

# Impact de la tarification des transports sur la forme urbaine

Le modèle de la ville monocentrique

Moez Kilani

Université Charles de Gaulle - Lille 3  
Laboratoire EQUIPPE (Lille 1, Lille 2 et Lille 3)

Namur, le 24 juin 2014  
IWEPS

# Crédits

**Titre** Congestion pricing and long term urban form : Application to Paris region

**Coauteurs** M. De Lara, A. de Palma et S. Piperno

**Revue** Regional Science and Urban Economics, 2013

## Plan de la présentation :

Motivation et objectifs

Méthode de Résolution

Application sur la région parisienne

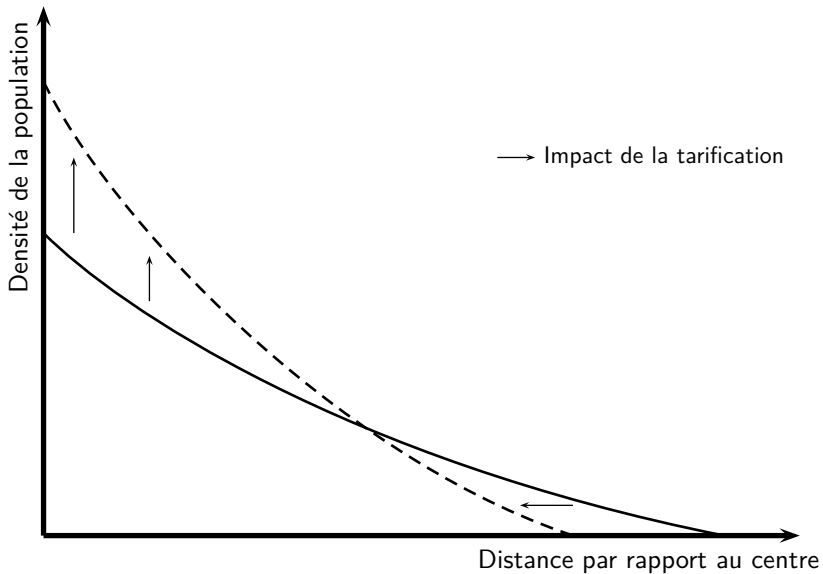
Prise en compte du transport public (avec F. Leurent)

Conclusion

# Équilibre urbain



# Équilibre urbain

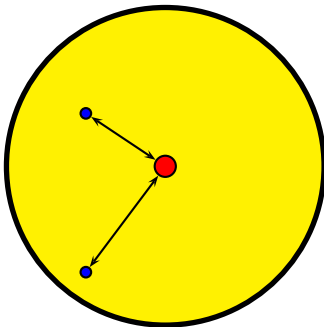




# Le cadre d'analyse

## Les modèles analytiques

### La ville monocentrique

- Emplois au centre ville ; Résidence autour du centre d'affaires
- Chaque ménage choisit *(i)* sa localisation, *(ii)* consomme du logement (une surface) et *(iii)* un bien composite (autre que le logement)



-  Lieu de travail
-  Lieu de résidence

# Propriétés du modèle

- Sans **congestion** :
  - la résolution du modèle monocentrique est relativement **simple**
  - pas de **coûts externes**
  - l'**équilibre** est une situation **optimale**
  
- Avec prise en compte de la **congestion** :
  - le modèle est plus **complexe**
  - les coûts externes nécessitent l'**intervention** de l'**État**

# Contributions

## Contribution 1 Algorithme de résolution numérique

- Transformation des conditions d'équilibre en équations différentielles
- Écriture d'un code informatique
  - **Entrée** : préférence des ménages, terrain disponible
  - **Sortie** : distribution des habitants, allocation du terrain, etc.

