

Simulation multi-agents des déplacements basée sur les activités pour l'évaluation des externalités environnementales

P.Gastineau, P.Hankach, P.-O. Vandanjon, F. Yameogo

19 septembre, 2019

Simulation multi-agents des déplacements basée sur les activités

Description :

- ▶ Modélise la demande de déplacement à un niveau individuel
- ▶ Basé sur une population synthétique représentant la population d'origine
- ▶ Pour chaque individu, un programme quotidien détaillé est créé, avec description des activités effectuées
 - ▶ emplacement, heure de début et de fin, type
- ▶ Chaînes d'activités au lieu d'activités et de voyages non liés

Popularité grandissante :

- ▶ Permet la prise en compte de la complexité
- ▶ Disponibilité des données à haute résolution
- ▶ Puissance de calcul informatique

Simulation multi-agents des déplacements basée sur les activités

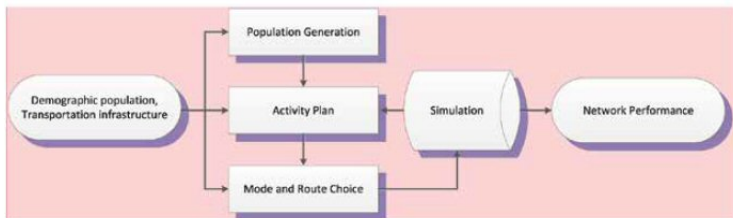
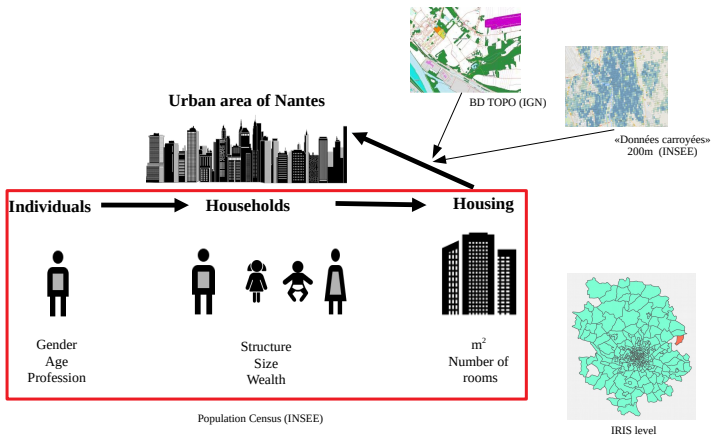
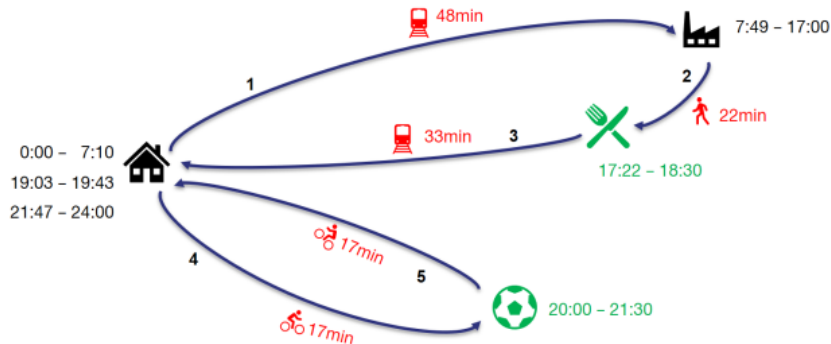


FIGURE – Schema de la simulation multi-agents

Population synthétique



Plans d'activités



Simulation multi-agents : matsim

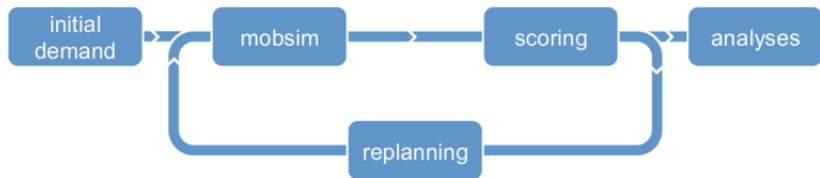


FIGURE – simulation MATSIM

Comparaison des externalités environnementales [Can, 2019]

