

# Le Grand Paris : Quels outils, quels enjeux ?

28

**Document de référence  
2011 • 28**

**André DE PALMA**

École Normale Supérieure de Cachan,  
France

## **Le Grand Paris : Quels outils, quels enjeux ?**

**Document de référence n° 2011-28**

Préparé pour la Table Ronde 152 :

« Projets majeurs en infrastructures de transport et développement  
regional : Evaluation et mise en œuvre »

(1-2 décembre 2011)

**André DE PALMA**

École Normale Supérieure de Cachan  
France

Novembre 2011

*Les points de vue exposés dans ce rapport sont ceux de son auteur et ne représentent pas nécessairement ceux de l'École Normale Supérieure de Cachan, de l'OCDE ou du Forum International des Transports*

## FORUM INTERNATIONAL DES TRANSPORTS

Le Forum International des Transports, lié à l'OCDE, est une organisation intergouvernementale comprenant 52 pays membres. Le Forum mène une analyse politique stratégique dans le domaine des transports avec l'ambition d'aider à façonner l'agenda politique mondial des transports, et de veiller à ce qu'il contribue à la croissance économique, la protection de l'environnement, la cohésion sociale et la préservation de la vie humaine et du bien-être. Le Forum International des Transports organise un sommet ministériel annuel avec des décideurs du monde des affaires, des représentants clés de la société civile ainsi que des chercheurs éminents.

Le Forum International des Transports a été créé par une Déclaration du Conseil des Ministres de la CEMT (Conférence Européenne des Ministres des Transports) lors de la session ministérielle de mai 2006. Il est établi sur la base juridique du Protocole de la CEMT signé à Bruxelles le 17 octobre 1953 ainsi que des instruments juridiques appropriés de l'OCDE. Son Secrétariat se trouve à Paris.

Les pays membres du Forum sont les suivants : Albanie, Allemagne, Arménie, Australie, Autriche, Azerbaïdjan, Bélarus, Belgique, Bosnie-Herzégovine, Bulgarie, Canada, Corée, Croatie, Danemark, ERYM, Espagne, Estonie, États-Unis, Finlande, France, Géorgie, Grèce, Hongrie, Inde, Irlande, Islande, Italie, Japon, Lettonie, Liechtenstein, Lituanie, Luxembourg, Malte, Mexique, Moldavie, Monténégro, Norvège, Nouvelle-Zélande, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Russie, Serbie, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse, Turquie, Ukraine.

Le Centre de Recherche du Forum International des Transports recueille des statistiques et mène des programmes coopératifs de recherche couvrant tous les modes de transport. Ses résultats sont largement disséminés et aident la formulation des politiques dans les pays membres et apporte également des contributions au sommet annuel.

### Documents de référence

La série des documents de référence du Forum International des Transports rend les recherches menées par le Centre de Recherche sur les transports ou entreprises à sa demande accessibles aux chercheurs et professionnels du transport. L'objectif est de contribuer tant à la compréhension du secteur des transports qu'à l'élaboration des politiques de transport. Les documents de référence ne sont pas amendés par le Forum International des Transports ; ils ne reflètent que l'opinion de leurs auteurs.

Ils peuvent être téléchargés à l'adresse suivante :

[www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/jtrcpapersfr.html](http://www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/jtrcpapersfr.html)

Le site Web du Forum International des Transports est :

[www.internationaltransportforum.org](http://www.internationaltransportforum.org)

Pour de plus amples renseignements sur les Documents de référence et les autres activités du CCRT, veuillez envoyer un courriel à : [itf.contact@oecd.org](mailto:itf.contact@oecd.org)

## TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION.....	5
2.	MODELISATION DES GRANDS SYSTEMES URBAINS.....	6
2.1.	Introduction.....	6
2.2.	De l'économie agricole à l'économie urbaine.....	6
2.3.	Le modèle monocentrique.....	7
2.4.	Court terme <i>versus</i> long terme.....	7
2.5.	La concurrence spatiale, monopolistique et oligopolistique.....	7
3.	L'APPROCHE DES MODELES NON LINEAIRES.....	8
3.1.	Introduction.....	8
3.2.	Dynamique urbaine.....	8
3.3.	Validation.....	9
3.4.	Interdisciplinarité.....	9
3.5.	De la modélisation à la réalité.....	9
3.6.	Changement d'échelle : exemple de structuration.....	10
3.7.	Le cas des villes.....	11
3.8.	Auto-organisation.....	11
4.	CADRAGE DES ETUDES SUR LE GRAND PARIS.....	12
4.1.	Le découpage du Grand Paris.....	12
4.2.	Organisation des recherches.....	13
4.3.	Les angles d'attaque.....	14
4.4.	Le traitement de l'incertitude.....	17
4.5.	Effets de proximité.....	18
5.	LES EFFETS D'AGGLOMERATION.....	19
5.1.	Introduction.....	19
5.2.	Estimations empiriques.....	20
5.3.	Effets d'agglomération dans les modèles LUTI.....	21
6.	PRECAUTIONS ECONOMETRIQUES.....	22
6.1.	Modèle Logit Multinominal et échantillonnage des alternatives.....	22
6.2.	Modèle Logit emboîté.....	23
6.3.	Endogénéité des prix dans un modèle de localisation.....	23
7.	CONCLUSIONS.....	24
	NOTES.....	25
	RÉFÉRENCES.....	27

Cachan, novembre 2011



## 1. INTRODUCTION<sup>1</sup>

Le but de cette Table Ronde est d'évaluer les effets économiques des grands projets d'infrastructures de transport. On parle de grands projets pour désigner les bonds qualitatifs, qu'il s'agisse de négocier le tracé d'anneaux autoroutiers ou ferroviaires venant recouper la dispersion des voies de pénétration radiale, ou d'introduire des innovations plus ciblées, qu'elles visent la fréquence, la vitesse ou l'automatisation.

Ainsi que nos hôtes nous le rappellent judicieusement, ce n'est pas tout d'étendre la liste des effets directs de tels projets en termes de gains d'accessibilité. Encore faut-il prendre en compte les gains de productivité liés aux effets d'agglomération, et ne pas négliger les effets indirects, qui touchent à l'évolution de la structure urbaine et à la modulation de la croissance.

Sous quelles conditions pouvons-nous assurer des économies d'échelle croissantes et garantir des complémentarités dans les partenariats public-privé ? Comment participer aux discussions sur la définition d'indicateurs de bien-être propres à compléter et redéfinir les indicateurs de croissance ? Il s'agit là de nouveaux fronts ouverts à nos recherches.

Dans cet article, nous résumons quelques grandes lignes du projet qui nous occupe ici, en tant qu'il concerne les infrastructures de transports et leur interaction avec la dynamique urbaine.

Mais avant cela, rappelons brièvement les grandes lignes de l'aventure du Grand Paris. En septembre 2007, le Président de la République Nicolas Sarkozy a consacré l'idée d'un « nouveau projet d'aménagement global du Grand Paris ». La loi du 3 juin 2010 crée notamment la Société du Grand Paris maître d'ouvrage du projet de transport, qui aura la charge de le concevoir et d'assurer sa réalisation.

Ce projet récapitulera et arbitrera plusieurs idées. Train régional ou métro rapide, il reliera les aéroports Charles de Gaulle et Orly, et dotera la région de boucles qui brasseront la grande périphérie sans négliger le Sud-Ouest et ses centres d'excellence (Palaiseau, Saclay, Versailles). L'affluence journalière globale attendue se comptera dès bientôt en millions de voyageurs.

Cette entreprise résulte d'un bilan dans les domaines économiques, démographiques et urbains :

- la croissance annuelle moyenne du PIB francilien entre 2000 et 2008 est de 2 %, ce qui est faible comparé aux 3-4 % de New York ou Londres. De plus, en dépit d'un dynamisme économique, peu d'emplois sont créés ;
- la croissance démographique francilienne est dans la moyenne nationale au profit d'un solde naturel élevé, mais d'un solde migratoire négatif dû aux nombreux départs vers la province ;
- l'étalement urbain induit par la politique des « villes nouvelles » est important ce qui entraîne une faible desserte en transports en communs, des coûts élevés de congestion routière, de la ségrégation spatiale passive et active, et la baisse de l'emprise réservée aux

terres agricoles. De grandes différences de densité sont observées entre Paris (25 000 habitants/km<sup>2</sup>) et la grande couronne (1 000 habitants/ km<sup>2</sup>), mais l'évolution récente, entre 1990 et 2006, montre une croissance rapide en couronne. Les services publics et les équipements sont mal répartis ;

- de nombreux déplacements banlieue-banlieue, dont beaucoup se font en véhicule particulier<sup>2</sup> y compris pour les aéroports et gares ferroviaires ;
- la nécessité de maîtriser les rejets de gaz à effet de serre.

Ce projet relie huit pôles majeurs de développement franciliens et accompagne leur développement (voir section 4). Sur ces territoires de projet, les gains de population et d'emplois estimés sont respectivement de 1,5 million et 1 million à l'horizon 2030.<sup>3</sup> Cette nouvelle infrastructure permettra d'accroître la mobilité et la desserte en créant des connexions avec l'ensemble des lignes existantes et en renforçant les liaisons banlieue-banlieue. Indirectement, ce projet a aussi vocation à générer un essor économique et urbain, notamment dans les « zones de projet » citées ci-dessus, pour l'instant enclavées pour certaines. Le coût prévisionnel est estimé à quelque 20 milliards d'euros.<sup>4</sup>

Nous décrirons dans cet article comment les modèles intégrés transport-occupation du sol, ou modèles LUTI (*Land Use and Transport Interaction*), peuvent servir à évaluer les effets (local, régional et international) des projets d'infrastructure de transport.

## 2. MODELISATION DES GRANDS SYSTEMES URBAINS

### 2.1. Introduction

La nouvelle vague de modélisation des grands systèmes urbains repose en fait sur une tradition de réflexion théorique dont nous retraçons rapidement les grandes lignes ci-dessous. Ceci n'est pas un historique (traité de manière magistrale par Thisse, 2011), mais permet de reconstituer les chemins qui ont conduit aux modèles visant à décrire les grandes métropoles.

