

Transports aériens par câbles en milieu urbain

Évaluations pour une intégration à l'échelle de l'agglomération

Abstract

La maîtrise de l'étalement urbain est devenue une préoccupation cruciale en aménagement du territoire, incitant à la mise en place d'un développement et de politiques de transport durables. Nous proposons ici de nous intéresser à l'implantation intégrée de Transports aériens par câbles (TAC), mode de transport innovant en milieu urbain, reconnu pour sa consommation d'espace et d'énergie réduite, et son impact très faible en termes d'émissions de polluants. Malgré le faible nombre de publications sur l'insertion des TAC en milieu urbain, il semble en effet que (i) leur apport en terme de mobilités urbaines durables (temps de déplacement, émissions faibles, report modal, etc.) soit très important, (ii) mais que les TAC présentent des difficultés d'insertion en terme d'acceptabilité sociale (modification du paysage, intrusion visuelle dans les espaces privés). La méthodologie proposée pour évaluer l'intégration des TAC à l'échelle d'une agglomération focalise sur cette double problématique. Elle repose sur une démarche fondée sur la modélisation et la simulation informatique, que l'on peut décomposer en quatre axes de travail : (i) élaborer des scénarios pertinents de mobilité urbaine par TAC ; (ii) coupler deux modèles développés au sein du laboratoire : MobiSim (modèle LUTI dédié à la simulation de la croissance et des mobilités urbaines) et P.Image (modèle de calcul d'inter-visibilité) ; (iii) développer ces modèles pour une gestion plus efficace de la 3D (calculs et visualisation) ; (iv) évaluer les scénarios simulés en termes de mobilité et de paysage sur une base participative. Cette démarche s'insère dans un calendrier en trois ans, incluant conférences internationales et publications.

Mots-clés : Mobilité urbaine, Transition énergétique, Modèles LUTI, Prospective territoriale, Aide à la décision

1 Contexte

Pour les acteurs de l'aménagement du territoire, la maîtrise de l'étalement urbain est devenue une préoccupation cruciale. Consommateur d'espace et générateur de distances par définition, ce mode d'urbanisation favorise les déplacements en automobile individuelle, qui génèrent de fortes émissions de polluants, augmentées par l'importance du trafic (EEA, 2006). La gestion du développement urbain et des politiques de transport constituent de ce fait aujourd'hui un enjeu majeur, dont les exigences sont schématisées par les trois piliers (économique, social et environnemental) du développement durable (Bruntland, 1987), eux-mêmes contraints par la démocratisation et l'appauvrissement croissants des ressources en énergie, qui ont récemment conduit aux débats sur la Transition énergétique (Rojey, 2008 ; Dubois, 2009 ; CNB, 2013).

Dans ce contexte, la mise en place d'une planification territoriale durable ne peut se soustraire à l'étude des mobilités urbaines, au sein desquelles l'utilisation massive de l'automobile est clairement identifiée comme problématique d'un point de vue économique, social et environnemental

(Dupuy, 2006). En conséquence, une attention particulière est portée sur les propositions qui permettent d'en réduire les nuisances sans (trop) limiter les possibilités de déplacements. Dans cette optique, de nombreuses recherches sont actuellement menées sur des systèmes de propulsion moins polluants (Plassat, 2004), sur le report modal vers des transports en commun plus efficaces et plus attractifs (Meissonier, 2008 ; Bonnafous, 2004), ou encore sur la mise en place de parcours automobiles contraints (Genre-Grandpierre, 2011). **Nous proposons ici de nous intéresser à une alternative plus structurelle : l'implantation intégrée de Transports aériens par câble (TAC)¹, mode de transport innovant en milieu urbain, reconnu pour sa consommation d'espace et d'énergie réduite, et son impact très faible en termes d'émissions de polluants.**

