

## **Résumé de la thèse**

Cette thèse développe une méthodologie de conception collaborative d'un système d'aide à la décision dans le contexte de la logistique urbaine. Cette méthodologie a pour objectif d'accompagner les diverses parties prenantes impliquées vers une décision qui arbitrerait leurs intérêts divers et parfois contradictoires. Pour cela, nous construisons avec eux un modèle du problème sur lequel une décision doit être prise. Cette conception collaborative permet de nous assurer que leur compréhension du problème est enrichie puisque ce modèle n'est pas une boîte noire, mais aussi que le modèle est cohérent avec leurs connaissances du problème, et enfin que les visions divergentes du problème émergent au fur et à mesure de la modélisation, suscitant un dialogue constructif. La fin de la conception du modèle coïncide avec la prise de décision, puisqu'à ce moment, l'ensemble des parties sera tombé d'accord sur les liens de cause à effet mis en évidence par le modèle.

Dans la première partie de ce document, nous motivons la nécessité de considérer la logistique urbaine comme un système à l'intersection de différentes expertises et abordons la question de la modélisation inhérente à la conception d'un système d'aide à la décision et l'influence de l'exercice de modélisation sur la prise de décision. Dans la seconde partie, nous présenterons la méthodologie du modèle ouvert comme une solution pour concevoir et valider un système d'aide à la décision. Dans la troisième partie, nous présentons les principaux résultats et les perspectives pour ces travaux.

## **1 Définition de la problématique**

### **1.1 La logistique urbaine, un système de systèmes**

Le champ de la logistique urbaine porte sur l'étude du transport de marchandises en ville. La logistique urbaine est un générateur important de flux dans la ville, c'est de fait un système à la fois essentiel pour la vie sociale et économique de la ville (Allen et al., 2000), mais aussi une source d'externalités importantes comme la congestion ou la pollution. Le défi de l'arbitrage a déjà été clairement établi (Allen et al., 2007; Dablanc, 2007), et celui-ci reste un problème ouvert. En général, les avantages et inconvénients de configurations particulières du système logistique sont listés et évalués. Une telle liste suppose d'être en mesure de nous entendre sur ce qui est un avantage et ce qui est un inconvénient. Cela représente un défi étroitement lié à la diversité de parties prenantes qui au travers de différentes perspectives observent le même objet et agissent sur ce dernier dans un esprit de coopération, de compétition ou de méconnaissance. En particulier, la logistique urbaine est intimement liée aux autres systèmes logistiques, et leurs acteurs, mais aussi à la ville et ses acteurs.

Tout d'abord, intéressons-nous à la relation de la logistique urbaine avec le système de transport. La logistique urbaine se distingue de la logistique « classique » interrégionale ou internationale. Le transport de marchandises en ville est soumis à des contraintes spécifiques (infrastructure de transport saturée, dispersion de la demande empêchant la massification des flux, particularités réglementaires ou géographiques) qui rendent inopérables les schémas logistiques utilisés sur de plus grandes échelles. Dès lors, si des schémas logistiques cohabitent à différentes échelles, il devient important de comprendre leurs interfaces pour coordonner des flux à l'échelle globale et à l'échelle locale.

Ensuite, la logistique urbaine se distingue de la mobilité des personnes. Ces flux représentent les personnes qui se déplacent pour différentes activités (p. ex. emmener les enfants à l'école, les loisirs, le trajet domicile travail, etc.). Mais il est apparu vite que cette frontière est floue et poreuse. Par exemple, à quel domaine appartiendraient les flux générés par les services (p. ex. un réparateur d'ascenseur ou un plombier) ? Ou une personne recevant un colis personnel sur son lieu de travail ? Dans la pratique, ces flux sont généralement intégrés à la logistique urbaine lorsqu'ils peuvent être estimés tandis que d'autres sont invisibilisés.

Cette courte tentative de définition illustre la difficulté de séparer la logistique urbaine d'autres domaines. Elle illustre aussi la complexité de la représentation de cette logistique dans un unique système qui prendrait en compte l'ensemble des flux physiques (marchandises et personnes) de la planète. C'est pourquoi en général le système est décomposé en plusieurs parties posant ainsi la question de la définition des frontières des représentations. Par exemple, la logistique urbaine est souvent le point d'arrivée de la logistique classique : quand est-ce que la logistique devient urbaine ? Ou encore, quand est-ce que la mobilité des personnes deviendrait logistique urbaine et vice versa ? En effet, la logistique urbaine utilise la même infrastructure que la mobilité des personnes (p. ex. un plombier utilisant le métro ou le vélo), et elle peut modifier la mobilité des personnes (p. ex. avec la livraison de courses à domicile).