	Acoustics	Airborne pollutants	Energy consumption
Spatial granularity	+++ <i>The expected spatial granularity is very fine, we ideally want to estimate the spatial distribution of noise levels with a spatial resolution of around 10 or 20m.</i>	++ <i>The expected spatial granularity is fine. However, many studies are limited to the quantities of pollutants emitted over a rather large area of the territory.</i>	+ <i>The impacts are global; the spatial distribution of energy consumption on the network does not matter.</i>
Temporal granularity	+++ <i>The estimation of the temporal evolution of noise levels, the estimation of sound events, are target elements of modelling, as they have a great influence on the perception of sound environments.</i>	+ <i>The temporal evolution of the estimated pollutant levels is of limited importance, although some studies tend to show the danger associated with exposure to very short (several seconds) pollution peaks above average levels.</i>	- <i>Regardless of the temporal evolution of consumption, only long-term periods are important.</i>

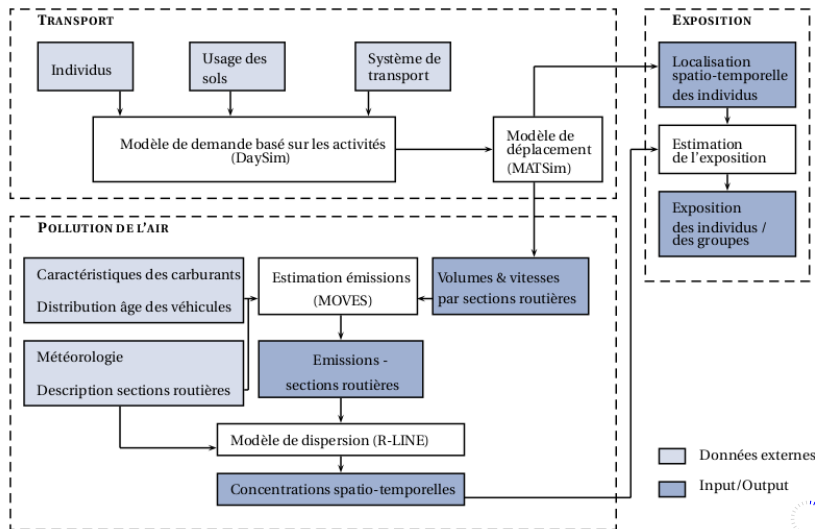
Evaluation de l'exposition aux nuisances environnementales

- ▶ L'approche consiste le plus souvent à estimer les expositions selon une modélisation statique reposant sur un croisement entre cette répartition spatiale des nuisances et les lieux de résidence (le voisinage est parfois utilisé comme aire d'exposition individuelle).
 - ▶ elle ne tient pas compte des dynamiques temporelles de la mobilité des individus et des niveaux de pollution des lieux traversés par ces derniers. Cela peut entraîner des erreurs dans le calcul des expositions moyennes ;
 - ▶ les expositions calculées sont statiques et s'appuient sur des indicateurs agrégés qui ne permettent pas de rendre compte de l'impact potentiel d'expositions brèves à des niveaux élevés.
- ▶ L'approche par les systèmes multi-agents permet de mesurer une exposition dynamique des individus, c'est-à-dire une exposition rendant compte des déplacements et changements de localisation vécus par les individus au cours de leur journée.

