

MODÉLISATION SPATIALE POUR L'ANALYSE ET L'AMÉLIORATION DE LA GESTION DES DÉCHETS APRÈS LES OURAGANS. LE CAS DES ANTILLES FRANÇAISES.

par Anne Ruas^a et Serge Lhomme^b

^a LISIS/COSYS/UGE anne.ruas@univ-eiffel.fr

^b LAB'URBA/UIPEC serge.lhomme@u-pec.fr

Cet article est basé sur le papier de même titre publié à l'ACI 2019, enrichi de la section 3 sur le vocabulaire.

Mots clés : Ouragans, gestion des déchets, transport des déchets, modélisation, Antilles, Saint-Martin

Les déchets post-ouragans

Au cours des dernières décennies, les catastrophes naturelles graves telles que les tempêtes et les ouragans ont touché des millions de personnes dans le monde: environ 33 millions de personnes sont touchées par an entre 2007 et 2016 (Bellow et Wallemacq, 2018). Par exemple dans le cas de l'ouragan Katrina (États-Unis, 2015) qui a causé des dommages catastrophiques du centre de la Floride à l'est du Texas, au moins 1 836 personnes sont mortes et les dégâts matériels ont été estimés à 125 milliards de dollars. On sait aussi que le changement climatique est susceptible d'augmenter la fréquence des catégories d'ouragans les plus intenses dans certaines parties du monde et devrait augmenter le niveau de la mer, conduisant à des ondes de tempête plus destructrices lorsque des ouragans se produisent (GIEC, 2013). De plus, la croissance démographique et l'augmentation des revenus augmentent la vulnérabilité et devraient mettre davantage de personnes et de biens en danger.

Selon leur nature et leur gravité, les catastrophes peuvent créer d'importants volumes de débris et de déchets (Brown *et al.*, 2011). Dans certains cas, le volume de débris d'un seul événement équivaut à 5 à 15 fois le taux annuel de production de déchets de la collectivité touchée (Reinhart et McCreanor, 1999). Souvent, le processus de ramassage et de gestion des débris et des déchets prend des mois, voire des années (Pramudita *et al.*, 2014). En France, la production de déchets de la tempête Xynthia (2010) équivalait à environ 12 années normales (CEPRI, 2012). Ainsi, les déchets peuvent submerger les installations de

gestion existantes et la présence de déchets en cas de catastrophe affecte presque tous les aspects d'une intervention d'urgence et d'un effort de récupération (Brown *et al.*, 2011). Par exemple dans la gestion immédiate, les débris et déchets de catastrophe peuvent provoquer des blocages routiers. De plus, s'ils sont mal gérés, les déchets peuvent avoir des impacts environnementaux et de santé publique importants (Brown *et al.*, 2011), tels que la pollution de l'eau et de l'air. L'objet du projet de recherche Dépos est d'améliorer la gestion des déchets post-ouragan.

Le projet DÉPOS et les premiers objectifs

Dans cet article, nous présentons la modélisation des données pour améliorer la gestion des débris et des déchets après les ouragans. Dans le projet Dépos, financé par l'Agence française de recherche (ANR), nous souhaitons comprendre le processus de gestion des déchets grâce à des témoignages sur les ouragans précédents et proposer une modélisation numérique de la gestion des déchets. Dans ce qui suit, nous ne distinguons pas les débris et les déchets. L'étude de cas que nous considérons concerne les Antilles françaises (composées de différents territoires dont la Guadeloupe et la Martinique) et la toute première île étudiée est l'île de Saint-Martin dans la mer des Caraïbes, où l'ouragan Irma (2017) a eu un impact énorme. Cet ouragan était l'ouragan le plus puissant jamais enregistré en Atlantique avec des vents de près de 300 km/h et des rafales à 360 km/h. Les travaux de recherche ont débuté par une étude terrain de l'association Robin des Bois pour décrire et estimer

les déchets après Irma à Saint-Martin. Ces experts ont été interrogés pour identifier les entités et acteurs clés impliqués dans la gestion des déchets des ouragans sur Saint-Martin. Nous avons mis en place une première modélisation des données qui sera remise en question et améliorée au cours du projet. Nous appelons modèle Dépos cette modélisation. Ainsi le modèle de données Dépos doit permettre :

- 1) de rejouer ce qui s'est produit lors d'un ouragan précédent,
- 2) de simuler différentes situations sur des ouragans fictifs,
- 3) de proposer des améliorations pour la gestion des déchets.