Maintenant que nous avons vu la nécessité, et le défi associé, de penser la logistique urbaine dans le système de transport, intéressons-nous à sa relation avec la ville. Le champ de la logistique urbaine porte sur ce lieu de vie qui rassemble une part de plus en plus importante de la population mondiale. En 2019, plus d'une personne sur deux vivait dans une ville (Banque Mondiale). Nous abordons la ville comme un objet social, façonné par des choix individuels et des choix collectifs issus de nos modes de vie et de nos institutions. Des choix « de société » dont les conséquences sur la logistique urbaine sont généralement ignorées et subies (Anderson et al., 2005; Dablanc, 2007; Debie & Heitz, 2017) par une méconnaissance de la complexité des opérations (« l'intendance suivra ») ou une absence d'intérêts directs à résoudre des problèmes (« les colis ne votent pas »). Ce domaine est bien moins structuré ou identifié que d'autres domaines tout aussi complexes comme la mobilité des personnes, l'aménagement urbain, ou encore le développement économique local. De

fait, le concept de logistique urbaine doit d'une part s'imposer comme un domaine important à prendre en compte, et d'autre part s'articuler avec ces autres domaines de la ville. La compétition dans le monde physique pour le partage de l'espace urbain entre les différentes fonctions de la ville est sans doute le reflet de la compétition dans le monde des idées quant à la difficulté des arbitrages entre ces dernières.

Nous soutenons ainsi qu'il faut penser la logistique urbaine à l'intersection d'autres systèmes, celui du transport mondialisé et/ou celui de la ville. Cette pensée est une voie pour répondre globalement aux défis environnementaux et sociaux. Une réponse globale pour éviter l'optimisation d'un problème local qui aurait des effets négligeables ou délétères à l'échelle du système. Une réponse globale pour éviter une mesure mort-née face à l'opposition d'autres systèmes jugés externes : l'opposition à l'écotaxe au travers du mouvement des bonnets rouges était davantage liée à des militants provenant du domaine de l'agroalimentaire que du domaine du transport.

Illustrons maintenant la nécessité d'une pensée globale du système en exposant le défi environnemental posé par le dérèglement climatique au travers de la difficulté de son arbitrage. Doit-on favoriser une croissance économique en laissant circuler des véhicules polluants mais bon marché ? Ou bien doit-on accepter de limiter ou stopper la croissance économique par des mesures sociales ou environnementales ambitieuses ? Il apparaît évident que la réponse n'appartient pas exclusivement à un domaine qu'il soit économique, social ou environnemental. La ville a besoin pour ses habitants d'une activité économique, d'une qualité de vie satisfaisante et d'un environnement sain. Ainsi, une partie prenante n'appartient jamais à un seul de ces domaines, et cela a pour conséquence l'émergence de contradictions internes à une organisation. L'arbitrage de la décision ne se limiterait pas à une compétition ou une coopération entre les parties prenantes, mais appellerait aussi les parties prenantes à définir leurs priorités internes.

## **1.2 La gouvernance de la décision... et de la modélisation**

Dans le cadre de cette thèse, nous considérons l'utilisation d'un outil d'aide à la décision, c'est-à-dire un modèle mathématique, pour accompagner la prise de décision. La modélisation mathématique permet d'associer la solution optimale d'un problème (maximisant les gains ou minimisant les pertes) pour sélectionner la « meilleure décision ». Dans un premier temps, nous montrons que compte tenu de la complexité du problème, il est probable que le modèle propose plusieurs solutions « optimales » équivalentes aux yeux du modèle, alors que les diverses parties prenantes verront chacune un intérêt à choisir une solution plutôt qu'une autre sans jamais atteindre un consensus décisionnel. Dans un second temps, nous montrons que même si une unique solution optimale était trouvée, il n'y a pas de garantie que la décision associée soit applicable ou qu'elle ait les effets escomptés dans la réalité.

