

Conception de réseaux multimodaux hiérarchisés

François Combes, LVMT, ENPC

Rob van Nes, CiTG, TU Delft

Contexte

1. Modèles de demande de transport

- Offre quasi exogène
- Scenarii de changement marginal de l'offre
- Exigence de beaucoup de données
- Inadapté pour les diagnostics ou projets à grande échelle

2. Modèles de network design:

- Problème mathématiquement complexe
- Hypothèses restrictives
- Limitation à un mode

3. Méthodologie de conception de réseaux multimodaux

- Concepts de multimodalité, hiérarchie
- Hypothèses fortement normatives
- Incompatible avec ACB

4. Modèles de network design multimodaux et hiérarchisés

- Représentation nécessairement simplifiée de l'offre et de la demande
- Combine certains avantages des approches 3 et 4

Objectif

- Proposer un diagnostic d'un système de transport en prenant en compte
 - La structure de la demande
 - Les préférences des voyageurs
 - La structure des coûts de production
- Illustration sur le cas de l'Ile de France

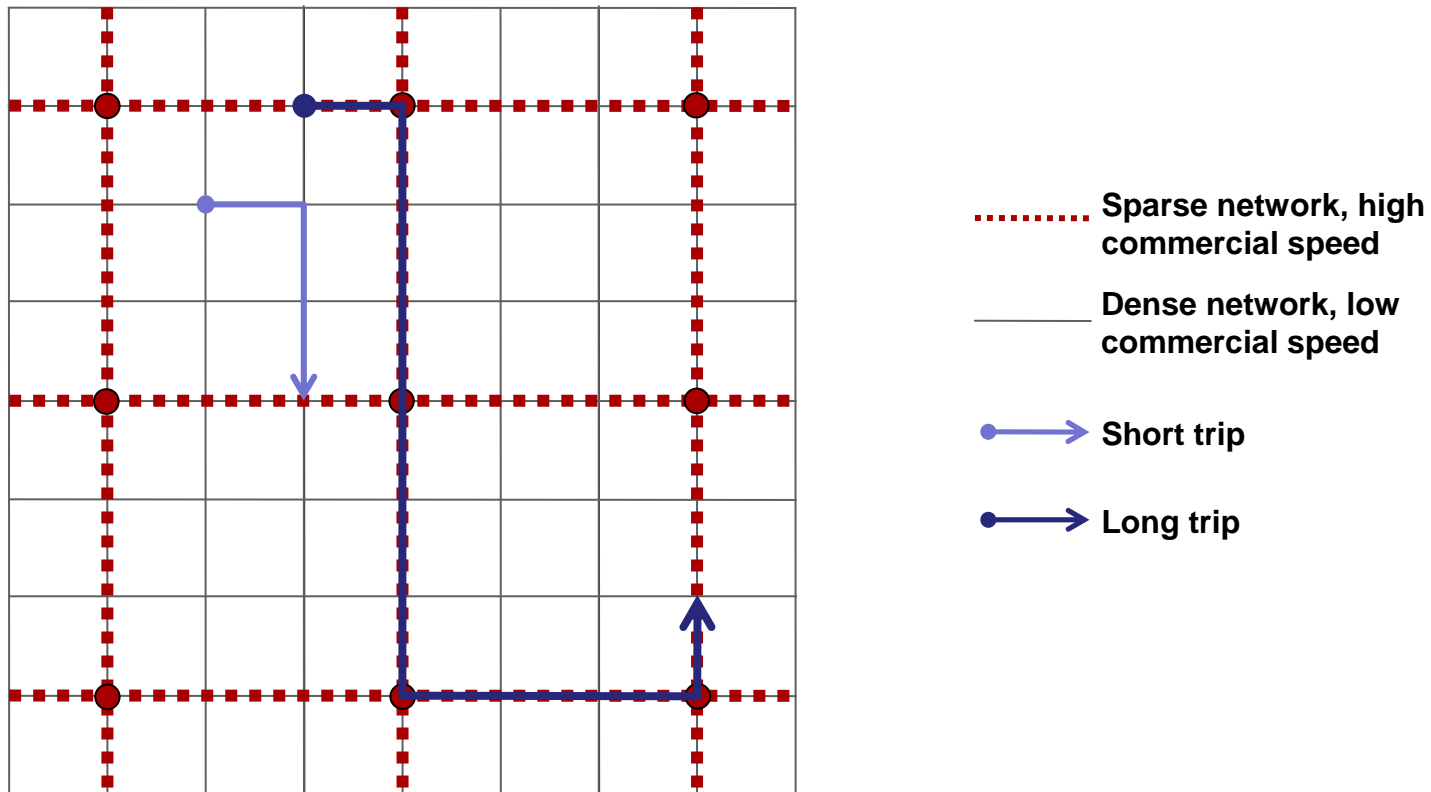
Plan

1. Concepts et principes de modélisation
2. Hypothèses pour l'Ile-de-France
3. Exemples d'application

1. Concepts et modèles

- « Service mode » (en distinction de « vehicle mode »)
- Déplacement multimodal
- Relations entre les modes :
 - Complémentarité géographique
 - Concurrence
 - Complémentarité hiérarchique

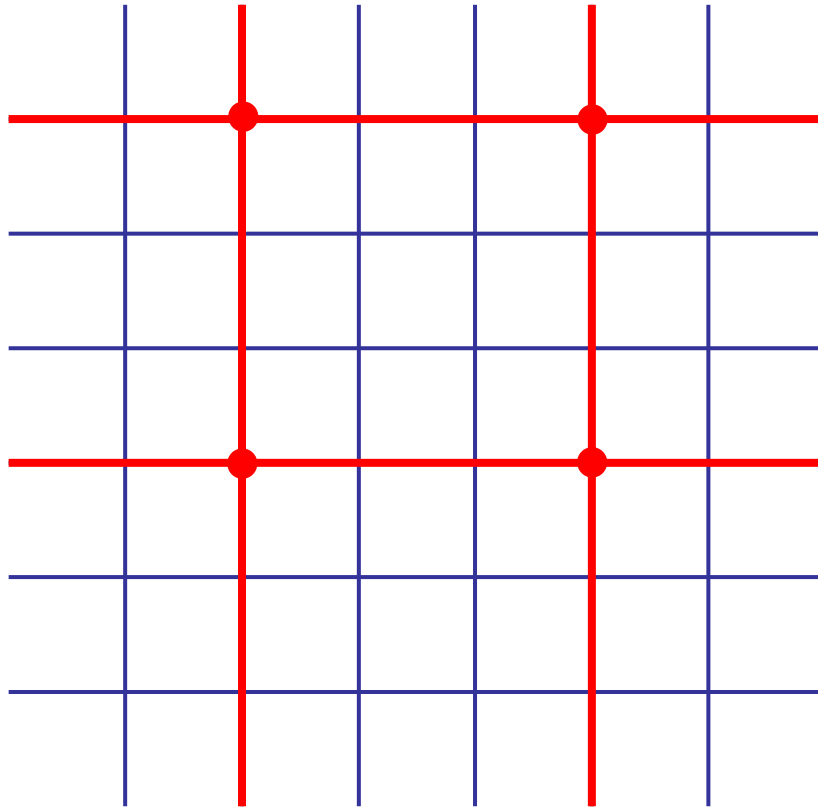
Complémentarité hiérarchique



Principes de modélisation

- Représentation de la demande :
 - Zonage très agrégé
 - Longueur moyenne de déplacement par OD
 - Mode emprunté
 - Valeur du temps (et autres TMS)
- Représentation de l'offre :
 - Accessibilité moyenne en espace et en temps
 - Vitesse
 - Relations entre les modes
- Optimisation
 - Perspective: voyageurs / opérateurs / *social welfare*
 - *Demande fixée* / choix modal endogène

