Pollution atmosphérique
ISSN : 2268-3798
Publisher : Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique

237-238 | 2018
Habiter la ville

Modélisation de l'exposition en zone urbaine : les limites d'une approche techniciste, un nécessaire couplage entre avancées technologiques et comportement des individus

Modelling of exposure in urban areas: the limits of a technicist approach, a necessary coupling between technological advances and the behaviour of individuals

Isabelle Coll and Arthur Elessa Etuman

https://www.peren-revues.fr/pollutionatmospherique/6740

DOI : 10.4267/pollution-atmospherique.6740

Electronic reference
Isabelle Coll and Arthur Elessa Etuman, « Modélisation de l'exposition en zone urbaine : les limites d'une approche techniciste, un nécessaire couplage entre avancées technologiques et comportement des individus », *Pollution atmosphérique* [Online], 237-238 | 2018, Online since 10 avril 2019, connection on 28 février 2026. URL : https://www.peren-revues.fr/pollutionatmospherique/6740

Copyright
CC-BY

Modélisation de l'exposition en zone urbaine : les limites d'une approche techniciste, un nécessaire couplage entre avancées technologiques et comportement des individus

Modelling of exposure in urban areas: the limits of a technicist approach, a necessary coupling between technological advances and the behaviour of individuals

Isabelle Coll and Arthur Elessa Etuman

OUTLINE

1. Quels moyens d'action en faveur d'une meilleure qualité de l'air urbain ?
2. Modéliser l'exposition de proximité, un verrou majeur de la recherche en qualité de l'air
   2.1. Vers une modélisation urbaine intégrée prenant en compte les comportements individuels
   2.2. La modélisation intégrée dans la littérature
   2.3. La modélisation des comportements de mobilité
3. Conclusions et perspectives

TEXT

1 Alors que la ville est devenue un mode d'habitat dominant en Europe et dans le monde, certaines métropoles s'affichent comme des structures très consommatrices en énergie fossile et en ressources naturelles, favorisant la concentration d'une grande variété de nuisances (bruit, stress, pollution). En Europe en particulier, où de nombreuses villes souffrent d'une dépendance forte à l'automobile (et parfois au combustible gasoil), une enquête de perception urbaine conduite sur plus de 75 grandes villes durant la période 2007-2015 (EC, 2016) montre que les capitales de l'Union Européenne se situent parmi les villes avec les plus faibles taux de personnes satisfaites. Et ces dernières années, la plus grande diminution de l'indice de satisfaction se trouve être observée dans le Grand Paris (indice de 27 %, - 12 points par rapport à 2012). En parallèle, l'Agence Européenne pour l'Environnement (EEA, 2016) indique qu'en 2014, 94 % des dépasse-

ments de la valeur limite à court terme pour les PM_{10} ont été observés dans les zones urbaines ou suburbaines. Elle reconnaît que les effets chroniques de la pollution s'expriment très fortement dans les grandes métropoles, où elle affecte quotidiennement une très nombreuse population. Par ailleurs, elle reconnaît avec l'étude sanitaire Aphekom (Pascal *et al.*, 2013) le caractère sanitaire particulièrement préjudiciable de la concentration des populations le long des axes routiers très fréquentés.

2 Le rôle majeur tenu par le trafic routier dans le volet sanitaire urbain s'explique par la conjonction entre la croissance de l'urbanisation à l'échelle mondiale et le choix d'un développement à haute densité, forçant de façon croissante les individus à résider, travailler et se déplacer dans un environnement proche des voies de circulation, où sont mesurées des concentrations élevées d'oxydes d'azote et de matière particulaire fine, et où la proximité des citadins aux émissions véhiculaires peut être exacerbée par le caractère confiné d'un lieu, l'importance des temps d'exposition ou encore l'accroissement du volume d'air inhalé en cas d'effort physique (Kendrick *et al.*, 2015). De fait, les études épidémiologiques ont pu mettre en évidence le phénomène de « contrastes d'exposition », qui se manifeste par la dégradation de l'état de santé des populations qui résident à proximité des zones de fort trafic et par la production d'inégalités d'exposition environnementales et de santé.

