

Systeme de transport et Espace urbain : les avancées de l'éco-conception

Fabien Leurent, École des Ponts ParisTech

Écoles de ParisTech qui portent la Chaire



AgroParisTech



■ Évaluer les grands projets d'investissement en transport

- Projet type : tronçon ou ligne d'infrastructure routière ou ferroviaire
- Modélisation offre-demande : clientèle attendue en fonction de la qualité de service et du tarif, et des effets de réseau (report d'itinéraire)
- Évaluation socio-économique : coûts de production (construction, exploitation) versus avantages de la demande (surplus, gains de temps)

■ Extensions modernes

- Offre multimodale de transport => certains déplacements sont intermodaux
- Modéliser la demande de déplacement, à partir d'une demande de mobilité face à divers modes de transport, pour accéder à des opportunités d'activités réparties dans le territoire
- Compléter l'évaluation par les « soft factors » : environnement, société
- Scénarisation de politiques de transport
- Modèles intégrés du transport et de l'usage du sol => opérations d'aménagement, planification intégrée de l'occupation du sol et des réseaux de transport

■ **Évaluation environnementale ? Analyse de Cycle de Vie ?**

- Quelques impacts environnementaux (polluants, bruit, énergie...) et leur localisation (dans l'espace et selon le milieu naturel – air, eau, sol)
- Cycle de vie : phase Construction-Maintenance et phase Usage
- Unité fonctionnelle : unité d'usage, mais la quantité d'usage est variable
 - Cas d'un tronçon routier, soumis aux conditions locales et aux effets de réseau

■ **Impacts sociaux ?**

- Effets sur l'activité, sur l'emploi ?
 - Directs et indirects : quelle propagation par le circuit économique ?
- Effets sur les finances publiques ?
 - Investissements mais aussi recettes fiscales
- L'inscription dans l'espace de ces effets, selon les limites administratives ?
 - Quel territoire est le réceptacle des effets ?

■ Des effets de système, forts et prégnants

- Versatilité des usagers : l'usage est volage
 - Importance du modèle d'usage
- Massification des usages => quelle structuration des équipements, possibilités de hiérarchisation ?
 - Problèmes de localiser et dimensionner des équipements
- Rivalités entre usagers, congestion en transport, tension immobilière ?
 - Il faut modéliser ces effets macro : cf. ACV conséquentielle
- Composition verticale du système de transport + multifonctionnalité de la voirie (circulation, stationnement) + multi-échelles dans l'espace
 - Besoin de modèles sensibles
 - A plusieurs étages, et à plusieurs échelles => ***place de la systémique***
- Complexité très forte des objets en aménagement
- Interaction entre activités complémentaires proches : effets de quartier, effets d'agglomération (sur la productivité économique)
- Interactions à distance : choix de destination, de localisation, par les acteurs individuels et par les planificateurs

Trafic routier, émissions polluantes

Modèle dynamique de réseau
Modèle macroscopique affiné d'émission
Effets de la signalisation / information dynamique

Trafic et qualité de service en transport collectif : cf chaire STIF

Affectation du trafic sur un réseau à contraintes de capacité
Projets de conception : réseau AHNS

Système de stationnement

Modèle offre-demande spatialisé de stationnement et circulation
Principes d'éco-conception à plusieurs échelles
Type d'habitat, équipements de stationnement et de mobilité

Modélisation plurimodale des déplacements : cf chaire STIF

Application à modèle d'usage d'un quartier

Modélisation intégrée du transport et de l'usage du sol

Théories microéconomiques
Modèle offre-demande du système de logement

Ressourcement de l'évaluation socio-éco

Création et propagation des valeurs
Effets sociaux sur l'emploi
Effets sur les finances publiques
Scénarisation spatialisée

