droits de diffusion, droits d'auteurs et de confidentialité des données.

Proposer un ***espace dédié et ouvert aux commentaires*** des utilisateurs sur le site internet, afin de favoriser les échanges avec la population locale.

Utiliser les ***réseaux sociaux comme vecteurs de communication*** et prévoir un suivi quasi permanent pour obtenir une plus-value efficace.

Diversifier les supports de communication et prévoir une restitution finale du projet localement, sous la forme de rencontres, ateliers, colloques.



Pour aller plus loin

Peroche M., Lagahé E., Candela T., Grancher D., Leone F., Robustelli M.(soumis). L'information géographique et la cartographie au service des retours d'expériences scientifiques post-catastrophes - Antilles, saison cyclonique 2017, Revue Cartorisk, 24 p.

Candela T., Leone F., Peroche M., Robustelli M. (soumis). Cartographier un territoire cycloné, le cas de Saint-Martin – Saison cyclonique 2017, Petites Antilles Française, Revue Mappemonde, 20p.

Contribution des aéronefs télépilotés (drones) a l'analyse des impacts du cyclone Irma

F. Leone, M. Péroche, T. Candela, T. Rey, F. Vinet, B. Pradel

Objectifs et Méthodologie

En contexte post-catastrophe les moyens aériens représentent une solution efficace pour agir avec rapidité dans un environnement dévasté. Parmi ces moyens, la flexibilité, l'atout économique et les possibilités que peuvent offrir les aéronefs télépilotés, aussi appelés drones, notamment en termes de reconstitutions 3D et de cartographie, en font un outil d'investigation alternatif en pleine expansion. Plusieurs applications de ces relevés par drone ont été menées suite au passage de l'ouragan Irma sur les Antilles françaises du Nord en septembre 2017 (Saint-Martin et Saint-Barthélemy). Elles permettent d'illustrer les potentialités techniques et scientifiques de ces nouveaux outils, les modalités de leur mise en œuvre, mais également de discuter de leurs limites dans le cadre de retours d'expériences post-désastre. Elles ont porté sur l'évaluation fine des dommages sur le bâti, la cartographie de la dispersion des débris liés au vent, la quantification des volumes de débris, l'analyse des impacts géomorphologiques, le suivi de la résilience des écosystèmes côtiers et du processus de reconstructions...

Ces relevés par drone ont été réalisés au cours de quatre missions successives, espacées chacune d'environ 6 mois. Le choix du matériel s'est porté sur un multirotors quadricoptère de marque DJI (modèle Phantom 4 Pro avec capteur optique de 20 mégapixels). Certaines dérogations (survol de zones habitées) et protocoles spécifiques d'approche (à proximité de l'aéroport de Grand-Case à STM), ont pu être établis pour mener à bien ces missions à caractère scientifique. Les temps de vol n'ont jamais excédé les 20 minutes, à une hauteur d'environ 80 m, selon des plans de vols en mode « Double Grid » programmés grâce à l'application « Pix4Dcapture ». La résolution spatiale au sol des images a été de 2,45 cm. Ce type de recouvrement combiné à la haute résolution des images a ensuite permis de produire des reconstitution 3D par corrélation d'images avec pour produits des modèles numériques de surface (MNS) et des orthophotographies mosaïquées. Le gain en résolution finale des images par drone est très appréciable, comparé à la résolution des images aériennes ou des vues satellites Pléiades du service européen Copernicus, fournies deux jours après la catastrophe.