Fréquemment utilisés comme "remontées mécaniques" dans les stations de sport d'hiver (télécabines, téléphériques ou télésièges), les TAC sont timidement présents dans certaines villes, en Amérique (New-York, Portland, Rio, Medellin, Caracas, etc.) ou en Europe (Nijni-Novgorod, Barcelone, Cologne, etc.). Ils permettent d'y créer des connexions difficiles à réaliser en surface (Schneider et Clément-Werny, 2012), mais sans véritablement s'intégrer dans une offre de transport cohérente et intermodale. Ils restent de surcroît très discrets dans les débats, les rapports et finalement dans les projets de déplacement urbains, où ils apparaissent souvent marginaux, avec un impact global relativement faible.

Pour autant, **en France, les TAC ont été identifiés par la Loi Grenelle I de 2009 comme une solution de transport favorable à la réduction des émissions de gaz et de polluants, et de nombreuses villes françaises examinent aujourd'hui leur installation potentielle** : Brest et Toulouse devraient voir leur projet aboutir en 2015 et 2017, alors qu'en Île-de-France, une télécabine reliera Créteil à Villeneuve-Saint-Georges en 2018. D'autres projets sont également à l'étude, notamment à Grenoble, à Toulon, à Marseille, à Aix-en-Provence, ou à Orléans, où ils font l'objet de fortes discussions. En effet, si les pouvoirs publics semblent plutôt favorables à leur installation en ville, leur réception par la population présente de forts contrastes (Schneider et Clément-Werny, 2012).

2 Problématique

A l'heure actuelle, peu de travaux ont été consacrés à l'insertion des TAC en milieu urbain. L'étude conduite par Y. Schneider et C. Clément-Werny (2012), par exemple, présente en détail les différents matériels existant, qu'elle met en perspective avec les conditions de leur insertion urbaine et les problèmes que cette insertion peut poser, en rappelant notamment le contexte législatif et les contraintes techniques, ainsi que les usages et les capacités possibles en termes de déplacements urbains. Il en ressort que, de par leur conception, les TAC présentent de nombreux avantages que l'on peut identifier dans les trois sphères du développement durable :

1. D'un point de vue économique, les travaux à entreprendre pour la mise en place d'une ligne TAC apparaissent relativement légers comparativement à la réalisation d'un TCSP (tramway par exemple) : seuls les pylônes et les stations nécessitent de transformer la configuration en surface², avec des coûts de fonctionnement réduits (frais de personnel, maintenance, consommation énergétique). Parallèlement, les TAC n'impactent pas les voies de circulation au sol (pas de coûts liés à la signalisation) et permettent de libérer une partie du trafic des problèmes de congestion par des trajectoires rectilignes peu soumises aux obstacles au sol (relief, cours d'eau, infrastructures de transport), ce qui contribue à réduire les distances parcourues, et donc les temps de transport.

¹A partir des travaux menés par Y. Schneider et C. Clément-Werny (2012), nous appelons "transports aériens par câble" les modes de transports qui fonctionnent à l'aide d'un ou de plusieurs câbles porteur (et/ou tracteur), et qui effectuent leurs déplacements par voie aérienne.

²Les coûts varient par exemple de 14,5 (Barcelone) et 42,5 (Portland) millions d'euros, contre une moyenne de 13 à 22 millions d'euros par kilomètre pour un tramway (Clément-Werny, 2011).

