

# MOSIM 08

---

## **Stabilité et réorganisation de tournées de collecte des déchets ménagers**

Frédérique BANIEL (LGP / ENIT - MOGISA / LAAS-CNRS)  
Marie-José HUGUET (MOGISA / LAAS-CNRS)  
Thierry VIDAL (IRISA/ INRIA)

# Plan

---

## 1. Position du problème

1. Contexte & problématique
2. Critères envisagés

## 2. Modélisation

1. Granularité
2. Modèle
3. Expression des critères

## 2. Algorithmes utilisés

1. Scinder le graphe
2. Construire les circuits

## 3. Evolution des tournées

## 4. Conclusion et Perspectives

# Contexte

---

- **But :**

- Problème de collecte *dynamique* : **Organiser/Réorganiser** les circuits de collecte des déchets ménagers
- modélisation mathématique
- *Multicritères* : 4 objectifs principaux :
  - coûts de collecte
  - qualité de service pour les usagers
  - Impact environnemental
  - Condition de travail des employés

- **Partenariat :**

- **ADEME** (Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie) : conseil, vision globale
- Collectivité locale : la **CAM** (Communauté d'Agglomération du Muretain) : problèmes et données réelles

# Présentation du problème

---

- **Organisation :**

- Fréquence de collecte fixe (2 collectes d'**O**rdures **M**énagères par semaine),
- Dépôt et point de vidage **unique**,
- Taux présentation début semaine > taux présentation fin semaine.

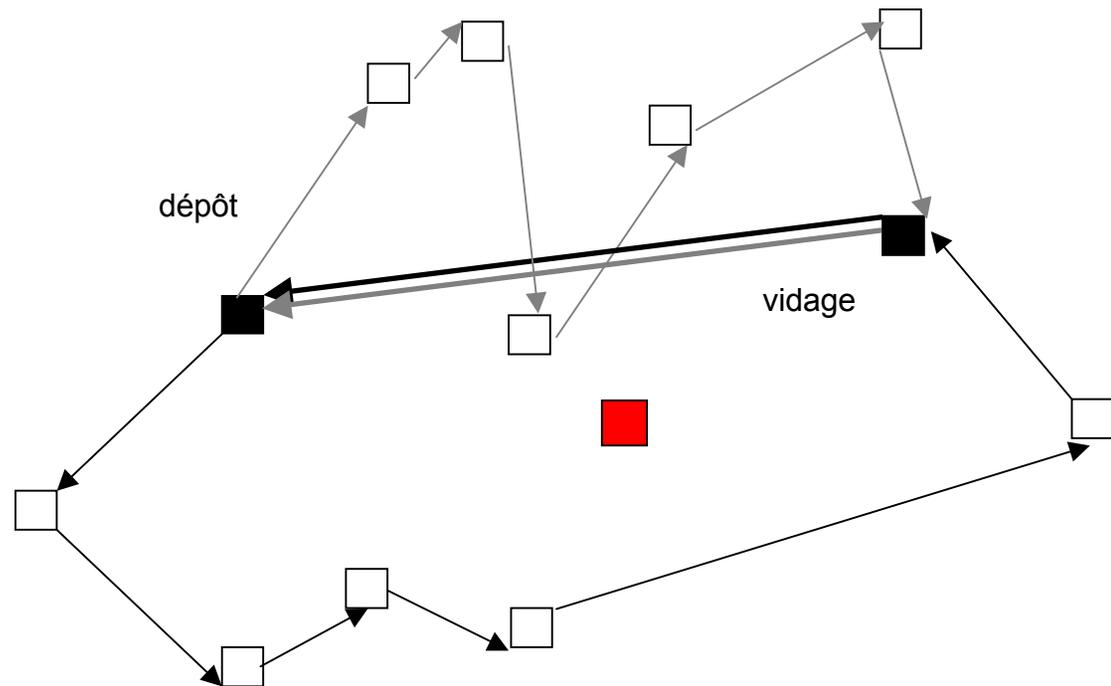
- **Contraintes fortes :**

- Passer devant toutes les habitations à collecter,
- Nombre de véhicules limité et hétérogènes,
- Tonnage à collecter par véhicule limité,
- Passage à certaines heures obligatoires (ou interdites),
- Temps de travail limité.

# Présentation du problème

---

---



- **Réorganisation :**

- Augmentation de la population de **2%** par an,
- Augmentation de la quantité de déchets de **2%** par an et par habitant
- Proposition de méthodes d'insertion pour l'impact sur les tournées en place

# Critères envisagés

---

- **Organisation des circuits de collecte**
  - **Critère de coût :**
    - Nb de kilomètre.
  - **Qualité de service :**
    - Tout collecter.
  - **Impact environnemental :**
    - Consommation de carburant.
  - **Conditions de travail des employés :**
    - Équilibrage des tournées : temps de travail.