Principaux Résultats

▶ *Intensité des dommages au bâti : drone VS satellite*

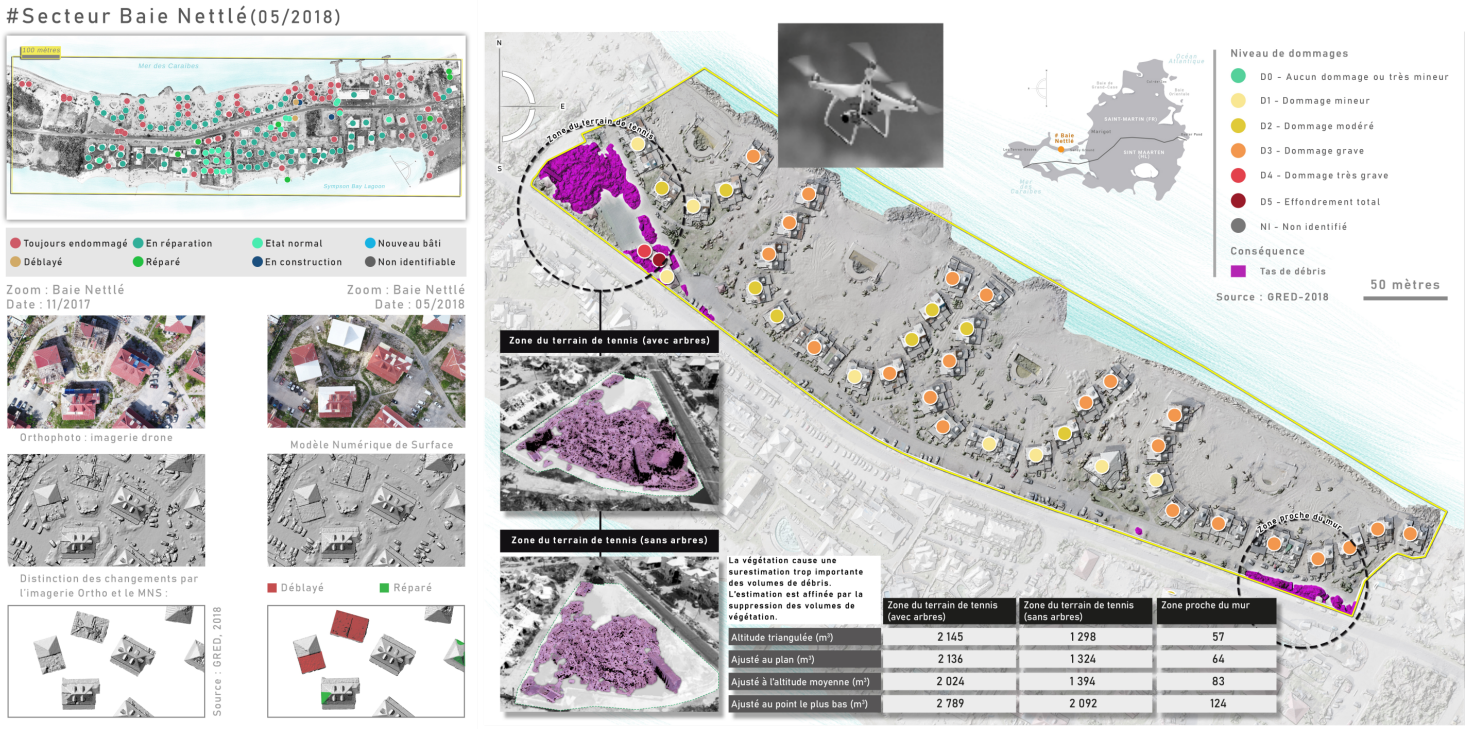
Les drones montrent toutes leurs potentialités lors de la spatialisation des dommages au bâti. Ainsi, sur la base d'une typologie des dommages aux bâtiments associant les effets du vent et de la mer, nous avons pu cartographier sur trois secteurs témoins, les intensités des dommages, afin de les comparer aux estimations fournies par les opérateurs satellitaires au lendemain de la catastrophe.

Si on considère le volume total de bâtiments évalués par chaque opérateur, il apparait que Copernicus évalue beaucoup plus de bâtiments endommagés que le SERTIT, en particulier dans les classes de dommages faibles (ND : « Negligible to slight damage » et MD : « Moderately Damaged »). Comparée à la « réalité terrain » apportée par les drones, cette surestimation est de +36 % pour Copernicus et de +12 % pour le SERTIT. Ces

incertitudes spatiales (problèmes de localisation) et attributaires (niveau de dommage), augmentent artificiellement le volume global des dommages et donc les estimations de coûts associés relayées par les autorités et les médias.