2. D'un point de vue social, les exemples de Medellin, Rio ou Caracas, montrent que la mise en place de TAC permet de désenclaver et de revitaliser des quartiers défavorisés ou difficiles d'accès (notamment sur les reliefs), en facilitant la mobilité vers le centre-ville. L'infrastructure TAC leur confère de surcroît une nouvelle attractivité liée à l'installation de commerces et de services à proximité des stations. S'il est peu probable que la resorption des inégalités sociales puisse se faire de la même manière en France, les TAC apparaissent néanmoins comme un moyen d'augmenter la desserte par les transports en commun et de réfléchir à la question du renouvellement urbain et de l'accès aux aménités, en développant de nouveaux pôles autour des stations, selon les recommandations du système TOD³ (Calthrope, 1992).
3. D'un point de vue environnemental (point de vue généralement mis en avant par les pouvoirs publics), les TAC consomment peu d'énergie et ne rejettent pas de polluants. En circulant par la voie aérienne, ils n'engendrent pas non plus de rupture ou d'obstacle au sein des réseaux écologiques des espèces terrestres, et apparaissent comme une solution pour préserver les corridors faunistiques et maintenir la biodiversité des espaces urbains et périurbains. Enfin, à l'instar des TCSP, ils peuvent conduire à une réduction de l'usage de l'automobile et donc à une réduction de l'émission de gaz à effet de serre. L'artificialisation de l'espace liée à leur emprise au sol est également réduite puisqu'elle n'intervient que ponctuellement autour des pylônes.

Ainsi, les TAC semblent *a priori* présenter des dispositions très intéressantes pour s'intégrer dans un réseau de transports urbain, et alimenter une logique d'aménagement durable. Ces avantages ne doivent toutefois pas masquer les difficultés inhérentes à leur mise en place. Les projets présentés sont en effet souvent considérés avec retenue par le grand public, voire avec rejet, ce qui, pour différentes raisons, témoigne de leur faible acceptabilité sociale :

1. La première opposition est généralement due à l'impact visuel des TAC : s'ils n'occupent que très peu de place en surface, le système de câbles est prégnant en hauteur, et contribue à modifier les paysages urbains. A l'instar des éoliennes, les pylônes n'ont de surcroît pas de valeur esthétique unanime, et ne font que rarement l'objet d'une recherche architecturale destinée au milieu urbain. L'intégration paysagère des TAC est donc fortement discutée, notamment dans les centres-villes à forte valeur patrimoniale.
2. La position dominante des cabines n'est pas sans incidence sur la vie des riverains à proximité des câbles, puisque les TAC créent des champs de vision inédits, ouvrant les jardins, les balcons, et parfois les appartements au regard des usagers. Les TAC s'accompagnent donc d'un problème immédiat d'intrusion visuelle dans la sphère privée des individus, qui justifie une partie de l'opposition à leur installation.
3. Enfin, un contre-argument classique repose sur l'impact sonore des TAC : d'une part, à proximité des stations, les moteurs du système génèrent un certain nombre de nuisances permanentes, possiblement inconfortables pour l'environnement proche ; d'autre part, à proximité des pylônes, chaque passage entraîne un bruit de frottement et une gêne ponctuelle possible.

En résumé, malgré leur apport en terme de mobilité urbaine (temps de déplacement, émissions faibles, report modal, etc.) les difficultés d'installation des TAC relèvent essentiellement d'une question de visibilité, de l'infrastructure vers les espaces privés (intrusion) ou inversement, de l'espace urbain vers l'infrastructure (modification du paysage). **C'est sur cette double problématique que focalise la méthodologie proposée pour évaluer l'intégration des TAC à l'échelle d'une agglomération, du point de vue de leur apport en termes de mobilité et de leur acceptabilité sociale.**

³En partie élaboré dans le cadre du *Nouvel urbanisme* américain, le concept de *Transit oriented development* (TOD) vise avant tout à réduire les problèmes de circulation et de congestion urbaines en favorisant l'utilisation des transports en commun par une réorganisation de la forme de la ville et une limitation de son étalement.