Evaluation de l'exposition à la pollution de l'air

1. **Modélisation des déplacements** : activités et déplacements de chaque individu produits par la simulation du modèle.
2. **Modélisation des concentrations** : repose sur deux modèles :
 - ▶ estimation des émissions de polluants générées par les déplacements réalisés par les véhicules ;
 - ▶ calcul de la dispersion, du transport et des concentrations des polluants dans l'air.
3. **Modélisation de l'exposition** : combiner les localisations spatio-temporelles des individus (simulées à l'étape 1) avec les distributions spatio-temporelles des concentrations de polluants (simulées à l'étape 2) pour estimer les mesures de l'exposition à l'échelle de l'individu.

Evaluation de l'exposition à la pollution de l'air [Gurram et al., 2019]

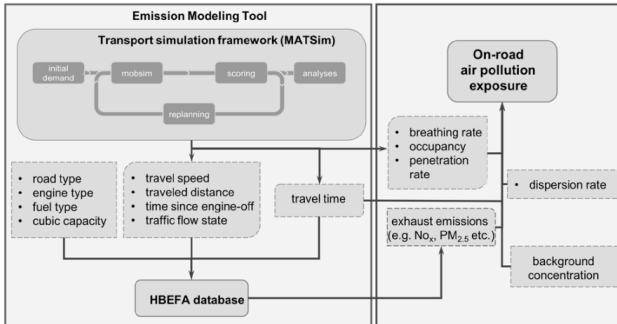


Evaluation de l'exposition à la pollution de l'air

Références	Zone étudiée	Modèle d'activités	Modèle de transport	Polluants	Emissions	Dispersion
Beckx et al. [2009]	Aire urbaine Utrecht	ALBATROSS	All-or-nothing assignment	PM ₁₀ , PM _{2.5}	MIMOSA	AURORA
Dhondt et al. [2012]	Flandres	FEATHERS	Equilibrium traffic assignment	NO ₂	MIMOSA	IFDM
Dons et al. [2014]	Flandres	FEATHERS		Black Carbon		Land use regression
Gurram et al. [2019]	Tampa (Floride, U.S.)	DaySim	MATSim	NO _x	MOVES	R-LINE
Hao et al. [2010], Hatzopoulou et al. [2011], Hatzopoulou and Miller [2010]	Grand Toronto	TASHA	MATSim	HC, CO, NO _x , CO ₂	Mobile6.2c	CALMET/CALPUFF
Hülsmann [2014], Hülsmann et al. [2014]	Munich	-	MATSim	NO _x , NO ₂ , CO, PM ₁₀	HBEFA	OSPM
Kickhöfer and Kern [2015], Kickhöfer and Nagel [2016]	Munich	-	MATSim	CO ₂ , NMHC, NO _x , PM, SO ₂	HBEFA	-
Vallamsundar et al. [2016]	Maricopa County (Arizona, U.S.)	OpenAMOS	DTALite	PM _{2.5}	MOVES	AERMOD

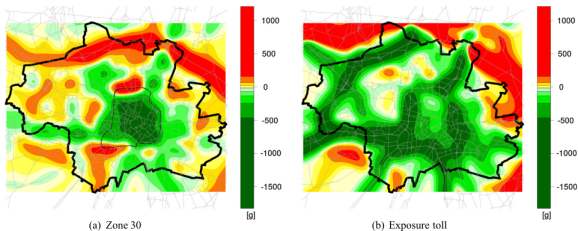
Exposition individuelle

- ▶ Agarwal and Kaddoura [2019] : calculer l'exposition à la pollution de l'air sur la route pour les conducteurs de différents véhicules.

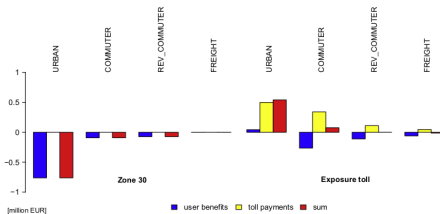


Integration of on-road air pollution exposure with MATSim controller and emission modeling tool.

Effets redistributifs d'une politique de réduction des émissions de polluants locaux [Kickhöfer and Kern, 2015]



Absolute daily changes in NO_x emissions. Plots based on spatial averaging for all road segments. Values scaled to full population. (For interpretation of color in this figure, the reader is referred to the web version of this article.)



