

ESTIMATION ET ANALYSE SPATIALES DES ÉMISSIONS DE POLLUANTS DE TRANSPORTS INDIVIDUALISÉS

Évaluation des performances environnementales d'un transport à la demande

par Julie Prud'homme

LabEx DynamiTe – UMR CNRS 8504 Géographie – Cités
190-198 avenue de France 75013 PARIS

Thèse réalisée à l'UMR 7300 sous la direction de Didier Josselin et Cyrille Genre-Grandpierre

Ma thèse de géographie intitulée « Estimation et analyse spatiales des émissions de polluants de transports individualisés - Évaluation des performances environnementales d'un Transport à la Demande », soutenue le 25 octobre 2013 à l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, avait comme objectif d'analyser les impacts environnementaux des systèmes de Transport à la Demande (TAD). En effet, le TAD est un système de transport qui propose un usage collectif des véhicules automobiles, par opposition à l'usage des véhicules personnels (VP). Situé entre le fonctionnement des taxis et celui des transports en commun classiques, il propose un service à la fois flexible dans le temps et dans l'espace à la manière des taxis, favorisant le partage des véhicules, comme les transports en commun. Dans les esprits, les TAD sont souvent associés à une réduction des émissions de polluants et sont mis en place principalement dans des territoires ruraux en France. Pourtant, le simple regroupement effectué par les TAD suffit-il pour que la mise en place des TAD soit profitable à l'environnement et à la qualité de l'air ?

J'ai donc cherché à identifier des lois et des seuils relatifs aux émissions de polluants produites par le fonctionnement d'un TAD : dans quelle mesure le réseau routier influe-t-il sur les performances environnementales des TAD ou sur la capacité de regroupement des clients dans les véhicules ? Selon quelles caractéristiques de service (fenêtres de temps autorisées) ? Plus globalement, est-ce que l'optimisation d'un même type de TAD est équivalente d'un réseau routier à un autre, du point de vue des émissions de polluants ? Aucun outil intégré permettant d'effectuer cette tâche n'étant disponible, j'ai mis au point une *chaîne de traitement géomatique* permettant d'estimer les quantités

de polluants émises sur les tronçons de route dans le cadre du fonctionnement particulier des TAD et de les cartographier pour analyser leur répartition spatiale. Cet outil associe un SIG à un modèle d'émission que nous avons adapté à notre problématique (GREEN-DRT - *Geographical Reasoning on Emission Estimations based on road Network shape applied for Demand Responsive Transport*).

Ce modèle est directement inspiré de modèles d'émissions classiquement utilisés en France et en Europe (MEET et COPERT). La grande différence tient au contexte de mise en œuvre du modèle. Ainsi, l'association de ces modèles et des données relatives aux chemins empruntés permet de calculer les émissions produites par les véhicules sur chaque tronçon avec GREEN-DRT. Les émissions de polluants considérés dans GREEN-DRT sont de deux formes : des émissions de « base » liées à la distance parcourue et la vitesse de circulation (émissions à chaud) et des surémissions qui s'ajoutent aux premières de manière ponctuelle (surémissions à froid et à l'accélération). Le réseau routier se place en variable en entrée du modèle, tout comme le type de véhicule et le carburant utilisé. Ainsi, GREEN-DRT s'inscrit dans une simulation de déplacements, ce qui permet de maîtriser tous les éléments en entrée ainsi que la granularité d'analyse des parcours. Le modèle permet ainsi d'estimer les polluants produits sur chaque tronçon et de les accumuler à l'échelle voulue (tronçon, trajet, simulation). Une chaîne de traitement utilisant notamment ArcGIS, avec Network Analyst, a été mise en place pour créer la donnée sur la composition en tronçons de route des trajets qui se place en amont du calcul des émissions. Cette précision des données m'a permis d'analyser l'impact de l'homogénéité des vitesses au cours d'un trajet sur les émissions de polluants et d'obtenir une

cartographie des émissions de polluants à l'échelle du tronçon de route pour chaque scénario simulé, quel que soit le territoire concerné.

Comme indiqué dans la figure 1 qui suit, chacune des phases de la modélisation est composée de différentes étapes qui mobilisent différents logiciels et outils. Entre chaque étape, une routine en Common Lisp (CL) intervient pour formater les tables de manière à interfacer les logiciels.