## Contribution 2 Application empirique

- Région parisienne
- Évaluation de l'impact de la tarification du transport

## La formulation du problème

- Les **ménages** choisissent leur **localisation** et consomment du **logement** et un bien **composite** (autre que logement).
- Pour un niveau d'utilité donné, trouver le **rayon** de la ville, l'**allocation du terrain** (entre usage résidentiel et routes), et la **répartition des ménages**, de sorte à résoudre :

- (P) {
- **Fonction objectif** : minimiser les coûts dans la ville : transport, bien composite et coût d'opportunité du terrain
  - **Contraintes** :
    1. ne pas dépasser la surface du terrain disponible
    2. la population dans la ville est donnée
    3. sur la frontière  $r_f$ , la rente foncière est égale à la rente agricole



# Résolution du problème

- Transformer l'ensemble des conditions d'équilibre en équations différentielles
- Effectuer les tâches suivantes :
  1. commencer avec une ville de rayon  $r_f$
  2. se positionner la frontière  $r_f$  (rente foncière = rente agricole)
  3. remonter vers le centre en mettant à jour la rente foncière :

en allant de  $r$  à  $r - \Delta r$  :

$$\underbrace{\Delta \text{rente} \cdot \text{logement}}_{\text{variation coût logement}} = \underbrace{\Delta r \cdot (\text{coût transport} + \text{péage})}_{\text{variation coût total transport}}$$

4. une fois arrivé au centre, calculer la population totale dans la ville
5. chercher la valeur de  $r_f$  qui permet de retrouver la population fixée

# Résolution du problème

- Transformer l'ensemble des conditions d'équilibre en équations différentielles
- Effectuer les tâches suivantes :
  1. commencer avec une ville de rayon  $r_f$
  2. se positionner la frontière  $r_f$  (rente foncière = rente agricole)
  3. remonter vers le centre en mettant à jour la rente foncière :

en allant de  $r$  à  $r - \Delta r$  :

$$\underbrace{\Delta \text{rente} \cdot \text{logement}}_{\text{variation coût logement}} = \underbrace{\Delta r \cdot (\text{coût transport} + \text{péage})}_{\text{variation coût total transport}}$$

4. une fois arrivé au centre, calculer la population totale dans la ville
5. chercher la valeur de  $r_f$  qui permet de retrouver la population fixée

# Résolution du problème

- Transformer l'ensemble des conditions d'équilibre en équations différentielles
- Effectuer les tâches suivantes :
  1. commencer avec une ville de rayon  $r_f$
  2. se positionner la frontière  $r_f$  (rente foncière = rente agricole)
  3. remonter vers le centre en mettant à jour la rente foncière :

en allant de  $r$  à  $r - \Delta r$  :

$$\underbrace{\Delta \text{rente} \cdot \text{logement}}_{\text{variation coût logement}} = \underbrace{\Delta r \cdot (\text{coût transport} + \text{péage})}_{\text{variation coût total transport}}$$

4. une fois arrivé au centre, calculer la population totale dans la ville
5. chercher la valeur de  $r_f$  qui permet de retrouver la population fixée

# Résolution du problème

- Transformer l'ensemble des conditions d'équilibre en équations différentielles
- Effectuer les tâches suivantes :
  1. commencer avec une ville de rayon  $r_f$
  2. se positionner la frontière  $r_f$  (rente foncière = rente agricole)
  3. remonter vers le centre en mettant à jour la rente foncière :

en allant de  $r$  à  $r - \Delta r$  :

$$\underbrace{\Delta \text{rente} \cdot \text{logement}}_{\text{variation coût logement}} = \underbrace{\Delta r \cdot (\text{coût transport} + \text{péage})}_{\text{variation coût total transport}}$$

4. une fois arrivé au centre, calculer la population totale dans la ville
5. chercher la valeur de  $r_f$  qui permet de retrouver la population fixée

## Résolution du problème

- Transformer l'ensemble des conditions d'équilibre en équations différentielles
- Effectuer les tâches suivantes :
  1. commencer avec une ville de rayon  $r_f$
  2. se positionner la frontière  $r_f$  (rente foncière = rente agricole)
  3. remonter vers le centre en mettant à jour la rente foncière :

en allant de  $r$  à  $r - \Delta r$  :

$$\underbrace{\Delta \text{rente} \cdot \text{logement}}_{\text{variation coût logement}} = \underbrace{\Delta r \cdot (\text{coût transport} + \text{péage})}_{\text{variation coût total transport}}$$

