

La gestion des déchets post-inondation : une clé pour la résilience des territoires

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 générés par une inondation peuvent être considérables et dépasser les capacités de collecte habituelles, car l'eau dégrade tout ce qu'elle touche.

Ces déchets soulèvent deux problématiques majeures :

- à court terme, ils produisent des impacts fonctionnels sur le territoire comme l'encombrement des rues pouvant gêner les secours ;
- à long terme, ils engendrent des impacts sanitaires et environnementaux menaçant la santé des individus.

Le territoire parisien, qui est très exposé aux risques d'inondation, n'échappe pas à cette problématique. C'est pourquoi, cette recherche vise à créer des outils, notamment une extension à un SIG, qui contribueront à optimiser la collecte des déchets générés par une crue et de les appliquer au territoire francilien.



Credit photo : France 3 IDF

Une "montagne" de déchets générés par une inondation à Nemours en 2016.

Implémentation SIG d'une méthode permettant de quantifier les déchets générés par une inondation

Afin d'optimiser la collecte des déchets post-inondation, il est nécessaire de caractériser et d'évaluer les quantités de déchets pouvant être générés par une inondation.

Pour cela, une méthode a déjà été développée. Elle permet de caractériser et de quantifier les déchets ménagers qui pourraient être produits par une inondation : Mécadépi (Béraud et al., 2012). L'application de cette méthode requiert l'utilisation d'un SIG, car elle repose sur des données géographiques qu'il convient de croiser.

Les données (de base) nécessaires pour appliquer Mécadépi peuvent être facilement obtenues :

- Une couche vectorielle "bâti", issue de la BDTOPO de l'IGN, qui contient une couche "bâtiments indifférenciés";
- Une couche vectorielle de la zone inondable, issue par exemple de la base de données Géorisque ;
- Une couche vectorielle des IRIS ;
- Une table attributaire issue de l'enquête logement de l'INSEE.

Néanmoins, les opérations de croisement topologique et de jointure attributaire à réaliser pour obtenir le nombre de logements situés en zone inondable ne sont pas si simples. De surcroît, Mécadépi propose deux niveaux d'analyse, un niveau "sommaire" et niveau "détaillé" fournissant des résultats plus précis. Or, ce niveau détaillé requiert d'enrichir les données de départ et nécessite donc un travail de collecte de données sur le terrain plus important.

C'est pourquoi, dans le cadre de l'évaluation réalisée sur le territoire francilien, une extension SIG a été développée. Elle permet d'effectuer toutes les opérations techniques simplement, les gestionnaires pouvant dès lors se focaliser uniquement sur la collecte des données : <https://github.com/IGNF/SIGOPT>

