

Introduction

Florent LE NÉCHET

LVMT, Université Gustave Eiffel, Champs-sur-Marne, France

I.1. Une coévolution à plusieurs échelles entre réseaux, flux et territoires

Comment évoluent transport, territoires et mobilité sur le temps long ? Dray *et al.* (2022) se projettent en 2050 avec une demande de transport aérien possiblement multipliée par deux ou trois (et une baisse drastique des émissions de CO₂ du fait de progrès technologiques) lorsque Barles *et al.* (2023) étudient en 2050 le métabolisme d'un Bassin parisien dont la population aura diminué d'un quart et la consommation d'énergie finale par habitant aura été divisée par cinq !

Comment concilier des visions de l'avenir aussi dissemblables ? Certes, ce ne sont pas des prédictions, mais des scénarios, dépendant d'hypothèses parfois fortes en matière de changement technologique et de changements sociaux et politiques. Certes, ces deux visions du futur ne sont pas formellement incompatibles. Toutefois, cette dissonance interroge.

Le champ de la modélisation territoriale est bousculé par les changements de modes de vie (organisation du travail, organisation du temps) et les enjeux écologiques (nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre, pollution de l'air, adaptation des territoires aux multiples changements de l'environnement en cours). En particulier, les interactions spatiales, les mobilités et les réseaux jouent un rôle structurant dans certaines approches de modélisation, renouvelant progressivement les cadres d'analyse, à différentes échelles d'espace et de temps.

Quelques oppositions classiques structurent les champs scientifiques à l'intersection de la géographie économique, de la géographie des transports et de la socioéconomie de la mobilité : 1) spécialisation *versus* autonomie : les trajectoires de territoires spécialisés économiquement, en lien avec des territoires distants, seraient de nature différente de celles de territoires plus autonomes ; 2) accessibilité *versus* enclavement : les territoires bien desservis par des infrastructures de transport rapides connaîtraient des dynamiques plus fortes que les territoires enclavés ; 3) mobilité *versus* ancrage : à l'échelle individuelle, les modes de vie évolueraient vers une mobilité accrue, à la fois au sens de plus grandes distances parcourues, plus fréquemment, mais aussi d'ancrages résidentiels plus divers, moins stables dans le temps, et enfin d'un besoin accru de s'adapter à diverses « injonctions à la mobilité » (Fol et Gallez 2017 ; Gallez 2024). De ces oppositions découlent des politiques publiques s'appuyant sur des référentiels où l'accessibilité, la mobilité et la mise en système occupent une place prépondérante (Gallez 2024). Dans ce cadre, les infrastructures de transport jouent un rôle prépondérant, à la fois comme supports de ces mobilités en croissance, mais aussi comme vecteurs de changement, dans l'objectif par exemple de favoriser le report modal ou des développements urbains orientés vers les transports collectifs.

De nombreux travaux ont abordé la question générale des interactions entre les transports et les territoires (Bavoux *et al.* 2005 ; Brocard 2009 ; Baron et Messulam 2017 ; Desjardins 2022 ; Libourel *et al.* 2022). En particulier, la question classique des effets dits « structurants » du transport a fait l'objet d'un numéro spécial dans la revue *L'Espace géographique* en 2014 (Bretagnolle 2014), qui aborde de façon très complète ces questions méthodologiques et épistémologiques : non-automaticité des impacts territoriaux d'une infrastructure, réflexion préalable nécessaire sur l'échelle spatiale et temporelle pour étudier les trajectoires, rôle de l'action publique, notamment en articulant transport et aménagement (Laterrasse 2019). Toutefois la question des liens complexes entre interactions spatiales, réseaux de transport et territoires est moins souvent abordée, surtout dans une perspective de temps long (Bonnafous 1996 ; Gravier 2020) (voir chapitre 10).