### 2.2. De l'économie agricole à l'économie urbaine

Certains concepts clés ayant conduit à l'économie urbaine ont fait l'objet de travaux publiés dès le début du 20<sup>ème</sup> siècle sur l'organisation de l'espace dans le cadre des exploitations agricoles, et à la distribution des hiérarchies urbaines (von Thünen 1826 ; Lösch, 1940 ; Christaller, 1933). Agronome, von Thünen décrit selon un système d'anneaux concentriques les mécanismes d'allocation des terres aux activités par un processus d'enchères (la terre étant attribuée au plus offrant, dans le cadre de la concurrence parfaite). Économiste, Lösch part d'une plaine isotrope où des entités autosuffisantes maximisent leur accessibilité à certains biens et services, et contemple l'organisation progressive de la circulation des biens, des services et des personnes.

### 2.3. Le modèle monocentrique

On peut associer à Alonso (1964) l'application de ces idées d'enchères et d'optimisation au cadre de l'économie urbaine.<sup>5</sup> Alonso a contribué à mettre sur pied (avec Richard Muth et plus tard Edwin Mills), le modèle monocentrique de la ville, où tous les travailleurs se rendent chaque matin à un lieu de travail unique, désigné comme le *Central Business District* (voir à ce propos la revue de Quigley, 2008). Ce modèle, qui assigne les emplois au centre de la ville, ne décrit donc que les choix résidentiels des ménages. Il reste cependant utile pour comprendre les mécanismes de localisation des ménages et d'étalement urbain (voir les études préliminaire de Chiappori, de Palma et Picard, 2011).

### 2.4. Court terme versus long terme

Des travaux récents ont montré comment l'instauration d'une tarification de cordon, appliquée en Île-de-France peut affecter la structure de la ville, l'étalement urbain et la congestion (de Palma *et al.* 2011). Ils utilisent un modèle monocentrique, avec congestion du trafic automobile. Ce modèle a été ajusté sur les données disponibles en Île-de-France pour expliquer l'étalement urbain. Des études comparables ont été menées sur le court terme (où la résidence des ménages demeure fixée) et long terme (résidence variable). Elles montrent que dans le cas du court terme les effets de la tarification ne sont que la moitié de ce qu'ils sont sur le long terme. Ce chiffre, qui ne constitue qu'un ordre de grandeur, n'en justifie pas moins l'intérêt de prendre en compte les processus de relocalisation des ménages et des entreprises.

La prise en compte des effets de choix politiques majeurs nécessite d'une part la modélisation fine des systèmes de transport, et d'autre part une modélisation de la relocalisation des entreprises (ignorée dans le modèle monocentrique, mais prise en compte dans les modèles polycentriques, plus complexes. Ceci plaide pour les modèles intégrés transport-occupation du sol que nous développons plus loin.

Dans un modèle plus élaboré, on devra prendre en compte les externalités spatiales sur les ménages et les entreprises. Symétriquement, les décisions de mobilité des ménages et des entreprises modifient de fait (et sont affectées par) la valeur des densités et donc des externalités. Ces externalités, difficiles à mesurer (à part en ce qui concerne la congestion) sont largement ignorées de trop nombreux modèles, tant théoriques, qu'appliqués ; mentionnons de Palma *et al.* (2007), qui mesurent les externalités locales et leurs effets sur les choix résidentiels.

### 2.5. La concurrence spatiale, monopolistique et oligopolistique

Les modèles d'économie urbaine ont longtemps ignoré la concurrence de produits différenciés. Celle-ci a pourtant été mise en équation il y a un près d'un siècle par H. Hotelling (1929).<sup>6</sup> Son modèle, très schématique, était uniquement spatial, bien que la plage où se déplacent ses marchands de crème glacée puisse être relue comme une gamme de différenciation entre produits.

La modélisation de la différenciation des produits a trouvé une contrepartie empirique à travers les modèles de choix discrets dont l'estimation est désormais opérationnelle. Cette approche a connu un franc succès dans des applications aux choix de localisation résidentielle. On mentionnera ici les travaux de Ben-Akiva et Lerman (1985), qui ont popularisé les modèles de choix discrets dans le domaine des transports. Parallèlement, les idées de différenciation ont fait leur chemin dans le domaine de l'économie urbaine grâce aux travaux d'Alex Anas. Cette première approche basée sur la différenciation, qui est devenue centrale dans la majorité des modèles appliqués de l'économie urbaine, ignore la concurrence, pourtant au centre du modèle d'Hotelling.



La concurrence oligopolistique entre firmes vendant des produits différenciés et localisées spatialement a été décrite pour la première fois par de Palma *et al.* (1985). Cette approche n'a pas encore, à notre connaissance, été développée dans le cadre de modèles urbains. Néanmoins, ces idées ont trouvé une niche dans un contexte spatial appliqué, celui du commerce international (Fajgelblum *et al.* 2011).

Non que la concurrence soit absente de l'économie urbaine : elle y est entrée en force sous la forme de la concurrence monopolistique (intermédiaire entre la concurrence parfaite et la situation de monopole), introduite par Chamberlin (1933), et analysée par Dixit et Stiglitz (1977). Ces idées ont été reprises par la nouvelle économie géographique.

Cette description prend en compte des entreprises qui n'ont que peu de pouvoir de marché, et se prête bien au cas d'un grand nombre de petites entreprises, mais moins bien au cas de quelques entreprises de grande taille ayant chacune un pouvoir de monopole. La question reste ouverte de savoir si cette approche est utilisable pour décrire la concurrence entre entreprises au sein d'une grande agglomération, telle que Paris, Londres ou New York. Il nous semble que le choix de la concurrence monopolistique revient en un sens à faire trop confiance au marché. Mais ceci reste une question plus empirique que théorique.

Enfin, la concurrence entre grandes agglomérations, souvent oubliée par l'économie urbaine, relève aussi, probablement, de la concurrence imparfaite : il serait excessivement simplificateur de supposer, en effet, que des villes concurrentes telles que Londres et Paris constituent des options homogènes pour des multinationales désirant établir leur siège social.

### **3. L'APPROCHE DES MODELES NON LINEAIRES**

#### **3.1. Introduction**

L'idée de développer des modèles opérationnels pour décrire le phénomène urbain, et plus tard la dynamique urbaine s'est imposée avec l'apparition d'ordinateurs assez puissants. Nous allons mentionner ici quelques éléments essentiels qui nous semblent avoir été quelque peu négligés durant ces dernières années.

Une première tentative de modélisation des formes urbaines a été réalisée par le modèle (statique) Metropolis (Lowry 1964). Cet outil de simulation imbrique deux types d'allocation des espaces : un modèle de localisation des résidences et un modèle de localisation des emplois et des services. Ici la croissance d'une ville dépend de l'expansion de son secteur de base, industriel, qui détermine la répartition des ménages et des emplois induits. Les emplois du secteur de base sont fixes, et en ce sens l'outil est statique.

#### **3.2. Dynamique urbaine**

L'histoire des grands modèles de dynamique urbaine commence officiellement avec les travaux promus par le Club de Rome, et donc avec les modèles de J.W. Forrester, avec le célèbre ouvrage, *Urban Dynamics* paru en 1969. Pour la première fois, on croyait avoir la possibilité de décrire les

systèmes à l'échelle 1/1 (ou presque) et de prendre en compte une complexité inaccessible aux modèles analytiques.

Ces approches se réclamaient des travaux de L. von Bertalanffy et N. Wiener. Très vite, on appela théorie des systèmes qui étudiaient les systèmes d'interactions en termes de « boîtes » et de « flèches » décrivant les processus d'amplification et d'atténuation. L'objet de ces études est de réguler, en introduisant des boucles de rétroaction : les entrées du système sont fonction des valeurs de la sortie. Cette logique de propagation des effets évoque pour l'économiste la dynamique du multiplicateur keynésien. Dans cette perspective, la ville est un grand système non linéaire modélisé sous l'optique de la régulation, de sorte que dans ce cas, le travail de l'urbaniste, de l'ingénieur et du planificateur est de comprendre et d'agir sur les systèmes de régulation. Le but est de gérer au mieux le système complexe et hautement non linéaire qu'est la ville.

### 3.3. Validation

Les données disponibles pour ajuster ce type de modèle ne sont souvent pas assez nombreuses ni assez fines pour garantir le comportement voulu. Ceci fragilise les procédures d'ajustement des paramètres du modèle. Ces procédures seront plus tard partiellement remplacées par l'estimation économétrique, plus complexe. Mais pour le cas qui nous occupe ici, le calage des paramètres, trop nombreux, n'a pas permis d'élaborer des modèles satisfaisants.

### 3.4. Interdisciplinarité

Malgré ces éléments pessimistes, cette première vague de modélisation a été utile, car elle a permis de sortir l'économie et la planification urbaine de leur cadre étroit en leur offrant de se confronter à la réalité. Cette vague de modélisation a offert à ces disciplines des applications s'attaquant de front à la complexité des systèmes urbains. Elle a ainsi joué en un sens un rôle œcuménique.

### 3.5. De la modélisation à la réalité

Néanmoins, ces expertises pleines de promesses n'ont pas répondu aux espoirs que l'on pouvait y mettre initialement : la ville reste un système largement imprédictible et sa gestion continue à tenir plus souvent de la politique pragmatique et de l'expérience que de l'application de conseils et recommandations issus d'une quelconque expertise scientifique. Mais la roue est en marche.

Nous pensons que les raisons de l'échec de cette modélisation systémique sont multiples. Parmi les raisons expliquant l'échec relatif de la théorie des systèmes comme outil permettant de réguler la ville, comme un thermostat régule la température, on retiendra les suivantes :

**Validation.** Les systèmes urbains ne se résument pas à une série d'équations non linéaires traduisant au mieux les comportements qualitatifs en présence. Il faut aussi se baser sur une analyse microscopique de comportements individuels, très hétérogènes par nature : l'analyse des choix individuels. Cette analyse est arrivée un peu tard dans cette première épopée : elle n'a connu un véritable développement que bien après les travaux emblématiques liés au Club de Rome.

En effet, les modèles économétriques de décision ont vécu leurs débuts opérationnels dans les années 80, et ce n'est que depuis les années 90 qu'ils sont passés dans la pratique courante (ils peuvent désormais être estimés très facilement, sans nécessiter de programmation par l'utilisateur, à l'aide de logiciels commerciaux tels que SAS, GAUSS, ALOGIT et STATA, ou gratuits tels que R et BIOGEME).

Ceci ne signifie pas, comme on le verra, que les modèles de choix discrets peuvent servir dans le cadre de modèles urbains complexes. Un long chemin reste à parcourir pour leur pleine intégration.

