

# Modéliser des évolutions dans le système de la mobilité urbaine pour des acteurs non-experts.

**Colin Lashermes**

*INRAE Centre PACA – UMR RECOVER*

**RESUME** Le transport concentre 31% des émissions de gaz à effet de serre (GES) de la France en 2019 et la mobilité urbaine représente 40% de l'ensemble des émissions de CO<sub>2</sub> du transport routier en Europe. La transition environnementale passe donc par une réflexion sur la mobilité, et notamment urbaine. Afin de pouvoir établir une stratégie efficace pour cette mobilité, il est nécessaire de l'évaluer. Mais il est aussi indispensable de porter un regard à plus long terme en questionnant son devenir puisqu'elle est soumise à de nombreuses évolutions, qu'elles soient souhaitées ou subies. Il est donc important de pouvoir connaître et évaluer les évolutions possibles de la mobilité urbaine pour pouvoir s'adapter et anticiper les problèmes et défis afin de les prévenir. De plus, une meilleure planification passe par l'intégration des différentes parties prenantes. Ainsi ce travail présente une méthode pour modéliser des évolutions potentielles de la mobilité urbaine à destination de l'ensemble des acteurs. Il combine un modèle à base d'indicateurs, exprimés sur une échelle de Likert, pour évaluer la mobilité sur un territoire donné, et une méthode pour décrire des changements de la mobilité à travers les indicateurs du modèle. Enfin une application de la méthode a été réalisée sur la métropole de Strasbourg.

**Mots-clefs** Mobilité urbaine, Evaluation, Prospective, Parties prenantes

## I. INTRODUCTION

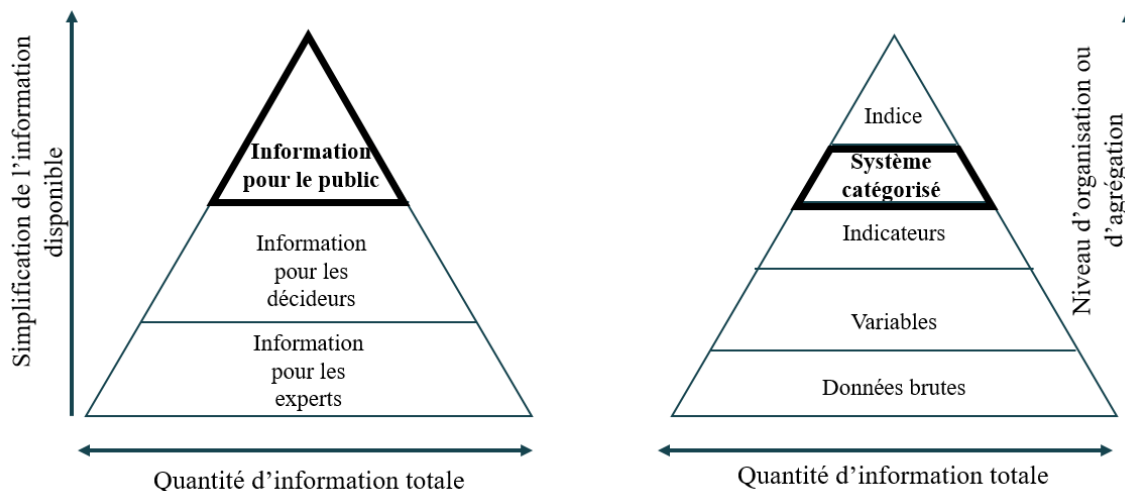
La mobilité urbaine et les infrastructures liées composent un système complexe en perpétuelle évolution. Il est donc nécessaire pour aider à une meilleure compréhension du système et à une meilleure gestion des infrastructures de mobilité, de pouvoir modéliser de futurs changements possibles ainsi que leurs conséquences. De plus, de nombreux travaux ont mis en lumière l'intérêt d'associer l'ensemble des parties prenantes, y compris les habitants, aux décisions touchant à la mobilité urbaine (Booth and Richardson, 2001). En effet, intégrer les différents acteurs dans le processus leur permet d'améliorer leur compréhension globale du système et de s'en forger une connaissance commune (Hare, 2011). Pour répondre à ces enjeux, ce travail vise à modéliser des évolutions de la mobilité urbaine sur un territoire pour des acteurs non-experts, c'est-à-dire des acteurs qui ne possèdent pas beaucoup de connaissances théoriques sur ce domaine. Le système étudié est donc la mobilité urbaine sur un territoire.

