



**HAL**  
open science

## Cartographier un territoire “ cycloné ” : Saint-Martin après le passage de l’ouragan Irma (Antilles du Nord, sept. 2017)

Thomas Candela, Frédéric Leone, Matthieu Péroche, Martin Robustelli

### ► To cite this version:

Thomas Candela, Frédéric Leone, Matthieu Péroche, Martin Robustelli. Cartographier un territoire “ cycloné ” : Saint-Martin après le passage de l’ouragan Irma (Antilles du Nord, sept. 2017). M@ppemonde, 2022, 10.4000/mappemonde.7730 . hal-03835881

**HAL Id: hal-03835881**

**<https://hal.science/hal-03835881v1>**

Submitted on 1 Nov 2022

**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.



## Mappemonde

Revue trimestrielle sur l'image géographique et les formes du territoire

134 | 2022  
Varia

---

### Cartographier un territoire « cyclonné » : Saint-Martin après le passage de l'ouragan Irma (Antilles du Nord, sept. 2017)

*Mapping a hurricane territory: Saint-Martin after the hurricane Irma (northern West Indies, sept. 2017)*

*La cartografía de una zona ciclónica: San Martín tras el paso del huracán Irma (Antillas Menores, septiembre de 2017)*

Thomas Candela, Frédéric Leone, Matthieu Péroche and Martin Robustelli

---



#### Electronic version

URL: <https://journals.openedition.org/mappemonde/7730>

DOI: 10.4000/mappemonde.7730

ISSN: 1769-7298

#### Publisher

UMR ESPACE

#### Electronic reference

Thomas Candela, Frédéric Leone, Matthieu Péroche and Martin Robustelli, "Cartographier un territoire « cyclonné » : Saint-Martin après le passage de l'ouragan Irma (Antilles du Nord, sept. 2017)", *Mappemonde* [Online], 134 | 2022, Online since 27 October 2022, connection on 31 October 2022. URL: <http://journals.openedition.org/mappemonde/7730> ; DOI: <https://doi.org/10.4000/mappemonde.7730>

---

This text was automatically generated on 31 October 2022.



Creative Commons - Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International - CC BY-NC-SA 4.0  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

---

# Cartographier un territoire « cycloné » : Saint-Martin après le passage de l'ouragan Irma (Antilles du Nord, sept. 2017)

*Mapping a hurricane territory: Saint-Martin after the hurricane Irma (northern West Indies, sept. 2017)*

*La cartografía de una zona ciclónica: San Martín tras el paso del huracán Irma (Antillas Menores, septiembre de 2017)*

Thomas Candela, Frédéric Leone, Matthieu Péroche and Martin Robustelli

---

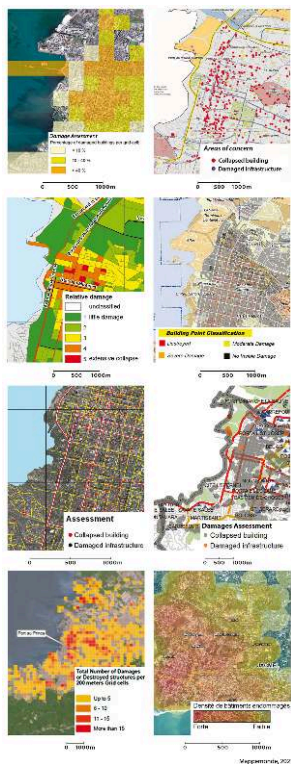
Nous tenons à remercier les membres et partenaires de l'ANR TIREX (<https://anr.fr/Projet-ANR-18-OURA-0002>). Merci également à M<sup>me</sup> Charlotte Terrac, chargée de mission risques majeurs auprès de la Collectivité de Saint-Martin, et à M<sup>me</sup> Hélène de Boissezon, ingénieure d'études au CNES pour la mise à disposition des données du service Copernicus EMS.

## Introduction

- 1 Lors de la saison cyclonique de 2017, le suivi des conséquences désastreuses de l'ouragan Irma sur le nord des Antilles a mobilisé plusieurs services de cartographie rapide internationaux (Copernicus EMS<sup>1</sup>, SERTIT<sup>2</sup>, UNOSAT<sup>3</sup>). Ces services s'appuient sur l'imagerie satellitaire à très haute résolution afin de répondre aux demandes d'anticipation et d'observation des zones touchées immédiatement à la suite d'un événement. Ces tâches consistent à répertorier les dommages sur les infrastructures, les réseaux de communications et l'environnement. Les principales productions cartographiques sont activées dans le cadre de la Charte internationale « Espace et Catastrophes majeures<sup>4</sup> » initiée en 1999 par le Centre national d'études spatiales (CNES) et l'Agence spatiale européenne (ESA) ou par les services Copernicus EMS depuis 2012. Au sein de la charte, 17 agences spatiales mondiales contribuent à l'acquisition et

à la livraison de données spatiales. Ces dernières sont distribuées par l'intermédiaire d'utilisateurs autorisés aux nombreux acteurs impliqués dans la gestion de crise (Stevens, 2008). L'objectif principal est d'apporter un support technique et informatif aux gouvernements n'ayant pas recours aux investigations de terrain classiques et/ou qui sont mal dotés en informations géographiques sur leurs territoires. L'activation de cette charte s'est particulièrement distinguée lors du séisme d'Haïti du 12 janvier 2010. Cet événement a mis en relief certaines problématiques liées à ces services, par exemple, une production pléthorique de données multi-sources rapidement disponibles (plus de 600 cartes) qui a abouti à une forme de « catastrophe cartographique » (Voigt *et al.*, 2011). À cette occasion, Kerle (2013) a pu mettre en avant plusieurs points critiques des processus traditionnels d'analyse des dommages basés sur l'imagerie satellitaire. Il a en particulier démontré l'absence de nomenclature et de style des cartes de dommages, ou bien la trop grande diversité des échelles d'analyse et des modes de représentation des dégâts (**figure 1**). Les chartes graphiques et les règles sémiologiques ont été placées au second plan au profit d'une utilité immédiate de la donnée, avec le risque de nuire à la compréhension de l'information par les destinataires opérationnels de ces cartes.

Figure 1. Diversité de représentations cartographiques des dommages pour le séisme d'Haïti de 2010



Kerle et Hoffman, 2013

- 2 Or la « construction » cartographique doit viser la transmission d'un message à la fois global et précis, et aboutir à une compréhension intuitive des représentations finales. Il est ainsi indispensable de choisir le thème, d'imaginer la carte en fonction des données disponibles et des attentes des utilisateurs finaux (Quodverte, 1997). De la même manière, les incertitudes spatiales et attributaires inhérentes aux procédés

d'identification des dommages (par photo-interprétation d'images satellitaires) méritent d'être intégrées dans les modes de représentation. Cette fiabilité de la donnée ne peut pas être évaluée (Kerle et Widartono, 2008) sans mener des investigations de terrain telles que celles réalisées par exemple à Kobe suite du séisme de 1995 (Ogawa et Yamazaki, 2000). Sur ce type de productions, Kerle (2013) évoque par ailleurs des conceptions cartographiques traditionnellement statiques, distribuées sous la forme de documents PDF multicouches optimisés pour l'impression. De fait, ces cartes sont très rarement mises à disposition des utilisateurs au moyen de représentations dynamiques et interactives de type web-SIG.

- 3 Cet article propose un modèle de construction et de représentation cartographique des dommages appliqué au territoire cycloné de Saint-Martin (partie française) à la suite du passage du cyclone Irma le 6 septembre 2017. Nous introduisons dans un premier temps une grille d'analyse d'un corpus de cartographies de dommages post-cyclones, ainsi qu'une analyse comparative de différentes sources d'évaluations de dommages produites pour Saint-Martin. Les résultats portent à la fois sur les signatures visuelles extraites de ces cartes et les incertitudes liées aux jeux de données mobilisés. Nous proposons ensuite une représentation cartographique adaptée aux échelles synoptiques qui prenne en compte les incertitudes inhérentes à ce type de cartes. Ce travail mobilise les règles de sémiologie graphique et des techniques graphiques avec logiciel libre QGIS. Il alimente une discussion sur les modes de géo-visualisation des cartographies statiques des dommages post-désastre, mais illustre par ailleurs des possibilités de cartographie dynamique et multiscalaire en ligne offertes par la bibliothèque JavaScript libre Leaflet.

