

# MODÈLE D'ÉVALUATION ET D'OPTIMISATION DE LA LOCALISATION DES AIRES DE LIVRAISON EN VILLE

Simon TAMAYO, Arthur GAUDRON, Arnaud de LA FORTELLE  
MINES ParisTech, PSL Research University, Centre de Robotique  
60 boulevard Saint-Michel 75006 Paris, France





# PLAN

- Contexte, enjeux et définition du problème
- Etat de l'art
- Approche proposée
  - Modélisation des besoins logistiques
  - Optimisation de la localisation des aires de livraison
    - Modèle mathématique
    - Algorithme génétique
  - Ex.1 : Où placer 10 nouvelles aires s'il y en a aucune?
  - Ex.2 : Où placer 2 nouvelles aires en tenant compte des aires existantes?
  - Ex.3 : Évaluer la pertinence des aires existantes (Paris 5<sup>ème</sup> arr.)?
- Conclusion et perspectives



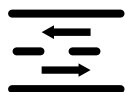
## CONTEXTE ET ENJEUX



Plus d'un million de livraisons sont effectuées chaque jour en Ile de France à **90% par la route**.



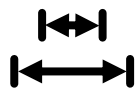
**31,5 millions de tonnes circulent par an** dans Paris intra muros qui génèrent **300 000 mouvements** et utilisent **98 000 véhicules**.



Environ **20% de l'espace de voirie** est occupé par les opérations logistiques.



Le transport des marchandises en ville représente **25% des émissions de CO2, 35% des NOx et 50% des particules**.



La distance moyenne entre les entrepôts et le premier point de livraison d'une tournée est **passée de 6 à 16km ente 1974 et 2008**.

Sources : Laboratoire SPLOTT et l'INRETS (2010). European Environment Agency (2010). Logicités (2015).

# PROBLÈME

Les aires de livraison visent à **faciliter les opérations logistiques physiques** dans les zones urbaines.



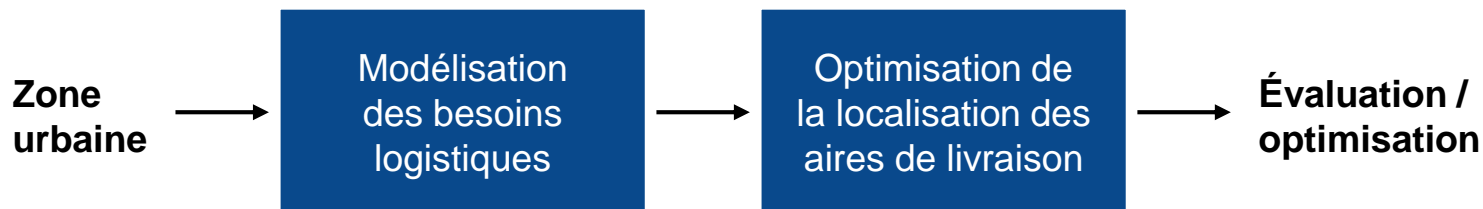


# ETAT DE L'ART





# APPROCHE PROPOSÉE



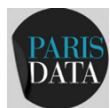
Le modèle proposé permet de :

- quantifier les besoins des aires de livraison en considérant les fréquences de mouvements logistiques des commerces de la zone urbaine ;
- localiser de façon optimale de nouvelles aires de livraison ;
- évaluer la pertinence de la localisation des aires de livraison existantes.

Implémentation :