**Agrégation.** La question de la relation entre comportements individuels et comportements agrégés doit figurer au centre de notre réflexion. Mais elle a été largement éludée par les spécialistes de l'économie régionale et urbaine (Schelling, 1971, constitue une exception notable), contrairement à la pratique dans d'autres branches de l'économie, où les questions d'agrégation ont retenu l'attention des chercheurs, qui s'interrogent sans cesse, par exemple, sur la pertinence de l'individu dit représentatif.

**Éviter l'agrégation.** La réponse de l'économie urbaine a été de plus en plus de passer d'un comportement agrégé quelque peu *ad hoc* (fonctions agrégées de type Cobb-Douglas) à une description individuelle des comportements. Le point de vue de l'économie urbaine est en un sens souvent celui du « *Small is Beautiful* ». Quel monde plus réaliste en effet, pourrait-on croire, que celui où les modèles possèdent autant d'équations que d'agents : ménages (voire individus) et entreprises ? Les modèles de microsimulation, de plus en plus utilisés de nos jours, illustrent cette idée. Par exemple, dans le domaine des transports, il ne s'agit plus de décrire des flux de véhicules identiques, mais d'automobilistes dotés chacun d'objectifs et de vitesses de réaction distribués individuellement. Dans ces modèles, chaque automobiliste réagit en fonction de l'état de son environnement immédiat.

Or, la mise à l'épreuve de ces modèles, en ce qui nous concerne, est de savoir s'ils sont capables de rendre compte de processus macroscopiques, par exemple l'onde de choc se déplaçant à petite vitesse (fonction du temps de réaction et de la distance de sécurité) dans une direction inverse du sens de la circulation. Si un automobiliste arrivé au kilomètre 100 de l'autoroute freine soudain (parce qu'un lapin passe devant lui), observe-t-on sur l'écran du modèle, comme dans la réalité, un front de freinage se propageant vers l'arrière à environ 20 km/h, ce qui correspond à un processus macroscopique ? La réponse à cette question dépend des modèles, et elle est affirmative pour un certain nombre de modèles de microsimulation du trafic automobile. Hélas, d'après nous, cette problématique (qui reste encore à ce jour négligée par les modélisateurs des systèmes urbains) reste sans réponse. Des stratégies clairement définies de validation et de test de tels modèles vis-à-vis de chocs ou de changements politiques drastiques restent à être définies. Nous reviendrons plus tard sur cette question.

L'approche systémique a mis en évidence l'importance des non-linéarités, introduites par les boucles. Néanmoins, il n'est pas suffisant d'avoir réussi à construire un système non linéaire ; encore faut-il savoir analyser ses propriétés et déterminer les comportements à analyser. La question de l'agrégation de préférences hétérogènes dans un système hautement non linéaire reste le défi central des systèmes urbains.

### 3.6. Changement d'échelle : exemple de structuration

Étudier l'agrégation des comportements, c'est décrire les arrangements qui découlent de cette agrégation. Ces arrangements sont-ils voués au désordre ? Non, car la thermodynamique des systèmes soumis à des contraintes de non-équilibre nous a appris que seuls les systèmes isolés sont condamnés à voir leur entropie (on comprendra leur degré de désordre) augmenter. Les systèmes non isolés, en revanche, qui échangent énergie ou matière avec le monde extérieur, peuvent voir leur production interne d'entropie diminuer.

La physique et la chimie nous ont donné de beaux exemples de structures ordonnées émergeant sur base d'interactions locales. Tout le monde a entendu parler de l'expérience de Belousof-Zhabotinsky (voir YouTube), qui met en scène des structures spatio-temporelles macroscopiques, états

instables aux transitions complexes, parfois reliés par des points de bifurcation, et entre lesquels peuvent s'établir des transitions périodiques, voire un chaos chimique macroscopique (voir de Palma et Lefèvre 1983a et Prigogine, 1996).

Les auteurs de ces travaux ont étudié aussi le comportement de colonies de fourmis qui, par millions quelquefois, participent sans le savoir à de gigantesques édifices, dont l'agencement dépasse, et de loin, les capacités cognitives et mémorielles du cerveau de la fourmi. Les embouteillages, les applaudissements cadencés dans une salle de concert, ou les rumeurs ou organisations spontanées coordonnées par Facebook, ne participent-ils pas à ce type de logique ? Bien sûr, ces situations forment des cas extrêmes, des archétypes, qu'il y a lieu de tempérer (voir à ce propos l'approche de Mansour et de Palma, 1984).

### **3.7. Le cas des villes**

Dans le cas des villes, les règles de la thermodynamique des systèmes isolés ne devraient pas s'appliquer, et de fait on n'y observe pas une dérive vers le désordre. Il faut donc modifier l'une des prémisses de notre problème. Le second principe est compatible avec l'apparition de structures ordonnées sous certaines conditions : contraintes de non-équilibre et présence d'interactions décrites par des non-linéarités.<sup>7</sup> Alors, tout comme un système économique qui s'enrichirait constamment sans qu'aucun agent n'apporte de la valeur ajoutée est suspect, toute idée d'une ville qui s'autostructurerait sans que ses échanges avec le monde extérieur soient décrits est suspecte.

Les modélisations axées sur les non-linéarités et les échanges du système avec le monde extérieur ont vu le jour sous le nom de structures dissipatives (c'est-à-dire de structures qui s'auto-organisent ou se structurent en dissipant de l'énergie, au prix d'échanges avec le monde extérieur). Le concept de « structure dissipative » a été introduit par Prigogine de l'École de Bruxelles (voir Nicolis et Prigogine, 1977). Il est proche du concept de « synergie » introduit par Haken (voir Haken 1993 et Weidlich et Haag, 1987). Dans ce nouveau cadre de référence se pose la question essentielle de la stabilité des états de tels systèmes dynamiques. Autrement dit, dans quelle mesure de petites causes peuvent-elles engendrer de grands effets sur ces états macroscopiques ? Est-il, par exemple, possible qu'une réforme de la tarification du stationnement à l'intérieur de Paris, ou une tarification de l'hyper-centre de Paris, ait des effets sur l'ensemble de l'Île-de-France ?

Les études sur le Grand Paris ont ignoré jusqu'ici les conditions de circulation et les mesures d'accompagnement qui devront être mises en place. Or, on peut plaider, comme nous le faisons, que les effets du projet du Grand Paris ne toucheront pas uniquement les zones voisines des nouvelles infrastructures, mais l'ensemble de l'Île-de-France, et au-delà, les régions limitrophes. Penser système, penser interactions locales, mais aussi non locales est désormais possible dans le cadre de l'analyse des systèmes non linéaires et ouverts, régis par une dynamique, encore assez myope, mais qui dépasse de loin les visions statiques et locales des économistes urbains et de leur précurseurs, aussi systémiques se disent-ils.

### **3.8. Auto-organisation**

Bien sûr, les résidents ont la possibilité de choisir l'endroit où ils désirent habiter, mais mis à part les cas d'urbanisations anarchiques, peut-être comme les favelas en Amérique du Sud ou la première ruée vers l'or de la Californie, une série de travaux, de législations et de réglementations encadre ce type de dynamique. Nul ne peut dire que les travaux de Haussmann n'ont joué aucun rôle dans le développement urbain de Paris, encore moins prétendre que si Haussmann n'avait pas existé, les choses se seraient passées de la même façon, la ville étant guidée par des forces de l'Histoire qui dépasseraient nos moyens d'action.

Les dernières vagues de modèles sont ancrées, de manière bien plus sérieuse, sur la double logique des comportements individuels et des comportements collectifs.

L'équilibre entre ces deux niveaux d'interaction est délicat à atteindre et à décrire. Nous décrirons brièvement deux outils, RELU-TRAN et URBANSIM, qui s'opposent sur de nombreux points, tout en étant tous deux orientés vers le même objectif : celui de décrire et si possible prédire la dynamique de grosses agglomérations urbaines.

## 4. CADRAGE DES ETUDES SUR LE GRAND PARIS

### 4.1. Le découpage du Grand Paris

L'un des objectifs du projet du Grand Paris est de réorienter le développement économique de la Région. Une longue tradition de centralisation a concentré sur Paris les organes du pouvoir, polarisant du même geste le centre-ville au détriment de périphéries reléguées au rôle de banlieues de peuplement.

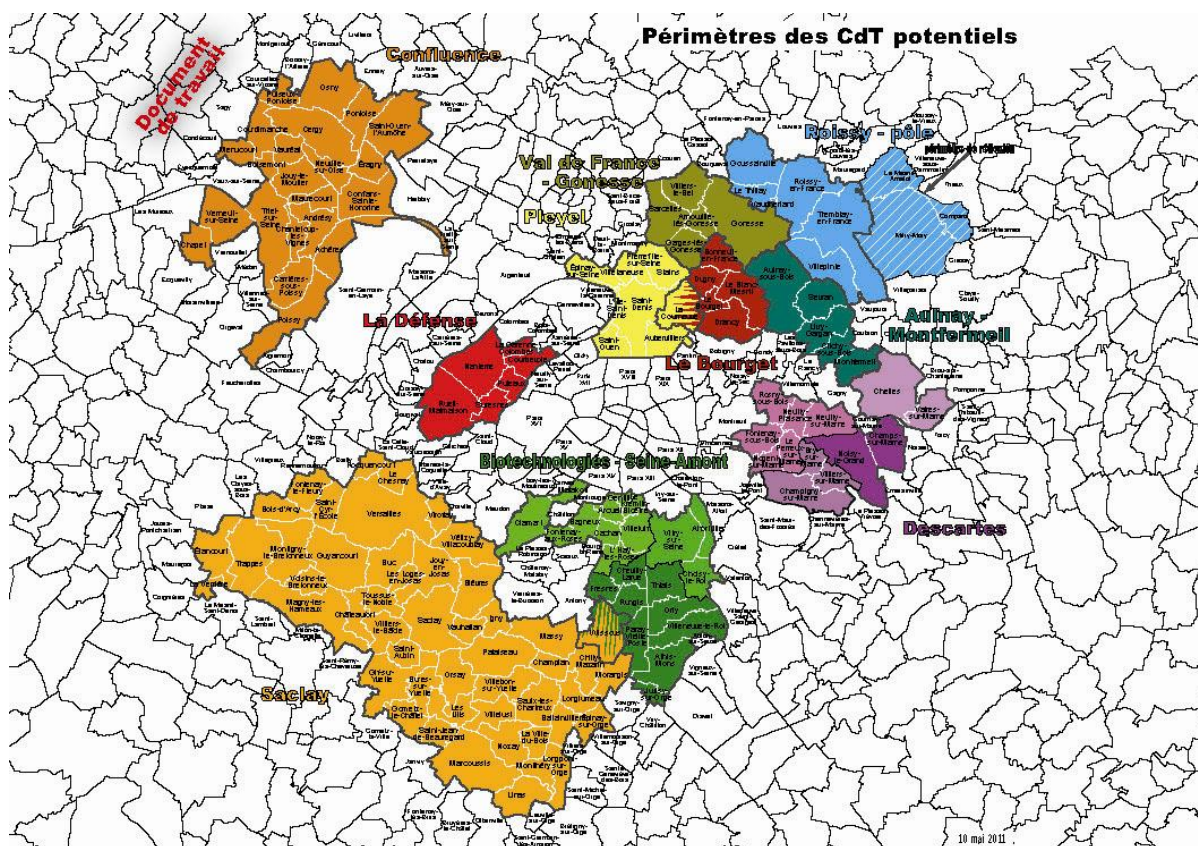
Depuis quelques décennies, la tendance est à la décentralisation. Mais on ne rompt pas en un jour avec une addiction. On ne s'étonnera pas que la planification ambitieuse du milieu du siècle dernier ait parlé de décentralisation industrielle, voire d'industrialisation des campagnes. On comprit bientôt qu'il ne fallait pas seulement parler de régions sous-industrialisées, et qu'il fallait assigner des pôles aux nouvelles cartes à tracer. Les *métropoles d'équilibre*, ainsi qu'on désigna les grandes villes ou conurbations, ont eu à articuler leurs espaces internes et leurs espaces régionaux (Cohen, 2002).