Offre de transport

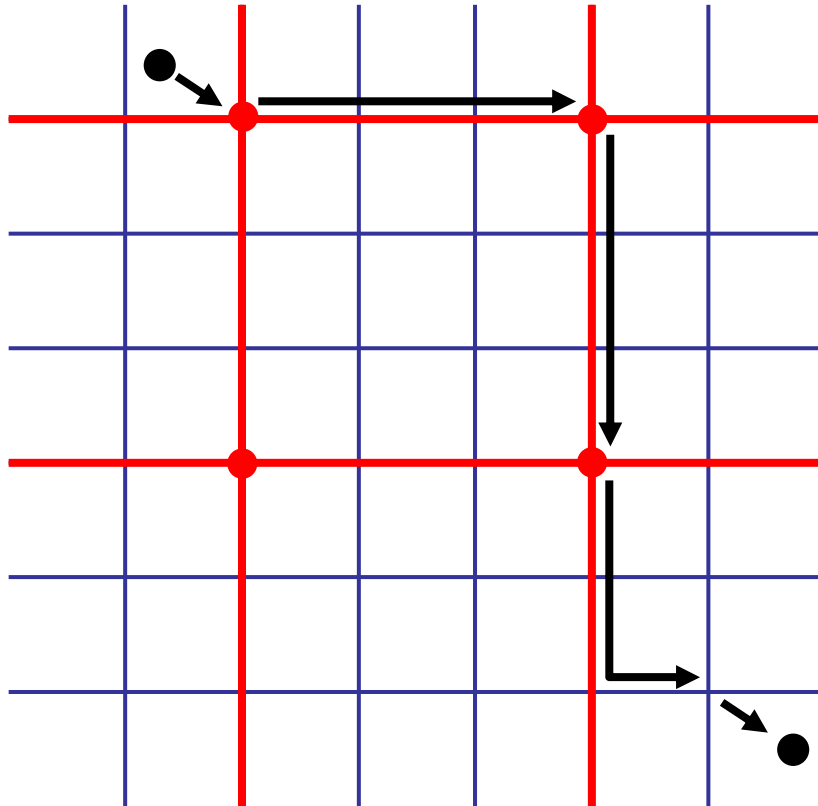


- Variables
 - Accessibilité en espace (maillage)
 - Longueur totale de ligne L
 - Espacement des stations S
 - Accessibilité en temps (fréquence)
 - Fréquence F

Coûts de transport

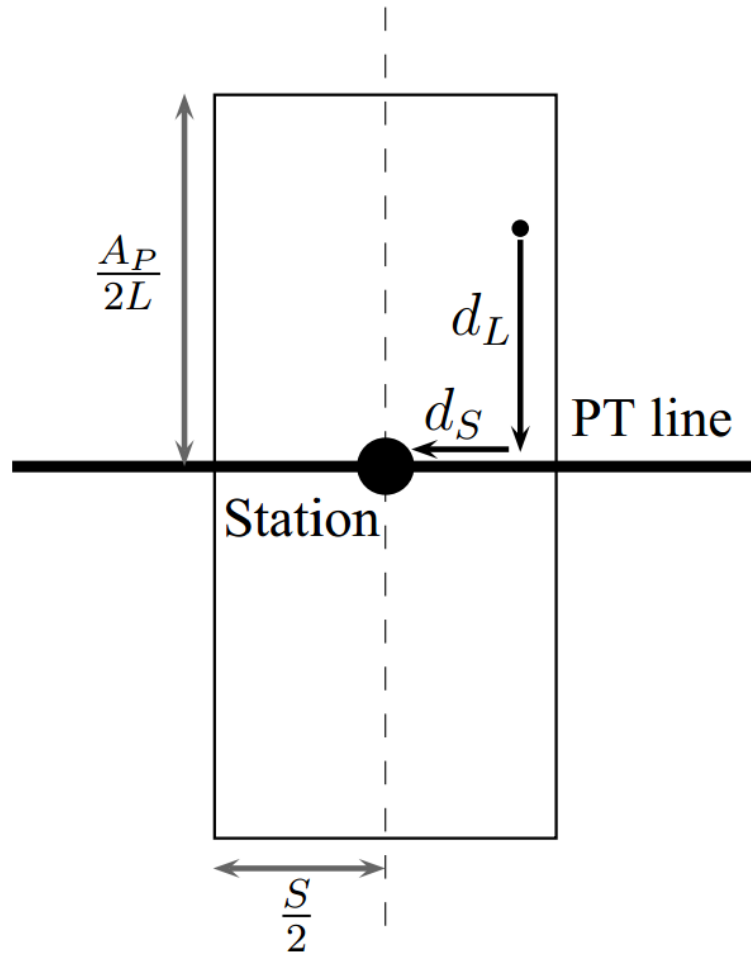
- Coût d'infrastructure
 - Coût de capital
 - Pour les lignes (L)
 - Pour les stations (L, S)
 - Coût de maintenance
 - Pour les lignes (L)
 - Pour les stations (L, S)
- Coût d'opération
 - Pour les circulations des véhicules (L, S, F)

