
Une application SIG pour l'optimisation de la collecte des déchets post-inondation

Serge Lhomme¹, Mickael Brasebin², Arnaud Le Guilcher², Oumayma Kaabi^{1,2}, Sofiane Martel², Bruno Barroca³

1. Université Paris-Est Créteil (UPEC), Lab'Urba (EA 3482)

61 avenue du Général de Gaulle - 94010 Créteil - France

serge.lhomme@u-pec.fr

2. Université Paris-Est (UPEMLV), COGIT, LASTIG, IGN

73 avenue de Paris - 94160 Saint-Mandé - France

mickael.brasebin@ign.fr ; arnaud.le-guilcher@ign.fr

3. Université Paris-Est Marne-la-Vallée (UPEM), Lab'Urba (EA 3482)

Cité Descartes - 5 boulevard Descartes - 77454 Marne la Vallée - France

bruno.barroca@u-pem.fr

RESUME. Pour faciliter la reprise d'un fonctionnement normal à la suite d'une inondation, les collectivités territoriales doivent notamment faire face aux déchets produits par celle-ci. Dans ce contexte, le principal objectif du projet SIGOPT est de produire une extension à un Système d'Information Géographique permettant d'optimiser la collecte des déchets générés par une crue. Pour disposer d'une évaluation de la quantité de ces déchets, une extension SIG de la méthode Mécadépi a été développée. Pour modéliser la problématique d'optimisation, les modèles de localisation-allocation et de tournées de véhicules ont été articulés selon une logique à deux niveaux. Pour faire face aux nombreuses incertitudes, il est proposé d'adapter les algorithmes traditionnels d'optimisation à un cadre stochastique. Cette recherche a été appliquée au territoire francilien.

ABSTRACT. In order to recover quickly after a flood, local authorities have to deal with flood waste. In this context, the main objective of the SIGOPT project is to develop a Geographic Information System plugin for optimizing flood waste collection. A plugin, based on Mécadépi method, has been developed to quantify flood waste. Then, to model the optimization problem, location-allocation models and vehicle routing models have been articulated following a two-level logic. To deal with uncertainties, it is proposed to adapt traditional optimization algorithms to a stochastic framework. This research is applied to the Paris region.

MOTS-CLES : SIG ; Inondation ; Résilience ; Optimisation spatiale ; Modèles localisation-allocation ; Modèles de tournées de véhicules.

KEYWORDS: GIS; Flood risk; Resilience; Spatial optimization; location-allocation models; Vehicle routing problem.

1. Contexte de la recherche

Pour faciliter la reprise d'un fonctionnement normal à la suite d'une inondation et ainsi contribuer à la résilience d'un territoire, les collectivités territoriales doivent notamment faire face aux déchets produits par celle-ci. En effet, les volumes de déchets produits par une inondation peuvent être considérables. A titre d'exemple, les déchets générés par l'inondation consécutive à la tempête Xynthia ont représenté l'équivalent de 12 années de collecte « normale » pour le territoire touché (Beraud, 2013). Dans les faits, lors d'une inondation, l'eau dégrade tout ce qu'elle touche, générant par là même des déchets en quantité très importante. De surcroît, ces déchets mouillés ne sont pas des déchets « habituels », ce qui accroît la difficulté de la gestion et peut retarder la collecte.

Ces déchets soulèvent alors deux problèmes majeurs. Premièrement, s'ils ne sont pas collectés rapidement, ces déchets engendrent des nuisances importantes : dégradation de l'environnement, impacts sanitaires... Deuxièmement, les déchets non collectés, qui encombreront les axes routiers, peuvent gêner les secours et par conséquent compliquer la gestion de crise et le retour à la normale. Le maintien d'un service de gestion des déchets est donc stratégique pour la résilience des territoires face aux catastrophes. Dans ce contexte, peu de temps après une inondation, des questions d'optimisation se posent : Quels sites potentiels choisir pour entreposer les déchets afin de minimiser les nuisances environnementales ? Comment organiser la collecte des déchets ? Comment optimiser les tournées des véhicules de collecte ? Ces problèmes d'optimisation ne sont pas triviaux à formuler et à résoudre.