OpenStreetMap



ParisOpenData



GoogleMapsAPI



Python





# MODELISATION DES BESOINS

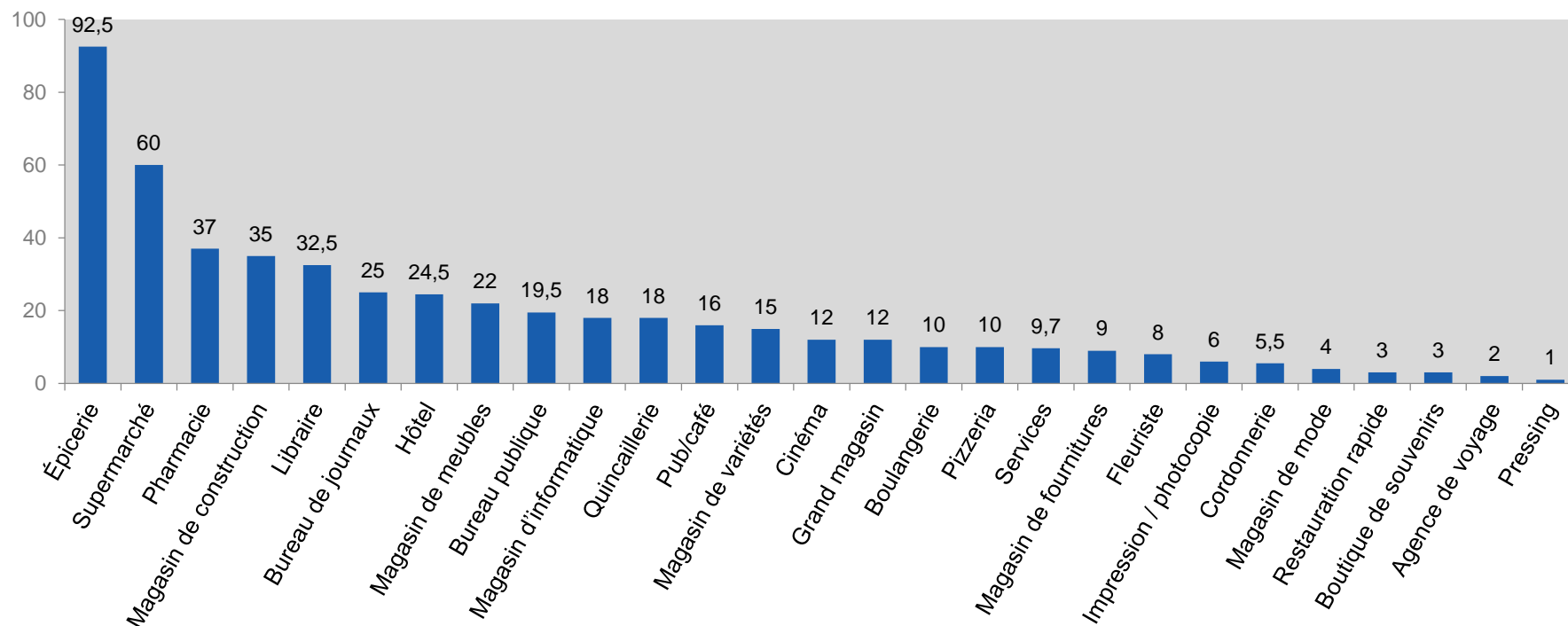
Objectif : **définir les mouvements logistiques (chargements et déchargements) générés par chaque établissement** dans la zone d'intérêt.

- **Collecte de données** pour identifier les principales caractéristiques de la zone d'intérêt :
  - établissements commerciaux (emplacement et activité pour chacun) ;
  - aires de livraisons existantes (localisation) ;
  - emplacements potentiels (coordonnées et contraintes).
- **Quantification de besoins** à l'aide d'estimations statistiques.
  - Output : liste de tous les établissements avec leurs coordonnées et leur demande (c'est-à-dire leur fréquence des opérations de chargement ou de déchargement).



# ETIMATIONS STATISTIQUES

**Mouvements de marchandises par semaine pour chaque type d'établissement**



Adaptation de Allen, J., Browne, M., Cherrett, T., & McLeod, F. (2008). Review of UK Urban Freight Studies.