4. une fois arrivé au centre, calculer la population totale dans la ville
5. chercher la valeur de  $r_f$  qui permet de retrouver la population fixée

## Résolution du problème

- Transformer l'ensemble des conditions d'équilibre en équations différentielles
- Effectuer les tâches suivantes :
  1. commencer avec une ville de rayon  $r_f$
  2. se positionner la frontière  $r_f$  (rente foncière = rente agricole)
  3. remonter vers le centre en mettant à jour la rente foncière :

en allant de  $r$  à  $r - \Delta r$  :

$$\underbrace{\Delta \text{rente} \cdot \text{logement}}_{\text{variation coût logement}} = \underbrace{\Delta r \cdot (\text{coût transport} + \text{péage})}_{\text{variation coût total transport}}$$

4. une fois arrivé au centre, calculer la population totale dans la ville
5. chercher la valeur de  $r_f$  qui permet de retrouver la population fixée

## Résolution du problème

- Transformer l'ensemble des conditions d'équilibre en équations différentielles
- Effectuer les tâches suivantes :
  1. commencer avec une ville de rayon  $r_f$
  2. se positionner la frontière  $r_f$  (rente foncière = rente agricole)
  3. remonter vers le centre en mettant à jour la rente foncière :

en allant de  $r$  à  $r - \Delta r$  :

$$\underbrace{\Delta \text{rente} \cdot \text{logement}}_{\text{variation coût logement}} = \underbrace{\Delta r \cdot (\text{coût transport} + \text{péage})}_{\text{variation coût total transport}}$$

4. une fois arrivé au centre, calculer la population totale dans la ville
5. chercher la valeur de  $r_f$  qui permet de retrouver la population fixée

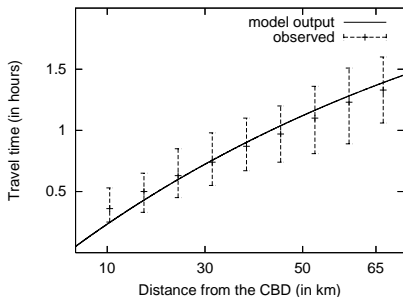
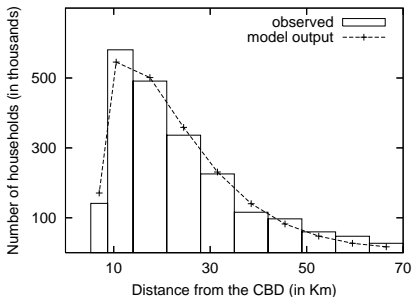
# Application sur la région parisienne

1. Collecte de données sur les temps de trajets, la densité urbaine et la rente foncière
2. Les paramètres de la fonction d'utilité, et de la fonction de coût de transport sont ajustés de sortes à obtenir une forme urbaine proche de celle observée (rente foncière, densité de la population et temps de trajets)
3. La procédure de calibration consiste à minimiser une fonction de perte quadratique
4. Comparaison de quatre scénarii :
  - 4.1 sans péage (situation initial, calibration)
  - 4.2 péage cordon (montant du péage et localisation)
  - 4.3 péage linéaire (montant du péage)
  - 4.4 péage optimal



## Résultats de la calibration

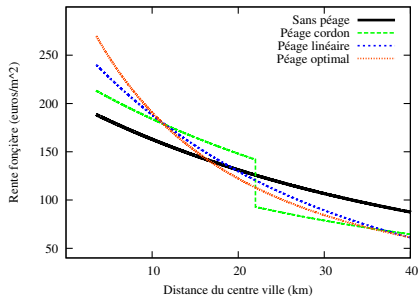
Pour la **répartition des ménages** et les **temps de trajets** on trouve des résultats **satisfaisants** étant donné la simplicité de la structure du modèle.



# Forme urbaine pour différents péages routiers

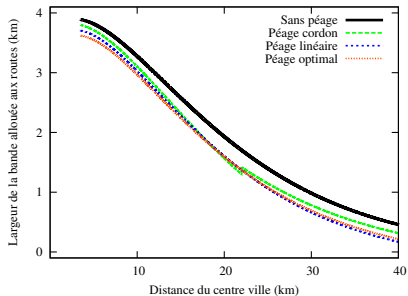
Sans péage (situation initiale), péage cordon, péage linéaire et péage optimal

## La rente foncière



Le péage implique une augmentation sensible autour du **centre ville**.