Les évolutions d'un système sont caractérisées par des changements d'état du système entre des instants  $t$  et  $t+\Delta t$ . Ainsi il est nécessaire de pouvoir décrire l'état du système à un instant  $t$ . Une fois cette description réalisée, on peut s'interroger sur ses évolutions possibles, c'est-à-dire, ses états possibles à  $t+\Delta t$ . Il faut pour cela se demander quels pourraient être les innovations, les changements de comportement, les paramètres extérieurs, et leurs conséquences qui pourraient influencer, impacter la dynamique du système, donc ici la mobilité urbaine. Afin que ces évolutions du système puissent être bien appréhendées par l'ensemble des acteurs, il faut aussi s'intéresser à

la façon d'évaluer et de transmettre l'information. Pour répondre à ces différents enjeux, nous exposerons dans un premier temps un modèle d'évaluation de la mobilité, puis la façon dont il est possible de proposer des évolutions possibles du système étudié. Une dernière partie présentera les résultats et une application sur la métropole de Strasbourg.

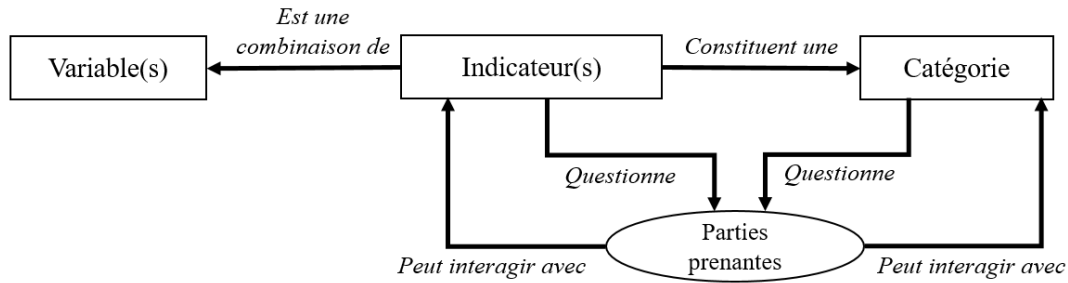
## II. EVALUATION DE LA MOBILITE

La première étape de ce travail a été de construire un modèle d'évaluation de la mobilité urbaine. Ce modèle, nommé Mobival4all, est conçu pour être utilisable par toutes les parties prenantes (élus, services techniques, citoyens...), y compris les non-experts. Afin d'atteindre cet objectif, la quantité et la nature des informations fournies à l'utilisateur doivent être déterminées. En effet, plus il y a d'informations, plus il est difficile pour les non-experts de les appréhender (Figure 1). Il faut donc obtenir la quantité d'informations nécessaire et suffisante dans le modèle d'évaluation. Dans le domaine de l'évaluation, simplifier l'information signifie l'organiser ou l'agréger (Braat, 1991). Nous avons choisi le système catégorisé, qui permet un compromis entre la quantité d'information et sa bonne compréhension. Un système catégorisé est un ensemble d'indicateurs classés en catégories représentant les différentes dimensions (économiques, écologiques, etc.) du système à évaluer.



**FIGURE 1.** Pyramide de l'information adaptée de Verry & Nicolas (2005) basée sur Levarlet (1999) et Braat (1991)

Notre modèle est donc basé sur trois niveaux (Figure 2) : variable, indicateur et catégorie. Une variable est un symbole, un terme, un phénomène observable auquel on peut attribuer différentes valeurs prises dans un ensemble. Les indicateurs sont " des variables, ou des combinaisons de variables, sélectionnées pour représenter un phénomène ou une caractéristique d'intérêt " (Gudmundsson et al., 2016). Une catégorie regroupe un ensemble d'indicateurs correspondant au plus haut niveau de représentation du système.