Effets de proximité: économétrie d'une économie d'agglo

Application au Bassin Parisien
Coopération avec Imperial College

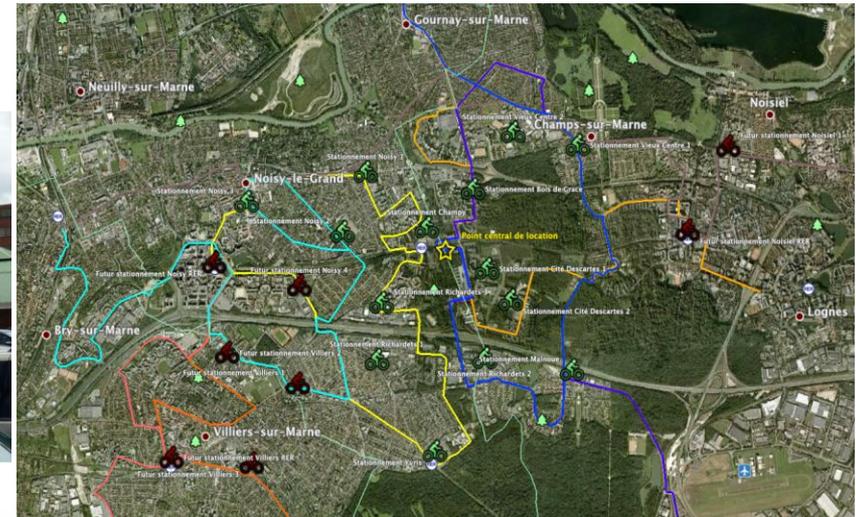
Diagnostic et éco-scénarisation de projets de territoire

Cité Descartes : aménagement, transport, économie
Quartiers de gare du Grand Paris Express : aménagement, transport
Systèmes de transport local : stationnement, vélos en libre service
Liaisons à moyenne et longue portée : ligne BHNS utilisant l'autoroute A4 en Ile de France

Inventaire de cycle de vie pour des matériaux de construction

Acier, béton, bois, verre
Coopérations Ifsttar, Sétra (futur Céréma)

Stationnement et transport de proximité



■ Le stationnement comme fonction d'usage

- L'accès des usagers aux activités, en des lieux et à des bâtiments
- Avec un véhicule privatif individuel (en grande majorité)
- Qualité de service : essentiellement la proximité au lieu d'activité, et la sécurité

■ Comme fonction de service au territoire

- Assurer l'accessibilité des lieux et leur desserte
- Stationnement public, en voirie ou en parc
- Levier important dans une politique plurimodale de mobilité

■ Interactions

- **Avec les bâtiments** : séjours et allées-venues des personnes => importance du modèle d'usage (*+ places incorporées au bâtiment ?*)
- **Avec la circulation** : complémentarité pour assurer un déplacement de porte à porte, et parcours de recherche

■ Un domaine technique en renouvellement

- Innovations technologiques : conduite automatique / mutualisation de place

■ Échelle micro-locale

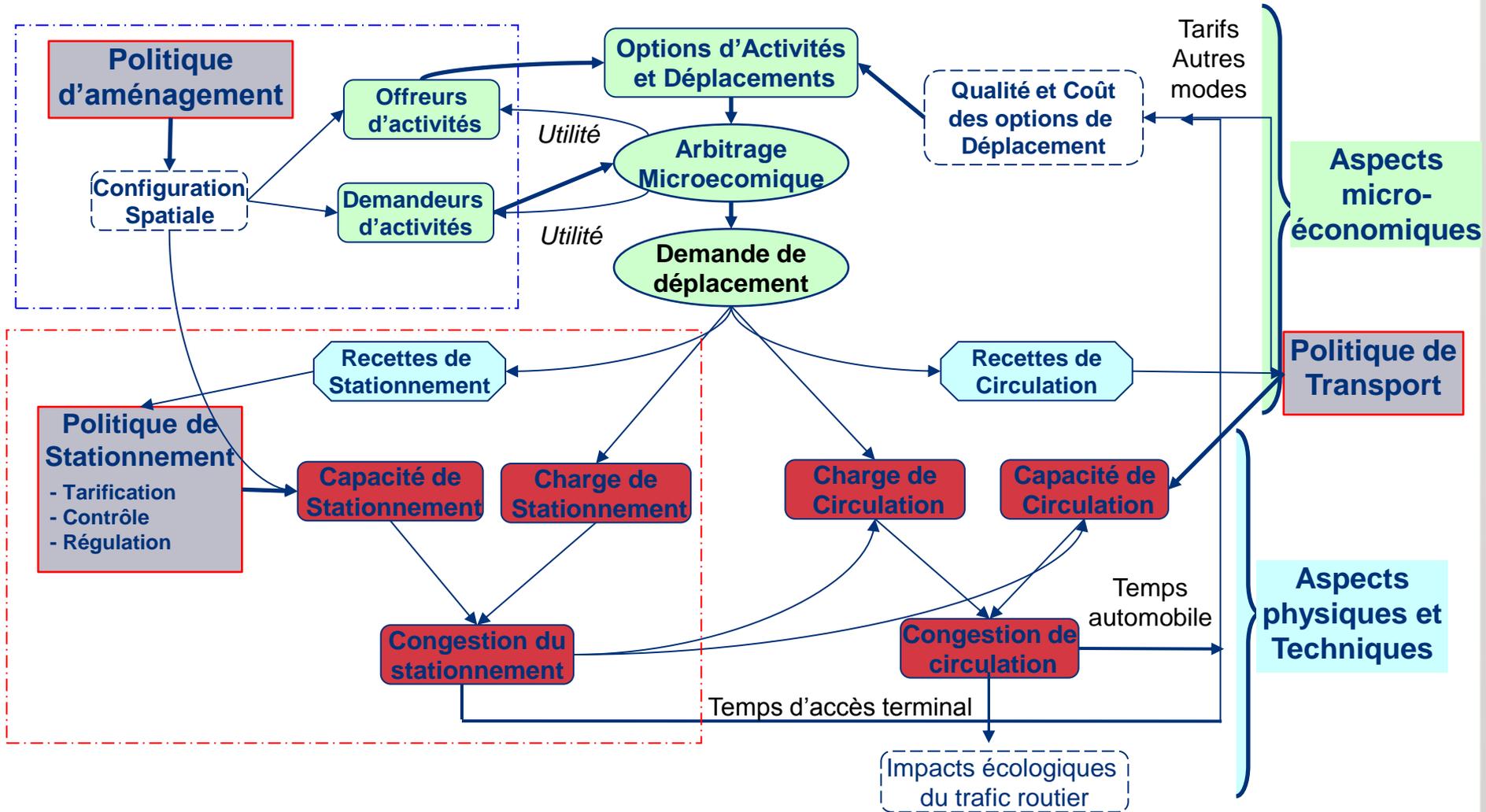
- Fonction à composer avec les bâtiments et leurs modalités d'accès
- Recharge électrique ?
- Espace dédié en voirie ? Par type de véhicule ?