1. Quels moyens d'action en faveur d'une meilleure qualité de l'air urbain ?

3 Il serait hasardeux et même risqué de continuer à ne miser que sur les progrès en matière de combustion et sur l'abandon des énergies carbonées pour relever le défi de la pollution urbaine. Cela reviendrait à ignorer le mal-être induit par la mobilité subie, ainsi que les difficultés à changer les modes de consommation (Duchemin, Genest, 2013). À l'inverse, il faut analyser le fait que les pratiques de mobilité – en grande partie responsables des problématiques d'exposition décrites ci-dessus – sont dépendantes non seulement des ressources et contraintes individuelles, mais aussi d'un ensemble de variables

relatives à la structure et au fonctionnement urbain (Schindler, Caruso, 2014). Ainsi, les villes constituent le laboratoire des transformations à opérer, puisque, d'une part, elles contribuent à l'effet de serre et aux pollutions d'échelle locale, et que, d'autre part, elles possèdent des compétences techniques et des ressources stratégiques et humaines pour mener ces transformations, et qu'enfin elles peuvent mettre en œuvre des leviers financiers, fiscaux et politiques pour agir efficacement (Roussel, Roussel, 2012).

4 Le débat sur l'existence d'une forme urbaine soutenable est loin d'être clos. Certes, les mérites d'une forme dense limitant le besoin en énergie (Floch, Levy, 2011) ont convaincu l'EEA (European Environment Agency) de soutenir le modèle de ville compacte comme une réponse aux dommages et aux défaillances de l'étalement urbain tels que la consommation de sols, de ressources naturelles et d'énergie, mais aussi les coûts d'urbanisation et la baisse de productivité (EEA, 2006 ; Breteau, 2011). Mais la mise en œuvre de la densification urbaine reste très critiquée dans la littérature car elle ne tient pas compte du coût des diverses formes de congestion induites par la compacité de l'habitat, du confinement des espaces urbains piétons, de la hausse foncière ou encore des divers stress environnementaux tels que le bruit (Roussel, Roussel, 2012 ; Breteau, 2011 ; Brueckner, 2000). Face à ces paradoxes, divers auteurs évoquent alors une organisation urbaine alternative, polycentrique, construite autour des transports collectifs et des modes doux, qu'ils décrivent comme une forme possible d'urbanisme durable qui permettrait également de réduire la dépendance automobile, l'étalement urbain et la consommation d'espace (Le Néchet, Aguilera, 2011 ; Crozet *et al.*, 2012). Ces considérations restent toutefois très théoriques, et notre capacité à réduire ou façonner la mobilité en jouant sur la forme urbaine reste à démontrer. Ainsi, toutes les comparaisons densité/consommation d'énergie menées jusqu'ici ont été conduites par comparaison entre des agglomérations distinctes, et aucune étude n'a encore pu observer de décroissance de la mobilité d'une agglomération ayant subi une phase de densification (Melia *et al.*, 2011). Confirmant la complexité du problème, Marc Wiel a indiqué que la ville ne devait pas être considérée comme un objet fixe auquel on ajouterait de nouveaux éléments pour mieux le maîtriser, mais bien comme un système global s'adaptant en permanence à l'évolution des possibi-

lités, et notamment à celle de l'offre de mobilité (réseaux de transport, vitesse de déplacement). Selon lui, le budget-temps accordé aux déplacements constitue la clé permettant de lier entre eux les flux et l'agencement urbain, la compétition pour l'espace et la façon dont s'ordonnent les différentes fonctions urbaines. Dans ce cadre, la réussite d'une politique urbaine de maîtrise de la mobilité doit reposer sur une vision globale des coûts (mobilité, foncier notamment), mais aussi des enjeux et des conséquences, ainsi que sur la gestion du temps pour réaliser les interactions sociales (Wiel, 2001).

5 Ainsi, le fonctionnement urbain et la manière d'habiter la ville doivent également être questionnés, au travers du retour à des circuits courts de production, de consommation et de services, dans un tissu urbain favorisant la mixité des fonctions et la réduction des temps accordés aux déplacements. Et pour être efficaces, les politiques publiques doivent agir simultanément sur la maîtrise de la demande en énergie, les développements technologiques, l'aménagement du territoire, l'optimisation des transports en commun et du fret urbain, sans oublier de créer les conditions d'un changement des comportements (Duchemin, Genest, 2013 ; L'Hostis *et al.*, 2016 ; Crozet *et al.*, 2012). En effet, au centre des réflexions sur les leviers de la durabilité se trouve désormais la question de l'efficacité des plans et actions à induire une baisse de la consommation énergétique, au travers d'abord de l'émergence d'une culture de consommation durable, mais aussi de nouvelles façons de concevoir sa mobilité. Ces dernières incluent bien évidemment le report modal vers des modes doux, mais elles doivent aller plus avant dans l'innovation, en développant l'utilisation de véhicules partagés ou encore la multimodalité, un choix qui sera favorisé par une meilleure articulation des modes de déplacement et par la création concomitante d'espaces urbains protégés.