L'objectif de l'ouvrage est de rendre compte de questionnements récents en matière de modélisation de cette interaction systémique au croisement de plusieurs disciplines scientifiques. Il s'agit de montrer comment la géographie s'approprie le rôle des réseaux (de transport, de villes, notamment) dans une perspective descriptive, explicative, voire d'aide à la décision concernant les formes spatiales des flux d'une part (hiérarchisation, concentration) et les trajectoires territoriales d'autre part (taille, spécialisation, autonomie). Comment également la présence de flux reconfigure à la fois les réseaux de transport (orientant le choix d'infrastructures à construire ou à supprimer) et les dynamiques territoriales futures. Ce champ d'études est un terrain d'exploration très riche pour les sciences de la complexité (Batty et Milton 2021). Les interactions spatiales sont ici appréhendées à différentes échelles de temps et d'espace, en s'inscrivant

largement dans le cadre de la théorie évolutive des villes proposée par Pumain (1997) : des territoires en interaction, qui échangent des biens, des informations, des flux quotidiens de navetteurs, des migrations résidentielles, notamment.

Nous souhaitons montrer dans cet ouvrage comment, dans la littérature scientifique, les catégorisations spatiales et les modèles de dynamique spatiale ont évolué et se sont enrichis, en intégrant notamment les réseaux de transport et les interactions spatiales. De façon générale, c'est la question de l'intégration des connaissances récentes en sciences sociales sur la mobilité aux cadres d'analyse et de modélisation sur les dynamiques territoriales qui est ainsi posée (voir chapitre 10), ainsi que les nécessaires réflexions sur l'usage des modèles qui peut être fait au sein des processus de décision publique (voir chapitre 11). De fait, les données disponibles, en très grand nombre désormais et avec une très grande précision spatiale et temporelle, ne peuvent encore aider pleinement les acteurs à des prises de décisions éminemment complexes, faute d'ontologies dédiées et de profondeur historique (voir chapitres 8 et 9). C'est notamment le cas lorsque l'on pense à la transition écologique, certains dilemmes d'action publique ayant une portée spatiale manifeste : à titre d'exemple, s'il est décidé politiquement d'infléchir ou d'arrêter la dynamique d'artificialisation des sols, où l'arrêter d'abord et pourquoi ? Que faire du patrimoine d'autoroutes et de routes rapides construites dans le cours du XX^e siècle ? Dans quels espaces favoriser en priorité la réhabilitation thermique des bâtiments anciens ? De fait, une période stimulante de réflexion s'ouvre aux chercheurs : de quels modèles a-t-on besoin, et pour quoi faire, s'interroge Guivarch (2024), à propos des modèles qui « représentent les interactions entre les systèmes socio-économiques, techniques et climatiques » ?

« Et si, précisément, il s'agissait de transformer les modèles ? À la fois les modèles numériques que l'on développe, les hypothèses qu'ils embarquent pour construire des scénarios et leurs rôles pour interroger nos modèles de société et de développement. Il faudra pour cela s'atteler à rouvrir l'espace des possibles, alimenter les délibérations sur les futurs possibles et souhaitables plutôt que de les restreindre, et questionner les dimensions épistémiques, politiques et éthiques des modèles et des scénarios. » (Guivarch 2024, p. 17)

Regroupant onze chapitres traitant, par une démarche de modélisation ou par une démarche empirique, des échelles de temps et d'espace impliquées dans la compréhension de la coévolution réseaux/territoires/mobilité, l'ouvrage suggère les opportunités et le besoin de mieux collaborer entre disciplines (géographie, aménagement, transport, sociologie, économie, sciences de l'ingénieur, informatique, sciences physiques, archéologie parmi les disciplines évoquées dans cet ouvrage). Nous interrogerons dans cet ouvrage les évolutions récentes dans les modèles d'interaction spatiale macroscopique (modèles de coévolution réseau/territoire, modèles de dynamique de réseau de villes, techniques de simulation et de calibration pour les modèles gravitaires et les modèles

