

RECHERCHE OPÉRATIONNELLE & AIDE À LA DÉCISION

# Modernisation de flotte de véhicules



Université de Bordeaux – Groupe La Poste

# Présentation

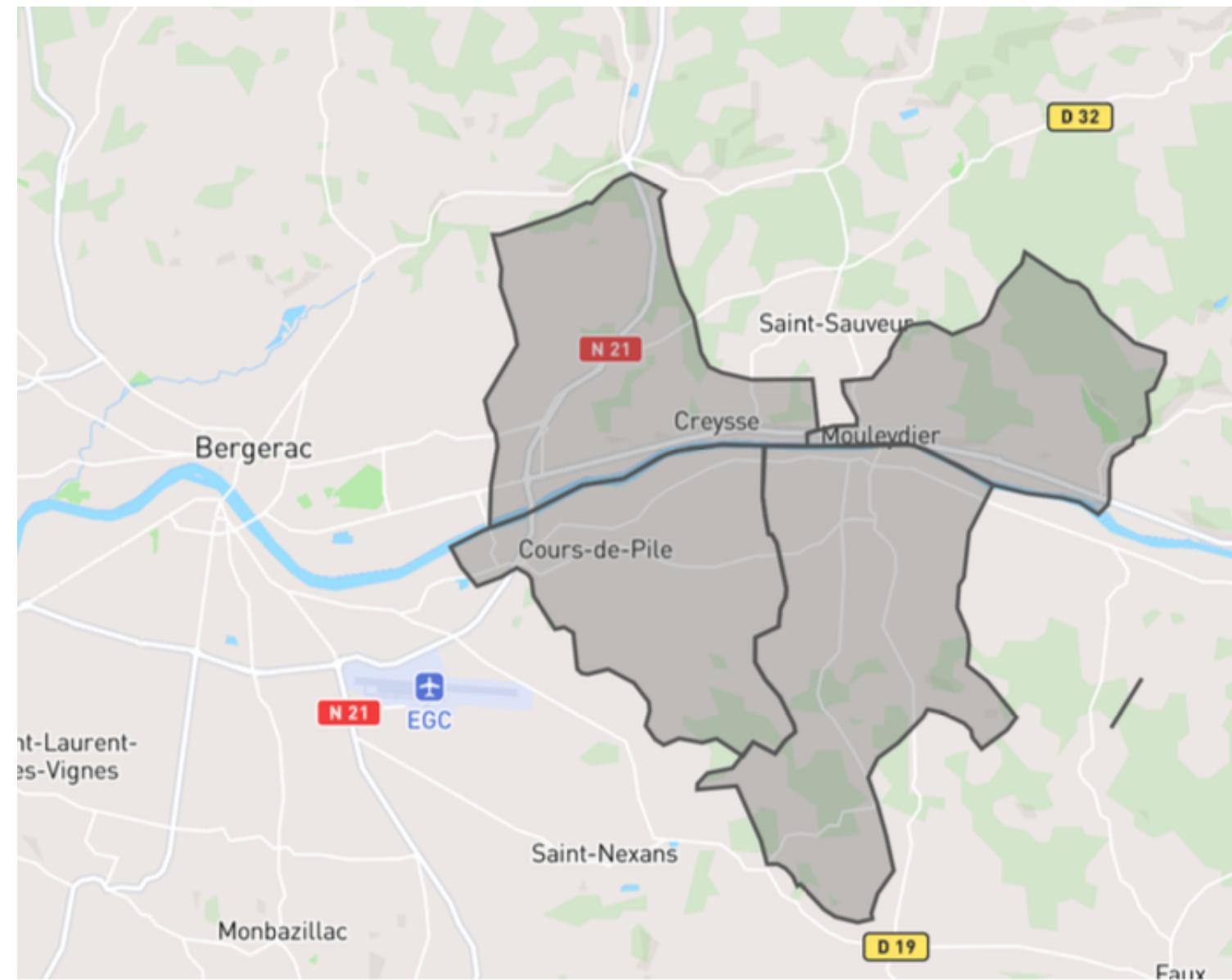
- 01 Description et contexte du problème
- 02 Formalisation
- 03 Méthodes de résolution et résultats
- 04 Comparatif des cas



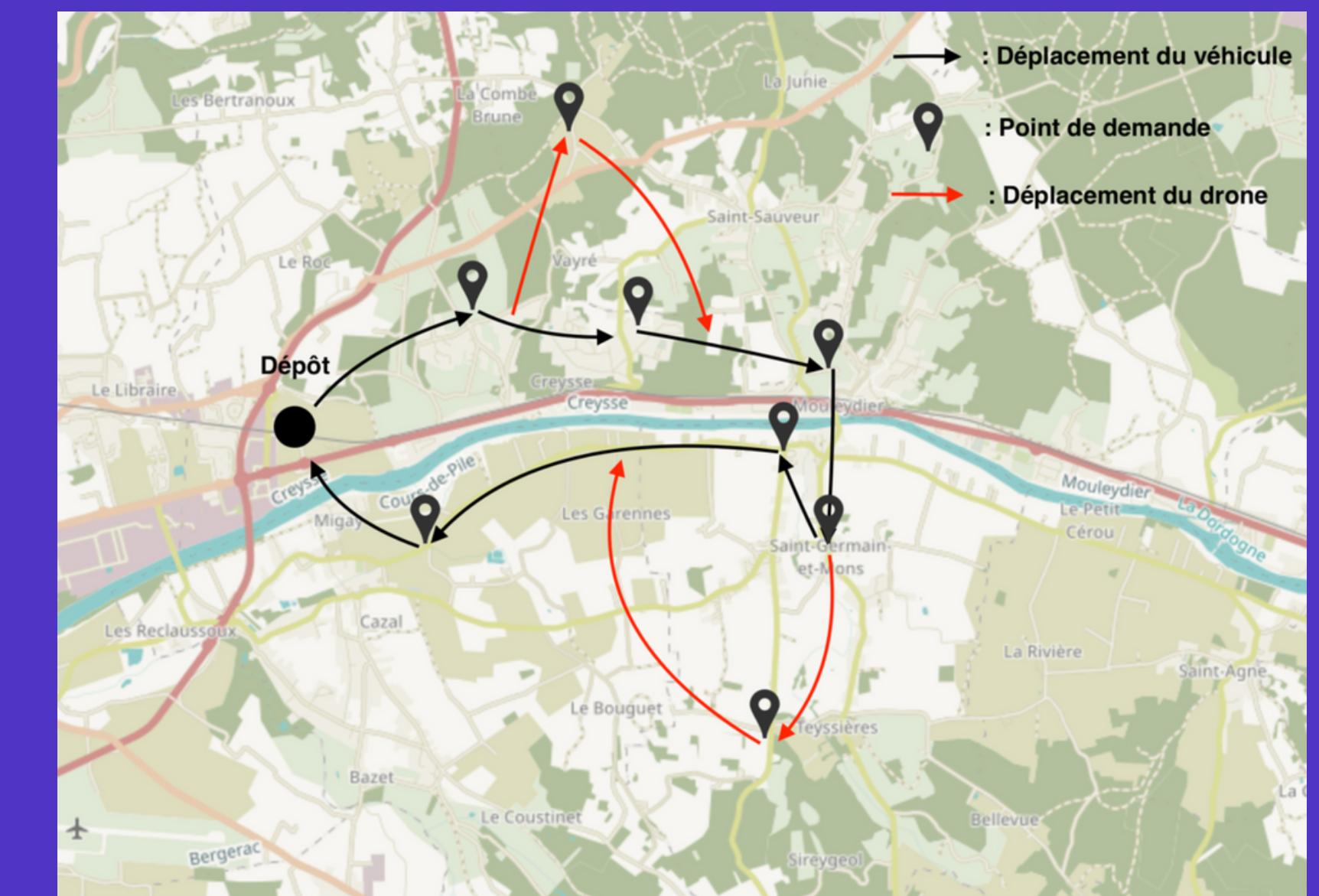
## Description et contexte du problème – Un besoin d'innovation

- Marché compétitif
- Demande de colis croissante
- Volonté de modernisation de la flotte

# Communes



# Livraison



## Description et contexte du problème – Un problème complexe

- Ressemblance avec le TSP
- TSP problème difficile théoriquement mais bien résolu en pratique
- Ajout de véhicules (drones) complexifie le problème



# Formalisation

Cas de plus en plus complexes



- 00 Tournée de véhicule classique, 1 véhicule
- 01 1 véhicule, 2 drones, point de récupération commun sur les noeuds
- 02 1 véhicule, 2 drones, point de récupération différent sur les noeuds
- 03 1 véhicule, 2 drones, point de récupération différent