Dispersion des débris cycloniques

La distribution des débris montre une distance de dispersion inversement proportionnelle à la taille visible des tôles projetées. On peut en conclure que pour des rafales de cette vitesse, la zone de danger maximale sur pentes modérées (22° ici) couvertes de végétation arbustive sèche, est comprise dans un rayon d'environ 120 m depuis le point d'émission. Ce résultat empirique pourra servir à modéliser les zones de danger cyclonique liées au vent et informer les populations sur les précautions à prendre à proximité des zones habitées.



	Zone du terrain de tennis (avec arbres)	Zone du terrain de tennis (sans arbres)	Zone proche du mur
Altitude triangulée (m³)	2 145	1 298	57
Ajusté au plan (m³)	2 136	1 324	64
Ajusté à l'altitude moyenne (m³)	2 024	1 394	83
Ajusté au point le plus bas (m³)	2 789	2 092	124

Apport des drones pour l'analyse spatiale des dommages, le cubage des débris et le suivi de la reconstruction (exemple du site de Baie Nettlé, Saint-Martin)

Estimation des volumes de débris par photogrammétrie

Les traitements photogrammétriques des images drones ont permis de préciser les volumes de débris produits par Irma, afin d'en faire un indicateur de catastrophe. Pourtant, on manque cruellement de données précises sur les débris post-cycloniques, leur composition, leur volume et leur tonnage. Les différents tas de déchets encore visibles lors de notre première mission ont pu ainsi être cubés. Après l'analyse des types de déchets et recoupements avec les statistiques fournies par le centre de traitement unique de Saint-Martin (Ecosite), ces volumes ont pu être convertis en poids et extrapolés à l'ensemble de la partie française de l'île. Il en ressort qu'Irma a généré un tonnage de débris que l'on peut évaluer à 60 000 tonnes, soit près de 1,7 tonnes par habitant, pour un volume global de 300 000 m3 non compactés.

Impacts géomorphologiques

L'usage des drones a également facilité l'analyse des impacts physiques sur les morpho-systèmes littoraux des deux îles. Le site de Baie Orientale à Saint-Martin permet par exemple d'illustrer cette démarche qui conjugue une approche intensive in situ et une approche extensive s'appuyant sur la photo-interprétation de photographies aériennes et d'images haute résolution acquises par drone. La qualité des images a par exemple permis de relever les cocotiers couchés et orientés par la

houle entrante et sortante, et d'en faire des marqueurs de pénétration des flux utiles pour calibrer des modèles de submersion marine.
La localisation des laisses de crue par drone a permis d'estimer la surcote cyclonique et les hauteurs maximales des vagues, respectivement de 3 m et de 5 m sur les côtes basses. Ces mêmes traces ont permis de délimiter la ligne maximale du jet de rive. Les ouvrages de protection côtière ont également été endommagés par les vagues et n'ont eu aucun effet amortisseur sur leur énergie, pire, ils ont aggravé les dégâts sur les habitations situées à proximité. Par contre, on a pu identifier le rôle filtrant et amortisseur de houle joué par une mangrove encore en état, mais menacée par l'anthropisation massive de ce littoral.

Recommandations spécifiques aux îles du Nord

La vision en trois dimensions et à très haute résolution apportée par les drones semble difficilement égalable par des approches aériennes classiques ou satellitaires. La vue des façades des bâtiments est en effet un atout indéniable dans l'évaluation des dégâts causés par la submersion marine ; ce type d'aléa n'affectant pas nécessairement les toitures des édifices. Toutefois, en zone urbaine, la prospection aérienne par drone peut être gênée par la concentration des constructions, ce qui peut affecter les prises de vue et dégrader l'état des bâtiments sur les modèle 3D produits. Le faible encombrement et la grande capacité de manœuvre des drones en font actuellement la meilleure solution pour collecter des informations géographiques dans un environnement dégradé et/ou rendu inaccessible.