3 Méthodologie

Considérant le manque de recul actuel sur les dispositifs TAC en exploitation et la complexité des interactions liées à leur utilisation, la méthodologie envisagée repose sur une démarche prospective fondée sur la simulation et la modélisation informatique. Domaine de compétence privilégié du laboratoire ThéMA, la modélisation permet en effet d’anticiper les effets de ce type d’infrastructures de transport, et d’anticiper de manière réaliste et imbriquée les situations auxquelles elles peuvent conduire, selon des choix qui prennent la forme de scénarios (Antoni, 2013). Ainsi, nous proposons de simuler les comportements de mobilité et d’évaluer les usages associés à l’intégration des TAC, dans une démarche qui se décompose en quatre axes de travail (Figure 1) :

Axe 1 - Scénarios

Pour être constructives dans le cadre d’une aide à la décision en aménagement, les évaluations de l’intégration des TAC en ville ne doivent pas se réduire à une solution unique, mais proposer un panel de scénarios contrastés et possiblement contradictoires à l’échelle de l’agglomération urbaine. Pour mettre au point ces scénarios, nous envisageons une démarche en trois temps :

1. Établir un état de l’art recensant les TAC existant et leurs aspects techniques, les démarches dans lesquelles elles s’insèrent, les choix qui ont été faits quant à leur intégration dans le réseau de transports et dans l’environnement urbain, et mettre en place une démarche de veille scientifique permettant d’anticiper les innovations en cours d’étude pour les TAC, afin d’identifier la manière avec laquelle les réalisations à venir peuvent impacter leur capacité à répondre à des besoins nouveaux en termes de mobilité urbaine.
2. Construire des scénarios contrastés, antagoniques ou non, répondant (au moins en partie) aux questionnements des trois piliers du développement durable. Cette construction peut se fonder sur le principe d’une optimisation renforçant alternativement les aspects économiques, sociaux ou environnementaux du développement durable, par un système TAC intégrant une ou plusieurs lignes aériennes de transport. Pour être construits de manière réaliste, ces scénarios doivent intégrer dès le départ certains éléments d’évaluation et reposer sur une démarche participative intégrant différents acteurs du territoire (cf. Axe 4).
3. Quantifier, pour chacun de ces scénarios, les gains espérés en termes de mobilité durable et de consommation énergétique, et, le cas échéant, les confronter à leurs difficultés possibles d’intégration et d’acceptabilité sociale, en se fondant sur la simulation informatique (cf. Axe 2).

Axe 2 - Simulation

Deux modèles développés au sein du laboratoire ThéMA peuvent être utilisés pour simuler l’impact des TAC, tant sur le plan des mobilités que sur celui des paysages urbains :

1. MobiSim (Antoni et Vuidel, 2011) est un modèle LUTI (*Land Use Transport Integration* ; Wegener, 2004) dédié à la simulation de la croissance et des mobilités urbaines dans les agglomérations françaises et européennes. Fondé sur le principe des systèmes multi-agents, il génère une population synthétique d’individus, de ménages et de logements, dont la mobilité quotidienne est modélisée à travers diverses hypothèses comportementales pour plusieurs modes de transport. Compte tenu de la configuration actuelle du modèle, les TAC peuvent aisément y être intégrés comme un mode complémentaire aux autres (marche, bicyclette, automobile et transports en commun classiques), afin de générer des scénarios prospectifs de développement urbain. MobiSim permet alors d’évaluer les gains et les pertes