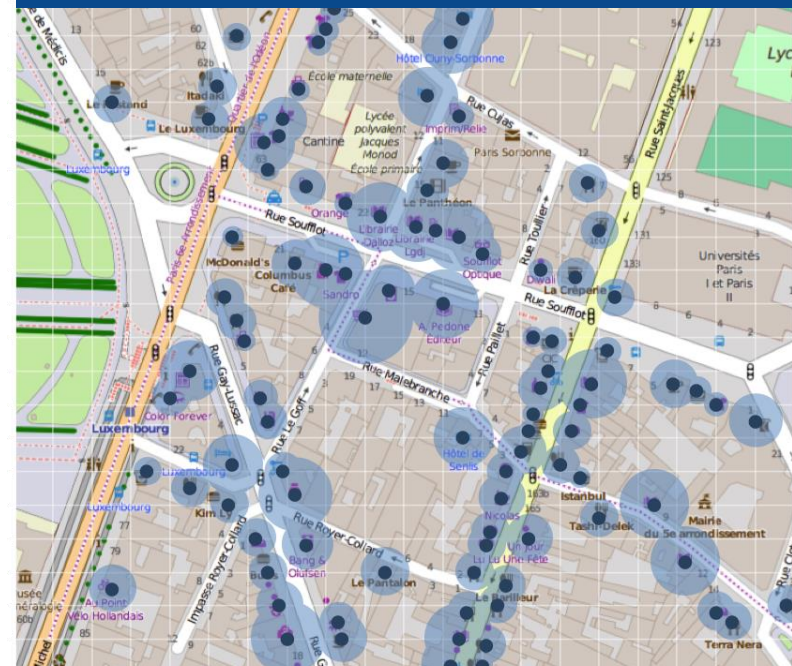


## Modélisation des besoins logistiques

### Collecte de données

Etablissement	Coordonnées	Type
McDonalds	48.8461174, 2.3396435	Restauration rapide
Le jardin	48.846396, 2.341408	Hôtel
...	...	...

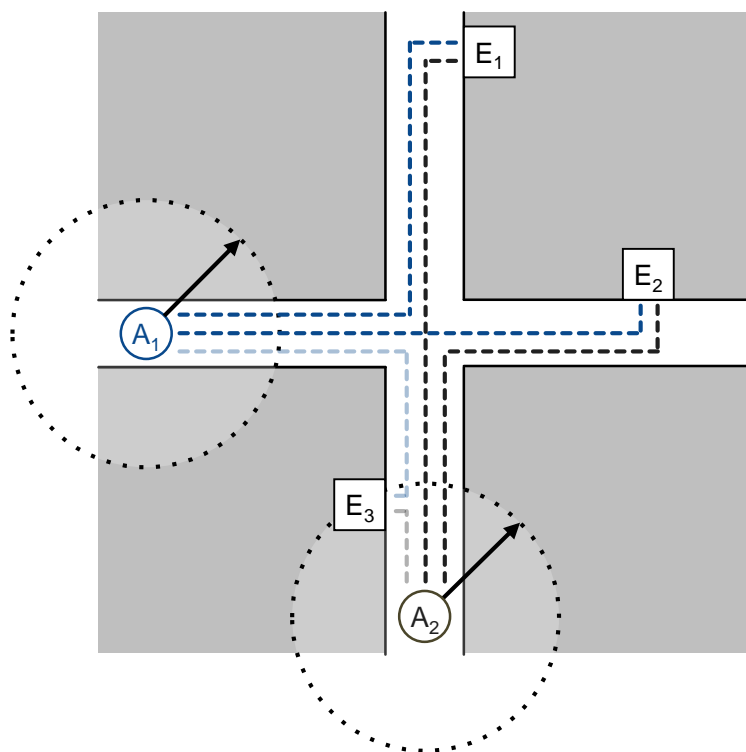
### Quantification de besoins





# OUTIL D'OPTIMISATION

Fonction objectif : **minimisation de la distance pondérée**



$$D_{A1E1} = 80\text{m} ; D_{A1E2} = 70\text{m} ; D_{A1E3} = 55\text{m}$$

$$D_{A2E1} = 90\text{m} ; D_{A2E2} = 75\text{m} ; D_{A2E3} = 10\text{m}$$

Fréquence<sub>E1</sub> = 2 mouvements/période

Fréquence<sub>E2</sub> = 5 mouvements/période

Fréquence<sub>E3</sub> = ~~10 mouvements/période~~

Fréquence<sub>E3</sub> = 0 car E<sub>3</sub> est dans le rayon d'influence de A<sub>2</sub>