LUTI). Depuis l’ouvrage très complet d’Antoni *et al.* (2011) sur les différents modèles de simulation de dynamique urbaine issus de la communauté de recherche francophone (modèles LUTI, modèles multi-agents, automates cellulaires), plusieurs éléments de contexte ont changé, justifiant de porter un nouveau regard sur les cadres d’analyse et sur les modèles de coévolution entre réseaux et territoires. La prégnance des enjeux climatiques n’a fait que se renforcer, interrogeant les hypothèses implicites de croissance démographique et d’infrastructures qui sous-tendent la plupart des modèles (voir chapitre 10) ; les modes de vie des individus, l’organisation du travail ont continué à se complexifier et les frontières spatiales entre villes ont continué à se brouiller (voir chapitre 4) ; les données disponibles pour modéliser les villes, les transports et les mobilités se sont énormément développées depuis quelques années, mais pas forcément dans une direction qui permet des progrès significatifs au vu des enjeux de temps longs et de transition systémique évoqués. En ce sens, l’ouvrage se propose de montrer les besoins d’adaptation d’outils existants, que ce soit en matière d’ontologie de modèle, de données et de techniques de calibration, de dispositifs d’usage des modèles.

I.2. Une recherche fragmentée

Les cadres de modélisation quantitative des interactions spatiales datant de la fin du XIX^e siècle et du début du XX^e siècle, en géographie puis en quelque sorte par hybridation avec les sciences de l’ingénieur, les sciences économiques et d’autres disciplines scientifiques, conservent aujourd’hui une place importante dans le champ de la recherche et dans le monde opérationnel. Les premiers modèles d’interaction spatiale reposent sur des distances à vol d’oiseau et se placent à une échelle agrégée (Ullman 1954 ; Haggett 1965). Ils ont aujourd’hui été considérablement précisés et sophistiqués (prise en compte des distances réseaux, des coûts économiques), mais n’ont pas véritablement été transformés et restent utilisés dans une forme très proche. Ainsi, le modèle gravitaire, qui est la pierre angulaire de ces modèles depuis les années 1960, reste un enjeu actuel de connaissance, comme l’atteste le chapitre 1. Le cadre d’analyse de la *time geography* (Hägerstrand 1970) vient compléter ces travaux, ce qui s’est concrétisé dans le champ opérationnel par des outils comme le « Mobiliscope » (Lecomte *et al.* 2018) et les modèles à base d’activité (Zargayouna 2021). Des variations ou raffinements du modèle gravitaire ont été proposés et discutés comme le modèle de radiation (Simini *et al.* 2012 ; Commenges 2016) ou un modèle de fréquence de déplacement (Schläpfer *et al.* 2021) sans que la « première loi » de Tobler (1970) soit à ce stade remise en cause : « Toutes les entités spatiales sont reliées entre elles, mais les entités proches les unes des autres sont davantage en lien que les entités éloignées les unes des autres. »¹

1. « Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things. »

Ainsi, les approches par la théorie des graphes concernant les réseaux de transport, les approches économétriques à partir d'enquêtes de mobilité dédiées et plus récemment les approches par modèles de simulation à base d'agents, les approches par automates cellulaires à partir d'images satellites constituent les cadres d'analyse principaux de compréhension de la géographie des flux, des réseaux et des dynamiques territoriales (voir chapitres 1 et 2). À titre d'exemple, les approches multi-agents présentent l'avantage de pouvoir intégrer des stratégies d'acteurs. Les travaux formalisant des interactions spatiales entre entités au sein de réseaux de villes (la famille des modèles Simpop, notamment) (Sanders *et al.* 1997) (voir chapitre 2) se déroulent ainsi dans le cadre de modélisation dynamique sur plusieurs décennies.