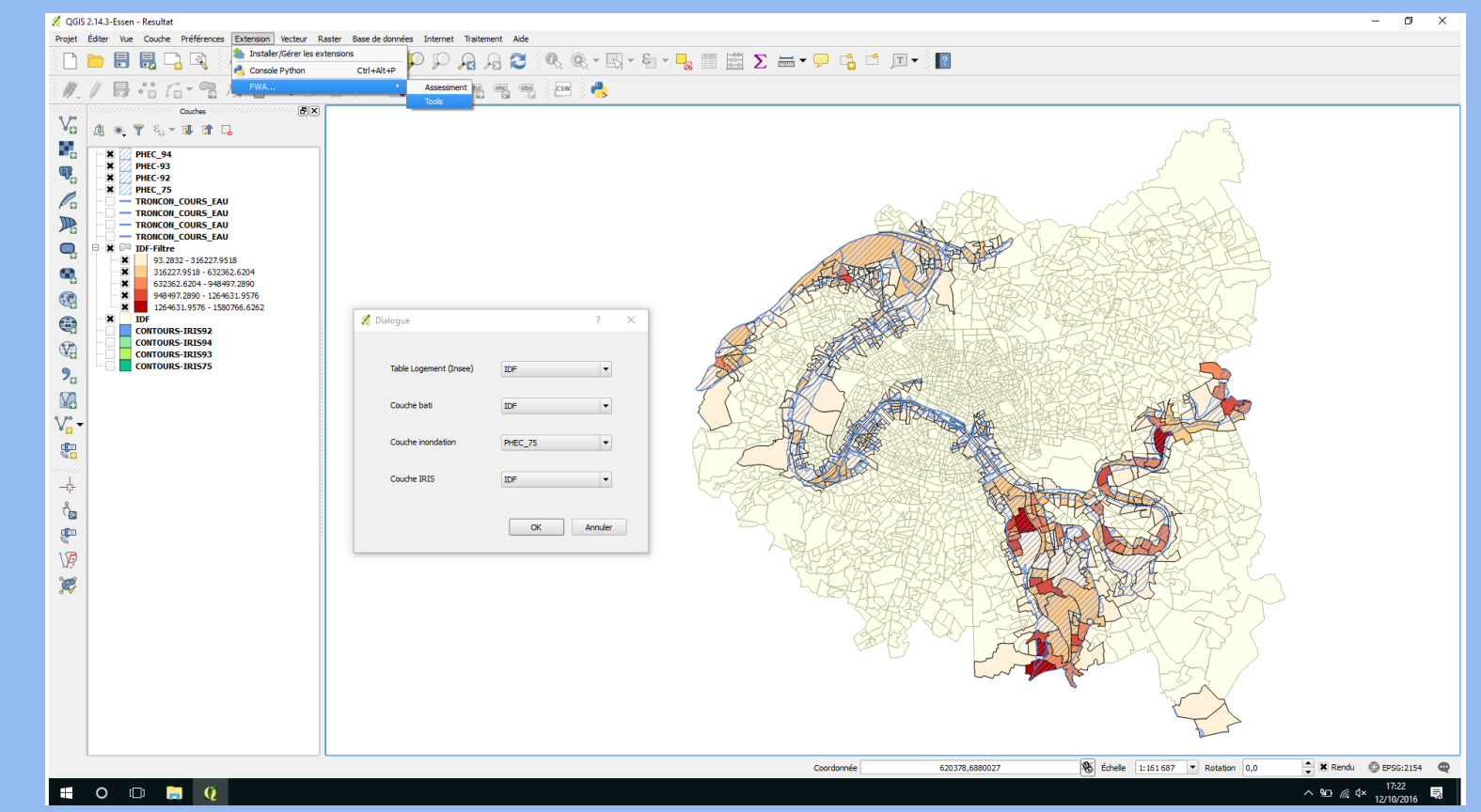
