



la-grange.ca

# OÙ VONT LES UTILISATEURS BIXI?

Étude et modélisation des lignes de désir de vélopartage

Mikaël Chibok, B. Urb.

Candidat à la maîtrise, Polytechnique Montréal

Co-dirigé par

Catherine Morency, ing., Ph. D.

Martin Trépanier, ing., Ph. D.

# PLAN

1. Introduction
2. Analyse des déplacements observés
3. Développement des modèles de distribution
4. Résultats & validation
5. Perspectives

# INTRODUCTION

Objectifs & concepts

# OBJECTIFS

- ❑ Contexte général: étude sur la demande de déplacements en vélopartage et la variabilité spatio-temporelle existante dans l'usage du système BIXI
- ❑ Cette présentation se penche particulièrement sur les déplacements effectués par les usagers, soit les *paires origine-destination/lignes de désir*
- ❑ Des modèles de distribution de type gravitaire sont calibrés pour reproduire les déplacements effectués en 2011
- ❑ La validation de cette modélisation est réalisée sur les déplacements de 2016
- ❑ À long terme, l'étude souhaite pouvoir évaluer des scénarios de configuration spatio-temporelle de stations

# UNE PAIRE ORIGINE-DESTINATION, C'EST QUOI?

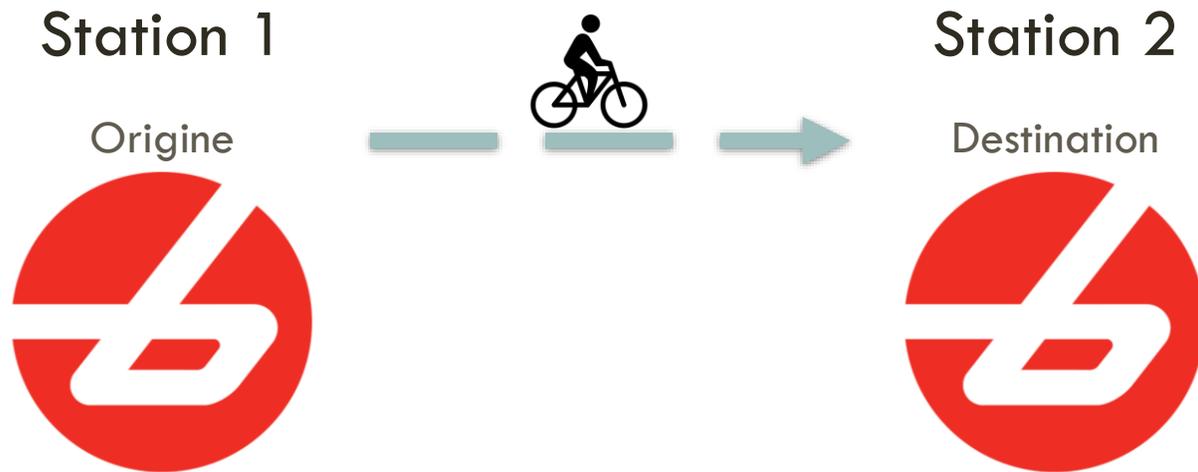


# UNE PAIRE ORIGINE-DESTINATION, C'EST QUOI?

Station 1



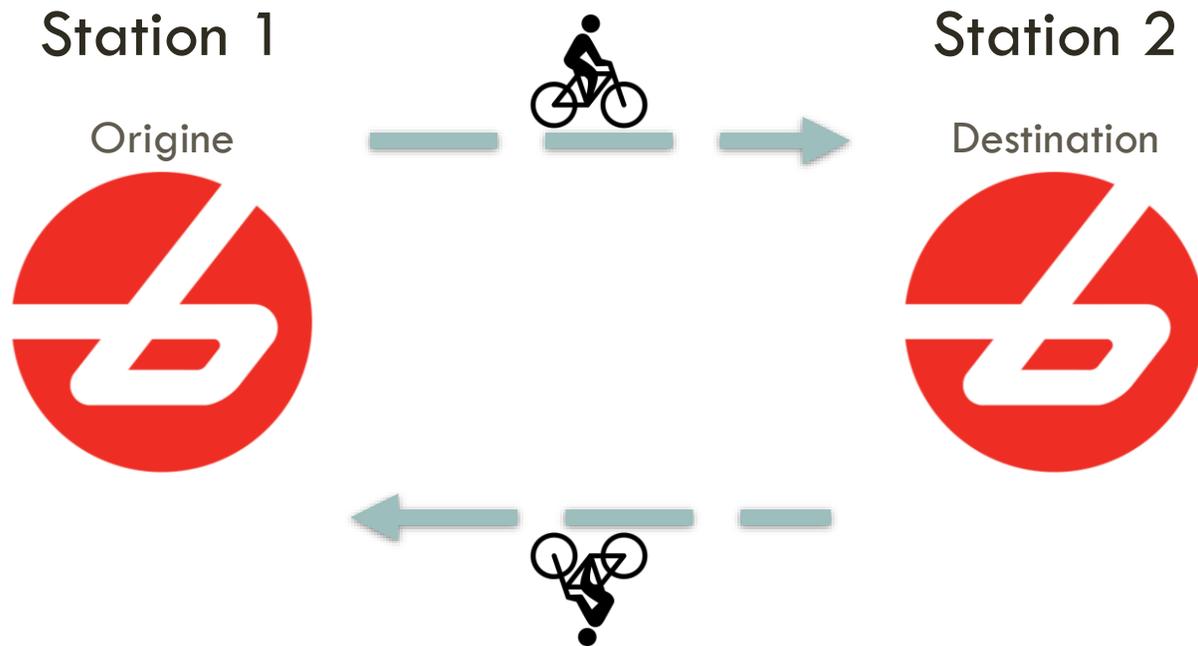
# UNE PAIRE ORIGINE-DESTINATION, C'EST QUOI?



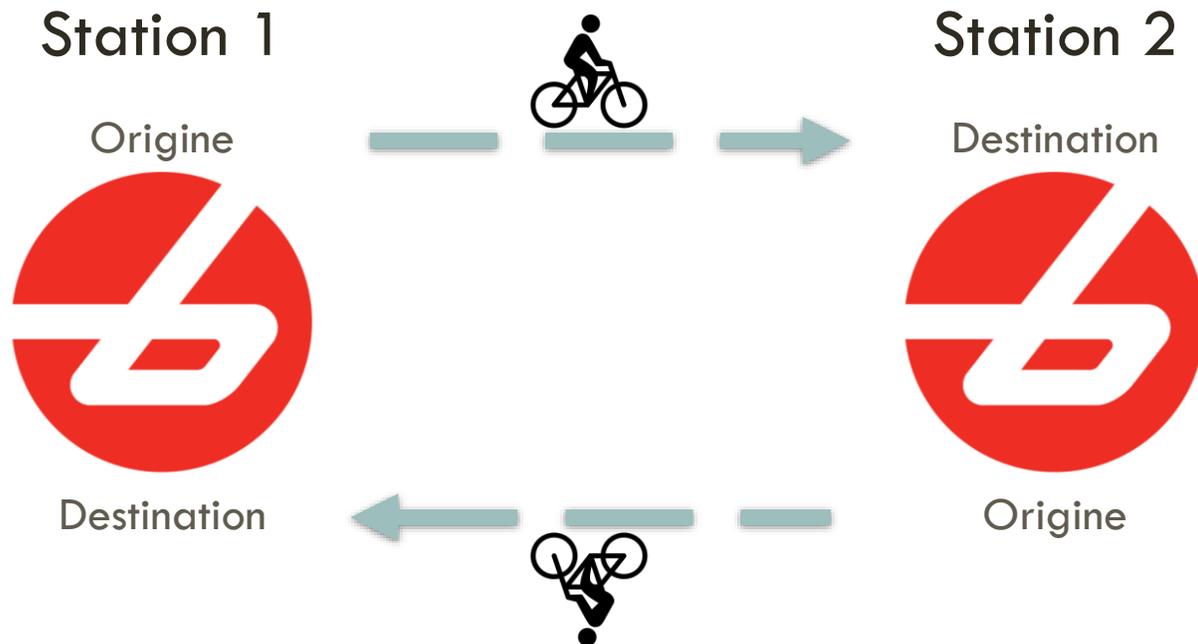
# UNE PAIRE ORIGINE-DESTINATION, C'EST QUOI?



# UNE PAIRE ORIGINE-DESTINATION, C'EST QUOI?

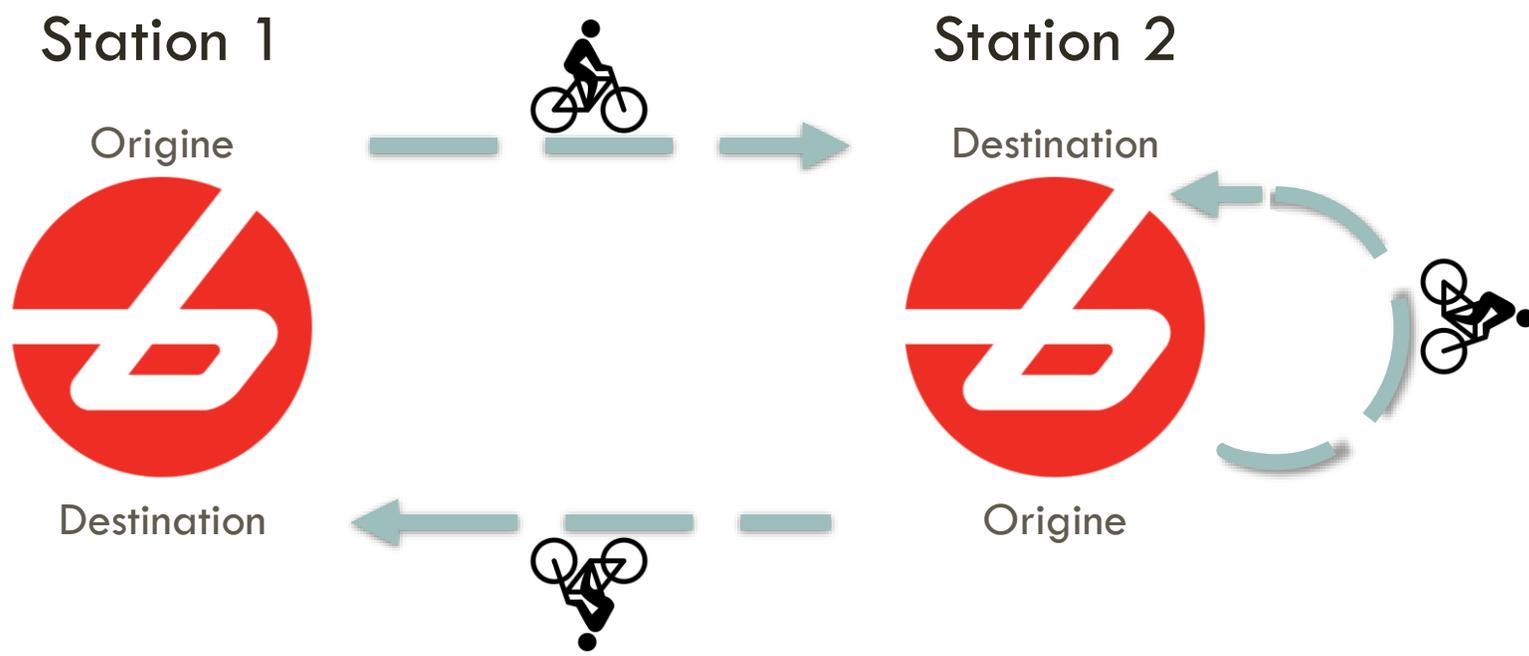


# UNE PAIRE ORIGINE-DESTINATION, C'EST QUOI?

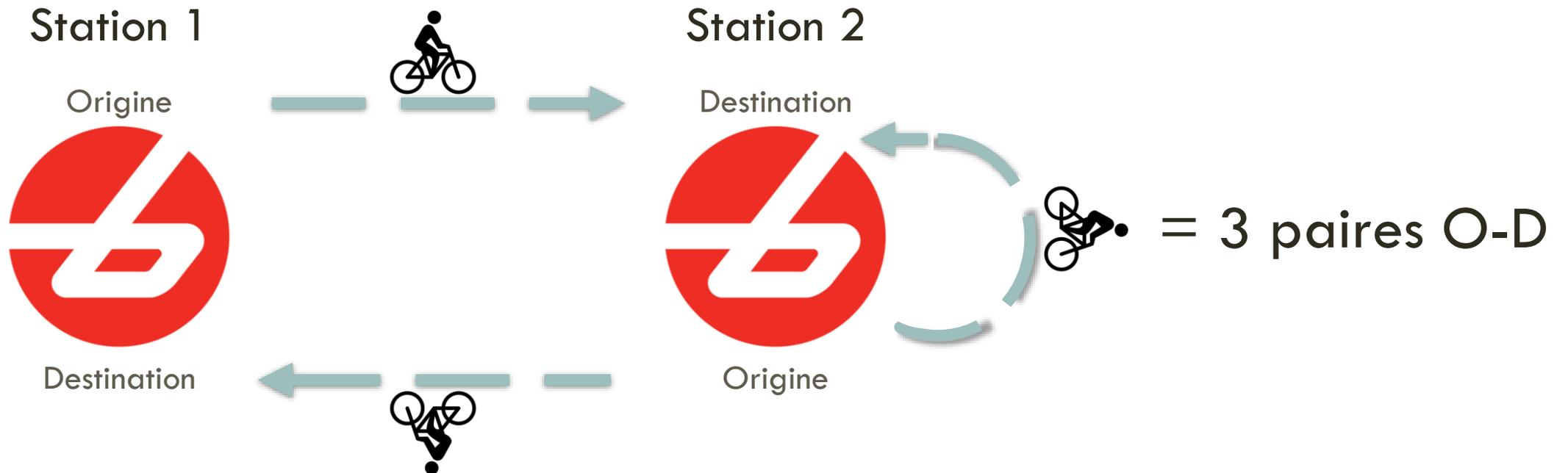


= 2 paires O-D

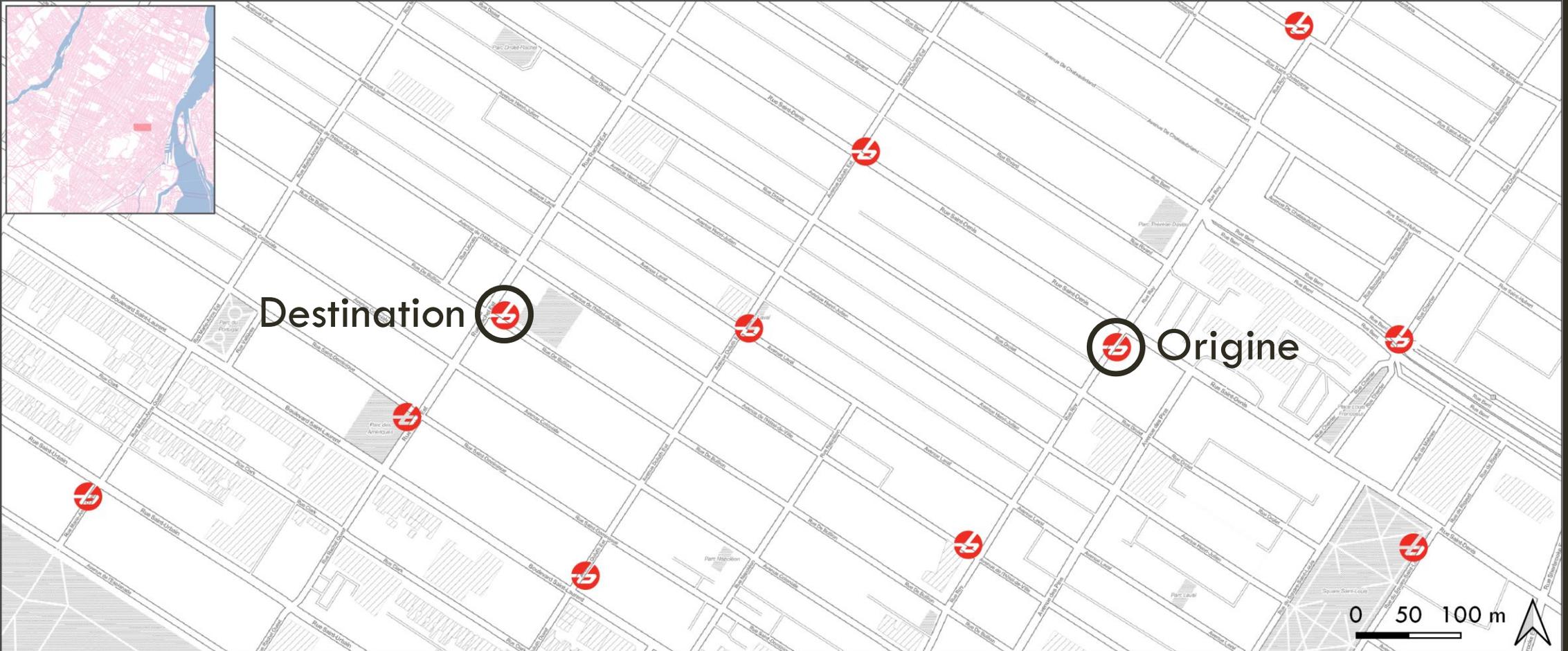
# UNE PAIRE ORIGINE-DESTINATION, C'EST QUOI?



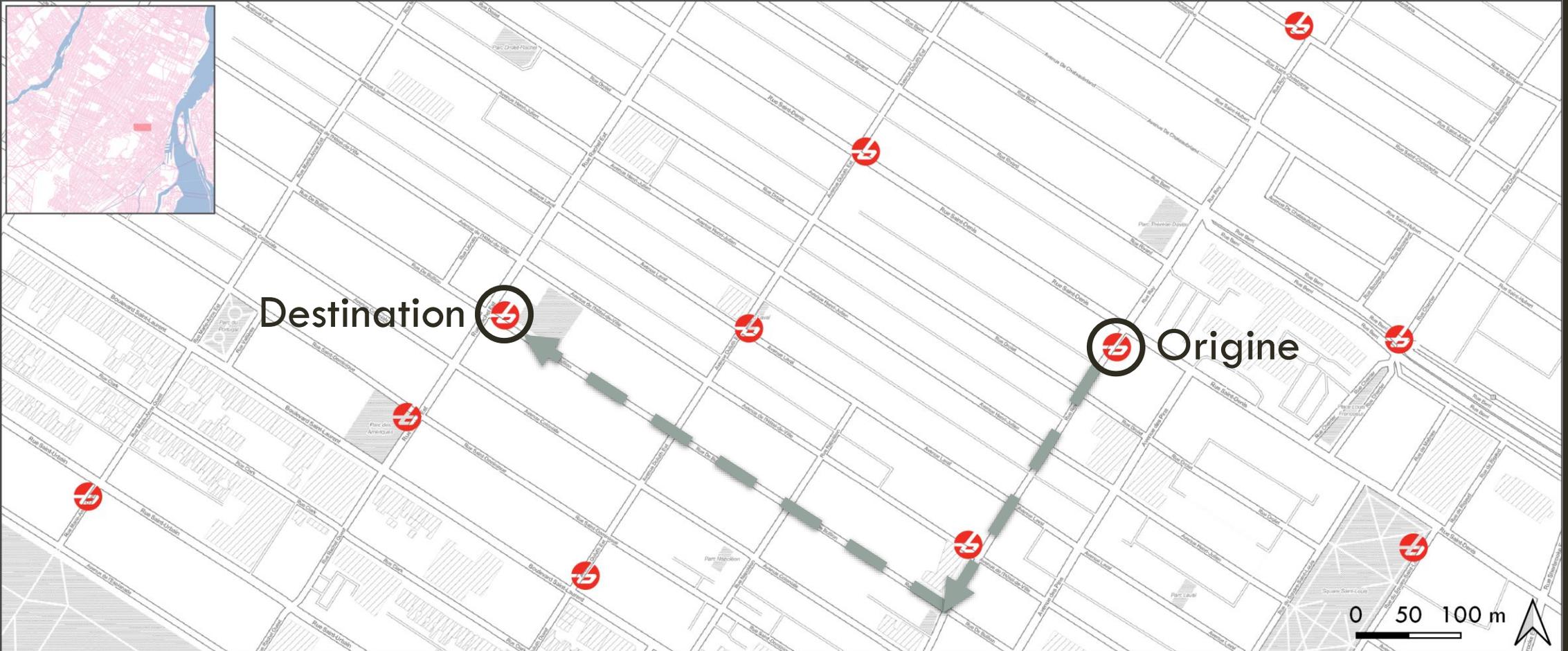
# UNE PAIRE ORIGINE-DESTINATION, C'EST QUOI?