■ Echelle du quartier

- Politique locale de mobilité : quels modes d'accès au quartier ?
Et quels modes de circulation interne ?
Interactions entre circulation automobile et stationnement ?
- Dimensionnement et gestion du stationnement public ? (*Et privé ?*)
Localisation en voirie ou en parc ? (*dont dans bâtiments privés ?*)
- Un parc public est un équipement relativement grand
=> à éco-concevoir en tant que construction et selon ses modes d'usage

■ Echelle de l'agglomération

- Levier important dans une politique plurimodale de mobilité
 - De fait, l'espace au sol est-il rare ?
- Logistique urbaine



- Rencontre de l'offre et de la demande => usages et impacts
 - Occupation locale des places de stationnement ?
 - Temps de recherche ? Parcours associés, en automobile / à pied ?
- Représenter l'offre de places
 - Places localisées, en mode et en nombre
 - Par lot, état d'occupation : profil temporel avec inputs et outputs
- Représenter la demande
 - Segmentation en catégories d'utilisateurs
 - Qualité de service : en tarif, en temps de recherche, en temps marché jusqu'au lieu d'activité
 - Options de choix : places et itinéraire d'accès
- Simuler la rencontre offre-demande
 - Initialement : modèle statique
 - Ensuite : dynamique intra-journalière

■ Modèle à 5 étapes

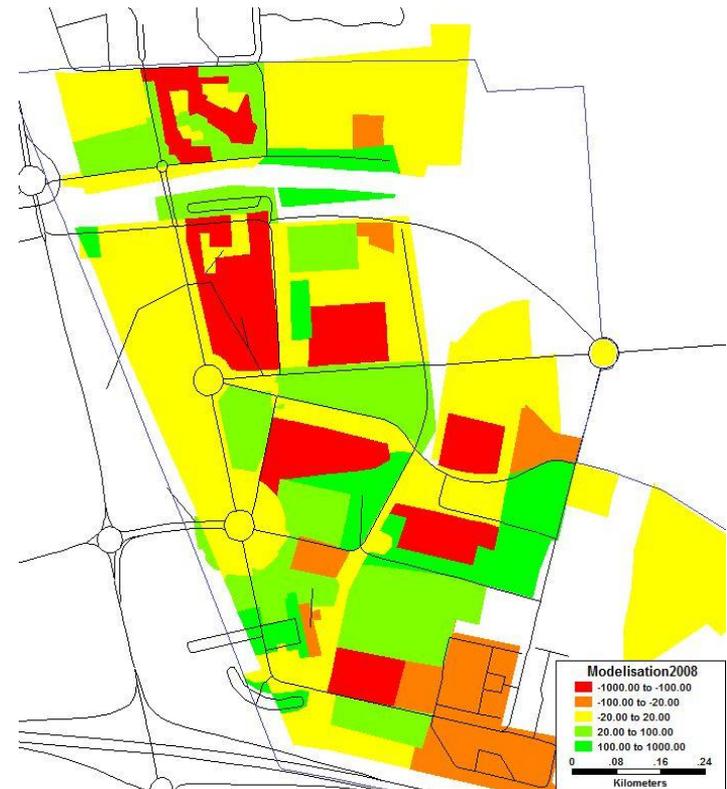
1. **Générateurs fonctionnels**: effectif spécifique par fonction territoriale
2. **Demande locale d'activité** en proportion du générateur, avec facteur spécifique
3. **Demande de place de stationnement**: selon la part du mode Auto-Conducteur, en facteur du taux de génération .
4. **Charge d'occupation** : temporaliser la demande de places, en fonction de l'horaire et de la durée de chaque activité
5. **Répartition modale et spatiale de la charge** : par mode de stat. et par élément spatial