6 La poursuite des efforts d'amélioration de la qualité de l'air dans les milieux urbains appelle aujourd'hui une nouvelle façon de penser la modélisation atmosphérique urbaine. Nécessairement orientée sur l'exposition de proximité aux sources urbaines, elle s'organise surtout autour de la prise en compte de la dimension humaine au sein de l'environnement urbain. Les verrous et enjeux qui en découlent sont discutés dans la suite de ce texte.

2. Modéliser l'exposition de proximité, un verrou majeur de la recherche en qualité de l'air

7 Quelle que soit son ampleur, la réduction des émissions de polluants primaires amène un abaissement de leurs concentrations, ce qui est évidemment favorable à la santé. Mais pour être crédibles et cohérentes, les stratégies de gestion de la qualité de l'air doivent pouvoir être évaluées quantitativement, et de préférence sur des paramètres à enjeu sociétal. Et c'est en termes de réduction de l'impact de la pollution sur la santé publique que l'on trouvera une voie majeure de valorisation des stratégies engagées. Le paramètre à cibler est donc l'exposition des populations aux polluants, un paramètre qui résulte du croisement entre le temps passé par les citadins dans leurs différents lieux de vie et les niveaux de pollution qui les caractérisent. Améliorer la connaissance de l'exposition, en situation actuelle ou dans un futur hypothétique, requiert de lever deux verrous majeurs.

8 Le premier est l'accès aux concentrations. De nombreux polluants atmosphériques n'étant associés à aucune valeur seuil d'exposition pour laquelle le risque serait nul, toute la gamme de distribution des concentrations constituant l'exposition est pertinente pour l'évaluation des risques. Il faut donc considérer la totalité des milieux auxquels l'ensemble de la population (et pas uniquement les groupes vulnérables) est exposé, que la pollution y dépasse ou non les niveaux de concentrations réglementaires. Un défi majeur pour quantifier l'effet sanitaire de la pollution atmosphérique est donc aujourd'hui de développer les ressources nécessaires pour estimer de façon fiable les variations spatiales et temporelles des concentrations de polluants dans les micro-environnements urbains. Or ces données ne sont pas aisément accessibles. Par structure, les modèles physiques de qualité de l'air d'échelle régionale ne peuvent descendre à une résolution inférieure au kilomètre, puisqu'ils ne simulent pas les processus qui régissent les écoulements d'air à l'échelle du bâti. Ils ne sont donc pas complètement adaptés pour traiter les expositions de proximité. Pour ces raisons, nombre d'études se tournent vers les modèles urbains de type CFD (*Computational Fluid Dynamics*) qui

permettent le calcul raffiné des écoulements d'air au milieu des structures bâties, et simulent des gradients de concentration à l'échelle d'une rue avec une représentativité satisfaisante (Moussafir, 2013). Il existe une littérature importante autour de la modélisation CFD de l'impact des politiques d'aménagement de quartier ou de voirie sur la qualité de l'air (voir, par exemple, Ghafghazi, Hatzopoulou (2015) ou Hülsmann (2014)). Toutefois, bien que pertinente, l'application des modèles CFD sur les villes se heurte à leur forte demande en données d'entrée, ainsi qu'à leur coût numérique démesurément élevé. Plus récemment, certains chercheurs ont choisi de développer une approche visant à créer de l'information à une résolution supérieure à celle de la maille des modèles de qualité de l'air, en s'appuyant sur des données descriptives de l'environnement urbain immédiat (Chourdakis *et al.*, 2016). Plus que l'échelle du calcul initial, l'important pour éviter de sous-estimer les risques sanitaires reste en effet la capacité à restituer *in fine* des contrastes d'exposition (ORS, 2014). La question du choix des modèles à utiliser et de l'équilibre à trouver entre exigences et compromis sur le raffinement des calculs se pose donc ici pleinement.

9 Le deuxième verrou est celui de la mise en relation des individus avec les environnements urbains qu'ils fréquentent au cours de la journée. La géographie du temps, qui tient compte du mouvement des personnes et de leur espace d'activité individuel, est en effet un déterminant crucial de l'exposition personnelle (Steinle *et al.*, 2013 ; Host, Chatignoux, 2009). Du fait de la rareté des données relatives aux pratiques précises des individus, l'exposition individuelle a traditionnellement été évaluée par l'interpolation spatiale d'informations de surveillance fixes aux points de résidence de la population (Cesaroni *et al.*, 2013) à l'aide de modèles de type *Land Use Regression* basés sur une régression spatiale statistique entre usage des sols et données d'observation de la pollution (de Hoogh *et al.*, 2014 ; Ryan, LeMasters, 2007). Et au-delà de quelques études récentes couplant capteurs individuels et suivi GPS sur des temps courts (Gariazzo *et al.*, 2016), la description statistique des trajectoires journalières des individus au sein d'une agglomération n'est toujours pas prise en compte dans le croisement avec les données de pollution. Cette problématique est en train d'évoluer rapidement avec le développement des *big data*, et de micro-capteurs permettant à la