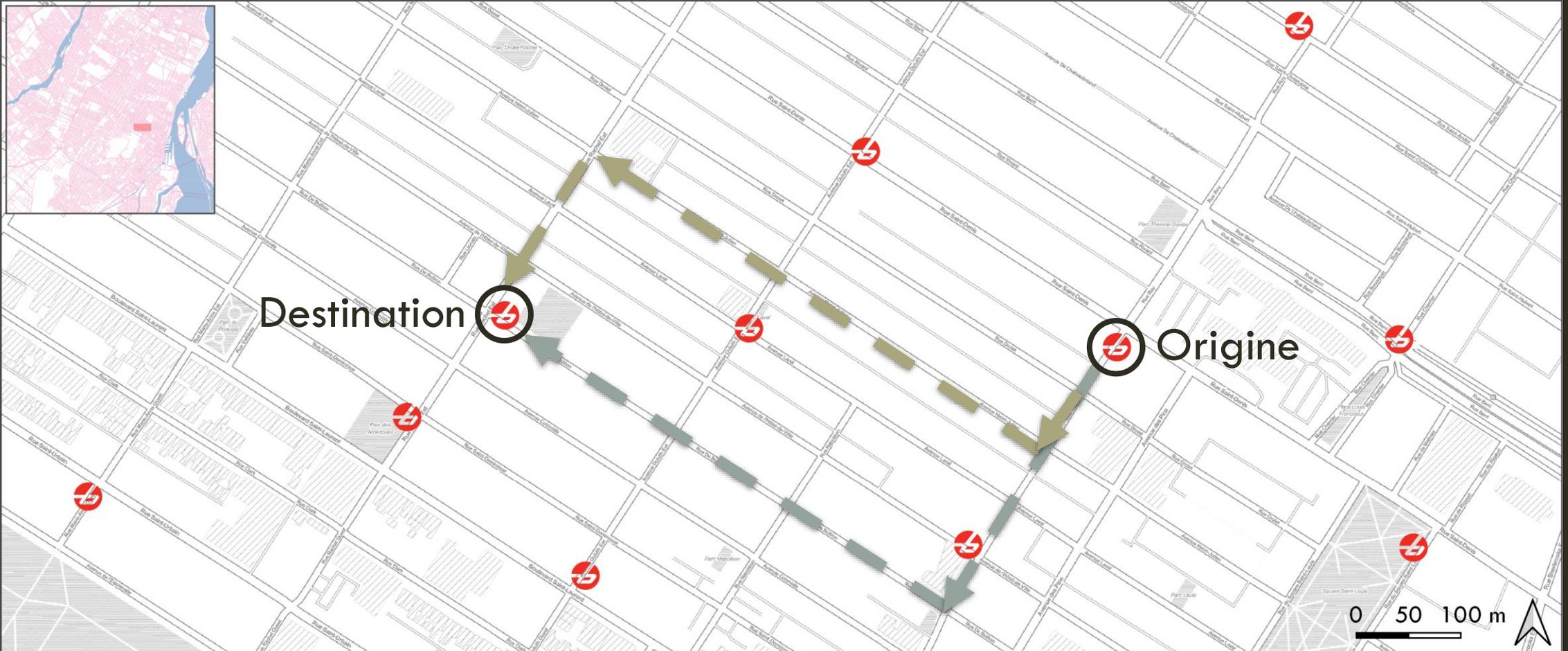
# ET UNE LIGNE DE DÉSIR?



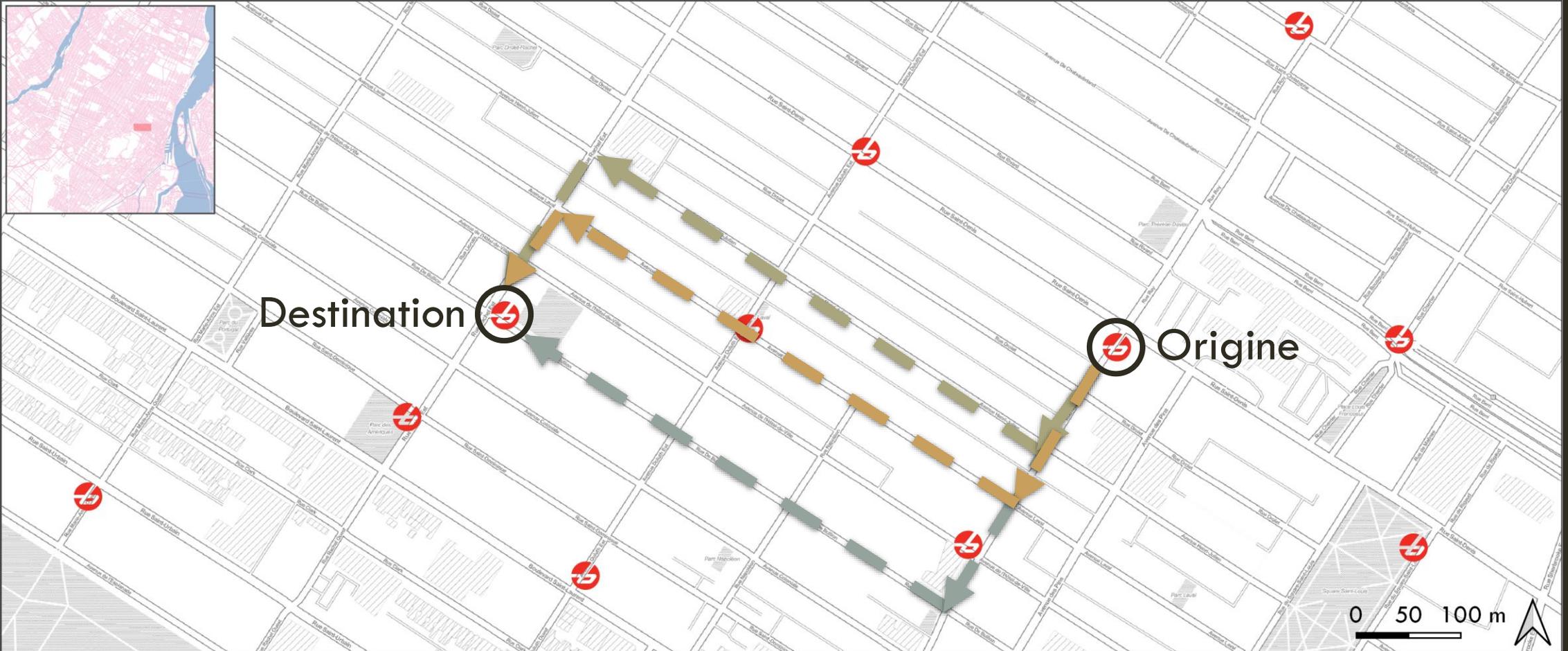
# ET UNE LIGNE DE DÉSIR?



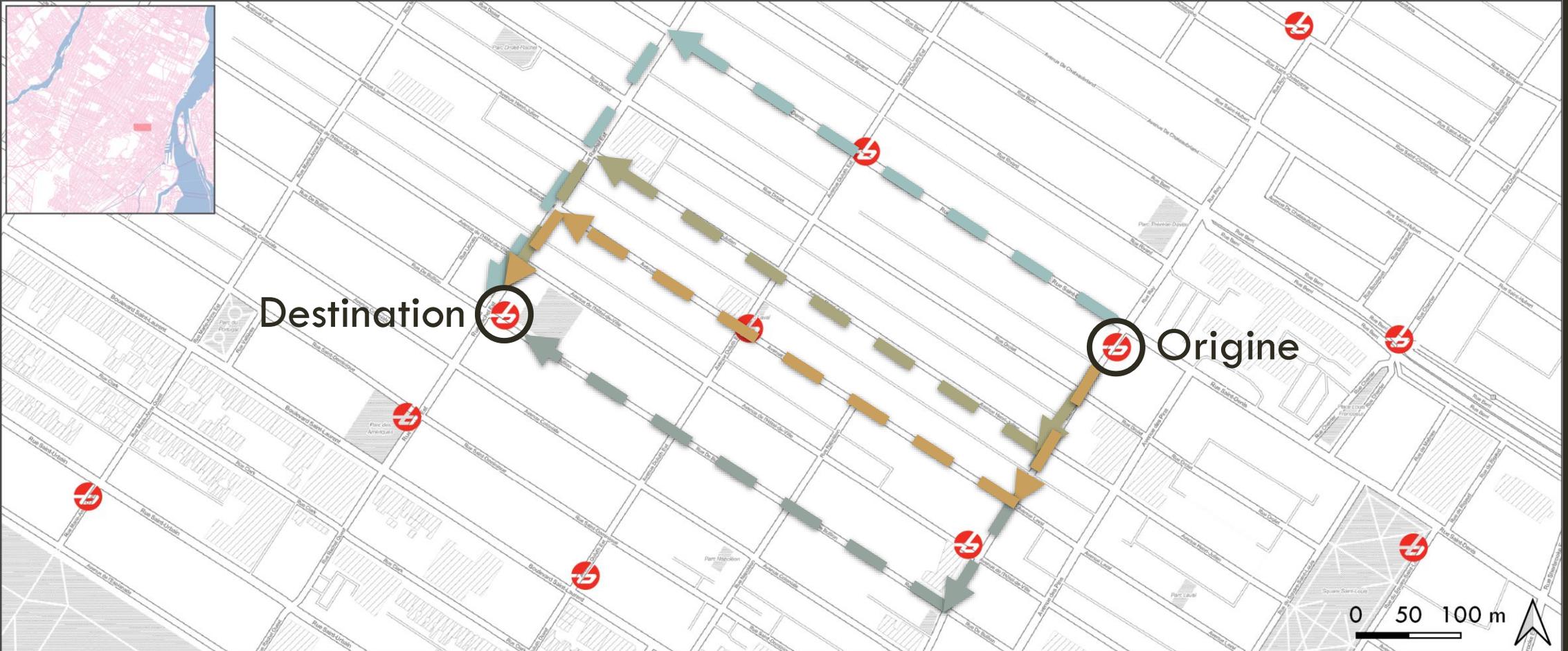
# ET UNE LIGNE DE DÉSIR?



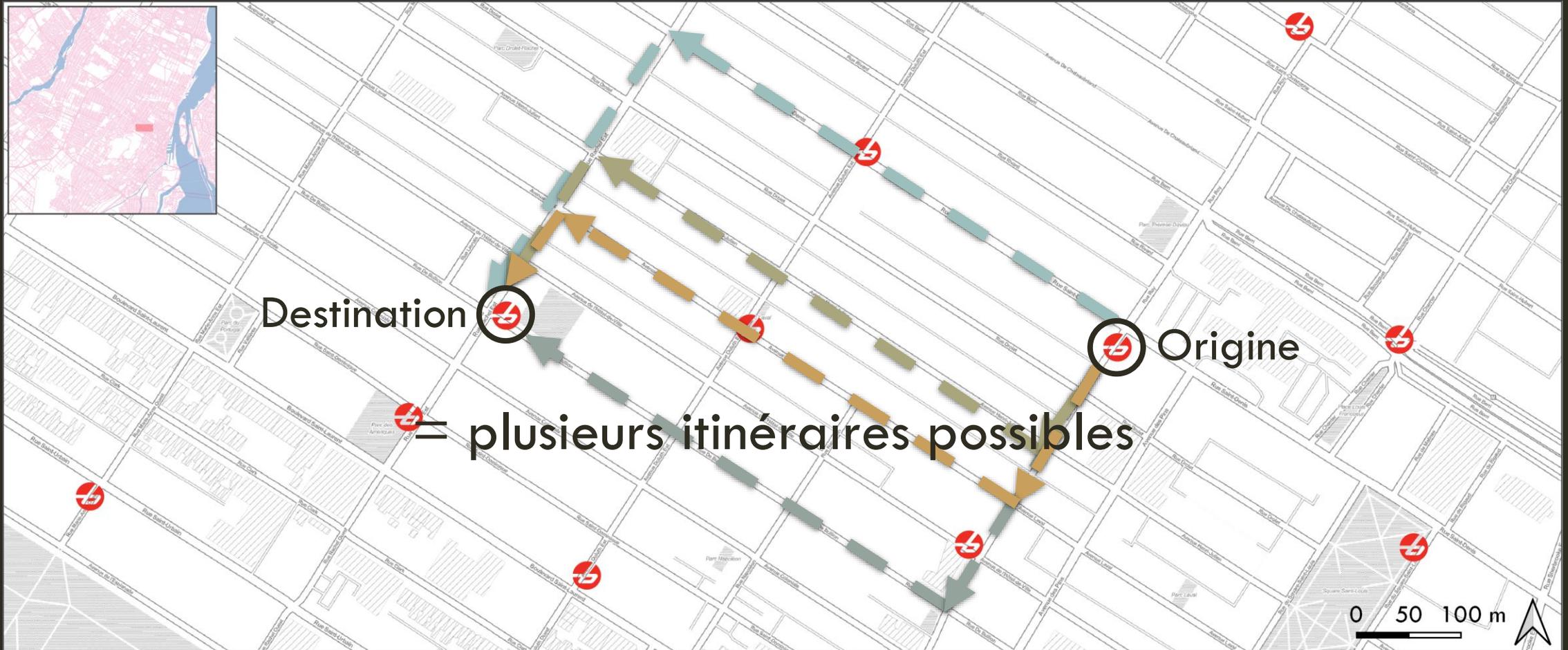
# ET UNE LIGNE DE DÉSIR?



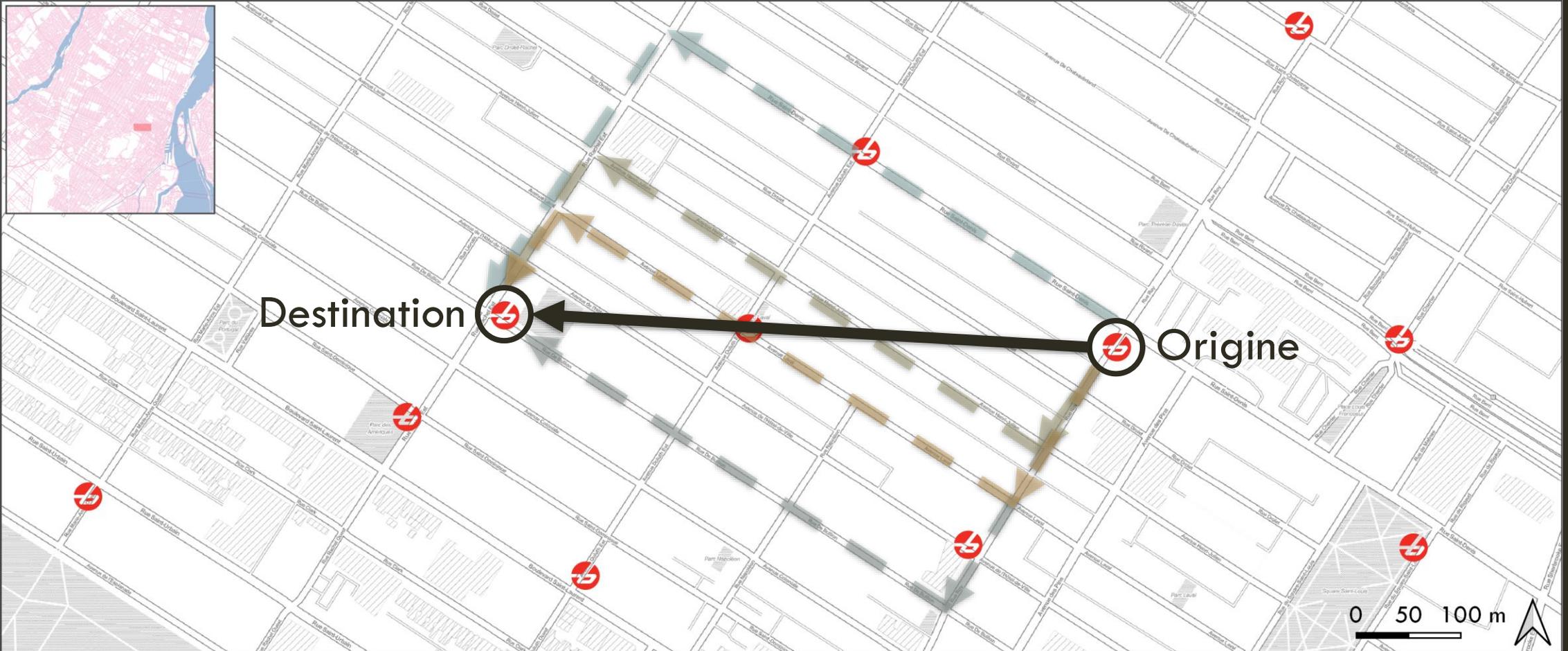
# ET UNE LIGNE DE DÉSIR?