En utilisant cet outil, j'ai pu analyser l'effet de la morphologie des réseaux sur les distances parcourues en utilisant des cas types de réseaux routiers (Dallas, Nice, Rennes, Grenoble) et l'impact de la hiérarchisation des réseaux par la vitesse sur ces mêmes distances et sur les performances des TAD. J'ai également exploré les variations de quantités de polluants émises selon des scénarios de vitesses employées et le carburant utilisé.

En comparant systématiquement les émissions de polluants produites par le système de TAD à celles produites pour les mêmes déplacements effectués individuellement avec des véhicules personnels, les divers scénarios et conclusions ont contribué à se dégager des évidences (le regroupement et le déclenchement du service « à la demande » permettent de réduire les émissions de polluants) et d'analyser l'impact des différentes composantes du service de TAD sur les émissions de polluants qu'il provoque. J'ai ainsi été en capacité d'identifier des configurations de service optimales.

En utilisant GREEN-DRT, j'ai pu localiser la source des émissions sur les réseaux routiers et identifier la propension de certains réseaux à la création de poches d'émissions. Cette cartographie des émissions à l'échelle des tronçons de route est importante car elle permet l'analyse de leur distribution sur le territoire. En effet, entre deux topologies différentes, il est possible d'observer la même quantité globale d'émissions mais une répartition très différente dans l'espace. On peut envisager qu'en analysant la localisation des sources des émissions dans son contexte géographique, il soit possible d'identifier des enjeux majeurs de santé publique (par exemple, une concentration de production d'émissions à proximité de publics sensibles, aux abords d'une école). Cette approche permettrait donc, d'une part, de diagnostiquer des problèmes, et, d'autre part, en effectuant des simulations, d'identifier des solutions.

Avec cet outil, nous avons pu analyser les impacts des différentes composantes des services de TAD sur leur production de polluants atmosphériques. Les centaines de simulations effectuées nous ont permis de déterminer l'importance de chaque paramètre que l'on peut utiliser

pour réduire, ou du moins minimiser, les émissions de polluants par les TAD. Ces leviers se situent à deux niveaux :

- des paramètres communs aux différents services de transport sur un même territoire liés aux caractéristiques du réseau routier ;
- des caractéristiques propres au service de TAD (nombre de demandes et fenêtre de temps).

Les recommandations concernant les réseaux pour une réduction des émissions de polluants sont donc applicables tant pour les TAD que pour l'usage des véhicules personnels. Le réseau routier en lui-même peut permettre, d'une part, la limitation des émissions de polluants et, d'autre part, un meilleur taux de regroupement dans les TAD. Le réseau doit alors être considéré comme une composante du service de TAD, et être analysé particulièrement en amont de leur mise en place.

L'optimisation environnementale des TAD dépend conjointement des particularités du territoire et du service envisagé. Ainsi, selon les caractéristiques du territoire et du réseau routier, les seuils d'efficacité environnementale des TAD sont différents. Cela sous-tend que le TAD ne permet pas de réduire les émissions de polluants globales par rapport à l'usage des véhicules personnels sur tous les territoires. On ne peut donc pas s'affranchir de l'établissement d'un diagnostic environnemental précis avec GREEN-DRT, en amont de la mise en place d'un service de TAD. Les performances environnementales des TAD étant propres à chaque territoire, la généralisation des résultats obtenus ici n'est pas possible. L'identification des configurations optimales entre caractéristiques du service de TAD, configuration spatio-temporelle des demandes et réseau routier pour minimiser la pollution de l'air nécessiterait de multiplier les modélisations, sur des territoires variés.

Dans l'absolu, pour améliorer la qualité de l'air sur un territoire lors la mise en œuvre d'un TAD, le réseau routier doit être fortement connecté, peu hiérarchisé par des vitesses homogènes. La configuration idéale des demandes pour le regroupement des clients est un volume de demandes important et des déplacements spatialement concentrés mais répartis tout au long de la journée.

En pratique, la connectivité du réseau routier est héritée. La modification du réseau pour une amélioration de la connectivité ne peut être faite qu'à la marge (aménagement coûteux). En revanche, il est possible d'y appliquer un scénario de vitesse adapté à la minimisation des émissions de polluants, tout en maintenant une bonne efficacité des trajets.