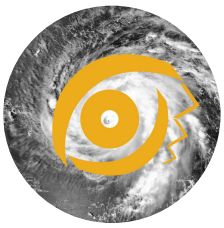
Mais les aéronefs télépilotés présentent encore des inconvénients, comparativement aux moyens aériens classiques. Il s'agit en particulier de leur faible autonomie de vol et de capacité de charge. Bien que certains drones aériens à voilure fixe atteignent une autonomie importante de plusieurs heures, c'est la réglementation de leur usage et leur intégration dans l'espace aérien qui posent alors problème. Ceci est d'autant plus prégnant que nos utilisations s'insèrent dans un contexte post-crise, période propice aux encombrements aériens et à la multiplicité des interventions par différentes catégories d'acteurs. Enfin, et même en présence de toutes les autorisations nécessaires, se pose aussi une question d'éthique en pareilles circonstances. C'est celle du survol à très basse altitude de populations très éprouvées, souvent démunies, et pas toujours disposées à subir une inspection aussi intrusive de leurs biens. Cet aspect est loin d'être négligeable et doit être discuté avant toute mission, au risque de devenir finalement le seul obstacle réel à ce type d'investigation. Les protocoles de vol et d'évaluation des impacts testés par notre équipe peuvent inspirer de futures évaluations post-désastre. Les enseignements tirés contribuent à repenser la prévention sur ce territoire, tant d'un point de vue de son aménagement (repositionnement des enjeux) que des normes de protection à instaurer dans le cadre d'une politique de reconstruction adaptée aux risques cycloniques en contexte micro-insulaire.

Il convient de généraliser ce type d'approche après les cyclones, et ce le plus rapidement possible, avec des moyens légers similaires à ceux employés ici.

Recommandations générales sur la reconstruction

En complément des techniques habituelles de photo-interprétation, les reconstitutions 3D permises par les drones facilitent le suivi temporel et spatial du processus de reconstruction en permettant des calculs de différentiels altimétriques multi-dates. Cette dynamique de reconstruction mérite d'être suivie afin d'en comprendre les modalités, leviers, difficultés et logiques spatiales en couplant observations aériennes et enquêtes de terrain. L'enjeu premier est ici d'observer dans quelle mesure ces reconstructions vont ou non prendre en compte les recommandations de l'Etat en matière de normes de constructions para-cycloniques et d'occupation du littoral suite à la révision du Plan de Prévention des Risques naturels (PPRn) de Saint-Martin.

A la date de juillet 2019, soit 22 mois après Irma, 40 % du bâti fortement endommagé de Saint-Barthélemy étaient totalement reconstruits, 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. Les relevés de terrain et par drone montrent cependant une tendance générale à une reconstruction à l'identique.

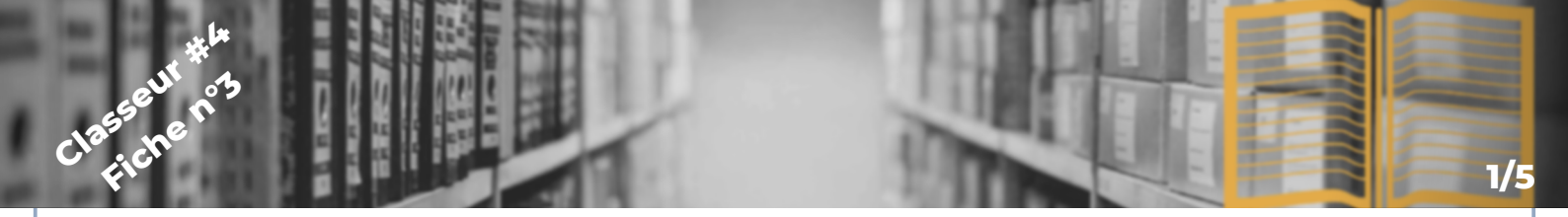


Pour aller plus loin

Apvrille L., Tanzi T., Roudier Y., Dugelay J.L., 2017. « Drone humanitaire : état de l'art et réflexions ». Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection, 213-214, 63-71.

Biscay J.F., Natur G., Barriau D., Scarceriaux C., Verrhiest-Leblanc G., 2018. « Drone et risque inondation, recommandations issues d'une expérience de terrain », 77 p., http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/recommandations-issues-d-une-experience-terrain-a11216.html

Fernandez Galarreta J., Kerle N., Gerke M., 2015. « UAV based urban structural damage assessment using object based image analysis and semantic reasoning ». Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 15, 1087–1101, 16 p.