# Données

- Ensemble des noeuds (avec demande ou non)
- Demande par noeud
- Types de route, vitesse associé
- Distance/Temps entre deux noeuds (matrices)
- Temps de recharge des drones

# Décisions

- Choix des arcs pour un véhicule
- Nombre de colis livré à un noeud pour un drone
- Choix d'un chemin
- Choix de deux chemins simultanément

# Algorithmes de résolution

## Outils



### MODÉLISATION

- Modèle proche du TSP et VRP
- Ajout de contraintes pour le **temps de rechargement**
- Ajout de contraintes sur le **point de rechargement** (en fonction du cas)



### SOLVEURS

- Implémentation du modèle dans des solveurs (**MIP**)
- **Approche précise** mais plus **longue** en fonction de la complexité du problème et de la taille de l'instance
- Adaptée pour les cas **simples**



### HEURISTIQUES

- But : Trouver **rapidement** une solution qui **respecte les contraintes**,
- Pour les cas simples : **heuristique gloutonne**
- La ville choisie à chaque instant est la ville la plus proche

# Méthodes de résolution

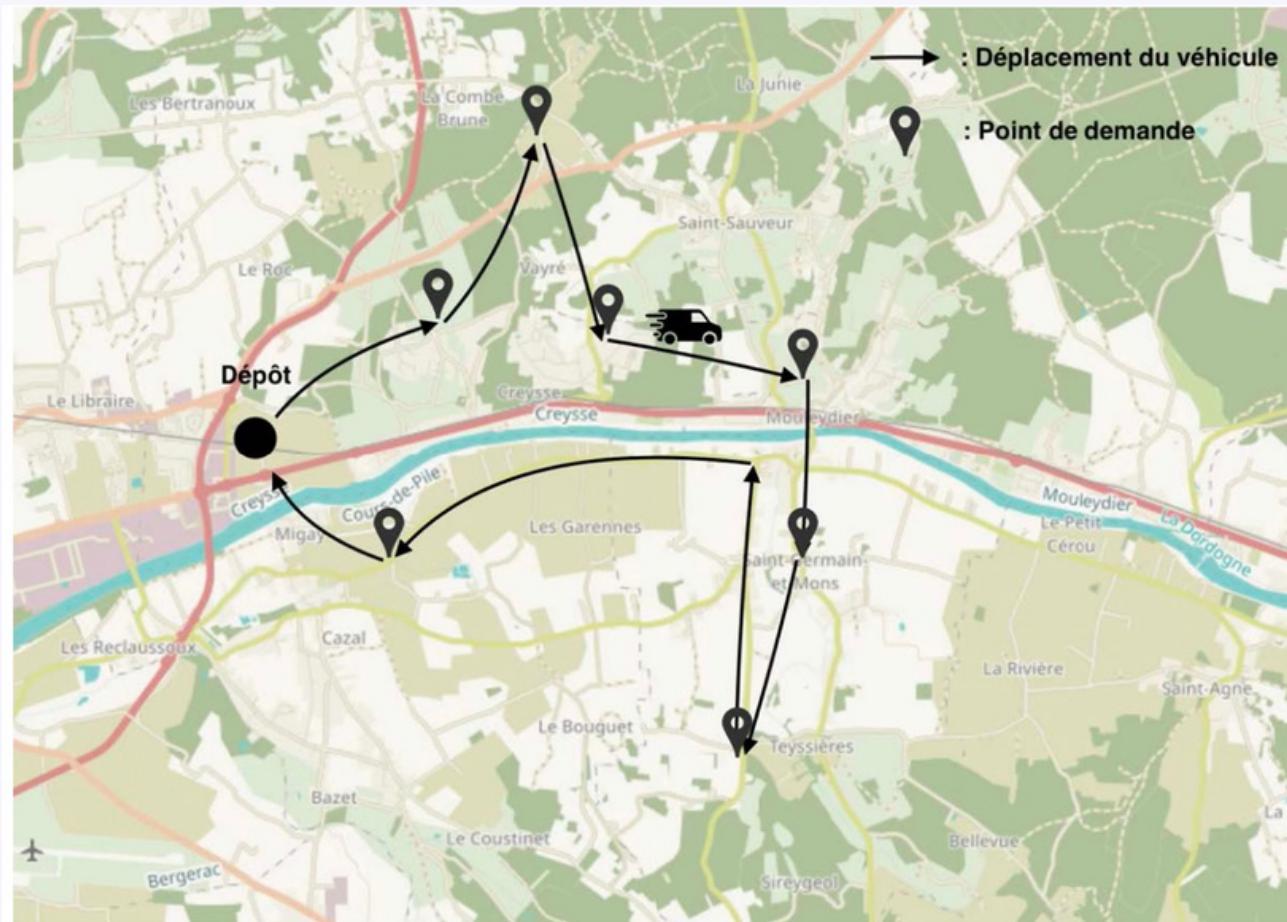
## Partie Implémentation

- **Langage utilisé : Python**

Package utilisé	Utilité
<b>pandas + geopandas</b>	<b>stockage des données</b>
<b>networkx</b>	<b>manipulation sur les graphes</b>
<b>numpy + geopy + scipy</b>	<b>création des matrices de temps de trajet et autres calculs</b>
<b>folium</b>	<b>affichage sur carte dynamique</b>
<b>matplotlib</b>	<b>affichage statique des solutions</b>
<b>gurobipy</b>	<b>solveur</b>

## Type de méthode : PLNE

### Cas O : MIP



Tournée de livraison simple avec le camion.

### MODÈLE

$$\sum_{i \in \mathcal{I}_d} 60 \cdot d_i + \min \sum_{i \in \mathcal{I}_d} \sum_{j \in \mathcal{I}_d} c_{ij} x_{ij} \quad (2.1)$$

$$s.c. \quad \sum_{k \in \mathcal{I}_d} x_{ki} = \sum_{j \in \mathcal{I}_d} x_{ij}, \quad \forall i \in \mathcal{I}_d \quad (2.2)$$

$$\sum_{j \in \mathcal{I}_d} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in \mathcal{I}_d \quad (2.3)$$

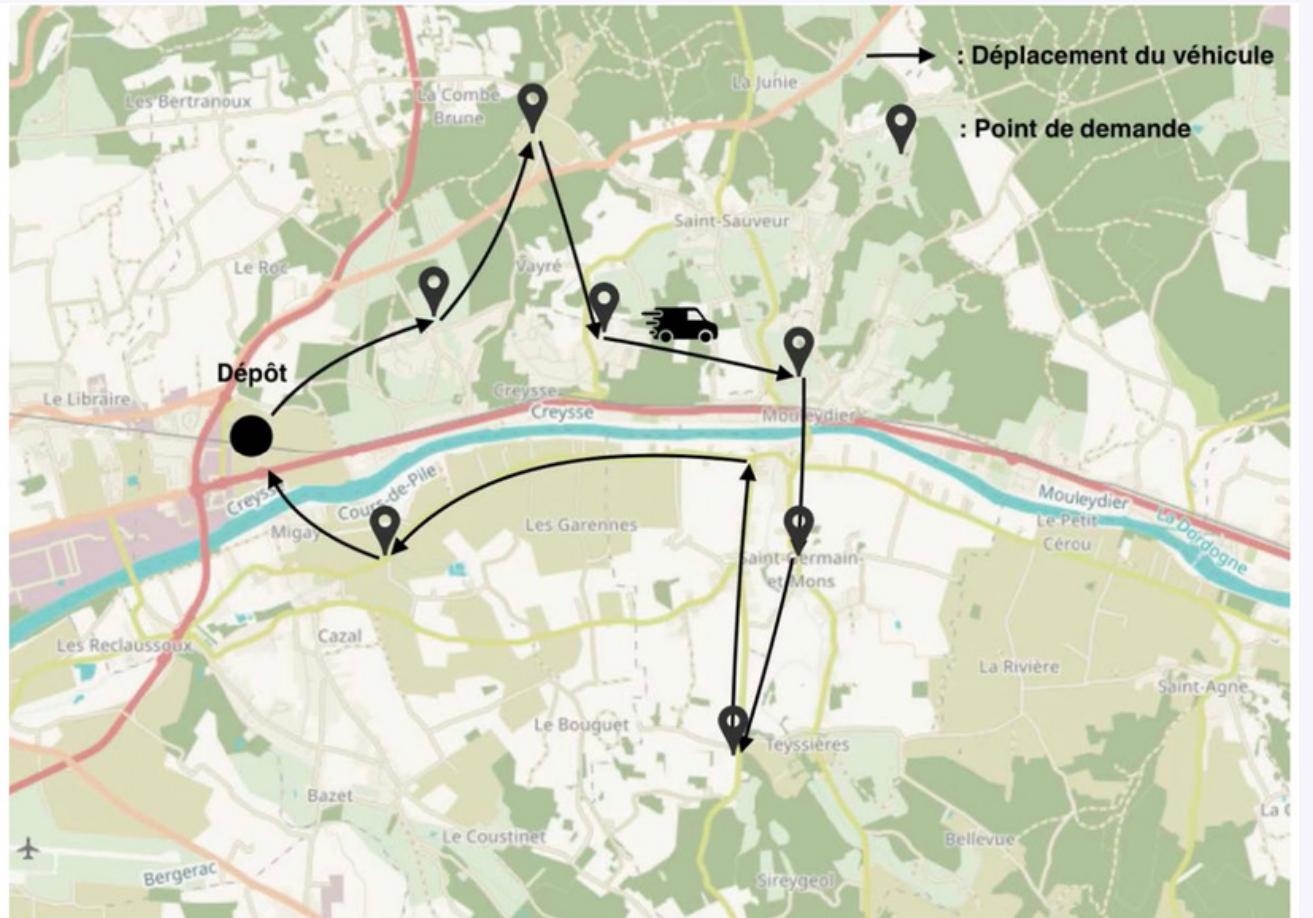
$$\sum_{(i,j) \in s} x_{ij} \leq |s| - 1, \quad \forall s \in \mathcal{S}_d \quad (2.4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in \mathcal{I}_d, \quad \forall j \in \mathcal{I}_d \quad (2.4)$$