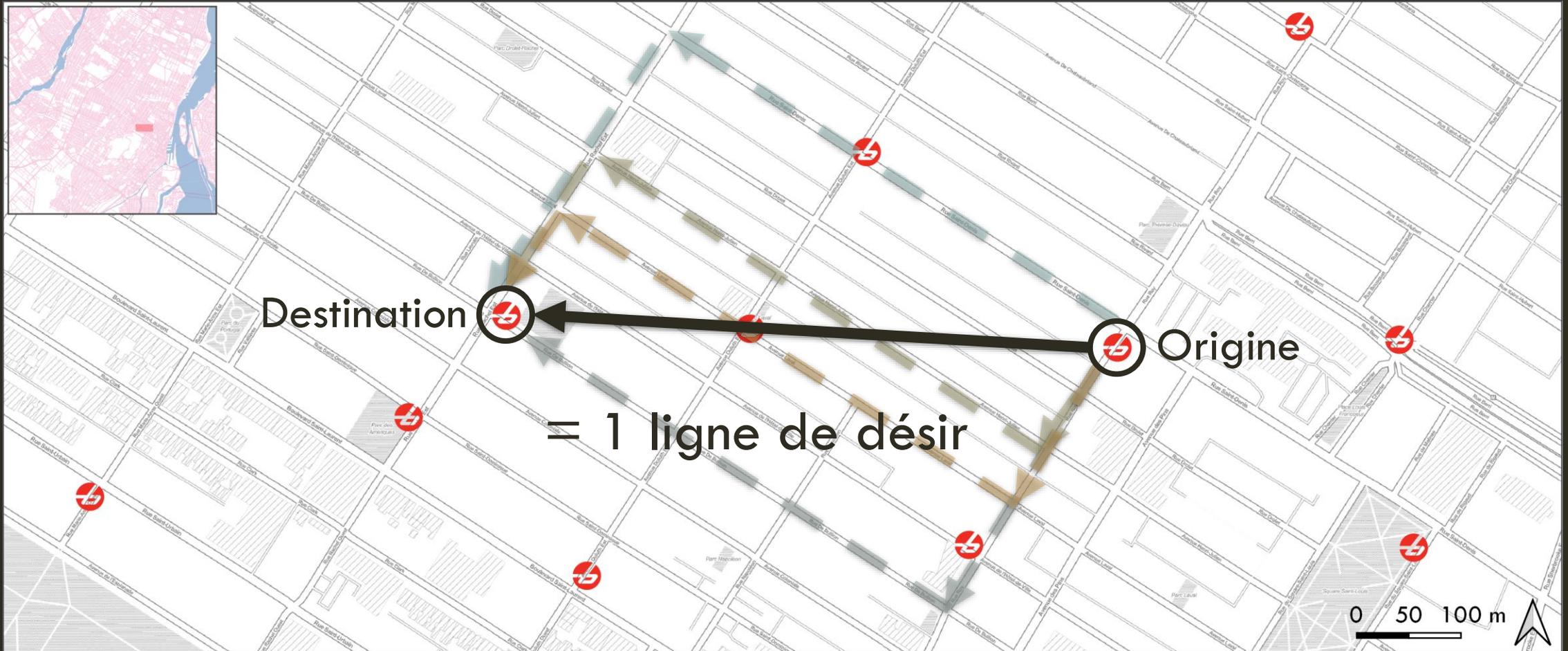
# ET UNE LIGNE DE DÉSIR?



# ET UNE LIGNE DE DÉSIR?



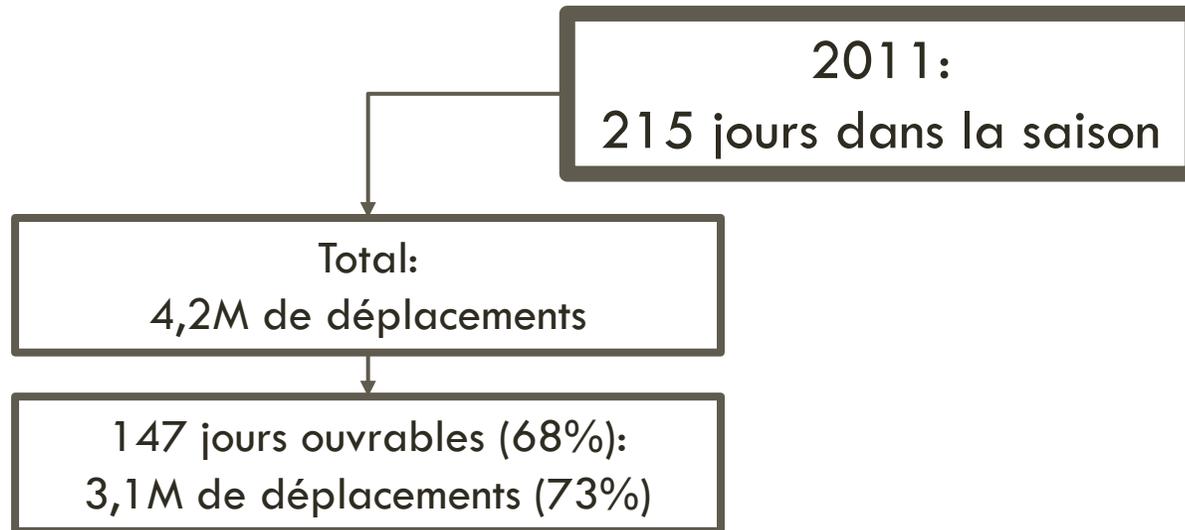
# ET UNE LIGNE DE DÉSIR?



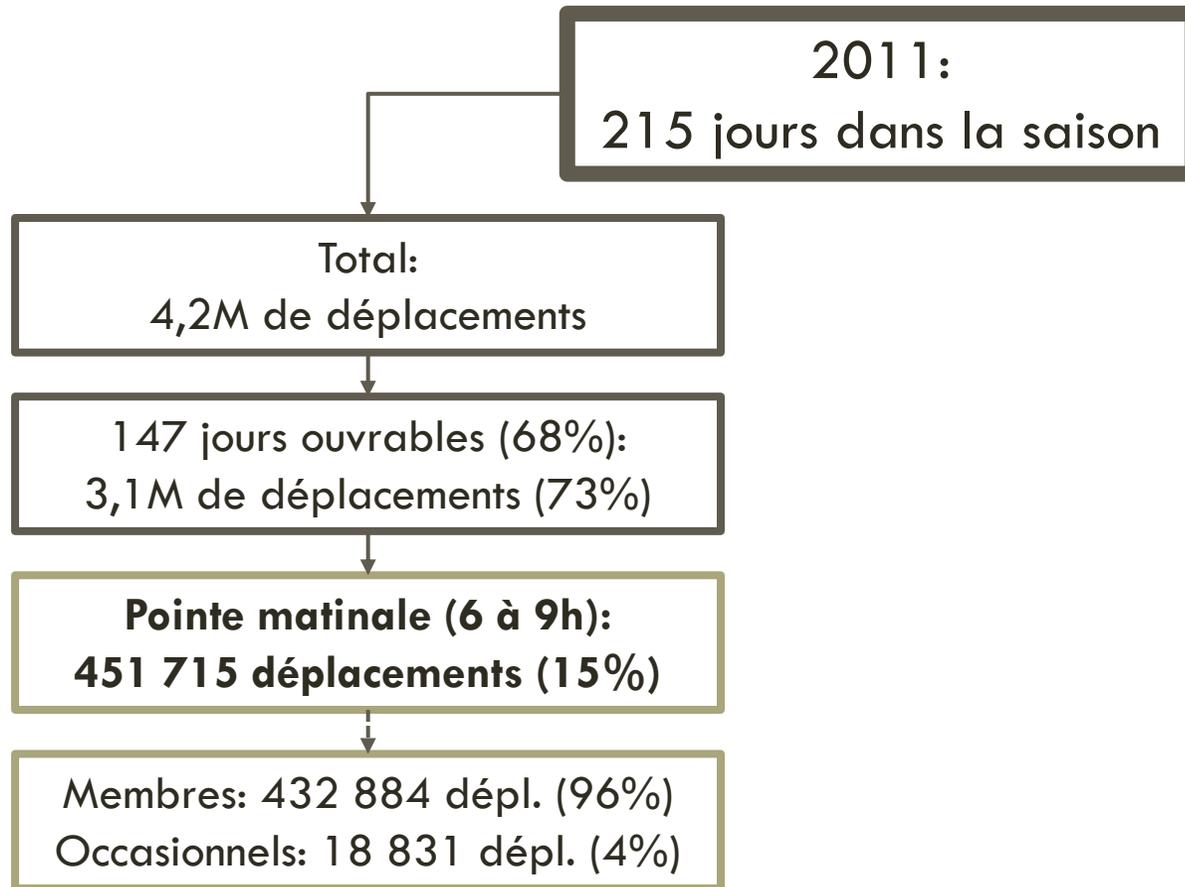
# QUELQUES CHIFFRES

2011:  
215 jours dans la saison

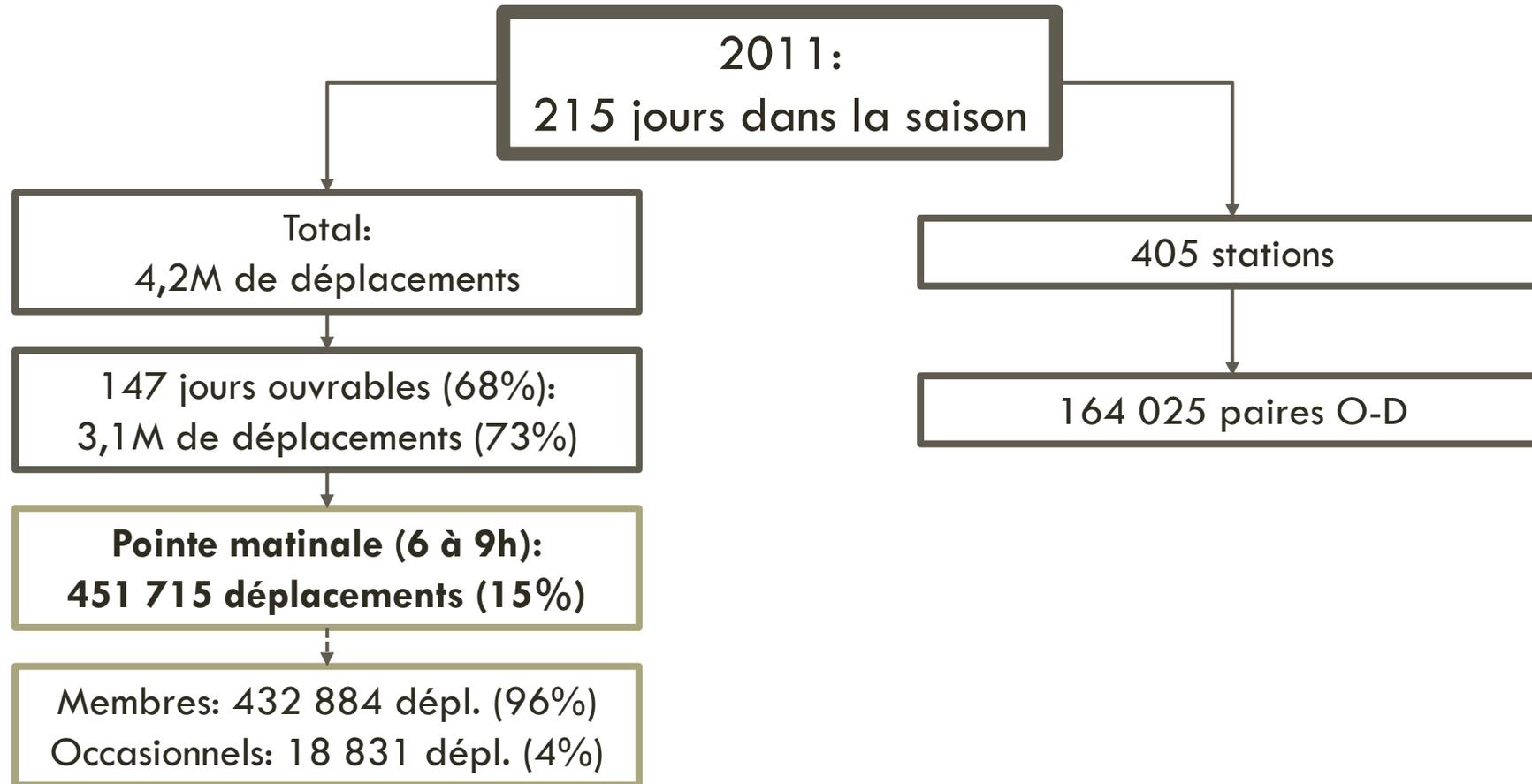
# QUELQUES CHIFFRES



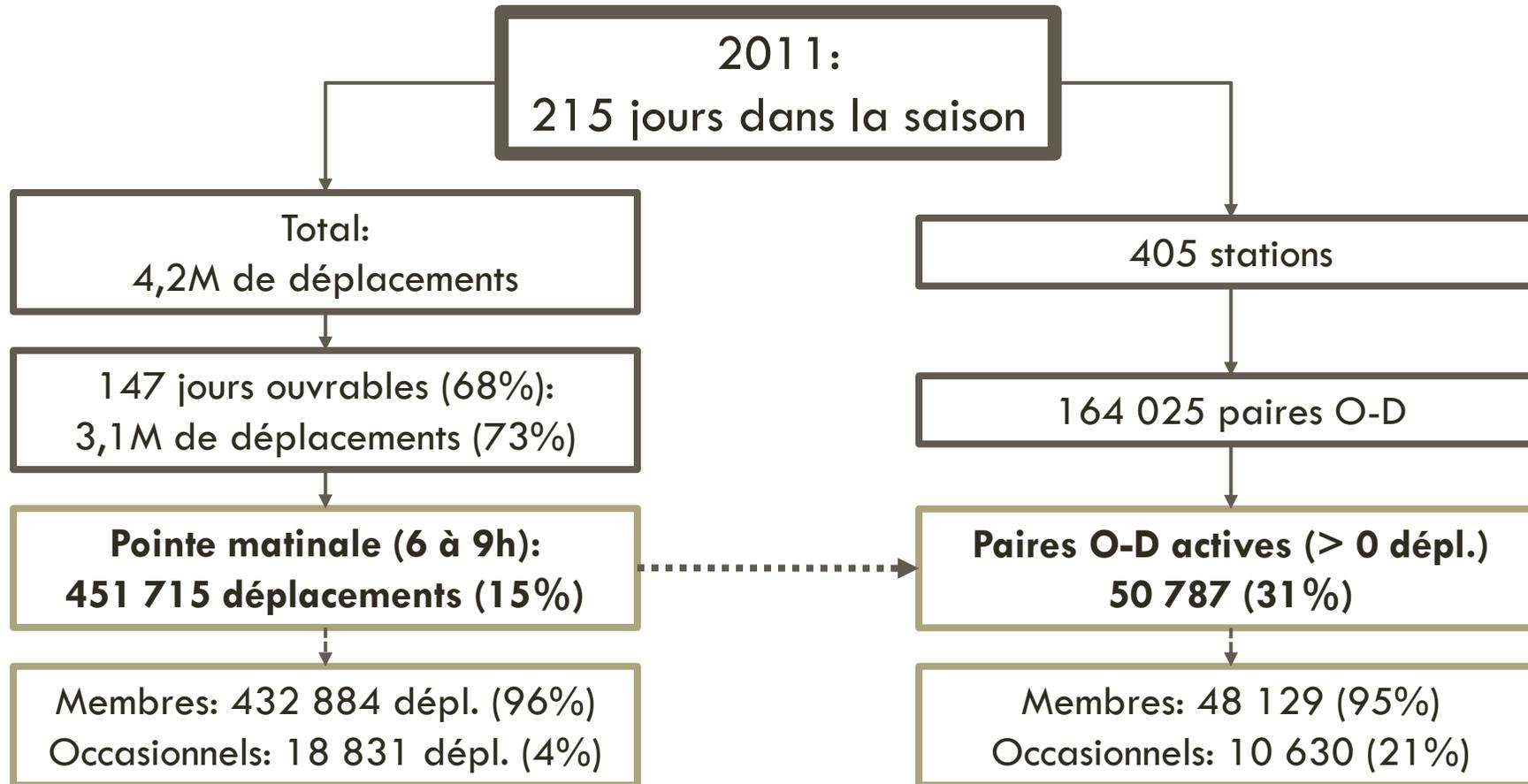
# QUELQUES CHIFFRES



# QUELQUES CHIFFRES



# QUELQUES CHIFFRES



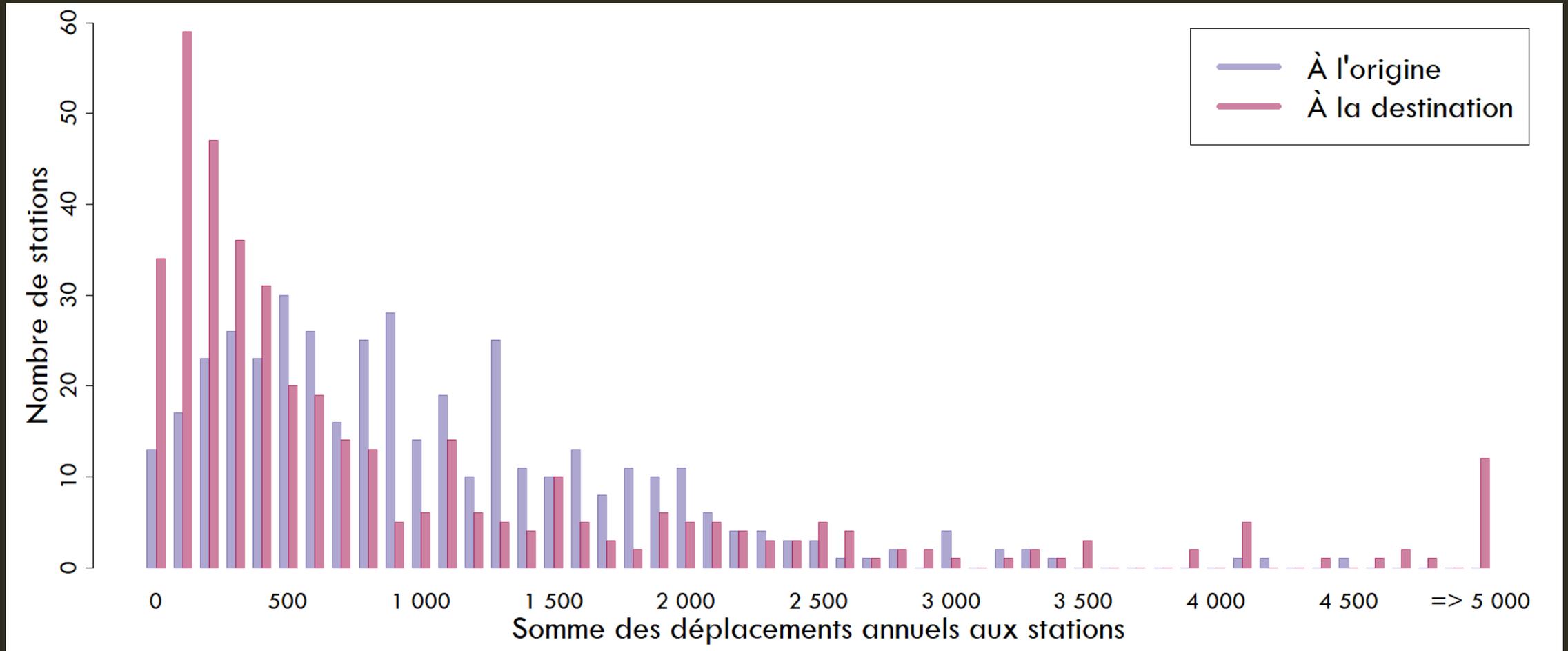
# ANALYSE DES DÉPLACEMENTS

Quelques tendances...