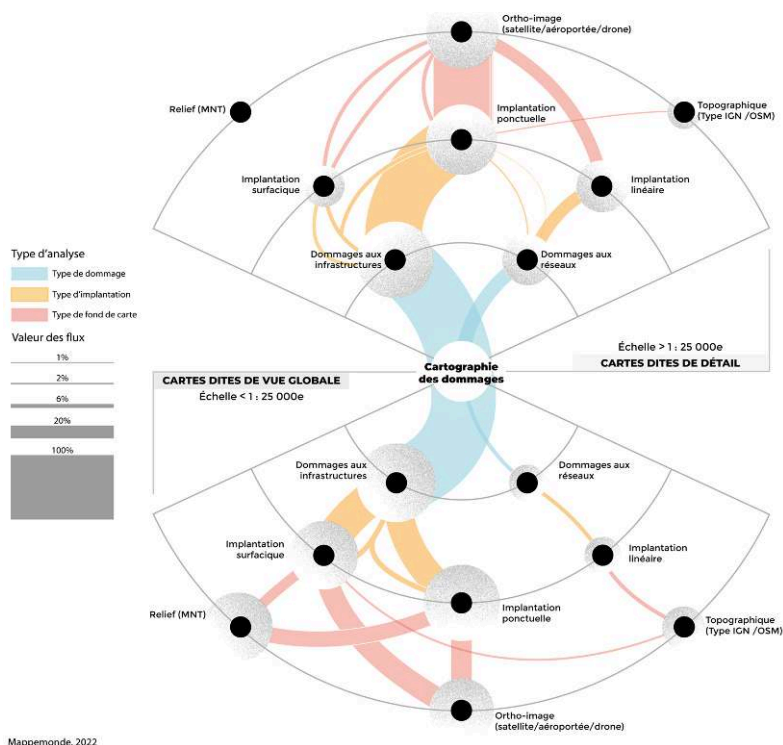
## Analyse des signatures visuelles des cartographies rapides post-cyclones

- 4 La lecture d'une carte nécessite un apprentissage qui peut être facilité par l'analyse des signatures visuelles qui la structurent (Ory, 2016). Ces signatures ont pu être analysées sur un corpus de cartes de dommages post-catastrophes cycloniques s'étendant de 2008 (cyclone Nargis) à 2019 (cyclone Idai). La méthode retenue s'inspire de plusieurs approches dont celles menées par Péroche (2016) et Girres *et al.* (2018) sur les plans d'évacuations « tsunami ». Elle avait permis de déboucher sur une charte cartographique optimisée et adaptée à un large panel d'utilisateurs. Notre dépouillement s'appuie également sur les travaux de Klett (2011) qui a comparé l'hétérogénéité des cartes de dommages produites sur le séisme d'Haïti (2010). La grille d'analyse utilisée porte sur cinq familles de critères. La première renseigne l'origine de la carte (intitulé, organisme de prescription, traçabilité, etc.). La seconde présente les données sur l'aléa et ses modes de représentation. La troisième famille précise le type de dommage cartographié et les modes de représentations utilisés (ponctuels, linéaires, surfaciques). La quatrième décrit les autres informations représentées (axes routiers, bâtis, etc.) ainsi que les échelles retenues. Une cinquième et dernière partie de la grille présente le niveau de détail de la légende (texte, existence d'une échelle, etc.). Cette grille permet donc une analyse comparative des modes de représentation (niveau de généralisation, densité d'information, choix des couleurs, etc.), mais aussi de la sémantique (niveau de précision du texte, informations complémentaires, langues utilisées, etc.) des cartes échantillonnées. En parallèle, nous avons mené un état de l'art

sur les règles de sémiologie graphique et cartographique découlant des travaux fondateurs de Bertin (1967) sur les variables visuelles et leurs prolongements plus récents sur les variables techniques développées notamment par MacEachren (1982 ; 1995) et MacEachren *et al.* (2005).

- 5 Une stratégie « d'échantillonnage aléatoire guidé » (Gros-Désormeaux, 2008) a permis de retenir 134 cartes soumises à l'analyse multicritères. L'échantillonnage a été réalisé en ligne directement depuis plusieurs plateformes de diffusion des services satellitaires (Copernicus EMS, SERTIT, UNOSAT etc.), de la Charte internationale « Espace et Catastrophes majeures », mais aussi de portails d'informations sur les crises humanitaires comme ReliefWeb<sup>5</sup>. Les cartes sont collectées selon les critères de recherche suivants : le type de production (cartographies rapides), le type de données (dommages) et le type d'événements (cyclonique). Les mots-clés employés dans différentes langues (français, anglais, espagnol) sont, par exemple, les termes de « *damage map* », « *grading map* », « *hurricane* » ou encore par les noms officiels des ouragans donnés par l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Une fois l'ensemble de ces filtres appliqués, nous procédons à la collecte « aléatoire » des cartes. Les formats récupérés ont été principalement des PDF, des JPEG, ou des PNG. Bien qu'il soit impossible de quantifier le nombre exact de cartes produites à l'échelle internationale depuis les années 2000, le large panel étudié recouvre toutes les méthodes d'agrégation des dommages, les principaux producteurs de cartographie rapide et plusieurs territoires sinistrés de quatre grandes régions géographiques.
- 6 Elle privilégie les événements dont les dommages sont facilement identifiables par les processus de photo-interprétations et donc cartographiables, c'est notamment le cas pour les séismes (Haïti, 2010 ; Népal, 2015) et les tsunamis en Indonésie (Sumatra, 2004 ; Palu, 2018). Cette méthode est reproductible à partir du moment où les données sont accessibles et que les dommages sont référencés.
- 7 Le dépouillement montre une forte présence de produits issus des services internationaux Copernicus (40 %) et UNOSAT (37 %). Les résultats de nos critères d'analyse ont été synthétisés graphiquement au moyen d'un diagramme (**figure 2**) dont la largeur des flux est proportionnelle aux pourcentages d'observations retenus pour les types de dommages, d'implantation, et de fonds utilisés.

Figure 2. Pourcentages d'observations retenus pour les types de dommages, d'implantation, et de fonds utilisés sein des cartes de dommages post-catastrophes cycloniques : de la carte « de détail » à la carte « de vue globale »



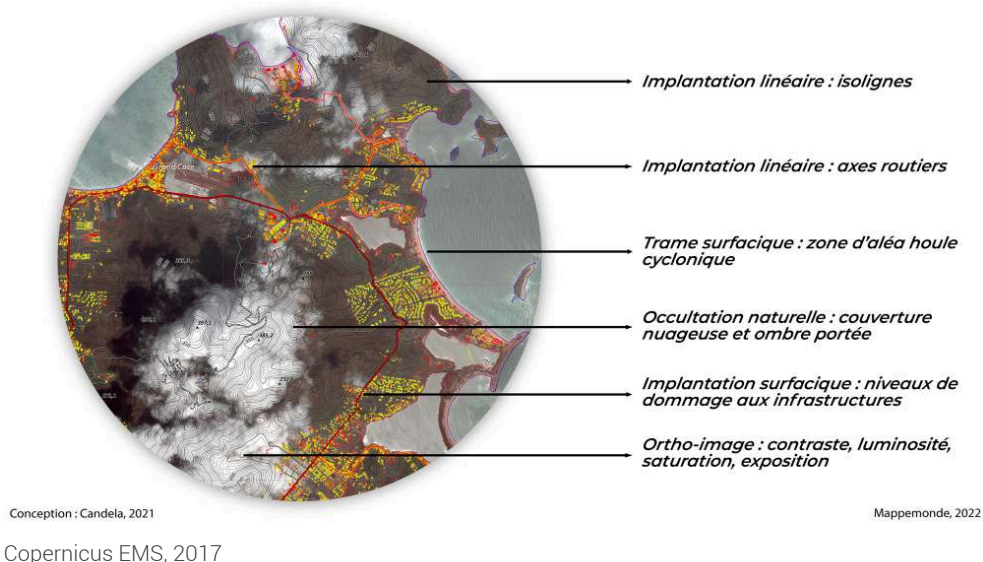
Dépouillement de 134 cartes.

- 8 On peut voir que l'échelle est un critère important. Elle définit le type de représentation et le niveau de détail des données à représenter. Nous parlerons de cartes de « détail ou à grande échelle » pour des échelles supérieures au 1 : 25 000 et de cartes « de vue globale, à petites échelles, ou synoptiques » pour des échelles inférieures au 1 : 25 000. 61 % des cartes de l'échantillon sont réalisées à des échelles supérieures au 1 : 15 000. Pour Copernicus, 87 % des cartes diffusées sont supérieures au 1 : 15 000 alors que pour UNOSAT les échelles sont beaucoup plus variées, pouvant aller jusqu'à 1 : 500 000 pour les plus petites.
- 9 Les principales données cartographiées sont, bien évidemment, les dommages, mais principalement sur les infrastructures (bâtiments, industries, réseaux routiers, etc.). L'analyse montre que leur représentation varie particulièrement en fonction des niveaux d'échelle. Pour les cartes de « détail », tous producteurs confondus, les impacts sur les bâtiments sont visualisés en implantation ponctuelle sur ce bâti (83 %), constat que l'on retrouve pour 84 % des cartes issues de Copernicus. Les implantations surfaciques (17 %) regroupent les surfaces des bâtiments individualisés (6 %), les aires de dommage (8 %) et de densité de bâtiments endommagés (3 %). Les impacts sur les réseaux sont visualisés essentiellement par une implantation linéaire. Ils sont présents sur 27 % des cartes de l'échantillon et la majeure partie (77 %) concerne les productions de Copernicus. Sur les cartes de vue globale les dommages sur le bâti sont principalement représentés par des implantations surfaciques (52 %) et ponctuelles (48 %). Le dépouillement montre qu'à ces échelles, les représentations surfaciques par carroyage ou noyaux de densités (chaleur) de bâtiments sont plus fréquentes.