De la pratique du RETEX scientifique en contexte ultramarin au transfert des apprentissages

Y. Bérard, D. Bechacq, N. Rocle, M. Serot

Objectifs et Méthodologie

Catastrophes « naturelles » et RETEX : intérêts et singularités des Outre-mer

Du point de vue d'une démarche compréhensive et analytique du RETEX, le contexte ultramarin présente différentes singularités et un double intérêt :

- Des territoires réputés particulièrement vulnérables aux risques et catastrophes « naturels », faisant l'objet d'investissements politiques renouvelés (« territoires pilotes » de la nouvelle gestion publique et projet de loi en cours sur les risques naturels majeurs), et convoqués dans l'élaboration de la « méthode REX positif » suite au passage du cyclone Lenny (Vanssay, et al., 2004), laquelle s'en trouve questionnée à nouveaux frais après la saison cyclonique 2017 aux Antilles ;

- Des territoires marqués par la singularité des « Outre-mer » français, soit des ensembles territoriaux sous influence croisée Nord/Sud, relevant de systèmes politico-institutionnels de type postcolonial, où la question de la domination culturelle par la connaissance ou l'expertise de la « Métropole » (l'État) représente depuis la départementalisation une source non négligeable de « frictions » (Tsing, 2004).

Ces éléments de contextualisation amènent plus globalement à s'interroger sur les conditions de réalisation et de capitalisation des RETEX pour la gestion des risques sur la longue durée dans les Antilles françaises (Desarthe, 2019).
L'enquête repose sur une « immersion participante » : analyse documentaire, enquête par entretiens et observations (réunions de projet, tâches et missions de terrain) ont été menées dans le cadre d'une recherche par projet en-train-de-se-faire (ANR TIREX). Ce faisant, la recherche mobilise une épistémologie réflexive en forme de « retour sur le retour d'expérience » dans une double perspective de socio-anthropologie des connaissances et de co-construction de l'interdisciplinarité, à travers une démarche intégrée au projet TIREX et portée par le LC2S (livrables 4.3 et 4.4).

Du « retour d'expérience » au transfert des apprentissages : hypothèse de travail

Le transfert des apprentissages représente la « quatrième dimension » du RETEX de TIREX (tâche 4 : « Consolidation des outils de transfert des apprentissages »). L'objectif général du projet est de contribuer à la résilience des territoires « cyclonés », en formalisant des conseils utiles au regard de futurs événements météorologiques extrêmes, selon une logique proche du Post-Disaster Needs Assessment qui, bien que conduit par des États le plus souvent, cherche à faire émerger des opportunités de changement (Build Back Better) à partir des besoins identifiés.

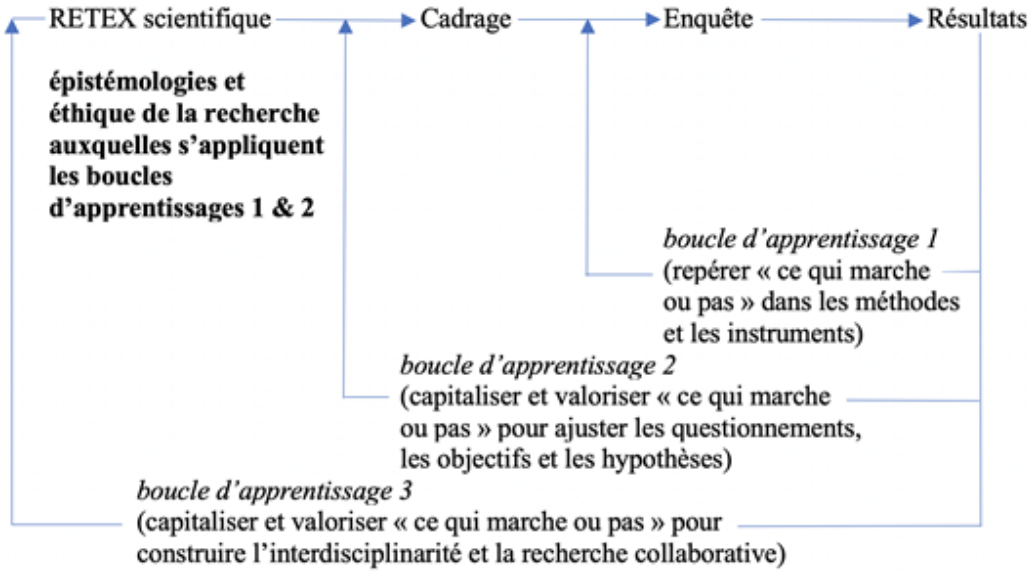
Le choix de l'expression « sharing learning » pour traduire en anglais le RETEX conduit dans le projet illustre cette démarche. Dans cette optique, l'étude du transfert des apprentissages amène à prendre au sérieux le « bouclage » du RETEX scientifique, en considérant à la fois ses fondements pratiques et ses effets sociaux.
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 les mises en œuvre de