fois de localiser les individus et de capturer la qualité de l'air dans leur environnement proche. Même si, à l'heure actuelle, de nombreuses questions relatives à leur fiabilité, ainsi qu'à leur impact sur les comportements des populations suivies, incitent à un comportement prudent dans l'interprétation et l'utilisation des données, de nombreuses équipes réfléchissent désormais à la manière de prendre en compte l'activité des individus dans la modélisation de l'exposition, afin d'améliorer l'épidémiologie de la pollution atmosphérique (Int Panis *et al.*, 2010).

2.1. Vers une modélisation urbaine intégrée prenant en compte les comportements individuels

10 Parmi les approches permettant de soutenir la prise de décision, la modélisation de scénarios d'émissions est depuis longtemps reconnue pour sa capacité à fournir des projections du comportement d'un système soumis à des stratégies de contrôle de la pollution (EEA, 2011). Les modèles de qualité de l'air ont su démontrer une grande capacité d'évaluation du potentiel des politiques environnementales, en simulant notamment l'impact de l'application de coefficients de contrôle des émissions par typologie d'activité (voir, par exemple, Coll *et al.*, 2009). Dans le contexte urbain décrit ci-dessus, il est désormais clair que l'aide à la décision ne peut plus uniquement reposer sur une approche de modélisation techniciste focalisée sur le contrôle réglementaire des rejets. La démarche désormais attendue est un décloisonnement des approches classiques, permettant d'intégrer à la fois les paramètres physiques de l'environnement, mais aussi la gestion urbaine dans toutes ses dimensions. Cela impose de traiter, d'une part, la question des politiques publiques à vocation environnementale, en amont de leur implémentation, grâce à des outils permettant de modéliser *a priori* les interactions entre les formes urbaines, les logiques économiques et la consommation d'énergie et, d'autre part, la question des individus, en recentrant les questionnements autour des motivations et des usages, afin de garantir les meilleures conditions d'acceptabilité et de succès des stratégies entreprises.

11 Relever ce défi de l'interdisciplinarité est un enjeu scientifique majeur. En termes de modélisation, cela recouvre de nombreux verrous techniques et conceptuels. En particulier, une approche de modélisation urbaine reposant sur la mobilité des populations exige de comprendre les raisons et la structure des déplacements personnels. Elle oblige donc à intégrer au sein des modèles une représentation des comportements individuels, qui s'expriment par le choix du mode, du nombre et de la distribution spatio-temporelle des déplacements sur le territoire modélisé. Essentiel pour dimensionner la consommation d'énergie et l'émission de polluants, ce point recouvre également plusieurs verrous scientifiques.

2.2. La modélisation intégrée dans la littérature

12 Dans la littérature, le développement d'un modèle numérique unique adapté à simuler le système urbain dans son ensemble n'a jamais été considéré. En revanche, le couplage d'un ensemble de modèles disciplinaires, de complexité et de portée différentes, a été rapidement identifié comme l'approche la plus efficace et la mieux adaptée pour répondre aux besoins des projets de gestion environnementale urbaine (Fulton *et al.*, 2015). On observe dans cette littérature que la mise en commun de modèles d'économie spatiale, de transport et de qualité de l'air se conçoit sous des formes variables, donnant un poids plus ou moins grand au travail final de simulation de la qualité de l'air, à la représentation des forçages politiques et économiques, ou au réalisme des structures urbaines. Ainsi, on identifie, d'un côté, des travaux qui traitent la question de la forme globale urbaine et de sa relation avec la mobilité et la qualité de l'air, en s'appuyant sur des villes théoriques aux formes géométriques. À l'instar de Schindler et Caruso (2014), ces travaux combinent des modèles économiques de choix résidentiel et de génération d'itinéraires de mobilité avec des modèles d'émissions et de modélisation de la dispersion des polluants, afin d'esquisser le caractère variable de l'exposition des populations induite par la morphologie théorique de la ville. D'un autre côté, on relève des travaux visant à tester des politiques publiques sur des villes réelles. Dans la grande majorité des cas, on note que les scénarios considérés (covoiturage, étalement/densification urbaine) ainsi que les reports de mobilité par rapport à la situa-

tion de référence sont traités de manière très simplifiée, ce qui affaiblit la portée des résultats obtenus (voir Bandeira *et al.* (2011) ou de Ridder *et al.* (2008)). Par ailleurs, les aspects liés aux mécanismes et à la distribution spatiale de la congestion routière sont, aujourd'hui encore, relativement peu explorés dans cette littérature. Or le phénomène de congestion routière est une cause majeure d'amplification des émissions d'échappement du trafic routier. Très récemment, on relève toutefois la volonté de certains projets émergents (Elessa Etuman, 2017) de mettre en œuvre une démarche de modélisation urbaine prospective plus équilibrée entre les volets urbains, intégrant des scénarios de politiques publiques réalistes, centrée sur l'individu et visant *in fine* le calcul de l'exposition dynamique des populations dans la ville.

