

---

# Du comptage ponctuel à l'affectation par simulation multi-agents :

## *Application à la circulation routière de la ville de Dijon*

Justin Emery <sup>1,3</sup>, Nicolas Marilleau <sup>2</sup>, Thomas Thevenin <sup>1</sup>, Nadège Martiny <sup>3</sup>

1. ThéMA UMR 6049, Université de Bourgogne

2 Boulevard Gabriel, 21000 Dijon, France

[justin.emery@u-bourgogne.fr](mailto:justin.emery@u-bourgogne.fr)

[thomas.thevenin@u-bourgogne.fr](mailto:thomas.thevenin@u-bourgogne.fr)

2. UMI 209 UMMISCO IRD/UPMC

32 rue Henri Varagnat, 93143 Bondy Cedex, France

[nicolas.marilleau@ird.fr](mailto:nicolas.marilleau@ird.fr)

3. Equipe CRC, Biogéosciences, UMR 6282, Université de Bourgogne

6 Boulevard Gabriel, 21000 Dijon, France

[nadege.martiny@u-bourgogne.fr](mailto:nadege.martiny@u-bourgogne.fr)

---

*RESUME. A travers une démarche expérimentale de simulation de la circulation routière pour estimer les pollutions atmosphériques en milieu urbain, cette proposition questionne les opportunités qu'offre la simulation multi-agents pour intégrer des données d'observations du trafic routier au sein d'un système d'information géographique. Pour cela, la construction du modèle d'affectation s'est faite en deux étapes : une première, d'acquisition et de structuration des données de comptages et une seconde visant à interfacier ces données au sein d'une plateforme de simulation multi-agents pour en reproduire la variabilité intra journalière et la fréquentation routière.*

*ABSTRACT. Throuh an experimental approach to simulate traffic for the estimate of atmospheric pollutions in urban environment, this proposal focuses on the opportunities of agent-based model to integrate traffic data within a geographic information system. To reach this objective, the construction of the model is structured in two steps: first, the acquisition and structuring of traffic data and, second, to interface these data within an agent-based model to reproduce the intra-daily variability -and road traffic.*

*MOTS-CLES : Simulation multi-agents, Modèle de trafic, Données de comptage, Trafic routier, Affectation*

*KEYWORDS: Agent-Based Models, Traffic model, Traffic data, Traffic road, Assignment*

---

## 1. Introduction

Récemment, l'OMS a déclaré la pollution de l'air extérieur comme étant cancérigène pour la santé humaine<sup>1</sup>. Sa compréhension présente un véritable enjeu pour les politiques publiques afin de mieux en identifier les sources et leurs impacts. A l'échelle locale, la pollution atmosphérique est à relier directement à l'intensité des sources d'émissions qui vont accentuer, ou non, les concentrations de polluants émis dans l'atmosphère (Elichegaray, 2010). Pour le trafic routier, cette intensité est à relier à la circulation routière autant dans le temps que dans l'espace.

L'évaluation de la Pollution Atmosphérique Automobile (PAA) à l'échelle d'une agglomération implique de disposer d'une information spatialisée du trafic sur les axes routiers (PCIT, 2012). La piste privilégiée pour y parvenir est d'utiliser les modèles de trafic et leurs résultats (les trafics modélisés) pour alimenter un modèle d'émission et de dispersion de polluants de l'air. Malgré des évolutions importantes, la modélisation à quatre étapes reste l'outil dominant pour modéliser les déplacements et mener des études d'impacts routiers en milieu urbain (Chatzis, 2011 ; Debizet, 2011 ; Fouillé *et al*, 2012). Le trafic routier est le résultat d'un processus de construction et de modélisation basé sur la demande et l'offre de déplacement (Bonnell, 2001). Il est donc nécessaire de faire appel aux données de comptages routiers pour estimer et ajuster la véracité des estimations de trafic routier (SETRA, 2010). Cette dernière étape est d'autant plus nécessaire lors des études relatives aux impacts environnementaux du trafic routier.

De ce point de vue, nous proposons plutôt de se rapprocher, via une approche *bottom-up*, du véhicule en tant que tel pour reproduire la circulation urbaine en faisant appel à la Simulation Multi-Agent (SMA). À travers la ville de Dijon, c'est cet usage dit descriptif par les données de comptage que nous souhaitons questionner. Il apparaît intéressant de mobiliser ces données en vue de s'affranchir de l'usage des modèles habituellement utilisés dans les études d'impact du trafic routier (modélisation à quatre étapes). Dans cet article, la démarche présentée est à l'interface de la modélisation macroscopique et microscopique. Elle s'oppose à la modélisation macroscopique de par la nature de la donnée dont nous disposons (le comptage) et ne permet pas une vision microscopique car les véhicules ne sont pas observés avec précision. La SMA paraît appropriée à la démarche proposée parce qu'elle se prête très bien à la représentation des mobiles en étant plus intimement liés aux SIG et aux données (Marilleau, 2006, Taillandier *et al*, 2014).

Suite à cette introduction, nous décrivons les limites de la modélisation macroscopique en vue de répondre à la question de l'évaluation des PAA. Nous présenterons ensuite les éléments méthodologiques pour introduire les données de comptage au sein d'un modèle multi-agents avant de décrire la dynamique de simulation du modèle mis en place.