### RÉSULTAT

- Solution optimale

# Cas 0 : Heuristique Nearest Neighbor



Tournée de livraison simple avec le camion.

Type de méthode : heuristique gloutonne

## IDÉES

- Livrer le noeud de demande non visité le plus proche
- Permet d'obtenir une solution plus rapidement : utile si instance trop grande

<b>Instance</b>	<b>Valeur de l'objectif (sec)</b>	<b>Gap (%)</b>	<b>Temps de résolution (sec)</b>
<b>Instance 1</b>	4202.00	0.00	0.06
<b>Instance 2</b>	4952.00	0.00	0.07
<b>Instance 3</b>	7717.00	0.00	0.53
<b>Instance 4</b>	8805.00	0.00	3.21
<b>Instance 5</b>	9956.00	0.00	9.35

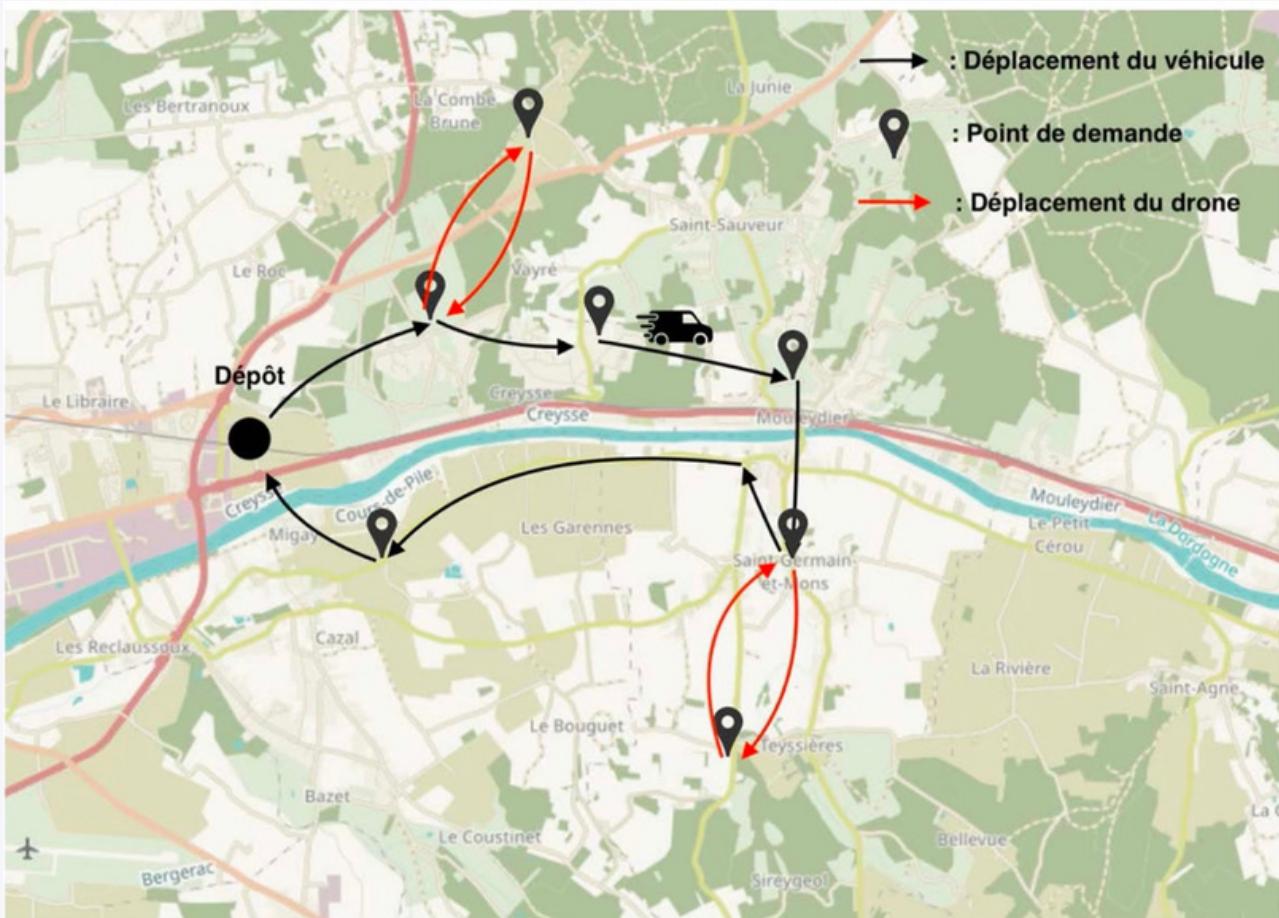
TABLE 5.1 – Résultats du MIP pour le cas 0

<b>Instance</b>	<b>Valeur de l'objectif (sec)</b>	<b>Gap (%)</b>	<b>Temps de résolution (sec)</b>
<b>Instance 1</b>	4328.00	3.00	0.00
<b>Instance 2</b>	5426.00	9.57	0.01
<b>Instance 3</b>	9158.00	18.67	0.01
<b>Instance 4</b>	9854.00	11.91	0.01
<b>Instance 5</b>	10964.00	10.12	0.01

TABLE 5.2 – Résultats de l'heuristique du plus proche voisin pour le cas 0

## Type de méthode : PLNE

### Cas 1: MIP Relâché



Tournée de livraison avec camion et drones. Point de largage /livraison statique (noeuds graphe routier)

#### INTUITION

- Graphe routier trop grand pour considérer tous les nœuds
- On se réduit aux nœuds de demande
- Chaque véhicule ne connaît pas la position des autres