Ce cadre d'analyse est régulièrement remis en cause, à la fois par les avancées conceptuelles dans le champ des sciences sociales (le modèle gravitaire seul ne permet pas d'expliquer toute la complexité des comportements de mobilité ; voir (Drevon et Kaufmann 2022)) et par les avancées techniques (avec des données très fines dans l'espace et dans le temps, ce cadre statistique très simple peut sembler perdre de son intérêt). De fait, les outils opérationnels disponibles, notamment les modèles à quatre étapes de demande de transport (Commenges 2013) et les modèles LUTI (Wegener 2004) (voir chapitre 3) restent utilisés en recherche et dans les bureaux d'études transport/mobilité, car ils donnent à voir des aspects importants pour la décision publique (charge des réseaux de transport, pollution de l'air localisée finement dans l'espace et dans le temps, par exemple (Gallez et Coutard 2023)). Le rôle des modèles d'interactions spatiales est toutefois interrogé par l'usage qui en est fait, qu'il s'agisse du dimensionnement d'infrastructures de transport dans une logique *top-down* de type *predict and provide*² (question abordée au chapitre 11) ou d'un modèle d'intermédiation entre acteurs (Banos *et al.* 2020). À titre d'exemple, les travaux sur la dépendance à la mobilité de Gallez (2015, 2024) montrent bien les défis posés à l'aménagement par un référentiel d'action publique qui presuppose une mobilité des citoyens, au risque de creuser les inégalités sociospatiales de desserte en équipement (Baudet-Michel 2015). En affichant des potentiels de mobilité plutôt qu'en prenant en compte les mobilités effectives dans leur complexité, les modèles existants ne permettent pas à l'action publique d'agir finement sur certaines problématiques.

Dans ce contexte, il semble utile de revisiter une littérature fragmentée par ses objets (des villes ou des systèmes de villes, des réseaux de transport ou des matrices de frein à la distance, des flux ou des interactions potentielles) comme par ses hypothèses implicites (une indifférenciation de la mobilité par catégorie sociale, une croissance des

2. « Le principe *predict and provide* (prévoir et satisfaire les besoins de déplacements) [...], dont l'objectif était d'adapter l'offre d'infrastructures – principalement routières – à la croissance urbaine » (Gallez *et al.* 2015).

réseaux, une stabilité des coûts de l'énergie ou des modes d'organisation sociale et politique). Dans ce champ de recherche pluridisciplinaire par construction, ce sont les usages des modèles qui conditionnent leurs dynamiques, et des expertises propres se sont développées à différentes échelles de temps et d'espace, qui dialoguent assez peu.

I.3. Transformation des échelles de temps et d'espace

Les processus liant réseaux et dynamiques territoriales ont fait l'objet de formalisations diverses, par exemple : 1) processus de diffusion (Barthélémy 2023), d'innovation dans un réseau de villes (Rozenblat 2015) ; 2) processus d'accumulation, économies d'agglomération (Le Néchet *et al.* 2012), attachement préférentiel (Bouba-Olga *et al.* 2022) ; 3) processus de croissance urbaine, notamment sous l'influence des réseaux (Le Néchet 2020) (voir chapitre 4) processus de formation des pratiques de mobilité sous l'influence de l'organisation spatiale – les trois D (« densité », « diversité fonctionnelle », « design urbain ») de Cervero et Kockelman (1997) – ; 5) processus de croissance, saturation et rétraction des réseaux de transport (voir chapitre 7).

Le chapitre 4 montre bien la transformation des entités géographiques au fil du temps, notamment par l'entremise des réseaux de transport qui créent des connexions nouvelles pouvant être réalisées fréquemment au-delà des périmètres urbains classiques. C'est notamment le cas de la mobilité interurbaine (Aguilera *et al.* 2025), approche dessinant des systèmes de villes reliant tous les niveaux de la hiérarchie urbaine. Ces jeux d'échelles ne sont pas sans conséquence du point de vue opérationnel, ce qui est par exemple illustré par l'article de Thomas *et al.* (2018) qui montre des effets de bord importants dans les prédictions des modèles LUTI, en fonction du périmètre géographique pris en compte au départ.

Dans le même ordre d'idée, le chapitre 6 montre que les circulations de personnes et les circulations de revenus liées rendent encore plus complexe la compréhension des interactions économiques entre territoires, étant donné que les apports de salaire d'un territoire à un autre pourront être compensés par des échanges dans l'autre sens. Le chapitre 5 montre quant à lui la porosité entre espaces dits « ruraux » et espaces dits « urbains » au sein des systèmes de villes, et surtout la diversité nationale de cette porosité, c'est-à-dire au fond les limites des catégorisations spatiales exclusivement fondées sur une hypothèse monocentrique, encore en vigueur aujourd'hui (voir chapitre 5).