2.3. La modélisation des comportements de mobilité

13 Pour clore ce tour d'horizon des modélisations urbaines intégrées, il est important de considérer les défis techniques, scientifiques et sociétaux associés à l'exigence de représentation des choix de mobilité des individus dans les modèles. Le premier verrou que l'on identifie provient des modèles de choix discret eux-mêmes. Ces modèles sont basés sur l'hypothèse que l'individu est en mesure de connaître l'ensemble des options qui s'offrent à lui, d'en établir systématiquement un classement et de toujours choisir l'action qu'il aura placée en tête (Thisse, Billot, 1995). Le modèle d'utilité aléatoire, utilisé dans les questions de mobilité, considère que l'individu fera le choix qui maximisera son utilité (c'est-à-dire la valeur qu'il tirera de ses choix), et module le résultat obtenu à l'aide d'une variable aléatoire, afin de refléter à la fois la dispersion des préférences individuelles et l'incertitude associée au fait que le modélisateur ne dispose pas de toutes les informations nécessaires pour modéliser l'utilité des choix. Cette notion de « rationalité parfaite » des choix des individus est bien évidemment questionnable. On note, par exemple, que la plupart des ménages soumis à une offre avantageuse de transports en commun, mais possédant déjà une voiture, vont dans de nombreux cas sacrifier certaines de leurs dépenses pour continuer à utiliser leur voiture (Le Néchet *et al.*, 2016). Récemment, des modèles de choix hybrides ont été développés. Ils intègrent à la fois des paramétrisations stan-

dards de choix discret et des variables inexprimées (normes sociales, perceptions), qui agissent comme des facteurs explicatifs des processus décisionnels. Leur mise en application sur les problématiques d'aide à la décision en environnement – par exemple l'analyse des préférences pro-environnementales lors des décisions d'achat de véhicules à faibles émissions, mais à coût élevé et présentant divers inconvénients d'usage – permettrait certainement de lever un certain nombre de verrous quant à l'acceptabilité et l'efficacité des politiques publiques (Danziano, 2010). Enfin, dans l'optique de la mise en œuvre de scénarios urbains futurs, la capacité des modélisateurs à anticiper l'évolution de la mobilité individuelle est un enjeu majeur. Orfeuil et Massot (2005) présentent une mobilité urbaine individuelle en profonde mutation, qui s'articule de plus en plus autour de la rationalisation des activités d'achat, tandis que les mobilités professionnelles sont en partie abandonnées au profit de contacts à distance, et que les mobilités privées se diversifient. Dans ce contexte, les auteurs estiment que l'ouverture des choix (acteurs, territoires, modes d'interaction), ainsi que les capacités d'organisation des individus seront déterminantes tant pour l'intensité que pour la géographie des flux de mobilité futurs. Ils pointent également du doigt l'importance du récent renversement des objectifs de planification urbaine pour estimer les futurs déterminants des comportements. La planification urbaine, initialement dédiée à créer des réseaux de transport pour accompagner l'évolution des métropoles, vise désormais la construction d'une identité propre à chaque territoire et la prévention des crises environnementales majeures. Dans ce contexte, la mobilité n'est plus l'expression exclusive d'une demande en transport imposée par les caractéristiques des individus et des territoires. Elle doit dorénavant être comprise comme un outil d'organisation des modes de vie de chacun, même si elle résulte en grande partie d'arbitrages entre les tensions liées aux questions de pollution et d'énergie et la forme de servitude subie par un grand nombre des résidents urbains. Pour mener à bien les études de scénarios urbains futurs, il faudra donc pouvoir éclairer les choix qui se feront autour du recours à l'automobile dans des espaces où, à besoin constant, le coût de la mobilité augmentera.