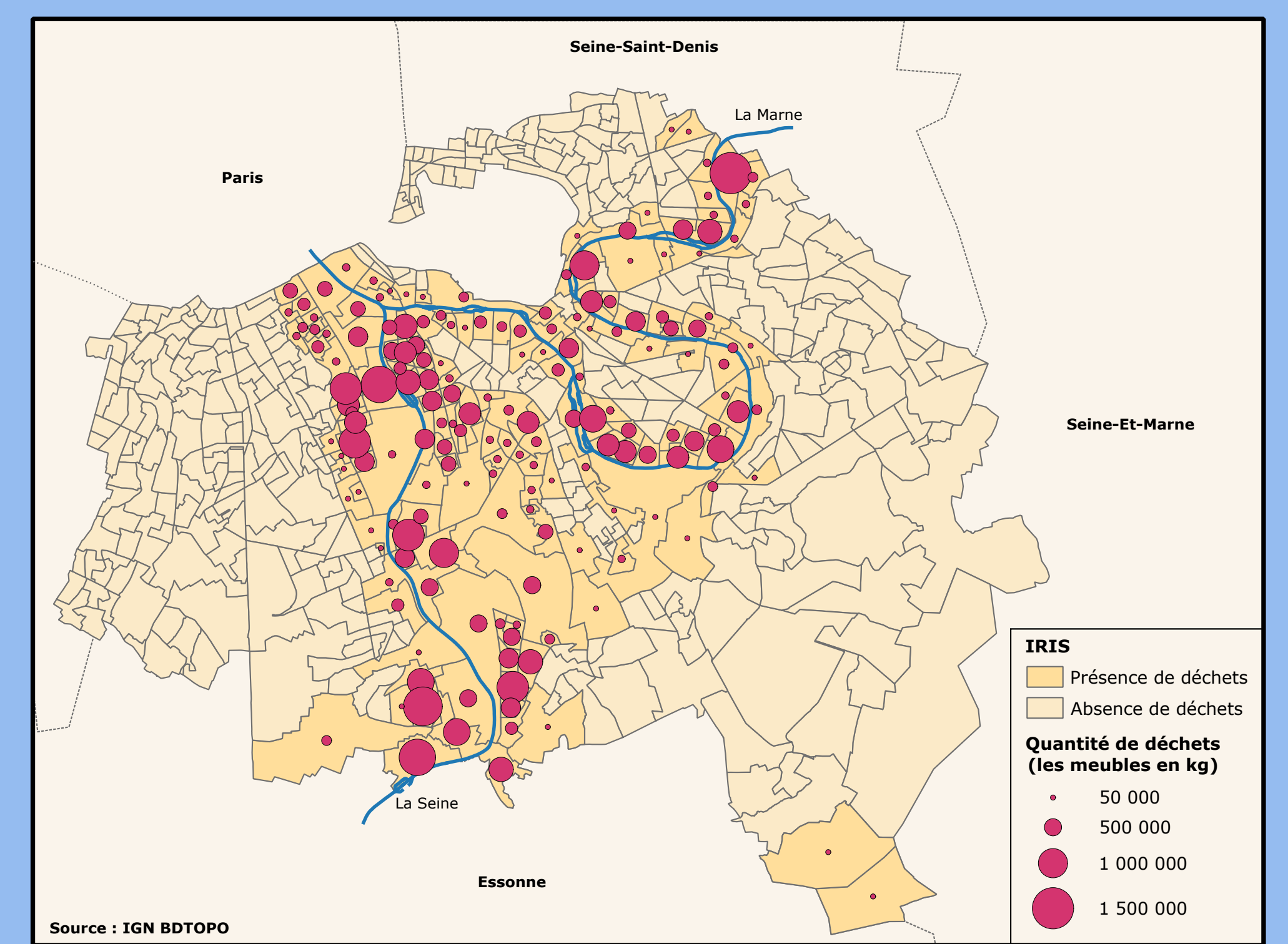