Les échelles de temps apparaissent tout aussi entremêlées que les échelles d'espace. Pour en revenir aux deux scénarios liminaires (Dray *et al.* 2022 ; Barles 2023), l'année 2050 est 25 ans après 2025, mais il semble s'agir d'années très différentes dans ces espaces abstraits. Cela ne signifie pas que les différents auteurs concernés ont fait des erreurs de raisonnement. Dans une période de transition (Sanders 2018), les changements sont rapides et les différents processus se combinent d'une façon non seulement

difficile à prédire, mais surtout difficile à comprendre. C'est sans doute sur le temps long qu'il faut puiser des sources de compréhension des formes possibles à venir de la coévolution entre réseaux, interactions spatiales et territoires.

D'après le chapitre 7, des cycles de temps long (développement, saturation, maturité) marquent l'interaction transport/territoire. Les dynamiques territoriales sont impactées par ces temporalités et ces dynamiques réticulaires influencent en retour le développement de la technologie de transport suivante. Les chapitres 8 et 9 offrent quant à eux un cadre de recueil de données historiques et un cadre d'analyse systémique pour étudier ces processus à l'articulation entre transport et territoires sur le temps long. Ces contributions plaident pour un renouvellement des catégories d'analyses (Commenges et Le Néchet 2024) des ontologies de modélisation (voir chapitre 10) et des dispositifs d'usage des modèles (voir chapitre 11).

I.4. Ontologies et dispositifs d'usage des modèles

Les réflexions qu'ouvrent ce travail doivent notamment permettre un renouvellement théorique des approches de modélisation, donnant un rôle plus important à la mobilité au sein de modèles de temps long, amenant à reconsiderer les données qui sont nécessaires à des modèles de simulation de temps long et à dessiner des perspectives de modèles modulaires (Cottineau *et al.* 2015 ; Cottineau 2024), pouvant au mieux s'intégrer à des contextes différents, vu les nombreuses incertitudes pesant sur les évolutions à moyen et long terme des systèmes territoriaux. Cette modularité doit en particulier permettre de mieux appréhender des effets rebond (Gallez 2024) qui sont souvent mal captés par les modèles, car le champ des possibles en matière de « boucles de rétroaction » entre processus est très vaste *a priori*.

Les contraintes énergétiques, écologiques, politiques et techniques font peu l'objet de simulations systémiques en sciences sociales. Il semble important d'insister sur ce point : au stade actuel de notre compréhension des interactions climat/environnement/énergie/société, l'incertitude n'est pas que locale, et traverse toutes les échelles d'espace. À titre d'exemple, la mutation de l'organisation territoriale induite par des modifications très significatives des coûts de la mobilité n'est que très peu étudiée par la modélisation par une approche systématische, au-delà de modèles de prospective (Maizia 2010 ; Barles *et al.* 2023).

Dans ce contexte, il conviendrait par exemple d'adapter les modèles LUTI aux enjeux environnementaux et au contexte de décroissance démographique, voire des réseaux (voir chapitre 3) ; de travailler particulièrement l'échelle des systèmes de villes locaux, permettant de sortir du cadre de pensée monocentrique tout en fournissant une certaine unité d'espace dans les mobilités étudiées ; d'intégrer les inégalités sociales aux

enjeux techniques de calibration des modèles, tant les effets du réchauffement climatique semblent avoir des conséquences dont l'intensité dépend, entre autres, de la capacité à mobiliser un capital économique, humain, technique, social pour y faire face ; de construire des bases de données internationales, harmonisées sur le temps long, permettant de reconstruire des processus de coévolution entre dynamiques territoriales, accessibilité, réseaux de transport et mobilité (Le Néchet 2020) à différentes échelles et d'étudier les conditions de leur transposition dans d'autres contextes ; de continuer à développer les outils computationnels permettant de travailler des données spatiales massives en explorant par exemple l'espace des paramètres des modèles de simulation systémique (Reuillon *et al.* 2013) (voir chapitre 2).