Plus spécifiquement, à Paris et en Ile-de-France, le coût d'une crue de la Seine équivalente à celle de 1910 apparaît difficilement estimable. Ainsi, les estimations existantes varient du simple au sextuple : de 5 à 30 milliards d'euros (Reghezza, 2015). Quoiqu'il en soit, ce coût est sans commune mesure avec ceux estimés pour d'autres territoires français. Si en France les inondations peuvent être considérées comme le risque naturel majeur, les coûts induits par les inondations étant les plus importants, une inondation de type 1910 en région parisienne peut dès lors apparaître comme l'aléa naturel le plus redoutable et la collecte des déchets générés par celui-ci peut être considérée comme la plus complexe.

Dans ce contexte, le principal objectif du projet SIGOPT (<https://github.com/IGNF/SIGOPT>) est de produire une extension à un Système d'Information Géographique (SIG) permettant d'optimiser la collecte des déchets générés par une crue et de l'appliquer au territoire francilien (plus précisément Paris et les départements de la petite couronne). Pour cela, il s'est tout d'abord révélé nécessaire de caractériser et de quantifier les déchets pouvant être produits par une inondation. Il faut préciser ici que l'application de cette recherche au territoire francilien s'est notamment appuyée sur des échanges avec les gestionnaires franciliens qui ont ainsi contribué à l'orienter.

2. Implémentation SIG d'une méthode permettant de caractériser et de quantifier les déchets générés par une inondation

Les recherches sur les impacts induits par des inondations se sont longtemps focalisées sur l'évaluation de leur coût économique. Ces recherches prennent peu en compte l'organisation de l'après crise, et le redémarrage des territoires (Béraud, 2013). Par exemple, concernant la gestion des déchets générés par l'inondation, le manque de méthodes d'évaluation (tenant compte de l'amplitude de l'inondation et de la vulnérabilité des enjeux) empêche les acteurs publics d'anticiper le problème et de mettre en place des plans de gestion efficaces. C'est pourquoi, une méthode facile d'utilisation permettant de quantifier et de qualifier les déchets des ménages qui pourraient être produits par une inondation sur un territoire a été développée très récemment pour le territoire français : Mécadépi (Béraud et al., 2012). La méthode Mécadépi permet ainsi d'estimer et de caractériser les déchets des ménages, mais ne s'attache pas aux autres déchets du territoire.

L'application de cette méthode sur un territoire requiert l'utilisation d'un SIG, car cette méthode repose sur des données géographiques facilement mobilisables qu'il convient de croiser : notamment la BDTOPO de l'IGN (plus précisément la couche des bâtiments indifférenciés) et l'emprise de la zone inondable (issue par exemple de la base de données Géorisque). La principale difficulté, pour appliquer cette méthode, réside alors dans le calcul du nombre de logements situés en zone inondable. En effet, Mécadépi fournit les coefficients qui permettent à partir de ce nombre de logements d'évaluer de manière sommaire et assez simple les quantités de différents types de déchets ménagers (ameublement, équipements électroniques et électriques, véhicules...), mais la méthode proposée pour évaluer le nombre de logements inondés peut apparaître assez contraignante.