Image de l'extension QGIS développée pour évaluer les quantités de déchets générés par une inondation.



Exemple d'opérations à effectuer pour appliquer Mécadépi : description des opérations attributaires et topologiques effectuées pour estimer le nombre de logements en zone inondable.



Cartographie des quantités de déchets évaluées pour les IRIS du Val-de-Marne dans le cas d'une inondation centennale de type 1910.

Optimisation de la collecte des déchets post-inondation

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-inondation afin de minimiser le temps de collecte tout en respectant des contraintes économiques, matérielles et humaines.

Ce problème peut être rattaché à deux familles de problèmes classiques de la recherche opérationnelle :

- Les problèmes de localisation-allocation (Revelle et al., 1977) ;
- Les problèmes de tournées de véhicules (Dantzig et Ramser, 1959).

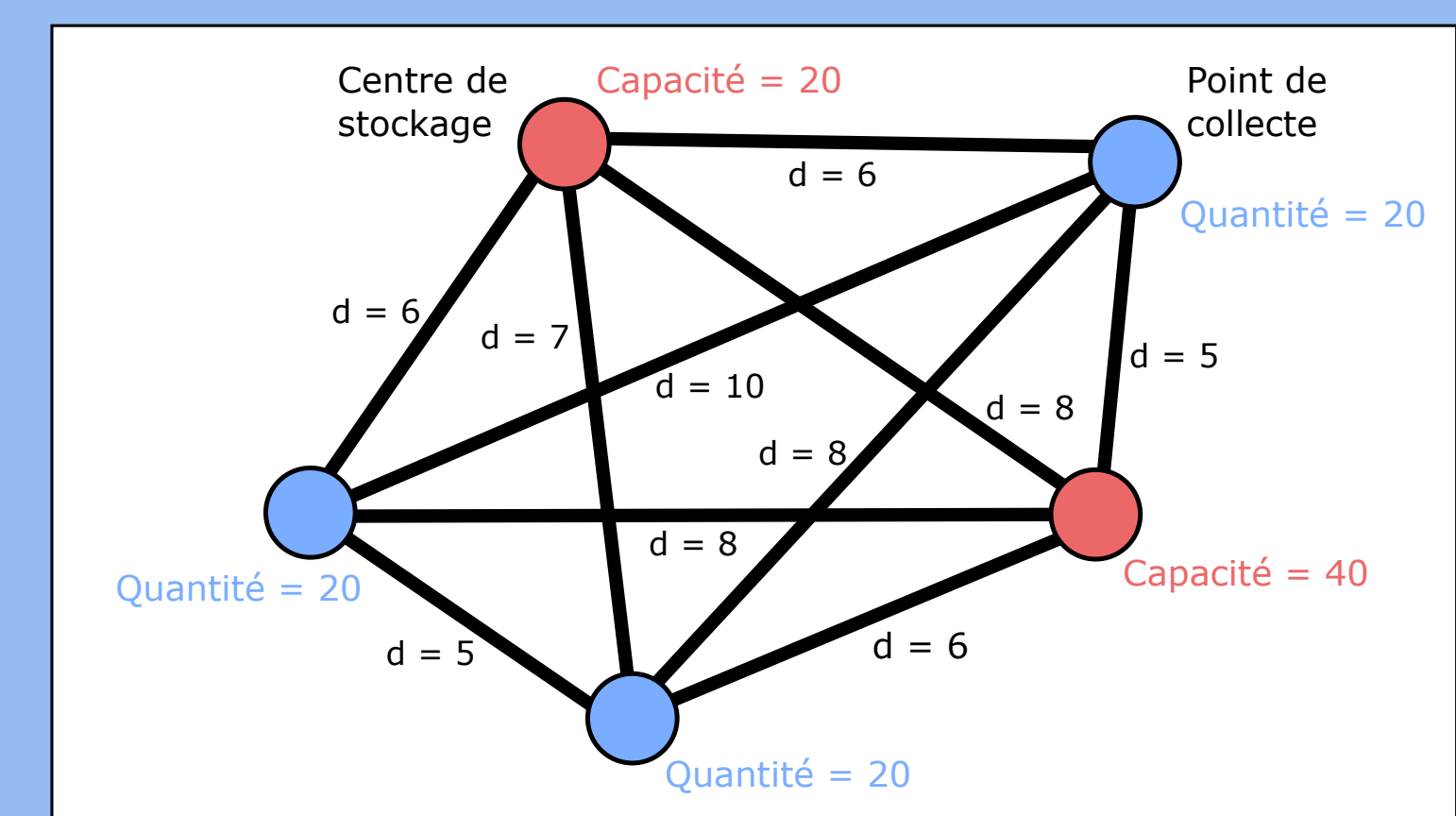
Il est proposé dans cette recherche d'articuler ces deux familles de problèmes selon une logique à deux niveaux :

- 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 ;
- Dans un deuxième temps, un modèle de tournées de véhicules est appliqué indépendamment pour chaque centre de stockage afin de minimiser les temps de collecte au sein des centres de stockage.

Ces deux familles de modèles peuvent être formalisées sous la forme d'un graphe. Ce graphe est caractérisé par deux types de sommets :

- Les points de collecte caractérisés par une quantité de déchets à collecter. Ces quantités sont déterminées par la méthode Mécadépi.
- Les centres de stockage caractérisés par une certaine capacité de stockage. Ces centres sont déterminés par les gestionnaires.

La conception de telles méthodes d'optimisation se heurte cependant à une difficulté notable : l'incertitude sur les paramètres du modèle. C'est pourquoi, des propositions ont été formulées pour adapter les algorithmes d'optimisation à un cadre stochastique.



Formalisation des deux familles de problèmes sous la forme d'un graphe.

Nb centres de stockage	Nb points de collecte	Temps (s)	Optimisation - allocation
4	9	3,2	
5	10	6,2	
5	15	9,2	
15	15	1200	
15	25	-	

Nb centres de stockage	Nb points de collecte	Nb Véhicules	Temps (s)	Tournées de véhicules
1	3	3	1,27	
1	6	3	5,09	
3	10	4	900	
3	30	4	-	

Les temps de calcul pour une résolution exacte des problèmes traités : le nombre de points collecte ou de centres de stockage ne doit pas être trop élevé.

Prise en compte des incertitudes pour l'optimisation de la collecte

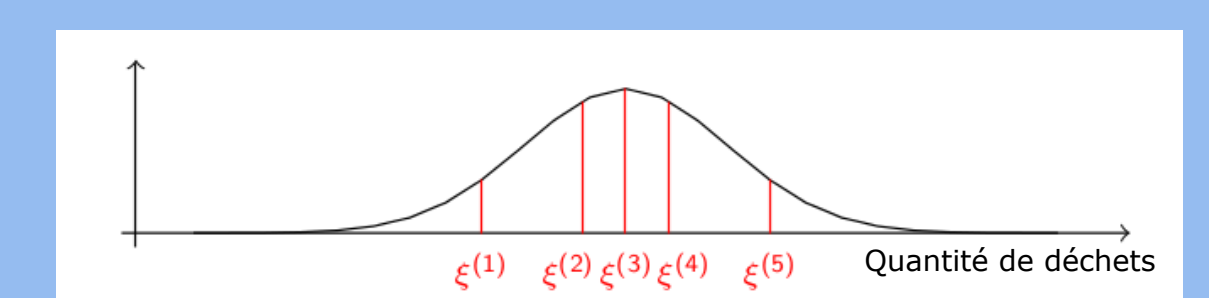
Pour permettre aux décideurs de planifier la collecte des déchets de manière optimale, il convient de faire face à l'incertitude :