- 10 Peu de cartes (19 %) donnent une information sur l'aléa impliqué (vent) et les phénomènes associés (submersions marines, inondations, mouvements de terrain, etc.). Ils sont essentiellement illustrés par des variables de points à signature conventionnelle ou iconographique (localisation des mouvements de terrain). Dans le cas d'implantations surfaciques (étendue des zones inondées ou de submersion marine), l'utilisation du grain ou d'une trame pleine de couleur chaude (rouge, orange) est souvent privilégiée. Cela nous amène à considérer la variable de couleur utilisée dans la nomenclature des dommages. Ces couleurs sont principalement chaudes et il est rare de trouver l'inverse. Nous y retrouvons des gammes évoluant du jaune vers le rouge, ou encore l'emploi d'une variation de valeur (proportion de blanc à la couleur utilisée).
- 11 Les cartes « de vue globale » montrent également une plus grande diversité des fonds utilisés contrairement aux échelles « de détail » qui mobilisent principalement des ortho-images (**figure 2**). Pour ces dernières, 94 % gardent leur couleur et sont, à de rares occasions, soumises à un gradient de gris ou de désaturation partielle. Bertin (1967) mettait en avant l'efficacité des fonds de carte inspirés des visions aériennes. Cependant, un des principaux inconvénients de ce choix réside dans la trop forte saturation des couleurs « réelles ». De plus, pour des événements tels que le cyclone Irma, les couvertures nuageuses viennent occulter certaines parties des images satellitaires. Leur usage en fond de carte entraîne également des pertes d'information sur le relief. Pour préserver ce dernier, les services de cartographie comme Copernicus intègrent les courbes de niveau dans leur carte. Ces choix nuisent à la visibilité d'autres informations pouvant être essentielles aux gestionnaires de crise. À titre d'exemple, **la figure 3** fournit un extrait de la carte des dommages post-Irma diffusée par Copernicus à l'échelle 1 : 25 000. Les implantations linéaires des réseaux routiers se confondent avec les couleurs utilisées pour représenter, par ailleurs, les niveaux de dommages sur le bâti et le relief (isolignes). La couverture nuageuse de l'image satellite utilisée en fond et son ombre portée cachent une partie des aires urbaines. Les toponymes et la zone d'aléa (houle) sont difficilement perceptibles du fait de la surcharge visuelle engendrée par ces choix sémiologiques.

Figure 3. Extrait de la carte des dommages post-Irma sur l'île de Saint Martin, partie française



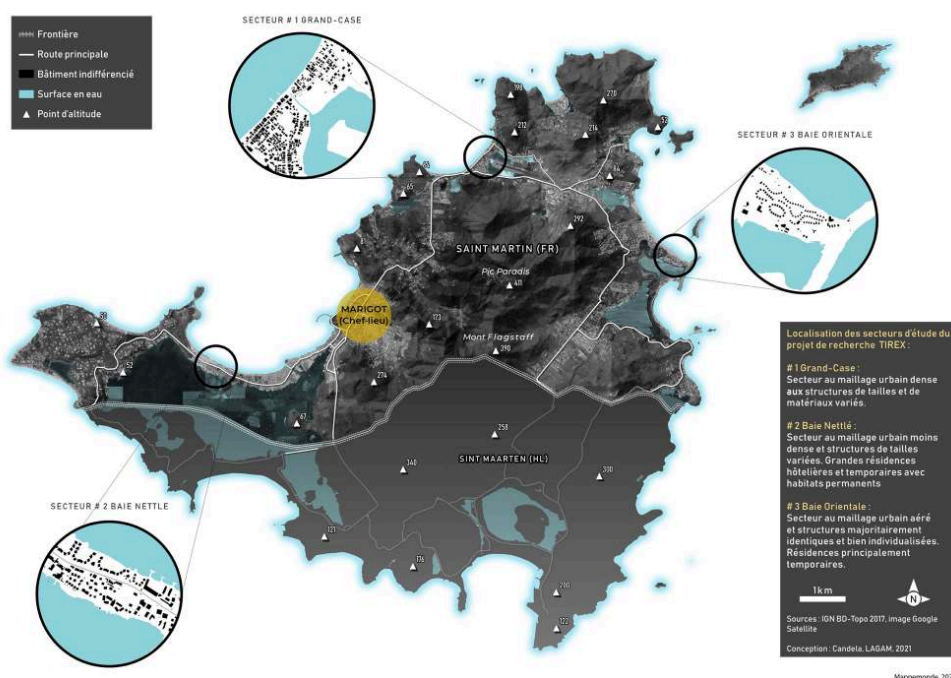


- 12 La **figure 2** montre les tendances statistiques générales observables pour les cartes de dommages post-cyclone. Si les cartes de détail sont caractérisées par des flux statistiques relativement homogènes et convergents, les cartes dites « de vue globale » sont plus diversifiées selon le type d'implantation utilisé. Les disparités observées entre les producteurs de cartes s'expliquent par des méthodes d'analyse et de représentation variées. La critique principale de ces cartes porte sur la surcharge visuelle engendrée par l'implantation de nombreuses composantes, du choix des couleurs, du niveau d'échelle, de généralisation et du fond de carte utilisé. Cette saturation peut avoir un effet négatif sur la lisibilité de la carte (MacEachren, 1982). Cette problématique touche principalement les productions de vue globale qui cherchent à la fois à offrir une représentation synoptique du territoire impacté et à inclure des niveaux de détail et d'information trop précis pour cette échelle. Dès lors, il devient nécessaire de trouver des compromis d'ordre structurel, fonctionnel, visuel ou intellectuel pour optimiser la construction et la lisibilité de ces cartes de dommages (Fairbairn, 2006 ; Jégou et Deblonde, 2012). Nous allons voir que certains moyens d'agrégation et de visualisation peuvent aider à illustrer cartographiquement les dynamiques d'impacts d'une catastrophe, mais que cela nécessite de faire des choix. Prenons pour cas d'étude le cyclone Irma et ses conséquences sur le territoire de Saint-Martin.

## Secteur d'étude

- 13 Notre étude porte sur l'île de Saint-Martin, collectivité française d'outre-mer formant, avec l'île de Saint-Barthélemy, le territoire des îles du nord des Petites Antilles Françaises. Il s'agit d'une île tropicale divisée en deux parties administratives bien distinctes, avec un territoire français au Nord (53 km<sup>2</sup>), et une partie néerlandaise au Sud (40 km<sup>2</sup>) (Redon, 2006). Les zones urbaines se concentrent aux altitudes les plus basses, souvent inférieures à 25 mètres, et à proximité du littoral. Près de 75 000 habitants, dont près de 35 000 du côté français, se partagent ce petit espace en pleine mutation et propice aux catastrophes naturelles (Duvat, 2008, Duvat *et al.*, 2019). Suite au passage du cyclone Irma le 6 septembre 2017 (Rey *et al.*, 2019 ; Duvat *et al.*, 2019 ; Nicolas *et al.*, 2018), plusieurs missions de terrain y ont été menées dans le cadre du projet de recherche ANR TIREX<sup>6</sup> dont l'un des objectifs était de reconstituer les chaînes d'impacts, en particulier sur trois secteurs d'étude (Grand-Case, Baie Nettlé, Baie Orientale) exposés aux mêmes aléas cycloniques (houle et vent) (**figure 4**). Les données récoltées sur le terrain et au moyen de drones ont été complétées et confrontées avec d'autres sources d'évaluation des dommages, quant à elles disponibles à l'échelle de l'île. Il s'agit notamment des données en format *shapefile* des services Copernicus EMS et du SERTIT, ce dernier déployé alors en collaboration avec la Charte et Copernicus EMS.

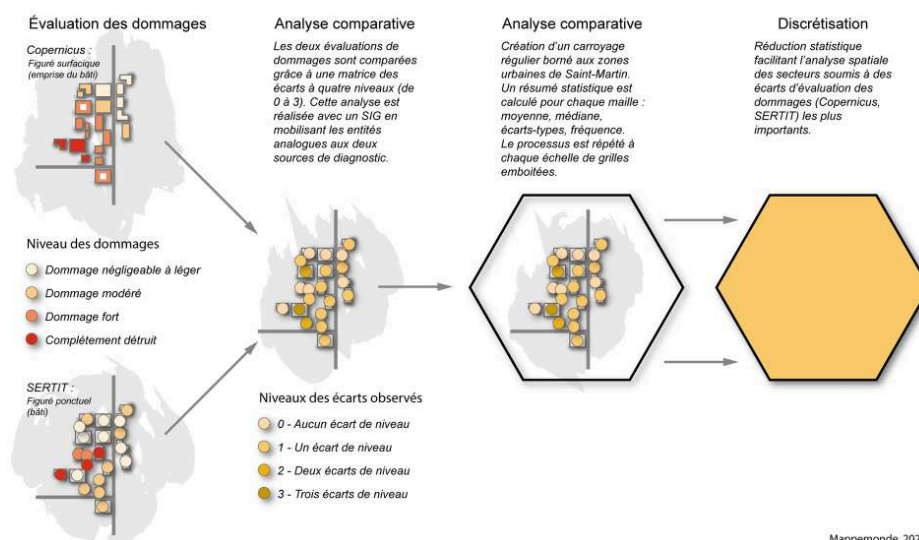
Figure 4. Carte de localisation des secteurs d'étude sur la partie française de Saint-Martin