#### DESCRIPTION

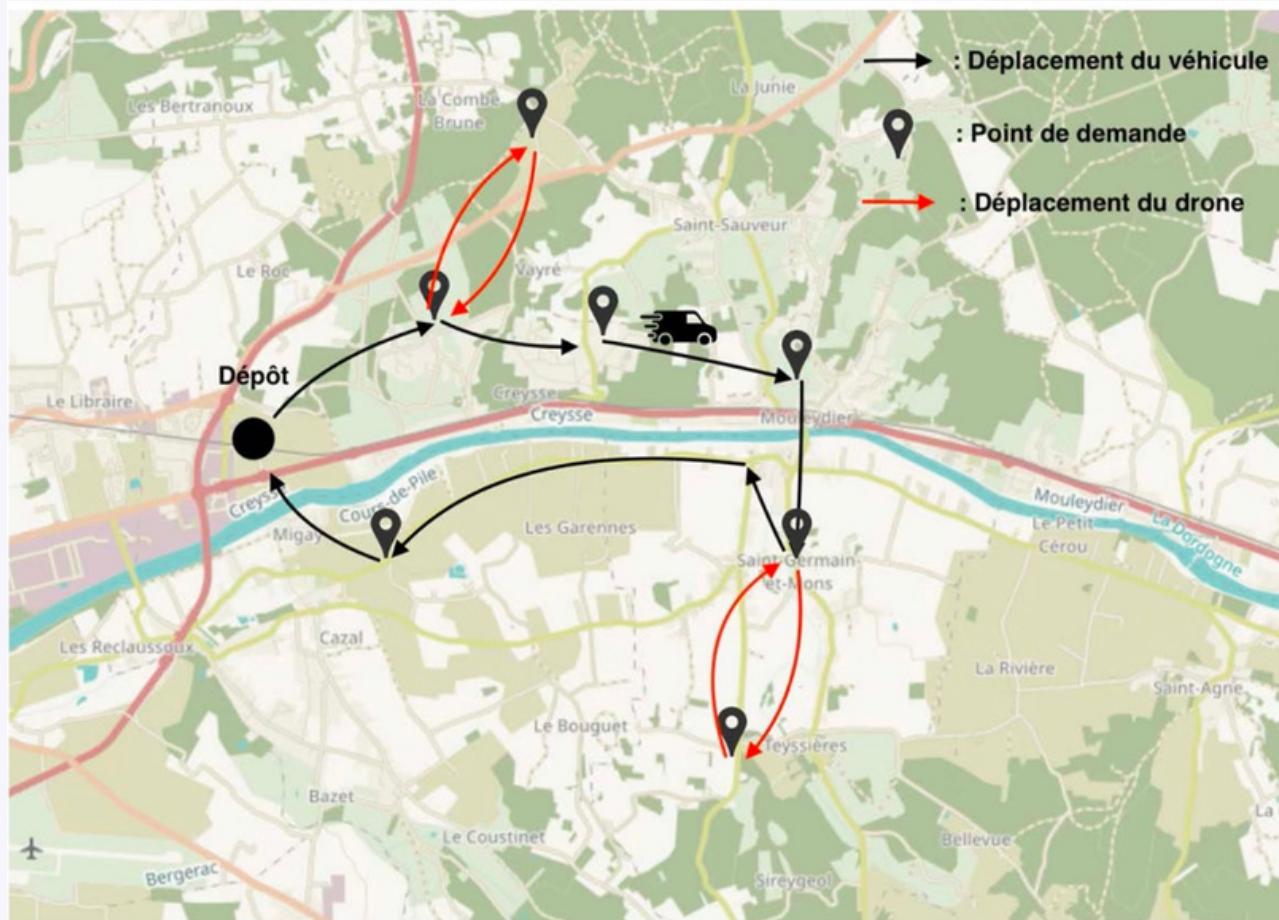
- Relaxation de la contrainte du temps de stationnement du camion

#### RÉSULTAT

- Solutions réalisables pour les deux approches
- MIP plus performant

$T_i \in \mathbb{R}^+$  : durée de stationnement du véhicule au lieu  $i \in \mathcal{I}_d$

## Cas 1: MIP Relâché



Tournée de livraison avec camion et drones. Point de largage /livraison statique (noeuds graphe routier)

$$\min \sum_{i \in \mathcal{I}_d} \sum_{j \in \mathcal{I}_d} \hat{c}_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in \mathcal{I}_d} T_i \quad (4.1)$$

$$s.c. \quad \sum_{k \in \mathcal{I}_d} x_{ki} = \sum_{j \in \mathcal{I}_d} x_{ij}, \quad \forall i \in \mathcal{I}_d \quad (4.2)$$

$$\sum_{j \in \mathcal{I}_d} x_{ij} \leq 1, \quad \forall i \in \mathcal{I}_d \quad (4.3)$$

$$\sum_{j \in \mathcal{I}_d} x_{0j} = 1, \quad \forall j \in \mathcal{I}_d \quad (4.4)$$

$$d_j \cdot \sum_{i \in \mathcal{I}_d} x_{ij} + \sum_{i \in \mathcal{I}_d} (y_{ij}^1 + y_{ij}^2) = d_j, \quad \forall j \in \mathcal{I}_d \quad (4.5)$$

$$y_{ij}^o \leq d_j \cdot \sum_{k \in \mathcal{I}_d} x_{ki}, \quad \forall i \in \mathcal{I}_d, \forall j \in \mathcal{I}_d, \forall o \in \{1, 2\} \quad (4.6)$$

$$d_{\mathcal{I}_d \setminus s} \cdot x_{ab} \leq d_{\mathcal{I}_d \setminus s} \cdot \sum_{i \in s} \sum_{j \in \mathcal{I}_d \setminus s} x_{ij} + \sum_{o \in \{1, 2\}} \sum_{i \in s} \sum_{j \in \mathcal{I}_d \setminus s} y_{ij}^o, \quad \forall a \in s, \forall b \in s, \forall s \in \mathcal{S}_d \quad (4.7)$$

$$T_i \geq 30 \cdot \sum_{j \in \mathcal{I}_d} \sum_{o \in \{1, 2\}} y_{i,j}^o + 60 \cdot x_{ki}, \quad \forall i \in \mathcal{I}_d \quad (4.8)$$

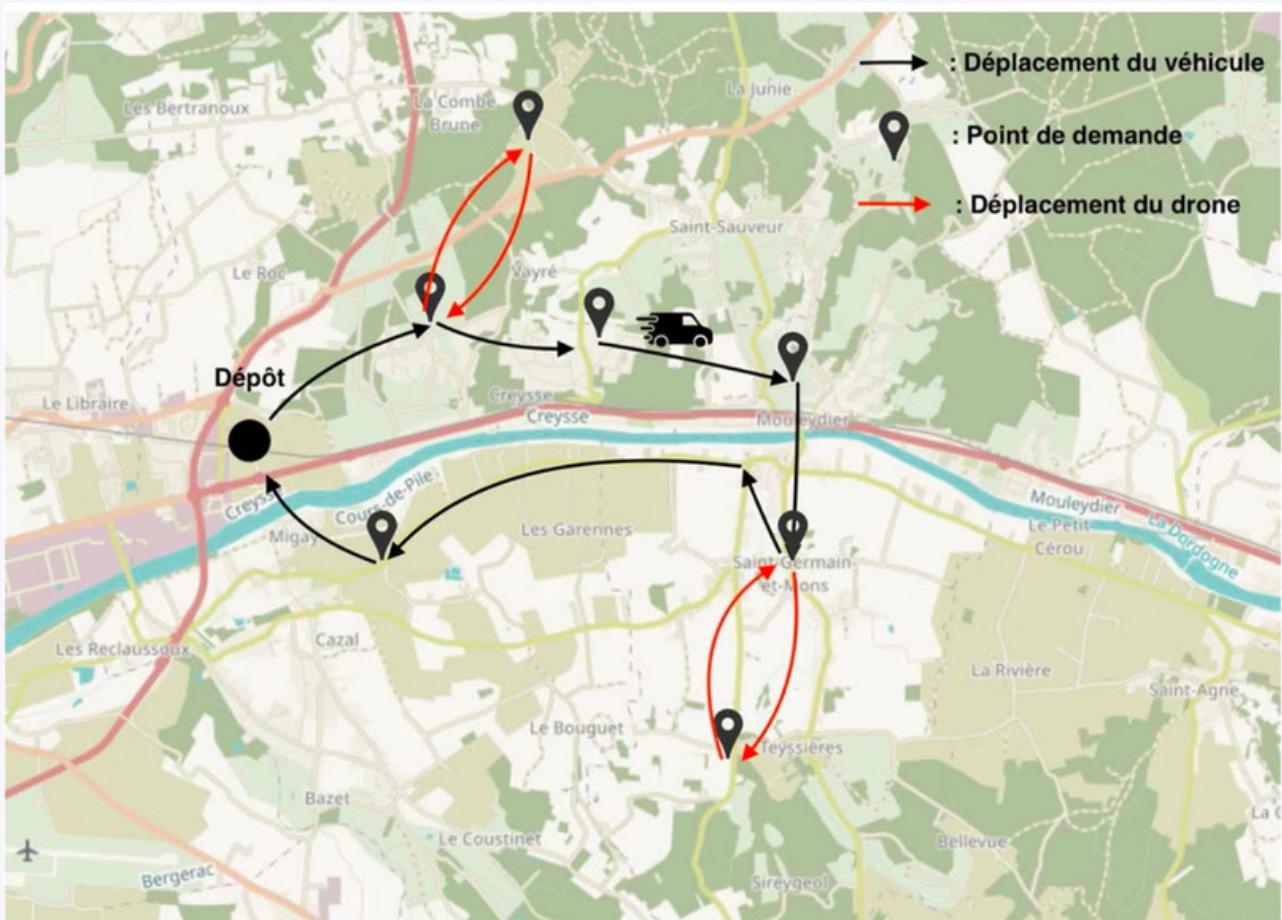
$$T_i \geq 30 \cdot \sum_{j \in \mathcal{I}_d} y_{i,j}^o + 2 \cdot \sum_{j \in \mathcal{J}} e_{ij} y_{ij}^o, \quad \forall i \in \mathcal{I}_d, \forall o \in \{1, 2\} \quad (4.9)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in \mathcal{I}_d, \forall j \in \mathcal{I}_d \quad (4.10)$$

$$y_{ij}^o \in \mathbb{N}^+, \quad \forall i \in \mathcal{I}_d, \forall j \in \mathcal{I}_d, \forall o \in \{1, 2\} \quad (4.11)$$

$$T_i \in \mathbb{R}^+, \quad \forall i \in \mathcal{I}_d \quad (4.12)$$

# Cas 1 : Greedy Path



Tournée de livraison avec camion et drones. Point de largage /livraison statique (noeuds graphe routier)

## IDÉES

- Déterminer les noeuds de demande qui peuvent être livrés par les drones plutôt que le camion

## DESCRIPTION

- On part de opt(TSP) et on calcule les gains de temps en utilisant des drones plutôt qu'un camion pour desservir les nœuds de demande. Une fonction calcule la différence de temps entre le camion seul et les drones et le camion. Ensuite, la solution finale est créée en modifiant l'itinéraire du camion et en affectant les nouveaux déplacements aux drones les plus profitables.