Absolute daily changes in user benefits and toll payments by subpopulation. Values scaled to full population.

Evaluation de l'exposition au bruit

1. Calcul des **émissions sonores** en fonction du flux de trafic estimés, de la part des poids lourds et du niveau de vitesse. Les niveaux de pression acoustique continu équivalent sont calculés pour chaque section de rue.¹
2. Génération d'un récepteur pour chaque façade de bâtiment et calcul des **niveaux sonores** pour chaque récepteur.²
3. Modélisation de l'**exposition** au bruit grâce à la conservation de la trace des lieux d'activité de chaque individu ainsi que les heures de début et de fin de chacune des activités.³

1. Prise en compte les facteurs de correction pour différents revêtements routiers et pentes longitudinales.

2. Prise en compte de la propagation et de la superposition du bruit.

3. En considérant que les activités se déroulent au récepteur le plus proche, le nombre d'individus qui peuvent être exposés au bruit est enregistré pour chaque récepteur et chaque intervalle de temps.



Evaluation de l'exposition au bruit

- ▶ Les travaux ayant couplés un modèle de transport basé sur les activités avec un modèle de bruit sont moins nombreux.

Références	Zone	ABM	Modèle bruit	Méthode	Indicateur
Gerike et al. [2012]	-	MATSim	IMMI	RLS-90	Lden
Houot et al. [2015]	Besançon	MobiSim	MITHRA-SIG	-	dB(A)
Kaddoura et al. [2017a,b], Kaddoura and Nagel [2018]	Berlin	MATSim	-	RLS-90	dB(A)
Cucurachi et al. [2018]	Suisse	MATSim	N-LCA	CNOSSOS	Noise Footprint
Kuehnel et al. [2019]	Munich	MATSim	-	RLS-90 + effet d'écran	dB(A)

Estimation de la population exposée

- ▶ Evaluer le nombre (changeant) d'individus exposés (selon le type d'activités) [Kaddoura et al., 2017b].



(a) all receiver points (b) > 0 affected agent units (c) > 50 affected agent units

Noise immissions in dB(A) for different levels of affected agents between 10.00 and 11.00 a.m. (considered activity type: home).



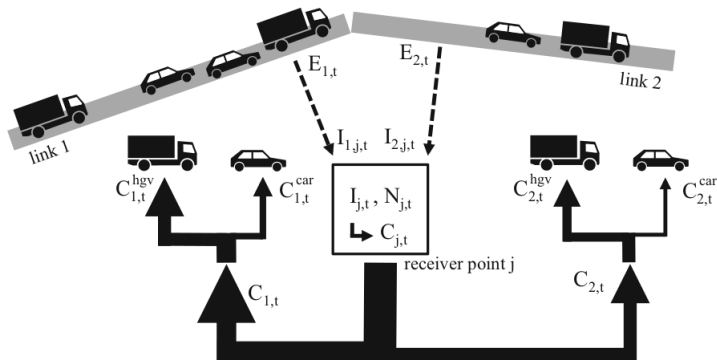
(a) 10.00 to 11.00 a.m.

(b) 9.00 to 10.00 p.m.

Temporal comparison of the most relevant inner-city noise immissions in dB(A); considered activity type: home; receiver points with 0 affected agent units are not displayed; for receiver points with less than 75 affected agent units, the transparency is set to 75%.

Tarification dynamique

- Identifier les agents responsables et mettre en oeuvre une tarification individuelle, évolutive dans le temps [Kaddoura et al., 2017a].