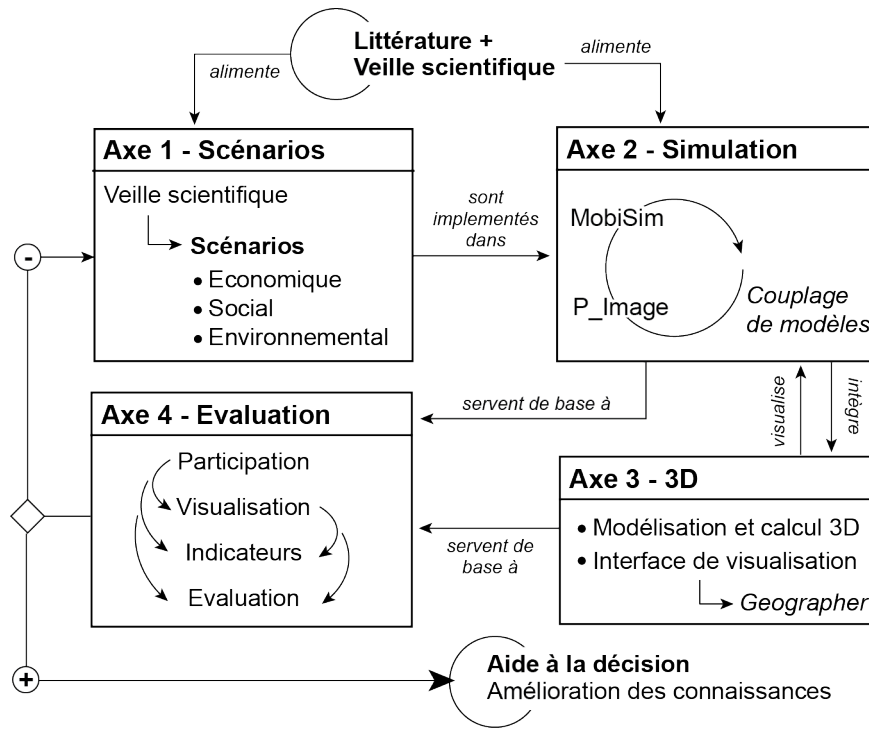


Figure 1: Organisation des axes de travail

(temps de parcours, taux de remplissage, report modal, catégorie d’usagers et motifs de déplacement, etc.) que pourraient provoquer les différents scénarios envisagés.

2. P_Image (Joly *et al.*, 2009), est un modèle de calcul d’inter-visibilité qui mesure la prégnance visuelle d’éléments dans le paysage depuis tous les points de l’environnement, ainsi que l’intensité visuelle de ces éléments depuis un point de vue défini. Ce calcul tient compte de la distance verticale de l’espace étudié, de son incidence et des angles de vue ; il a notamment été utilisé pour évaluer l’impact visuel de lignes électriques (Joly *et al.*, 2002). A partir des simulations réalisées dans MobiSim, il peut ainsi rendre compte de l’impact visuel des TAC selon les différents scénarios envisagés, et de la vue que qu’ils peuvent offrir sur la ville, notamment sur les espaces de la vie privée.

Dans le cadre de la thèse envisagée, le couplage de ces deux modèles, qui ne présente *a priori* pas de difficultés techniques particulières, constitue en soi une innovation dans le cadre de la modélisation orientée vers l’aide à la décision en aménagement du territoire.

Axe 3 - 3D

D’un point de vue technique, la modélisation des TAC requiert une représentation de l’espace urbain en trois dimensions. Cette représentation est d’autant plus importante que la circulation aérienne des TAC peut se faire à partir de stations situées en altitude (relief) ou à la verticale de certains bâtiments (terrasse plutôt que rez-de-chaussée). A l’heure actuelle, cette prise en compte de la 3D ne connaît pas d’application de référence dédiée aux données géographiques des espaces urbains, et nécessite d’ouvrir deux pans de recherche complémentaires :

1. Prendre en compte la troisième dimension dans les calculs effectués à l’aide de MobiSim et de P_Image, de manière à optimiser le réalisme des simulations produites. Cette intégration ne demande pas de refonte logicielle majeure mais doit faire l’objet de modifications raisonnées, tenant compte à la fois de l’exactitude des simulations demandées par les scénarios d’aménagement envisagés, des temps de calculs générés et du rendu souhaité pour la visualisation des résultats.

2. Identifier les outils permettant de visualiser l'espace urbain en trois dimensions à partir des résultats fournis par les modèles de simulation. Cette visualisation devraient permettre d'une part de discuter concrètement l'insertion visuelle des TAC, et d'autre part de représenter de manière réaliste et dynamique leurs trajets, afin de les confronter verticalement aux modes de transport de surface. Une interface comme GeoGrapher⁴, actuellement développée à ThéMA, apparaît comme une base intéressante pour ce type d'outils.