Les expériences des villes nouvelles des années 1960-1980 ont révélé les limites de la politique de développement de bassins de vie. Les pouvoirs publics ont donc décidé de développer des bassins d'emplois et de recherche. Cette décision s'est concrétisée par l'élaboration de pôles de compétitivité, dont certaines fonctions sont désormais reprises par les CDT (Contrats de développement territorial). La Société du Grand Paris a lancé en juin 2011 une première série d'appels d'offres pour évaluer les conséquences socio-économiques du projet du Grand Paris. Une coordination des équipes repose sur une harmonisation des méthodes de travail, et un consensus sur le découpage des zones à étudier. L'Île-de-France comporte 1 300 communes, et les 20 arrondissements parisiens correspondent à de grosses communes au sens large.

UrbanSim peut traiter un ensemble de 1 300 zones (communes), tandis que RELU-TRAN, plus agrégé, modélise idéalement une cinquantaine de zones. Un regroupement de communes en zones agrégées a été proposé par l'équipe de recherche constituant l'un des lots du projet. Il part dans un premier temps des CDT établis en juin 2011. Sont ensuite construits autour de ces CDT des agrégats de communes reposant en gros sur le découpage en arrondissements. Enfin, les communes isolées/enclavées sont affectées à l'une des zones préalablement construites, par défaut l'arrondissement contigu auquel elle est la plus similaire en termes de densité de population et se situant dans le même département ou à un CDT contigu situé dans un même département, lorsqu'il n'y a pas le choix. Le périmètre des CDT a considérablement fluctué au cours du temps, au gré des décisions politiques et administratives, et il n'est probablement pas stabilisé. Le zonage agrégé s'éloigne donc à la marge des périmètres officiels, afin d'assurer une cohérence et une homogénéité

socio-économique au sein de chaque zone, au-delà des clivages politiques et administratifs, ainsi qu'une stabilité de la définition du périmètre des zones.

Figure 1. Périmètres des CDT potentiels



Source : DRIEA.

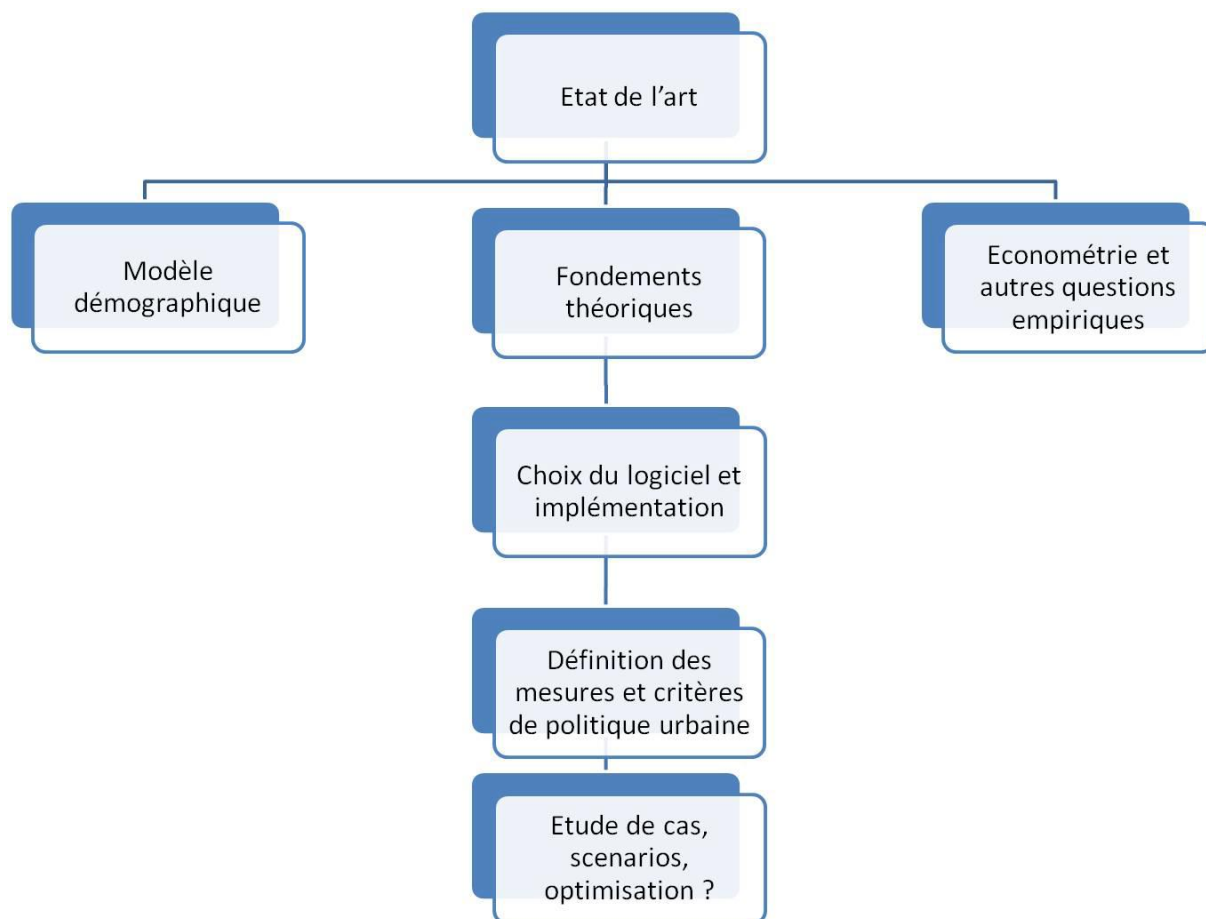
Initialement (en 2009), il y avait sept pôles de développement.<sup>8</sup> Depuis le 29 juin 2011, ils sont au nombre de dix. Il s'agit de : Confluence Seine-Oise, Est de la Seine-Saint-Denis, Est-parisien Cité Descartes, Gonesse Val de France, La Défense, Le Bourget, Plateau de Saclay, Roissy-Villepinte-Tremblay, Saint-Denis Pleyel et Biotechnologies Seine-Aval. .

Le périmètre des dix pôles de compétitivité du Grand Paris intègre 150 communes de la Région Île-de-France (170 en incluant les 20 arrondissements de Paris, la capitale constituant un onzième pôle de développement).

#### 4.2. Organisation des recherches

Il est difficile mais nécessaire de poser un cadre d'analyse aux études sur le Grand Paris. Cette réflexion s'inscrit dans un cadre global qui intègre l'ensemble des composantes présentées sur la Figure 2. Ce cadre, imparfait, permet de placer ces études dans un schéma unique, qui, nous l'espérons, améliorera la réflexion.

Figure 2. Schéma des tâches d'analyse et d'évaluation d'un projet



### 4.3. Les angles d'attaque

**État de l'art.** Les prémisses des modèles opérationnels développés relèvent, de manière plus ou moins explicite, du large corpus théorique de l'économie urbaine, régionale et spatiale, et plus récemment de l'économie géographique (abordé de manière succincte dans la section 3). Trois disciplines doivent idéalement être conjuguées : (1) celle du corpus théorique économique / géographique / des sciences régionales, (2) celle de l'économétrie et (3) celle des ingénieurs et informaticiens spécialisés dans le développement des grands modèles. Une plus grande collaboration entre ces disciplines est nécessaire, afin d'éviter une série d'écueils, dont les extrêmes seraient d'une part le cas d'un modèle théorique sans possibilité de confrontation aux données, et d'autre part, le cas d'un modèle opérationnel, reposant sur des hypothèses *ad hoc*, voire même opaques (et donc ne laissant pas de place à la discussion), et ne produisant aucune mesure recoupant les préoccupations du théoricien.

**Entrepôts de données.** Comme l'approche quantitative est privilégiée ici, les analyses sont tributaires de données : transport, population et tendances démographiques, emploi, occupation du sol

et prix du terrain. On sait que trop souvent l'accès et le partage des données constituent une cause de blocage dans la modélisation.

**Prise en compte du long terme.** Les études effectuées pour prendre en compte l'impact de grandes infrastructures se situent sur un horizon de 10, 30 voire 50 ans. Les prévisions à long terme jouent donc ici un rôle essentiel. Il s'agit principalement :

- des évolutions économiques en terme de croissance (données extrapolées ou non au fil de l'eau), mais aussi évolution des préférences : comment décrire *ex ante* l'engouement des consommateurs pour les véhicules utilitaires ?
- de l'évolution de la technologie. Par exemple, quelles seront les conséquences des nouvelles technologies de l'information et de la communication sur les conditions de travail, la mobilité et les économies d'agglomération ?
- des évolutions démographiques, en particulier, par le truchement de modèles de microsimulation sur une période longue (de 30 à 50 ans), mis au point par l'Institut National d'Études Démographiques, qui a une compétence acquise et démontrée sur ces matières. Prendre en compte le long terme nécessite aussi de posséder des prédictions des taux de croissance économique, d'emploi, de chômage, etc. Dans les deux cas, les prédictions doivent idéalement fournir différents scénarios qui jouent le rôle d'intrants pour le modélisateur. Ces intrants seront fournis par la SGP après collecte auprès des institutions compétentes.