**Fonction de distance pondérée :**

$$Z = (80 * 2) + (70 * 5) + (55 * 0) + (90 * 2) + (75 * 5) + (10 * 0)$$

$$Z = 1065 \text{ metres} * \text{mouvements} / \text{période}$$



# MODÈLE MATHÉMATIQUE

Minimiser

$$Z = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_j w_i d_{ij}$$

avec

$$x_j \in \{0;1\}$$

$$\sum_{j=1}^m x_j = Q$$

$$w_i \geq 0$$

$$d_{ij}(b_i, x_j) = f(\text{lat}_{b_i}, \text{lon}_{b_i}, \text{lat}_{x_j}, \text{lon}_{x_j})$$

$$w_i d_{ij} \Big|_{x_j} = \begin{cases} 0, & \text{si } d_{ij}(b_i, x_j) \leq r_{ij} \\ w_i d_{ij}, & \text{si } d_{ij}(b_i, x_j) > r_{ij} \end{cases}$$

où

$x_j$  : variable binaire indiquant si une aire est placée dans le spot  $j$

$Q$  : quantité d'aires à placer

$w_i$  : poids de l'établissement  $i$

$d_{ij}$  : distance entre l'aire  $j$  et l'établissement  $i$

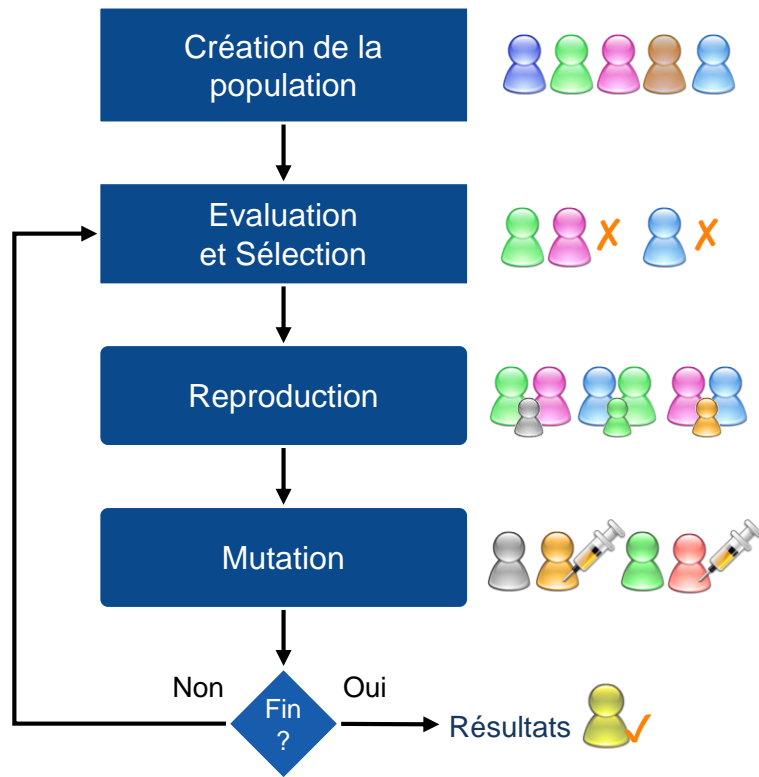
$r$  : rayon d'influence

$n$  : nombre d'établissements

$m$  : nombre de possibles spots (pour des nouvelles aires)



# ALGORITHME GÉNÉTIQUE (1/2)



## Encodage du problème

Dans cet exemple il y a 11 spots possibles et 3 aires à localiser.

Cette solution représente le choix de localiser les aires dans les spots 2, 6 et 7.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0





# ALGORITHME GÉNÉTIQUE (1/2)

Individu 1

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0

Individu 2

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1

Fils

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1

Fils muté

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1

**Création de la population**

**Evaluation et Sélection**

Calcul de la fonction objectif de chaque individu et affectation du nombre de reproductions (les meilleurs individus auront plus d'enfants)