---

<sup>1</sup> [http://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/pr221\\_E.pdf](http://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/pr221_E.pdf)

## 2. Problématique de la modélisation du trafic routier

Il existe différents modèles de simulation du trafic routier. Les premiers dits microscopiques permettent de fournir la description la plus précise possible des conditions de circulation : les caractéristiques cinématiques (accélération, vitesse,...) des véhicules. Toutefois, la complexité des données et des calculs nécessaires à son application limitent ce type d'approche à un ensemble restreint de tronçons routiers et de carrefours (Maciejewski, 2010). On se tourne donc généralement vers les seconds modèles dits macroscopiques. Ceux-ci fournissent un niveau de détail moins important sur les conditions de circulation, mais ils permettent une approche plus globale des problèmes de déplacement (Masson, 2000). Dans ce cas de figure, on a généralement recours à la modélisation à quatre étapes qui est l'outil le plus répandu au sein des agences en charge de la qualité de l'air (AASQA).

### 2.1. La construction classique du trafic routier en milieu urbain

Traditionnellement, la modélisation du trafic routier repose sur un système séquentiel en quatre étapes : génération-distribution-répartition-affectation (Bonnell, 2001). Sur la base d'enquête-ménages, ces étapes permettent de reconstruire les déplacements de la population d'une agglomération. Les deux premières étapes de **génération-distribution** permettent d'établir la demande de déplacement et forment le socle de base de la modélisation urbaine. Ces déplacements sont retranscrits sous la forme d'une matrice Origine-Destination (OD) entre des zones d'attraction et d'émissions issues des zonages de l'enquête. Les deux autres étapes **répartition** et **affectation**, quant à elles, permettent le passage au trafic selon un mode de transport et un itinéraire privilégié entre chaque zone origine-destination. Sur la base des matrices OD, elles visent à déterminer les flux de trafic passant sur les différents axes d'une agglomération.

L'enquête-ménage permet d'aborder les déplacements urbains sur une situation de référence moyenne dont la portée temporelle est limitée. Spatialement et pour des raisons pratiques, les individus sont ainsi regroupés par zones géographiques d'origine et de destination. Cette simplification est avantageuse et utile permettant ainsi aux décideurs de se concentrer sur les problèmes de transport à un niveau plus large et donc plus stratégique (Masson, 2000). Toutefois, celle-ci n'est pas sans conséquences sur la résolution spatio-temporelle des trafics estimés dont l'élaboration est peu discutée dans ses applications environnementale (Fouillé *et al*, 2012).

La grille de lecture, proposée par Hadrien Commenges (2013), relève à notre sens les limites de la modélisation à quatre étapes pour l'étude de la PAA. Pour lui, la modélisation à quatre étapes s'insère au sein de trois dispositifs formant une *matrice technique* : la quantification des déplacements fournit par une enquête OD, la modélisation à quatre étapes, et l'évaluation économique. Cette *matrice technique* s'inscrit dans un système fermé (Figure 1). Les dispositifs de quantification alimentent la modélisation qui permet ensuite d'alimenter le processus d'évaluation. Cette relation est réciproque dans le sens où l'évaluation façonne la modélisation à

quatre étapes qui elle aussi façonne les dispositifs de quantification. Le dernier lien permet quant à lui de confronter la mesure aux estimations pour valider les estimations et inversement.

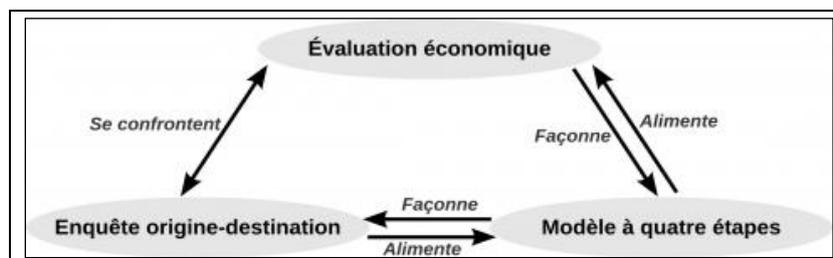


Figure 1: Interdépendance des trois dispositifs au sein de la matrice technique  
(Source : Commenges, 2013, Chapitre 3, p.74-95)

Dans sa vocation première, l'élément fondamental de l'évaluation est d'apporter une quantification en termes de gains de temps et de fréquentation relative à un projet routier sur l'ensemble d'un réseau urbain (Dupuy, 1975 ; Meunier, 2013). L'agencement des dispositifs de quantification (EMD) et de modélisation (les quatre étapes) est ainsi en cohérence avec cette finalité (Commenges, 2013). Les sorties ainsi générées par la modélisation à quatre étapes tendent vers cet objectif de prévision et d'évaluation ceci restreignant son domaine de validité à la finalité à laquelle il répond (Fouillé *et al*, 2012).

## 2.2. Les limites de la modélisation classique du trafic routier

Au sein de la modélisation classique, le trafic est le résultat d'une construction basée sur les enquêtes origine-destination dont le cadre spatio-temporel demeure limité. Le trafic routier n'est donc pas issu d'une mesure mais est le résultat d'un processus de construction issu de données d'enquête. Cette reconstitution est d'autant plus conditionnée par la finalité des dispositifs d'évaluation (Commenges, 2013). Il paraît donc important d'en expliciter les limites pour mieux en situer sa place :

- **Le trafic routier n'est pas restitué dans sa totalité** : Les sorties générées par les matrices OD ne rendent pas compte de la totalité du trafic routier. Il demeure limité à une logique d'échange entre chaque couple origine et destination. Les déplacements simulés sont donc limités au zonage d'enquête excluant par nature les trafics d'échange et de transit qui traversent une agglomération. Il faut donc ajuster/caler ces estimations avec des données de comptage routier.