**Variable endogène vs variable exogène.** Une question cruciale est celle du caractère endogène ou exogène des variables. Les études sur le Grand Paris vont retenir l'idée que la croissance démographique de l'Île-de-France est exogène au développement économique. Or, ce n'est que partiellement le cas. En fait, une série de décisions de nature démographique sont liées à l'économie : les mariages, les divorces, les naissances et la participation des femmes au marché du travail peuvent dépendre des conditions de logement et de mobilité. De plus, l'immigration (vers) et l'émigration (hors de) l'Île-de-France dépendent de la santé économique de la Région. Ces boucles de rétroaction sont complexes, et il n'est pas certain qu'elles puissent être intégrées dans un proche avenir à un niveau spatial fin dans les modèles démographiques.

**Choix de logiciels.** Aucun logiciel ne peut tout faire, mais heureusement les outils sont complémentaires. En ce qui concerne les modèles de transport et d'occupation du sol, deux outils ont été retenus jusqu'ici pour le Grand Paris :

- RELU-TRAN, développé par Alex Anas (voir Anas et Liu, 2007) est un modèle d'équilibre général (pour une introduction aux modèles d'équilibre général, nous référons le lecteur à Bocker et Mercenier, 2011), qui travaille de manière semi-agrégée (50 zones et plusieurs centaines de nœuds dans le réseau de transport pour le cas de l'Île-de-France).
- URBANSIM(E), développé dans le cadre du projet européen SustainCity, constitue la version européenne d'URBANSIM (voir Waddell, 2007 et Borning, Waddell et Forster, 2008). Il s'agit d'un modèle de microsimulation, décrivant les comportements des agents (ménages et entreprises), les prix du terrain et les modes d'usage du sol.

Les deux modèles adoptent des positions extrêmes en ce qui concerne la dynamique : RELU-TRAN suppose que le système est à l'équilibre, tandis qu'URBANSIM(E) considère un processus d'ajustement d'année en année qui ne modélise pas explicitement l'anticipation des agents.



## Définition des critères de politique urbaine

Puisque ces modèles ne nous donnent pas de perception du futur à proprement parler, il reste à définir les bons usages qu'il est possible d'en faire. On peut en distinguer trois types (de Palma, 2009), qui ont chacun leurs vertus.

Un premier type de bon usage consiste à calculer, c'est l'extrapolation. Elle part du principe qu'il est prudent de penser que les états futurs prolongent les tendances que nous déchiffrons plus ou moins bien dans le passé récent. Les investissements d'infrastructures reposent donc souvent sur des évaluations effectuées au fil de l'eau, sur base d'extrapolations log-linéaires du taux de croissance de la population et de la demande, par exemple. Que se passe-t-il au vrai ? Tel est son problème.

Un deuxième type de bon usage consiste à choisir des objectifs. Il se veut résolument volontariste et interventionniste. On part ici du futur : des buts ont été assignés, et il s'agit de savoir comment naviguer, c'est-à-dire comment mobiliser des ressources pour les atteindre. Par exemple, choisir de gérer la mobilité en se basant sur le parti pris de diviser par un facteur 4 les émissions de gaz à effet de serre relève de la gestion par objectifs. Que dois-je faire de bien ? Tel est son impératif.

Un troisième type de bon usage consiste à tenter d'évaluer la sensibilité locale et globale des outils que l'on s'est donné. Il sera attentif à leur élasticité aux modifications des paramètres de contrôle, mais aussi aux paramètres exogènes. Dans sa version la plus simple, il s'agit d'un simple exercice de statique comparative. Mais si l'on retient que les systèmes urbains sont vraiment non linéaires, nous savons donc, sans pouvoir en rien conclure, que de petites causes peuvent produire de grands effets, et que des changements de régime peuvent se produire. Que puis-je éprouver des choses ? Telle est sa quête.

## Étude de cas et scénarios

Toutes ces considérations intéressent les preneurs de décision si elles sont présentées convenablement. Les critères d'évaluation sont multiples. Trop souvent, ils sont centrés sur des mesures physiques (niveau de congestion, niveau de pollution, densité urbaine).

- Ces grandeurs gagnent à être monétarisées. Bien évidemment, on retrouve le conflit habituel entre les valeurs monétaires basées sur l'économétrie et celle basée sur des Directives, moins précises, mais aussi moins sujettes aux manipulations (il s'agit des taux d'actualisation préconisés ou des valeurs tutélaires du temps, par exemple). Des index combinant ces grandeurs sont plus parlants.
- Ces grandeurs gagnent aussi à se combiner dans des index. Ainsi, l'accessibilité joue un rôle essentiel dans l'évaluation des infrastructures (voir Poulit, 1974 et Weibull, 1980).
- Des mesures agrégées sont possibles et désirables. Elles ne sont pas neutres. En effet la fonction de bien-être social, qui stipule comment les différentes valeurs de variables peuvent être additionnées, est déterminée par l'importance que le modélisateur désire accorder aux différents agents et acteurs de la ville.
- Enfin, et sans que notre discussion soit exhaustive, il est essentiel d'analyser l'équité (verticale mais surtout horizontale, c'est-à-dire spatiale) souvent oubliée ou mal définie. Cette dimension est examinée dans Trannoy (2011) dans le cadre de l'analyse coût-bénéfice. Cette discussion prend des orientations différentes selon que des transferts entre agents sont

ou non possibles. Trannoy considère des mesures qui prennent en compte les questions d'équité en fonction du partage des bénéfices et des coûts de l'infrastructure.

Divers critères d'évaluation sont concevables, y compris des règles basées sur le maximum du coût minimal d'accès aux services (critère min-max). Comme souvent, il n'est pas difficile de construire des exemples pour lesquels la localisation équitable d'un service public est aussi totalement inefficace : efficacité et équité ne vont pas de pair.

#### 4.4. Le traitement de l'incertitude

Les sources d'incertitude au moment de modéliser un projet comme celui du Grand Paris sont nombreuses, ce qui soulève les questions suivantes :

- A quel niveau doit-on introduire des termes d'erreurs, et comment les spécifier, afin d'accorder au mieux la structure des modèles utilisés à la réalité analysée ?
- Les valeurs des paramètres sont-elles cohérentes dans les différents modules d'un modèle intégré ?
- La connaissance du présent est-elle adaptée ?
- Quelles sont les erreurs dans les projections des états de référence ?

Les biais inhérents à la modélisation peuvent être abordés en effectuant une étude comparative des résultats de plusieurs modèles, en comparant différents scénarios, en simulant des événements qualitativement différents, ou en reconnaissant explicitement l'existence d'une incertitude, que l'on devra prendre en compte dans les analyses.

Enfin, il existe de très nombreuses situations pour lesquelles le modélisateur ne peut attacher de probabilités aux événements. On parle alors d'incertitude. Ceci ne signifie pas qu'aucune modélisation n'est possible, comme nous le verrons ci-dessous.

Précisons le sens de ces différents traitements de l'incertitude. Présentons tout d'abord l'apport des scénarios. Chaque scénario caractérise une situation jugée comme probable. La construction de scénarios cohérents reste toujours délicate, mais une discussion avec les praticiens permet de mieux envisager l'ensemble des configurations possibles. Une deuxième manière de prendre en compte le caractère non déterministe du futur est de simuler des événements. Il s'agit dans ce cas de recourir à des méthodes de simulation de type Monte Carlo. Il importe alors de tenir compte des corrélations entre les événements futurs. En effet, ces corrélations sont fondamentales pour obtenir des scénarios réalistes. Dans ce cas, le futur se présente comme un ensemble de trajectoires possibles (quelques centaines de milliers de simulations sont nécessaires pour obtenir des résultats significatifs dont il faudra extraire les informations pertinentes sur la base d'indicateurs).

En présence d'incertitude, on peut aussi utiliser des critères de types min-max, ou de regret minimal.

Quelle que soit sa nature, un regard critique doit être apporté sur le traitement de cette incertitude. *A priori*, il est nécessaire d'être à même d'obtenir une valeur modélisée « la plus probable » pour laquelle ces incertitudes se traduisent par des fourchettes basses et hautes associées aux résultats obtenus (voir l'exemple présenté au Tableau 1).

Tableau 1. **Forme schématique des résultats de la modélisation**

	Fourchette basse	Valeur la plus probable	Fourchette haute
Accessibilité			
Effets d'agglomération			
Dynamique propre			

Des indices plus élaborés peuvent mieux représenter le risque. Ces notions sont la « *Value at Risk* » ou la « *Conditional Value at Risk* », qui demandent le calcul de la distribution des taux de rendement d'une infrastructure. Notons qu'en présence de risque ou d'incertitude, des notions de base telles que le Taux de Rendement Interne sont moins à même de rester opérationnelles en présence de fluctuations importantes.

En présence de fluctuations, il y a lieu de s'interroger sur le biais que peut introduire la vision « moyennée » des résultats. A titre d'exemple, prenons ici le cas d'une fonction de la LogSum, notée ici  $\Omega(C)$ , qui dépend du vecteur des coûts de transport  $C$ . De nombreuses études utilisent le coût moyen, sans rendre compte de l'amplitude ou de la valeur des biais ainsi générés.

Il est pourtant facile de montrer que l'utilisation de la LogSum, dans le cas où les coûts sont aléatoires va introduire un biais positif, c'est-à-dire que :

$$E(\Omega(C)) > \Omega(E(C))$$

Cette inégalité résulte de l'inégalité de Jensen et du fait que la LogSum est une fonction convexe des coûts. En d'autres mots, les accessibilités sont sous-estimées lorsque l'on remplace dans les formules d'accessibilité, les coûts stochastiques par les coûts moyens.