Demande de transport



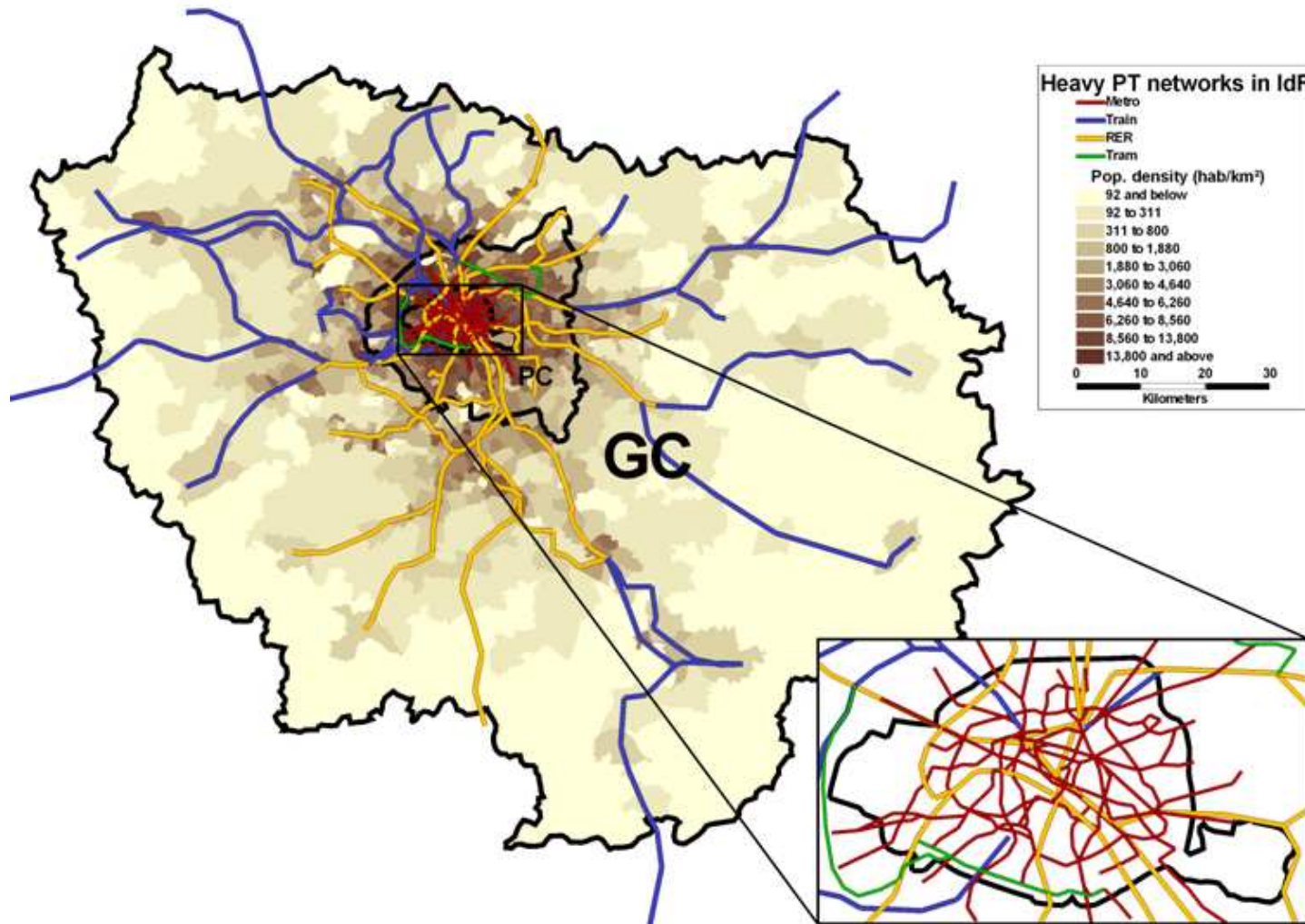
- Coûts de l'utilisateur
 - Accès, transferts
 - Temps de trajet
 - (Tarif)
- Décisions
 - Itinéraire
 - Mode TC
 - TC/voiture