ses méthodologies, de « ce qui ne marche pas » comme de « ce qui marche », permet de consolider le transfert de ses apprentissages dans la réalité. Nous proposons de formaliser cette démarche réflexive interne au projet TIREX par un enchaînement de trois « boucles d'apprentissages », allant des résultats aux épistémologies et à l'éthique de la recherche en passant par l'enquête et le cadrage du RETEX (cf. figure ci-dessous).

Principaux Résultats

Le « bouclage » du RETEX en question

Diffuser les résultats du RETEX à travers toute l'organisation, s'assurer que les mesures correctives ont été intégrées, telles sont les deux manières habituellement retenues pour déterminer le « bouclage » du RETEX. Ce faisant, celui-ci ne se pose pas forcément dans les mêmes termes selon le contexte, le cadre et les objectifs, autrement dit, selon la situation d'expertise dans laquelle s'inscrit le RETEX et la forme qu'il peut y prendre (technique, scientifique ou institutionnelle).



Le RETEX scientifique « au carré », un triple processus d'apprentissage

La cumulativité des expériences, l'horizontalisation (organisation dite adaptative et apprenante), voire la coopération régionale et internationale (entre organismes nationaux ou entre processus national et processus multinational), sont autant d'enjeux qui caractérisent les transformations en cours des pratiques de RETEX (lessons learned), dans les domaines tant civil que militaire et dans des secteurs aussi variés que la sécurité, l'environnement ou la santé, où l'outil numérique joue déjà un rôle important et est appelé à jouer un rôle croissant.

Dans cette veine, le « bouclage » du RETEX n'en soulève pas moins plusieurs interrogations :

Q1 Sur ce qu'on retient, soit souvent ce qui a fait défaut ou a échoué, avec le risque d'invisibiliser ce qui a réussi et donc de limiter l'apprentissage des « solutions » ?

Q2 La diversité des formes de RETEX (technique, scientifique, institutionnel) concourt aussi à une certaine « atomisation » de cette pratique d'expertise, qui amène à souligner l'intérêt, voire la nécessité d'une coordination à même de capitaliser les expériences – au final, l'expérience se dissout-elle ou se durcit-elle en connaissances et aptitudes ?

Q3 La routinisation du RETEX, en lien notamment avec la multiplication des exercices dans des territoires régulièrement exposés à divers aléas (comme les ouragans et les tempêtes ou de façon plus aléatoire les séismes et les tsunamis), n'entraîne-t-elle pas à son tour le risque de nourrir un sentiment de sécurité illusoire ?

Dans les territoires ultramarins, la pratique du RETEX face aux risques naturels révèle la centralité de l'expertise d'État et, lorsqu'une expertise scientifique est mobilisée, celle-ci provient le plus souvent de l'Hexagone.

Pour assurer à la fois la légitimité et l'efficacité de ces expertises, l'association des pouvoirs locaux tout comme celle de l'expertise locale constituent deux défis majeurs tant pour la pratique que pour la réussite des RETEX.