En résumé, pour intégrer l'incertitude de façon cohérente, il est souhaitable d'identifier les sources d'incertitude au cours de la démarche de modélisation, et de présenter les résultats avec des intervalles de confiance ; d'adapter les indicateurs de résultats à l'importance de la variabilité des mesures ; de contrôler le sens et l'amplitude du biais introduit lorsque l'on remplace des variables déterministes par les valeurs moyennes de variables aléatoires.

Notons pour terminer que la description déterministe peut, sous certaines conditions, n'avoir aucun sens (cf. Mansour et de Palma, 1984). Ces auteurs montrent qu'en prenant la version stochastique d'un processus déterministe, on peut obtenir une distribution de probabilité, dont les valeurs les moins probables correspondent à la solution du problème déterministe. La portée des interactions détermine ces conditions.

#### 4.5. Effets de proximité

On discernera trois types d'effet de proximité.

- (1) La rentabilité des entreprises dépend de la plus ou moins grande proximité de la main-d'œuvre. De fait, la théorie microéconomique suggère que les salaires devraient être ajustés au coût de transport de la main-d'œuvre.

- (2) La productivité des entreprises diminue avec la proximité des autres entreprises de la même catégorie, étant donnée la concurrence en prix.
- (3) Les entreprises ont souvent tendance néanmoins à choisir des localisations proches. Les retombées technologiques dépendent de la proximité spatiale : l'échange d'information est en pratique fortement affecté par la proximité spatiale. Il s'agit dans ce cas de forces d'agglomération.

Nous verrons ci-dessous comment ces idées ont été prises en compte dans les modèles intégrés transport-occupation du sol, ou modèle LUTI (*Land Use and Transport Interaction*). Cette liste reste incomplète tant que les effets d'agglomération ne sont pas pris en compte.

## 5. LES EFFETS D'AGGLOMERATION

### 5.1. Introduction

Les villes se forment en conjuguant deux types de forces : les effets d'agglomération et les effets de « dés-agglomération ». Les effets de dés-agglomération sont simples à décrire et à quantifier. Ils répondent à des externalités négatives générées par des niveaux de congestion élevés associée à la pollution locale, au bruit et aux accidents. Ces effets sont pris en compte dans les modèles de transport existants. Leurs prises en compte dans les choix de mobilité et de résidence posent des questions économétriques difficiles mais solubles.

La situation est, remarquablement, plus complexe lorsque l'on parle des effets d'agglomération, qui répondent à des externalités positives. Les effets d'agglomération correspondent à une augmentation de la productivité (ou une diminution des coûts) des entreprises en fonction de la concentration des agents (voir par exemple Anas, Arnott, et Small, 1998). Ces effets, réels, sont mal définis. Ils se cachent souvent derrière les bénéfices du face-à-face (qu'il sera difficile d'expliquer aux générations Internet, voire des téléconférences). On peut demander pourquoi cette Table Ronde à laquelle l'OCDE nous accueille ne pouvait-elle pas s'organiser en échangeant des articles à faire annoter ? Prenons-y garde : ce sera peut-être le cas dans une dizaine d'années.

Le fait acquis de l'existence de pôles de développement d'entreprises innovantes suggère par ailleurs que ces entreprises ont intérêt à se localiser dans un voisinage commun. C'est le cas du *Research triangle* en Caroline du Nord, qui accueille les nanotechnologies, de la *Massachusetts Route 128*, près de Boston, et de la *Silicon Valley* dans la Baie de San Francisco. Le développement de ces trois pôles et leur effets régionaux induits ont été rendus possibles par la proximité géographique et les synergies locales : comment, par exemple, lever des fonds et trouver des *business angels*, si les jeunes entrepreneurs n'ont pas la possibilité d'exposer leurs idées de vive voix ? Les mêmes employés possèdent des besoins semblables en termes d'horaires, d'écoles, etc., ce qui induit des forces d'agglomération. Bien sûr l'Internet permet d'envoyer des mails dans toutes les régions du monde au même prix, mais il n'en reste pas moins que beaucoup d'emails sont envoyés à proximité. L'espace induit l'organisation des activités économiques. Et si les masses locales à leur tour infléchissent les distances spatiales, cet effet confirme, et ne contredit pas, le rôle critique de la localité.

Ces pôles, que l'on retrouve dans le Grand Paris, n'auront tout leur sens que s'ils induisent un développement régional ; à l'inverse, les densités régionales et urbaines voisines encouragent le développement des pôles. Le Grand Paris met en scène une équation compliquée reliant accessibilité, développement urbain et pôles technologiques.<sup>9</sup>

## 5.2. Estimations empiriques

Si  $P$  est la productivité et  $C$  la concentration urbaine (souvent associée à des densités), alors l'élasticité de la productivité par rapport à la concentration urbaine est :

$$\epsilon = \frac{\frac{\Delta P}{P}}{\frac{\Delta C}{C}}$$

Cette élasticité est le rapport entre la variation de la productivité et celle de la concentration urbaine. Si cette élasticité est positive, cela traduit des effets d'agglomération. Bien sûr, cette formule ne spécifie pas pourquoi ces effets d'agglomération se produisent (via le face-à-face, la mise en commun de connaissances, l'espionnage, les retombées technologique, etc.).

Le Tableau 2 recense des résultats de la littérature relatifs aux plages des valeurs pour les effets d'agglomération.

Cependant, des études récentes ont montré que les élasticités ont souvent été surestimées : le gain de productivité observé en milieu urbain, attribué aux effets d'agglomération, peut être dû au fait que les travailleurs plus qualifiés sont davantage attirés par les aires urbaines denses.

Tableau 2. Valeur des effets d'agglomération : recensé des études

Auteur(s)	Pays	Année	Secteur	Élasticité
Ciccone et Hall (1996)	USA	1996	Manufacturier	6 %
Ciccone (2002)	France, UK, Allemagne, Italie et Espagne	2002	Agrégé	4.5 %
Rice <i>et al.</i> (2006)	UK	2006	Agrégé	3.5 %
Henderson (2005)	USA	2003	Agrégé	[1.2 % ; 13.5 %]
Combes <i>et al.</i> (2009)	France	1860, 1930 et 2000	Agriculture	resp. 10 %, 10 % et -5 %
			Industrie	resp. 18 %, 11 % et 11 %
			Service	resp 3 %, 11 % et 9 %

Cette hypothèse a été testée par De La Roca et Puga (2010) qui ont montré que si l'on fixe l'effet travailleur (en contrôlant le niveau de compétences des individus), l'élasticité de la productivité à la densité est plus faible (Tableau 3).

Tableau 3. Valeur des effets d'agglomération avec et sans effets fixe

Auteur(s)	Pays	Élasticité sans effet fixe	Élasticité avec effet fixe	Diminution due à l'introduction de l'effet fixe
Combes <i>et al.</i> (2009)	France	5 %	3.25 %	- 35 %
Mion et Naticchioni (2009)	Italie	2 %	0.66 %	- 67 %
De La Roca et Puga (2010)	Espagne	5.1 %	2.5 %	-51 %

Ces auteurs ont aussi discuté les gains de productivité en fonction du temps et de l'historique des localisations. Ils concluent qu'une partie des effets imputés à la localisation résulte d'un effet d'apprentissage, comme le montre la croissance continue des gains liés à la compétence. Ils montrent aussi que ces bénéfices sont en partie mobiles géographiquement, comme en témoigne le décrochage partiel des salaires : par exemple, baisse pour le travailleur allant de Madrid à Santiago, son salaire restant supérieur à celui des travailleurs de Santiago).

### 5.3. Effets d'agglomération dans les modèles LUTI

→RELU-TRAN. D'après Alex Anas<sup>10</sup> les effets d'agglomération sont présents sous trois formes dans RELU-TRANS. La concentration des activités des agents (entreprises ou ménages) est déterminée par l'hétérogénéité spatiale (par exemple inhomogénéités inhérentes aux réseaux de transport) ; par l'interdépendance entre les agents économiques (tributaires des coûts de transport, qui croissent avec la distance) ; et par les synergies positives entre agents (ménages et entreprises bénéficiant, par exemple, d'économies d'échelles plus fortes s'ils servent de plus grands marchés).

→UrbanSim(E). Les effets d'agglomération peuvent être pris en compte dans UrbanSim(E) dans les sous-modèles de localisation des ménages et des entreprises.

Pour les ménages, l'analyse économétrique montre que les critères de localisation résidentielle dépendent des aménités, mais aussi des densités de population. L'analyse des données montre que les ménages sont sensibles aux densités locales, mais aussi à la composition de la population. Ceci implique que ces modèles peuvent potentiellement produire des dynamiques non linéaires (voir section 3) et des bifurcations. En se basant sur l'approche des chaînes de Markov interactives, de Palma et Lefèvre (1983a et 1983b) ont étudié, dans le cadre d'un modèle théorique de choix discrets, l'impact d'externalités positives et négatives. La prise en compte des effets d'agglomération pour les entreprises est possible dans UrbanSim(E), mais n'a pas encore effectuée.

## 6. PRECAUTIONS ECONOMETRIQUES<sup>11</sup>

### 6.1. Modèle Logit Multinomial et échantillonnage des alternatives

Pour estimer les modèles de localisation des agents (ménages ou entreprises), on utilise souvent un modèle de type Logit Multinomial (voir Ben-Akiva et Lerman, 1985 et Anderson, de Palma et Thisse, 1992). Selon ce modèle, la probabilité que l'agent  $i$  se localise dans la zone  $j$ , offrant les aménités locales  $Z_j$  est donnée par la formule suivante :

$$P_j^i = \frac{e^{Z_j \beta_i}}{\sum_{j' \in \mathcal{J}} Z_{j'} \beta_i},$$

où  $\beta_i$  est un vecteur de paramètres correspondant aux utilités marginales des aménités locales (préférences spécifiques au ménage  $i$ ). Ce vecteur peut dépendre des caractéristiques  $X_i$  du ménage pour traduire l'hétérogénéité observable des préférences ; il peut comporter des termes aléatoires correspondant à l'hétérogénéité non observable des préférences. Dans ce dernier cas, on parle de mélanges de modèles Logit polytomiques, dont les modèles à coefficients aléatoires sont parmi les plus pratiqués.