■ Et aussi

- Structure origine-destination
- Répartir / gérer le remplissage

■ Cas de la Cité Descartes

- À partir de l'implantation des activités dans l'espace



■ Près de la destination

- Candidature à un lot de places
- Par lot, une probabilité de succès.
En cas d'échec, report vers un lot voisin
- En moyenne : un coût généralisé terminal par lot relativement à la destination

■ Itinéraire origine-destination

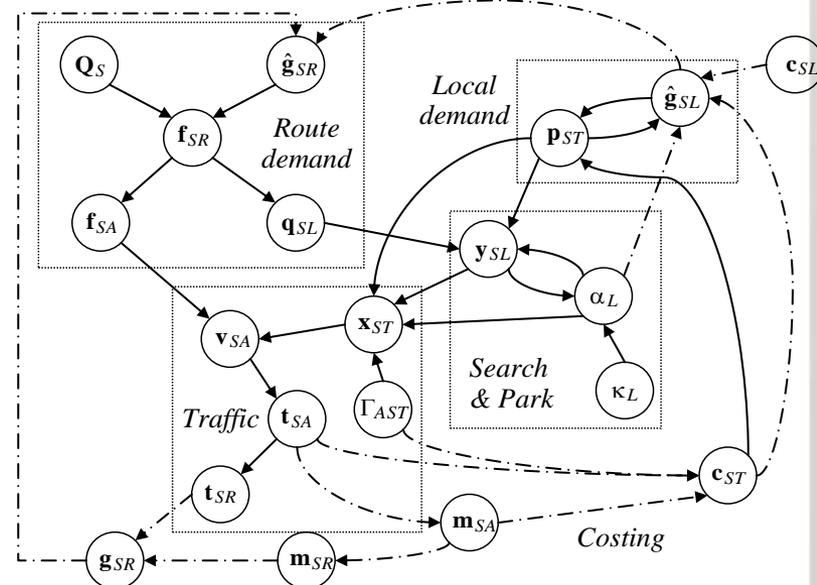
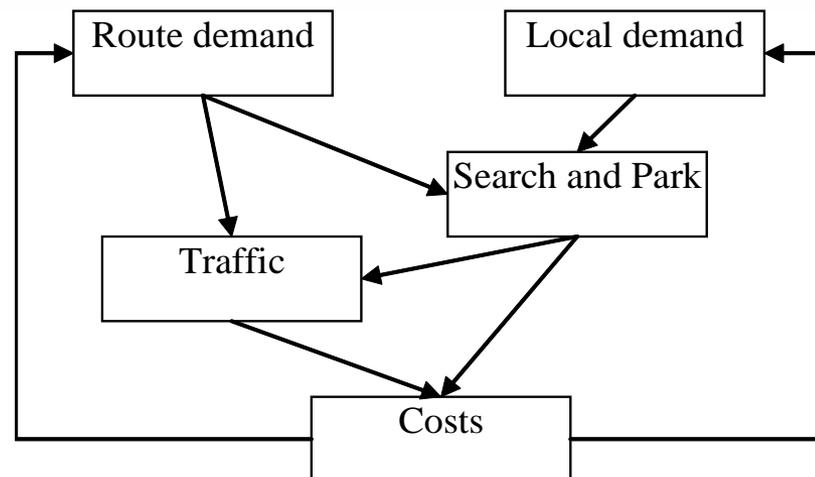
- Décomposé en un *parcours principal* vers un lot cible a priori, et un circuit terminal
- Coût d'option = coût du parcours principal, + coût terminal moyen du lot cible