# SOMMAIRE DES DÉPLACEMENTS DES MEMBRES

	2011
<b>Déplacements (pointe AM, jours ouvrables)</b>	432 884
<b>Paires O-D actives (%)</b>	29,3
<b>Déplacements moyens par paire O-D active</b>	9,0
<b>Écart-type des déplacements par paire O-D active</b>	19,4
<b>Distance réseau moyenne (m)</b>	2 697

# BEAUCOUP D'ORIGINES, QUELQUES DESTINATIONS

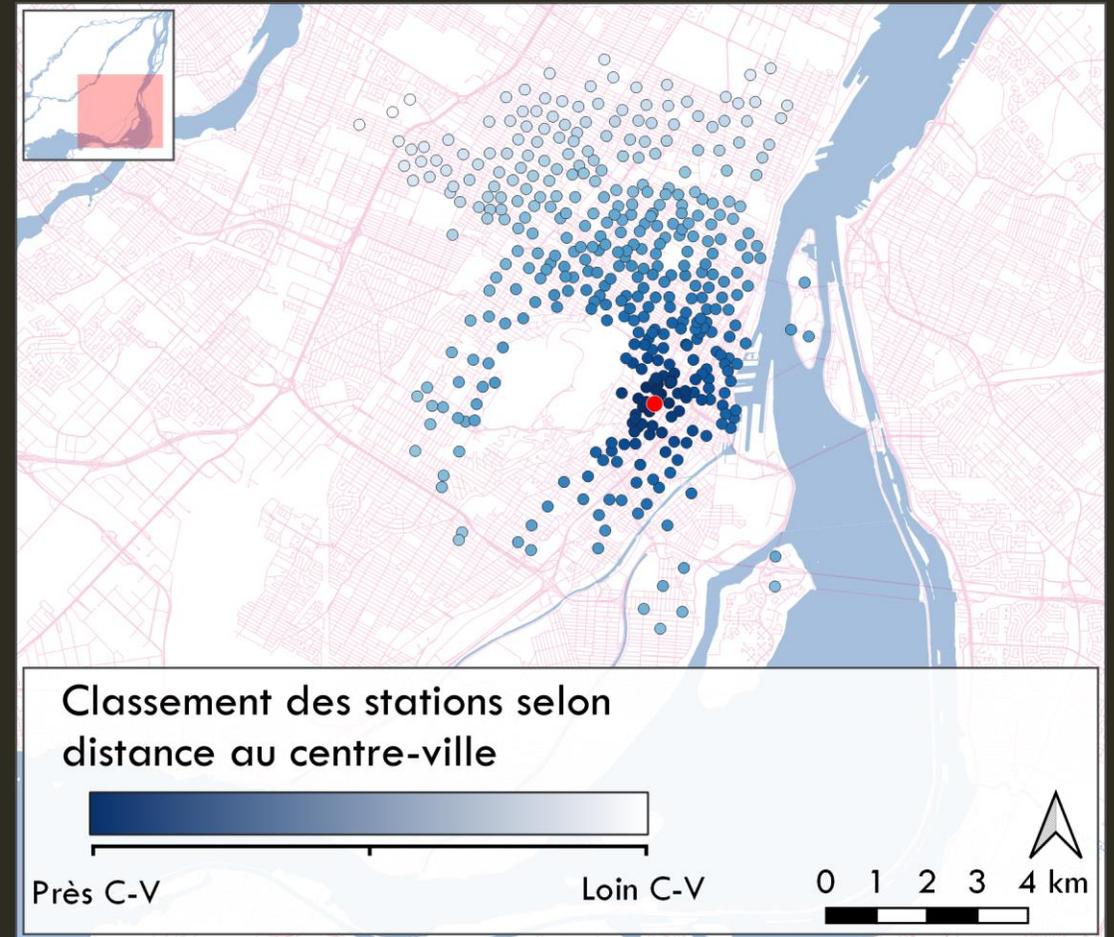


# LA MATRICE ORIGINE-DESTINATION

Stations		Destination ( $A_j$ )				Somme dépl. Produits
		1	2	3	...	
Origine ( $P_i$ )	1	0	1	0	...	615
	2	5	1	10	...	569
	3	9	9	2	...	835
	...	...	...	...	...	...
Somme dépl. attirés		1 169	854	2 134	...	432 884

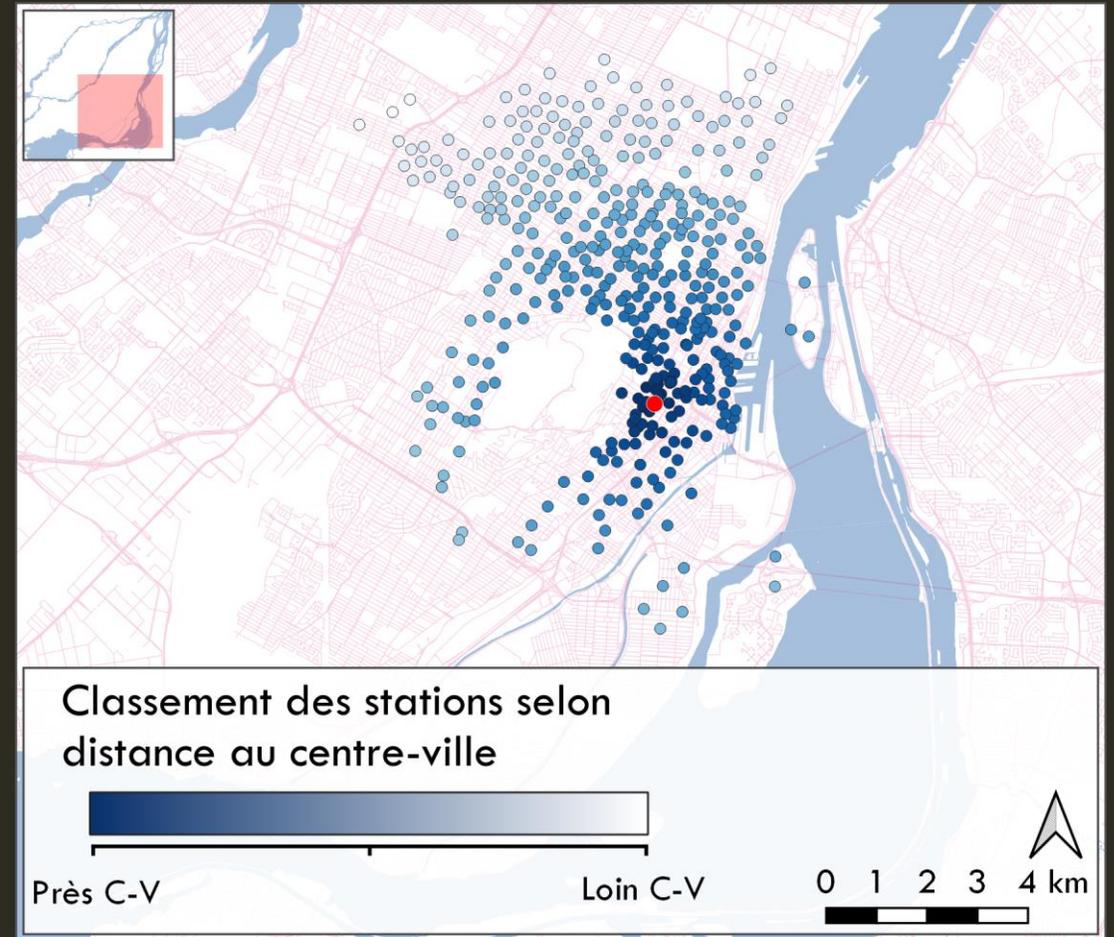
# LA MATRICE ORIGINE-DESTINATION

Stations		Destination ( $A_j$ )				Somme dépl. Produits
		1	2	3	...	
Origine ( $P_i$ )	1	0	1	0	...	615
	2	5	1	10	...	569
	3	9	9	2	...	835
	...	...	...	...	...	...
Somme dépl. attirés		1 169	854	2 134	...	432 884



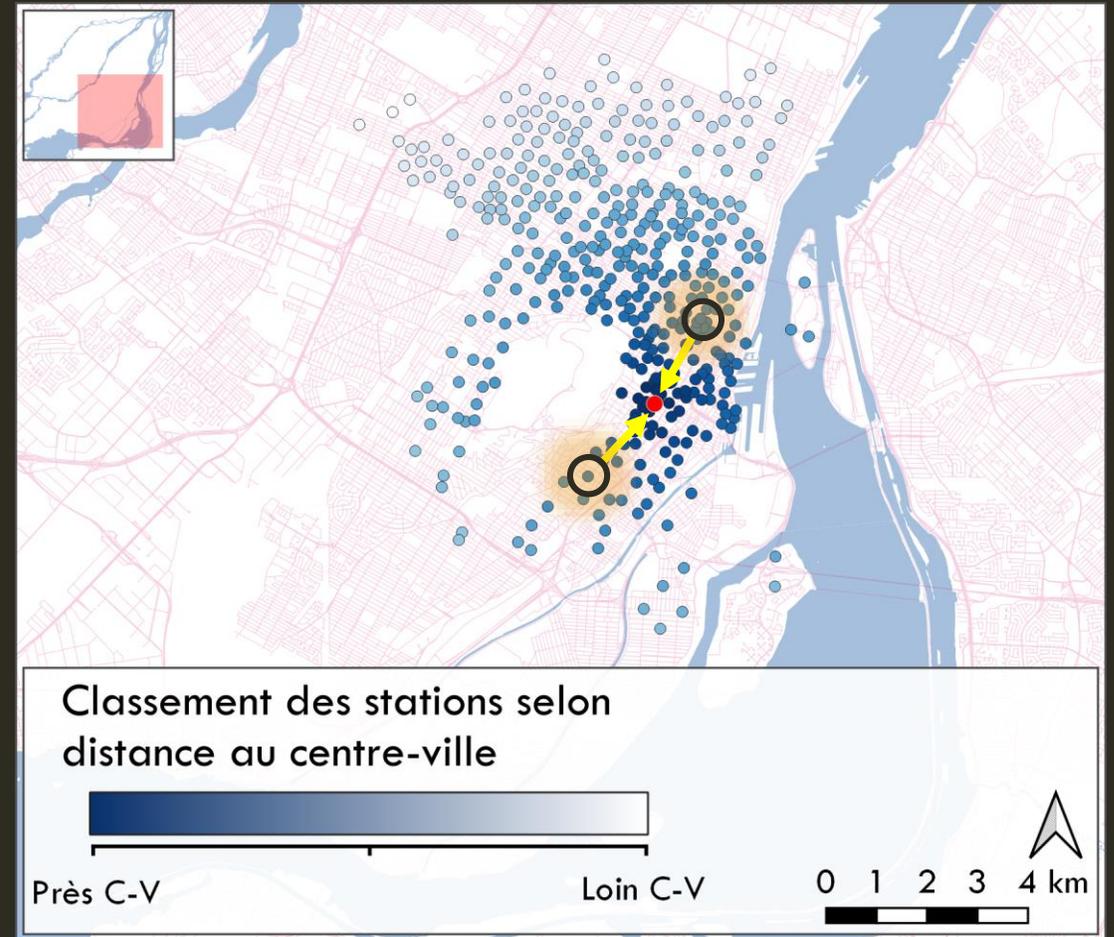
# LA MATRICE ORIGINE-DESTINATION

Stations	Destination ( $A_j$ )				Somme dépl. Produits	
	57	62	403	...		
Origine ( $P_i$ )	57	0	6	1	...	354
	62	9	0	7	...	1 249
	403	0	8	0	...	179
	...	...	...	...	...	...
Somme dépl. attirés	2 805	9 402	2 144	...	432 884	

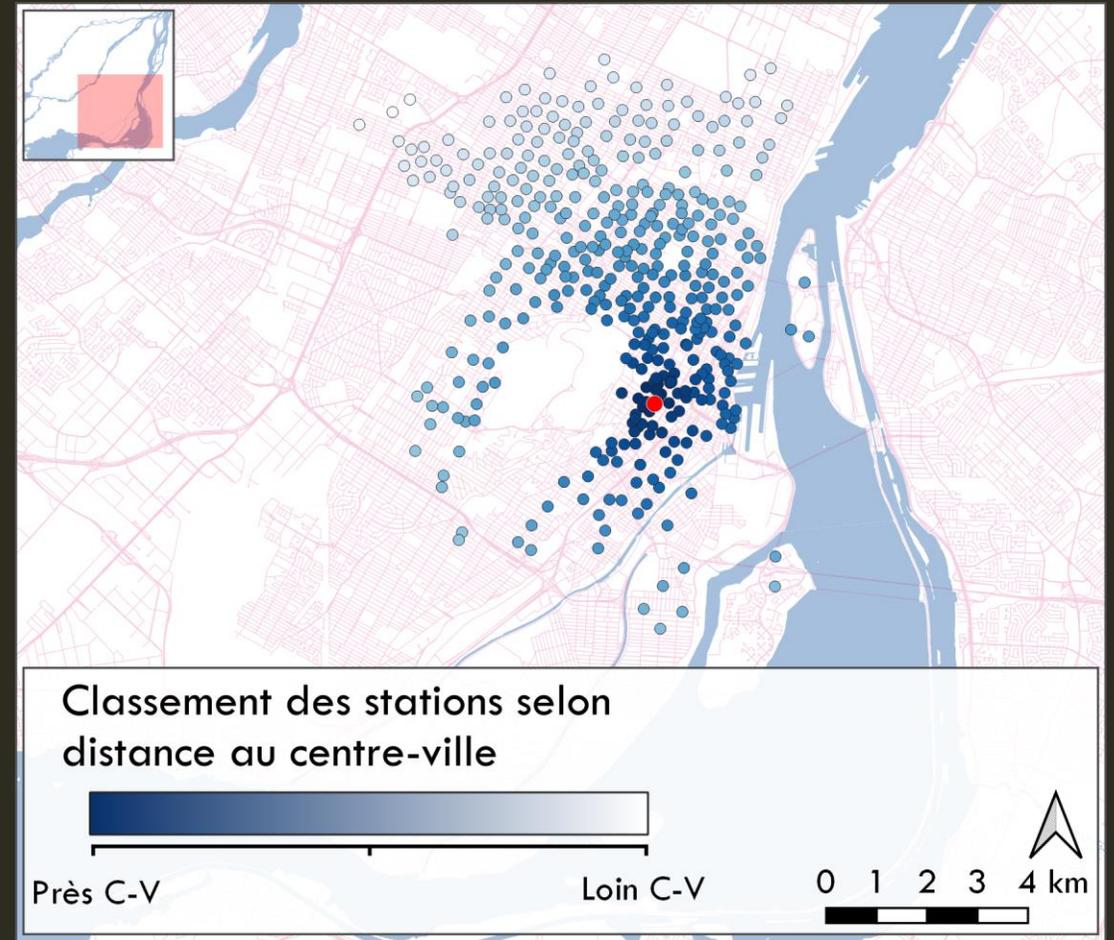
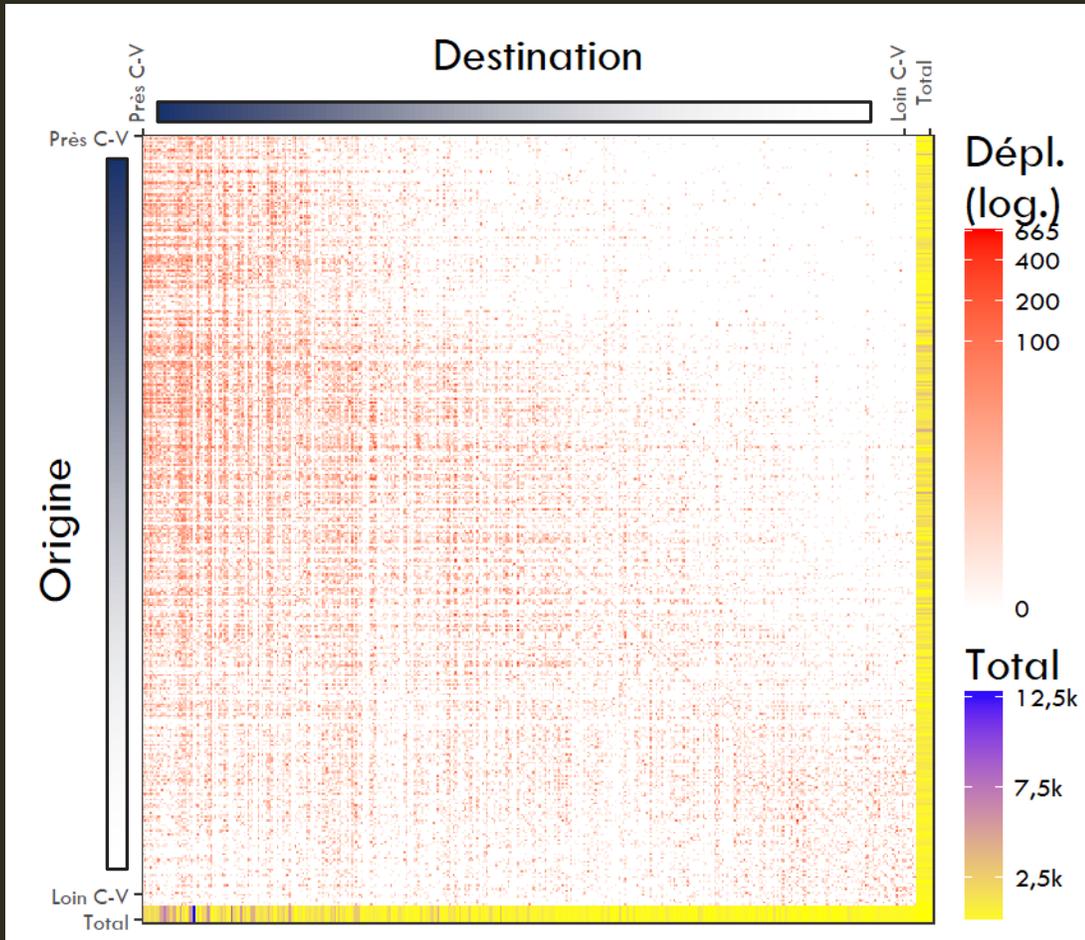