Back-mapping of noise damage costs to links and vehicles; the widths of the solid arrows represent the approximate assigned costs

Intérêt pour l'évaluation socio-économique

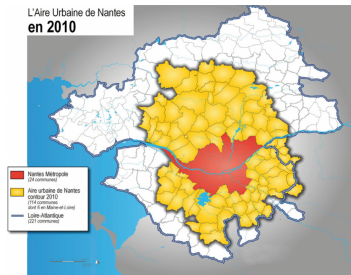
Possibilité de mener diverses analyses [Gerike et al., 2012] :

- ▶ calcul des coûts journaliers par agent ou véhicule-kilomètre,
- ▶ évaluation de l'influence des différences spatiales ou socio-économiques sur la production de coûts externes,
- ▶ analyse des effets redistributifs des mesures de réduction des nuisances,
- ▶ simulation de différentes stratégies d'internalisation des externalités du transport.

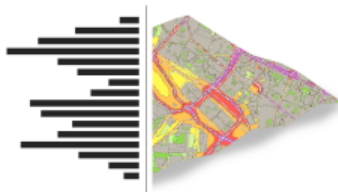
Quelques points

- ▶ Exposition dynamique des individus (ou des groupes)
- ▶ Analyse quantitative et qualitative possible (analyse par déterminants socio-éco / par type d'activités)
- ▶ Sensibilité aux échelles (population synthétique / concentration) [Gurram et al., 2019]
- ▶ Encore peu de travaux regardent la sensibilité aux incertitudes cumulées

Terrain d'application : aire urbaine de Nantes



Sources : INSEE, AURAN



Terrain d'application : aire urbaine de Nantes

Population :

- ▶ Le 1^{er} 2015, l'agglomération nantaise comptait 949 316 habitants..
- ▶ L'augmentation annuelle moyenne est de 13 200 habitants (4,847 ménages) : + 1,5% par an.

Transport :

- ▶ Tous les jours, environ 2,7 millions de voyages sont effectués en zone urbaine.
- ▶ La part des voyages en voiture représente 43% dans la région métropolitaine.
- ▶ La part des voyages en voiture diminue d'année en année, mais le trafic continue de croître.
- ▶ Pour maintenir le nombre de voitures en circulation constant, la part modale de la voiture devrait être réduite à 37% en 2030.

Données disponibles

Bases de données nationales :

- ▶ Recensement de la population (INSEE, 2015) fournit des statistiques sur les individus et leurs caractéristiques : sexe, âge, profession, conditions de logement, moyens de transport, etc.
- ▶ La base SIRENE qui fournit pour chaque entreprise et établissement, les informations disponibles dans le registre Siren (secteur d'activité, nombre d'employés, région emplacement)
- ▶ La BD Topo qui fournit les bâtiments, leur hauteur, etc. et contient également le réseau routier, le réseau hydrographique, les formes des plaques de végétation et point d'intérêt
- ▶ La base de données carroyées (INSEE, 2015) qui fournit des statistiques sur la population en utilisant des grilles de 200 x 200 m

Données disponibles

Bases de données locales :

- ▶ Enquête Déplacement Grand Territoire (EDGT) : 12 722 ménages (20 799 personnes) interrogés (en 2015) sur leur lieu de résidence, leurs caractéristiques socio-démographiques et leur utilisation des modes de transport (individuels et collectif)
- ▶ Les fichiers GTFS fournis par la société responsable du réseau de transports en commun de Nantes
- ▶ Données de trafic urbain (données de comptage)
- ▶ Occupation du sol (BD MOS44, 2016)

Merci

Amit Agarwal and Ihab Kaddoura. On-road air pollution exposure to cyclists in an agent-based simulation framework. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 2019.

Carolien Beckx, Luc Int Panis, Theo Arentze, Davy Janssens, Rudi Torfs, Steven Broekx, and Geert Wets. A dynamic activity-based population modelling approach to evaluate exposure to air pollution : methods and application to a dutch urban area. *Environmental Impact Assessment Review*, 29(3) :179–185, 2009.

Stefano Cucurachi, Samuel Schiess, Andreas Froemelt, and Stefanie Hellweg. Noise footprint from personal land-based mobility. *Journal of Industrial Ecology*, 2018.