## Des incertitudes dans l'évaluation des dommages

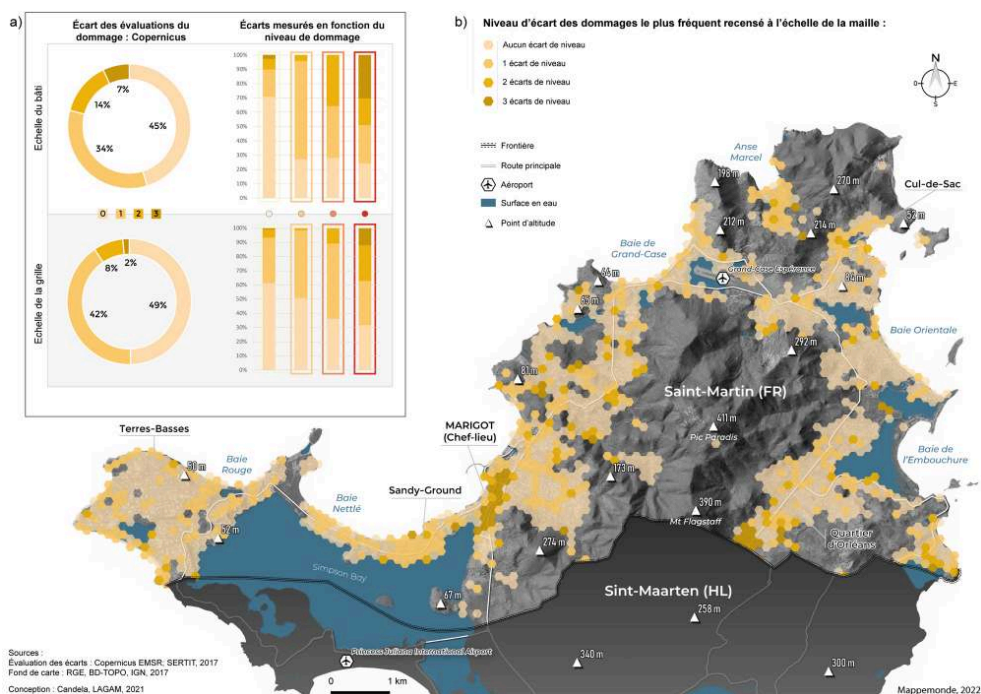
- 14 L'analyse comparative des évaluations de dommages permet d'aborder la question des incertitudes spatiales et attributaires inhérentes à tout procédé de photo-interprétation d'image satellitaire. Dans notre cas d'étude, les données recueillies sur le terrain et par drone (fin octobre 2017) ont été confrontées à celles fournies par les services de cartographie rapide Copernicus EMS & SERTIT à la mi-septembre 2017.
- 15 Afin de mettre en avant des écarts dans l'estimation des dommages, les données ont été rééchantillonnées en sélectionnant uniquement les bâtiments bénéficiant des trois analyses (GRED/terrain, Copernicus EMS/satellite, SERTIT/Satellite) sur nos trois secteurs d'étude. Cet ajustement a été réalisé manuellement sous SIG après avoir établi une échelle d'intensité des dommages à quatre niveaux analogues aux trois bases de données (Rey *et al.*, 2019). Elle se traduit par la typologie suivante : 01-Négligeable à léger ; 02-Modéré ; 03-Fort ; 04- Complètement détruit. La confrontation a ensuite été réalisée, à l'échelle de Saint-Martin (partie française), entre les données des deux services de cartographie rapide (Copernicus EMS et SERTIT) et dont les résultats sont présentés dans cet article (**figure 5**). Le choix de comparer les données du SERTIT et de Copernicus EMS soutient l'idée qu'il existe des facteurs d'incertitude liés à l'incomplétude de différentes sources d'information. Les incertitudes attributaires (niveau de dommages) se cumulent aux incertitudes spatiales (localisation et nombre de bâtiments représentés) observables entre les deux services. Ces données sont pourtant mobilisées par des gestionnaires de crise qui disposent alors d'informations pouvant être incohérentes sur certains secteurs.

Figure 5. Processus d'acquisition des écarts de dommages observés au bâti puis représentation à la maille par résumé statistique



- 16 Les données du SERTIT et du Copernicus EMS sont comparées sous SIG. La première étape a consisté à extraire 10 821 bâtiments communs aux deux bases de données afin de les comparer. Un carroyage a été construit dans un second temps. Il est composé de mailles hexagonales, d'une dimension de 150 m \* 173 m, bornées à la zone urbaine de Saint-Martin. Il agrège les données ponctuelles par un résumé statistique des niveaux des dommages. Ces traitements par surface donnent des résultats proches de ceux observés à l'échelle du bâti et illustrent une certaine représentativité des réalités de terrain. Les variations des écarts de deux à trois niveaux sont ainsi atténuées, passant de 14 à 8 % et de 7 à 2 % (**figure 6a**). De même, lorsque les écarts mesurés en fonction du niveau de dommage sont comparés. Seuls les écarts de deux niveaux ont sensiblement augmenté passant de 19 % à 24 %. Ce lissage s'explique par le processus de généralisation statistique. Les résultats à l'échelle du bâti montrent qu'il n'y a aucun écart dans l'estimation des dommages pour 45 % des mailles tandis que 21 % comptent au moins deux écarts de niveau. Ces altérations sont principalement observées pour les bâtiments moyennement endommagés et complètement détruits. Sur la carte (**figure 6b**), seules les mailles du carroyage possédant une valeur d'écart de [0 ; 1 ; 2 ; 3] sont visualisées. Les mailles sans valeur et/ou non incluses dans la zone urbaine ont été occultées. Ainsi, la figure fait apparaître les écarts de niveau les plus fréquents résumés à la maille. Ces derniers se concentrent sur certains points de Saint-Martin, dont Marigot et le sud du quartier d'Orléans.

Figure 6. Écarts mesurés et comparés à l'échelle du bâti et de la maille (150 m \* 173 m) à partir des évaluations de dommage Copernicus EMS vs SERTIT, 2017 (a), et représentation spatiale sur la partie française (b)

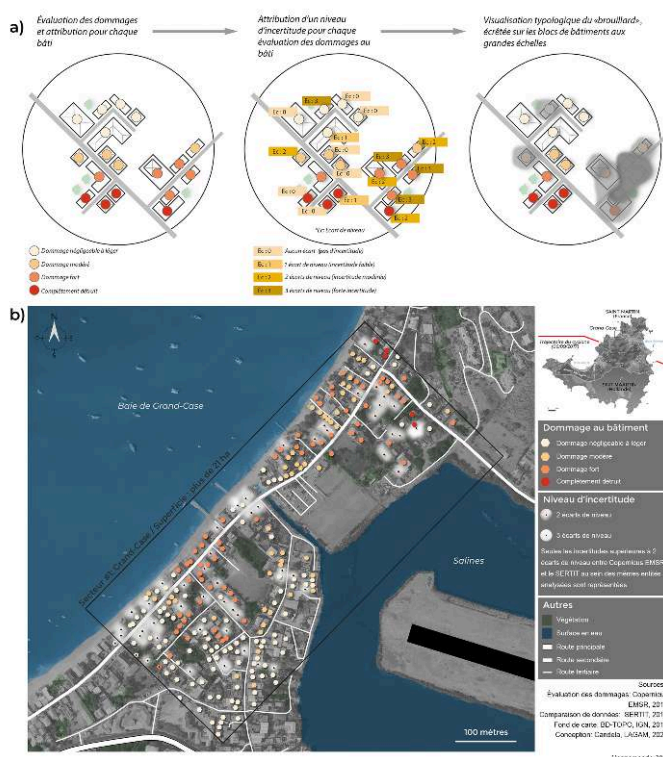


- 17 Ces résultats illustrent l'incertitude obtenue lorsque plusieurs sources de données issues de services de cartographies rapides, à des pas de temps similaires, sont mobilisées et superposées. Par ailleurs, les diagnostics de terrain montrent que le maillage urbain et sa densité influent sur le taux de précision et de perception des dommages au bâti (Marigot, Quartier d'Orléans Sud). Cela semble augmenter la difficulté des photo-interprètes à déterminer des entités bien distinctes. Le manque de vision latérale des bâtiments (façades) ou les effets de « saturation de débris » spécifiques à ce type d'événement peuvent aussi compliquer la tâche. Rappelons aussi que l'analyse par photo-interprétation s'applique plus facilement à des dommages sur les toitures dus au vent alors que se rajoutent dans certaines zones des dommages dus à la mer (houle) qui échappent au regard du photo-interprète. Les zones de submersion marine sont donc plus sujettes à des biais d'analyse (à Grand-Case, par exemple).
- 18 Ces sources d'incertitude liées à la trame urbaine, aux caractéristiques d'endommagement, se cumulent aux conditions atmosphériques, à la couverture nuageuse qui stagnèrent après le passage d'Irma et occultèrent certaines parties des images satellitaires utilisées. Nous proposons de représenter ces incertitudes, lorsqu'elles peuvent être définies par comparaison ou qualifiées lors de l'attribution des niveaux de dommages, au moyen d'une sémiologie cartographique adaptée aux utilisateurs qui doivent prendre en compte ces informations dans leurs décisions et actions post-désastre (ciblage des lieux d'intervention prioritaires, dimensionnement des moyens de réponse, estimation du coût de la catastrophe, etc.).