3. Conclusions et perspectives

14 La gouvernance urbaine est aujourd'hui étroitement liée au développement d'une science au service de la prise de décision, s'appuyant sur des outils de mesure et d'optimisation de plus en plus performants. Dans la littérature, la fonction assignée à la modélisation est double : l'approche est à la fois reconnue comme un processus cognitif robuste qui accompagne et facilite la prise de décision, et comme une garantie de rationalité de la décision elle-même (Simon, 1976). Toutefois, et cela vaut dans le cas de la qualité de l'air, il est essentiel de se poser la question de la validité et de la pertinence du modèle, ainsi que des recommandations que l'on en retire. Commenges *et al.* (2017) portent l'analyse suivante : les modèles n'ont pas de valeur intrinsèque, mais seulement celle que leur usage par un réseau d'acteurs leur confère. Par ailleurs, ils soutiennent le constat de l'influence très relative des travaux de modélisation sur le processus d'élaboration des politiques, le lien entre connaissance et action n'étant que partiellement fonctionnel. Selon eux, le recours croissant à la modélisation pourrait alors s'expliquer par le besoin de l'ensemble des acteurs de converger vers une action consensuelle, tout en focalisant l'expertise sur l'outil. En extrapolant, cette validation sociale de l'expertise du modèle par l'ensemble des acteurs pourrait être un moteur de modification des comportements qui accepteraient de tendre vers un objectif quantifié et temporisé, *via* un processus avalisé par tous. Car ce sont bien l'acceptabilité et l'adhésion que l'on retrouve au cœur de la question de la réussite des politiques publiques urbaines, environnementales notamment. Et donc, au-delà des difficultés techniques que nous avons longuement évoquées dans cet article, c'est également la capacité des modèles à restituer les pratiques individuelles et leur évolution, qui se trouve pointée du doigt lorsque l'on intègre la modélisation dans le processus d'aide à la décision. Nous devons bien sûr reconnaître que les modèles sont seuls à pouvoir offrir une vision quantitative de la qualité de l'air en lien avec une structure urbaine donnée, pour un scénario d'aménagement hypothétique et une adhésion citoyenne définie. Toutefois, si l'on cherche à estimer l'impact à venir d'un choix politique, l'apport des sciences sociales reste alors crucial. Il doit aider à cerner – et à intégrer dans les modèles – les

multiples arbitrages (financiers, sociaux, personnels…) de la mobilité urbaine, cible des politiques de maîtrise de la qualité de l'air. Mais ces arbitrages individuels sont tellement complexes qu'ils restent pour l'instant de véritables obstacles cognitifs. Pire, ils présentent sans doute une forte résilience au changement. Massot et Orfeuil (2005) indiquent à ce propos que la rationalité de la mobilité n'est pas tant celle des déplacements que celle de leur finalité : choix des activités et des lieux d'activité, organisation spatiale de l'habitat porté par l'entre-soi, par la fuite du stress urbain ou encore par des choix culturels... Des attentes face auxquelles la mobilité individuelle reste toujours la solution la plus performante, quand elle n'est pas simplement une obligation. Alors, pour concurrencer la flexibilité et la rapidité de l'automobile, les politiques de régulation de la mobilité pourraient bien se tourner vers des solutions connectées, afin de contenter, et peut-être un jour d'orienter, le besoin d'efficacité des usagers de la ville.

BIBLIOGRAPHY

Bandeira JM, Coelho MC, Sá ME et al., 2011: Impact of land use on urban mobility patterns, emissions and air quality in a Portuguese medium-sized city, Science of The Total Environment, 409(6), 1154-1163. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.12.008

Breteau V, 2011 : Manifestations spatiales de la congestion et localisation des emplois et des ménages. Architecture, aménagement de l'espace, NNT : 2011PEST1134, thèse de doctorat de l'université Paris-Est. https://pastel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/690398/filename/TH2011PEST1134_complete.pdf

Brueckner JK, 2000: Urban sprawl: Diagnosis and remedies, International Regional Science Review, 23(2), 160-171.

Calvet L, Marical F, Merceron S et al., 2010 : La facture énergétique des ménages serait 10 % plus faible sans l'étalement urbain des 20 dernières années, dossier « La facture énergétique des ménages ». [En ligne]. Disponible sur : https://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/1373574/FPORSOC10G.pdf

Cesaroni G, Badaloni C, Gariazzo C et al., 2013: Long-term exposure to urban air pollution and mortality in a cohort of more than a million adults in Rome, Environmental health perspectives, 121(3), 324-331. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3621202/pdf/ehp.1205862.pdf

Chourdakis E, Moussiopoulos N, Barmpas F et al., 2016: Operational application of an empirical approach for

determining concentration increments at the street level, Proceedings of the 10th International Conference on Air Quality, Science and Application, 14-18 March 2016, Milan, Italy.

Coll I, Lasry F, Fayet S et al., 2009: Simulation and evaluation of 2010 emission control scenarios in a Mediterranean area, Atmospheric Environment, 43(27), 4194-4204. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.05.034

Commenges H, Tomasoni L, Seigneur C et al., 2017: Who is the Expert? Integrated Urban Modeling and the Reconfiguration of Expertise. Journal of Urban Technology, Taylor Francis (Routledge), SSH Titles, 24 (2), 89-108.