Imaginons ainsi un modèle qui saurait rendre compte des objectifs, des contraintes et des valeurs de toutes les parties prenantes. Face à un problème, le modèle estime les conséquences de deux décisions. Il est estimé que la décision A produira une augmentation de 14% des émissions locales et une augmentation de 10% du salaire moyen en ville. Tandis que la décision B produira une diminution de 13% des émissions locales et une diminution de 15% du salaire moyen en ville. Si l'ensemble des parties prenantes s'accordent sur les conséquences estimées par le modèle, s'accorderont-elles unanimement sur le choix de la décision à prendre ? Et dans le cas très théorique où une organisation serait seule face à ce problème, est-ce que cette organisation (p. ex. une ville) arrivera à prendre cette décision ? Cette expérience de pensée montre qu'une représentation univoque d'un problème ne mènera pas logiquement à sa résolution : la prise de décision ne peut se limiter à un exercice de représentation.

De plus, cet exercice de représentation est difficile d'un point de vue du nombre de calculs qu'un ordinateur peut réaliser (aussi puissant soit-il) pour simuler le système avec haut de degré de précision. Cela a pour conséquence de devoir se contenter d'une solution approchée (non optimale) et/ou bien limiter l'étude à un échantillon réduit du problème pour s'approcher au plus près d'une solution optimale.

Et quand bien même nous aurions une solution optimale (ou suffisamment bonne) pour choisir la meilleure une décision, comment pouvons-nous être sûr de la fidélité du modèle par rapport à la réalité ? En effet, les parties prenantes peuvent s'accorder sur la qualité de la représentation du lien entre les entrées et les sorties d'un modèle en se basant sur leur expérience. Mais est-ce un gage suffisant compte tenu de leurs biais et le fait que le modèle soit une boîte noire pour ces derniers ?

Une approche serait d'ouvrir cette boîte noire en vue de valider le modèle, mais cela suppose qu'une expertise supplémentaire rentre en jeu. En effet, c'est le modélisateur qui a conçu le modèle qui est en réalité le plus à même de valider son modèle (en supposant que celui-ci ne soit pas intrinsèquement une boîte noire). L'utilisation d'un système d'aide à la décision suppose donc la mobilisation de plusieurs expertises toutes nécessaires à assurer la confiance qu'il est possible d'y investir. Ainsi la question n'est pas seulement celle de la légitimité des parties prenantes détenant la connaissance du domaine à valider un tel modèle, mais aussi celle de la légitimité du modélisateur détenteur de la connaissance de l'activité de modélisation. Il ne s'agit donc pas seulement de croiser les expertises du domaine, mais il faut croiser ces dernières avec celle de la modélisation pour s'assurer de la validité du modèle. L'idéal serait de trouver les experts réunissant toutes ces compétences, mais de telles personnes existent-elles réellement, et est-il même souhaitables qu'une personne ou un groupe restreint prenne la décision ? Cette question nous semble importante dans un contexte démocratique dans lequel s'inscrivent nos villes qui porteront des choix structurants pour nos vies.

C'est ce questionnement qui nous a menés à proposer la méthodologie du modèle ouvert visant à croiser les expertises pour répondre à la question de recherche **comment s'assurer qu'une décision stratégique recommandée par un système d'aide à la décision aura les effets escomptés ?**

## **2 Méthodologie du Modèle Ouvert**

### **2.1 Modélisation participative**

À présent que nous avons motivé l'intérêt d'inclure une diversité de parties prenantes dans le processus de modélisation pour un système d'aide à la décision, nous décrivons une approche permettant de le faire en pratique : la « méthodologie du modèle ouvert » inspirée du concept de modélisation participative.

L'objectif de la mise en place d'une démarche de modélisation participative est triple (Mendoza & Prabhu, 2005) :

- Premièrement, les parties prenantes partagent leurs connaissances métiers, confrontent leur vision et leur expérience d'une problématique.
- Deuxièmement, l'intégration des parties prenantes dans le processus de décision peut amener à un sentiment d'engagement plus grand pour une meilleure acceptation de la décision.
- Troisièmement, la crédibilité du modèle est renforcée par la diversité des parties prenantes en particulier pour les personnes impactées (mais non décisionnaire) par la décision.

Notre proposition de méthodologie repose sur le principe selon lequel la compréhension d'un modèle est nécessaire à sa validation. Dans notre cas nous considérons que la validation d'un modèle correspond à son acceptation par l'ensemble des parties prenantes d'un problème. Or, qui de mieux placé pour comprendre le modèle que son ou ses concepteurs ? L'objectif de notre méthodologie est de positionner ces parties prenantes comme concepteurs du modèle, et non plus seulement comme partenaires de sa conception ou de sa validation. Elle prolonge par là le concept de modélisation participative : les parties prenantes ne donnent pas seulement leur avis sur un modèle mais elles doivent proposer des solutions pour modéliser leurs connaissances.