Accessibilité



$$d_a = \frac{1}{4} \left(\frac{A_P}{L} + S \right)$$

2. Hypothèses pour l'Ile de France



Analyse de la structure du réseau et de la demande

- Système complexe, nécessité d'une description simplifiée
- Méthodologie : analyse de la demande de transport dans l'enquête EGT 2001
- Focus sur les déplacements multimodaux
- Détail géographique faible (P, PC, GC)

Combinaison de modes

Main mode	Frequency	Prop. multi	Length
Regional train	1.94 %	79.71 %	19.99
RER	4.86 %	74.58 %	15.22
Metro	6.51 %	16.79 %	5.11
Bus	6.66 %	7.90 %	3.87
Tram	0.18 %	44.80 %	5.37
Car driver	35.25 %	0.12 %	6.75
Car passenger	10.19 %	0.58 %	4.96
Motorcycle	1.26 %	0.10 %	7.13
Walk	31.81 %	0.03 %	0.55
Other	0.42 %	1.13 %	5.76
Bicycle	0.90 %	0.00 %	1.94
All	100.00 %	6.99 %	4.70

Service mode	Contribution
Regional train	82.85 %
RER	76.23 %
Metro	45.14 %
Bus	41.25 %
Tram	73.59 %
Car driver	2.23 %
Car passenger	4.96 %
Motorcycle	0.41 %
Walk	12.13 %
Other	25.76 %
Bicycle	5.76 %
All	18.75 %

Relations hiérarchiques

Rabattement domicile des déplacements multimodaux

Main mode	Prop.	L (km)	1 st Mode	2 nd Mode	N
R. train	68.05%	4.68	Bus (49.17 %)	Car D. (22.40 %)	794
RER	68.96%	3.79	Bus (53.19 %)	Metro (16.77 %)	1,719
Metro	84.27%	2.53	Bus (75.70 %)	Car D. (5.95 %)	525
Bus	43.38%	3.09	Metro (23.77 %)	Car P. (20.77 %)	154

Rabattement activité des déplacements multimodaux

Main mode	Prop.	L (km)	1 st Mode	2 nd Mode	N ^g
R. train	74.72%	4.21	Metro (47.26 %)	Bus (20.38 %)	1,089
RER	65.61%	2.98	Metro (63.05 %)	Bus (24.93 %)	2,033
Metro	28.91%	2.23	Bus (73.25 %)	RER (9.91 %)	224
Bus	57.54%	3.86	Metro (53.79 %)	RER (13.61 %)	246