Dans cet article, nous n'incluons pas les acteurs, bien qu'ils soient des éléments clés de la modélisation.

Nous présentons d'abord le fonctionnement de la collecte des déchets et le vocabulaire associé (section 3), avant de présenter le modèle de données pour les déchets et leur transport (section 4).

Vocabulaire et temporalité des déchets post ouragan

Les entretiens de terrain post ouragan permettent de comprendre le processus de collecte et de fixer un vocabulaire (Nihart et Bonnemains, 2018).

Lorsque l'ouragan survient, de nombreux déchets submergent le territoire touché. Une grande partie de ces déchets provient des habitations (toits, vitres, parfois murs) et du mobilier intérieur inondé. Les habitants définissent d'eux-mêmes des zones où ils déposent des déchets dans la rue, à côté de leur maison. Il s'agit des *aires de dépose*. Les déchets sont souvent transportés, à la main ou par brouette, par les habitants avec un système d'entraide.

Les autorités choisissent des *Zones de Transit* où les déchets provenant des *aires de dépose* seront acheminés grâce à un système de collecte mis en place par les acteurs de terrain. Ainsi des *bassins de collecte* sont définis autour de chaque Zone de Transit. Les déchets contenus dans une aire de dépose seront acheminés par camion dans une zone de transit.

Ultérieurement, les déchets contenus dans les zones de transit seront acheminés vers la ou les *décharges* par camion par les mêmes acteurs, ou d'autres acteurs. Enfin les déchets contenus dans la ou les décharges seront traités : soit brûlés, soit enfouis soit recyclés

dans d'autres éco-sites spécialisés en traitement de certains déchets.

Par ailleurs, malheureusement, une partie des déchets échappe au circuit officiel et finit dans des décharges illégales, brûlée ou rejetée dans la mer pour éviter les coûts de transport et de dépose dans les décharges officielles.

Au niveau temporel les lieux de dépôt de déchets ont des volumes variables au cours du temps, d'une part parce que le transport entre les aires de dépose et les zones de transit ne se fait qu'à certaines périodes, d'autre part parce que la reconstruction des maisons endommagées génère de nouveaux déchets. Il arrive aussi souvent que les habitants ne renouvellent les mobiliers endommagés par l'ouragan que quelques mois après l'événement, lorsqu'ils en ont la possibilité matérielle.

Ainsi, si certaines aires de dépose ne subsistent que 2 à 3 semaines, certaines existent encore plusieurs mois après l'ouragan, et les volumes de déchets varient au fil des semaines et des mois (fig. 2). Par ailleurs, on ne dispose d'information sur le volume qu'en certains lieux et à quelques dates. Il faut donc comprendre et tenter de reconstituer les flux avec les données à notre disposition, complétées par des hypothèses.

Le modèle Dépos

Dans la mesure où les données doivent être utilisées pour analyser les déchets lors d'un ouragan et pour simuler des ouragans et estimer les déchets induits, le modèle de données doit permettre de représenter des informations historiques ainsi que des simulations. Des classes et attributs seront utilisés pour distinguer ces deux cas. Le premier ensemble de classes est la description des déchets générés soit par des ouragans, soit par des ouragans simulés (fig. 1) : deux classes sont définies pour les données historiques (*ouragan* et *zones endommagées*) et deux classes sont définies pour les données simulées (*zone d'alea* et *zones d'endommagement simulées*).

Les zones d'endommagement simulées ou réelles ont des géométries et chaque zone est connectée aux données de déchets. Les déchets sont décrits comme des tas de déchets. Chaque tas de déchets est défini par un type, un volume et une date. La différenciation des types de déchets est importante car le transport et le traitement des déchets dépendent de leur *nature*. Nous distinguons les déchets *domestiques*, *organiques* (comme les arbres) ; *minéraux* (comme le béton), *métaux* et les déchets *mixtes*. Malheureusement