■ Formation du trafic

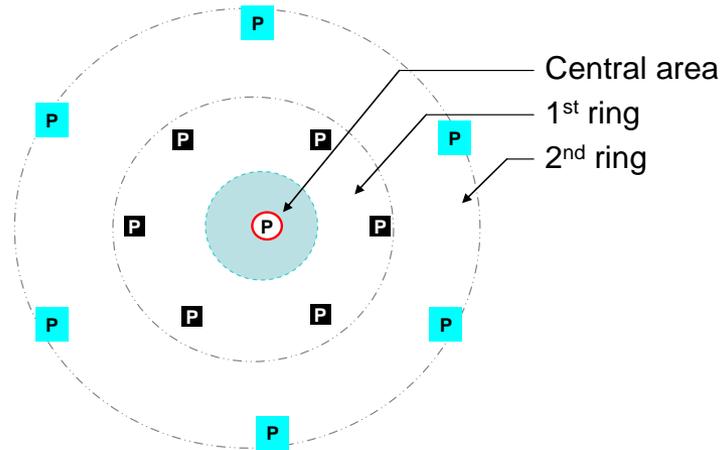
- Circulation locale = volume « principal » + parcours de recherche
- Charge Y_m du lot m = cumul des candidatures.
Proba de succès,
 $\alpha_m = \min\{1, K_m / Y_m\}$

■ Equilibre du trafic

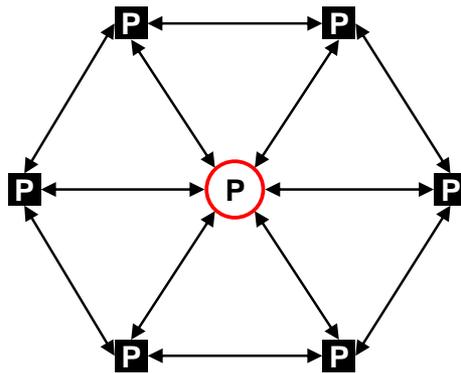
- Choix d'itinéraire pour optimiser le coût individuel
- Report local : depuis un lot, proba d'aller chercher en un autre, selon coût d'accès et coût terminal espéré