## Terrain alloué aux routes



Sans péage, il y a **sur-investissement en transport**

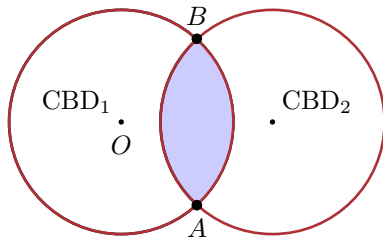
## Tableau de comparaison

	Rayon de la ville	Surface de logement	Surface routes	Distance des trajets	Temps de trajets	$\Delta$ surp
	<i>km</i>	<i>m<sup>2</sup></i>	<i>10<sup>4</sup> m<sup>2</sup></i>	<i>km</i>	mins	€/an
Sans péage	73,423	84,236	7 539	22,075	37,7	0
Péage cordon	55,633	84,889	6 482	19,632	33,9	181
Péage linéaire	46,246	81,385	6 042	18,727	32,7	271
Péage optimal	48,650	83,129	6 049	18,711	32,7	286

- Avec un péage optimal la valeur monétaire des gains est de 286€ par ménage par an.
- Le péage linéaire permet d'atteindre un haut niveau d'efficacité (environ 95% du gain optimal).
- Le péage cordon permet d'atteindre 66% du gain optimal.

## le cas de deux centres d'affaires

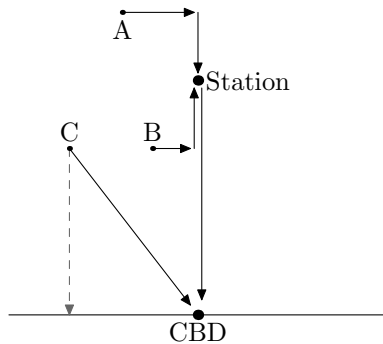
- Il est possible de généraliser le modèle au cas de plusieurs centres d'affaires
- La calibration nécessite des données supplémentaires au niveau des intersections (surface hachurée)
- Remarque : il s'agit d'une superposition de deux ville monocentriques et pas véritablement d'une ville polycentrique



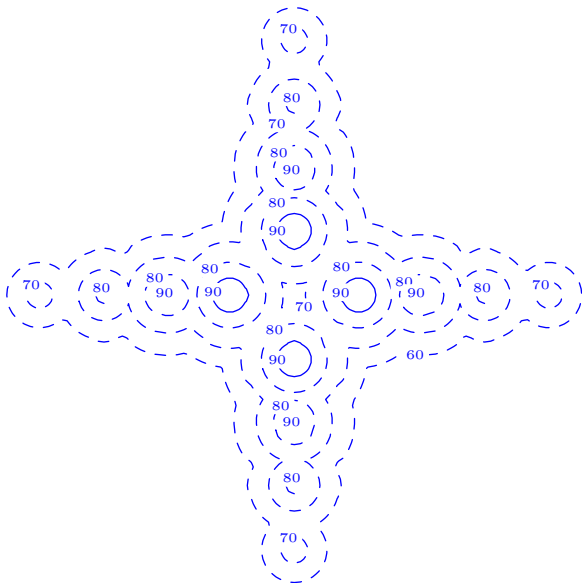
# Prise en compte du transport public

- Par rapport au modèle précédent, chaque ménage choisi entre deux modes de transport
  - Un mode privé (la voiture) très flexible et accessible
  - Un mode public (train, métro) accessible uniquement au niveau des stations et rigide au niveau des horaires
- La ville est ouverte, c'est à dire que la taille de la population n'est pas connue initialement, mais calculée dans le modèle
- La taille de la ville dépendra du revenu des ménages et de l'offre de transport public
- La technologie de rabattement peut aussi avoir une influence sur la forme urbaine