Les conséquences déjà tangibles du réchauffement climatique et les enjeux associés de transition énergétique et de transformations démographiques invitent à modifier les questions qui peuvent être explorées par des modèles, non plus seulement en matière de croissance d'infrastructures ou de population, mais en matière de meilleure répartition dans l'espace et de préservation des populations des risques actuels ou à venir, de réduction des inégalités sociales. Face à toutes ces évolutions, l'arsenal méthodologique n'est pas sans ressources, notamment en posant la question de la réversibilité des processus (Brotchie 1984 ; Yerra et Levinson 2005), même si cela reste assez marginal dans la recherche scientifique.

Enfin, il semble judicieux de diversifier les registres d'usage des modèles et de travailler les ontologies des modèles dans cette perspective (Banos *et al.* 2020 ; Laatabi *et al.* 2022). Nous sommes actuellement dans une situation où une multiplicité d'acteurs sont en position d'objectiver, de financer et de décider pour partie la pertinence des projets coûteux comme les infrastructures de transport. L'expertise technique demeure dans ce champ des interactions réseaux/mobilité/territoires toujours relativement peu diffusée, participant des fonctions de « démarcation » des modèles (voir chapitre 11). À l'invitation de Guivarch (2024), qui rappelle que « les modèles servent d'interface entre science et politique », et dans le contexte d'incertitudes multiples, y compris sur les ordres de grandeur structurants à moyen terme des dynamiques territoriales (énergie, matériaux), ne faudrait-il pas ouvrir la boîte à outils technique de ces modèles à l'ensemble de la société, au-delà des données qui commencent à être plus facilement accessibles dans le sillage du mouvement *open data* ?

Les villes font face à une diversité d'enjeux et de transitions en cours, qui nécessitent des adaptations, voire des transformations des modèles variées visant à les comprendre. En parlant spécifiquement des réseaux, Coutard (2024) évoque quatre évolutions nécessaires des réseaux structurants pour s'adapter au changement climatique : dématérialiser, ralentir, définanciariser, autonomiser. Les modèles sont-ils prêts à appréhender ces changements et tous les autres que nous ne parvenons qu'à entrevoir à ce stade de la connaissance scientifique ?

I.5. Bibliographie

- Aguilera, A., Conti, B., Duroudier, S., Le Néchet, F. (2024). De villes en villes : Atlas des déplacements domicile-travail interurbains. Thèse de doctorat, Université Gustave Eiffel, Paris.
- Antoni, J.-P. (dir.) (2011). Modéliser la ville : formes urbaines et politiques de transport. Rapport.
- Banos, A., Cottet, F., Debrie, J. (2020). Jouer et modéliser un territoire sans voiture : retour d'expérience sur le projet post-car Île-de-France. Netcom. *Réseaux : communication et territoires*, 34(3/4).
- Barles, S., Barataud, F., Billen, G., Esculier, F., Garnier, J., Lumbroso, S., Poux, X. (2023). Un autre monde est-il possible ? Deux scénarios alternatifs pour le bassin de la Seine à l'horizon 2050. Dans *Transitions. Les nouvelles Annales des Ponts et Chaussées*, Lelièvre, T., Picard, D. (dir.). Presses des Ponts, Paris, 98–103.
- Baron, N., Messulam, P. (2017). *Réseaux ferrés et territoires. La géographie du chemin de fer, un retour aux sources*. Presses des Ponts, Paris.
- Barthelemy, M. (2023). *Le monde des réseaux*. Odile Jacob, Paris.
- Batty, M., Milton, R. (2021). A new framework for very large-scale urban modelling. *Urban Studies*, 58(15), 3071–3094.
- Baudet-Michel, S. (2015). Explorer la rétraction dans l'espace : les services de soins dans le système urbain français. *Espace Géographique*, 44(4), 369–380.
- Bavoux, J.-J., Beaucire, F., Chapelon, L., Zembri, P. (2005). *Géographie des transports*. Armand Colin, Paris.
- Bonnafous, A. (1996). Le système des transports urbains. *Économie et Statistique*, 294(295), 99–108.
- Bouba-Olga, O., Grossetti, M., Pumain, D. (2022). Les métropoles sont-elles les villes les plus performantes ? *Espaces et sociétés*, 186(3/4), 219–247.
- Bretagnolle, A. (2014). Les effets structurants des transports, une question d'échelles ? *Espace Géographique*, 43(1), 63–65.
- Brocard, M. (2009). *Transports et territoires. Enjeux et Débats*. Ellipses, Paris.
- Brotchie, J.F. (1984). Technological change and urban form. *Environment and Planning A*, 16(5), 583–596.
- Cervero, R., Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation research part D: Transport and environment*, 2(3), 199–219.