# LA MATRICE ORIGINE-DESTINATION

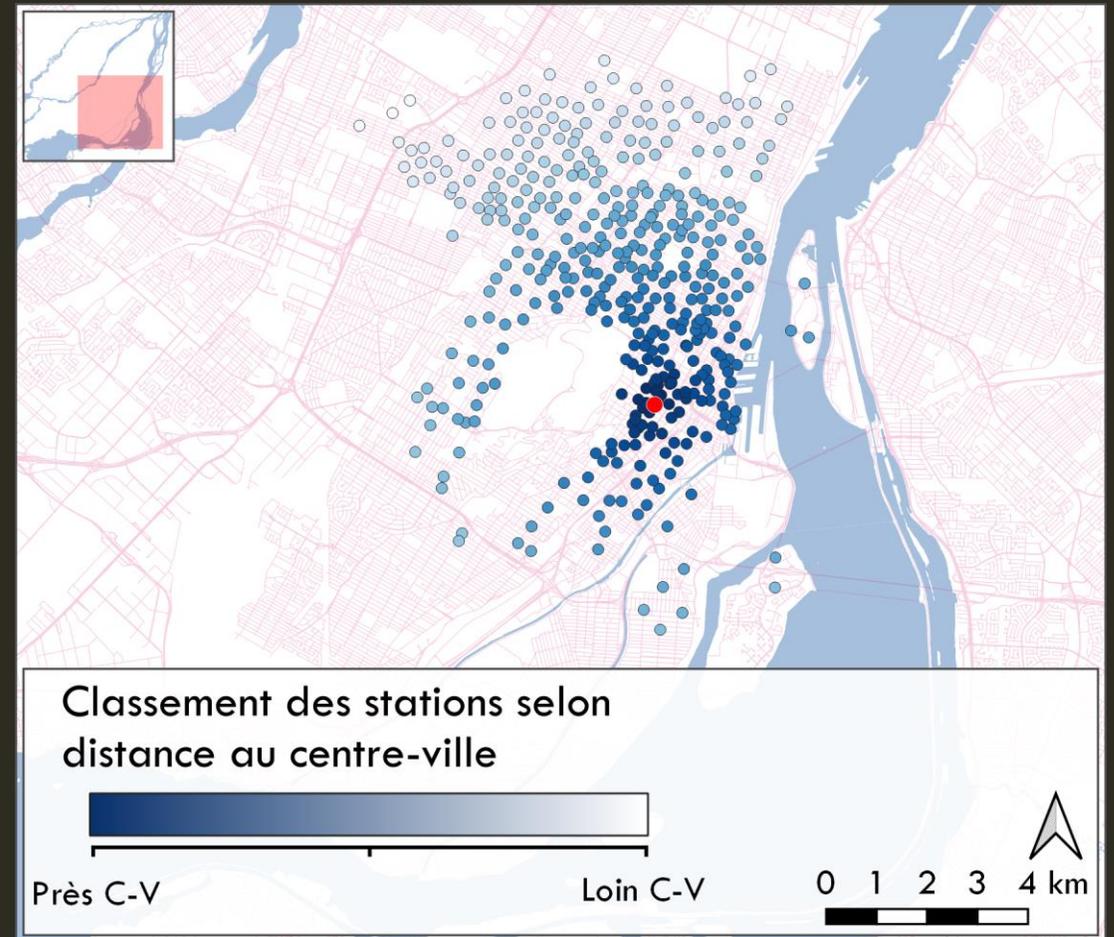
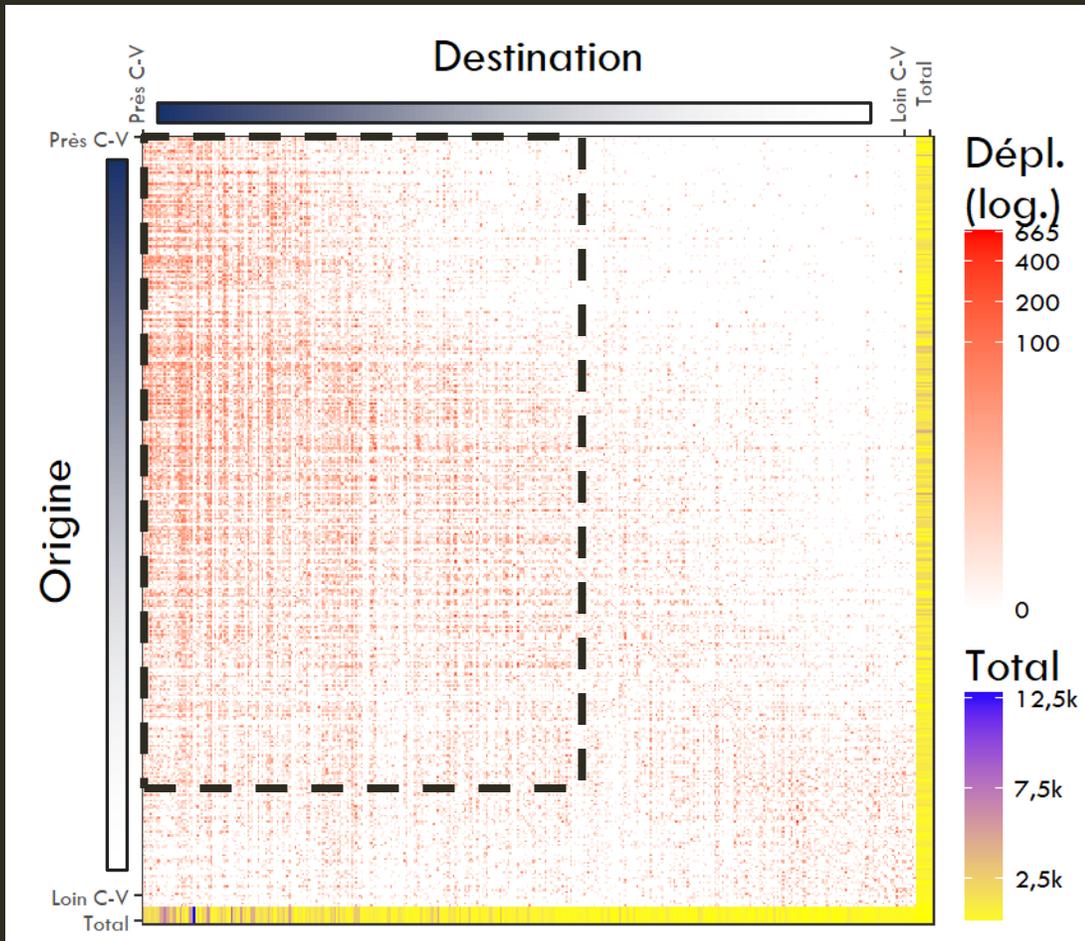
Stations	Destination ( $A_j$ )				Somme dépl. Produits	
	57	62	403	...		
Origine ( $P_i$ )	57	0	6	1	...	354
	62	9	0	7	...	1 249
	403	0	8	0	...	179
	...	...	...	...	...	...
Somme dépl. attirés	2 805	9 402	2 144	...	432 884	



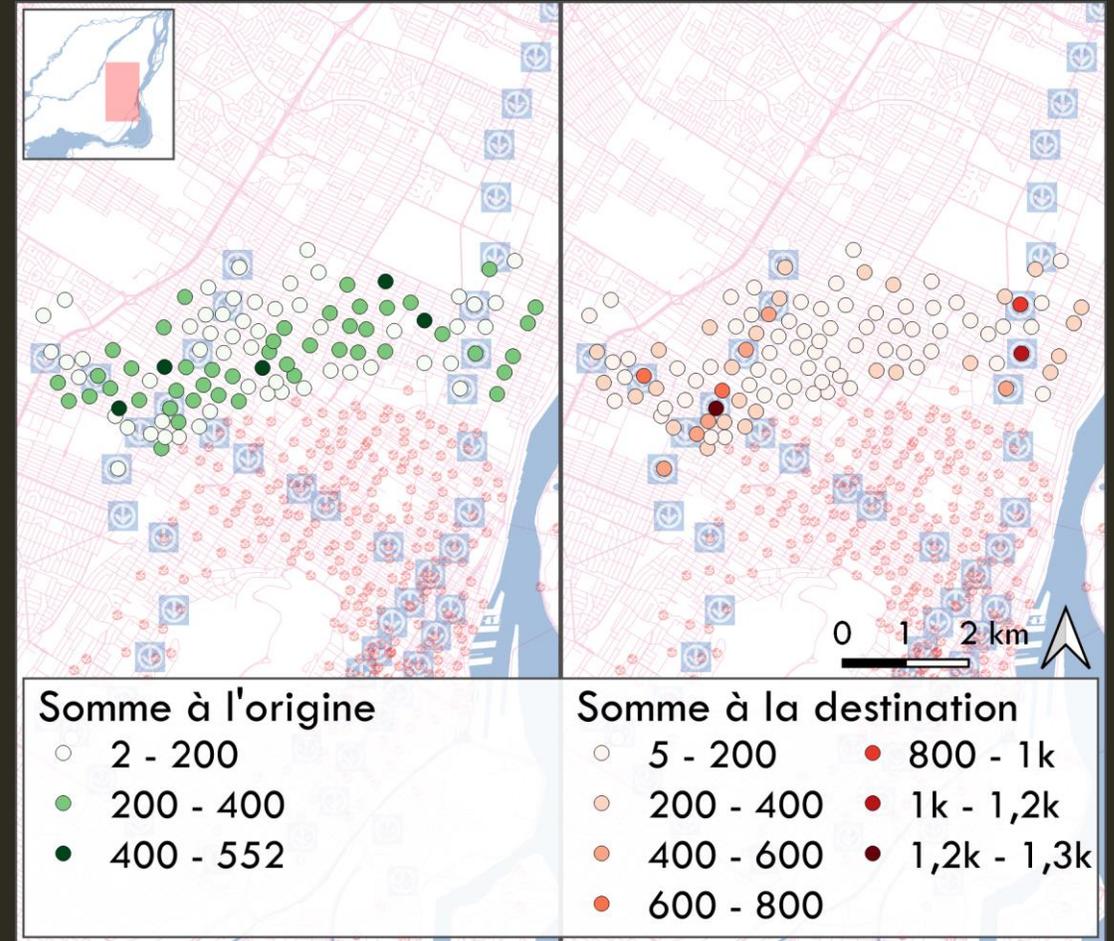
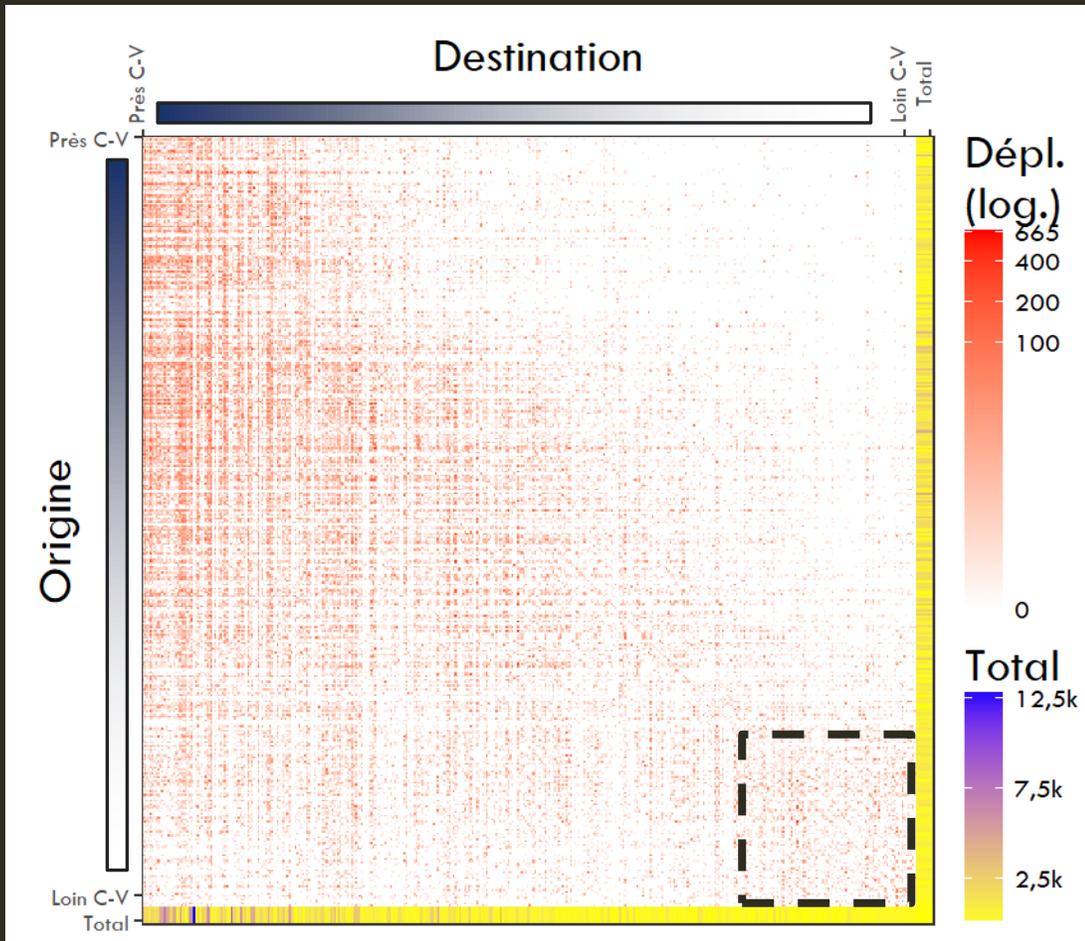
# DÉPLACEMENTS DES MEMBRES



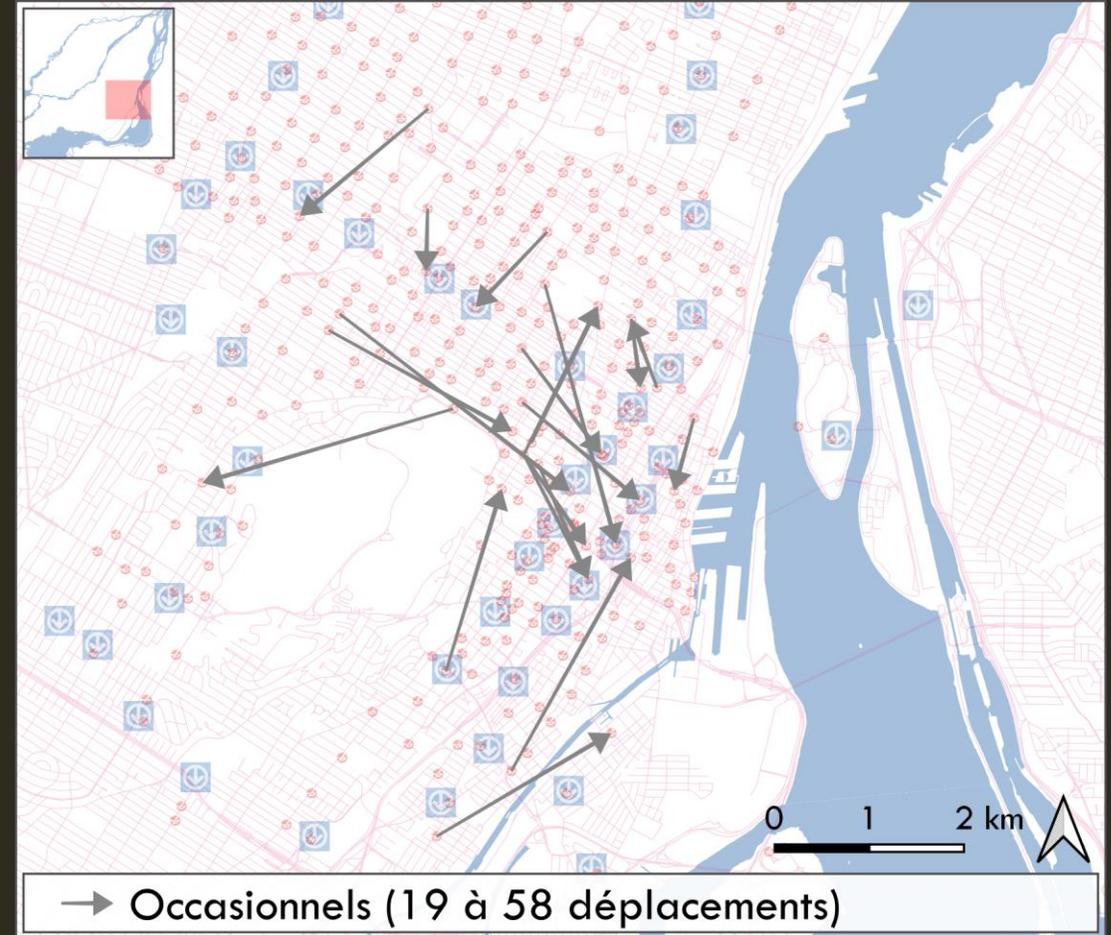
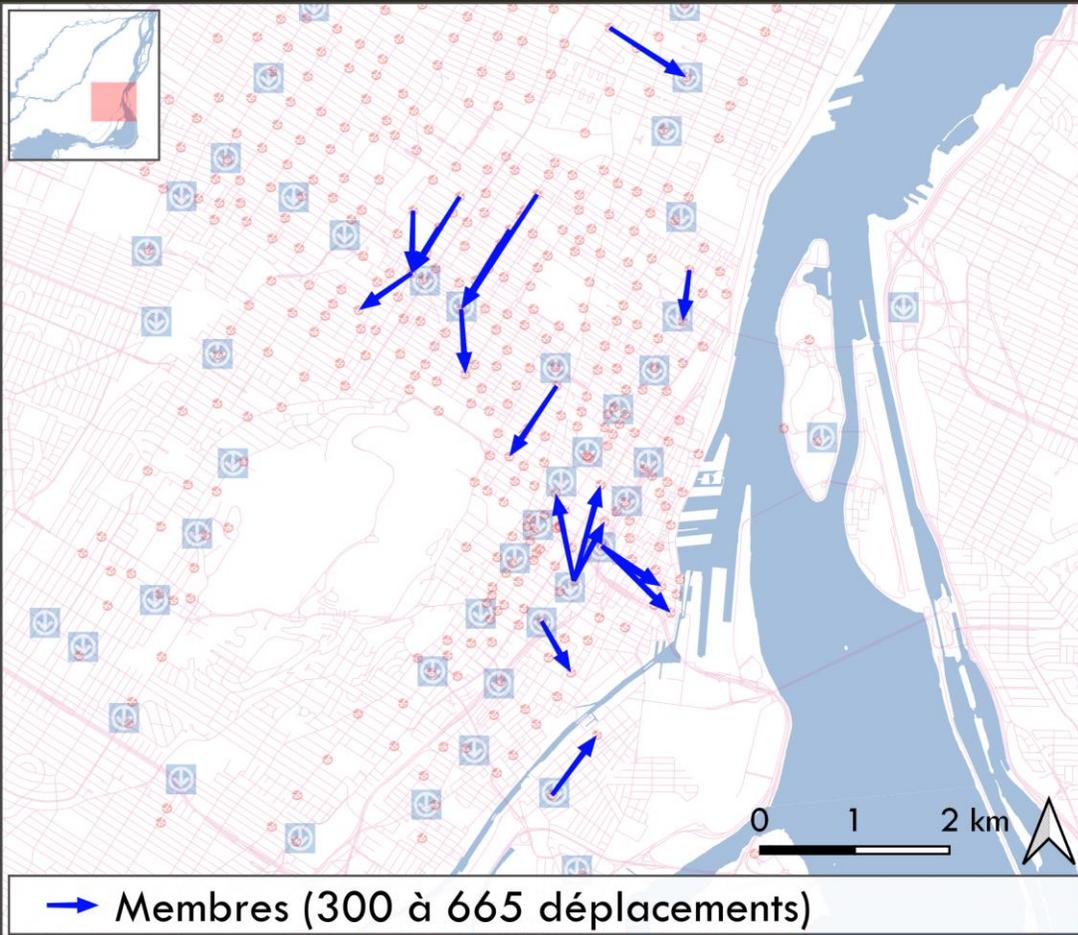
# DÉPLACEMENTS DES MEMBRES