■ Un lot central et deux ceintures proche / distante



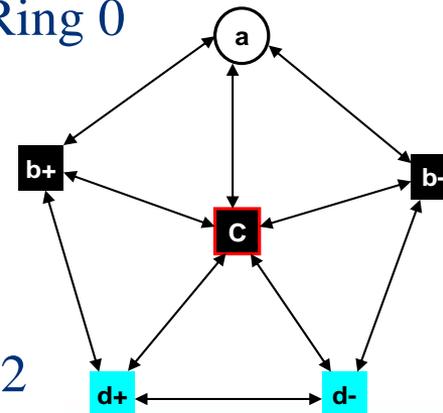
■ Des reports locaux entre lots voisins



Lot 0 = Ring 0

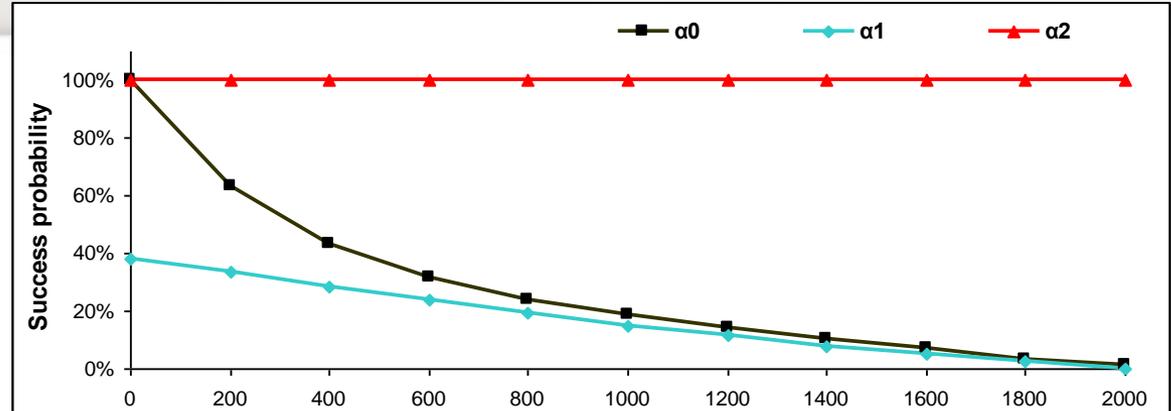
Ring 1

Ring 2

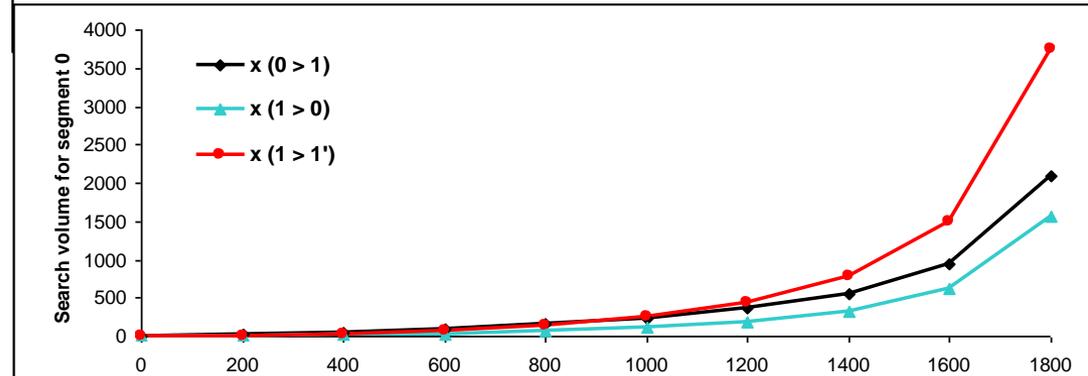


■ Remplissage des lots

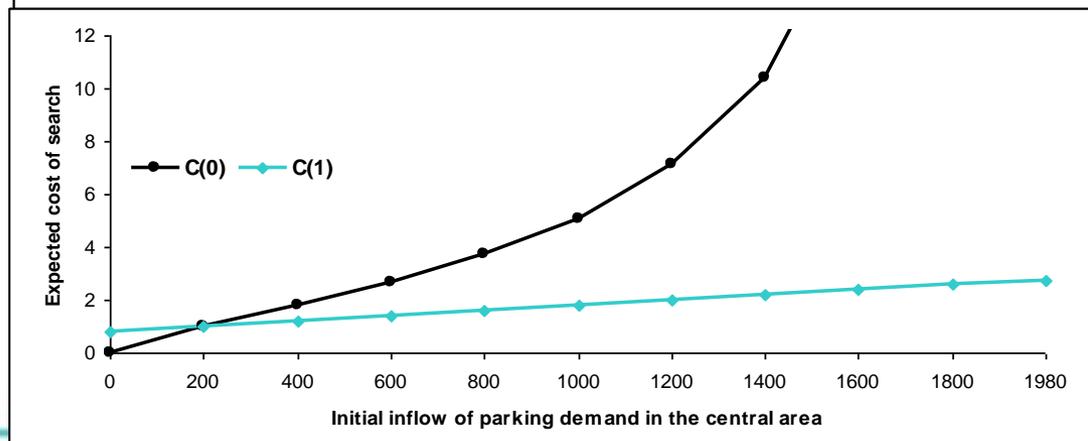
- Probabilité de disponibilité immédiate



■ Trafic de recherche sur les routes



■ Coût terminal individuel, par déplacement



■ Modes d'exploitation

■ Plurimodalité du système de transport

- Circulation
- Stationnement

■ Traitement multi-échelles

- Echelle micro-locale : description fine spatialisée
- Du micro-local jusqu'au grand territoire, en cohérence

■ Dynamique

- Remplissage au cours de la journée
- Pulsations urbaines
- Tendances à long terme, prospective de la mobilité. Mutualisation ?

Intégration du transport et de l'usage du sol

■ Fonctions respectives

- Usage du sol : l'espace comme support
- Transport : franchir l'espace, en tant qu'obstacle à telle relation
- Le tout dans un territoire, largement produit par la société qui y vit

■ Interactions entre transport et usage du sol

- L'usage du sol détermine les besoins de transport : la population et ses besoins d'activité, selon la localisation des activités
- Le système de transport influence l'usage du sol : en produisant les proximités, il influence la localisation des acteurs, leurs décisions d'implantation
 - Donc il structure la configuration des activités, par l'intermédiaire des acteurs individuels (ménages, entreprises banales) et par le jeu du planificateur
- Le transport occupe des emprises au sol, ses flux exercent des impacts locaux
- L'usage du sol, à l'échelle microlocale, interfère avec les flux de transport