## RÉSULTAT

- Solutions réalisables pour les deux approches

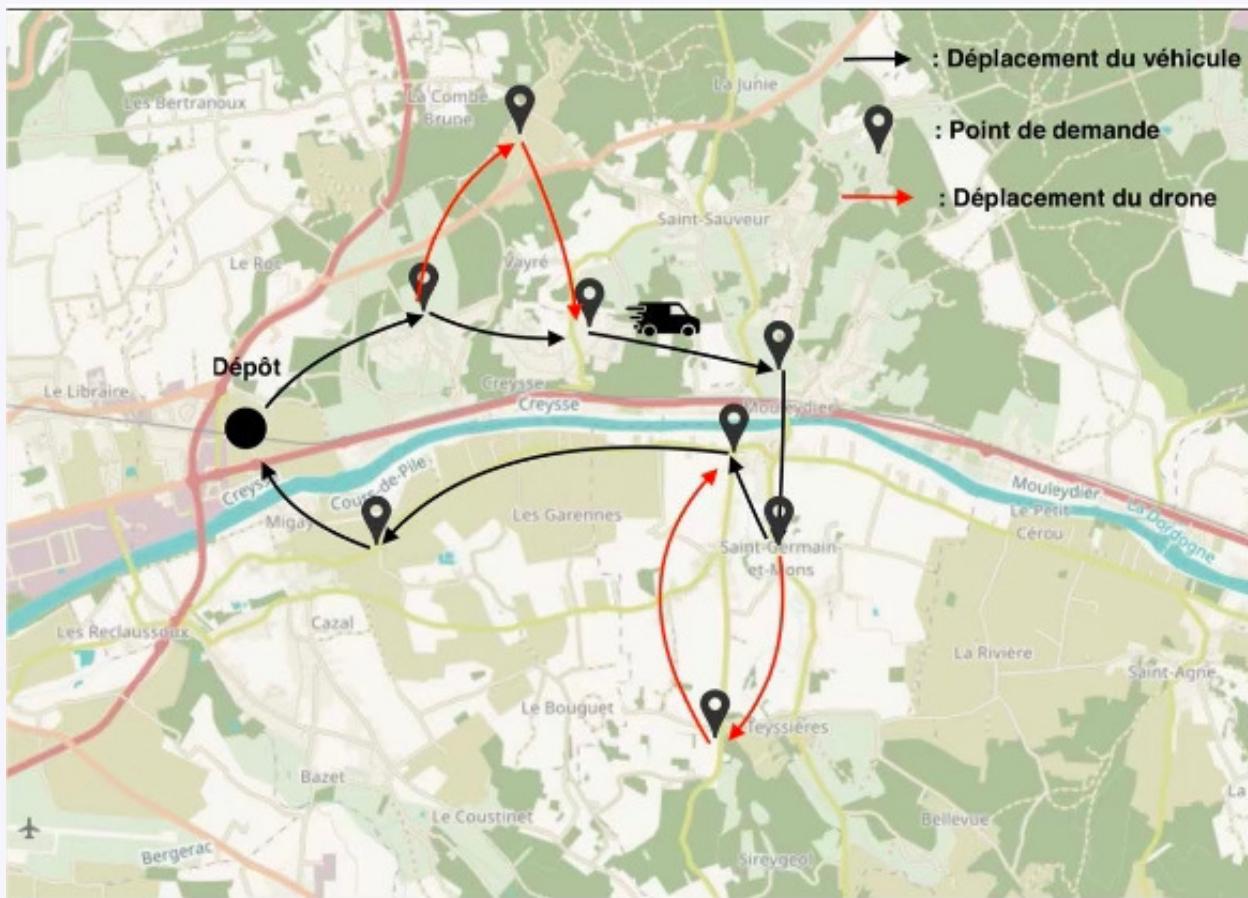
<b>Instance</b>	<b>Valeur de l'objectif (sec)</b>	<b>Gap (%)</b>	<b>Temps de résolution (sec)</b>	<b>Gain (%) par rapport au cas 0</b>
<b>Instance 1</b>	2718.00	0.00	14.69	35.32
<b>Instance 2</b>	3451.00	0.00	1730.87	30.31
<b>Instance 3</b>	4571.00	6.47	3600.00	40.77
<b>Instance 4</b>	7632.00	41.06	3600.00	13.32
<b>Instance 5</b>	x	x	3600.00	x

TABLE 5.3 – Résultats du MIP relâché pour le cas 1

<b>Instance</b>	<b>Valeur de l'objectif (sec)</b>	<b>Gap (%)</b>	<b>Temps de résolution (sec)</b>	<b>Gain (%) par rapport au cas 0</b>
<b>Instance 1</b>	3720.18	36.87	0.09	11.47
<b>Instance 2</b>	4843.76	40.36	0.08	2.19
<b>Instance 3</b>	6772.70	54.64	0.43	12.24
<b>Instance 4</b>	8314.15	50.00	2.60	5.57
<b>Instance 5</b>	9370.86	x	7.00	5.88

TABLE 5.4 – Résultats de l'heuristique *Greedy Path* pour le cas 1

## Cas 2 : Super Node



Tournée de livraison avec camion et drones. Point de largage /livraison différencié (noeuds graphe routier)

### Type de méthode : recherche locale

#### IDÉES

- Super Node : noeuds avec une demande  $\geq 2$
- Super Node livré par le camion
- Utiliser au maximum les drones
- Drones lancés uniquement depuis les noeuds de demande : ne pas faire descendre le conducteur plus de fois du camion (pénibilité de la solution réduite)