## Intégrer et représenter l'incertitude dans les cartes de dommages

- 19 L'état de l'art sur les variables visuelles et techniques offre la possibilité de diversifier les modes de figuration de l'incertitude. Cela passe par l'utilisation de variables visuelles (couleur, taille, point, texture, etc.) introduites par Bertin (1967) à des techniques de visualisation telles que « le foyer » ou la saturation de MacEachren (1995) et MacEachren *et al.*, 2005).
- 20 Dans notre cas, un processus d'occultation des données les plus incertaines a été utilisé. Il a permis de mettre en avant les données disposant d'un bon degré de confiance et d'attirer l'attention du lecteur sur les zones qui, *a contrario*, nécessitent une reconnaissance de terrain sans occulter leur existence. Les incertitudes sont visualisables au moyen d'un aplatissement flou, d'après le principe « d'occlusion » ou encore de « visibilité » (figure 7a). Selon Rubin (1915), cela signifie une observation sur plusieurs plans, soit de la valeur réelle des données (arrière-plan) soit de l'incertitude (premier plan) (Jäckle *et al.*, 2015). Ces entités s'obtiennent après interpolation surfacique des données ponctuelles de l'incertitude puis opération d'écrêtage aux aires des bâtis ciblés (figure 7b). Seules les mesures supérieures ou égales à deux niveaux d'écart sont visualisées, ce qui représente plus de deux écarts de niveau avec la réalité du terrain.

Figure 7. Acquisition et représentation des incertitudes (a) appliquées au secteur de Grand-Case par surface d'occultation floue (b)

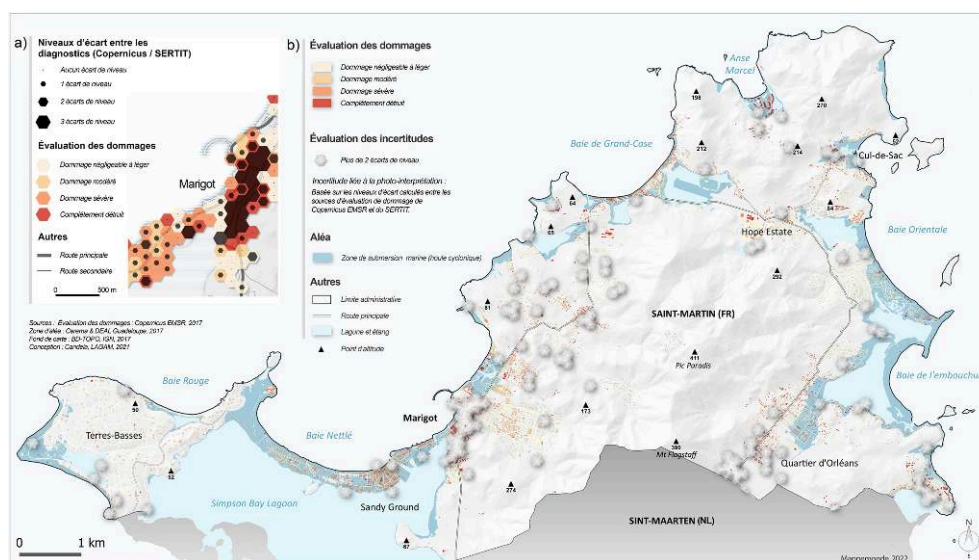


- 21 À grande échelle, le processus mis en place est similaire. Le carroyage précédemment utilisé pour recenser les écarts est employé afin de présenter l'incertitude. La taille du symbole occlusif varie en fonction de la fréquence des niveaux d'incertitude observés



tandis que la couleur donne la valeur (intensité) des dommages les plus fréquents. Ce choix permet d'estimer les principales zones de divergence entre les dégâts analysés par le SERTIT et ceux donnés par Copernicus EMS, par exemple, au niveau de Marigot (figure 8a). Toujours selon le principe d'occlusion, l'usage de la maille est mobilisé pour représenter ces zones d'incertitudes. Ces dernières sont regroupées lorsque le niveau d'écart est égal ou supérieur à deux. Cette fusion permet d'extraire des zones afin d'y attribuer une surface floue proche du visuel d'une masse nuageuse ou du brouillard. Ainsi, seules les zones d'incertitude les plus importantes sont représentées, en vue d'éviter la surcharge visuelle que pourraient engendrer les plus petites valeurs (figure 8b).

Figure 8. Niveaux d'écarts des dommages évalués par photo-interprétation distribués à la maille (a). Représentation des dommages du bâti (Copernicus EMS, 2017) et de l'incertitude spatiale par surface d'occultation floue (b)



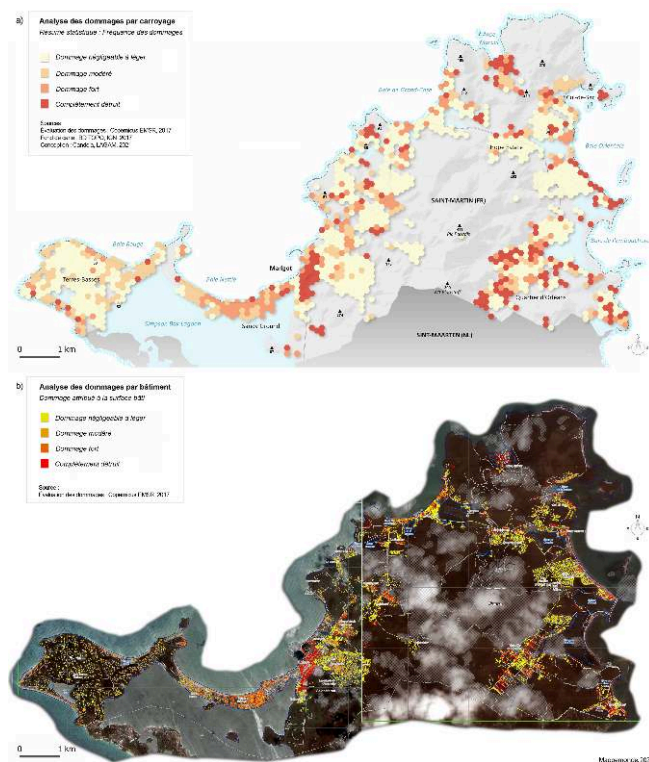
- 22 Les services de cartographie rapide fournissent peu d'informations visuelles sur ces incertitudes. Aussi, l'expérimentation proposée ici peut contribuer à faire évoluer ces produits cartographiques. En phase opérationnelle, il serait alors intéressant de définir les indicateurs d'incertitudes attributaires et spatiales à prendre en compte dans la visualisation des dommages. Des indicateurs qui prennent en considération la qualité des images analysées, les seuils de visibilité (phénomènes météorologiques, végétation, etc.), l'expérience du photo-interprète et les variations d'interprétation au sein d'une même équipe. Par ailleurs, lors de l'évaluation des dommages, l'analyse en équipe présente un fort potentiel d'amélioration et d'optimisation de ces processus (Klett, 2011). Elle offre la possibilité de voir plusieurs fois exactement le même phénomène (Collier, 2010). La technique proposée au moyen des zones floues fournirait, ainsi, une information sur l'incertitude lorsque la qualité et la fiabilité des données ne pourraient être assurées malgré ce travail d'équipe.