Stijn Dhondt, Carolien Beckx, Bart Degraeuwe, Wouter Lefebvre, Bruno Kochan, Tom Bellemans, Luc Int Panis, Cathy Macharis, and Koen Putman. Health impact assessment of air pollution using a dynamic exposure profile : implications for exposure and health impact estimates. *Environmental impact assessment review*, 36 :42–51, 2012.

Evi Dons, Bruno Kochan, Tom Bellemans, Geert Wets, and Luc Int



Panis. Modeling personal exposure to air pollution with ab2c : environmental inequality. *Procedia Computer Science*, 32 : 269–276, 2014.

R Gerike, T Becker, J Friedemann, F Hülsmann, and F Heidegger. Mapping external noise costs to the transport users—conceptual issues and empirical results. In *Proceedings of the Euronoise 9th European conference on noise control, Prague*, pages 10–13, 2012.

Sashikanth Gurram, Amy Lynette Stuart, and Abdul Rawoof Pinjari. Agent-based modeling to estimate exposures to urban air pollution from transportation : Exposure disparities and impacts of high-resolution data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 75 :22–34, 2019.

Jiang Yang Hao, Marianne Hatzopoulou, and Eric J Miller. Integrating an activity-based travel demand model with dynamic traffic assignment and emission models : Implementation in the greater toronto, canada, area. *Transportation Research Record*, 2176(1) :1–13, 2010.

Marianne Hatzopoulou and Eric J Miller. Linking an activity-based



travel demand model with traffic emission and dispersion models : Transport's contribution to air pollution in Toronto.

Transportation Research Part D : Transport and Environment, 15(6) :315–325, 2010.

Marianne Hatzopoulou, Jiang Y Hao, and Eric J Miller. Simulating the impacts of household travel on greenhouse gas emissions, urban air quality, and population exposure. *Transportation*, 38 (6) :871, 2011.

Hélène Houot, Jean-Philippe Antoni, Sophie Pujol, Frédéric Mauny, and M Lamiral. Les mobilités urbaines et leur impact sur l'exposition au bruit : simulation de scénarios prospectifs appliqués à la ville de Besançon. *Transports urbains*, (126) : 16–20, 2015.

Friederike Hülsmann. *Integrated agent-based transport simulation and air pollution modelling in urban areas—the example of Munich*. PhD thesis, Technische Universität München, 2014.

Friederike Hülsmann, Regine Gerike, and Matthias Ketzel. Modelling traffic and air pollution in an integrated approach—the case of Munich. *Urban Climate*, 10 :732–744, 2014.



Ihab Kaddoura and Kai Nagel. Simultaneous internalization of traffic congestion and noise exposure costs. *Transportation*, pages 1–22, 2018.

Ihab Kaddoura, Lars Kröger, and Kai Nagel. An activity-based and dynamic approach to calculate road traffic noise damages. *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, 54 :335–347, 2017a.

Ihab Kaddoura, Lars Kröger, and Kai Nagel. User-specific and dynamic internalization of road traffic noise exposures. *Networks and Spatial Economics*, 17(1) :153–172, 2017b.

Benjamin Kickhöfer and Julia Kern. Pricing local emission exposure of road traffic : An agent-based approach. *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, 37 :14–28, 2015.

Benjamin Kickhöfer and Kai Nagel. Towards high-resolution first-best air pollution tolls. *Networks and Spatial Economics*, 16 (1) :175–198, 2016.

Nico Kuehnel, Ihab Kaddoura, and Rolf Moeckel. Noise shielding in an agent-based transport model using volunteered geographic data. *Procedia Computer Science*, 151 :808–813, 2019.



Suriya Vallamsundar, Jane Lin, Karthik Konduri, Xuesong Zhou,
and Ram M Pendyala. A comprehensive modeling framework for
transportation-induced population exposure assessment.
Transportation Research Part D : Transport and Environment,
46 :94–113, 2016.