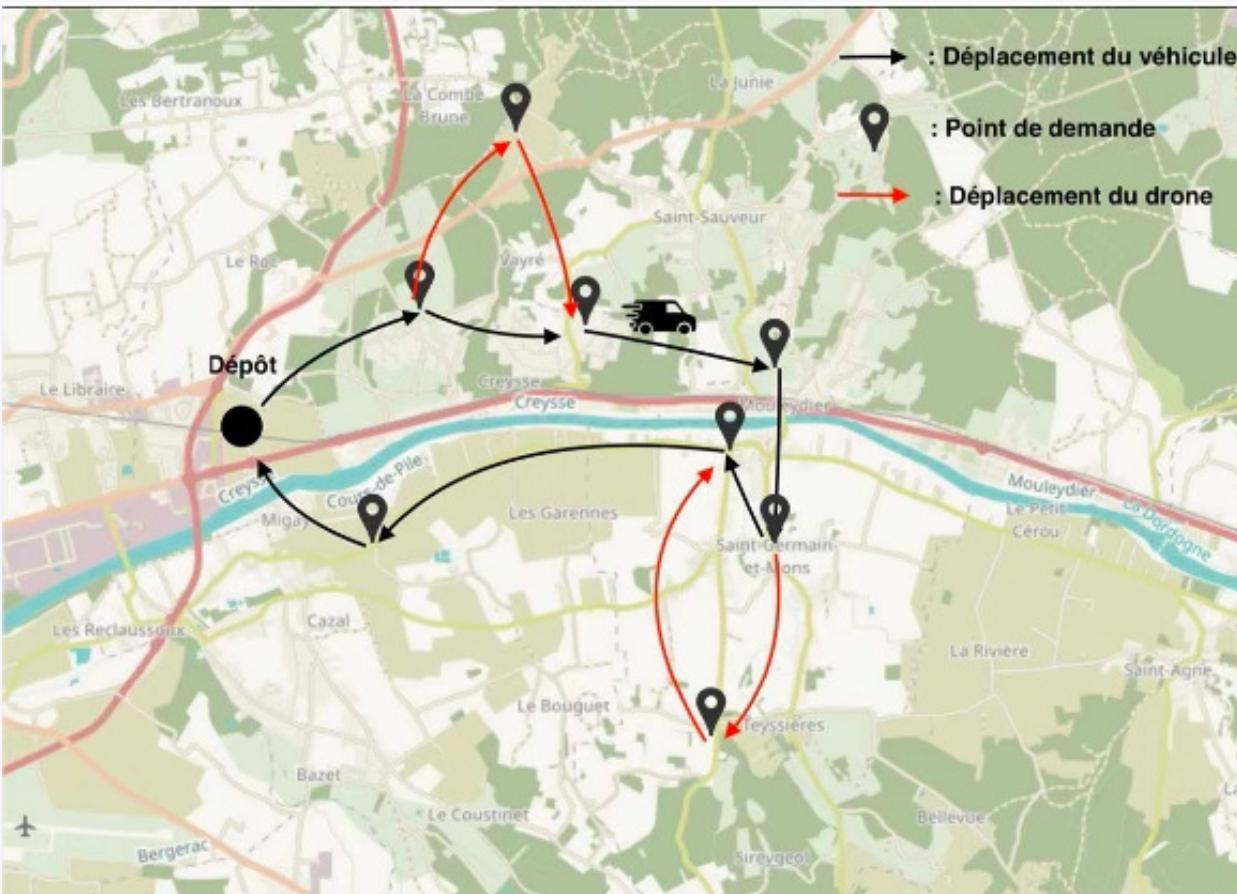
#### DESCRIPTION

- Solution initiale : Opt(TSP) + affectation d1 d2 camion
- Voisinage décrit en terme d'affectation noeud-véhicule pour les drones

#### RÉSULTATS

- Gain entre 19% et 30 % par rapport au Opt(TSP)

## Cas 2 : Improving Path



Tournée de livraison avec camion et drones. Point de largage /livraison différencié (noeuds graphe routier)

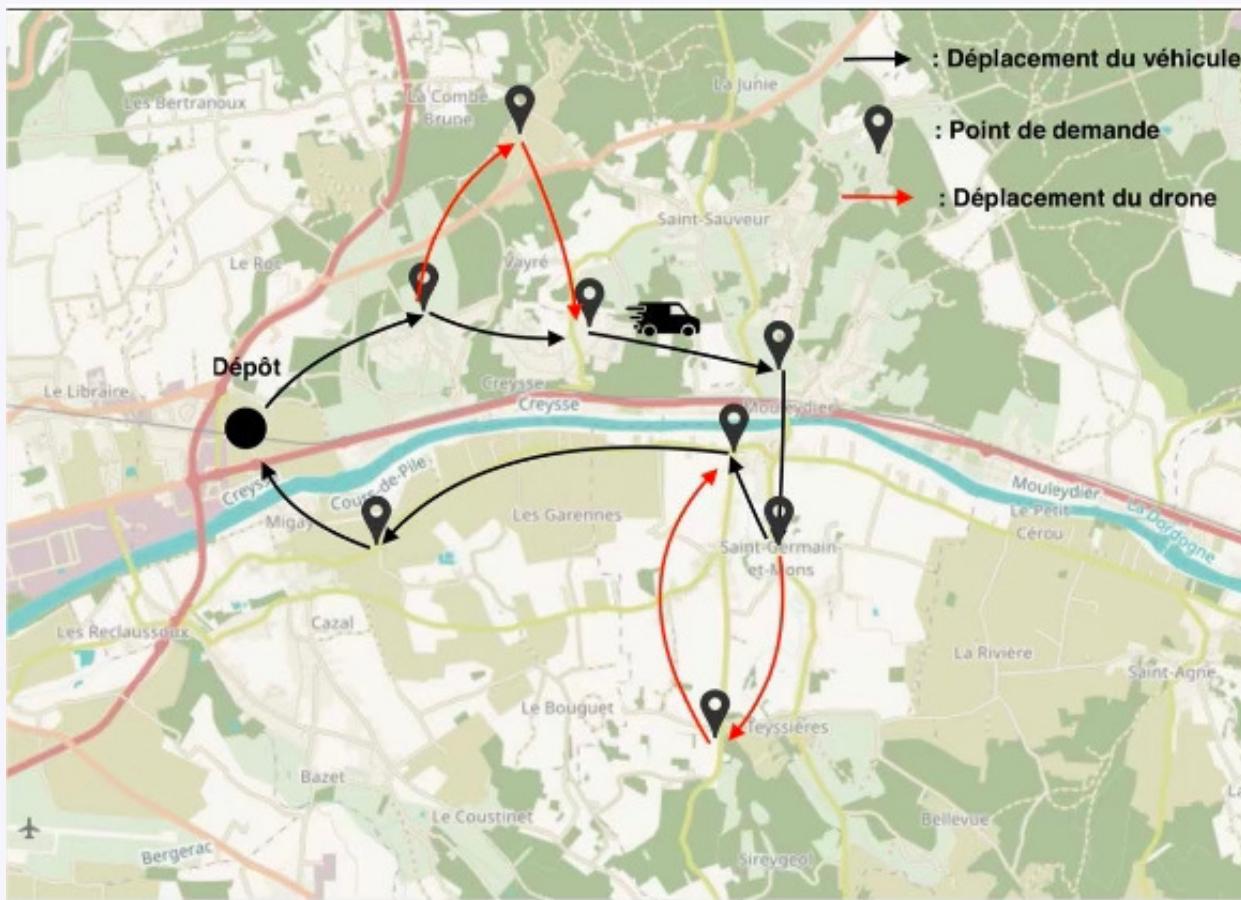
### IDÉE

- En partant d'une solution au cas 0,
- À une position donnée du camion dans la tournée,
- Peut-on gagner du temps en livrant le prochain nœud par des drones et en allant directement à son successeur pour les récupérer là bas?

### DESCRIPTION

- Solution initiale : Opt(TSP) -> tournée du camion
- "path" : partie de la tournée bornée par deux livraisons du camion, de demande inférieure  $\leq 2$
- Improving path (chemin améliorant) : "path" dont la couverture de sa demande intérieure par des drones améliore la solution
- Sélection des meilleurs chemins par modélisation mathématique.

## Cas 2 : Improving Path



Tournée de livraison avec camion et drones. Point de largage /livraison différencié (noeuds graphe routier)

### MIP : SELECTION DES CHEMINS

Donnée  $g_i \in \mathbb{R}^+$  : temps gagné si on sélectionne le chemin  $i$  pour qu'il soit effectué par des drones

Donnée  $o_{i,j} \in \{0, 1\}$  : 1 si les chemins  $i$  et  $j$  se chevauchent, 0 sinon

Donnée  $a_{i,j} \in \mathbb{R}^+$  : temps supplémentaire gagné si les chemins  $i$  et  $j$  ne sont pas consécutifs

Variable  $x_i \in \{0, 1\}$  : 1, si le chemin  $i$  est sélectionné pour être satisfait par des drones, 0 sinon

Variable  $y_{ij} \in \{0, 1\}$  : 1 si les chemins  $i$  et  $j$  sont sélectionnés en même temps, 0 sinon

Variable  $z_i \in \mathbb{R}^+$  : temps supplémentaire gagné en sélectionnant le chemin  $i$ .

$$\max \sum_{i \in \mathcal{C}} g_i x_i + \sum_{i \in \mathcal{C}} z_i \quad (4.12)$$

$$s.c. \quad x_i + x_j \leq 1, \quad \forall i \in \mathcal{C}, \forall j \in \mathcal{C}, \text{ si } o_{i,j} = 1 \quad (4.13)$$

$$x_i + x_j \leq y_{ij} + 1, \quad \forall i \in \mathcal{C}, \forall j \in \mathcal{C} \quad (4.14)$$

$$2 \cdot y_{ij} \leq x_i + x_j, \quad \forall i \in \mathcal{C}, \forall j \in \mathcal{C} \quad (4.15)$$

$$z_j \leq a_{i,j} \cdot y_{ij} + M_j(1 - y_{i,j}), \quad \forall i \in \mathcal{C}, \forall j \in \mathcal{C} \quad (4.16)$$

$$x_i \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in \mathcal{C} \quad (4.17)$$

$$y_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in \mathcal{C}, \forall j \in \mathcal{C} \quad (4.18)$$

$$z_i \in \mathbb{R}^+, \quad \forall i \in \mathcal{C}$$

### RÉSULTATS

- Gain entre 29% et 33 % par rapport au Opt(TSP)