# DÉPLACEMENTS QUARTIERS CENTRAUX VERS MÉTRO



# LES LIGNES DE DÉSIR POPULAIRES



# MODÉLISATION

Technique utilisée

# LE MODÈLE GRAVITAIRE

$$T_{ij} = P_i A_j \alpha_i \beta_j f(c_{ij})$$

# LE MODÈLE GRAVITAIRE

$$T_{ij} = P_i A_j \alpha_i \beta_j f(c_{ij})$$

*Déplacements observés entre  
stations  $i$  et  $j$*

# LE MODÈLE GRAVITAIRE

$$T_{ij} = P_i A_j \alpha_i \beta_j f(c_{ij})$$

*Déplacements observés entre stations  $i$  et  $j$*

*Somme des déplacements produits par la station  $i$  ( $P_i$ ) et attirés par la station  $j$  ( $A_j$ ) (marges)*

# LE MODÈLE GRAVITAIRE

$$T_{ij} = P_i A_j \alpha_i \beta_j f(c_{ij})$$

*Déplacements observés entre stations  $i$  et  $j$*

*Somme des déplacements produits par la station  $i$  ( $P_i$ ) et attirés par la station  $j$  ( $A_j$ ) (marges)*

*Facteurs d'ajustement des marges*

# LE MODÈLE GRAVITAIRE

$$T_{ij} = P_i A_j \alpha_i \beta_j f(c_{ij})$$

Déplacements observés entre stations  $i$  et  $j$

Somme des déplacements produits par la station  $i$  ( $P_i$ ) et attirés par la station  $j$  ( $A_j$ )  
(marges)

Fonction de coût  
(distance ou temps)

Facteurs d'ajustement des marges

# LE MODÈLE GRAVITAIRE

$$T_{ij} = P_i A_j \alpha_i \beta_j f(c_{ij})$$

Déplacements observés entre stations  $i$  et  $j$

Somme des déplacements produits par la station  $i$  ( $P_i$ ) et attirés par la station  $j$  ( $A_j$ ) (marges)

Fonction de coût (distance ou temps)

Facteurs d'ajustement des marges

# LES FACTEURS D'AJUSTEMENT

$$T_{ij} = P_i A_j \alpha_i \beta_j f(c_{ij})$$

- ❑ Contraignent les marges de la matrice modélisée à celle observée
- ❑ Déterminés de manière itérative, jusqu'à convergence

# LES FACTEURS D'AJUSTEMENT

$$T_{ij} = P_i A_j \alpha_i \beta_j f(c_{ij})$$

- ❑ Contraignent les marges de la matrice modélisée à celle observée
- ❑ Déterminés de manière itérative, jusqu'à convergence

$$\beta_j = 1$$

$$\alpha_i = \frac{1}{\sum_j \beta_j A_j f(c_{ij})}$$

# LES FACTEURS D'AJUSTEMENT

$$T_{ij} = P_i A_j \alpha_i \beta_j f(c_{ij})$$

- ❑ Contraignent les marges de la matrice modélisée à celle observée
- ❑ Déterminés de manière itérative, jusqu'à convergence

$$\alpha_i = \frac{1}{\sum_j \beta_j A_j f(c_{ij})}$$

# LES FACTEURS D'AJUSTEMENT

$$T_{ij} = P_i A_j \alpha_i \beta_j f(c_{ij})$$

- ❑ Contraignent les marges de la matrice modélisée à celle observée
- ❑ Déterminés de manière itérative, jusqu'à convergence

$$\beta_j = 1$$
$$\alpha_i = \frac{1}{\sum_i \beta_j A_j f(c_{ij})}$$
$$\beta_j = \frac{1}{\sum_i \alpha_i P_i f(c_{ij})}$$

# LES FACTEURS D'AJUSTEMENT

$$T_{ij} = P_i A_j \alpha_i \beta_j f(c_{ij})$$

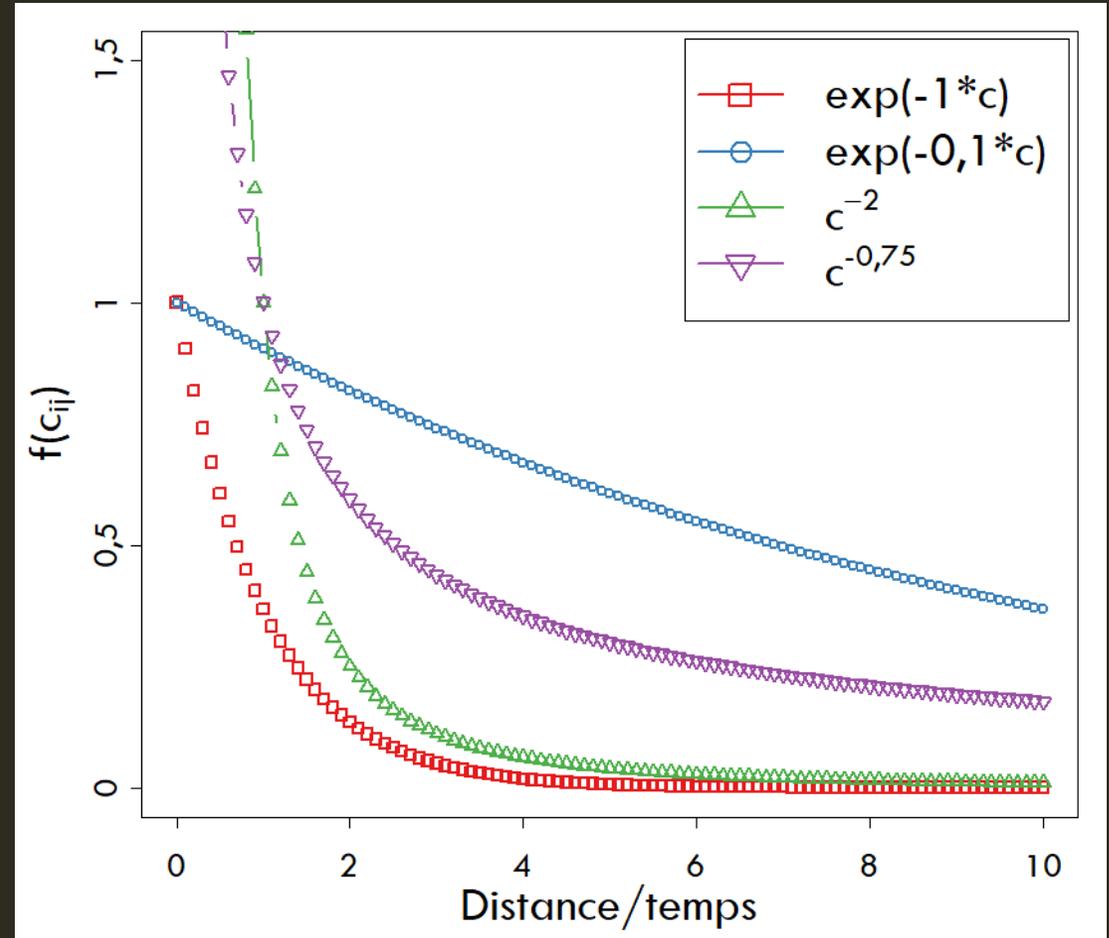
- ❑ Contraignent les marges de la matrice modélisée à celle observée
- ❑ Déterminés de manière itérative, jusqu'à convergence
- ❑ Arrondis à 10 chiffres après la virgule car calculs très longs
  - ❑ Impact sur les résultats

$$\beta_j = 1$$
$$\alpha_i = \frac{1}{\sum_i \beta_j A_j f(c_{ij})}$$
$$\beta_j = \frac{1}{\sum_i \alpha_i P_i f(c_{ij})}$$

# LA FONCTION DE COÛT

$$T_{ij} = P_i A_j \alpha_i \beta_j f(c_{ij})$$

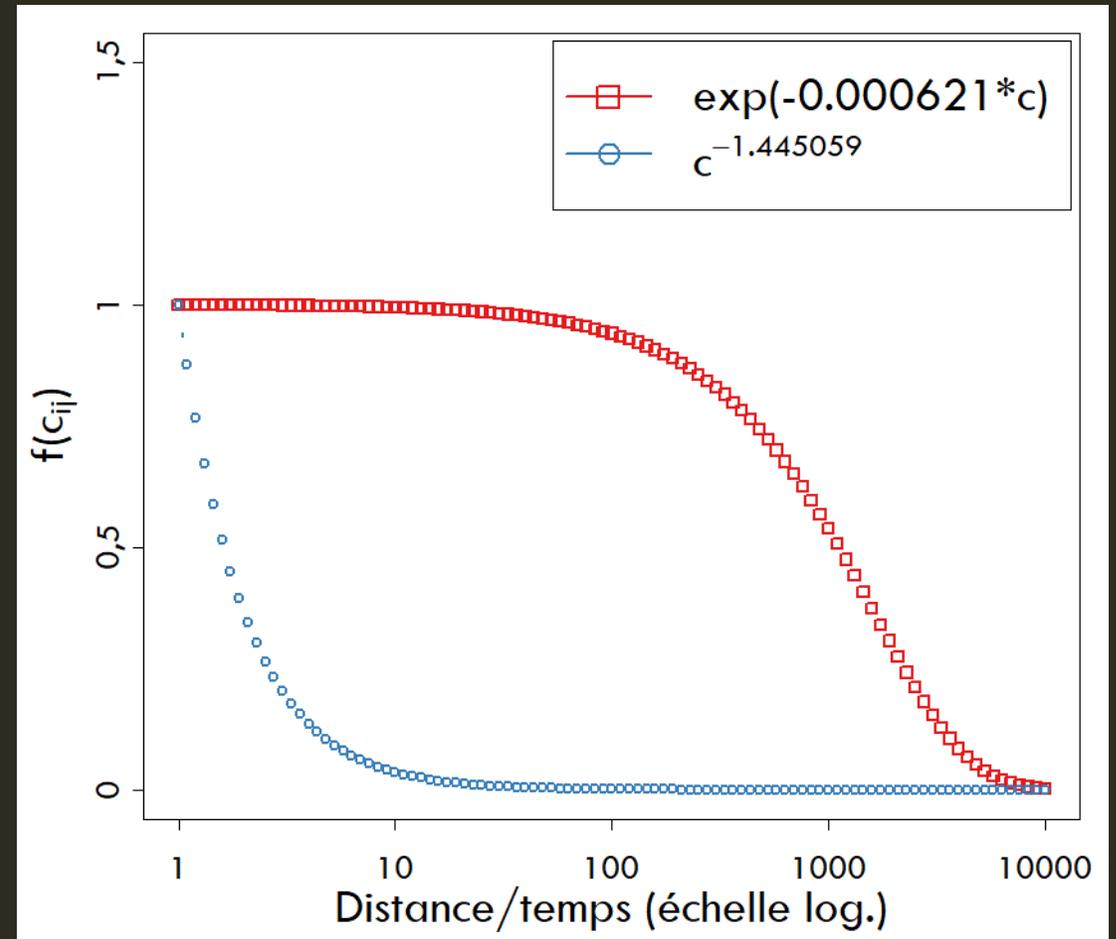
- Se base sur un coût ( $c$ ) entre les stations  $i$  et  $j$ 
  - Celui-ci peut être une distance ou bien une durée
- Fonctions changent l'attraction selon la distance entre stations
  - Exponentielle:  $f(c_{ij}) = \exp(-b * c_{ij})$
  - Puissance:  $f(c_{ij}) = c_{ij}^{-b}$



# LA FONCTION DE COÛT

$$T_{ij} = P_i A_j \alpha_i \beta_j f(c_{ij})$$

- ❑ Se base sur un coût ( $c$ ) entre les stations  $i$  et  $j$ 
  - ❑ Celui-ci peut être une distance ou bien une durée
- ❑ Fonctions changent l'attraction selon la distance entre stations
  - ❑ Exponentielle:  $f(c_{ij}) = \exp(-b * c_{ij})$
  - ❑ Puissance:  $f(c_{ij}) = c_{ij}^{-b}$
  - ❑ Le paramètre  $b$  se calcule de manière itérative, en comparaison avec le coût moyen observé ( $\pm 0,25\%$ )



# RÉSULTATS

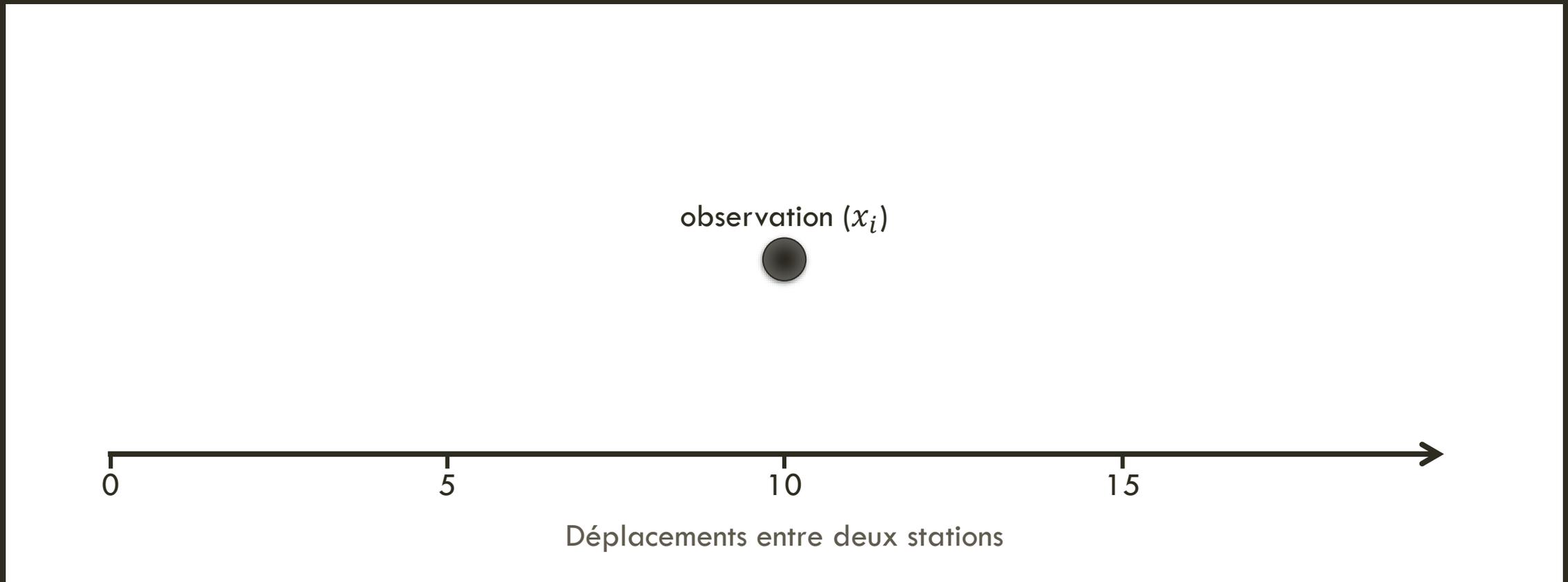
Modélisation des déplacements effectués par les membres

# LA NOTION D'UN « RÉSIDU »

RÉSIDU = MODÈLE – OBSERVATION

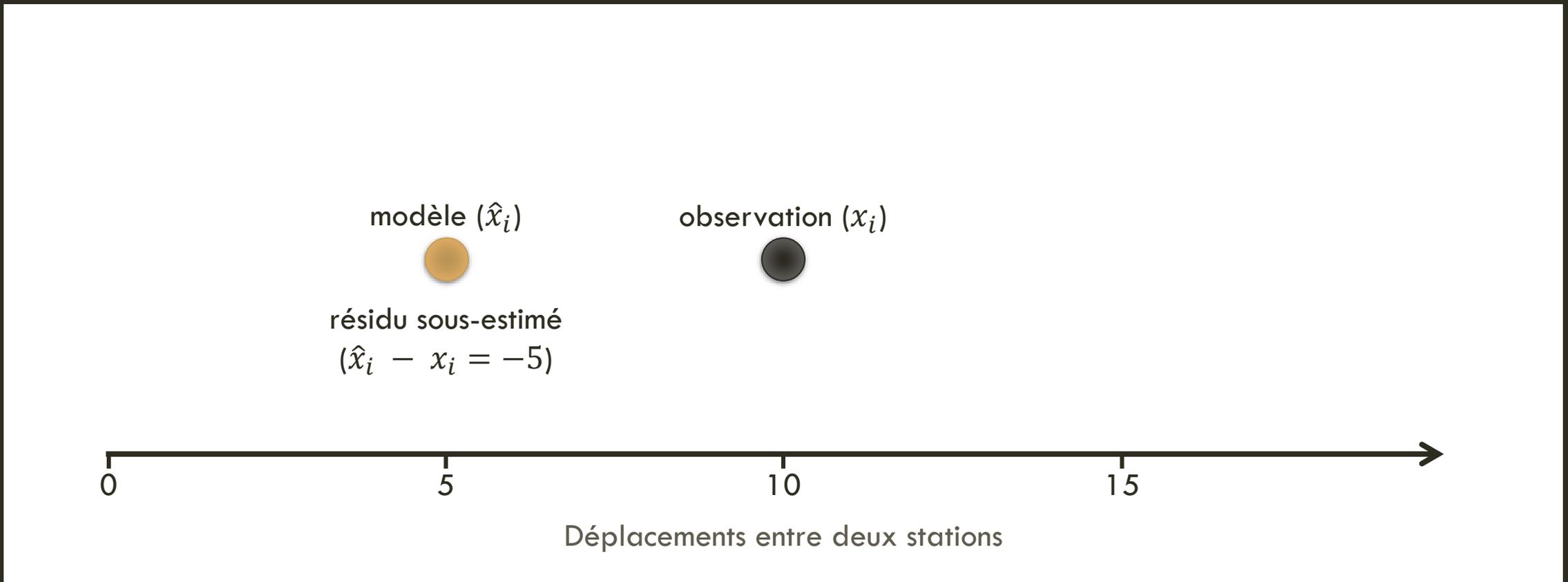
# LA NOTION D'UN « RÉSIDU »