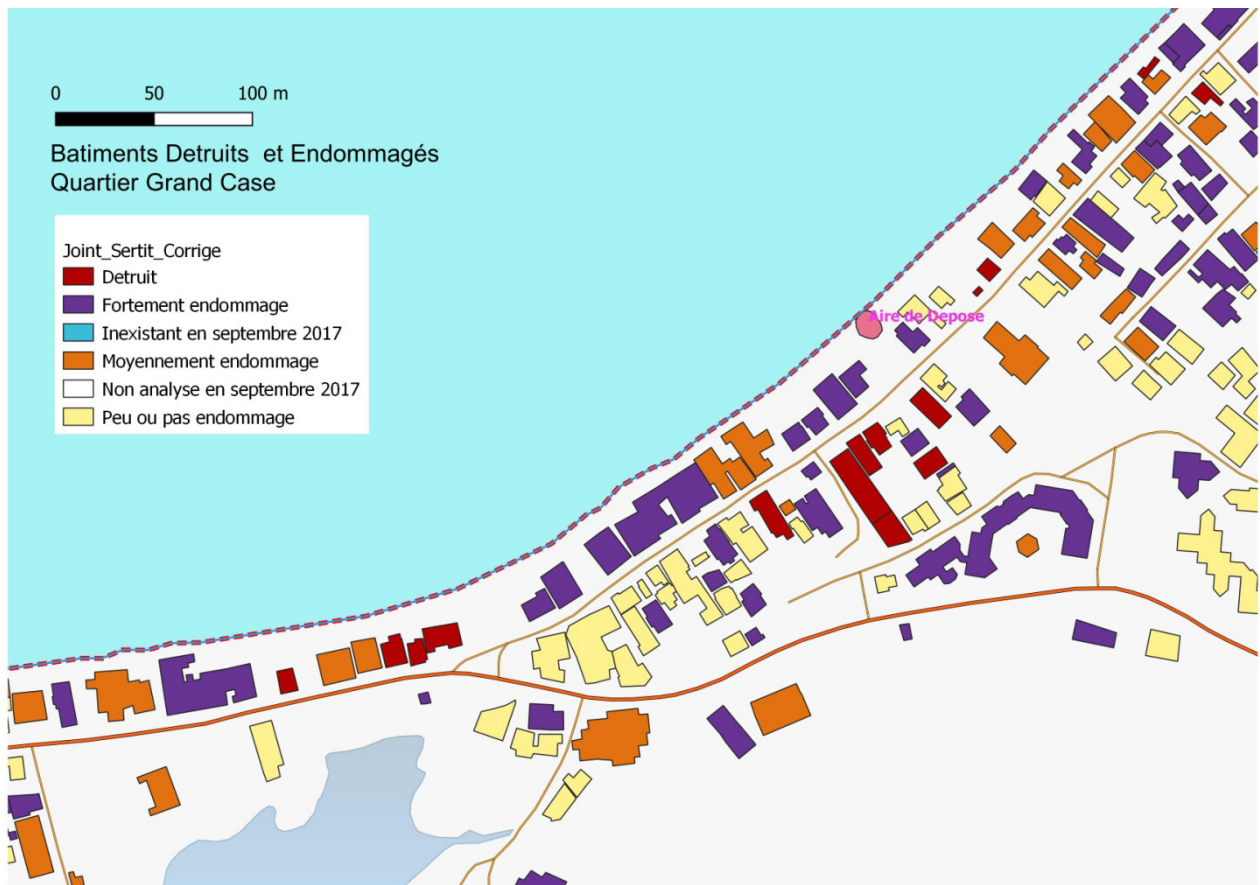


Figure 3 : Identification des maisons détruites et endommagées à Saint-Martin dans le quartier Grand Case