Idéalement, les aménités locales sont mesurées à un niveau géographique fin, correspondant à la commune, à l'IRIS<sup>12</sup> ou au quartier. On est parfois alors confronté à un nombre  $J$  d'options trop élevé pour pouvoir estimer le modèle décrit par la formule du Modèle Logit Multinomial. Ce problème peut aisément être contourné grâce à la technique d'échantillonnage des options : on tire aléatoirement un petit ensemble  $\mathcal{S}_i$  de zones (typiquement une dizaine) et pour chaque ménage  $i$  on estime les probabilités pour cet sous-ensemble d'option :

$$\tilde{P}_j^i(\mathcal{S}_i) = \frac{e^{Z_j \gamma_i}}{\sum_{j' \in \mathcal{S}_i} Z_{j'} \gamma_i}.$$

Cette procédure est à la fois réaliste d'un point de vue comportemental, et maniable d'un point de vue économétrique. Sous l'hypothèse d'indépendance aux alternatives non pertinentes (*Independence of Irrelevant Alternatives*, ou IIA), les paramètres  $\gamma_i$  estimés avec échantillonnage des options sont des estimateurs sans biais des paramètres  $\beta_i$  correspondant au cas où l'ensemble de choix de chaque ménage est universel.

Lorsque le nombre de logements est inégal d'une zone à l'autre, il convient d'ajouter à la liste des aménités locales un terme correcteur correspondant à l'effet taille,  $\log(N_j)$ , où  $N_j$  représente le nombre de logements dans la zone  $j$ . En effet, si l'on néglige les caractéristiques propres des logements, généralement non observables, les logements d'une même zone peuvent être considérés comme semblables (d'où l'intérêt de choisir des zones suffisamment petites). Dans ce cas, tous les logements de la zone  $j$  ont la même probabilité d'être choisis par un ménage  $i$  donné. En notant  $\bar{P}_k^i$  la probabilité que le ménage  $i$  choisisse un logement  $k$  situé dans la zone  $j$  (les aménités locales valent donc  $Z_k=Z_j$ ) vaut :

$$\sum_{k \in j} \bar{P}_k^i = \sum_{k \in j} \frac{e^{Z_k \beta_i}}{\sum_{j' \in \mathcal{J}} \sum_{k' \in j'} e^{Z_{k'} \beta_i}} = N_j \frac{e^{Z_j \beta_i}}{\sum_{j' \in \mathcal{J}} N_{j'} e^{Z_{j'} \beta_i}} = \frac{e^{Z_j \beta_i + \log(N_j)}}{\sum_{j' \in \mathcal{J}} e^{Z_{j'} \beta_i + \log(N_{j'})}}.$$

Dans l'expression ci-dessus, le coefficient de  $\log(N_j)$  est égal à l'unité, mais cette contrainte disparaît lorsque l'on normalise la variance des résidus à  $\pi^2/6$ , comme cela est de coutume dans le modèle logit multinomial. Par ailleurs, les ménages peuvent avoir des préférences pour la taille de la zone, mesurée par  $\log(N_j)$ , ce qui constitue une raison supplémentaire pour ne pas normaliser à un le coefficient de  $\log(N_j)$ .

Lorsque les logements sont inégalement répartis d'une zone à l'autre et que l'on souhaite effectuer un tirage aléatoire des options, l'efficacité des estimations peut être améliorée par la technique d'échantillonnage proportionnel (*importance sampling*), qui consiste à effectuer un tirage des options avec une probabilité proportionnelle à  $N_j$ .

## 6.2. Modèle Logit emboîté

L'hypothèse IIA est généralement sujette à caution dans un modèle de localisation. Elle revient à supposer que, si une zone qui avait 10 % de chances d'être choisie par le ménage  $i$  devient inaccessible, alors la probabilité de chacune des autres zones augmente de façon égale. Mais on sait que certaines zones sont plus substituables entre elles que d'autres et que, lorsqu'une zone devient inaccessible à un ménage donné, la probabilité qu'il se localise dans une autre zone augmente plus que proportionnellement pour les zones qui lui sont plus substituables et moins que proportionnellement pour les zones qui lui sont moins substituables. Une solution simple consiste à construire un modèle Logit emboîté où ce ménage choisit un quartier d'une commune dans une zone : si ce quartier s'avère inaccessible, le choix se reporte sur un autre quartier de la même commune, etc. L'observation montre qu'en cas de déménagement, les ménages ont une forte tendance à rester dans le même département (voir de Lapparent, de Palma et Picard, 2011).

## 6.3. Endogénéité des prix dans un modèle de localisation

L'augmentation de la demande locale de logements stimule la montée des prix de l'immobilier. Inversement, toutes choses égales par ailleurs, l'augmentation du prix local de l'immobilier fait baisser la demande locale de logement. Lorsque l'on souhaite estimer l'élasticité-prix de la demande de logement, on est donc naturellement confronté au problème d'endogénéité du prix de l'immobilier.

En présence d'endogénéité, une solution simple consiste à recourir à des instruments, ici des variables qui influencent les prix de l'immobilier, mais n'ont pas d'effet direct sur la demande à prix de l'immobilier fixé. Or, toutes les aménités locales vont forcément influencer à la fois le prix de



l'immobilier et la demande de logement à prix de l'immobilier fixé. Il est donc délicat de trouver un instrument dans ce contexte. Dans le cas où les logements et les bureaux sont en concurrence imparfaite pour l'occupation du sol, on peut penser que la fiscalité locale appliquée aux entreprises (mais pas aux ménages) est une source potentielle de tels instruments. Dans le cas de l'Île-de-France, le taux et la base de la taxe professionnelle se sont avérées de bons instruments pour corriger l'endogénéité des prix dans un modèle de localisation résidentielle.

## 7. CONCLUSIONS

Le champ de la recherche sur les dimensions économiques et sociales du Grand Paris est désormais ouvert. Les premiers résultats des modèles LUTI sont attendus dans les prochains mois. Il sera intéressant de comparer ces résultats avec ceux obtenus pour d'autres grandes Métropoles comparables comme Londres, Moscou, New York, Tokyo, ou Beijing. Les grandes lignes du projet étant définies et votées, il reste surtout à trouver les leviers pour faire de cette aventure un parcours marqué de surprises et de rencontres favorables.

La diversité des acteurs mobilisés par cette idée dont le temps est venu inspire quelques idées optimistes, ou, à défaut, mystiques.

On sait que parmi les mots forts qui mobilisent les discussions citoyennes figure un mot qui pourrait sembler venu tout droit de la thermodynamique, encore un : *La densité se mesure, l'intensité se ressent*. Si la mixité sociale, l'accès au logement et au travail, la lisibilité des paysages urbains demeurent des perspectives ouvertes aux revendications, c'est que nous avons la chance d'habiter un coin de pays riche de ses puissances diverses et variées, et où il ne sera pas vrai qu'il n'y en ait pas pour tout le monde.

Pour être ouverts à ces futuribles, reprenons pour conclure nos trois règles du bon usage. Les auditeurs attentifs auront malheureusement compris qu'elles ne nous donnent guère le choix qu'entre la canne de la promenade aléatoire de l'aveugle au bord de l'eau, les somptueuses perspectives du maremagnum de la destinée que se donne le plongeur, ou l'orteil précautionneux, voire méfiant, du voyageur soucieux d'épier les autres baigneurs.

En période d'instabilité, soumis comme tout un chacun, politique, gestionnaire ou entrepreneur, à des contraintes fortes de non-équilibre, le chercheur, à défaut de s'en remettre aux signes des astres qu'il croit lire, ou d'écouter les appels de la destinée qu'il se donne, tentera de prendre le vent.

Le psalmiste, qui s'y connaît en traces sur le sable et en destinées grandioses, sait se taire devant les futurs indéchiffrables et trompeurs :

*Par la mer ton chemin, tes sentiers par les grandes eaux.  
Et tes traces, nul ne les connut.*

Pas plus pour le passé, que nous tentons de déchiffrer, que pour le futur, que nous tentons de construire, nous ne sommes assurés de savoir où et comment nos tentatives rencontrent la réalité des

processus collectifs. Cette dure conclusion s'impose à chaque fois que nous déposons les résultats d'un calcul.

## NOTES

1. Nous remercions la Société du Grand Paris et le Forum International des Transports de me donner le privilège de partager ces quelques réflexions avec ses participants. Nous tenons aussi à remercier les participants aux réunions organisées dans le cadre du Grand Paris, le 15 et 25 mars, 2011. En particulier, je tiens à remercier C. Barbe (SGP), J.-J. Becker (CGDD), J.-V. Bonifas (SGP), G. Charasse (SGP), M. Gaudry, V. Gollain (ARD), P.-A. Jeanneney (SGP), C. Lecomte (CGEDD), S. Marchand (INSEE), F. Maurel (CGDD), A. Missoffe (SGP), J.-P. Ourliac (CGEDD), J. Poulit (DHUP), E. Quinet (ENPC), A. Sauvart (RFF), J. Senèze (SGP) et K. Van Dender (OCDE). Enfin, j'ai aussi bénéficié des commentaires J.-C. Prager (SGP) et de J.-F. Thisse (UCL), ainsi que des suggestions de N. Picard (UCP) et de S. Pahaut (ULB). Une partie des éléments de ce présent document est discuté dans Beaudé et de Palma (2011). Guillaume Monchambert a contribué à la section sur les économies d'agglomération. Les chercheurs engagés sur ces projets et moi-même avons bénéficié de nombreuses discussions constructives avec Matthieu de Lapparent, qui a de plus trouvé le temps de relire et commenter ce manuscrit. Stephen Perkins et Kurt Van Dender nous ont permis d'améliorer le texte.
2. Ils représentent 70 % des déplacements motorisés en Île-de-France. Par ailleurs, la part modale des transports en commun est de 64 % à Paris intra muros, contre seulement 23 % et 10 % en petite et grande couronne respectivement.
3. Selon l'INSEE, indépendamment de ce projet, un million de personnes supplémentaires habiteraient en Île-de-France en 2030 si les tendances démographiques et migratoires récentes se poursuivaient (Leon, 2006).
4. Pour le projet Arc Express (tracé de 60 kilomètres), le coût estimé est de 5 milliards d'euros pour les tronçons prioritaires (Nord et Sud) et de 6 milliards pour l'ensemble de la rocade.
5. On notera que ce type de mécanisme d'enchère est au centre du modèle d'équilibre général urbain, MUSSA (ce mécanisme est expliqué par Martinez, 1996).
6. Voir néanmoins la note historique de Dos Santos et Thisse (1996) sur W. Launhardt en 1885, prédécesseur d'Hotelling.
7. Pierre Mongin, l'un des acteurs du Grand Paris, insistait récemment sur le fait qu'il était essentiel de modéliser la ville comme un système ouvert.
8. [http://www.wmaker.net/grandparis/Les-7-poles-de-developpement-du-Grand-Paris\\_a277.html](http://www.wmaker.net/grandparis/Les-7-poles-de-developpement-du-Grand-Paris_a277.html).