Axe 4 - Évaluation

L'objectif de la thèse consistant à fournir un outil d'aide à la décision, il est prévu de conclure les simulations effectuées par une évaluation des impacts des différents scénarios TAC envisagés. Cette évaluation doit évidemment être conduite dans le cadre ouvert des réflexions sur l'aménagement durable des territoires, et notamment :

1. Intégrer les points de vue des acteurs concernés par la planification territoriale (techniciens, élus et chercheurs), dans le cadre d'une concertation et de groupes de travail participatifs.
2. Confronter les résultats des simulations au point de vue des usagers pour évaluer la recevabilité sociale des projets TAC, notamment sur la question de leur intégration paysagère, pour laquelle il n'existe pas *a priori* de point de vue unanime. Cette confrontation pourra se faire par le biais d'enquêtes auprès d'habitants et d'usagers potentiels du système de transport.
3. Identifier avec plus de précision, d'un point de vue multi-critères, le potentiel offert par l'intégration des TAC sur un terrain d'étude réel (cf. § 4), de manière à nourrir les débats sur les transports urbains innovants et leur rôle dans la mise en place d'un aménagement durable des territoires, au niveau français comme au niveau international.

Cette dernière étape repose sur la mise en place de groupes de travail réunissant plusieurs institutions, dont certaines constituent à l'heure actuelle des interlocuteurs récurrents du laboratoire ThéMA, notamment autour du projet MobiSim : Communautés d'agglomération, compagnie de transport (niveau local), Ministère du développement durable et ADEME (niveau local et national), collaboration universitaires et scientifiques (niveau international).

4 Plan de travail

L'aire urbaine envisagée pour cette recherche est la Communauté d'Agglomération de Besançon, qui constitue aujourd'hui le terrain d'étude privilégié des modèles MobiSim et P_Image, et pour laquelle l'ensemble des données nécessaires (socio-économiques et géographiques) sont disponibles au sein du laboratoire ThéMA. L'agglomération de Besançon, située dans le nord-est de la France, regroupe environ 175000 habitants dans 59 communes, et présente un relief prononcé lié aux contreforts du Jura et à la boucle du Doubs. De par ces attributs, Besançon dispose de nombreuses caractéristiques physiques et démographiques intéressantes pour évaluer le potentiel que pourrait offrir l'intégration d'un système TAC à l'échelle d'une agglomération.

Organisé sur une période de trois ans, le calendrier de travail est résumé par la Figure 2. Il est ponctué par des échéances en termes de communications et de publications scientifiques :

- Deux publications dans des revues internationales à comité de lecture (par exemple, *Cybergeo: European Journal of Geography, Landscape and Urban Planning, Environment and Planning (A ou B), Computers, environment and urban systems, etc.*).

⁴GeoGrapher est un logiciel dédié à l'analyse et à l'exploration spatio-temporelle de données géographiques, fondé sur les principes de la *Time geography*.