Afin de faciliter l'implémentation de cette méthode par les collectivités territoriales et de disposer d'une évaluation de la quantité des déchets générés par une crue de la Seine sur le territoire étudié, un des objectifs du projet SIGOPT a été de créer une extension de cette méthode à un SIG libre. Les données nécessaires en entrée sont : une couche vectorielle des bâtiments, une couche vectorielle des IRIS, une couche vectorielle de la zone inondable et une table attributaire issue d'une enquête logement de l'INSEE. En sortie, les résultats sont stockés au sein de la couche des bâtiments et de la couche des IRIS sous la forme de champs qui correspondent aux différents types de déchets quantifiés. Ce stockage des résultats à une échelle très fine comme celle des bâtiments, s'il est très critiquable compte-tenu des nombreuses incertitudes présentes à cette échelle, permet d'obtenir facilement, par agrégation, des résultats à différentes échelles : îlots (Fig. 1), communes, intercommunalités, départements... Les résultats obtenus au niveau des bâtiments peuvent même être projetés sur les axes routiers, ce qui se révèle très pertinent dans le cadre de cette recherche.

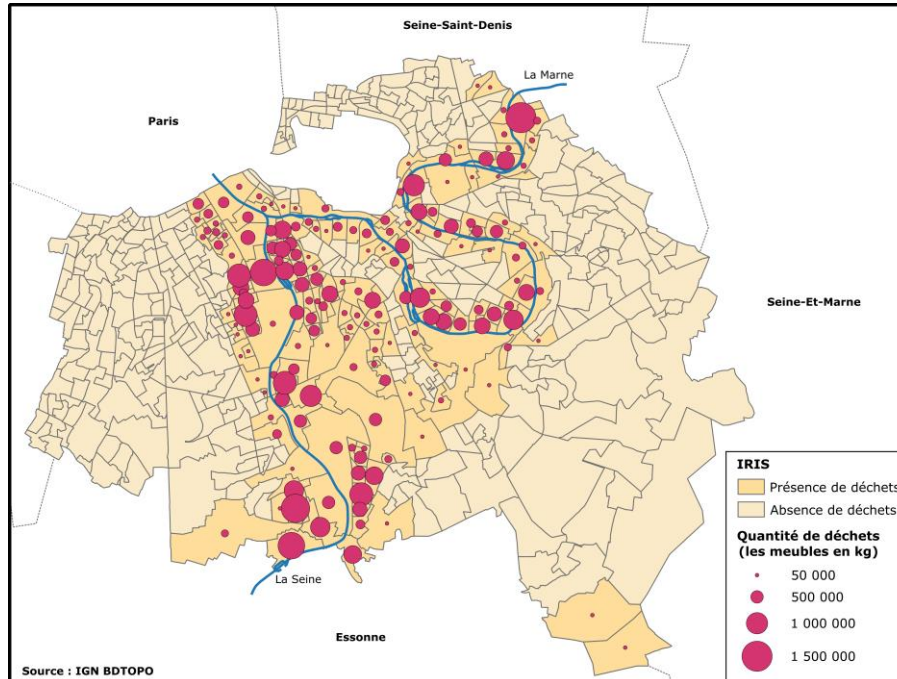


FIGURE 1. Cartographie des quantités de déchets (les meubles en kg) par IRIS dans le département du Val-de-Marne.

3. Optimisation de la collecte des déchets post-cruce

Une fois les quantités de déchets quantifiées, l'objectif de cette recherche est de formaliser de manière mathématique le problème de la collecte des déchets post-cruce afin de minimiser le temps de collecte tout en respectant des contraintes économiques, matérielles et humaines. Dans les faits, ce problème peut être rattaché à deux familles de problèmes classiques en recherche opérationnelle : les problèmes de localisation-allocation (Revelle et al., 1977) et les problèmes de tournées de véhicules (Dantzig et Ramser, 1959). Ces problèmes font depuis leur origine l'objet de travaux réguliers, ils sont donc nombreux, mais dans le cadre précis de la gestion des déchets post-cruce il existe peu de travaux, comme l'atteste un état de l'art d'une soixantaine d'articles sur l'optimisation spatiale et les SIG (Méneroux et al., 2015).