- Commenges, H. (2013). L'invention de la mobilité quotidienne. Aspects performatifs des instruments de la socioéconomie des transports. Thèse de doctorat, Université Paris-Diderot-Paris VII, Paris.
- Commenges, H. (2016). Modèle de radiation et modèle gravitaire : du formalisme à l'usage. *Revue Internationale de Géomatique*, 26(1), 79–95.
- Commenges, H., Le Néchet, F. (2024). Categorical Pitfalls for Analyzing Urban Mobility. Dans *Urban Mobility Systems in the World*, Lesteven, G. (dir.). ISTE Editions, Londres, 203–241.
- Cottineau, C. (2024). Accommodating a durable community. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 51(5), 1059–1062.
- Cottineau, C., Reuillon, R., Chapron, P., Rey-Coyrehourcq, S., Pumain, D. (2015). A modular modelling framework for hypotheses testing in the simulation of urbanisation. *Systems*, 3(4), 348–377.
- Coutard, O. (2024). Les grands réseaux dans et pour la transition socio-écologique : un nouvel âge des infrastructures. Dans *Transitions. Les nouvelles Annales des Ponts et Chaussées*, Lelièvre, T., Picard, D. (dir.). Presses des Ponts, Paris, 30–34.
- Desjardins, X. (2022). *Urbanisme et mobilité : De nouvelles pistes pour l'action*. Éditions de la Sorbonne, Paris.
- Dray, L., Schäfer, A.W., Grobler, C., Falter, C., Allroggen, F., Stettler, M.E., Barrett, S.R. (2022). Cost and emissions pathways towards net-zero climate impacts in aviation. *Nature Climate Change*, 12(10), 956–962.
- Drevon, G., Kaufmann, V. (2022). *Échelles spatiales et temporelles de la mobilité*. ISTE Editions, Londres.
- Fol, S., Gallez, C. (2017). Evaluer les inégalités sociales d'accès aux ressources Intérêt d'une approche fondée sur l'accessibilité. *Revue internationale d'urbanisme*, 4.
- Gallez, C. (2024). Sobriété et justice. Quelles transformations socio-environnementales des mobilités ? Dans *Transitions. Les nouvelles Annales des Ponts et Chaussées*, Lelièvre, T., Picard, D. (dir.). Presses des Ponts, Paris, 79–82.
- Gallez, C., Coutard, O. (2023). *Vers une Île-de-France post carbone ? Freins et leviers d'une transition énergétique régionale*. L'Oeil d'Or, Paris.
- Gallez, C., Maulat, J., Roy-Baillargeon, O., Thébert, M. (2015). Le rôle des outils de coordination urbanisme-transports collectifs dans la fabrique politique urbaine. *Flux*, 3, 5–15.
- Gravier, J. (2020). Représenter et analyser les positions relatives des villes sur 2 000 ans. *Mappemonde*, 129.