9. Voir aussi les articles de la Table Ronde 140, Bénéfices économiques élargis du secteur des transports, en particulier l'article de D. J. Graham et celui de G. Weisbrod et de B. Alstadt : <http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/08rt140F.pdf>.
10. Source : transparents préparés par Alex Anas pour le Grand Paris en 2011 : A Regional Economy, Land Use and Transportation Model, RELU-TRAN.
11. Le lecteur moins familier avec les questions techniques peut passer directement à la dernière section.
12. Il y a 1 300 communes et 5 200 IRIS en Île-de-France.

## RÉFÉRENCES

- Anas, A., R. J. Arnott et K. Small, 1998, Urban Spatial Structure, *Journal of Economic Literature*, 36, 1426-1464.
- Anas, A. et Y. Liu, 2007, A regional economy, land use, and transportation model (RELU-TRAN): formulation, algorithm design and testing. *Journal of Regional Science*, 47(3), 415–455.
- Anderson, S., A. de Palma et J.-F. Thisse, 1992, *A Discrete Choice Theory of Product Differentiation*, The MIT Press: Cambridge.
- Batty, M., 2008, Fifty years of Urban Modelling: Macro-Statics to Micro-Dynamics, dans S. Albeverio, D. Andrey, P. Giordano, and A. Vancheri, Eds, *The Dynamics of Complex Urban Systems: An Interdisciplinary Approach*, Physica-Verlag, Heidelberg, 1-20.
- Ben-Akiva, M. et S. Lerman, 1985, *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, MIT Press: Cambridge.
- Borning, A., P. Waddell et R. Forster, 2008, Urbansim: Using simulation to inform public deliberation and decision-making. *Digital Government: Advanced Research and Case Studies*, 439–463.
- Brocker J. et J. Mercenier, 2011, General equilibrium models for transportation economics, in A. de Palma, R. Vickerman, R. Lindsey and E. Quinet, eds. *Handbook of Transport Economics*, Edward Elgar, Cheltenham, UK.
- Chamberlin, E., 1933, *The Theory of Monopolistic Competition*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Chiappori, P.-A., A. de Palma and Nathalie Picard, 2011, Couple Residential Location and Spouses Workplaces, University of Columbia, Département d'Économie, mimeo.
- Ciccone, A., et R.E. Hall, 1996, Productivity and the density of economic activity. *American Economic Review* 86(1), 54–70.
- Ciccone, A., 2002, Agglomeration effects in Europe, *European Economic Review*, 46(2), 213-227
- Combes, P.-P., G. Duranton, L., Gobillon, D. Puga, D. et S. Roux, 2009, The productivity advantages of large cities: Distinguishing agglomeration from firm selection. Discussion Paper 7191, *Centre for Economic Policy Research*.
- de Lapparent, M., A. de Palma et N. Picard (2011). A dynamic model of residential location and tenure choice, Centre d'économie de la Sorbonne, mimeo.

- De La Roca, J. et D. Puga, 2010, Learning by working in dense cities. 36<sup>a</sup> Reunión da Asociación Española de Ciencia Regional, Badajoz, disponible sur [Princeton.edu/~erossi/CURE2010/esurban\\_seminar.pdf](http://Princeton.edu/~erossi/CURE2010/esurban_seminar.pdf).
- de Palma, A., V. Ginsburgh, Y.Y. Papageorgiou et J.F. Thisse, 1985, The Principle of Minimum Differentiation Holds under Sufficient Heterogeneity, *Econometrica*, 53, 767-781.
- de Palma, A., 2009, Rational behavior, Risk Aversion: High Stakes for Society, *OECD Round Table 144, International Transport Forum*, 23-49.
- de Palma, A. et C. Lefèvre, 1983a, Bifurcation and Behaviour of Complex Systems, *Applied Mathematics and Computation*, 14(18 B), 339-355.
- de Palma, A. et C. Lefèvre, 1983b, Individual Decision-Making in Dynamic Collective Systems, *Journal of Mathematical Sociology*, 9, 103-124.
- de Palma, A., Kilani, M., De Lara, M. et S. Piperno, 2011, Cordon Pricing in the monocentric city: theory and application to Paris Region. *Louvain Economic Review*, in *Urban Studies and Economic Geography: A special Issue in Honour of Masahia Fujita*, F. Jouneau-Sion, and M. Kilani, eds. 77(2-3), 105-124.
- de Palma A., K. Motamedi, N. Picard et P. Waddell, 2007, Accessibility and environmental quality: inequality in the Paris housing market, *European Transport*, 36, 47-74.
- de Palma, A., Picard, N. et Waddell, P. 2007, Discrete choice models with capacity constraints: An empirical analysis of the housing market of the greater Paris region. *Journal of Urban Economics*, 62(2), 204-230.
- de Palma, A. et O. Beaude, 2011, *État de l'art des méthodes d'analyse socio-économiques dans le cadre d'un projet urbain*, École Normale Supérieure de Cachan, Département Économie et Gestion.
- Dixit, A. et J.E. Stiglitz, 1977, Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity, *American Economic Review*, 1977, 67 (3), 297-308.
- Dos Santos Ferreira, R. et J.-F. Thisse, 1996, Horizontal and Vertical Differentiation : The Launhardt model, *International Journal of Industrial Organization*, 14, 485-506.
- Fajgelbaum, P., G. Grossman et E. Helpman, 2011, Income Distribution, Product Quality, and International Trade, Université de Harvard, Département d'économie.
- Forrester, J.W., 1969, *Urban Dynamics*, Productivity Press.
- Fujita, M. et J.-F. Thisse, 2001. *Economics of Agglomeration*. Cambridge, University Press.
- Haken, H, 1993, *Advanced Synergetics: Instability Hierarchies of Self-Organizing Systems and Devices*. New York: Springer-Verlag.
- Henderson, J. V., 2005, Urbanization and growth. In Aghion, P. and Durlauf, S., (Eds.), *Handbook of Economic Growth*, Elsevier, 1543–1591.

- Hotelling, H. 1929, Stability in Competition, *The Economic Journal*, 39, 53, 41-57.
- Krugman, P.R., 1995, *Development, Geography, and Economic Theory*, Cambridge, MA, The MIT Press.
- Lafourcade, M. et J.-F. Thisse, 2011, New economic geography: the role of transport costs, in A. de Palma, R. Vickerman, R. Lindsey and E. Quinet, eds. *Handbook of Transport Economics*, Edward Elgar, Cheltenham, UK.
- Léon, O. et P. Godefroy, P., 2006, *Projections régionales de population à l'horizon 2030*. Rapport technique, INSEE Pôle emploi-population.
- Lösch A., 1940, *Die räumliche Ordnung der Wirtschaft*, Iéna, 1940
- Martínez. F.J., 1996, MUSSA: A Land Use Model for Santiago City. *Transportation Research Record* 1552: Transportation Planning and Land Use at State, Regional and Local Levels, 126-134.
- Mansour, M. et A. de Palma, 1984, On the Stochastic Modelling of Systems with Non-Local Interactions, *Physica*, 128 a, 377-382.
- Mion, G., et P. Naticchioni, 2009, The spatial sorting and matching of skills and firms. *Canadian Journal of Economics, Canadian Economics Association* 42 (1), 2855.
- Nicolis, G. et I. Prigogine, 1977, *Self Organization in Non-Equilibrium Systems*, J. Wiley and Sons: New York.
- Overman, H. G., et Puga, D., 2010, Labour pooling as a source of agglomeration: An empirical investigation. Dans E. L. Glaeser (ed.) *Agglomeration Economics*. Chicago, il: Chicago University Press.
- POULIT J. (1974). *Urbanisme et transport : les critères d'accessibilité et de développement urbain*. SETRA, Division urbaine, Ministère de l'équipement, Paris.
- Prigogine, Y., 1996, *La fin des certitudes*, Éditions Odile Jacob (avec la collaboration d'Isabelle Stengers).
- Quigley, J. M. 2008, Urban economics, dans *The New Palgrave Dictionary of Economics*, S. N. Durlauf et L. E. Blume, Eds. Palgrave Macmillan.
- Rice, P, A, Venables, et P. Patacchini, 2006, Spatial Determinants of Productivity : Analysis of the regions of Great Britain, *Regional Science and Urban Economics*, 36, 727-752.
- Schelling, Thomas C., 1978, *Micromotives and macrobehaviour*. Norton and Co., New York.
- Strange, W C., 2008, Urban Agglomeration, dans *The New Palgrave Dictionary of Economics*, S. N. Durlauf et L. E. Blume, Eds. Palgrave Macmillan.
- Tabuchi, T., 2011, City formation and transport costs, in A. de Palma, R. Vickerman, R. Lindsey and E. Quinet, eds. *Handbook of Transport Economics*, Edward Elgar, Cheltenham, UK.

- Thisse, J.F., 2011, Geographical Economics: A historical Perspective. *Louvain Economic Review*, in Urban Studies and Economic Geography: A special Issue in Honour of Masahia Fujita, F. Jouneau-Sion, and M. Kilani, eds. 77(2-3), 141-168.
- Thünen, J. H. von, 1826, Der isolirte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie, Hamburg, Perthes, 1826
- Trannoy, A., 2011, Equity dimensions of transport policies, in A. de Palma, R. Vickerman, R. Lindsey and E. Quinet, eds. *Handbook of Transport Economics*, Edward Elgar, Cheltenham, UK.
- Waddell, P., G.F. Ulfarsson, J.P. Franklin et J. et Lobb, 2007, Incorporating land use in metropolitan transportation planning. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(5), 382–410.
- Weibull J.W., 1980, On the numerical measurement of accessibility. *Environment and Planning A*, 12, 53–67.
- Weidlich, W. et G. Haag, 1987, A dynamic phase transition model for spatial agglomeration processes, *Journal of Regional Science*, 27, 529-569.

**Forum International des Transports**

2 rue André Pascal

75775 Paris Cedex 16

[itf.contact@oecd.org](mailto:itf.contact@oecd.org)

[www.internationaltransportforum.org](http://www.internationaltransportforum.org)

---