Les deux familles de problèmes d'optimisation abordées ici peuvent être modélisées sous la forme d'un graphe caractérisé par deux types de sommets : les points de collecte, caractérisés par une quantité de déchets à collecter, et les centres de stockage, caractérisés par une certaine capacité de stockage (Fig. 2). Les localisations envisagées des centres de stockage sont déterminées par les gestionnaires en charge de la collecte. Ce faisant, il est proposé dans cette recherche

d'articuler les modèles de localisation-allocation et de tournées de véhicules selon une logique à deux niveaux.

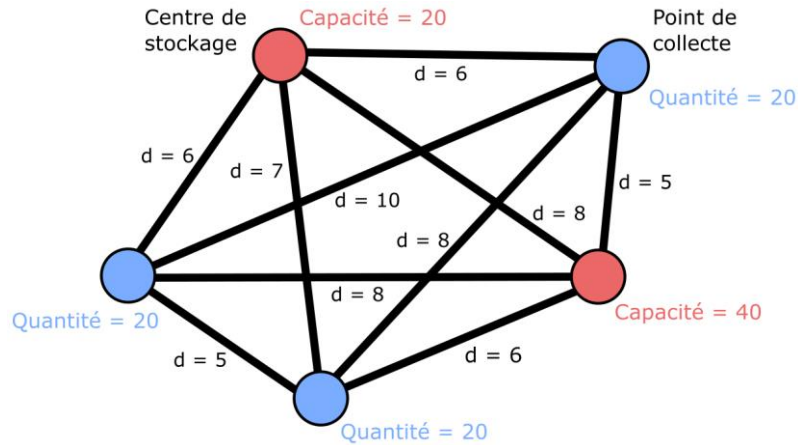


FIGURE 2. Représentation graphique simplifiée de la modélisation sous forme de graphe des problèmes d'optimisation abordés.

Ainsi, dans un premier temps, la résolution d'un modèle simple de localisation-allocation permet de minimiser le temps de collecte en affectant au mieux les points de collecte aux centres de stockage pour l'ensemble du territoire étudié. Parallèlement, comme les centres de stockage envisagés sont généralement des centres ouverts exceptionnellement pour faire face aux déchets générés par la crue, ce qui pose des problèmes politiques majeurs (les riverains de ces centres subissant des nuisances inhabituelles), il convient d'utiliser un deuxième modèle afin de déterminer s'il est possible de ne pas ouvrir tous les centres de stockage initialement prévus, sans pour autant excessivement dégrader le temps de collecte. Dans un deuxième temps, le modèle de tournées de véhicules est appliqué indépendamment pour chaque centre de stockage afin de minimiser le temps de collecte au sein des centres de stockage et d'organiser plus précisément la collecte sur un territoire restreint à un « bassin de collecte ».

Pour modéliser la collecte des déchets post-inondation, plusieurs modes de collecte ont été envisagés. Le mode de collecte le plus simple correspond à une collecte indifférenciée des déchets (tous les déchets sont mélangés et rien n'est trié) qui doivent être ensuite entreposés dans des points de transfert (où les déchets seront triés voire traités). Un deuxième mode de collecte est une collecte différenciée des déchets (ce mode de collecte permet d'effectuer un premier tri des déchets) avec des points de transfert eux aussi différenciés. Dans les faits, les gestionnaires semblent privilégier le premier mode de collecte. C'est donc sur ce mode de collecte que se fonde les modélisations effectuées, où les points de transfert sont considérés comme des centres de stockage.

Enfin, différents algorithmes de résolution ont été envisagés pour résoudre ces problèmes d'optimisation : des heuristiques relativement simples (algorithme glouton, algorithme de voisinage...) et des métaheuristiques plus complexes (recuit simulé, algorithme génétique, GRASP...). La métaheuristique du recuit simulé a finalement été retenue, car elle a la propriété d'être bien adaptée à la résolution des problèmes de localisation-allocation et des problèmes de tournées de véhicules (Kokubugata et al., 2008 ; Jiang et al., 2015 ; Wang et al., 2015).