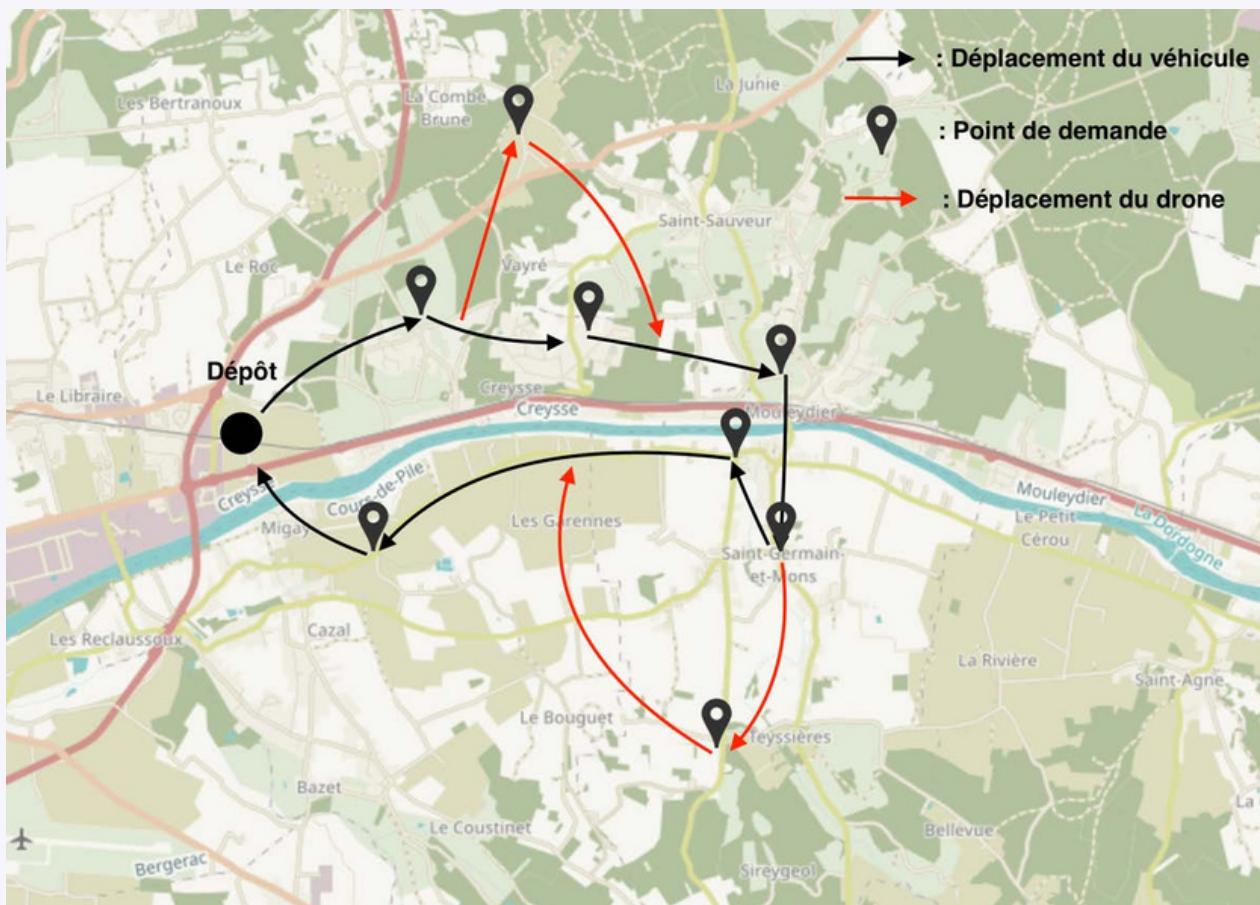
<b>Instance</b>	<b>Valeur de l'objectif (sec)</b>	<b>Temps de résolution (sec)</b>	<b>Gain (%) par rapport au cas 0</b>
<b>Instance 1</b>	3066.56	0.02	27.02
<b>Instance 2</b>	3784.28	0.05	23.58
<b>Instance 3</b>	5350.64	0.11	30.66
<b>Instance 4</b>	6312.27	0.24	28.31
<b>Instance 5</b>	8014.47	0.50	19.50

TABLE 5.5 – Résultats de l'heuristique *Super Node* pour le cas 2

<b>Instance</b>	<b>Valeur de l'objectif (sec)</b>	<b>Temps de résolution (sec)</b>	<b>Gain (%) par rapport au cas 0</b>
<b>Instance 1</b>	2807.00	0.08	33.20
<b>Instance 2</b>	3504.00	0.09	29.24
<b>Instance 3</b>	5117.00	0.45	33.69
<b>Instance 4</b>	5978.00	2.71	32.11
<b>Instance 5</b>	6787.00	6.49	31.83

TABLE 5.6 – Résultats de l'heuristique *Path* pour le cas 2

# Cas 3



Tournée de livraison avec camion et drones. Point de largage /livraison dynamique

## INTUITION

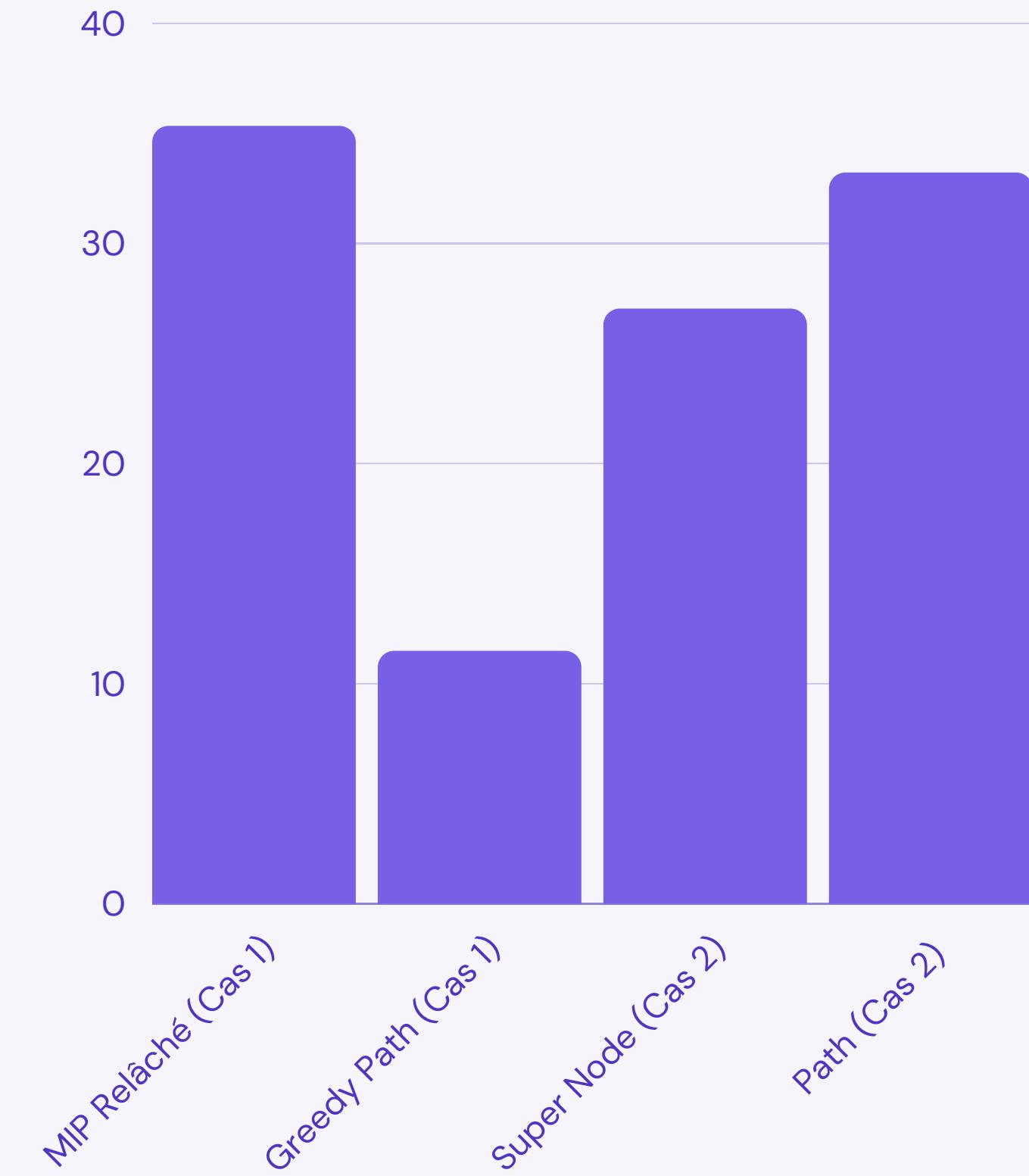
- **Meilleurs résultats lorsque deux noeuds de demande sont très éloignés et qu'il n'y a pas d'intersection sur le trajet**
- **Les drones pourront faire des aller retours vers le camion**