**Opérateur de croisement**

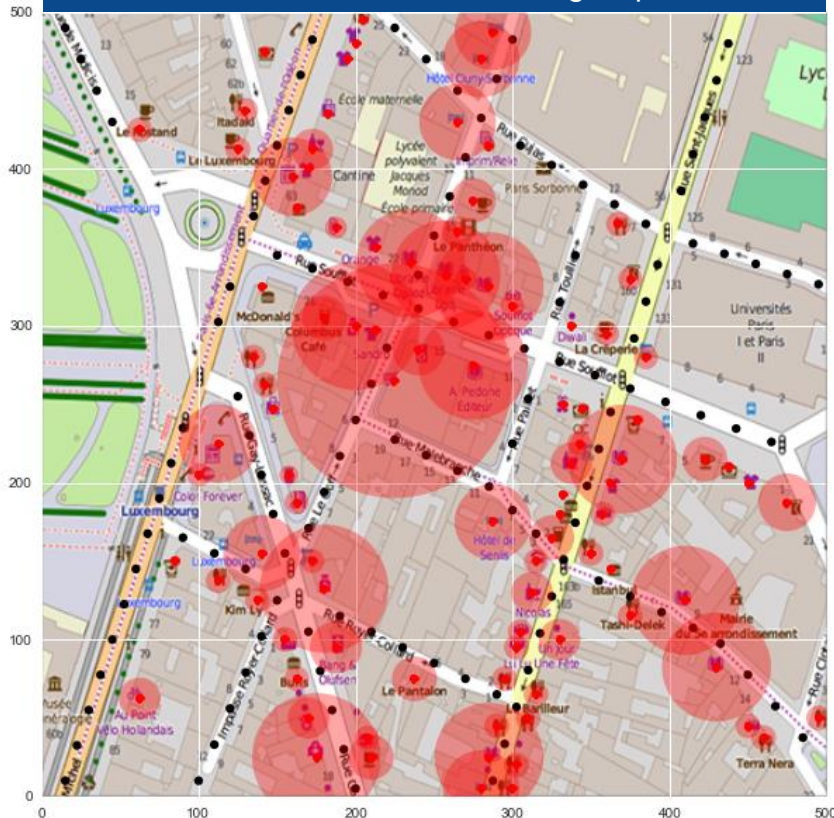
**Opérateur de mutation**



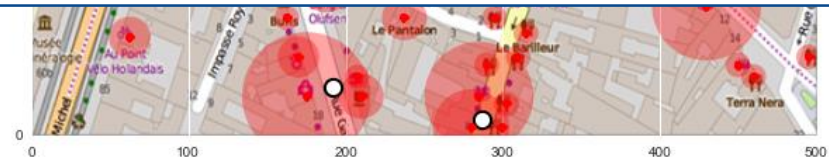
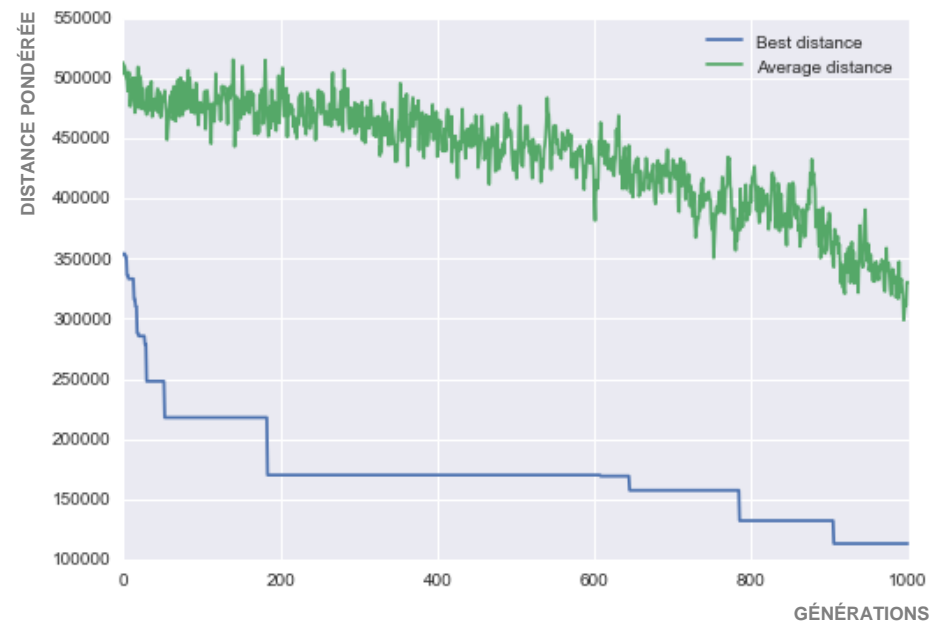