Structure spatiale

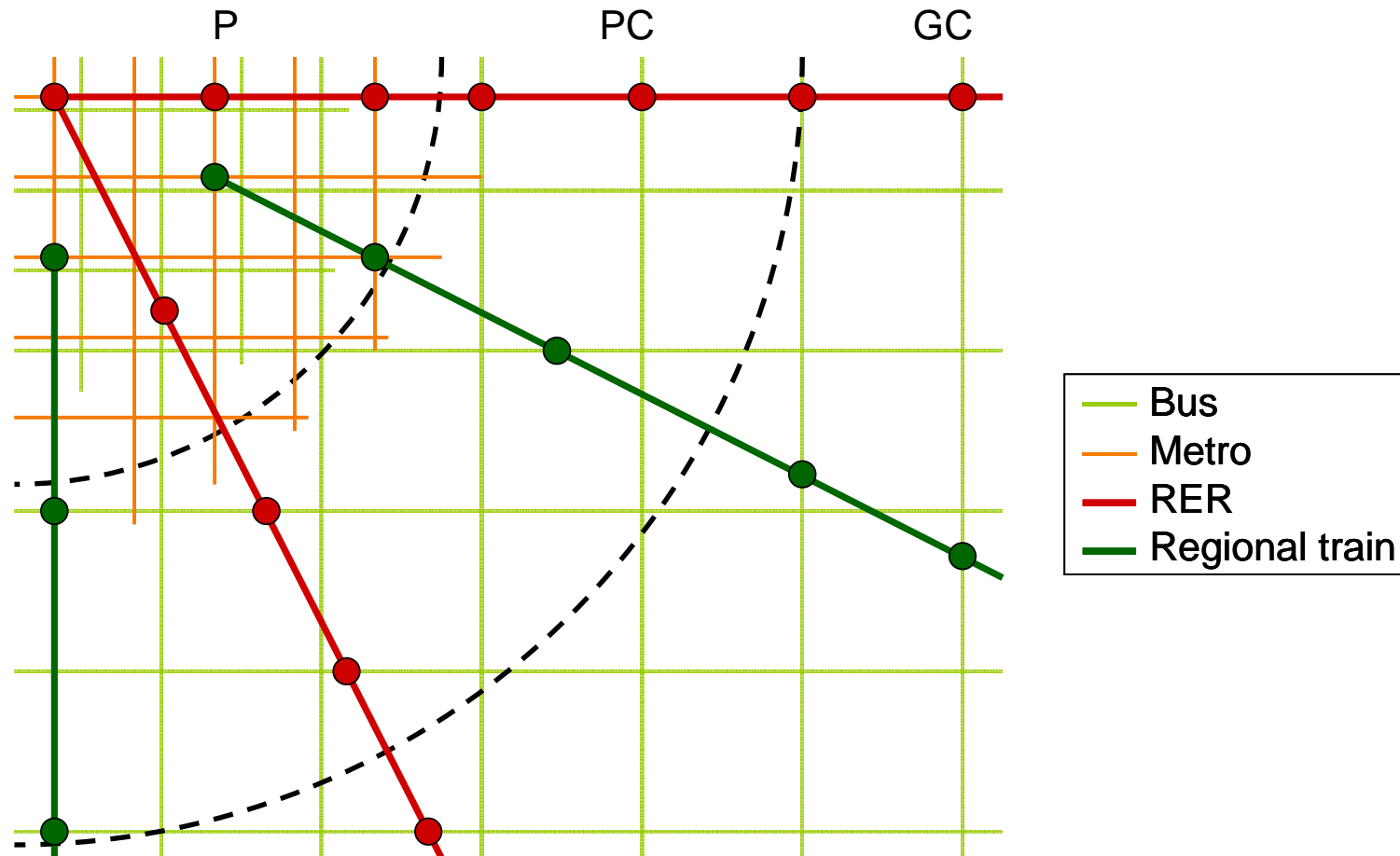
Mode share of public transport, among all trips and, between parentheses, among mechanised trips, per origin-destination pair

		Destination		
		P	PC	GC
Origin	P	28.36 %	56.52 %	60.65 %
		(63.30 %)	(58.14 %)	(62.16 %)
	PC	56.23 %	12.14 %	21.44 %
		(57.66 %)	(22.35 %)	(22.01 %)
	GC	61.01 %	21.73 %	7.00 %
		(62.21 %)	(22.26 %)	(10.12 %)

Proportion of multimodal trips, and, between parentheses, of multimodal trips among public transport trips, per origin-destination pair