## Proposition d'un continuum sémiologique multi-scalaire des dommages

- 23 Le choix de travailler à plusieurs échelles amène à s'interroger sur la capacité de l'œil à percevoir de l'information. Contrairement aux cartes réalisées à grande échelle (dommage par bâtiment), les cartes à petite échelle doivent pouvoir favoriser une vision des dynamiques spatiales de l'endommagement. De plus, ces cartes doivent prendre en compte le fait que des utilisateurs non spécialistes soient concernés par des tâches d'identification des secteurs les plus durement touchés. L'état de l'art nous livre des pistes de réflexion sur les moyens de représenter les données quantitatives et qualitatives ordonnées à plusieurs échelles. À ce titre, nous proposons d'employer le carroyage utilisé précédemment afin d'illustrer des niveaux de dommages agrégés sur des mailles de taille variable et imbriquées selon différentes échelles.
- 24 Mangiavillano (2008) présente la série d'avantages notables qu'apporte l'usage du carroyage dans l'agrégation multi-scalaire. Elle traite l'information de manière homogène et sans la contrainte de limites administratives. Le format vecteur de la maille autorise de nombreux traitements, et les utilisateurs de SIG y sont familiarisés. Leur résolution, notamment aux échelles les plus fines, permet de réduire les écarts statistiques. De ce fait, la taille optimale recherchée va dépendre des échelles d'interprétation. La lisibilité de la carte dépend du nombre d'informations à représenter et donc de la capacité à le réduire (Béguin et Pumain, 1994). Les mailles permettent ainsi de simplifier une information et de la rendre plus facilement comparable dans une vision d'ensemble.
- 25 Le choix de travailler avec une forme hexagonale n'est pas neutre. En effet, cette structure permet de réduire les déformations d'échantillonnage en se rapprochant sensiblement de la forme circulaire (Krebs, 1989) et elle assure la constitution d'une grille continue. Le rapport périmètre/surface, proche de celui du cercle, minimise les effets de lisière (Blondel, 2000) et implique une abstraction plus naturelle des données. Si les grilles rectangulaires sont généralement plus utilisées, elles sont moins efficaces pour la visualisation des interactions entre entités. Avec ses six côtés, la maille hexagonale est connectée à six autres voisines. Elle assure ainsi moins d'ambiguïtés dans la lecture de la carte en évitant les problèmes topologiques que nous retrouvons en analyse spatiale (Paegelow, 2004). En plus de ses avantages fonctionnels, ce sont ses capacités visuelles qui offrent les meilleures performances. En effet, moins rectiligne et donc moins rigide à l'œil (Birch *et al.*, 2007), la forme hexagonale optimise la lisibilité et facilite ainsi l'interprétation des données (Carr *et al.*, 1992).
- 26 Dans notre cas d'étude, les mailles ont été dimensionnées afin de permettre des emboitements statistiques et d'assurer la correspondance avec les normes utilisées des seuils de zoom web Mercator (EPSG : 3857). Les traitements géostatistiques ont conduit à des cartes thématiques permettant d'améliorer la lisibilité globale des dommages à l'échelle de l'île (**figure 9a**). À titre de comparaison, un montage des deux cartes produites par Copernicus EMS (2017) est illustré à une échelle similaire de la carte affichant la fréquence des niveaux de dommage les plus observés par maille (1 : 25 000) (**figure 9b**).

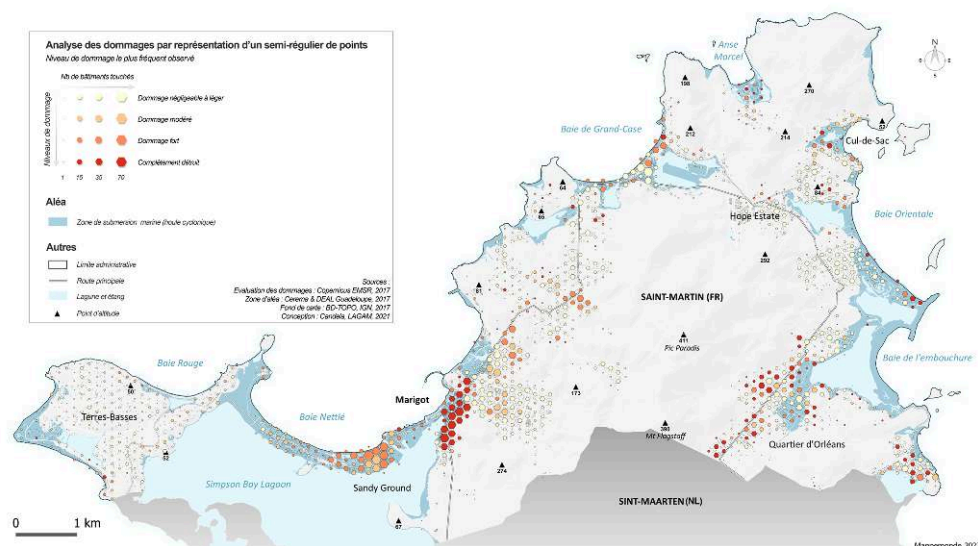


Figure 9. Représentation spatiale des dommages (Copernicus EMS, 2017) issue du traitement par maille homogène à Saint-Martin (a) vs représentation spatiale des dommages à l'échelle du bâtiment à Saint-Martin (b)



- 27 Cependant, cette figuration à la maille présente des limites qu'il convient de prendre en compte. Elle ne tient pas compte des limites naturelles et son aplatissement déborde des secteurs terrestres. De plus, son niveau de généralisation peut introduire des biais qui seront moins contraignants aux petites échelles (Klett, 2011). Une maille comprenant 75 entités totalement détruites sera similaire à une autre ne comprenant qu'une seule entité du même niveau de dommage (Voigt *et al.*, 2011). Il est donc nécessaire de coupler l'information qualitative et quantitative des dommages.
- 28 Pour ce faire nous proposons de visualiser les dommages par l'intermédiaire d'un semis régulier de point (**figure 10**) en mobilisant le centroïde des mailles utilisées précédemment. Une technique qui revient à associer un effectif statistique au point central des mailles homogènes. L'information qualitative est alors présentée par le niveau de dommage le plus fréquent observé à chaque point. Ces niveaux sont gradués par des tons chauds dont les teintes sont choisies afin de maximiser la différenciation malgré les processus d'impression, de différences d'écran ou des troubles de la vision impliquant les couleurs telles que la protanopie ou la deutéranopie. L'information quantitative correspond, quant à elle, au nombre de bâtiments touchés dans chaque maille du carroyage. Elle est traitée par une variation de taille selon une compensation de Flannery (Flannery, 1971). Ce processus exige une certaine réduction de l'information puisqu'il supprime la localisation des entités diagnostiquées, mais présente l'avantage de garder les proportionnalités observables sur le terrain. Ainsi la **figure 10** facilite le repérage des poches importantes de bâtiments touchés par le cyclone comme à Sandy-Ground.

Figure 10. Représentation qualitative et quantitative des dommages sur le bâti et des phénomènes marins



## De la cartographie statique à la représentation dynamique : les apports du « géoweb »

- 29 À l'heure du développement des technologies numériques, la cartographie trouve une place toute particulière. Les SIG se joignent alors aux possibilités du web pour offrir de nouvelles perspectives. La représentation des dommages peut ainsi intégrer la sphère des productions du « géoweb » (Scharl, 2007). Il s'agit d'optimiser les transferts de la carte statique traditionnelle à la carte dynamique. Cette dernière offre de nombreuses possibilités de géo-visualisation et d'interactions en permettant aux utilisateurs de naviguer au sein des données. Les seuils standards de zoom offrent la capacité d'organiser le traitement des informations et les niveaux de lecture en fonction de l'affichage des informations géographiques. Ces seuils permettent une descente d'échelle dynamique et la sélection des données utiles à chaque niveau de résolution. Un prototype de cartographie web est proposé dans cette section (visible sur : <https://tirex.univ-montp3.fr/3-historique.html>). Il vise à intégrer les résultats de cet article tout en les replaçant dans le contexte dynamique spatial et temporel de l'avant, du pendant et de l'après-catastrophe. Une interface web guide l'utilisateur à toutes les échelles de la carte tout en assurant un *continuum* sémiologique. Les seuils de zoom, les interactions dynamiques, les filtres mobilisables permettent d'aller plus loin dans l'expérimentation des modes de représentations, du dommage aux incertitudes. Par ailleurs, les méthodes visuelles peuvent être également complétées par des interactions sonores. Ces dernières peuvent être utilisées par l'intermédiaire d'enregistrements audios afin de restituer des ambiances venant enrichir l'interaction de l'utilisateur avec un territoire, paysage rendu abstrait (Chételat, 2009).
- 30 Notre prototype web se base sur la technologie Leaflet. Cette bibliothèque JavaScript *open source* offre une interface cartographique dynamique présentant plusieurs avantages. Le premier est sa capacité à être interprétable par la plupart des navigateurs web et plateformes mobiles. La carte est donc intégrable à un site web sans contrainte particulière. Le second repose sur sa capacité à être « *responsive* », c'est-à-dire adaptatif

aux différentes résolutions de l'interface, prévues à la fois pour ordinateurs et appareils mobiles. Autre point intéressant, l'outil est peu volumineux et offre un ratio informations affichées/poids de la carte concurrençant toute production cartographique classique. Enfin, cette bibliothèque interoperable offre de nombreuses extensions, développées par une communauté active d'internautes, utiles pour une personnalisation de la carte en fonction des besoins. Ces atouts techniques offrent la capacité de moduler, stabiliser ou transformer l'outil interactif existant.