## EX1: Où placer 10 nouvelles aires de livraison?

Modélisation des besoins logistiques



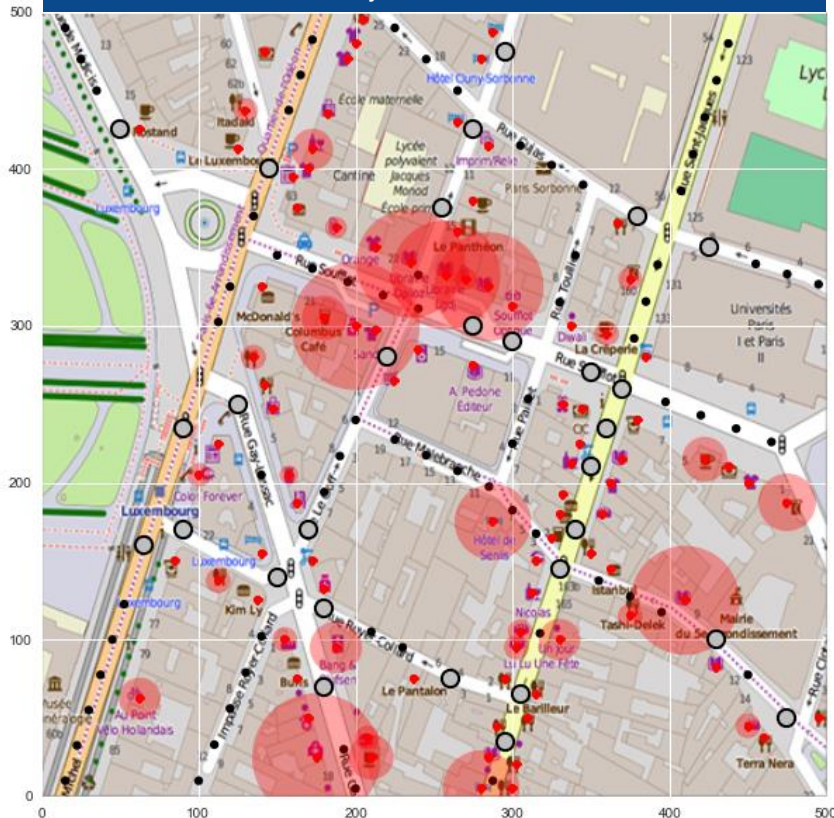
Convergence de l'algorithme génétique



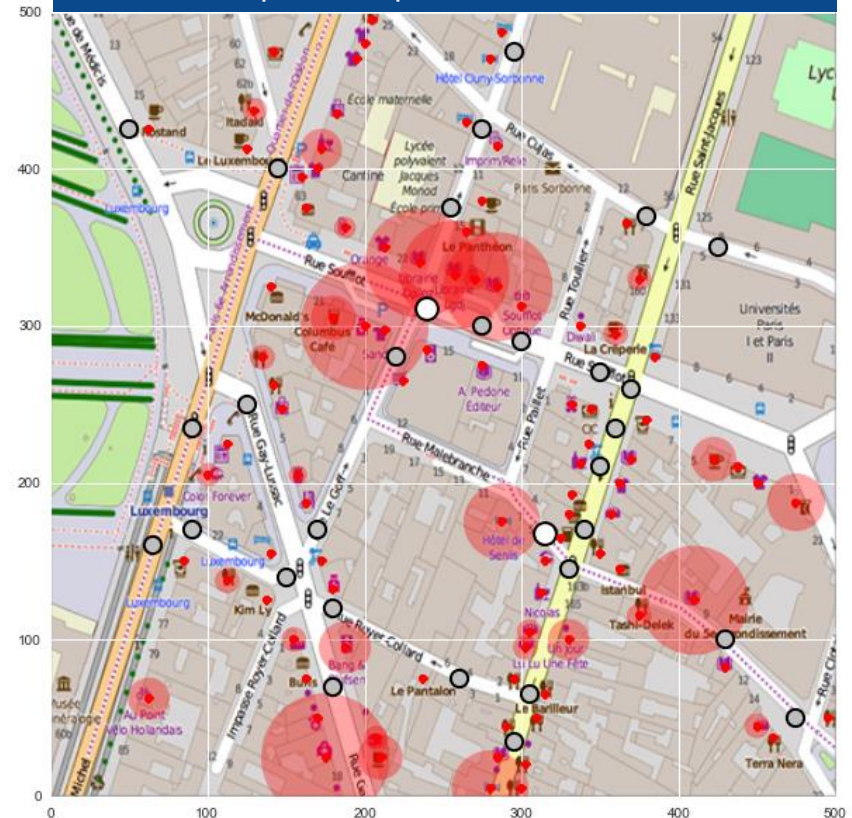


## EX2: Où placer 2 nouvelles aires en tenant compte des aires existantes?

## Mise à jour des besoins



## Localisation pseudo-optimale des 2 nouvelles aires

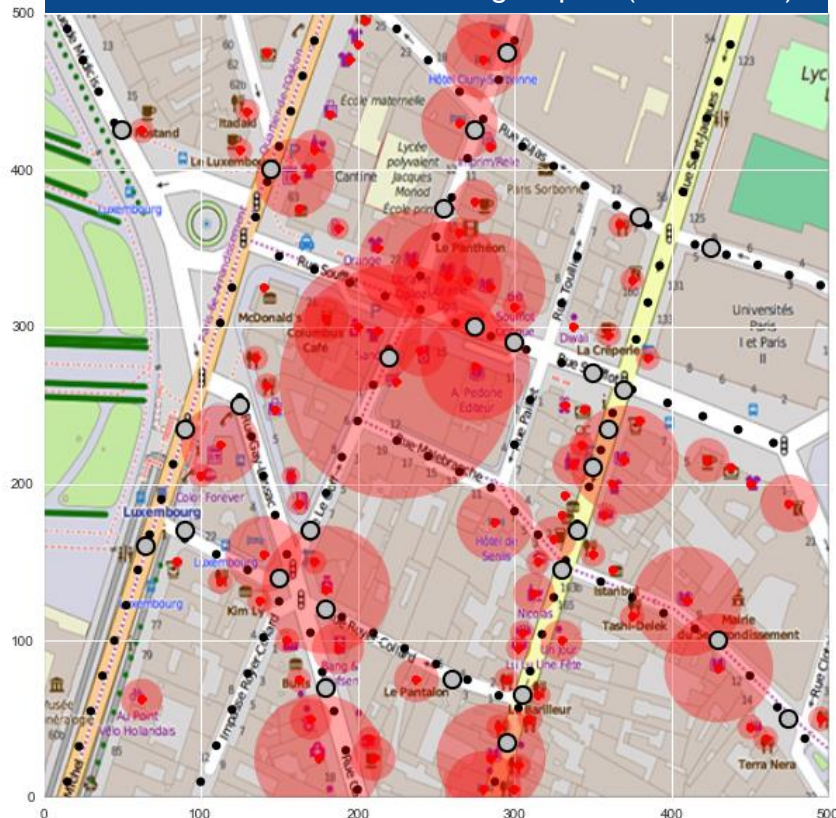




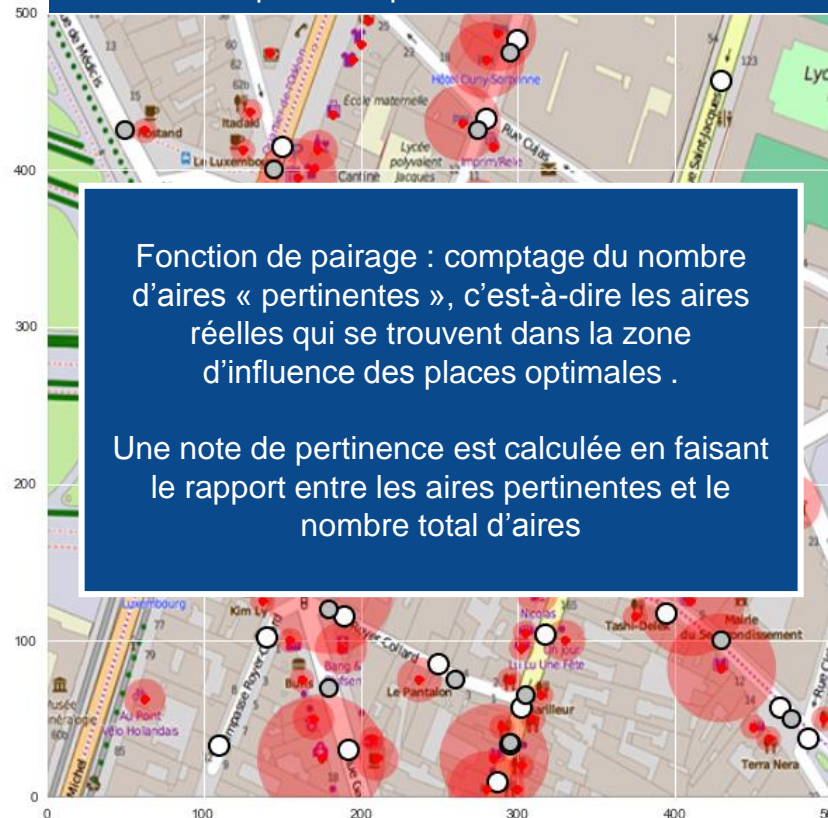