- **Sur le plan spatial** : le territoire pris en compte au sein des enquêtes est constitué sur la base spatiale des matrices OD. Les données ne sont donc pas rattachées à un lieu mais sont comprises dans des zonages plus ou fin (Bonnell, 2001, Commenges, 2013). En outre, l'accent est mis sur le déplacement de l'individu.

- **Sur le plan temporel** : L'état de la circulation reflète une situation de référence sur la base d'une journée type (le jour ouvrable) pour une tranche de temps type (l'heure de pointe). L'heure de pointe se présente comme un standard de la *matrice technique* (Commenges, 2013), la variabilité temporelle du trafic routier ne peut donc être approchée que sur une situation de référence ou à une résolution horaire (Meunier, 2013).

L'adaptation de la modélisation à une évaluation de la PAA nécessite de reconstruire les matrices de déplacements pour chaque heure de la journée tout en privilégiant, au préalable, une désagrégation des données par type de véhicule (PCIT, 2012). Pour mieux répondre aux limites intrinsèques de la modélisation à quatre étapes (Masson, 2000), il est nécessaire d'adopter de nouvelles approches de la simulation du trafic routier. L'une des alternatives à la modélisation à quatre étapes est la Simulation Multi-Agent (SMA) permettant de mettre l'accent sur l'individu. Sur la base de ces constats, nous proposons de réorienter la *matrice technique* pour l'évaluation du trafic routier en milieu urbain. Ceci nécessite de s'intéresser à deux dispositifs, celui de *quantification*, en utilisant les relevés de comptages routier plutôt qu'une matrice OD, et celui de la *modélisation* en mobilisant les SIG et les plateformes de SMA que nous traitons dans les parties suivantes. Notre approche est d'autant plus motivée par les vigilances relevées par les auteurs de Fouillé *et al* (2012) sur la constitution et l'élaboration des données de trafic dans une approche environnementale. Se rapprocher de l'observation du trafic routier apparaît être une réponse à ses critiques.

### 3. Revenir au véhicule !

Face aux limites citées précédemment, la (re)mobilisation des données de comptages routier<sup>2</sup> présente différents avantages : elles permettent d'obtenir une observation réelle de l'évolution de la fréquentation routière à l'échelle urbaine ; elle prend en compte tous les types de trafic (transit, domicile-travail, loisir) ; les redondances des observations (régularités et périodicités journalière, mensuelle, et annuelle) sont facilement mesurables et identifiables. Enfin, elles offrent l'opportunité de passer d'un usage d'opérateur (régularisation des feux de signalisation) vers un usage de modélisation via l'observation du trafic en temps réel.

Cette partie présente la démarche expérimentale adoptée dans ce travail via les stations de mesure de la ville de Dijon qui permettent de connaître l'état de la circulation sur la période 2001-2014. Cependant, la mobilisation de leurs données en l'état demeure limitée. Les trafics ne sont connus qu'au niveau des dispositifs de mesure et ne sont pas répartis uniformément le long des infrastructures routières. Ces dernières peuvent être qualifiées d'eulérienne du fait de mesures ponctuelles

---

<sup>2</sup> Ces données ne sont pas inutilisées au sein de la modélisation à quatre étapes. Toutefois, elles le sont à des fins d'ajustement ou de validation des estimations de trafic routier issues du modèle.

dans l'espace. De plus, les données ne sont pas totalement continues sur la totalité des stations de mesure qui présentent des dysfonctionnements, modifications ou suppressions au cours de la période recueillie. Ces contraintes, dans le cadre de la simulation du trafic, conduisent à s'interroger sur les différentes possibilités de représentation des flux automobiles sur l'ensemble des éléments du réseau mesurés et non-mesurés.

### 3.1. Quel modèle d'intégration des données ?

Des modèles opérationnels de microsimulation comme SUMO (Behrisch et al, 2010), VISSIM ou TRANSIMS (Maciejewski, 2010) permettent d'intégrer directement des comptages routiers. L'intégration des données s'applique, d'ailleurs, aisément sur des réseaux autoroutiers dont les entrées et sorties sont couvertes par des données de comptage. Néanmoins à l'image de SUMO, son application est limitée pour des réseaux de centre-ville et de boulevard dont la couverture des mesures est plus faible (Maciejewski, 2010). Avoir recours à ces modèles demande un temps de recueil de données qui peut s'avérer long. Il est donc souvent nécessaire de construire des matrices OD afin de générer les flux de trafic routier. Par exemple pour VISSIM (Fellendorf and Vortisch, 2010), il est nécessaire de mobiliser une matrice origine-destination généré depuis un modèle à quatre étapes VISUM<sup>3</sup>.

Cette contrainte liée à la mobilisation d'une matrice OD nous a donc amené à mobiliser les plates-formes de SMA. Ce type de modélisation permet, en outre, de simuler les mouvements et déplacements d'objet géographiques dans un environnement (Marilleau, 2006). Nous proposons ici la mise en place d'un module de SMA dont les données de trafic sont directement issues des comptages routiers. Le signal des comptages routiers est donc conservé au maximum sans en déformer ses valeurs initiales.