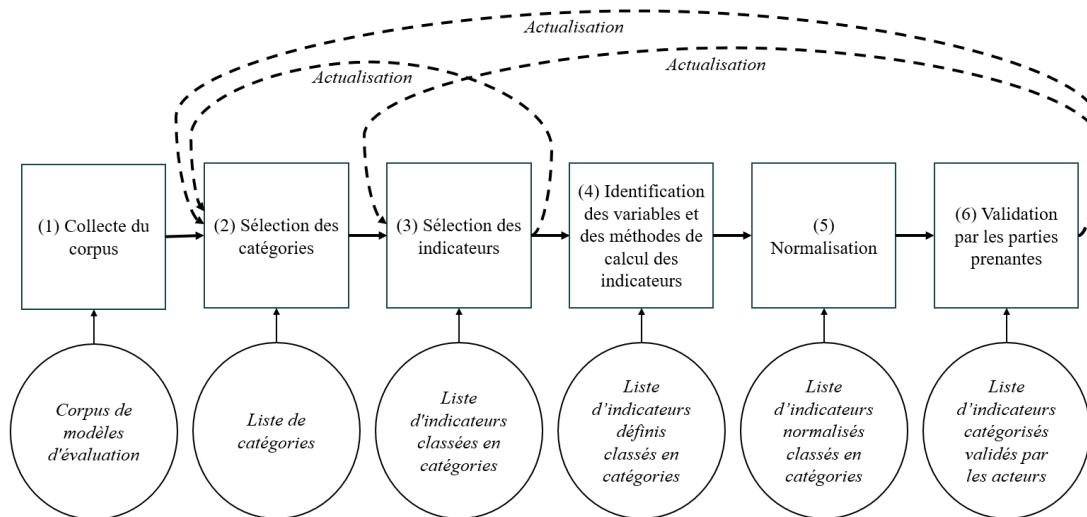
**FIGURE 2.** Schéma du modèle d'évaluation MobiVall4all

La construction du modèle est basée sur un processus itératif composé de 6 étapes (Figure 3) :

1. **Collecte du corpus** : cette étape consiste à recenser un ensemble de modèles d'évaluation de la mobilité urbaine existants. Le corpus sert de base à la construction du nouveau modèle.
2. **Sélection des catégories** : les différentes catégories, c'est-à-dire les dimensions de la mobilité qui doivent être présentes dans MobiVal4all, sont identifiées. La sélection se fait au sein du corpus de modèles d'évaluation de la mobilité précédemment identifié, en fonction de l'occurrence des catégories dans les modèles existants.
3. **Sélection des indicateurs** : cela consiste à identifier dans le corpus les indicateurs liés aux catégories sélectionnées qui semblent être les plus pertinents par rapport aux objectifs de Mobival4all.
4. **Identification des variables et des méthodes de calcul des indicateurs** : l'objectif de cette étape est de définir comment attribuer une valeur aux indicateurs. Elle vise à identifier les variables nécessaires au calcul de l'indicateur, puis à définir la "règle" de calcul.
5. **Normalisation** : chaque indicateur obtenu à l'étape 4 est évalué sur sa propre échelle, ce qui rend difficile la compréhension et la représentation de la situation globale pour un non-expert. Afin de rendre ces indicateurs plus facilement compréhensibles pour les non-experts et de standardiser l'évaluation, les indicateurs sont normalisés, c'est-à-dire de tous placés sur une échelle commune. Pour la méthode de normalisation, nous avons choisi l'échelle de Likert, qui permet une compréhension facile pour l'utilisateur (Illahi et Mir, 2020). Cela correspond à l'objectif d'utilisabilité du modèle aux différents acteurs de la mobilité urbaine. Ainsi, tous les indicateurs sont transposés sur une échelle de Likert ordinale à 7 niveaux : [1] Très faible, [2] Faible, [3] Moyennement faible, [4] Moyen, [5] Moyennement élevé, [6] Élevé, [7] Très élevé. Pour chaque indicateur, il est nécessaire d'élaborer une table de correspondance entre l'échelle naturelle de l'indicateur et l'échelle à 7 niveaux. Les tables de correspondance peuvent être construites sur une base statistique, à partir de la valeur des indicateurs pour l'ensemble du territoire investigué (pour notre cas d'étude, ce seront l'ensemble des métropoles françaises) ; il est possible de calculer les valeurs des quintiles à partir de ce jeu de données. On peut alors associer les valeurs de l'échelle de Likert (note de 1 à 7) à des intervalles issus des quintiles. Par exemple la note de 4 (Moyen) est attribuée à l'intervalle ]Q3 ; Q4] ; c'est-à-dire que vis-à-vis de cet indicateur, une ville qui a une note de 4 présente une valeur d'indicateur qui est plus élevée

que 40% des villes du territoire, mais qui est plus faible que 40% des villes du territoire. Ainsi pour l'indicateur « part modale des transports en commun » la note de 4 (Moyen) est attribuée à l'intervalle [0,2 ;0,3].