# Le rabattement sur la station



# Forme urbaine autour des stations

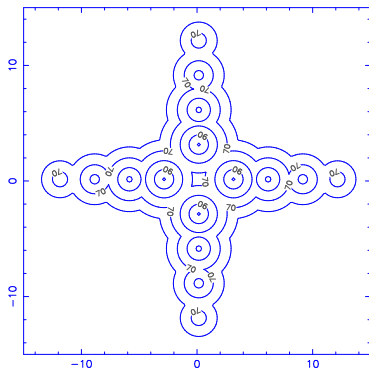


# Évolution de la forme urbaine en fonction du revenu

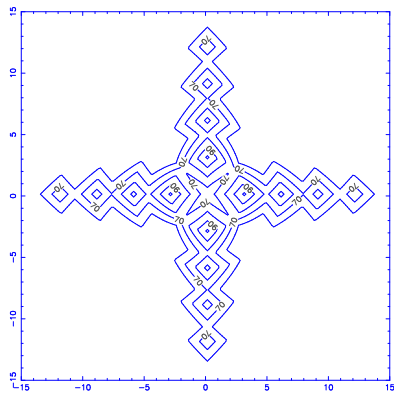


# Impact de la structure de rabattement

Urban form with Technology 1

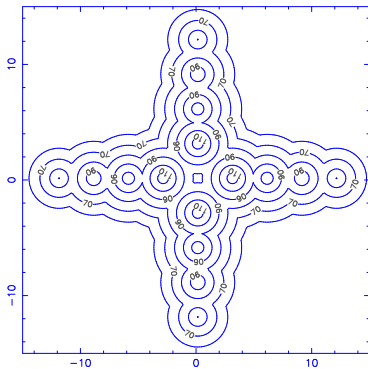


Urban form with Technology 2

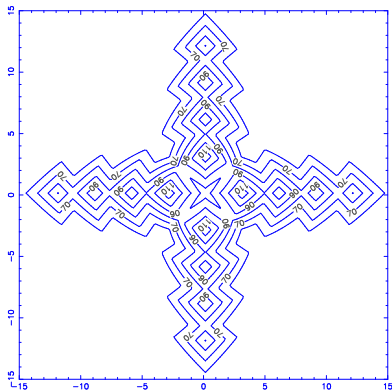


# Impact de la structure de rabattement

Urban form with Technology 1

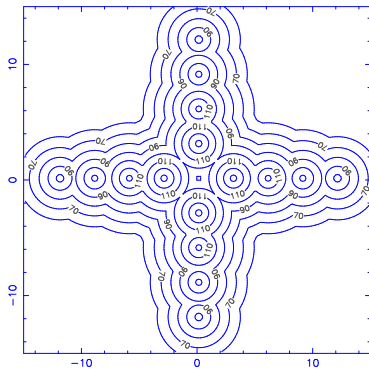


Urban form with Technology 2

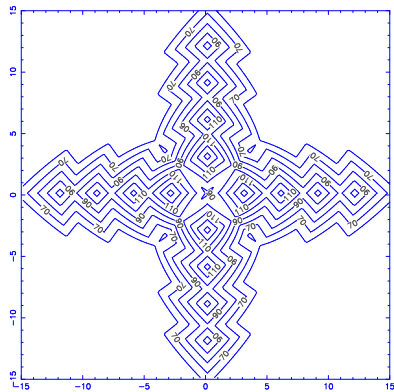


# Impact de la structure de rabattement

Urban form with Technology 1



Urban form with Technology 2



# Conclusion

- Le modèle monocentrique offre un cadre approprié pour apprécier l'impact de la tarification sur la forme urbaine.
- L'équilibre urbain sans contrôle aboutit à des coûts externes importants
- La tarification des transports permet d'aboutir à des formes urbaines optimisées (réduction des coûts externes) :
  - le péage linéaire aboutit à un niveau d'efficacité élevée
  - le péage cordon apparaît comme une alternative assez simple à mettre en place
- Nombreuses extensions sont possibles : introduction du transport collectif (cf. Kilani et al., 2011), dispersion des emplois en dehors du CBD (cf. McMillen, 2012) et analyse d'autres schémas de tarification (péage de zone)