C'est dans ce but de simplification guidé par la donnée que nous proposons la mise en place d'un modèle de SMA. Par nature, cette modélisation permet une logique radicalement centrée sur l'individu, ou dans notre cas, sur le véhicule. Elle implique un fonctionnement *bottom-up* permettant d'être plus directement relié aux données d'entrée du modèle. Dans ce cas, l'utilisation des données de comptages apparaît adaptée afin d'alimenter des modèles de SMA pour évaluer la PAA. Le modèle proposé est appliqué via la plate-forme SMA GAMA<sup>4</sup> (*Gis & Agent-based Modelling Architecture*) qui présente l'opportunité d'intégrer des couches géographiques, de nombreux agents et données (Taillandier *et al*, 2014).

---

<sup>3</sup> VISUM est le modèle «parent» de VISSIM commercialisé par le groupe PTV <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-uk/home/>

<sup>4</sup> <https://code.google.com/p/gama-platform/>

### 3.2. L'intégration des données de comptage

Notre méthode se base sur l'utilisation d'un réseau de 210 capteurs placés sous la chaussée et permettant de compter le passage de véhicules par quart d'heures sur la période 2001-2014 à Dijon. Ces données permettent ainsi d'obtenir une image de la fréquentation routière à l'échelle de la ville, le réseau mesurant près de 16% des axes de la ville de Dijon et 7% des axes de l'agglomération.

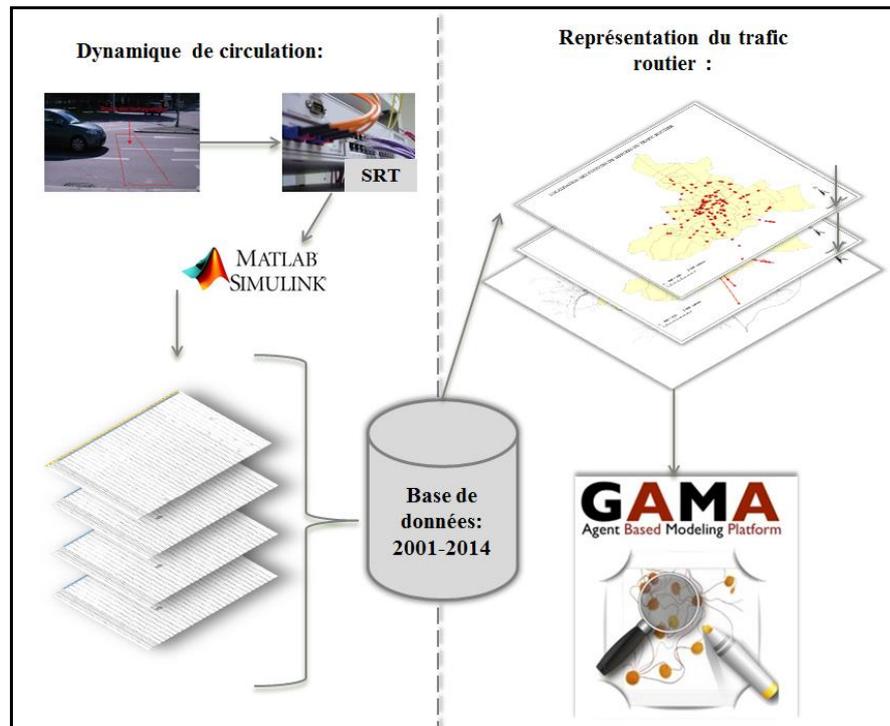


Figure 2 : Schéma de traitement des données de comptages routier

Ce dispositif est le plus répandu pour le suivi du trafic routier (SETRA, 2012). En complément des stations permanentes, la ville de Dijon opère aussi des comptages ponctuels sur une période plus réduite (allant de 2 à 3 semaines). Sur la période 2006-2014, ils permettent de couvrir 655 sites offrant au moins une mesure sur tous les types de réseau de la ville de Dijon (de la liaison résidentielle à la liaison nationale). Ces données offrent l'opportunité de mieux connaître la répartition du trafic sur les différents axes du site d'étude. Une fois l'état des lieux de mesures opérées, le passage à un SIG-T<sup>5</sup> (Goodwin, 2000) permet l'interfaçage entre la

<sup>5</sup> Traduction Geographic Information System for Transportation GIS-T

localisation des PM et les données recueillies par la ville de Dijon pour traiter les données de comptages d'un point de vue spatial mais aussi temporel.

La figure 2 illustre le système de traitement de données mobilisé dans notre travail. On distingue deux modules, le premier concerne la dynamique et la gestion des données de comptages recueillies au sein du Système de Régulation du Trafic (SRT) de la ville de Dijon qui sont ensuite stockées au sein d'une base de données. Le second permet de localiser et de mettre en œuvre la représentation des PM et de leurs données sur l'espace dijonnais.

Une fois les bases de notre système de gestion de données spatio-temporelles mises en place, il faut passer par la simulation afin de reproduire les dynamiques temporelles de la circulation routière. Le passage par la simulation offre ainsi « *l'opportunité de reproduire artificiellement un phénomène et/ou une variation pour observer ce qu'il est censé se passer lorsque tel ou tel paramètre varie* » (Brunet *et al*, 1992). Elle apparaît être une solution pour combler les contraintes eulériennes des stations, autant d'un point de vue spatial que temporel. Cette démarche de simulation induit deux finalités qui forment la problématique de l'affectation routière (Buisson, 1996, Henn, 2001) : l'une spatiale, en définissant les choix des automobilistes à chaque carrefour. Cette phase paraît la plus difficile à estimer du fait du manque d'information sur la destination des véhicules. Et la seconde, temporelle, tente de reconstruire le rythme ternaire de la fréquentation routière en milieu urbain (matin, midi, soir).