6. **Validation par les parties prenantes** : cette étape prend la forme d'un questionnaire destiné aux différentes parties prenantes de la mobilité urbaine. Cela permet à la fois d'inclure les acteurs pendant le développement du modèle et de tenter d'atteindre l'objectif d'utilisabilité du modèle en s'assurant que le modèle réponde bien à leurs besoins et leur soit compréhensible.



**FIGURE 3. Etapes de construction du modèle**

Ainsi, le modèle Mobival4all (Lashermes et al., 2022), qui résulte de ces différentes étapes, est un modèle d'évaluation de la mobilité urbaine sur un territoire donné à un moment donné. C'est un modèle à base d'indicateurs catégorisés exprimés sur une échelle de Likert en sept points. Mobival4all utilise un ensemble de 112 variables permettant de calculer 51 indicateurs appartenant à 10 catégories (voir exemples sur Figure 4).

### III. EVOLUTIONS DE LA MOBILITE

Une fois en capacité de décrire la situation du système à un instant  $t$ , on peut s'interroger sur les évolutions potentielles de la mobilité urbaine et leurs conséquences. La recherche sur les évolutions futures fait appel à deux grandes approches, la prédiction et la prospective. La prédiction consiste à identifier le ou les futurs les plus probables ; elle cherche donc à prédire le futur. La prospective quant à elle constitue « un va-et-vient entre le présent et le futur, non pas pour prédire celui-ci mais plutôt pour aider une société à se construire un avenir désiré » (Tabarly, 2019) ; la prospective explore des futurs possibles.

Pour un système aussi complexe que la mobilité urbaine, impacté par de nombreux facteurs extérieurs, dès lors que l'on s'intéresse au moyen (supérieur à 5 ans) et long terme (au-delà de 20 ans), il est inenvisageable de prédire son avenir. Nous nous plaçons donc dans le cadre de la prospective, ainsi nous cherchons, dans cette démarche, des évolutions possibles pour la mobilité urbaine. La littérature scientifique utilise différentes méthodes (entretiens, revues de la littérature,

ateliers...) pour exprimer et représenter des futurs possibles de la mobilité urbaine au travers de scénarios prospectifs. Ceux-ci peuvent prendre des formes différentes telles que des récits textuels (Shergold et al., 2015) ou des tableaux ou graphiques exposant des évolutions de variables (Milakis et al., 2017). Les scénarios sous forme textuelle sont faciles à comprendre et apportent une vision d'ensemble, mais ils ne permettent pas de quantifier les changements possibles du système et ne sont que peu adaptés en tant que support à l'aide à la décision. A l'inverse, les représentations sous formes d'évolution de variables permettent de bien quantifier les changements possibles de la mobilité, mais elles restent techniques et difficilement appréhendables par de nombreux acteurs non experts de la mobilité pourtant impliqués ou impactés dans/par les décisions (élus, habitants, associations...).

Ainsi, pour répondre à cet enjeu d'évolution de la mobilité urbaine, nous avons proposé une méthode permettant de modéliser un scénario prospectif de la mobilité urbaine issu d'un entretien en un ensemble d'évolutions d'indicateurs du modèle Mobival4all, afin de pouvoir évaluer des futurs possibles de la mobilité d'un territoire urbain. Cette méthode permet de faire un pont entre récit textuel et évaluation à base d'indicateurs appréhendable par tous les acteurs. Cette méthode se divise en 6 étapes (figure 4) :