TIREX, vers un « RETEX continu »

Le projet TIREX présente une approche syncrétique des méthodes de RETEX existantes et développées au fil des dernières décennies, au croisement des travaux issus des sciences de l'ingénieur et de la géographie des vulnérabilités. Dans cette veine, le RETEX mené dans TIREX se veut à la fois « interactif et continu ». On peut certes se demander dans quelle mesure un RETEX en continu relève toujours de la logique du « retour d'expérience ». La dynamique cumulative, associée à celle d'emboîtement à 10 ou 20 ans de TIREX dans d'autres projets (passés, en cours et à venir) sur les risques et catastrophes « naturels » aux Antilles (tel C3AF) enjoint ici à rapprocher la démarche d'une perspective d'observatoire intégré. La volonté d'instaurer des liens pérennes avec les acteurs locaux (qu'ils soient gestionnaires de crise ou universitaires), en répétant les collaborations d'un projet à l'autre, en est sans doute l'une des meilleures illustrations.
Ce faisant, plusieurs tensions peuvent être relevées à partir de l'enquête :

- **D1** Entre une dynamique cumulative « en continu » (in itinere) et une dynamique croissante de recherche par projets (financements, évaluations, livrables, etc.), qui répondent sinon d'injonctions du moins d'attentes contradictoires, ne facilitant pas la coopération entre projets ni la mutualisation des données (ainsi, l'appel ANR Flash « Ouragans » financent trois autres projets sur des problématiques connexes à la fois entre elles et à TIREX : APRIL, DéPOs, ReLeV)

- **D2** Entre un modèle diffusionniste (publications, site Web, guide de la reconstruction, dans lequel s'inscrit, par exemple, la présente fiche) et un modèle co-productif (« jeu sérieux ») de la connaissance, ici repérable au niveau des principaux outils du transfert mobilisés

Parmi les effets de ces « frictions » sur le projet, les attentes et besoins locaux tout comme régionaux en matière de RETEX ne sont pas étudiés dans le temps imparti et les liens avec l'expertise locale (comme, par exemple, à Saint-Martin) restent limités.

Recommandations à destination des producteurs de RETEX scientifiques et de leurs commanditaires

+ *Sur l'éthique de la recherche en situation post-catastrophe*
Du point de vue de l'éthique de la recherche, deux difficultés appellent d'abord à nourrir quelques réflexions :

- Le risque de surétude : dans l'appel ANR Flash « Ouragans » se pose en effet la question de la coordination entre des projets par certains aspects proches ou qui se recoupent partiellement, alimentant un processus de sur-expertise (« surpâturage »), fréquemment observé dans le monde des catastrophes « naturelles », ici majoré par l'insularité et la modeste superficie du territoire le plus concerné, Saint-Martin – ainsi, « on se marche sur les pieds » (bilan à mi-parcours de l'appel à projets de l'ANR, novembre 2019)

- A cela s'ajoute une autre tension observable entre stratégie scientifique et éthique de la recherche, et ceci d'autant plus en contexte ultramarin où la recherche par projet a

tôt fait de s'apparenter à une pratique « prédatrice » ou « néo-extractiviste » des connaissances (avec ses divers bénéficies symboliques pour les chercheurs en termes de publications ou de carrière), rejoignant un débat plus général sur l'éthique de la recherche post-catastrophe en situation postcoloniale (Gaillard & Peek, 2019)

Dans ces conditions, une triple recommandation peut être avancée à destination des producteurs de RETEX scientifiques :

- Avoir un objectif clair
- Prendre en compte l'expertise et les savoirs locaux
- Se coordonner avec les acteurs locaux

Là où les pratiques de RETEX tendent à être internalisées, il convient d'établir de « vraies » relations de confiance et d'en appeler à une participation active des stakeholders.
Plus largement, l'intégration de ces enjeux éthiques dans les programmes des commanditaires et bailleurs de RETEX scientifiques ou d'évaluations post-catastrophes (bien souvent des gouvernements ou des agences gouvernementales) pourrait favoriser une diminution des risques susmentionnés et une coordination entre producteurs de RETEX d'une part et entre producteurs de RETEX et acteurs locaux d'autre part.