## MÉTHODES

- **L'approche retenue consistait à regrouper les nœuds de demande par proximité et à minimiser la demande totale à livrer par le drone, mais malheureusement l'implémentation n'a pas été terminée**

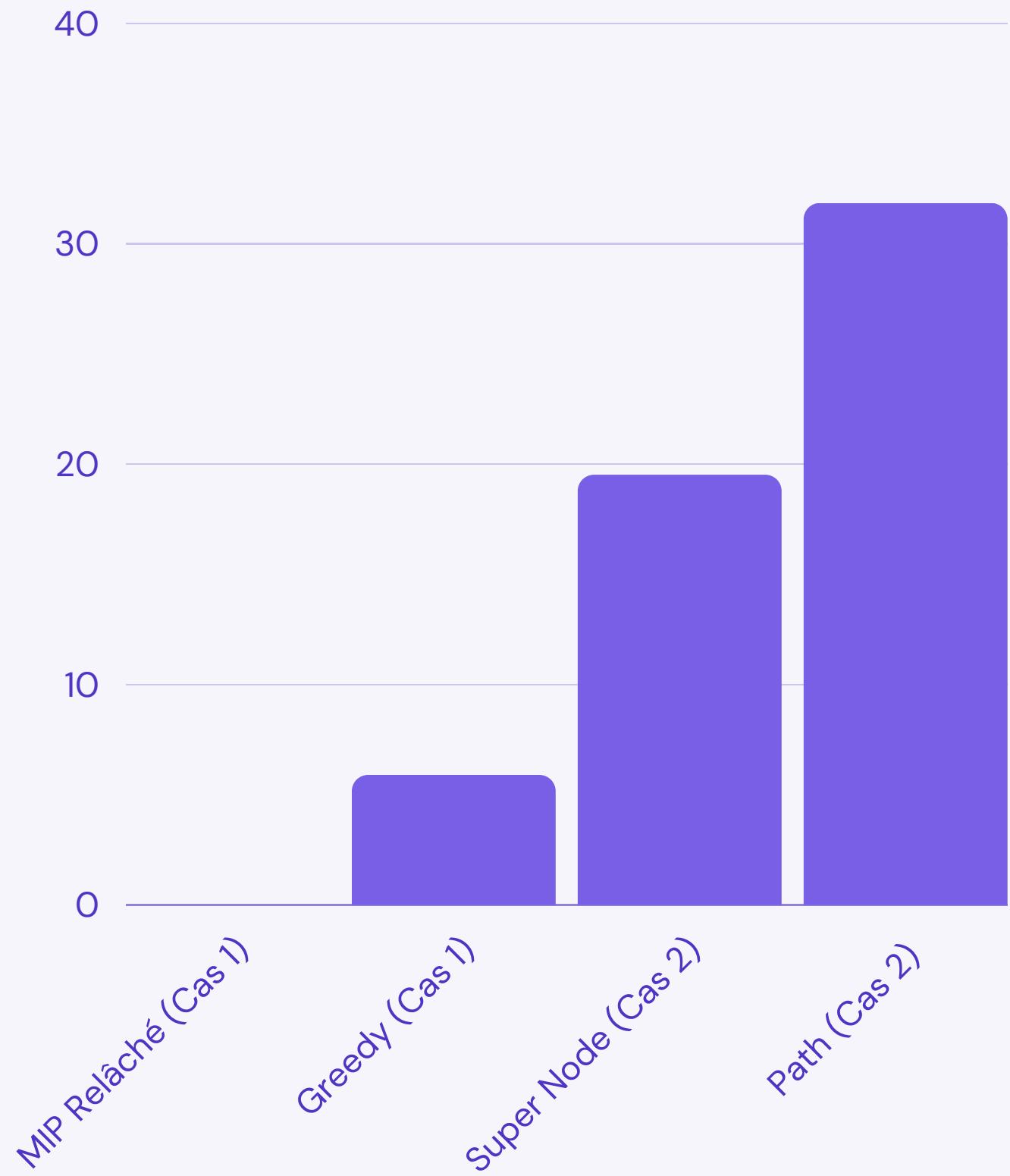
# Comparatif des cas

À partir de l'instance 1

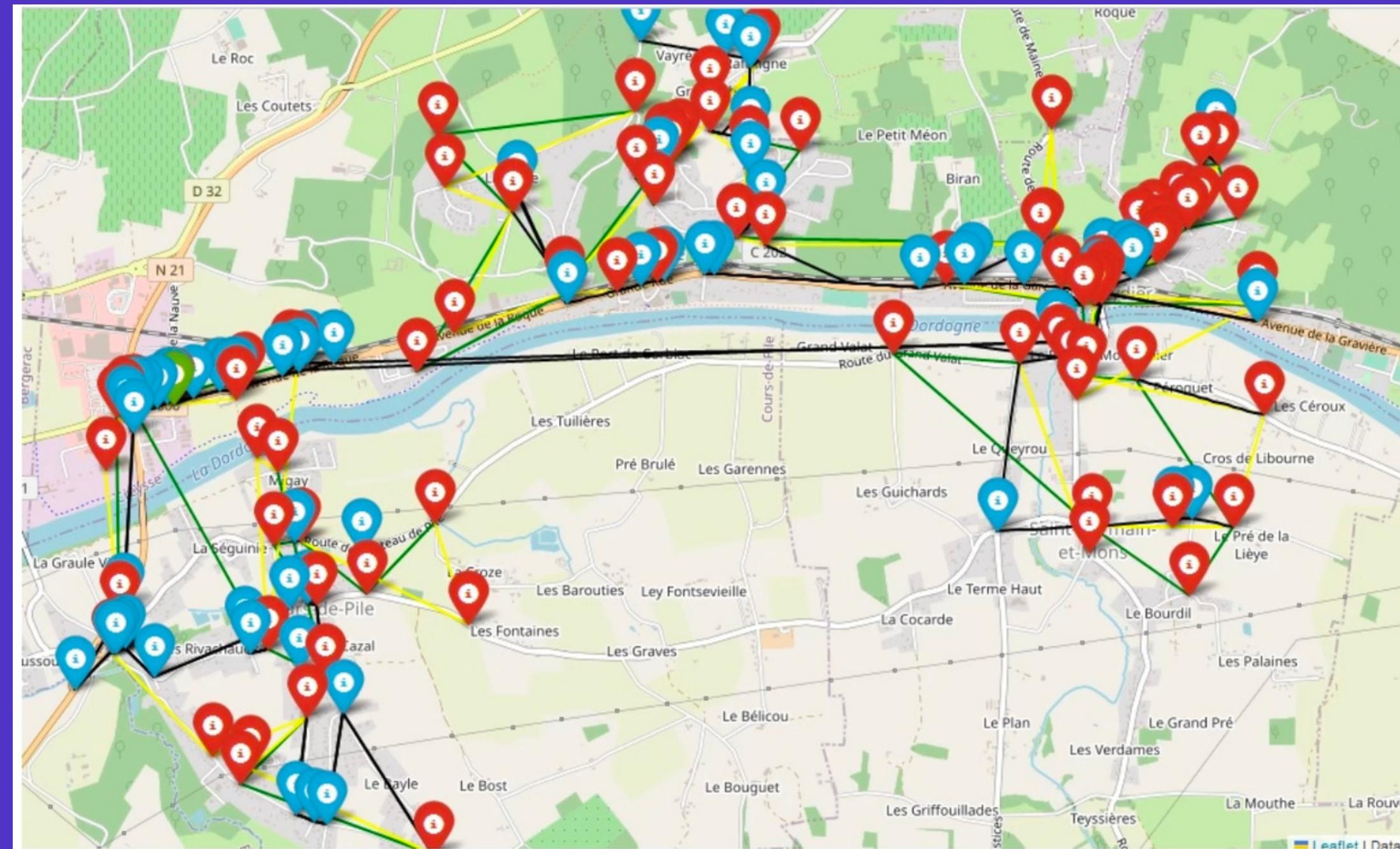


# Comparatif des cas

À partir de l'instance 5



# Conclusion



Merci de votre  
écoute !