### **2.2 Arbitrer entre la simplicité d'utilisation et la complexité de la représentation**

La motivation principale de la méthodologie est de pouvoir rendre effective la modélisation participative. Il s'agit de donner les moyens aux participants de pouvoir s'intégrer à la conception d'un modèle au travers de la modélisation et de la discussion avec

les autres participants. En effet, la modélisation participative est un exercice exigeant à cet égard. D'une part, les participants doivent se familiariser avec les concepts souvent nouveaux associés à la modélisation. Et d'autre part, les participants doivent se familiariser avec le domaine d'expertise des autres participants et interfacer l'ensemble de ces connaissances. La modélisation deviendrait un langage nouveau pour échanger et dépasser la diversité de jargons, d'attentes, de valeurs des différentes parties prenantes. Nous pensons que le coût d'acquisition de ce langage est compensé par le potentiel pour interfacer des expertises dans le but de penser le problème globalement. La méthodologie met en œuvre deux stratégies pour permettre de faciliter l'exercice de modélisation et la maîtrise d'un modèle : 1) l'interaction avec le modèle et 2) l'interaction avec les autres utilisateurs.

La première stratégie est de fournir un outil intuitif pour apprendre le fonctionnement d'un modèle simple. Nous proposons une interface graphique où les paramètres sont modifiables aisément. Le participant est en mesure de tester différents scénarios. Par exemple, en faisant varier la vitesse moyenne de véhicules, le participant peut estimer l'effet de la congestion sur les tournées. Ainsi le participant peut explorer lui-même le modèle pour comparer les résultats à son expérience, ceci afin de le placer dans une position où l'exploitation et la critique du modèle sont attendues.

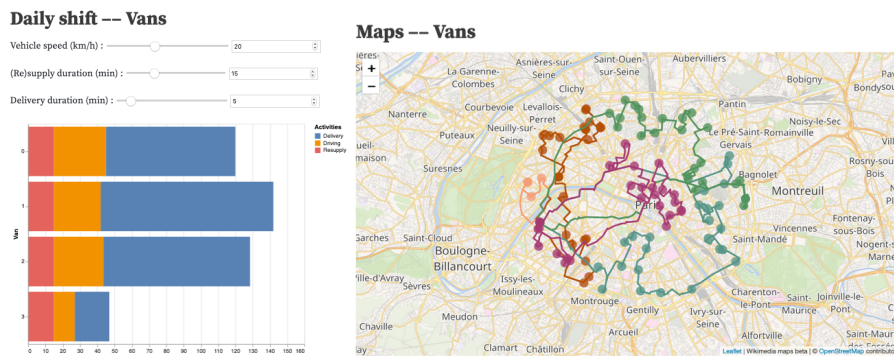


Figure 1 — Simulation interactive utilisant D3.js et Leaflet avec le service Observable

Le participant est aussi dans une position d'échange avec les autres participants, et cela constitue la deuxième stratégie. La compréhension d'un modèle initial permet aux participants d'avoir une base commune pour échanger sur leurs objectifs et leurs contraintes qui ne sont pas généralement pas connus des autres participants.

La méthodologie repose sur la combinaison de ces stratégies et se fait au travers d'une démarche itérative en commençant par une modélisation simple (accessible à tous les participants) qui graduellement avance vers une modélisation complexe (offrant une meilleure précision ou confiance dans les estimations) au fur et à mesure des échanges. Le modèle est complexifié au rythme de la maîtrise que les parties prenantes en ont sous condition que cette complexification apporte une amélioration dans l'estimation des

conséquences des décisions, et que la compréhensibilité du modèle reste satisfaisante pour les participants. Finalement la méthodologie aide à choisir le niveau de complexité d'un modèle par rapport à un problème et un groupe de participants donnés.

### 2.3 Description de la méthodologie du modèle ouvert

Notre méthodologie est constituée de cinq étapes (cf. Figure 2). L'objectif de cette méthodologie est de placer des utilisateurs dans la position de concepteurs d'un modèle pour un Système d'Aide à la décision.

Dans un atelier, nous désignons un animateur et des participants (experts ayant une connaissance opérationnelle, néophytes, personnes extérieures, etc.).