		1. Création de la donnée nécessaire au calcul des émissions		2. Calcul des émissions et exploitation		
Tâche	Création du réseau, des arrêts et de la demande	Choix des paramètres des simulations	Optimisation du service de TAD	Reconstitution des trajets	Calcul des quantités de polluants émises sur chaque tronçon de route	Cartographie et analyse des émissions sur le réseau. Statistiques sur la qualité de service du TAD.
Logiciel	LispStat ArcGIS		GaleopSys	ArcGIS/ ACCESS	GREEN-DRT	ArcGIS/ ACCESS

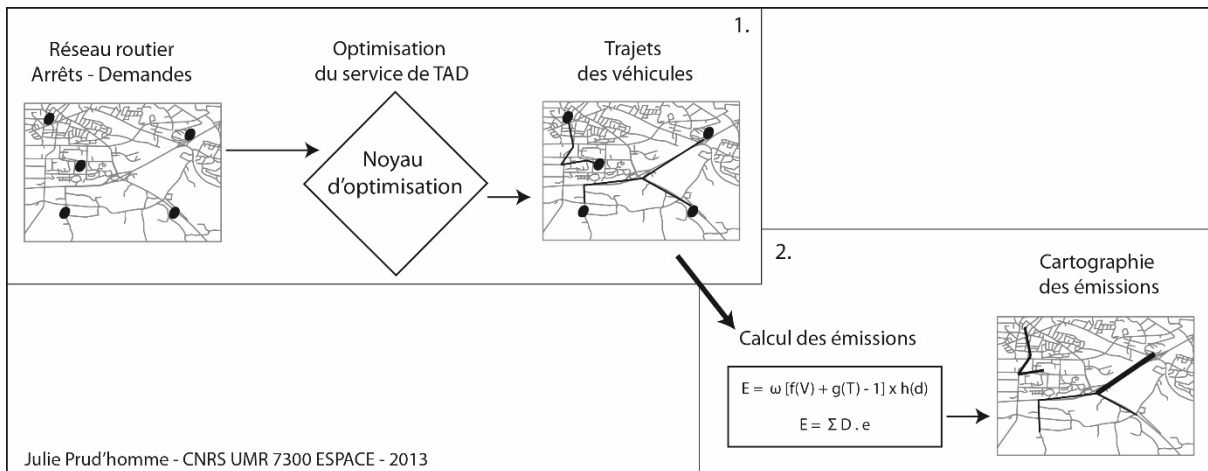


Figure 1 : Grandes étapes de la chaîne de traitement et logiciels mobilisés

La configuration spatio-temporelle des demandes de déplacements, et leur volume, sont des éléments sur lesquels il est possible de travailler pour améliorer les performances environnementales d'un TAD, selon des temporalités différentes. À long terme, il est possible de repenser l'espace et la localisation des zones d'habitation et des zones d'activité de manière à potentialiser les performances environnementales des TAD. À court terme, il faut envisager de mettre en place une tarification variable de manière à favoriser le regroupement des clients dans les véhicules. Cette tarification peut, en plus, permettre que le temps « perdu » par le client avec l'usage du TAD soit accepté.

Il est ressorti des différents scénarios simulés que les TAD ne sont pas systématiquement une solution pertinente dans un objectif de réduction globale des émissions de polluants sur un territoire donné. Le constat de la faible pertinence environnementale de ce mode de transport sur les territoires les moins denses (type zones rurales) a été fait, pourtant, ce sont sur ces territoires que les TAD sont développés en France. À défaut d'engendrer une réduction des émissions de polluants, ils ont souvent un rôle social important en se positionnant

non pas comme une alternative à la voiture personnelle, mais en permettant à des populations captives de se déplacer. En cela, la dimension « durable » des TAD (au sens du développement durable) couvre essentiellement l'aspect social, les objectifs des piliers environnemental et économique ne pouvant être complètement remplis. Il s'agit alors de minimiser les émissions de polluants provoquées par le fonctionnement du service en identifiant les caractéristiques de mise en œuvre les plus adaptées pour le cas donné.

Le noyau GREEN sur lequel GREEN-DRT est basé avec une application spécifique pour les TAD est générique et permet de modéliser d'autres systèmes de transport. Actuellement, il est utilisé dans une chaîne de modélisation complexe permettant de localiser les sources d'émissions d'échappement dans un scénario de croissance urbaine et de réorganisation urbaine pour en évaluer l'impact sur la qualité de l'air. De plus, son fonctionnement basé sur le trajet de chaque véhicule a permis une adaptation aisée pour l'évaluation des émissions de polluants provoquées par la circulation automobile modélisée dans un système multi-agent.