1. **Création des scénarios** : Lors d'entretiens semi-directifs réalisés avec des acteurs de la mobilité urbaine (élus, citoyens, opérateurs...), on demande à la personne interrogée d'imaginer comment pourrait être la mobilité sur un territoire à un horizon choisi (2030, 2050...). Chaque entretien est ensuite retranscrit pour en extraire une liste de mots-clés ou d'expressions-clés de la mobilité et le synthétiser en scénario (sous forme textuelle).
2. **Identification des variables** : dans le texte de chaque scénario, on identifie quelles sont les variables utilisées par le modèle Mobival4all ; par exemple une phrase telle que « Les transports en commun vont augmenter très fortement dans le futur », on peut identifier la variable « nombre de trajets en transports en commun » du modèle Mobival4all. Parmi les variables identifiées, on distingue les variables explicites et les variables implicites. Les premières sont directement présentes dans les dires de l'acteur ; les secondes ne sont pas citées mais sont impactées par le scénario. Par exemple, si le scénario parle d'une électrification du parc automobile cela impacte la variable « population exposée à la pollution sonore ». Une étape de validation ultérieure (étape 5) permettra de vérifier que les variables identifiées sont bien en accord avec les propos de l'acteur. Enfin, on associe une tendance (croissante, décroissante ou stagnante), déduite depuis le scénario, à chaque variable identifiée (implicites ou explicites). Les variables non-identifiées sont automatiquement considérées comme stagnantes à ce stade (l'étape 4 pourra tout de même conduire à les faire évoluer).
3. **Quantification de la tendance** : On évalue qualitativement la valeur des tendances de chaque variable à l'horizon choisi en fonction des termes associés aux variables (Un peu, Fortement, Massivement, Moyennement...). Si on ne peut pas identifier de termes significatifs associés à la tendance, on lui affecte une variation moyenne par défaut. Afin de pouvoir donner une correspondance quantitative à la variation qualitative de la variable, on utilise deux méthodes :

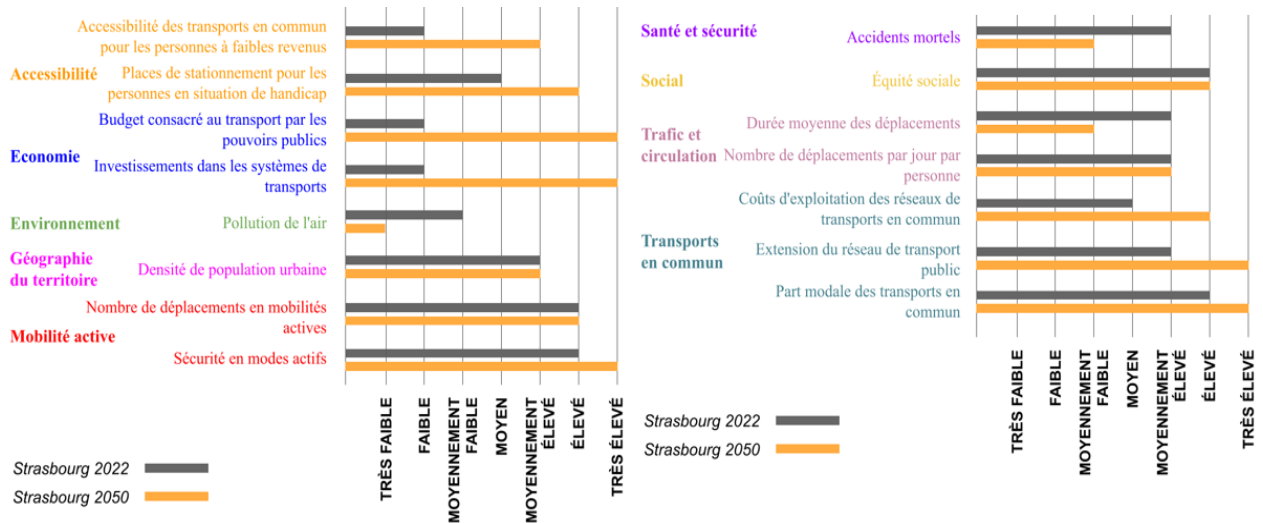
- Le dire d'expert : l'acteur propose directement la valeur de la variable à l'horizon défini (e.g. +10% de population sur l'aire urbaine en 2050) ;
  - Les données statistiques : on rassemble les données relatives aux valeurs des variables sur le territoire étudié (ici les métropoles françaises) à différentes dates afin de calculer un taux annuel moyen d'évolution pour chaque variable par métropole. On identifie alors, en considérant l'ensemble des métropoles, les valeurs correspondantes au premier quartile, à la médiane et au troisième quartile qui sont associées respectivement aux tendances "Faible", "Moyenne" et "Elevée". On peut alors calculer dans le cadre du scénario étudié la valeur de la variable à l'horizon défini, en fonction du taux annuel d'évolution correspondant à la tendance identifiée.
4. **Simulation des autres variables** : La mobilité urbaine est un système complexe dont les variables sont interdépendantes. L'évolution de certaines variables peut en impacter d'autres. Pour prendre en compte ces interactions, nous avons formalisé les liens de dépendance entre toutes les variables du modèle Mobival4all sous la forme d'un tableau. Pour chaque dépendance relevée, une règle a été proposée pour prendre en compte le type de dépendance (par exemple, une diminution de la variable X entraîne une diminution équivalente de la variable Y). Si la règle proposée entre en contradiction avec le scénario, c'est lui qui prime ; la règle n'est alors pas appliquée. A la fin de cette étape, on obtient l'évolution de toutes les variables impliquées directement ou indirectement par le scénario.
  5. **Validation par les personnes interrogées** : Pour s'assurer que la traduction du scénario est cohérente par rapport à la vision de l'acteur interrogé, on fait valider, par celui-ci, les tendances et les valeurs proposées pour les variables de son scénario. C'est une étape cruciale pour éviter toute fausse interprétation (Gueroui, 2016).
  6. **Calcul des indicateurs** : A partir des valeurs pour l'ensemble des variables à l'horizon choisi, on peut calculer la valeur des indicateurs du modèle MobiVal4all au même horizon. Cela permet de donner une image de la mobilité sur le territoire en accord avec le scénario prospectif créé et qui peut être comparée à la situation actuelle ou à d'autres scénarios.