- 31 Dans premier temps, les données géographiques sont composées sous SIG, puis intégrées à la carte. Il est alors possible de conserver une charte graphique et les paramètres sémiologiques établis dans le SIG. Par défaut, Leaflet ne propose pas d'options avancées de mise en page des données correspondant à nos besoins. Cette étape a donc été réalisée depuis le logiciel libre Qgis, qui offre les choix de mise en page recherchés. Une fois stylisées, les données sont exportées vers des rasters tuilés. L'intérêt majeur des tuiles est de fluidifier l'affichage des données dans le navigateur en précalculant les images à restituer. Seules les images couvrant l'emprise visualisée sur la carte sont affichées à la résolution du zoom en cours. Cela multiplie donc la capacité de charge de la carte qui peut supporter plusieurs jeux de données actifs simultanés. L'accès à l'outil est assuré par un espace de stockage web qui se charge de diffuser la carte sur internet. Sur le même modèle qu'une page web statique, la carte n'a besoin d'aucun applicatif supplémentaire pour fonctionner.
- 32 Le prototype réalisé ici sur les dommages peut être transposé à d'autres cas, tels que l'impact sur les infrastructures critiques ou encore le suivi de la reconstruction. Cette dernière bénéficie d'un suivi multi-temporel mené sur le terrain par notre équipe ainsi que par le service Copernicus « Recovery and Rebuilt ». Tout comme pour les cartes statiques, l'objectif est de proposer un outil adapté au transfert d'information et aux utilisateurs finaux. Aussi, des tests utilisateurs permettront d'identifier les points techniques à améliorer pour accroître l'efficacité des produits cartographiques proposés.

## Conclusion

- 33 Chaque année, les catastrophes d'origine naturelle et/ou technologique entraînent l'activation des services internationaux de cartographie rapide. Ces services sont de plus en plus performants. Les constellations de satellites se densifient, le matériel embarqué se diversifie, et la résolution spatiale des acquisitions est améliorée régulièrement. Pour autant, les produits cartographiques diffusés pour l'évaluation des dommages aux infrastructures évoluent peu, sans qu'aucun consensus graphique n'émerge sur le plan international. Déjà en 2005, Rousselin avait identifié des problèmes liés aux règles basiques de cartographie et de sémiologie graphique, auxquelles s'est ajoutée la multiplication des représentations des dommages post-catastrophes avec le séisme d'Haïti (2010). L'analyse d'un échantillon de 134 cartes sur une période de 2000 à 2019, suite à des événements cycloniques majeurs, montre que la diversité des représentations varie particulièrement aux petites échelles. L'adaptabilité de la grille d'analyse cartographique proposée a récemment permis d'échantillonner des cartes portant sur d'autres événements majeurs d'origine géodynamique (séisme et tsunami) et d'étendre l'échantillon complet à 204 cartes. Les résultats obtenus pour ces autres types d'aléas corroborent nos observations sur le manque de consensus

graphiques aux petites échelles. Cette diversité persiste malgré la mise en place de standards à l'échelle des initiatives régionales, comme c'est le cas depuis 2012 pour le programme européen Copernicus. Du point de vue sémiologique, ces variations techniques et visuelles, employées pour illustrer des informations qualitatives ou quantitatives sur les dommages, engendrent des risques quant à l'interprétation finale des utilisateurs et, *in fine*, leur utilité face à l'urgence de la situation.

- 34 Au-delà des aspects sémiologiques, nous nous sommes attachés à discuter des sources d'incertitudes attributaires pour ce type de données et à l'intérêt de les visualiser. La mobilisation de deux opérateurs différents à la suite du passage d'Irma sur un même territoire offre la possibilité de comparer ces jeux de données entre eux, ainsi qu'avec les données issues d'une expertise de terrain réalisée bâtiment par bâtiment. Ce travail met en exergue l'existence d'écarts, parfois importants, dans l'évaluation des dommages. L'aspect de la trame urbaine, les conditions atmosphériques, l'expérience du photo-interprète, les modalités d'endommagement (toiture, façade, fondation) sont autant de paramètres qui contribuent aux incertitudes attributaires des cartes de dommages post-catastrophes. La fiabilité de la photo-interprétation des dommages n'est aujourd'hui pas une indication donnée par les services de cartographie rapide. Dans l'expectative d'un futur indice de confiance associé à la donnée, nous proposons une représentation novatrice de cette information basée sur une altération par occultation de la visibilité des données. Un aplat zonal représentant un nuage aux limites floues développe un stimulus similaire à la métaphore du « brouillard de guerre » issue du domaine militaire. Ces zones semi-occultées apportent une indication essentielle aux opérationnels pour conduire des missions de reconnaissance sur le terrain, ou encore pour concentrer les pratiques collaboratives de « *crowdmapping/crowdsourcing* » comme celle menée par Ushahidi lors du séisme de Haïti en 2010 (Roche *et al.*, 2013).
- 35 En parallèle, nous avons proposé des méthodes de visualisation expérimentales optimisant la cartographie des dommages à plusieurs échelles et en intégrant la notion de continuité sémiologique. Un semis régulier de points proportionnels affiche une double information (niveaux et quantité de dommage) sur la base des paradigmes de la sémiologie graphique. Cette technique est conçue à partir d'un carroyage hexagonal régulier dont les dimensions sont adaptées à un affichage aux échelles standardisées du référentiel web Mercator (EPSG : 3857). Cette technique s'adapte tant aux supports statiques qu'aux systèmes interactifs de la cartographie web. Cette double approche est nécessaire car, si pour l'heure les web SIG sont en pleine croissance, ils présentent encore certaines limites opérationnelles qui freinent leur complète utilisation en situation de crise (accès à l'électricité, qualité du réseau internet, maintenance informatique). Le développement d'une plateforme cartographique web et ouverte à la pluralité des acteurs de la gestion des risques permettrait, entre autres, d'optimiser l'intégration et le partage de ces données dans les processus décisionnels locaux.
- 36 Dans cette perspective, des expériences sont menées (eyetracking, expériences utilisateurs, ateliers participatifs) afin de tester les capacités des différentes variables existantes et du prototype proposé à fournir des réponses efficaces aux tâches identifiées pour ce type de produits. Elles ont permis d'analyser plus finement les besoins et préférences des utilisateurs, notamment en fonction de leur niveau cartographique.

---

## BIBLIOGRAPHY

- BÉGUIN M., PUMAIN D. (1994). *La représentation des données géographiques : statistique et cartographie*. Paris : Armand Colin, 264 p.
- BERTIN J. (1967). *Sémiologie graphique, Les diagrammes, Les réseaux, Les cartes*. Paris/La Haye : Mouton/Gauthiers-Villars, n° 3, 431 p.
- BIRCH C.P.D., OOM S.P., BEECHAM J.A. (2007). "Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment, and simulation in ecology". *Ecological Modelling*, vol. 206, n° 3-4, p. 347-359.
- BLONDEL J. (2000). *Biogéographie : approche écologique et évolutive*. Paris : Masson, coll. « écologie », vol. 27, 297 p.
- CARR D.B., OLSEN A.R., WHITE D. (1992). "Hexagon mosaic maps for display of univariate and bivariate geographical data". *Cartography and Geographic Information Systems*, vol. 19, n° 4, p. 228-236.
- CHÉTELAT J. (2009) « La figuration cartographique de l'espace sonore ». *Images re-vues*, n° 7. En ligne : <https://journals.openedition.org/imagesrevues/437>
- COLLIER M. (2010). "Approaches to analysis in visual anthropology". In T. VAN LEEUWEN ET C. JEWITT, éd., *Handbook of Visual Analysis*, p. 35-60.
- COPERNICUS EMS. (2017). *Mapping activation EMSR232, Grand-Case & Marigot: Grading Map, Scale 1:14 000*. En ligne : <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR232>
- DUVAT V. (2008). *Le système du risque à Saint-Martin (Petites Antilles françaises). Développement durable et territoires, dossier 11*. En ligne : <https://journals.openedition.org/developpementdurable/7303>
- DUVAT V., PILLET V., VOLTO N., KRIEN Y., CÉCÉ R., BERNARD D. (2019). "High human influence on beach response to tropical cyclones in small islands: Saint-Martin Island, Lesser Antilles". *Geomorphology*, vol. 325, p. 70-91.
- FAIRBAIRN D. (2006). "Measuring map complexity". *The Cartographic Journal*, vol. 43, n° 3, p. 224-238.
- FLANNERY J.J. (1971) "The Relative Effectiveness of Some Common Graduated Point Symbols in the Presentation of Quantitative Data". *Cartographica*, vol. 8, n° 2, p. 96-109.
- GIRRES J.-F., LEONE F., PÉROCHE M., GUSTAVE G., GHERARDI M. (2018). "Analysis of tsunami evacuation maps for a consensual symbolization rules proposal". *International Journal of Cartography*, vol. 4, n° 1, p. 4-24.
- GROS-DÉSORMEAUX J.-R. (2008). *Biodiversité dans un espace insulaire, le cas de l'avifaune à la Martinique*. Thèse de doctorat, Université des Antilles et de la Guyane, Faculté des lettres et des sciences humaines, 368 p.
- JÄCKLE D., SENARATNE H., BUCHMÜLLER J., KEIM D. (2015). "Integrated Spatial Uncertainty Visualisation using off-screen aggregation". In E. BERTINI et J.-C. ROBERTS, éd., *EuroVis Workshop on Visual Analytics*, p. 49-53.
- JÉGOU L., DEBLONDE J.-P. (2012). « Vers une visualisation de la complexité de l'image cartographique ». *Cybergeo: European Journal of Geography*. En ligne : <https://journals.openedition.org/cybergeo/25271>