La conception de telles méthodes d'optimisation se heurte cependant à une difficulté notable dans la réalité qui est l'incertitude sur les paramètres du modèle : les quantités de déchets évaluées par les méthodes de type Mécadépi sont soumises à une certaine variabilité et, dans un contexte d'inondations, la praticabilité de certains tronçons de route n'est pas acquise. Il convient alors d'adapter les algorithmes traditionnels d'optimisation à un cadre stochastique. Pour cela, à partir d'un modèle stochastique convenable, une approche de « quantification des incertitudes », à l'origine développée pour des modèles mécaniques (Sudret, 2007), est envisagée. Une telle approche permet de suivre les incertitudes à travers le processus d'optimisation et de rendre plus efficaces les prises de décision en environnement incertain.

4. Perspectives

Les collectivités territoriales sont confrontées à de nombreux problèmes d'optimisation qu'elles ne savent pas nécessairement résoudre. Le cas de la collecte des déchets post-inondation est un bon exemple. Un des défis sous-jacents à ce projet est donc d'identifier les modes de formulation géographique les plus pertinents pour « traduire » des problèmes mathématiques d'optimisation que seuls des mathématiciens ou des informaticiens peuvent résoudre à l'aide de logiciels de calculs numériques. A terme, relever ce défi permettrait à certains utilisateurs SIG de résoudre une grande diversité de problèmes d'optimisation spatiale.

Remerciements

Cette recherche a été financée dans le cadre d'un projet PEPS de l'université Paris-Est. Le projet SIGOPT s'inscrit ainsi dans le cadre d'une recherche exploratoire visant plus généralement à faciliter la formalisation et la résolution de problèmes d'optimisation spatiale au sein de Systèmes d'Information Géographique.

Références

Béraud H. (2013). *Initier la résilience du service de gestion des déchets aux catastrophes naturelles : le cas des territoires urbains et de l'inondation*. PhD thesis, Université Paris-Est Mane-La-Vallée.

- Beraud H., Jadot J., Barroca B., Hubert G., Bauduceau N., (2012). *Mécadépi. « Méthode d'Evaluation et CARactérisation des DEchets Post Inondation »*. Rapport final, Université Paris Est Marne-la-Vallée et CEPRI, 133 p.
- Dantzig G. B., Ramser J. H., (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, Vol. 6, pp. 80-91.
- Jiang Q., Wang C., Mu D., Zhou L. (2015). A hybrid metaheuristic algorithm for the VRPSD problem. *Journal of Computational Information Systems*, Vol. 11, n°13, pp. 4845–4856.
- Kokubugata H., Kawashima H. (2008). Application of Simulated Annealing to Routing Problems in City Logistics. In *Simulated Annealing*, Cher Ming Tan (Ed.), ISBN: 978-953-7619-07-7, pp.131–154.
- Méneroux Y., Brasebin M., Le Guilcher A., (2015). *Revue de l'état de l'art : SIG et Optimisation spatiale*, document de travail du projet SIGOPT, Laboratoire COGIT, 25 p.
- Reghezza M. (2015). *De l'avènement du Monde à celui de la planète : le basculement de la société du risque à la société de l'incertitude*. HDR, Université Paris 1- Panthéon Sorbonne.
- ReVelle C. S., Bigman D., Schilling D., Cohon J., Churuch R., (1977). Facility Location: A Review of Context-free and EMS Models. *Health Services Research*, Vol. 12, n°2, pp. 129-146.
- Sudret B., (2007). *Uncertainty propagation and sensitivity analysis in mechanical models - Contributions to structural reliability and stochastic spectral methods*. Habilitation à diriger des recherches, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 252 p.
- Wang C., Mu D., Zhao F., Sutherland J. W., (2015). A parallel simulated annealing method for the vehicle routing problem with simultaneous pickup–delivery and time windows. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 83, pp. 111–122.