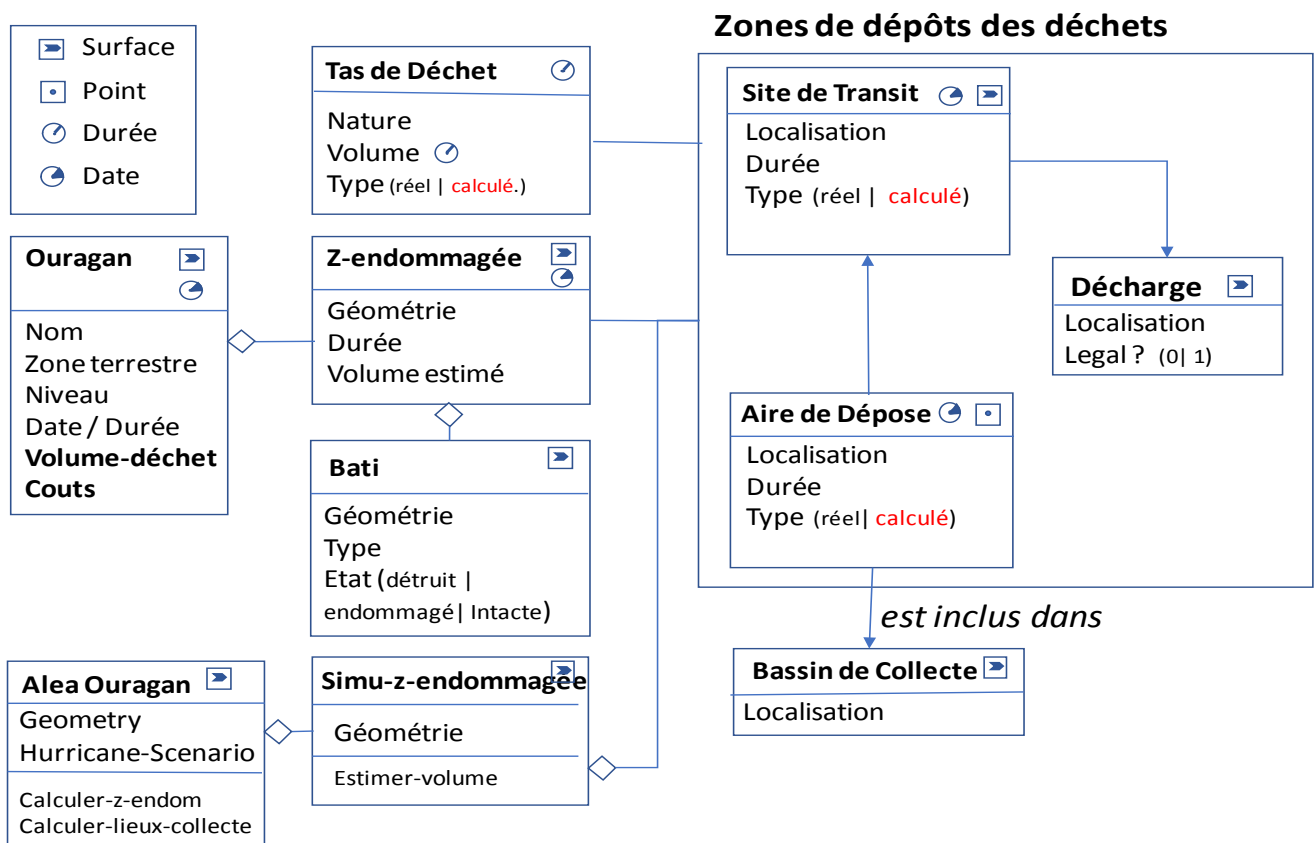


Figure 4 : Modélisation des déchets et des zones de dépôts des déchets

souvent les déchets sont mélangés ce qui rend difficile voire impossible leur traitement.

Dans notre modèle, les déchets sont des données temporelles puisque leur volume varie au cours du temps. Bien entendu, la nature et le volume de déchets dépendent de la force de l'ouragan et du type d'habitat. Lorsque le modèle est utilisé pour faire de la simulation (type : calculé), il s'agira d'estimer la quantité de déchets à partir de règles et de données disponibles sur l'habitat. Un des enjeux du projet de recherche est d'établir des règles permettant d'estimer ces volumes en se basant sur des données historiques.

Ainsi, la fonction *Estimer Volume* (fig. 4) devra dépendre des données sur les ouragans, sur l'habitat et les matériaux de construction. Les données topographiques de la BDtopo de l'IGN sont ainsi utilisées pour faciliter cette estimation et comparer les volumes de déchets constatés à la déchetterie après Irma avec la quantité de bâtiments détruits ou endommagés, identifiés par télédétection par le SERTIT (Service Régional de Traitement d'Image et de Télédétection). La figure 3 illustre les données utilisées dans le projet Dépos pour estimer les déchets. Les données SERTIT ont été appariées avec les données de la BDTopo afin de construire une première fonction de calcul des volumes de déchets (Lamour *et al.*, 2020).

Un autre point important est l'aspect temporel de notre modèle Dépos. Si l'ouragan dure quelques heures, les zones de dégâts sont endommagées pendant beaucoup plus longtemps. Les déchets sont temporairement transférés des sources vers les aires de dépose, puis des aires de dépose vers les sites de transit, avant d'être transférés vers la ou les décharges. Le modèle de données ci-dessous décrit les classes et attributs utilisés pour réaliser ces analyses.

La deuxième partie du modèle Dépos (figure 5) modélise le transport des déchets entre les différentes zones de dépôt des déchets : des aires de dépose vers les zones de transit et des zones de transit vers la

ou les déchetteries ou vers des zones de traitement de déchets. Dans les Antilles les déchets peuvent également être expédiés par mer dans d'autres territoires qui pourront les stocker ou les traiter.