		Destination		
		P	PC	GC
Origin	P	1.62 %	27.96 %	53.26 %
		(5.62 %)	(48.68 %)	(85.00 %)
	PC	28.87 %	3.43 %	16.08 %
		(50.37 %)	(27.42 %)	(70.85 %)
	GC	53.68 %	16.68 %	1.29 %
		(85.43 %)	(73.39 %)	(17.47 %)

Représentation globale



Hypothèses de coût

- Sources de données
 - Appendice 1 des Comptes Transport de la Nation (1998) pour les coûts de capitaux
 - Flyvbjerg (2007) pour les coûts de capitaux des lignes, cite Pickrell (1985) pour les coûts de capitaux de station (les ratios sont retenus)
 - Quddus et al (2001) pour les coûts de maintenance et d'opération des stations (modèle économétrique)
 - Rob van Nes (2001) cite Ministry of Transport, etc. (1996) pour les infrastructures, coût de capital et maintenance; van Goeverden et Schoemaker (2000) pour des coûts d'exploitation de 1990, supposés stables (productivité compensant l'inflation)
- Hypothèses
 - Taux de 4% par an indéfiniment pour les coûts de construction
 - 100k€ pour une station de bus, durée de vie de 20 ans (cité par Sheng Li, source?)

Hypothèses de coût

- Difficulté à obtenir des données de coût (bibliographie rare et dispersée)
- Paramètres utilisés (valeur en 2001) :

	Bus	Métro
Ligne (capital)	0 €/km/an	1060 k€/km/an
Ligne (maintenance)	0 €/km/an	795 k€/station/an
Station (capital)	5 k€/station/an	920 k€/station/an
Station (O&M)	0 €/station/an	1011 k€/station/an
Véhicules	78 €/veh/h	446 €/veh/h

3. Exemples d'application

- **Bus dans Paris**
- Données demande:
 - Nombre de déplacements (P-P) : 548,9kvoy/jour
 - Valeur du temps : 13 €/heure
 - Vitesse marche : 4 km/h
 - Pénibilité accès : x 2
 - Pénibilité attente : x 1.5
- Données offre
 - Longueur lignes : 556 km
 - Espacement arrêts : 313 m
 - Fréquence : 13 bus/h
 - Vitesse commerciale (situation courante): 12.3 km/h

Résultat d'optimisation

- Variables à l'optimum :
 - Longueur de ligne : **561** km (vs **556**)
 - Espacement stations : **370** m (vs **316**)
 - Fréquence optimale : **8.5** (vs **13**)
- Fonction objectif à l'optimum :
 - Gain de 3.83 %

3. Exemples d'application

- **Métro dans Paris, scénario I**
- Données demande:
 - Nombre de déplacements (P-P) : 1250 kvoy/jour
 - Valeur du temps : 13 €/heure
 - Vitesse marche : 4 km/h
 - Pénibilité accès : x 2
 - Pénibilité attente : x 1.5
- Données offre
 - Longueur lignes : 166 km
 - Espacement arrêts : 474 m
 - Fréquence : 18 métros/h
 - Vitesse commerciale (situation courante): 33.0 km/h

Résultat d'optimisation

- Variables à l'optimum :
 - Longueur de ligne : 228 km (vs 166 km)
 - Espacement stations : **780** m (vs 470 m)
 - Fréquence optimale : **12.65** v/h (vs 18)
- Fonction objectif à l'optimum :
 - Gain de 6,37%

3. Exemples d'application

- **Métro dans Paris, scénario II**
 - Fréquence fixée (capacité atteinte)
 - Si le nombre de stations diminue, seul le coût de maintenance diminue
- Variables à l'optimum :
 - Longueur de ligne : 240 km (vs 166 km)
 - Espacement des stations : 690m (vs 474)
- Fonction objectif à l'optimum :
 - Gain de 4,67%

Conclusion

- Un modèle stratégique
 - Simple
 - Cohérent microéconomiquement
 - Qui peut être étendu et raffiné
- Approprié pour l'étude de changements d'envergure, ou pour un diagnostic d'ensemble
- Complémentaire des modèles plus précis de demande
- Les difficultés proviennent principalement de la disponibilité de données