#### **4. Dynamique et simulation de la circulation routière : le cas de la ville de Dijon**

L'enjeu du modèle est de quantifier le trafic sur l'ensemble des tronçons d'un réseau routier à partir d'un signal ponctuel et épars, issu des données de comptage. Les SMA permettent d'inscrire des agents au sein d'un environnement dans lequel ils agissent et interagissent entre eux mais aussi avec leur environnement (Batty, 2007). De plus, ils présentent l'avantage d'offrir un lien direct avec les SIG permettant, d'une part, d'inscrire des agents au sein d'un environnement géographique et, d'autre part, de reproduire la mobilité de ces agents par la description de leurs comportements dans un environnement (Marilleau, 2006). La figure 3 décrit le modèle de données Unified Modelling Language (UML). Les PM et les véhicules correspondant aux agents tandis que le réseau routier correspond à l'environnement spatial dans lequel s'inscrivent les véhicules.

Nous décrivons la structure et la dynamique du modèle, selon l'approche VOYELLE d'Yves Demazeau (2003), qui permet de décrire les SMA en cinq étapes : Agents, Environnement, Interaction, Organisation, Utilisation (AEIOU), sans aborder les deux derniers concepts. Le modèle que nous proposons ne présente pas d'organisation sociale et l'utilisation relève de l'interface graphique (IHM) du modèle.

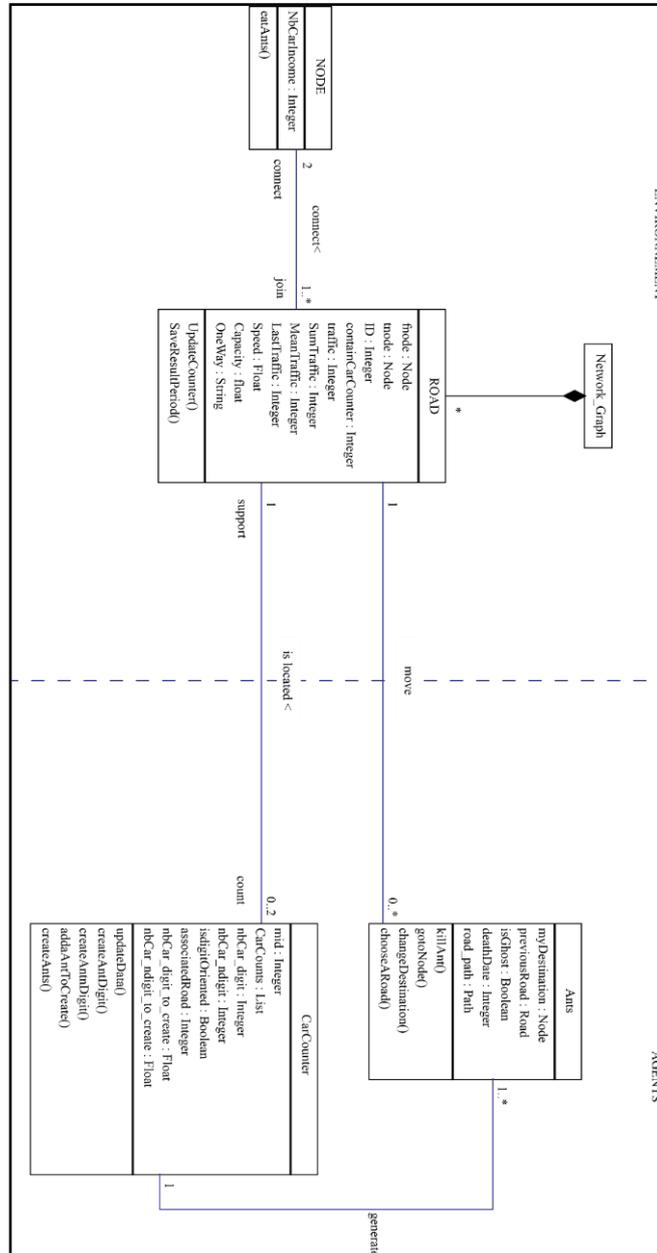


Figure 3 : Structure UML du module d'affectation des données de comptages routier de la ville de Dijon

#### 4.1. Environnement et agents : Spatialisation des informations du système multi-agents

L'environnement et les agents sont générés grâce aux SIG-T. Cette dernière permet, entre autre, d'illustrer les deux éléments fondamentaux d'un SMA : l'environnement et ses agents.

L'**environnement** est reproduit via la BD Topo de l'IGN<sup>6</sup>. Cette base permet de construire un graphe où les nœuds sont les intersections et les arcs, les tronçons routiers. Ainsi, l'infrastructure se compose de nœuds reliés par des arcs orientés. Chaque tronçon est caractérisé selon les préconisations de Cabrera Delgado et Bonnel (2012) par : i. la description de la structure entre sections et intersections ; ii. les propriétés des infrastructures (longueur, sens, vitesse,...) ; iii. la définition des relations entre ces éléments et les flux de déplacements.