### EX3: Évaluer la pertinence des aires existantes (Paris 5ème arr.)?

## Aires existantes et besoins logistiques (29 au total)

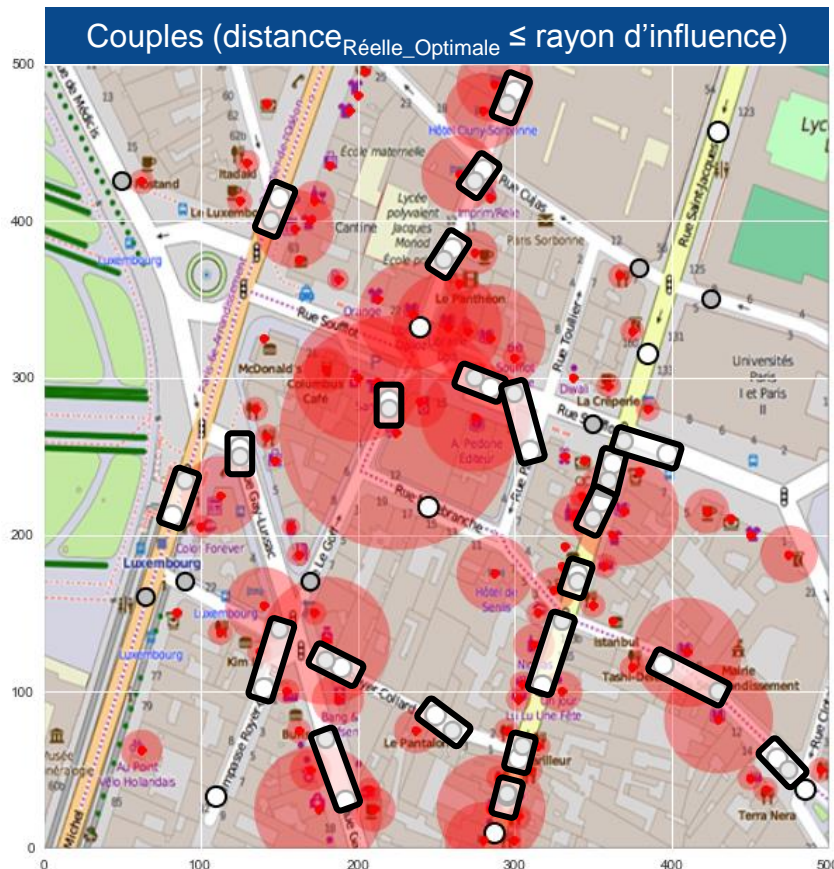


## Localisation pseudo-optimale de 29 nouvelles aires





## EX3: Évaluer la pertinence des aires existantes (Paris 5ème arr.)?



Note de pertinence:

$$P = \frac{\text{nb. d'aires pertinentes}}{\text{nb. d'aires dans la zone urbaine}}$$

$$P = \frac{22}{29} = 75.9\%$$



# CONCLUSION ET PERSPECTIVES

## Apports du modèle

- Simplicité d'implémentation : utilisation de données collaboratives et des cartographies gratuites
- Évolutivité : l'algorithme génétique est très facilement modifiable pour la prise en compte d'autres contraintes (ex. taille des places)

## Perspectives

- Création d'un modèle de génération des besoins logistiques permettant de quantifier la demande de stationnement pendant les différentes heures de la journée
- Développement d'un outil de gestion dynamique des aires, qui auront des usages particuliers et logistiques en fonction des heures de la journée





MERCI POUR VOTRE ATTENTION

QUESTIONS?