- sur les quantités de déchets à collecter (incertitude inhérente aux imprécisions du modèle et des données en entrée) ;
- sur les hauteurs d'eau et donc sur la praticabilité des voies.

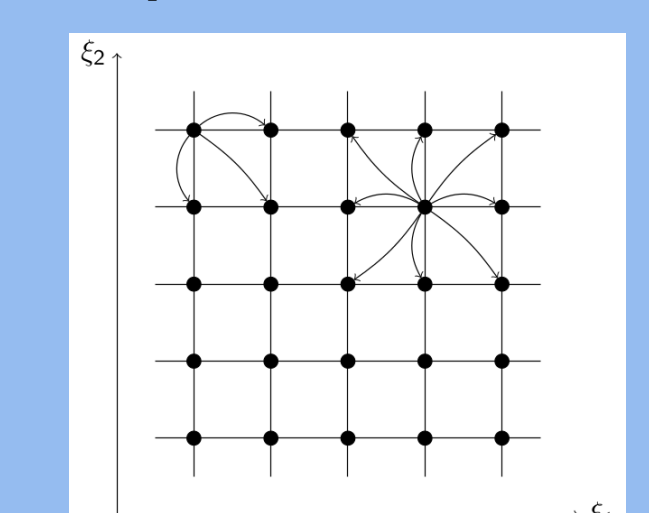
Cette recherche s'est focalisée sur la résolution du problème de tournées de véhicules dans un cadre stochastique.

Pour cela, on considère un petit nombre de paramètres aléatoires, supposés indépendants, et on cherche les solutions optimales sur les points d'une grille dans l'espace de ces paramètres aléatoires, en utilisant les quantiles des distributions de ces paramètres pour la discrétisation. On peut calculer ces solutions en lançant le même algorithme indépendamment pour chaque valeur des paramètres (**méthode non intrusive**), mais cette méthode est coûteuse en temps de calcul. Dans le cadre de ce travail, nous avons proposé **une méthode intrusive** fondée sur des colonies de fourmis.

Le principe est que les algorithmes de colonies de fourmis sont exécutés en parallèle et qu'au fur et à mesure des itérations, les colonies prenant en compte des valeurs de paramètres proches échangent des informations (des phéromones) afin d'accélérer la convergence. Des premiers résultats ont été testés et ont montré la validité de l'approche, les minima globaux ont été atteints avec moins d'itérations que pour la méthode non intrusive.



Discretisation des valeurs d'un paramètre représentant une quantité de déchets.



Propagation de phéromones sur une grille avec deux paramètres incertains.

Références

Beraud H., Jadot J., Barroca B., Hubert G., Bauduceau N., 2012, Mécadépi. Méthode d'évaluation et de caractérisation des déchets post-inondation, Rapport final, Université Paris-Est Marne-la-Vallée, 133p.

Dantzig G.B., Ramser J.H., 1959, The truck dispatching problem, *Management Science*, Vol. 6, pp.80-91.

Revelle C. S., Bigman D., Schilling D., Cohon J., Churuch R., 1977, Facility Location : A review of context-free and EMS Models, *Hearth Service Research*, Vol. 12, pp. 129-146.

Perspectives, financement et valorisation de la recherche

Désormais, il convient d'appliquer l'heuristique développée au cas francilien. Pour cela, il convient de définir plus précisément quels sont les centres de stockages envisagés par les gestionnaires et de connaître leur capacité de stockage.

De surcroît, cet algorithme doit être couplé à un SIG et ainsi compléter l'extension développée pour quantifier les déchets générés.

Cette recherche a été financée dans le cadre d'un projet PEPS de la COMUE Paris-Est supporté par le CNRS. Ce projet nommé **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 SIG.

L'ensemble des développements réalisés dans le cadre de ce projet sont disponibles à l'adresse suivante : <https://github.com/IGNF/SIGOPT>