■ Transport

- Un « *mobile* » constitue une charge élémentaire pour la capacité *d'écoulement*
 - Véhicule Léger vs Poids Lourd
- A capacité locale fixée, s'il y a plus de clients alors le *temps individuel* est plus élevé
- Chaque client est un demandeur de service, qui choisit une option parmi un ensemble
- Distribution des valeurs du temps parmi les clients : l'arbitrage entre prix et temps de transport
- La demande réagit au coût généralisé (tarif, temps, autres frais) : son volume est élastique au prix

■ Usage du sol

- Un « *ménage* » constitue une charge élémentaire pour la capacité de *logement*
 - Selon sa taille en nb de personnes
- A capacité locale fixée, s'il y a plus de clients alors le *prix immobilier* est plus élevé
- Chaque client est un demandeur de service, qui choisit une option parmi un ensemble
- Distribution des revenus parmi les ménages : et aussi des temps disponibles
- Chaque ménage choisit une surface de logement en fonction du prix unitaire => le volume de consommation est élastique au prix



Caractéristiques d'un modèle offre-demande

■ Représenter l'offre de logement, selon le lieu

- Parc disponible, désagrégé par taille (surface de plancher, nb de pièces) et qualité (type d'habitat, confort, frais courants)
- Secteurs : Propriétaire-occupant / Locatif privé / Locatif social
- En dynamique : promotion immobilière selon les prix de vente, les prix fonciers et les coûts de construction

■ Représenter la demande

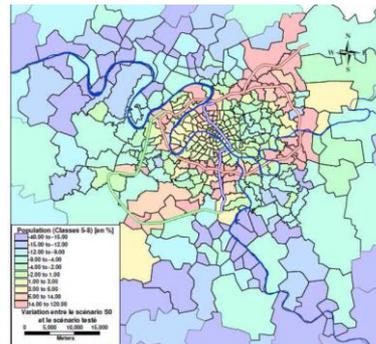
- Désagréger les ménages selon la taille, le revenu, le lieu et la catégorie d'emploi
- Choix microéconomique de localisation résidentielle
 - Un local avec des caractéristiques intrinsèques (surface, type d'habitat, confort)
 - Un lieu avec des « aménités » : voisinage social, services de proximité, commerces

■ Faire interagir l'offre et la demande

- Confronter les « offreurs de logement » (propriétaires des lots) aux « demandeurs » qui enchérissent

■ Pirandello

- © Pirandello Ingénierie
- Principes
 - Désagrégation des ménages selon le revenu, par unité fonctionnelle
 - Choix résidentiel : modèle logit en fonction du lieu d'emploi
 - Distinction des secteurs du logement, notamment social
- Diverses applications
 - Ile de France, Lyon, Montpellier, Moscou, Londres

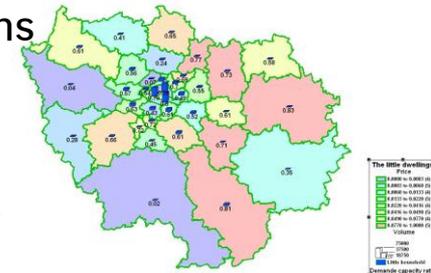


■ Une coopération au long cours

- 2008 : échanges sur les principes, avec aussi R Prudhomme, JP Orfeuill et JC Driant (LabUrba)
- 2011-2012 : étude de P.I. et du LVMT pour la Société du Grand Paris : *Prospective du Grand Paris Express à l'Horizon 2050*
- 2012- dans la recherche ANR Cities

■ DREAM © LVMT

- Disaggregate Residential Equilibrium Assignment Model
- Principes
 - Par ménage, selon son nb de personnes, son revenu, son lieu et catégorie d'emploi
 - Par logement, selon lieu et taille et qualité
 - Cf. modèle prix-temps d'affectation
- Buts et applications
 - Théorie & didactique
 - Conception au stade Esquisse



■ Simulation d'effets et d'impacts

- Prix immobiliers (loyers)
- Localisation résidentielle => satisfaction du ménage, distance domicile-travail et mode
- D'où les besoins de déplacements et les impacts associés

■ Spécification des causalités

- Développement immobilier et foncier
- Développement du système de transport
 - Temps et coûts des relations entre les lieux
- Conditions de marché et place de la régulation
 - Besoin de coordination intersectorielle