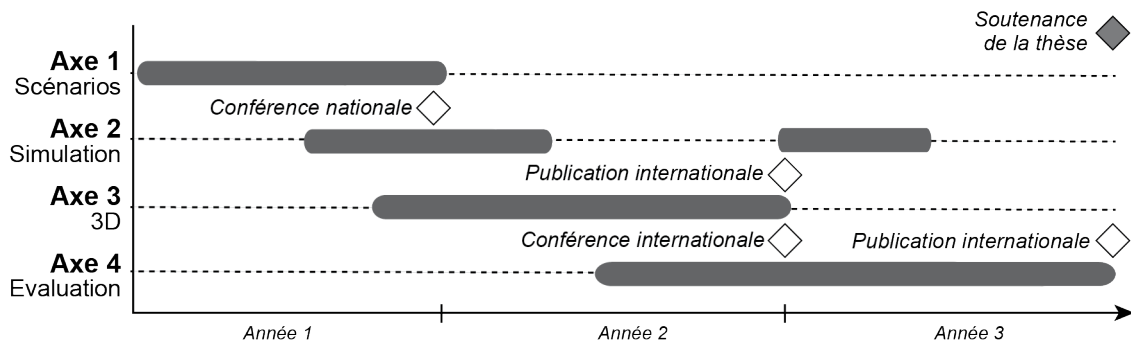


Figure 2: Calendrier de travail prévisionnel

- Une communication dans une conférence nationale (par exemple, ThéoQuant, Sageo, etc.).
- Une communication dans un colloque international (par exemple, European colloquium on theoretical and quantitative geography (ECTQG), Design and decision support systems (DDSS) conference on urban planning, International cartographic conference (ICC), World transport conference (WTCR), etc.).

Références

- Antoni J.-P. and Vuidel G., 2011. MobiSim: un modèle multi-agents et multi-scalaire pour simuler les mobilités urbaines. In: Antoni J.-P. (ed.), 2011. *Modéliser la ville : Formes urbaines et politiques de transports*, Economica, pp. 50-77.
- Antoni J.-P., 2013. L'ambition de modéliser la ville. In: Brun G. (ed.), 2013. *Ville et mobilité. Nouveaux regards*, Economica, pp. 227-238.
- Bonnafoous A., 2004, Le choix entre voiture et transports collectifs. In : *Institut des villes* (ed.), 2004. *Ville et économie*. La Documentation française, Collection ville et société, pp. 185-206.
- Brundtland G.H. (ed.), 1987, *Our common Future*, World Commission on Environment and Development, Oxford university Press.
- Calthorpe P., 1992, *Transit-Oriented-Development design guidelines*, City of San Diego land guidance system, consulté en septembre 2013.
- CNB, 2013, *Synthèse des travaux du débat national sur la transition énergétique en France*, Conseil national du Débat, 43 p.
- Dubois M., 2009, *La transition énergétique*, Desclée de Brouwer, 279 p.
- Dupuy G., 2006, *La dépendance à l'égard de l'automobile*, La Documentation Française.
- EEA, 2006, *Urban sprawl in Europe. The ignored challenge*, Report of the European Energy Agency, 10, 56 p.
- Genre-Grandpierre C., 2011, L'efficacité des déplacements automobiles en milieu urbain. In : Pumain D, Mattei M.F. (dir), *Données Urbaines*, 6, collection Villes, Anthropos Economica, pp 81-91.
- Joly D., Brossard T., Couderchet L., 2002, *Protocole d'étude des paysages Définition dans le cadre des projets d'aménagements de lignes aériennes de transport d'électricité*, Presses Universitaires Franco-Comtoises, 114 p.
- Joly D., Brossard T., Cavailhès J., Hilal M., Tourneux F.-P., Tritz C., Wavresky P., 2009, A quantitative approach to the visual evaluation of landscape, *Annals of the Association of American Geographers*, 99, 2, pp. 292-308.
- Meissonnier J., 2008, Pour faire face à l'automobilité : des transports en commun plus ludiques. In : Cochard F., Rocci A., Vincent S. (ed.), 2008. *Consommation Sociétés Automobilités et altermobilités : quels changements ?*, pp. 41-48.
- Plassat G., 2004, Pollutants emissions, global warming potential effect, first comparison using external costs on urban buses, *SAE Transactions*, vol. 113, no 4, pp. 1501-1509
- Rojey A., 2008, *Énergie et climat. Réussir la transition énergétique*, Technip, 218 p.
- Schneider Y. et Clément-Werny C., 2012, *Transport par câble aérien en milieu urbain*, CERTU-STRMTG, Coll. Références, 125.
- Wegener M., 2004, Overview of land-use transport models. In : Hensher D.A., Button K., *Handbook in transport*, 9, Transport geography and spatial systems, Pergamon-Elsevier, pp. 127-146.