En utilisant les réseaux routiers réels à partir de données vectorielles de la BD Topo, on peut ainsi reconstituer le trajet des déchets entre les lieux de dépôt, vu comme des origines et destinations des trajets. Au niveau de la modélisation on crée donc des *trajectoires* et des *trajets*. Les trajectoires sont calculées entre des lieux de dépôt de déchets qui seront soit les aires de dépose, soit les zones de transit, soit les décharges, soit les éco-sites, soit les territoires extérieurs. Un trajet est le fait de transporter, selon une trajectoire, un tas de déchets ayant un certain volume, à une certaine date et selon un moyen de transport donné. Il est ainsi possible de compter les trajets théoriques permettant d'évacuer un certain volume de déchets (fig.5).

La compréhension des flux est importante, parce qu'elle permet d'estimer le coût des transports, notamment en CO2, et de réfléchir à l'optimisation du choix de la localisation des sites de transit pour minimiser les coûts et les pollutions induites par les transports de déchets après les ouragans. Ces simulations seront faites dans la deuxième partie du projet Dépos, en utilisant notamment de nombreuses données récoltées sur l'île de Saint-Martin suite au passage de l'ouragan Irma en septembre 2017.

Remerciements

Le Projet DEPOS est financé par l'Agence Nationale de la Recherche (convention ANR-18-OURA-0003) que nous remercions. Nous remercions également le SERTIT pour nous avoir fourni les données d'identification des maisons détruites et endommagées, ainsi que l'IGN pour avoir mis à notre disposition les données de la BDTopo sur l'île de Saint Martin.

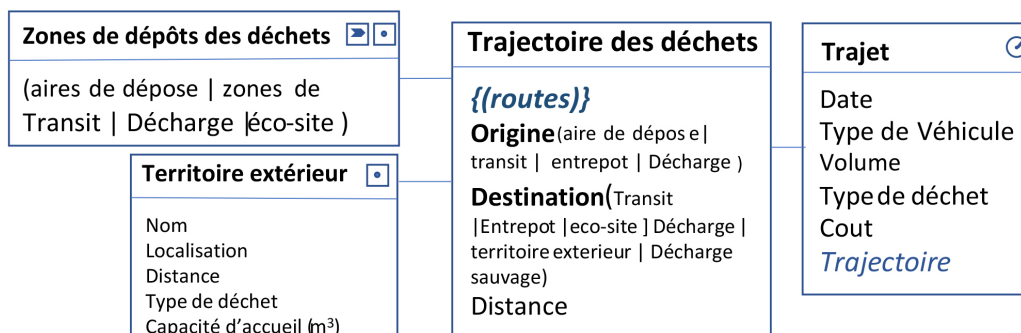


Figure 5 : Modélisation des transports des déchets entre zones de dépôt

Bibliographie

Below, R., Wallemacq, P. (2018). *Annual Disaster Statistical Review 2017*, Louvain, CRED, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters.

Brown, C., Milke, M., Seville, E. (2011). «Disaster waste management: A review article », *Waste Management*, 31(6), pp. 1085–1098.

CEPRI, 2012, Les collectivités territoriales face aux déchets des inondations : des pistes de solutions, Guide de sensibilisation.

https://www.cepri.net/tl_files/pdf/reglementation_digues/guide%20dechets%20inondation.pdf

GIEC, Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat, 2013, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

Lamour M., A. Ruas, S. Lhomme, 2020, Volume et collecte de déchets post ouragan: Premières propositions de modélisation à partir de l'ouragan Irma à Saint Martin, rapport du projet DEPOS. www.laburba.com/fileadmin/Fichiers/Lab_URBA/PROJET_DEPOS/

Nihart C. Bonnemains J, 2018, Les déchets de l'ouragan Irma, rapport du projet DEPOS www.laburba.com/fileadmin/Fichiers/Lab_URBA/PROJET_DEPOS/

Pramudita A., Taniguchi E., Qureshi A. G., 2014, « Location and Routing Problems of Debris Collection Operation after Disasters with Realistic Case Study, Procedia » . *Social and Behavioral Sciences*, 125, pp. 445–458.

Reinhart D., Mc Creanor P., 1999, Disaster Debris Management – Planning Tools, Final Report, US Environmental Protection Agency Region IV