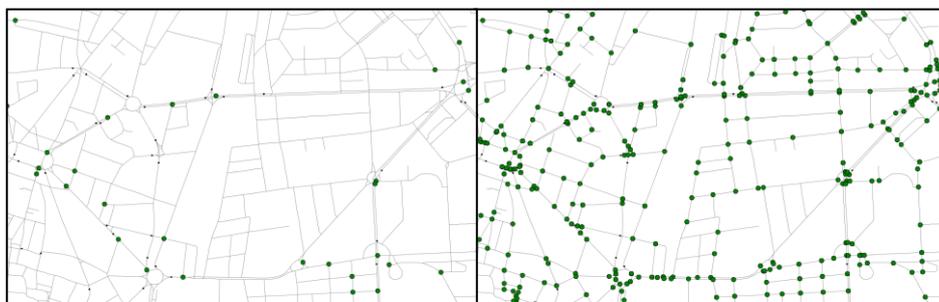


Figure 4 : Génération de l'environnement, des agents PM (en noir) et des véhicules (en vert) sur le réseau de la ville de Dijon (à gauche, génération à 01h00 ; à droite, génération à 17h15)

Sur cette infrastructure évoluent des **agents** qui sont de deux natures : les *Points de Mesure* (PM) et les *véhicules* eux-mêmes. Les PM, référencés au sein du SIG-T, insèrent des véhicules sur le réseau routier en tenant compte des données réelles de comptage au quart d'heure. La création des agents véhicules est équitablement répartie sur chaque quart d'heure, c'est-à-dire que les agents véhicules sont insérés de manière régulière tout au long d'un quart d'heure : par exemple, 1 véhicule toutes les minutes au lieu de 15 véhicules la première seconde. Les véhicules une fois créés se déplacent sur les tronçons et de tronçon en tronçon en tenant compte des interactions locales avec leur monde simulé (voirie et autres véhicules). Ils participent ainsi, par leur comptage sur chaque tronçon, à quantifier le trafic sur l'ensemble du réseau.

<sup>6</sup> <http://professionnels.ign.fr/bdtopo>

**4.2. Interaction et simulation de la circulation routière: du déplacement au stationnement des véhicules**

Les véhicules sont des agents réactifs dont le but est de se déplacer au sein des infrastructures routières. Après sa création par un agent PM, un véhicule choisit son déplacement, sa trajectoire et ses actions, en suivant un schéma d'interaction stimuli-réponse illustré en figure 5 :

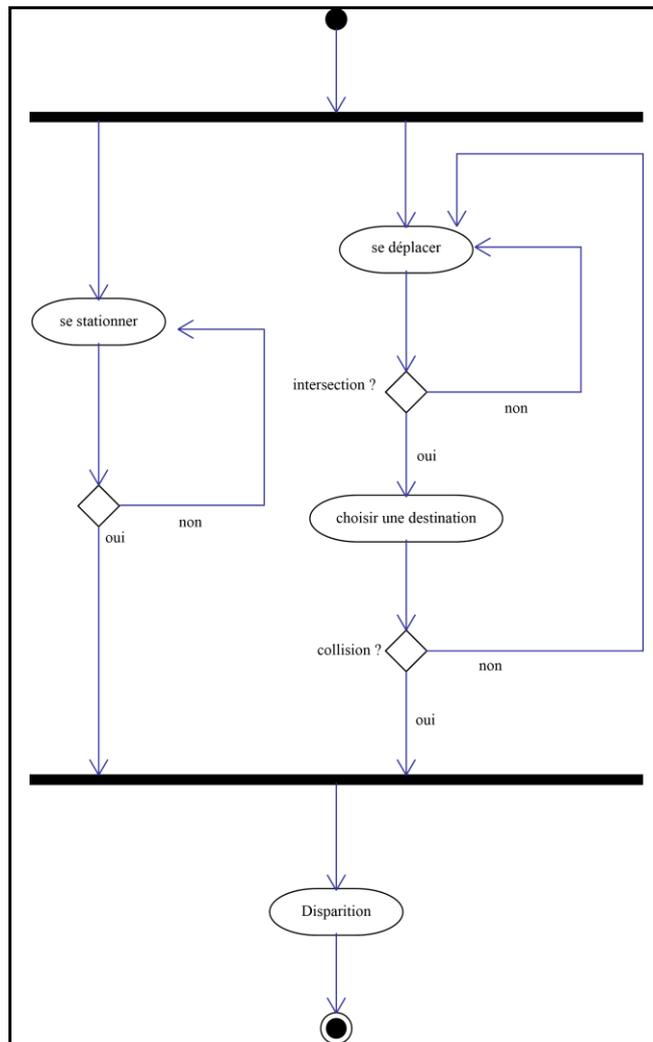


Figure 5 : Formalisation UML de la dynamique du modèle d'affectation des comptages routiers

- **L'interaction PM-Véhicule** permet d'insérer dans le réseau routier des agents véhicules qui se déplacent ensuite en toute autonomie. Cette approche permet d'injecter les données de comptage sur le réseau routier à chaque pas-de-temps et au *fil de l'eau*. De cette manière, le trafic est généralisé sur les axes en amont par un processus d'accumulation des véhicules.

- **L'interaction Route-Véhicule** à une intersection détermine le prochain tronçon (connexe à l'intersection) sur lequel le véhicule va se déplacer. Le choix du prochain tronçon s'opère sur la base d'un critère stochastique qui tient compte des caractéristiques de fréquentation du réseau (hiérarchie ou vitesse réglementaire) issues des données de comptages recueillies.