Crozet Y, L'Hostis A, Collin B et al., 2012 : Transport public et développement urbain durable en France et aux USA, partie relative au cas français, hal-00734129 (https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00734129).

Danziano RA, 2010 : A Bayesian approach to Hybrid Choice models, thèse de doctorat de l'université Laval, Québec, 220 p. https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/21606/1/27726.pdf

De Hoogh K, Korek M, Vienneau D et al., 2014 : Comparing land use regression and dispersion modelling to assess residential exposure to ambient air pollution for epidemiological studies, Environment International, 73, 382-392. https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.08.011

De Ridder K, Lefebre F, Adriaensen F et al., 2008: Simulating the impact of urban sprawl on air quality and population exposure in the German Ruhr area. Part II: Development and evaluation of an urban growth scenario, Atmospheric Environment, 42(30), 7070-7077. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.06.044

Duchemin B, Genest S, 2013 : La transition énergétique dans les transports. Avis du Conseil économique, social et environnemental, Journal Officiel de la République Française, séance du 10 juillet 2013. http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/134000437.pdf

Elessa Etuman A, 2017 : Approche multiscalaire de l'analyse des impacts des politiques énergétiques et de déplacements urbains sur la pollution de l'air : modélisation intégrée des différents paramètres en jeu pour un espace urbain soutenable, thèse de doctorat de l'université Paris Est, 275 p.

European Commission, 2016: Quality of Life in European Cities, Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2776/870421

European Environment Agency, 2006: Urban sprawl in Europe. The ignored challenge, EEA Report n° 10/2006, Office for Official Publications of the European Communities. https://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2006_10

European Environment Agency, 2011: The application of models under the European Union's Air Quality Directive: A technical reference guide, EEA Technical report, n° 10/2011, 72 p. https://www.eea.europa.eu/publications/fairmode

European Environment Agency, 2016: Air Quality e-Reporting Database.

Floch JM, Levy D, 2011 : Le nouveau zonage en aires urbaines de 2010, INSEE Première, 1375. https://www.insee.fr/fr/statistiques/1281046

Fulton EA, Boschetti F, Sporcic M et al., 2015: A multi-model approach to engaging stakeholder and modellers in complex environmental problems, Environmental Science & Policy, 48, 44-56. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.12.006

Gariazzo C, Pelliccioni A, Bolignano A, 2016: A dynamic urban air pollution population exposure assessment study using model and population density data derived by mobile phone traffic, Atmospheric Environment, 131. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.02.011

Ghafghazi G, Hatzopoulou M, 2015: Simulating the air quality impacts of traffic calming schemes in a dense urban neighborhood, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 35, 11-22. https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.11.014

Host S, Chatignoux E, 2009 : Pollution atmosphérique de proximité liée au trafic : expositions et effets sanitaires, sous la direction d'I. Grémy, Paris, Observatoire régional de santé Ile-de-France, 84 p. [En ligne]. Disponible sur: http://www.ors-idf.org

Hülsmann F, Gerike R, Ketzel M, 2014: Modelling traffic and air pollution in an integrated approach – the case of Munich, Urban Climate, 10(4), 732-744. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.01.001

Int Panis L, De Geus B, Vandenbulcke G et al., 2010: Exposure to particulate matter in traffic: a comparison of cyclists and car passengers, Atmospheric Environment, 4, 2263-2270. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.04.028

Kendrick CM, Koonce P, George LA, 2015: Diurnal and seasonal variations of NO, NO2 and PM2.5 mass as a function of traffic volumes alongside an urban arterial, Atmospheric Environment, 122, 133-141. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.09.019

Le Néchet F, Aguilera A, 2011 : Déterminants spatiaux et sociaux de la mobilité domicile-travail dans 13 aires urbaines françaises : une approche par la forme urbaine, à deux échelles géographiques, 48e colloque ASRDLF, Schoelcher, Martinique.

Le Néchet F, Nessi H, Aguilera A, 2016 : La mobilité des ménages périurbains au risque des crises économiques et environnementales, Géographie Economie Société, Lavoisier, 18(1), 113-139.

L'Hostis A, Muller B, Meyer G et al., 2016: MO-BILITY4EU - D2.1 - Societal needs and requirements for future transportation and mobility as well as opportunities and challenges of current solutions. [Research Report] IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux, 85 p.