Ainsi à la fin de ce processus, il est possible de représenter le passage du système d'un état  $t$  à un état  $t+\Delta t$ . De plus, cette représentation est compréhensible et interprétable par l'ensemble des acteurs.

#### IV. APPLICATION ET DISCUSSION

Nous avons appliqué la méthode à l'Eurométropole de Strasbourg avec un horizon 2050. Une série d'entretiens avec des acteurs locaux de la mobilité urbaine a été réalisée. Ces scénarios ont été intégrés dans le modèle Mobival4all et la figure 4 montre les résultats de l'évaluation pour 2022 par rapport à celle pour 2050 pour l'un des scénarios construits. Pour assurer la lisibilité de la figure, seuls 15 indicateurs sur les 51 sont représentés. L'idée principale de ce scénario était une réduction des émissions de dioxyde de carbone, afin d'atteindre la politique de Strasbourg de zéro carbone d'ici 2050, un meilleur accès aux transports publics avec l'extension du réseau de transports publics, par exemple, l'émergence de véhicules autonomes, et l'utilisation accrue des vélos. Le modèle

montre une baisse de la pollution atmosphérique ("Air pollution") due à la politique zéro carbone et une augmentation des dépenses de la ville ("Government budget for transport", "Investment in transport systems") due à l'extension du réseau.



**FIGURE 4.** Histogramme représentant la mobilité Urbaine à Strasbourg en 2022 et Strasbourg en 2050 avec un scénario prospectif pour 15 indicateurs du modèle Mobival4all

Bien que la méthode soit opérationnelle et présente des résultats intéressants, certaines limites peuvent être discutées. Le modèle Mobival4all n'a été appliqué qu'à des territoires français. La validation des indicateurs par les acteurs n'a été faite que par des acteurs français. En effet, même si les indicateurs et les catégories sont issus de la littérature internationale, le fait que tous les répondants soient français peut biaiser les indicateurs et les catégories sélectionnés. Ainsi, d'autres dimensions de la mobilité pertinentes pour d'autres environnements pourraient être imaginées. Par exemple, lorsque Sudhakara Reddy et Balachandra (2012) ont basé une analyse comparative de la mobilité urbaine sur les principales villes indiennes, ils ont utilisé les deux-roues motorisés comme une catégorie à part entière alors qu'en France, où cette modalité est marginale, aucun participant n'a mentionné cette catégorie. Une autre difficulté est celle de la disponibilité de la donnée. Travailler sur les métropoles françaises est en cela une facilité car les données y sont nombreuses et publiques. Cela est loin d'être le cas dans tous les pays. Par ailleurs, la méthode de simulation des variables peut être affinée. En effet, les variables absentes du scénario sont simulées uniquement si elles ont une relation directe avec au moins une variable présente dans le scénario. Or cela nous prive de potentielles chaînes de relations et d'effets rebond lointains. Une approche proposée pour répondre à cette limite dans le cadre du projet ANR SwiTCh (Erdelyi et al., 2021) est de passer par la modélisation Agent pour construire un modèle de trafic permettant de réaliser les simulations issues des scénarios créés. Cela permettrait de mieux quantifier les interdépendances entre les variables. Toutefois, le modèle Agent est encore en cours de construction, et ce couplage qui semble prometteur n'a pas encore pu être testé.