$$\text{RÉSIDU} = \text{MODÈLE} - \text{OBSERVATION}$$



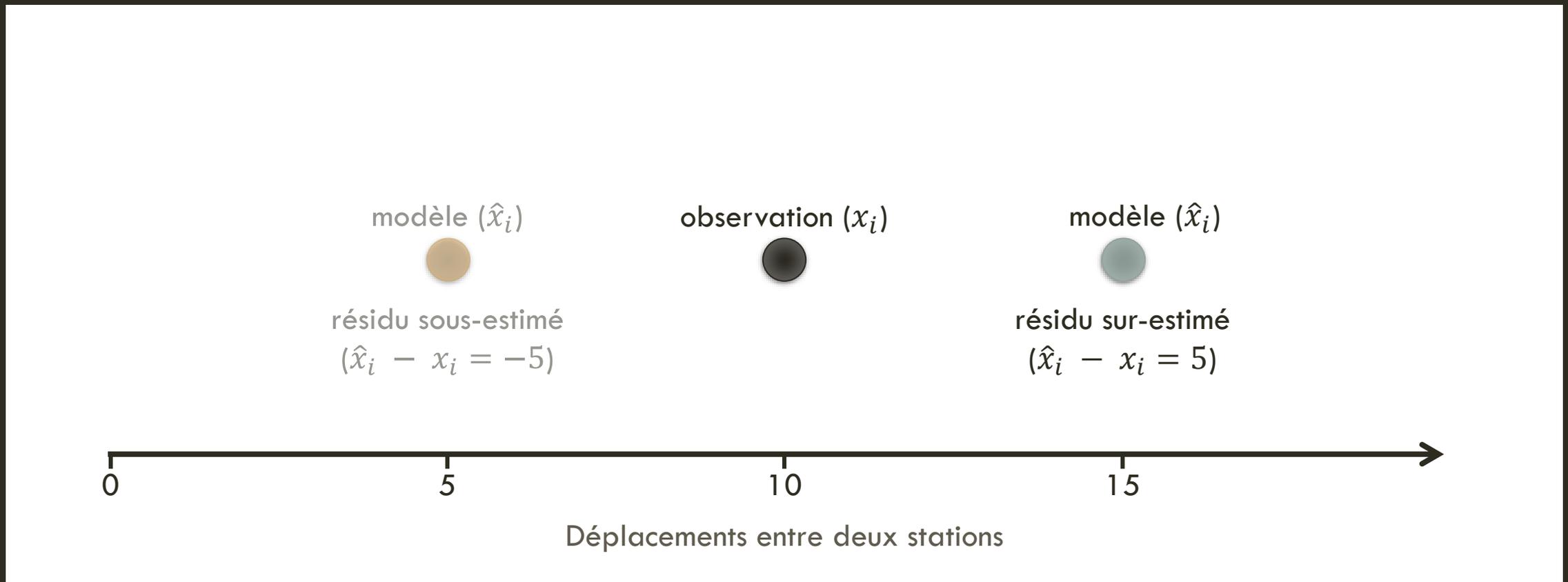
# LA NOTION D'UN « RÉSIDU »

$$\text{RÉSIDU} = \text{MODÈLE} - \text{OBSERVATION}$$



# LA NOTION D'UN « RÉSIDU »

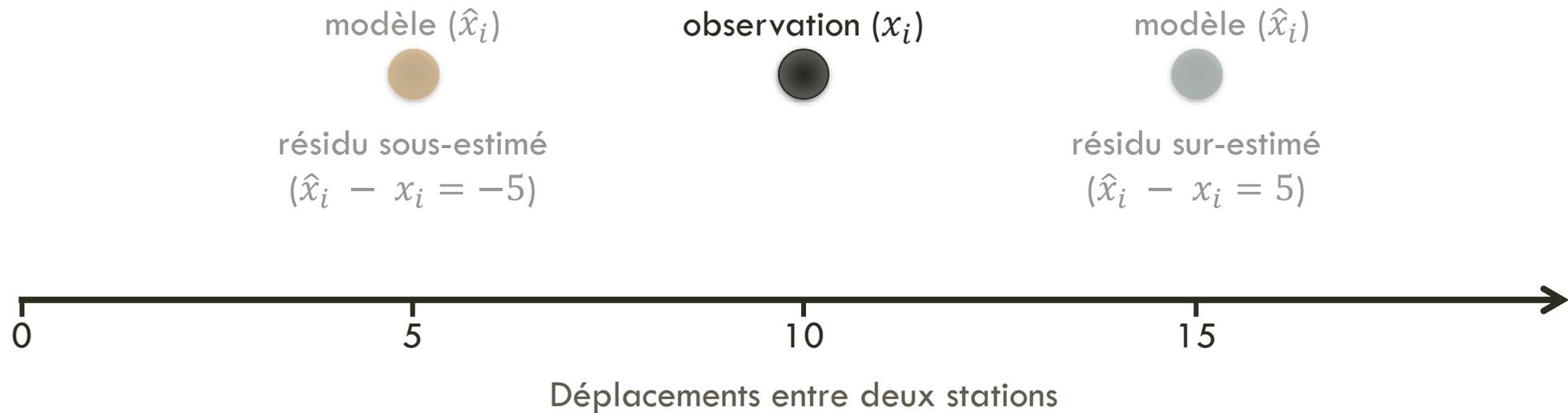
$$\text{RÉSIDU} = \text{MODÈLE} - \text{OBSERVATION}$$



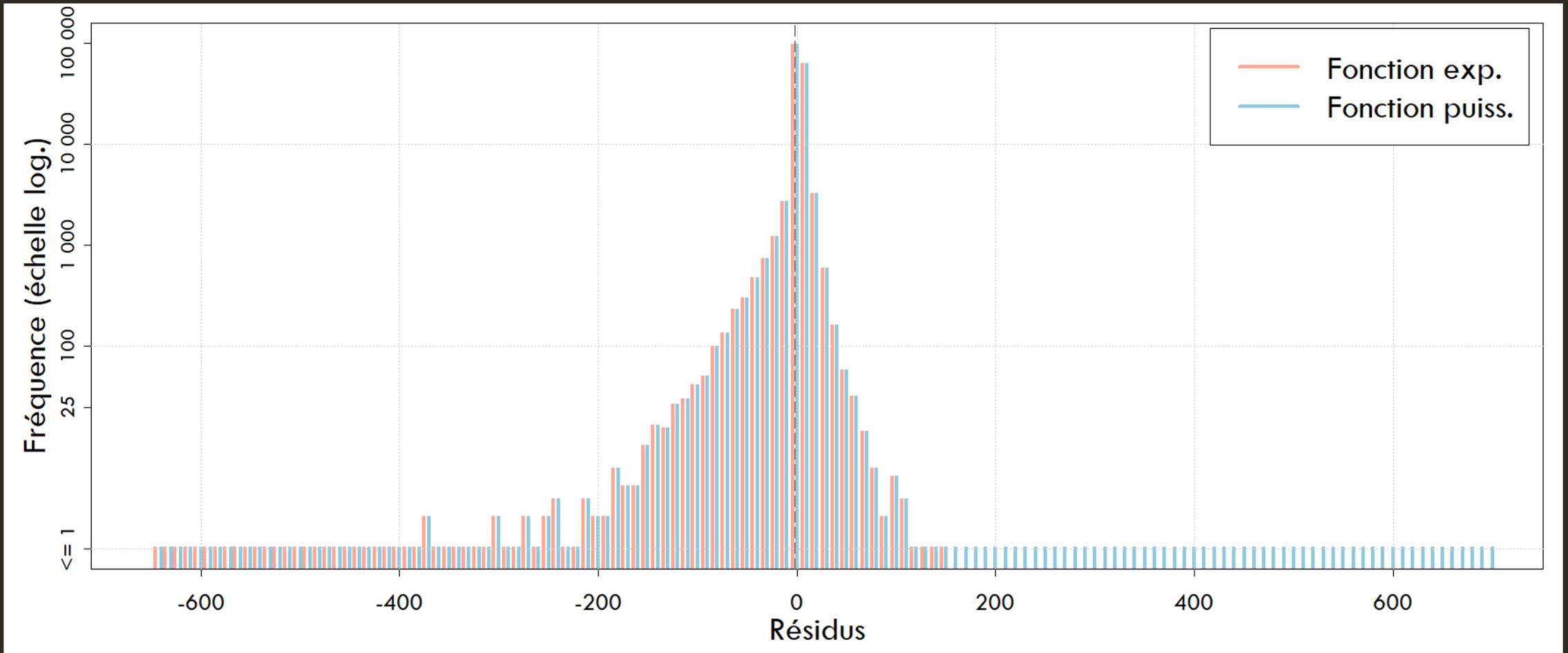
# LA NOTION D'UN « RÉSIDU »

$$\text{RÉSIDU} = \text{MODÈLE} - \text{OBSERVATION}$$

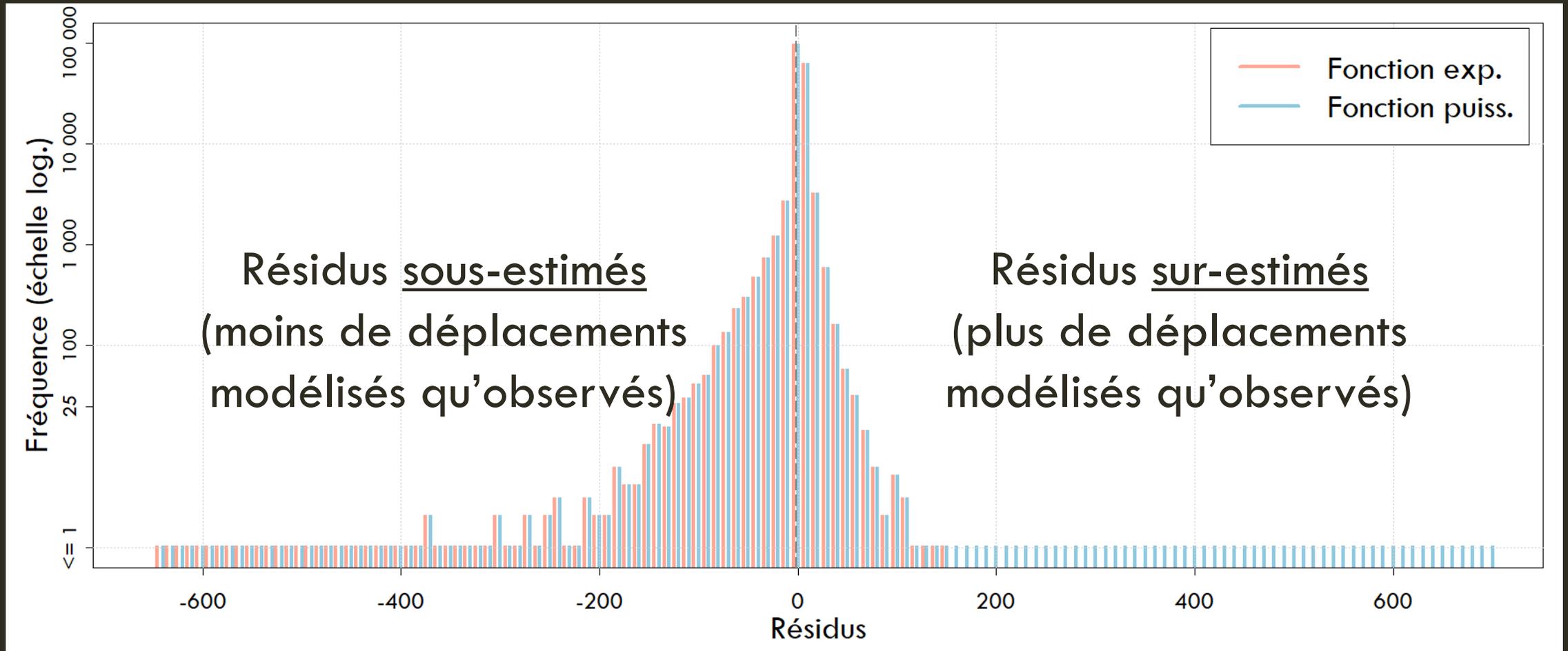
IDÉALEMENT, 100% DES RÉSIDUS À 0!



# CONCENTRATION DES RÉSIDUS AUTOUR DE 0

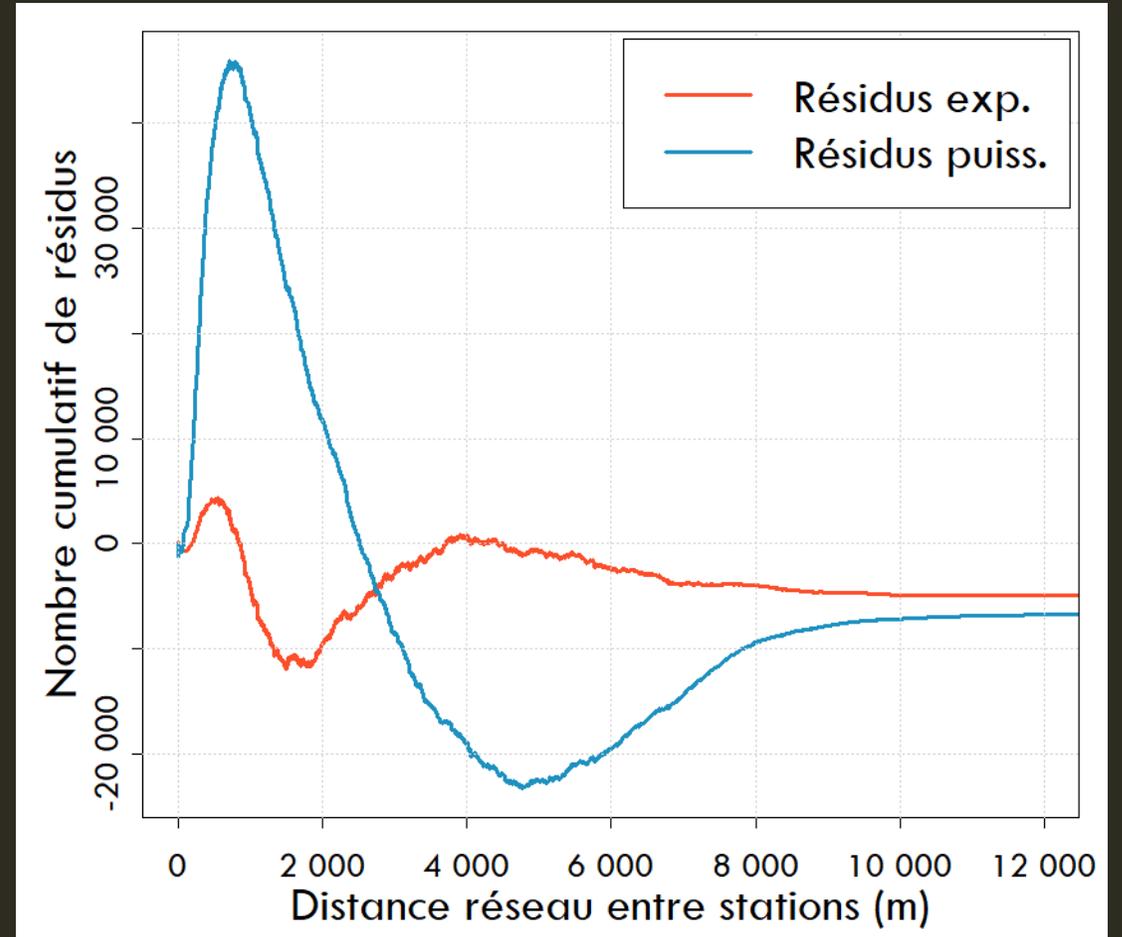


# CONCENTRATION DES RÉSIDUS AUTOUR DE 0

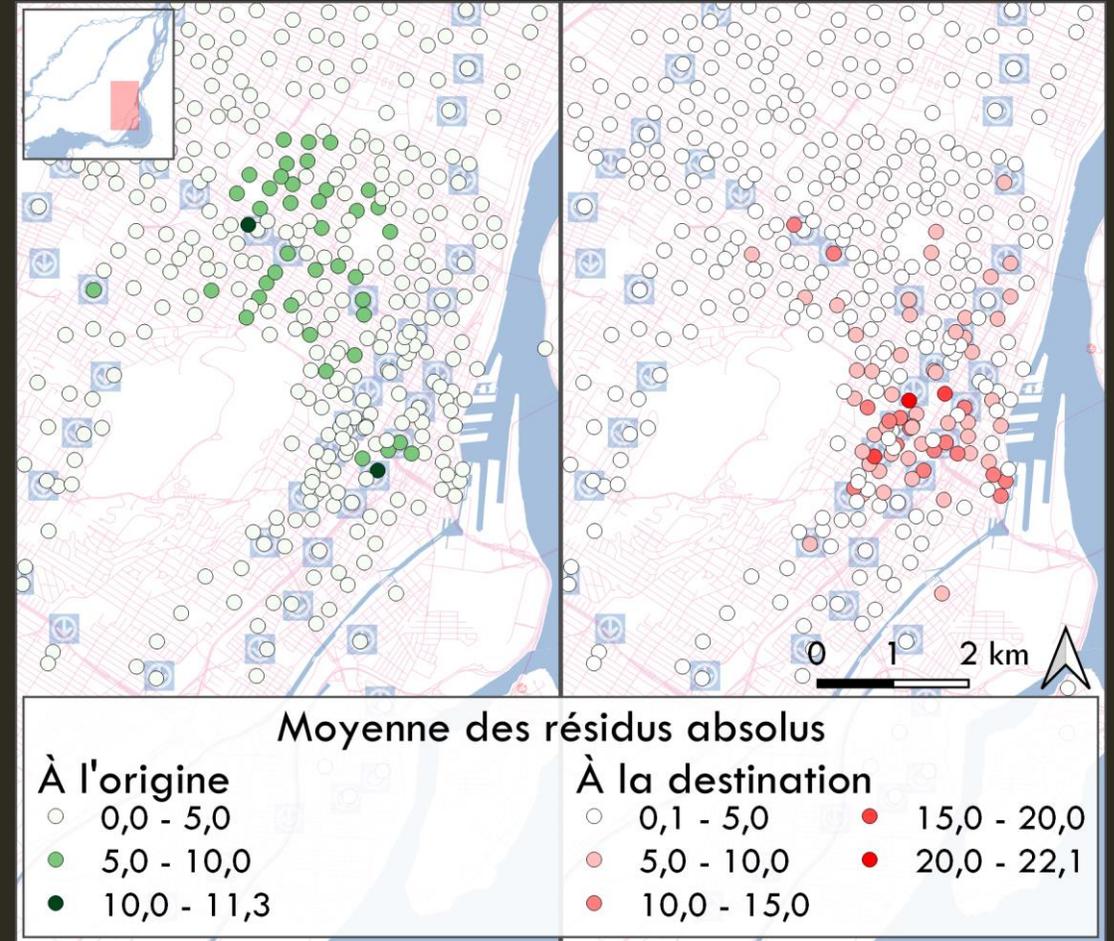
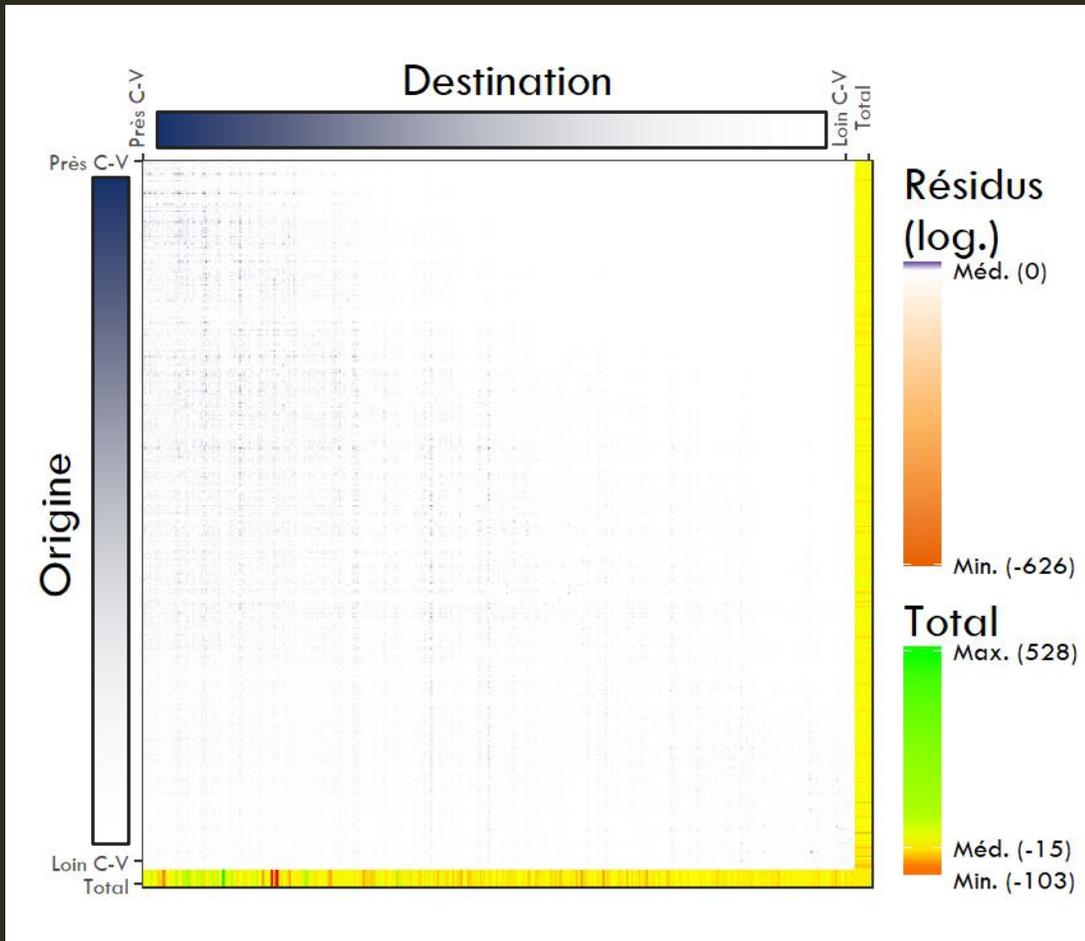