- La **collision** permet d'éviter qu'un véhicule ne soit compté plusieurs fois. En effet, les véhicules qui sont comptés à un point de mesure ont, dans leur majorité, été comptés auparavant par un autre point de mesure. Lorsqu'un véhicule est inséré dans le réseau par un PM, son miroir (*ghost*) est créé dans la direction inverse. Lorsqu'un agent *ghost* rencontre un agent véhicule, le couple (*ghost/véhicule*) se neutralise faisant ainsi le lien entre deux points de comptage.

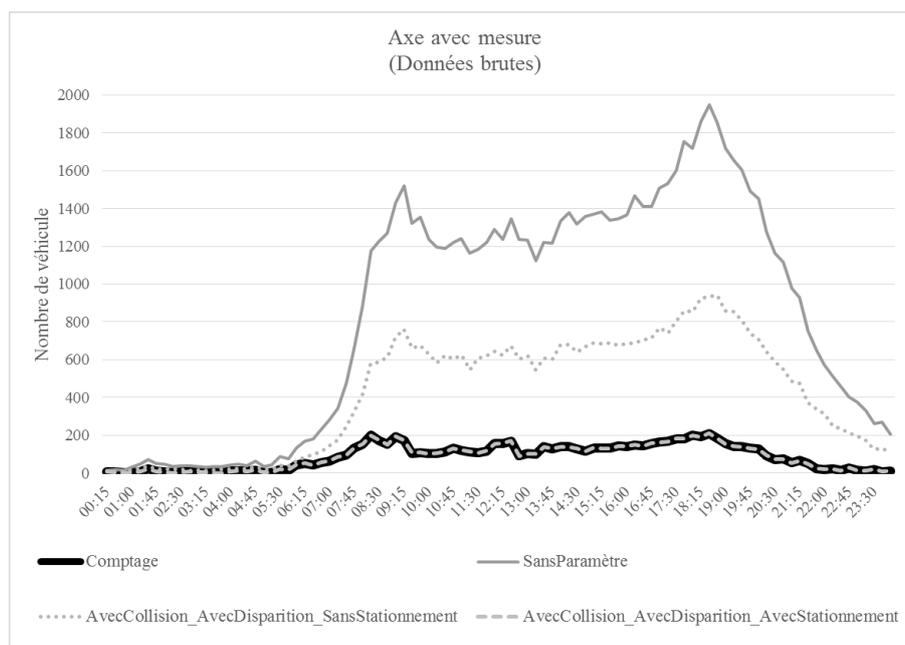


Figure 6: Apport des paramètres de collision, disparition et stationnement lors de la simulation (Illustration pour un axe possédant un PM)

Enfin il reste à gérer le temps de résidence des véhicules sur le réseau. Le nombre de véhicules présents s'accumule très rapidement alors que dans la réalité les véhicules sortent du réseau routier pour se stationner par exemple. Il faut donc gérer ces disparitions de véhicules au cours de la simulation. Il est très rare de se

déplacer plus d'une heure en ville. Afin de gérer ce processus cumulatif, deux issues sont possible (Figure 5) : la **disparition** des agents aux marges du réseau urbain et un temps de déplacement maximum des véhicules à l'intérieur du réseau. Ce dernier peut être assimilé à un **stationnement** alors que le premier peut s'assimiler à un trafic de transit. Notre approche étant guidée par les données de comptage, les véhicules disparaissant ne sont pas remis en jeu lors de la simulation. Nous considérons donc que sa réapparition se fera de manière discrète à travers les dispositifs de comptage.

La simulation est établie toutes les minutes afin de reproduire les mouvements de circulation routière sur l'ensemble du réseau pendant 24h. Comme illustré en figure 6, l'observation du trafic s'opère sur chacun des axes du site d'étude en mesurant le nombre de véhicules passant toutes les 15 minutes. Ces données peuvent aussi être visualisées à chaque pas-de-temps directement sur le réseau, comme illustré en figure 4, ou extraites au sein d'un tableur de données.

## 5. Conclusion

L'approche présentée dans cette proposition vise à interroger la place des données de comptages routiers par l'usage d'une simulation multi-agents. Elle tend à apporter une autre réponse que celle permise par la modélisation à quatre étapes, pour l'évaluation des pollutions atmosphériques du trafic routier sur le court terme. A travers les dispositifs de la modélisation classique, nous avons pu voir que ceux-ci n'ont pas pour vocation de rendre compte de la circulation routière dans sa globalité. Cette proposition tend donc à apporter une autre réponse dans une portée environnementale et plus spécifiquement pour la mesure de la pollution atmosphérique liée à la circulation routière en ville.

L'utilisation des comptages routiers révèle un véritable potentiel, d'autant plus qu'elle peut s'appliquer à d'autres villes disposant du même dispositif et dont le processus de construction est moins chronophage que pour les modèles à quatre étapes. Néanmoins, l'intégration de ces données eulériennes n'est pas sans contraintes autant du point de vue du traitement de la donnée, de sa récolte, que de son affectation sur l'ensemble d'un réseau routier.