+ *Sur l'articulation entre RETEX scientifique et RETEX institutionnel*
D'autres « frictions » peuvent ensuite être relevées entre logique scientifique et logique institutionnelle :

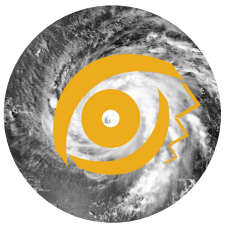
- RETEX scientifique et RETEX institutionnel répondent il est vrai à des temporalités souvent différentes, voire divergentes, liées avant tout aux normes et protocoles d'enquête qui respectivement les commandent, susceptibles d'entraîner un frein à leur articulation
- Plus largement, l'inscription des RETEX scientifiques et techniques dans l'action publique sur les risques et catastrophes « naturels » et l'appropriation de leurs résultats sous des formats institutionnels variés expose de manière indirecte leur « bouclage » à la critique et aux résistances des pouvoirs locaux, voire à celle des populations (comme l'illustrent singulièrement les controverses autour de la révision du PPRn de Saint-Martin après le passage du cyclone Irma) – dès lors, comment produire un « savoir actionnable » face à des intérêts antagonistes ?

Ici, il convient de rappeler que la vie politique antillaise se caractérise, entre autres, par une étroite proximité entre action publique et action collective, élites politiques et économiques locales, qui se révèle propice tant aux « dérives organisationnelles » qu'à l'innovation sociale et aux solidarités « nouvelles » (intergénérationnelles ou inter-îles par exemple). Si le constat n'est pas nouveau, il en ressort que le transfert des apprentissages des RETEX (fussent-ils scientifiques ou institutionnels) n'échappe pas aux contraintes et aux champs de forces politiques du ou des territoires concernés. De là résulte une interrogation plus fondamentale sur la place et le rôle de l'État outre-mer, dont la présence est certes forte mais la puissance relative, surtout lorsqu'elle touche au « contrat social » de ces territoires et de leurs populations, que résume bien l'expression de « colosse aux pieds d'argile » (J. Daniel).

La recommandation qui pourrait être associée à ces constats relève d'une association étroite avec les pouvoirs publics (locaux et nationaux bien souvent) en amont d'une démarche de RETEX, afin de stabiliser, autant que faire se peut, les « termes de référence » liés à ladite démarche (notamment en lien avec les temporalités des différentes actions à mener) et d'asseoir les conditions du « bouclage » du RETEX autour d'un triptyque crédibilité, légitimité et pertinence pour l'action.

Recommandations générales sur la pratique du RETEX scientifique : leçons apprises et défis pour l'Outre-mer

- Trois leçons de l'enquête au miroir de l'actualité (Covid-19), ce que l'Outre-mer nous apprend sur la pratique du RETEX scientifique :
  - ***Leçon n°1 :*** 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
  - ***Leçon n°2 :*** 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
  - ***Leçon n°3 :*** faciliter la co-construction transversale ou horizontale (« par le bas », les territoires, l'intégration des savoirs locaux, etc.) à rebours d'un élitisme scientifico-administratif « du Nord » (ou technocratisme, « par le haut »), 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
- Entre RETEX scientifiques, politiques post-catastrophes et résilience territoriale, au-delà de la seule gestion de crise, deux défis à relever pour l'Outre-mer :
  - ***Défi n°1 :*** 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
  - ***Défi n°2 :*** 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 », dont la vision naturaliste des changements environnementaux n'a pas le monopole



Pour aller plus loin

Desarthe, J. (2019). Les RETEX dans l'histoire : une pratique ancienne de gestion des risques, in Retours d'expériences post-catastrophes naturelles, Montpellier : Presses universitaires de la Méditerranée, 19-30.

Gaillard, J.-C. & Peek, L. (2019). Disaster-zone research needs a code of conduct, Nature, 575, 440-442.

Gilbert, C. (2001). Retour d'expérience : le poids des contraintes, Responsabilité et environnement, 9-24.

Tsing, A. L. (2004). Friction: An Ethnography of Global Connection, Princeton: Princeton University Press.

Vanssay, B. de, Sarant, P.-M., Pagney, F., Léone, F., Colbeau-Justin, L. & Pontikis, R. (2004). « Retour d'expérience » : la reconstruction post-catastrophe. Développement durable et réduction de la vulnérabilité, Éditions de l'Aube, 136-143.

Pour citer ce document :

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) : fiches de synthèse des principaux résultats du projet ANR TIREX à l'attention des décideurs*, 91 p., https://tirex.univ-montp3.fr/6-livrables.html

Vue depuis Fort Louis, © Moatty, 2018