- Guivarch, C. (2024). Modéliser les transformations, transformer les modèles ? Dans *Transitions. Les nouvelles Annales des Ponts et Chaussées*, Lelièvre, T., Picard, D. (dir.). Presses des Ponts, Paris, 14–17.
- Hägerstrand, T. (1970) What about people in regional science. *Regional Science Association Papers*, XXIV, 7–21.
- Haggett, P. (1965). *Locational analysis in human geography*. Edward Arnold, Londres.
- Laatabi, A., Becu, N., Marilleau, N., Amalric, M., Pignon-Mussaud, C., Anselme, B., Beck, E., Bertin, X., Monfort, A., Hayoun, C., Rousseaux, F. (2022). LittoSIM-GEN: A generic platform of coastal flooding management for participatory simulation. *Environmental Modelling & Software*, 149, 105319.
- Laterrasse, J. (2019). *Transport et urbanisme : la ville en quête de développement soutenable*. ISTE Editions, Londres.
- Le Néchet, F. (2020). Le grand contournement de Paris, trop loin et trop proche de Paris ? Jeux d'échelles et diversité des dynamiques du polycentrisme du bassin parisien (1982–2015). *Flux*, 4, 26–52.
- Le Néchet, F., Melo, P.C., Graham, D.J. (2012). Transportation-induced agglomeration effects and productivity of firms in megacity region of Paris Basin. *Transportation research record*, 2307(1), 21–30.
- Lecomte, C., Vallée, J., Le Roux, G., Commenges, H. (2018). Le Mobiliscope, un outil de géovisualisation des rythmes quotidiens des métropoles. *Mappemonde*, 123.
- Libourel, E., Schorung, M., Zembri, P. (2022). *Géographie des transports : territoires, échelles, acteurs*. Armand Colin, Paris.
- Maïzia, M. (2010). Prospective à l'horizon 2050 du développement urbain en France et implications énergétiques et spatiales des secteurs de l'habitat et de la mobilité quotidienne. La dimension territoriale des politiques énergétiques et de réduction des gaz à effet de serre. Rapport, 71.
- Pumain, D. (1997). Pour une théorie évolutive des villes. *Espace Géographique*, 119–134.
- Reuillon, R., Leclaire, M., Rey-Coyrehourcq, S. (2013). OpenMOLE, a workflow engine specifically tailored for the distributed exploration of simulation models. *Future Generation Computer Systems*, 29(8), 1981–1990.
- Rozenblat, C. (2015). Approches multiplexes des systèmes de villes dans les réseaux d'entreprises multinationales. *Revue d'économie régionale et urbaine*, 3, 393–424.
- Sanders, L. (dir.) (2018). *Peupler la terre : de la préhistoire à l'ère des métropoles*. Presses universitaires François-Rabelais, Tours.

- Sanders, L., Pumain, D., Mathian, H., Guérin-Pace, F., Bura, S. (1997). Simpop: a multiagent system for the study of urbanism. *Environment and Planning B: Planning and design*, 24(2), 287–305.
- Schläpfer, M., Dong, L., O'Keeffe, K., Santi, P., Szell, M., Salat, H. et al. (2021). The universal visitation law of human mobility. *Nature*, 593(7860), 522–527.
- Simini, F., González, M.C., Maritan, A., Barabási, A.L. (2012). A universal model for mobility and migration patterns. *Nature*, 484(7392), 96–100.
- Thomas, I., Jones, J., Caruso, G., Gerber, P. (2018). City delineation in European applications of LUTI models: review and tests. *Transport Reviews*, 38(1), 6–32.
- Tobler Waldo, R. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography, Supplement: Proceedings, International Geographical Union. Commission on Quantitative Methods*, 46, 234–240.
- Ullman, E. (1954). *Geography as spatial interaction*. McGraw-Hill, New York, 29–39.
- Wegener, M. (2004). Overview of land use transport models. Dans *Handbook of transport geography and spatial systems*. Emerald Group Publishing Limited, Bradford, 127–146.
- Yerra, B.M., Levinson, D.M. (2005). The emergence of hierarchy in transportation networks. *The Annals of Regional Science*, 39, 541–553.
- Zargayouna, M. (2021). Modèles multi-agents de déplacement à base d'activités : État de l'art. Rapport d'expertise de l'Université Gustave Eiffel à l'attention de Ville de Paris, Direction de la voirie et des déplacements [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://hal.science/hal-03535180/document>.