Un premier processus de traitement, de localisation, et de centralisation doit être opéré pour ensuite s'insérer au sein d'un SIG-T. A la suite, cette démarche tend à montrer les forces des SMA pour la simulation du trafic routier : le comportement des agents est régi par des règles simples et s'approche le plus fidèlement possible de l'expérience du terrain d'étude. Les premières expériences numériques ont déjà permis d'affecter les comptages et de les reproduire sur le réseau routier de la ville de Dijon pour une période de 24h. Pour mieux en apprécier les capacités, elles devront être effectuées sur des périodes plus longues et approfondies avec l'exploration de nombreux paramètres : le choix des individus et l'estimation du trafic de transit doivent être mieux appréhendés dans leur ensemble. L'exploration d'autres paramètres comme le taux d'occupation des axes et la reproduction de la courbe débit/vitesse ne peut être négligée pour l'estimation de la pollution

atmosphérique de proximité. De même que la variation du stationnement mérite d'être perfectionnée, en explorant plus finement son calibrage ou en modifiant son cycle en fonction des moments de la journée, par exemple. Enfin, il faudra ensuite confronter les sorties des simulations avec des relevés de terrain ponctuels pour valider notre démarche (approche de validation croisée).

A la suite de ces explorations, le modèle devra permettre de prendre en compte les caractéristiques des véhicules plus individuellement (taille, type, vitesse) afin de quantifier leurs émissions aux abords des axes routiers. Des outils comme COPERT (COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport) permettent déjà d'attribuer à un parc automobile des taux d'émissions de polluants. Les perspectives d'évolution du modèle vont dans ce sens et devront ensuite pouvoir s'inscrire au sein de modèles de climats régionaux pour la modélisation de la pollution atmosphérique extérieure.

## Bibliographie

- Batty M. (2007). *Cities and complexity: understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals*, MIT Press, 2007.
- Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., Krajzewicz, D., (2011). *SUMO - Simulation of Urban MObility - an Overview*. Presented at the SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation, pp. 55–60.
- Bonnel P. (2001). *Prévision de la demande de transport*. Habilitation à diriger les recherches en Sciences Économiques et Gestion, Université Lumière Lyon 2.
- Brunet R. Ferras R. Théry H. (1992). *Les mots de la géographie : dictionnaire critique*, Reclus- Documentation Française, Paris.
- Buisson C. (1996). Analyse bibliographique et première classification des algorithmes de simulation de l'écoulement du trafic routier. *Recherche Transport Sécurité*, n°53, oct.-déc. 1996, p. 35-48.
- Cabrera Delgado J., Bonnel P. (2012), Quelle dynamique temporelle pour le modèle à quatre étapes ? Rapport de recherche du Laboratoire d'Économie des Transports, Août 2012.
- Chatzis K. (2011). La modélisation des déplacements urbains en France depuis les années 1980, ou la domination progressive du champ par le secteur privé. *Flux*, n° 85-86, p. 22–40.
- Commenges H. (2013). *L'invention de la mobilité quotidienne. Aspects performatifs des instruments de la socio-économie des transports*. Thèse en Géographie, Université Paris-Diderot - Paris VII.
- Debizet G. (2011). L'évolution de la modélisation des déplacements urbains en France 1960-2005. *Flux*, n°85-86, p. 8-21.
- Demazeau, Y. (2003). Créativité émergente centrée utilisateur. *Technique et Science Informatiques*, vol.22, n°4, p. 31-36.
- Dupuy G. (1975). *Une technique de planification au service de l'automobile : les modèles de trafic urbain*. Ministère de l'équipement, Paris.

- Elichegaray, C. (2008). La pollution de l'air : Sources, effets, prévention. Dunod, Paris.
- Fellendorf, M., Vortisch, P., 2010. *Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM*, in: Barceló, J. (Ed.), *Fundamentals of Traffic Simulation*, International Series in Operations Research & Management Science. Springer New York, pp. 63–93.
- Fouillé L. Broc J.-S. Bourges B. Bougnol J. Mestayer P. (2012). La place des modèles de trafic dans les récentes modélisations des impacts environnementaux des transports. Importance de l'explicitation des méthodes et hypothèses. *Recherche Transport Sécurité*, n°28, p. 190-200.
- Goodwin M.F. (2000) Gis and transportation: Status and challenges. *GeoInformatica*, Vol 4, n°2, p. 127-139.
- Henn V. (2001). *Information routière et affectation du trafic : vers une modélisation floue*. Thèse en informatique, Université de Saint Etienne-Jean Monnet.
- Maciejewski, M., (2010). *A comparison of microscopic traffic flow simulation systems for an urban area*. *Transport Problems* T. 5, z. 4, 27–38.
- Marilleau N. (2006). *Méthodologie, formalismes et outils de modélisation-simulation pour l'étude des systèmes complexes: application à la mobilité géographique*. Thèse en informatique, Université de Franche-Comté.
- Masson, S., (2000). *Les interactions entre système de transport et système de localisation en milieu urbain et leur modélisation*. Thèse en économie des transports. Université Lyon 2.
- Meunier D. (2013). *Les modèles de trafic et l'évaluation économique*. Tome 2 du Rapport du sous-groupe "modèles de trafic" de la commission générale à la stratégie et à la prospective, Juillet 2013.
- PCIT (Pôle de coordination des inventaires territoriaux), (2012). *Méthode d'élaboration des inventaires territoriaux des émissions atmosphériques* (Guide méthodologique). Paris.
- SETRA, (2010). *Calage et validation des modèles de trafic. Techniques appliquées à l'affectation routière interurbaine* (Guide méthodologique). Juillet 2010. Paris
- SETRA. (2012). *Panorama des systèmes de recueil de données du trafic routier*. Rapport d'étude, Novembre 2012.
- Taillandier P. Gagnard A. Gaudou B. Drogoul A. (2014). Des données géographiques à la simulation à base d'agents : application de la plate-forme GAMA. *Cybergéo : European Journal of Geography*, Document 671.