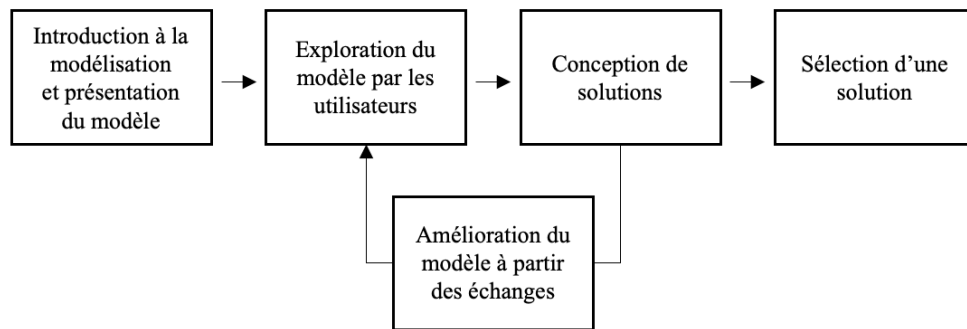


Figure 2 — Diagramme logique de la méthodologie du modèle ouvert

Dans la **première étape**, un problème de logistique urbaine est identifié par l'animateur ou par la communauté. Le problème doit être décrit de façon suffisamment précise pour circonscrire le périmètre du problème.

L'animateur développe un modèle pour représenter le problème sous la forme d'une simulation interactive. Ce premier modèle peut être vu comme une ébauche servant de base de discussion avec les participants.

Dans la **deuxième étape**, l'animateur présente les concepts de modèle ouvert et de simulation interactive pour permettre aux participants de s'approprier le modèle.

Les expérimentations ont montré de fortes disparités entre les utilisateurs dans la maîtrise du concept de modélisation. L'animateur doit proposer les bases de la modélisation pour permettre aux utilisateurs de comprendre ce modèle et comment l'améliorer. Cet apprentissage peut se prolonger avec le modèle qui permettra d'illustrer les bases théoriques.

Dans la **troisième étape**, le modèle est exploré par les participants grâce à la simulation interactive. Il repose sur l'interactivité et la visualisation claire des paramètres du modèle et des résultats de la simulation. En lançant différents scénarios de simulation, les participants se familiarisent avec le modèle et la problématique, et testent la validité du modèle.

Le but est de placer l'utilisateur dans une démarche de conception d'un modèle. Il est probable que le modèle nécessitera des améliorations pour créer et tester de nouveaux scénarios. L'animateur accompagne les utilisateurs dans l'identification et l'estimation des données nécessaires pour imaginer les paramètres, les variables de décision, les indicateurs de performance, et leur modélisation pour aboutir au choix d'une solution.

La **quatrième** étape est une boucle de rétroaction alimentée par les discussions et les commentaires des utilisateurs. Dans le cas d'un modèle trop éloigné de la réalité, l'animateur peut utiliser les propositions de la discussion pour proposer un nouveau modèle. La satisfaction se juge sur l'expérience métier des utilisateurs et leur confiance dans la capacité du modèle à représenter la situation réelle.

La **cinquième** étape consiste en la discussion de la sélection d'une solution.

L'objectif est de rassembler les compétences de différentes parties prenantes et de les synthétiser dans un modèle cohérent. Par conséquent, les discussions entre les participants sont essentielles. Pour cette raison, un animateur doit modérer la discussion et guider les participants à travers les différentes étapes. Il crée un scénario illustrant la problématique à traiter pour impliquer les participants avec l'outil et pour initier des interactions. À la manière d'un exercice de brainstorming, il doit garantir à chacun la possibilité de s'exprimer. L'animateur doit également clarifier les propositions, organiser des discussions sur les propositions et gérer le temps.

Dans cette méthodologie, nous distinguons deux consensus : sur le modèle et sur la décision. Dans le cadre de cette thèse, nous avons choisi de nous concentrer sur le consensus autour du modèle. Nous souhaitons que les parties prenantes s'accordent sur les effets de plusieurs décisions potentielles. Après cette condition nécessaire remplie, la discussion peut porter sur la sélection d'une décision. Cette étape n'est pas explicitement traitée par la méthodologie, mais l'outil peut servir de support à la discussion ou au déploiement de méthode d'aide à la décision comme l'analyse multi-critères (Macharis et al., 2010). Par ailleurs, elle permet aux parties prenantes de prendre conscience des tensions que leur décision peut générer avec d'autres parties prenantes.