# DÉVIATIONS SELON LA FONCTION DE COÛT

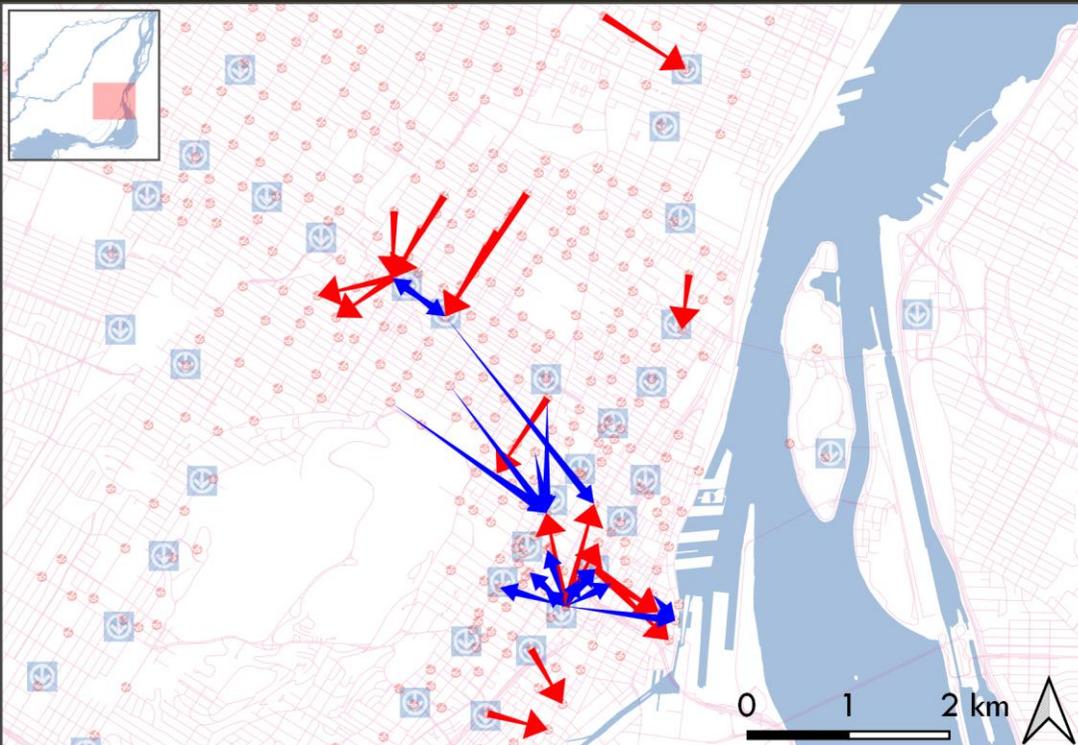
Résidus	Fonction exponentielle		Fonction puissance	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Tous	-0,03	9,46	-0,04	10,79
Origine	-12,16	8,76	-16,52	11,53
Destination	-12,16	38,04	-16,52	42,12



# LES RÉSIDUS DE LA FONCTION EXPONENTIELLE

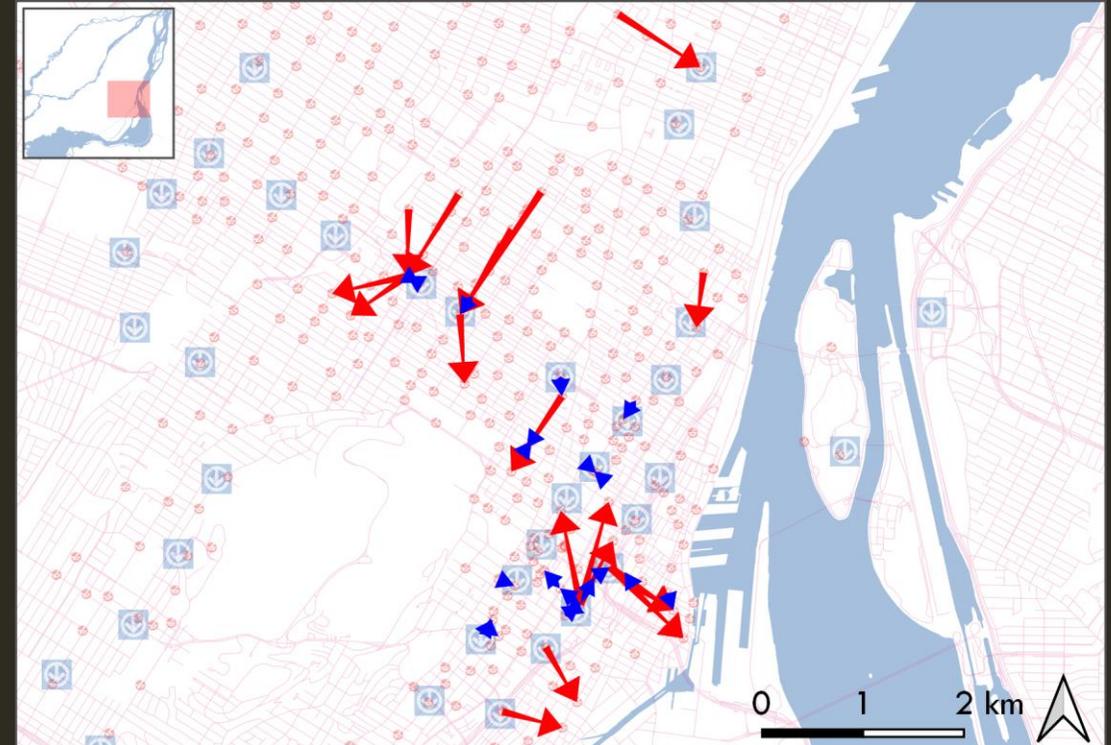


# LIGNES DE DÉSIR MOINS BIEN ESTIMÉES



Fonction exponentielle

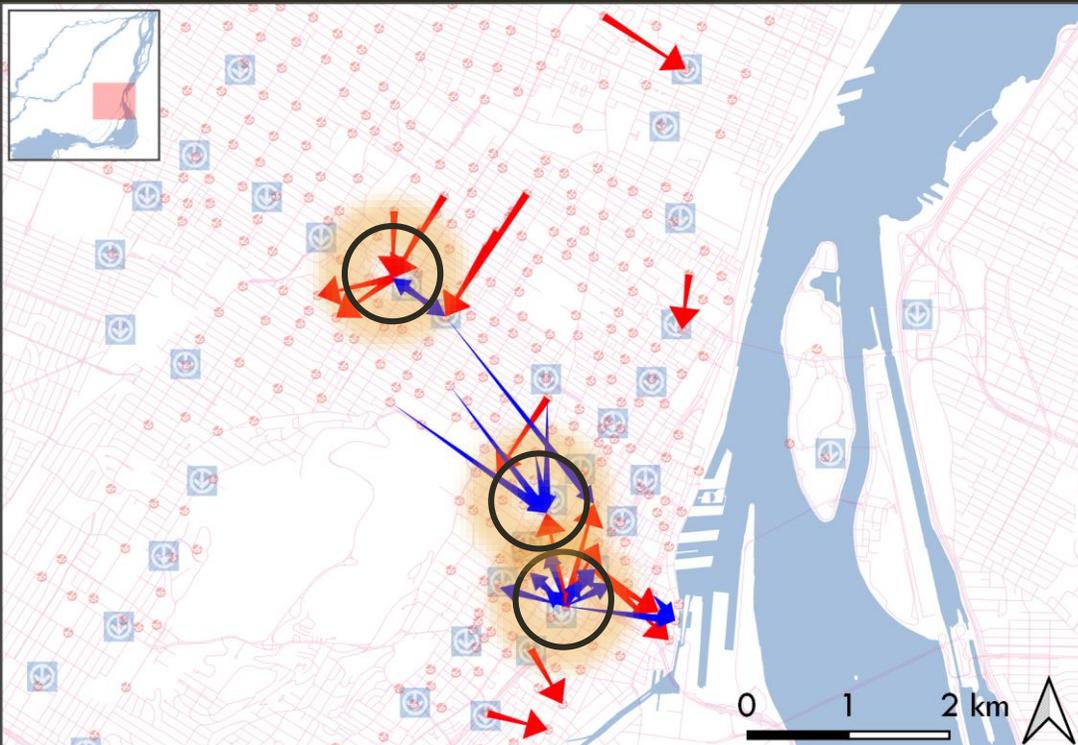
- Les plus sous-estimées (-249 à -626)
- Les plus sur-estimées (69 à 131)



Fonction puissance

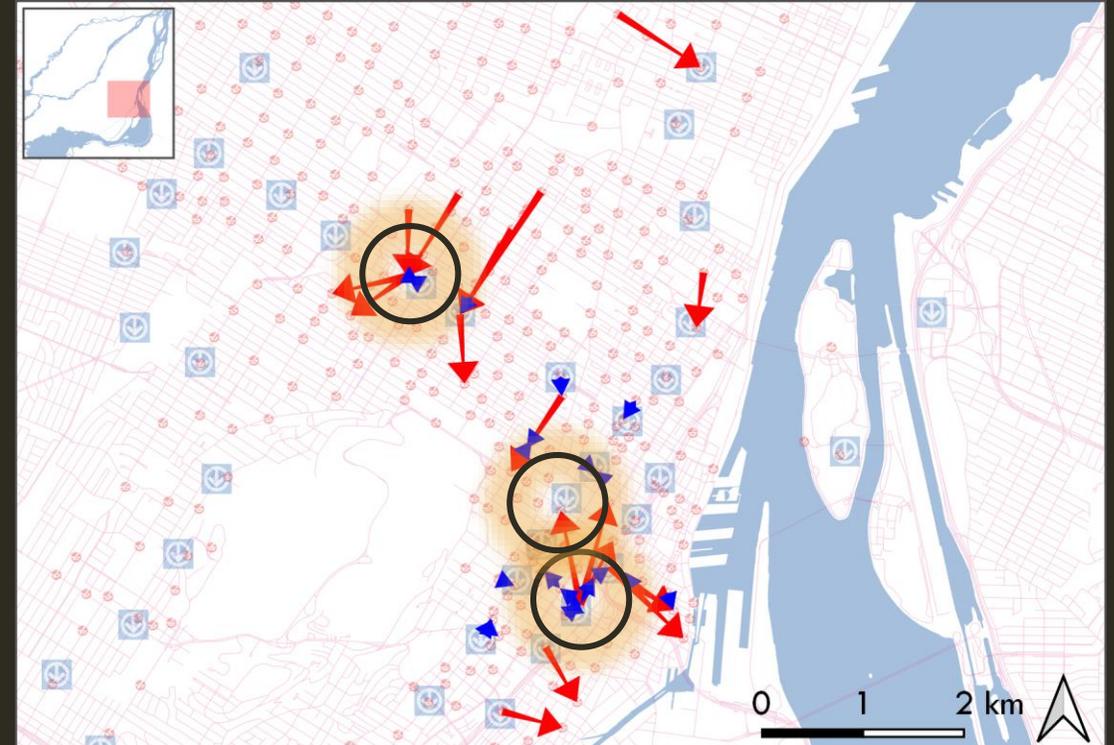
- Les plus sous-estimées (-241 à -641)
- Les plus sur-estimées (199 à 672)

# LIGNES DE DÉSIR MOINS BIEN ESTIMÉES



Fonction exponentielle

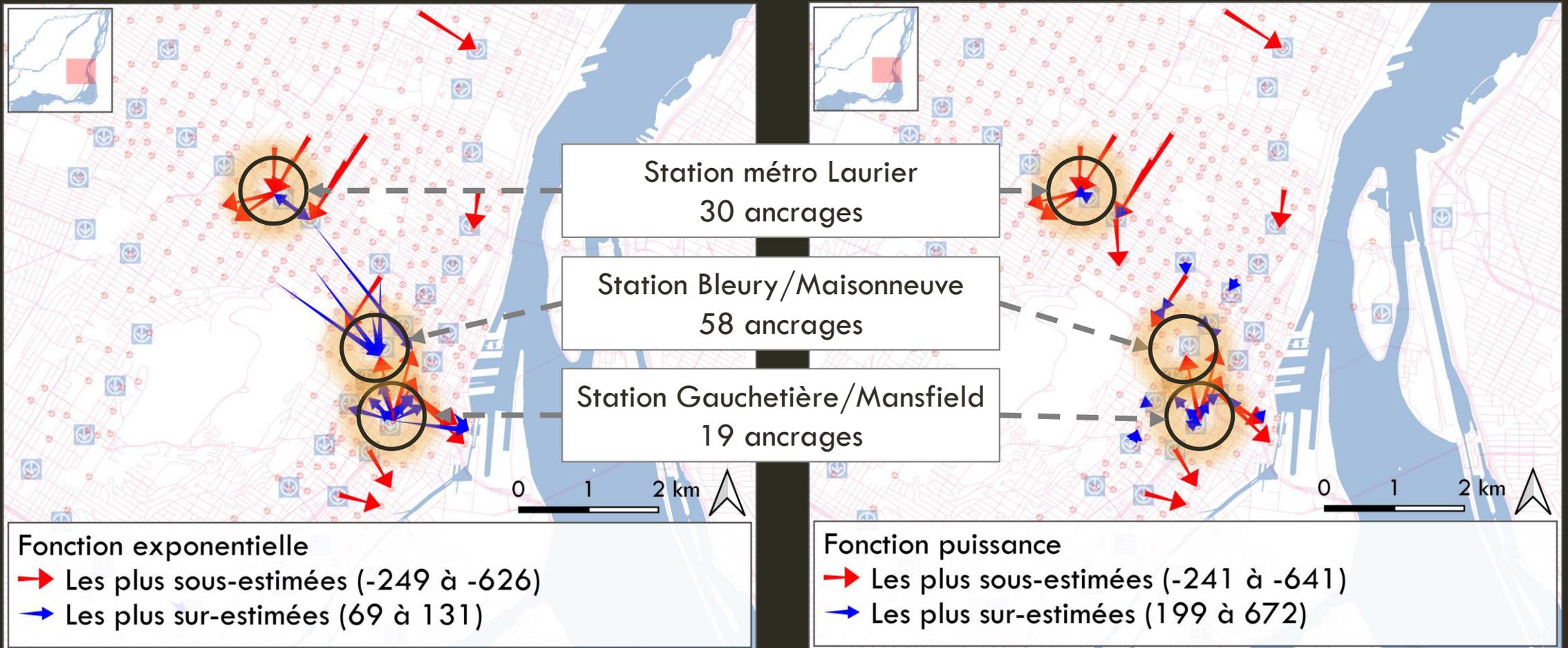
- Les plus sous-estimées (-249 à -626)
- Les plus sur-estimées (69 à 131)



Fonction puissance

- Les plus sous-estimées (-241 à -641)
- Les plus sur-estimées (199 à 672)

# LIGNES DE DÉSIR MOINS BIEN ESTIMÉES



# VALIDATION

Modélisation des déplacements  
observés en 2016 avec modèle  
calibré sur 2011

# INDICATEURS DE COMPARAISON

	Formule
<b>Moyenne des résidus absolus normalisée</b>	$\frac{\sum_i  x_i - \hat{x}_i  / N}{T / N}$
<b>Écart-type des résidus quadratiques normalisé</b>	$\frac{\sqrt{\sum_i (x_i - \hat{x}_i)^2 / N}}{x_{max} - x_{min}}$
<b>Pourcentage des déplacements attribués aux mauvaises cellules (%)</b>	$\frac{50}{T} \sum_i  x_i - \hat{x}_i $

# VALIDATION DES MODÈLES

<i>*Plus l'indicateur est petit, plus le modèle est performant</i>	Fonction exponentielle		Fonction puissance	
	2011	2016	2011	2016
<b>Moyenne des résidus absolus normalisée</b>	1,048	1,130	1,100	1,182
<b>Écart-type des résidus quadratiques normalisé</b>	0,014	0,000	0,016	0,013
<b>Pourcentage mal attribué (%)</b>	52	57	55	59

# DES MODÈLES PERFORMANTS DANS L'ENSEMBLE

Résidus	Fonction exponentielle		Fonction puissance	
	2011	2016	2011	2016
0	49%	57%	48%	54%
Sous-estimés (< 0)	39%	34%	39%	36%
Sur-estimés (> 0)	12%	9%	13%	10%
Entre -10 et 10	94%	95%	94%	95%

PERSPECTIVES

Et après?

# PLUSIEURS DÉFIS À VENIR

- ❑ Possibilité d'ajouter un facteur d'ajustement spatial au modèle gravitaire, le facteur  $K$ 
  - ❑ Permet de tenir compte des stations très achalandées que le modèle ne comprend pas bien
  - ❑ Doit être fait le moins possible: seulement au «  $K$  » par «  $K$  »!
- ❑ Est-ce possible d'estimer d'autres temporalités avec les mêmes paramètres calibrés?
  - ❑ Période de pointe PM, fin de semaine, hebdomadaire, mensuelle, etc.
- ❑ Développer un modèle intégré: génération & distribution des déplacements
- ❑ Évaluer des scénarios de stations!



**MERCI!**

Les auteurs souhaitent remercier BIXI Montréal pour l'accès aux données ainsi que le support du CRSNG et du programme des chaires de recherche du Canada.