## V. CONCLUSION

L'approche proposée permet donc de représenter des évolutions dans le système de la mobilité urbaine pour les différentes parties prenantes. Le modèle à base d'indicateurs Mobiva4all, permet de donner une image de la mobilité urbaine sur un territoire donné à un moment donné qui soit compréhensible par l'ensemble des acteurs même les non-experts. De plus, avec la méthode pour traduire un scénario prospectif issu d'un entretien, sous forme d'indicateurs du Modèle Mobiva4all, il est possible d'évaluer et de représenter des changements d'états du système de la mobilité tout en gardant l'objectif d'utilisabilité souhaitée.

Plusieurs perspectives peuvent être dressées telles que l'intégration de nouvelles bases de données pour rendre le modèle capable de prendre en compte de nouveaux territoires ou le recours à d'autres méthodes de prospectives (par exemple des ateliers ou des focus group). Une des perspectives est également de coupler la méthode avec un outil de simulation de trafic multi-agents pour pouvoir affiner les résultats de prospectives. Ce dernier point devrait être abordé dans le cadre du projet ANR SwITCh.

## REFERENCES

- Booth, C., Richardson, T., 2001. Placing the public in integrated transport planning. *Transp. Policy* 8, 141–149. [https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(01\)00004-X](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(01)00004-X)
- Braat, L., 1991. The predictive meaning of sustainability indicators, in: Kuik, O., Verbruggen, H. (Eds.), *In Search of Indicators of Sustainable Development, Environment & Management*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 57–70. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-3246-6\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-011-3246-6_6)
- Erdelyi, J.-F., Adam, C., Gaudou, B., Taillandier, F., Verstaavel, N., 2021. Simulating the transition of mobility toward smart and sustainable cities.
- Gudmundsson, H., Hall, R.P., Marsden, G., Zietsman, J., 2016. Indicators, in: Gudmundsson, H., Hall, R.P., Marsden, G., Zietsman, J. (Eds.), *Sustainable Transportation: Indicators, Frameworks, and Performance Management*, Springer Texts in Business and Economics. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 137–169. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-46924-8\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-662-46924-8_6)
- Gueroui, F., 2016. La conception et l'usage de la méthode des scénarios. *Manag. Avenir* N° 87, 15–34.
- Hare, M., 2011. Forms of Participatory Modelling and its Potential for Widespread Adoption in the Water Sector. *Environ. Policy Gov.* 21, 386–402. <https://doi.org/10.1002/eet.590>
- Illahi, U., Mir, M.S., 2020. Development of indices for sustainability of transportation systems: A review of state-of-the-art. *Ecol. Indic.* 118, 106760. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106760>
- Lashermes, C., Baudrit, C., Curt, C., Fernandez, C., Taillandier, F., 2022. An Indicator-Based Model to Assess Urban Mobility for All Stakeholders: Mobiva4all. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4239366>
- Levarlet, F., 1999. Les indicateurs de développement durable. Méthodes et perspectives, Études et travaux - IFEN. Institut français de l'environnement, Orléans.
- Milakis, D., Snelder, M., Arem, B. van, Wee, B. van, Correia, G.H. de A., 2017. Development and transport implications of automated vehicles in the Netherlands: scenarios for 2030 and 2050. *Eur. J. Transp. Infrastruct. Res.* 17. <https://doi.org/10.18757/ejtir.2017.17.1.3180>
- Shergold, I., Lyons, G., Hubers, C., 2015. Future mobility in an ageing society – Where are we heading? *J. Transp. Health* 2, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2014.10.005>
- Sudhakara Reddy, B., Balachandra, P., 2012. Urban mobility: A comparative analysis of megacities of India. *Transp. Policy* 21, 152–164. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.02.002>
- Tabarly, 2019. Prospective et scénarios : des méthodes pour simuler et préparer l'avenir — Géoconfluences [WWW Document]. URL <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/doc/transv/DevDur/DevdurFaire4.htm> (accessed 5.3.21).
- Verry, D., Nicolas, J.-P., 2005. Indicateurs de mobilité durable : de l'état de l'art à la définition des indicateurs dans le projet Simbad. Rapport intermédiaire n°2.