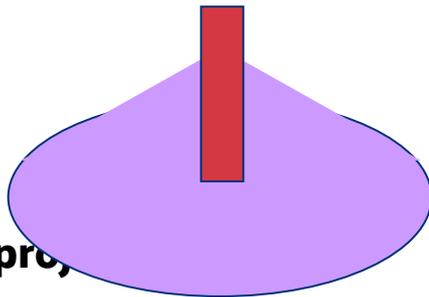
■ Concevoir des scénarios, des politiques

- Scénarios de développement des offres et d'évolution de la demande
- Politiques en tant que « paquets d'instruments », intégrant de manière large des instruments de transport et des instruments de planification spatiale

Equiper une ville d'un réseau structurant

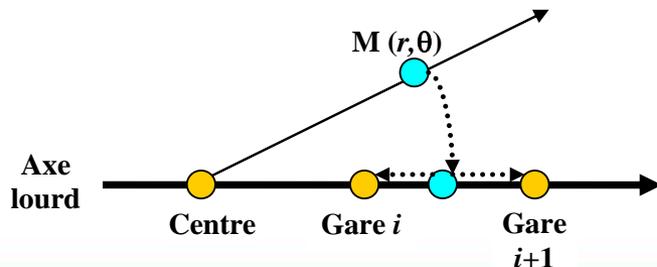
■ Etat initial de l'agglomération

- Un pôle d'emploi au centre
- Symétrie circulaire du logement
- Transport par un mode diffus

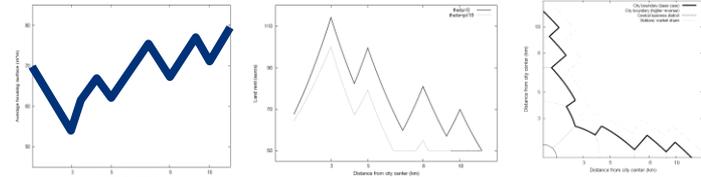


■ Etat projeté

- Un mode structurant, en étoile, avec des stations d'accès



Simulation des effets



Évaluation : avantages et coûts, pour qui ?

■ Un avantage d'accessibilité

- Pour les logements
- Pour les occupants
- Pour le territoire

■ Sur-valeur immobilière

- Pour les propriétaires ? Sont-ils présents ou absents ?
- Récupération de la rente, par la collectivité ?

■ Coûts de production du transport

- A couvrir par des recettes et des subventions
- Les dépenses sont productives...

■ Une demande « marginale » de logement

- i.e. un ménage supplémentaire a besoin de se loger
- Quelles options de choix ?
 - En agglomération : disponibilité, à quel prix ?
 - En périurbain : allongement du parcours Domicile-Travail et dépendance automobile

■ Effets systémiques

- Sur le système de transport : coût marginal de congestion
- Sur le système de immobilier : une unité de plus dans la tension des prix !

■ Attribution des impacts

- Un défaut de capacité en zone agglomérée engage la responsabilité, **non pas** du ménage, mais bien de l'Autorité Organisatrice du Logement

■ Conditions systémiques

- Création et propagation des valeurs
- Interactions avec l'économie territoriale : spatialité des flux de valeurs, revenus tirés de la production locale, tant pour les employés que pour la communauté

■ Ressorts de la dynamique

- Régularités stables à long terme
 - Durabilité de chaque logement
 - Modes de vie => surface habitable par personne
 - Rythme démographique, échanges extérieurs de population
- Variations plus rapides
 - Prix du crédit immobilier ?

■ Quelles politiques intersectorielles ?

- Ex. cas du Grand Paris Express

■ Une hyper-complexité

- Des sous-systèmes sectoriels à variations spatiales
- Interactions déterminantes
- Diversité d'acteurs

■ Forger des outils, développer des connaissances

- Outils : simulation, évaluation, scénarisation
- Connaissances
 - Comprendre ces systèmes
 - Discerner et mesurer les effets

■ Éco-concevoir

- Renouvellement des équipements = un patrimoine territorial (parcs, flottes)
- Configurations spatiales, formes urbaines, réseaux de transport

■ Un domaine très riche

- Le transport
- Et plus encore, l'aménagement : problèmes de Quartier, de Ville, de Grand Territoire

■ L'éco-conception, un moteur puissant

- Sensibilité aux impacts
- Régénération de l'analyse économique

■ Nous n'en sommes qu'au début !

- En bureau d'études
- Côté Recherche
- Côté Formation