Massot MH et Orfeuil JP, 2005 : La mobilité au quotidien, entre choix individuel et production sociale, Cahiers internationaux de sociologie, 118, p. 81-100. https://doi.org/10.3917/cis.118.0081

Melia S, Parkhurst G, Barton H, 2011: The paradox of intensification, Transport Policy, 18(1), 46-52. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.05.007

Moussafir J, Olry C, Nibart M et al., (2013): Aircity: A very high-resolution 3D atmospheric dispersion modelling system for Paris, rapport de projet, 2013. [En ligne]. Disponible sur : http://www.aria.fr/projets/aircity/pdf/H15-184.Moussafir.AIRCITY.V4.pdf

Observatoire Régional de Santé (ORS), 2014 : Territoires, incubateurs de santé ? Les Cahiers de l'IAU IDF, 170-171.

Orfeuil JP et Massot MH, 2005 : Penser les mobilités de demain : essai de clairvoyance prospective, Le Banquet, 269-290.

Pascal M, Corso M, Chanel O et al., 2013: Assessing the public health impacts of urban air pollution in 25 European cities: Results of the Aphekom project, Science of the Total Environment, 449, 390-400. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.077

Roussel I, Roussel FX, 2012 : Climat, qualité de l'air et outils de planification, Pollution Atmosphérique, 216, 383-394. http://irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/index.php?id=626

Ryan PH, LeMasters GK, 2007: A Review of Land-use Regression Models for Characterizing Intraurban Air Pollution Exposure. Inhalation toxicology, 19 (Suppl 1), 127-133. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2233947/

Schindler M, Caruso G, 2014: Urban compactness and the trade-off between air pollution emission and exposure: Lessons from a spatially explicit theoretical model, Computers, Environment and Urban Systems, 45. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.01.004

Simon HA, 1976: From Substantive to Procedural Rationality, in S. Latsis (eds.), Method and Appraisal in Economics, Cambridge University Press.

Steinle S, Reis S, Sabel CE, 2013: Quantifying human exposure to air pollution. Moving from static monitoring to spatio-temporally resolved personal exposure assessment, Science of The Total Environment, 443, 184-193. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.098

Thisse JF, Billot A, 1995 : Modèles de choix individuels discrets : théorie et applications à la micro-économie, Revue économique, 46(3), 921-931. https://www.persee.fr/doc/reco_0035-2764_1995_num_46_3_409707

Wiel M, 2001 : Les arbitrages de la mobilité, Les cahiers de médiologie, 12, 174-180. https://doi.org/10.3917/cdm.012.0174

ABSTRACTS

Français

Aujourd'hui, poursuivre les actions de lutte contre la pollution de l'air doit se poser sous la forme d'une question sociétale : comment réorganiser la ville et agir sur son développement, dans l'optique des enjeux de la durabilité mais aussi d'amélioration de la qualité de l'air ? L'ensemble des travaux de la littérature démontre la nécessité de développer de nouvelles formes de modélisation urbaine, multidisciplinaires et dédiées à fournir une aide à la

décision en environnement. Cette recherche sur la modélisation doit prendre en compte le caractère complexe et intriqué du développement urbain, des formes d'usage du sol, de la consommation énergétique des ménages et des entreprises, du lien urbain-rural et des pratiques de mobilité. Dans ce cadre, la modélisation à une échelle fine des gradients de concentrations de polluants, l'estimation des contrastes d'exposition par une approche centrée sur les mobilités individuelles, ainsi que la modélisation des comportements de mobilité en situation actuelle et face à la mise en œuvre de politiques publiques, constituent des enjeux scientifiques et sociétaux majeurs.

English

Today, the pursuit of actions against air pollution must be considered as a societal issue: how to reorganize the city and act on its development, in view of sustainability stakes, but also in order to improve air quality? The works reported in the literature demonstrate the need to develop innovative and multidisciplinary forms of urban modelling, dedicated to providing environmental decision support. This modelling research must take into account the complex and intricate nature of urban development, the structure of land use, the energy consumption of households and businesses, the urban-rural link as well as mobility practices. In this context, fine-scale modelling of pollutant concentration gradients, estimation of exposure contrasts by an approach centred on individual mobility as well as modelling of mobility behaviours in the current situation and for public policy scenarios, constitute major scientific and societal issues.

INDEX

Mots-clés

approche systémique multidisciplinaire, contrastes d'exposition, modélisation, modélisation des choix et des comportements, qualité de l'air

Keywords

air quality, behaviour and choice models, exposure contrasts, modelling, multidisciplinary systemic approach

AUTHORS

Isabelle Coll

LISA, Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques, UMR CNRS 7583, université Paris-Est-Créteil, université Paris Diderot, 94010 Créteil Cedex, France

Arthur Elessa Etuman
LISA, Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques, UMR CNRS 7583, université Paris-Est-Créteil, université Paris Diderot, 94010 Créteil Cedex, France