- KERLE N. (2013). "Remote sensing based post-disaster damage mapping with collaborative methods". In S. ZLATANOVA, R. PETERS, A. DILO, H. SCHOLTEN, éd., *Intelligent Systems for Crisis Management*, p. 121-133.
- KERLE N., HOFFMAN R. (2013). "Collaborative damage mapping for emergency response: The role of Cognitive Systems Engineering". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 13, n° 1, p. 97-113.
- KERLE N., WIDARTONO B. (2008). "Geoinformation based response to the 27 may indonesia earthquake - an intial assessment". In S. NAYAK, S. ZLATANOVA, éd., *Remote Sensing and GIS Technologies for Monitoring and Prediction of Disasters*, Springer, p. 11-23.
- KLETT S. (2011). *Rapid mapping for earthquake disasters. A team-based method for visual damage assessment using optical VHSR satellite data*. Thèse de doctorat de géographie physique et GIS, Université Eberhard Karl de Tübingen, Institut de géographie, 140 p.
- KREBS C. J. (1989). *Ecological methodology*. New-York : Harper and Row Publishers Inc, 654 p.
- MACEACHREN A.M. (1982). "Map complexity: comparison and measurement". *American cartographer*, vol. 9, n° 1, p. 31-46.
- MACEACHREN A.M. (1995). *How maps work: representation, visualisation and design*. New York : Guilford Press.
- MACEACHREN A.M., ROBINSON A., HOPPER S., GARDNER S., MURRAY R., GAHEGAN M., HETZLER E. (2005). "Visualising geospatial information uncertainty: What we know and what we need to know". *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 32, n° 3, p. 139-160.
- MANGIAVILLANO A. (2008). *Multi-scalarité du phénomène feu de forêt en régions méditerranéennes françaises de 1973 à 2006*. Thèse de doctorat de géographie, Université d'Avignon, 486 p.
- NICOLAS T., BÉNITO-ESPINAL F., LAGAHÉ E., GOBINDDASS M.L. (2018). « Les catastrophes cycloniques de septembre 2017 dans la Caraïbe insulaire aux prises de la pauvreté et des fragilités sociétales ». *EchoGéo*, n° 46.
- OGAWA N., YAMAZAKI F. (2000). "Photo-interpretation of building damage due to earthquakes using aerial photographs". *Proceedings of the 12th world conference on earthquake engineering*, Auckland, Nouvelle-Zélande, 30 janv.- 4 fév., 8 p.
- ORY J. (2016). *Connaissances pour la conception et la perception de styles topographiques*. Thèse de doctorat en Sciences et technologies de l'information géographique, Université Paris-Est, 317 p.
- PAEGELOW M. (2004). *Géomatique et géographie de l'environnement. De l'analyse spatiale à la modélisation prospective*. Thèse de doctorat de géographie, Université Toulouse le Mirail – Toulouse II, 212 p.
- PÉROCHE M. (2016). *La gestion de crise tsunami dans la Caraïbe : contribution géographique aux dispositifs d'alerte et d'évacuation des populations*. Thèse de doctorat de géographie et aménagement de l'espace, Université de Montpellier 3, 409 p.
- QUODVERTE P. (1997). « La représentation cartographique, ou l'art de concevoir des cartes ». *Bulletin du CFC*, n° 153, p. 19-31
- REDON M. (2006). « Saint-Martin/Sint-Maarten, une petite île divisée pour de grands enjeux ». *Les Cahiers d'outre-mer*, n° 234, p. 233-266.
- 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*, vol. 7, n° 7, p. 2-30.

- ROCHE S., PROPECK-ZIMMERMANN E., MERICKSKAY B. (2013). "GeoWeb and crisis management: Issues and perspectives of volunteered geographic information". *GeoJournal*, vol. 78, n° 1, p. 21-40.
- ROUSSELIN T. (2005). *Utilisation de l'imagerie et des SIG suite au tsunami du 26 décembre 2004 : Premières leçons des productions de cartographie d'urgence*. Paris : Géo-événement, 8 p.
- RUBIN E. (1915). *Synsoplevede figurer, studier i psykologisk analyse*. Copenhague : Gyldendal.
- SCHARL A. (2007). "Towards the geospatial web: media platforms for managing geotagged knowledge repositories". In A. SCHARL et K. TOCHTERMANN, éd., *The Geospatial Web - How Geo-Browsers, Social Software and the web 2.0 are shaping the network society*, Londres : Springer, p. 3-14.
- SERTIT. (2017) *Évaluation des dommages, situation mi-septembre 2017 : Saint-Martin, échelle 1 : 23 000*. Récupéré sur <https://sertit.unistra.fr/rms/?action=655&product=P1>
- STEVENS D. (2008). "Increasing the use of geospatial technologies for emergency response and disaster rehabilitation in developing countries". In S. NAYAK et S. ZLATANOVA, éd., *Remote sensing and GIS technologies for monitoring and prediction disaster*, Springer "Environmental Science and Engineering", p. 57-71.
- VOIGT S., SCHNEIDERHAN T., TWELE A., GÄHLER M., STEIN E., MEHL H. (2011). "Rapid damage assessment and situation mapping: learning from the 2010 Haiti earthquake". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 77, n° 9, p. 923-931.

## NOTES

1. <https://emergency.copernicus.eu/>
2. <https://plateforme.icube.unistra.fr/sertit/index.php?title=Accueil>
3. <https://unitar.org/sustainable-development-goals/united-nations-satellite-centre-UNOSAT>
4. <https://disasterscharter.org/fr/web/guest/home>
5. <https://reliefweb.int/>
6. Projet financé par l'Agence Nationale de la Recherche française (ANR). TIREX (2018-2021) : Transfert des apprentissages de Retours d'EXpériences scientifiques pour le renforcement des capacités de réponse et d'adaptation individuelles et collectives dans un contexte de changement climatique (Petites Antilles du Nord - saison cyclonique 2017). <https://anr.fr/Projet-ANR-18-OURA-0002>

## ABSTRACTS

For several years, mapping services have been activated following a disaster in order to provide an initial overview of the damage. Distributed on a massive scale, they are characterised by a diversity of cartographic representation modes, which can be detrimental to their understanding. Based on this observation, we propose optimised cartographic solutions at different scales. In addition, we take into account acquisition methods, the meteorological context and diagnostic deviations as crucial parameters with uncertainties. Visual and technical



variables are elaborated under GIS in order to provide a synoptic, continuous and dynamic vision of a “cyclone” territory, the island of Saint-Martin following cyclone Irma (07/ 2017).

Depuis plusieurs années, des services de cartographie sont activés à la suite d'une catastrophe afin d'offrir un premier panorama des dommages. Diffusés massivement, ils se caractérisent par une diversité des modes de représentation cartographique, ce qui peut nuire à leur compréhension. Partant de ce constat, nous proposons des solutions cartographiques optimisées à différentes échelles. De plus, nous prenons en compte les méthodes d'acquisition, le contexte météorologique et les écarts de diagnostic comme des paramètres cruciaux aux incertitudes. Des variables visuelles et techniques sont élaborées sous SIG afin de fournir une vision synoptique, continue et dynamique d'un territoire « cycloné », l'île de Saint-Martin à la suite du passage du cyclone Irma (07/2017).

Desde hace años, cuando se produce un desastre natural los servicios de cartografía presentan con mapas temáticos una primera evaluación de los daños. Lamentablemente, su comprensión se dificulta y tergiversa por la heterogeneidad de sus representaciones. Por ello, estas cartografías se han de sistematizar y adaptar a las diferentes escalas. Hay que considerar sus variables esenciales como las fuentes de información, el contexto meteorológico y los rangos del pronóstico. Como ejemplo de una visión sinóptica, continua y dinámica de un territorio "ciclónico" se proponen técnicas cartográficas y variables visuales elaboradas con SIG para la isla de San Martín tras el paso del ciclón Irma (07/2017).

## INDEX

**Mots-clés:** cartographie, dommages, Irma, ouragan, Saint-Martin, sémiologie

**Keywords:** cartography, damage, hurricane, Irma, Saint-Martin, semiology

**Palabras claves:** cartografía, Daños, Irma, huracán, San Martín, semiología

## AUTHORS

### THOMAS CANDELA

Université Paul-Valéry Montpellier 3 / LAGAM, Route de Mende, F-34199 Montpellier & Bureau d'études RisCrises, 235, avenue des Chênes Rouges, F-30100 Alès. Courriel : [candela@riscrises.com](mailto:candela@riscrises.com)

### FRÉDÉRIC LEONE

Université Paul-Valéry Montpellier 3 / LAGAM, Route de Mende, F-34199 Montpellier. Courriel : [frederic.leone@univ-montp3.fr](mailto:frederic.leone@univ-montp3.fr)

### MATTHIEU PÉROCHE

Université Paul-Valéry Montpellier 3 / LAGAM, Route de Mende, F-34199 Montpellier. Courriel : [matthieu.peroche@univ-montp3.fr](mailto:matthieu.peroche@univ-montp3.fr)

### MARTIN ROBUSTELLI

Bureau d'études RisCrises, 235, avenue des Chênes Rouges, F-30100 Alès. Courriel : [robustelli@riscrises.comfr](mailto:robustelli@riscrises.comfr)