### 3 Principaux résultats et perspectives

La méthodologie a été déployée au cours de plusieurs ateliers réunissant un public néophyte ou expert. Ces expérimentations ont permis de valider certaines hypothèses comme le bénéfice de l'interactivité pour l'appréhension d'un nouveau modèle et le bénéfice d'avoir un support interactif pour les échanges entre les participants. Ces expérimentations ont aussi permis d'identifier des pistes d'amélioration pour la méthodologie. En effet, l'analyse des résultats des expérimentations a permis de faire émerger la tension entre la délégation de l'analyse par une équipe opérationnelle et la décision par le décideur de l'organisation.

Les ateliers ont aussi montré la capacité de la méthodologie à générer des moments d'échanges et l'importance du dialogue. Nous avons noté le sentiment d'incompréhension entre les professionnels du transport (et professionnels associés) et les autorités locales sur des réglementations municipales. Une incompréhension qui ne s'exprimait pas sur une opposition d'objectifs (p. ex. impératif économique d'une entreprise vs. impératif socio-environnemental d'une ville) mais sur des considérations opérationnelles. Par exemple, un transporteur déclarait ne pas pouvoir adopter un schéma vertueux à cause d'une disposition réglementaire en contradiction avec les pratiques logistiques qu'ils percevaient pourtant comme bénéfiques aussi bien à la ville qu'aux professionnels. La méthodologie du modèle ouvert a reçu un accueil favorable de la part de parties prenantes de la logistique urbaine. Nous espérons pouvoir lancer son déploiement prochainement pour animer des échanges entre des collectivités et des professionnels du transport sur une problématique d'aménagement du territoire.

La méthodologie du modèle ouvert pourrait aussi s'adapter plus largement aux systèmes d'aide à la décision dans tous les domaines nécessitant une intersection de différentes expertises. Elle pourrait notamment être utilisée pour la conception d'outils de gestion existants dans les entreprises comme les cartes stratégiques (Kaplan & Norton, 1996). Nous pensons que cette méthodologie permet de réconcilier la science des données et les sciences de gestion de manière à ce que dans des environnements complexes, la décision puisse être assistée par des simulations. De plus, en supposant une certaine disponibilité de la donnée, et la volonté de la mise en place d'un pilotage data-driven (donc plus automatisé), la méthodologie pourrait servir comme une première base de validation de modèles plus complexes d'apprentissage automatique (*machine learning*).

## Mots-clefs

Aide à la décision, simulation interactive, intelligence artificielle, logistique urbaine

## Références

- Ackoff, R. L. (1983). An Interactive View of Rationality. *Journal of the Operational Research Society*, 34(8), 719-722. <https://doi.org/10.1057/jors.1983.165>
- Allen, J., Anderson, S., Browne, M., & Jones, P. (2000). A framework for considering policies to encourage sustainable urban freight traffic and goods/service flows : Summary report. *Time, March*, 1-35.
- Allen, J., Thorne, G., & Browne, M. (2007). *Good practice guide on urban freight transport* (p. 84). N.A. [www.bestufs.net](http://www.bestufs.net)
- Anderson, S., Allen, J., & Browne, M. (2005). Urban logistics—how can it meet policy makers' sustainability objectives? *Journal of Transport Geography*, 13(1), 71-81. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2004.11.002>
- Dablanç, L. (2007). Goods transport in large European cities : Difficult to organize, difficult to modernize. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(3), 280-285. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2006.05.005>
- Debie, J., & Heitz, A. (2017). La question logistique dans l'aménagement de l'Île-de-France : Formulation d'un enjeu métropolitain versus absence de concrétisation dans les projets urbains ? *Géographie, économie, société*, 19(1), 55-73. <https://doi.org/10.3166/ges.19.2017.0003>
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). *The Balanced Scorecard : Translating Strategy into Action*. <https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=8831>
- Macharis, C., De Witte, A., & Turcksin, L. (2010). The Multi-Actor Multi-Criteria Analysis (MAMCA) application in the Flemish long-term decision making process on

mobility and logistics. *Transport Policy*, 17(5), 303-311.

<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.02.004>

Mendoza, G. A., & Prabhu, R. (2005). Combining participatory modeling and multi-criteria analysis for community-based forest management. *Forest Ecology and Management*, 207(1-2), 145-156. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.10.024>