# Critères envisagés

---

- Réorganisation des circuits

**BUT** : solution faible coût qui « perturbe » le moins possible solution initiale.

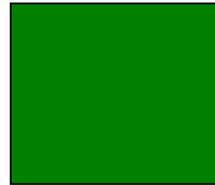
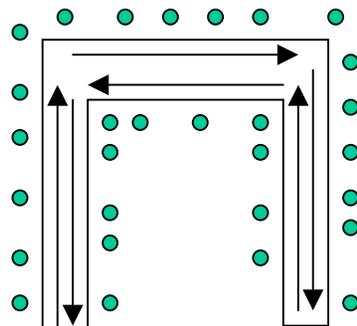
En plus des critères précédents se rajoute un critère de **stabilité dynamique** :

- **Qualité de service** (= point de vue usagers)
  - modification du jour / de l'heure de collecte.
- **Conditions de travail** (= point de vue équipe)
  - ajout/suppression de points de collecte dans un circuit de collecte,
  - temps de passage,
  - changement de l'ordre de passage.

# Modélisation

- Collecte sur les noeuds : Capacited Vehicle Routing Problem with Time Windows

- Agrège une rue, un quartier, un lotissement, une portion de route en un nœud



Noeud qui agrège les paramètres (tonnage, coût, temps de parcours, nombre de bacs, nombre de points noirs)

- Granularité du nœud à définir par la collectivité : peut être variable

- Graphe  $G = (Y, A)$

- $Y = \{y_0, y_2, \dots, y_{n-1}\}$  : ensemble des nœuds (quartiers)

- $n$  : nb de nœuds

- $A = \{(y_i, y_j) \mid y_i, y_j \in Y; i \neq j\}$  : ensemble des arcs (réseau routier)

# Modélisation

- Horizon

$$h \in H = \{h1, h2\}$$

- Données du Graphe :

- Noeuds  $y_i^{hk}$  :

- **Quantité** à collecter pour un noeud  $i$  le jour  $h$  :  $q_i^h$
- **Temps** de collecte d'un noeud  $i$  le jour  $h$  :  $t_{ij}^k$
- **Cout** de parcours d'un noeud  $i$  le jour  $h$  :  $c_i^k$
- **Horaire** de passage pour un noeud  $i$  le jour  $h$  :  $est_i^h$  et  $lft_i^h$

- Arcs  $x_{ij}^{hk}$  :

- **coût de traversée** d'un arc orienté  $(i,j)$  pour le camion  $k$  :  $c_{ij}^k$
- **temps de traversée** d'un arc orienté  $(i,j)$  pour le camion  $k$  :  $t_{ij}^k$

- Variable de décision :

$$x_{ij}^{hk} = \begin{cases} 1 & \text{si véhicule } k \text{ va directement du noeud } i \text{ au noeud } j \text{ le jour } h \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

# Modélisation

- Contraintes :

$$- x_{ij}^{hk} \in \{0,1\} \quad (1)$$

$$- \sum_{i=1}^n x_{ij}^{hk} = y_j^{hk} \quad (j = 2, \dots, n; k \in K; h \in H) \quad (2)$$

$$- \sum_{i=2}^n x_{ij}^{hk} = y_i^{hk} \quad (i = 2, \dots, n; k \in K; h \in H) \quad (3)$$

$$- \sum_{i \in Y'} t_i^{hk} \cdot y_i^{hk} + \sum_{i \in Y'} \sum_{j \in Y'} x_{ij}^{hk} \cdot t_{ij}^k \leq T \quad (k \in K; h \in H) \quad (4)$$

$$- \sum_{(i,j) \in S^2} x_{ij}^{hk} \leq |S| - 1 \quad (S \subset Y'; 2 \leq |S| \leq n - 1; k \in K; h \in H) \quad (5)$$

$$- y_i^{hk} \times est_i^h \leq y_i^{hk} \cdot st_i^{hk} \leq y_i^{hk} \times (lft_i^h - t_i^{hk}) \quad (6)$$

$$- st_i^{hk} + t_i^{hk} + t_{ij}^k - M \times (1 - x_{ij}^{hk}) \leq st_j^{hk} \quad (7)$$

# Modélisation

---

$$- y_i^h = \sum_{k \in K} y_i^{hk} \quad (h \in H) \quad \forall i \neq 1, 2$$

$$- y_i^h \begin{cases} 1 & \text{si le nœud } i \text{ est collecté le jour } h \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$- y_0^h = m \quad (h \in H)$$

$$y_1^h = m \quad (h \in H)$$

avec  $m$  = nb véhicules

- **Contrainte de périodicité :**

- Collecte des noeuds deux fois par semaine :

$$y_i^{h1} + y_i^{h2} = 1, \forall y_i \in Y'$$

# Modélisation

- **Fonction objectif :**

- Coût de transport : 
$$\left( \sum_{i \in Y'} \sum_{j \in Y'} \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} c_{ij}^k \cdot x_{ij}^{hk} + \sum_{i \in Y'} \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} c_i^{hk} \cdot y_i^{hk} \right)$$

- Stabilité dynamique :

- Point de vue usager :

$$\sum_{i \in Y'} \sum_{k \in K} \left| (st_i^{h1k}) - (st_i^{*h1k}) \right| + \sum_{i \in Y'} \sum_{k \in K} \left| (st_i^{h2k}) - (st_i^{*h2k}) \right|$$

- Point de vue employé :

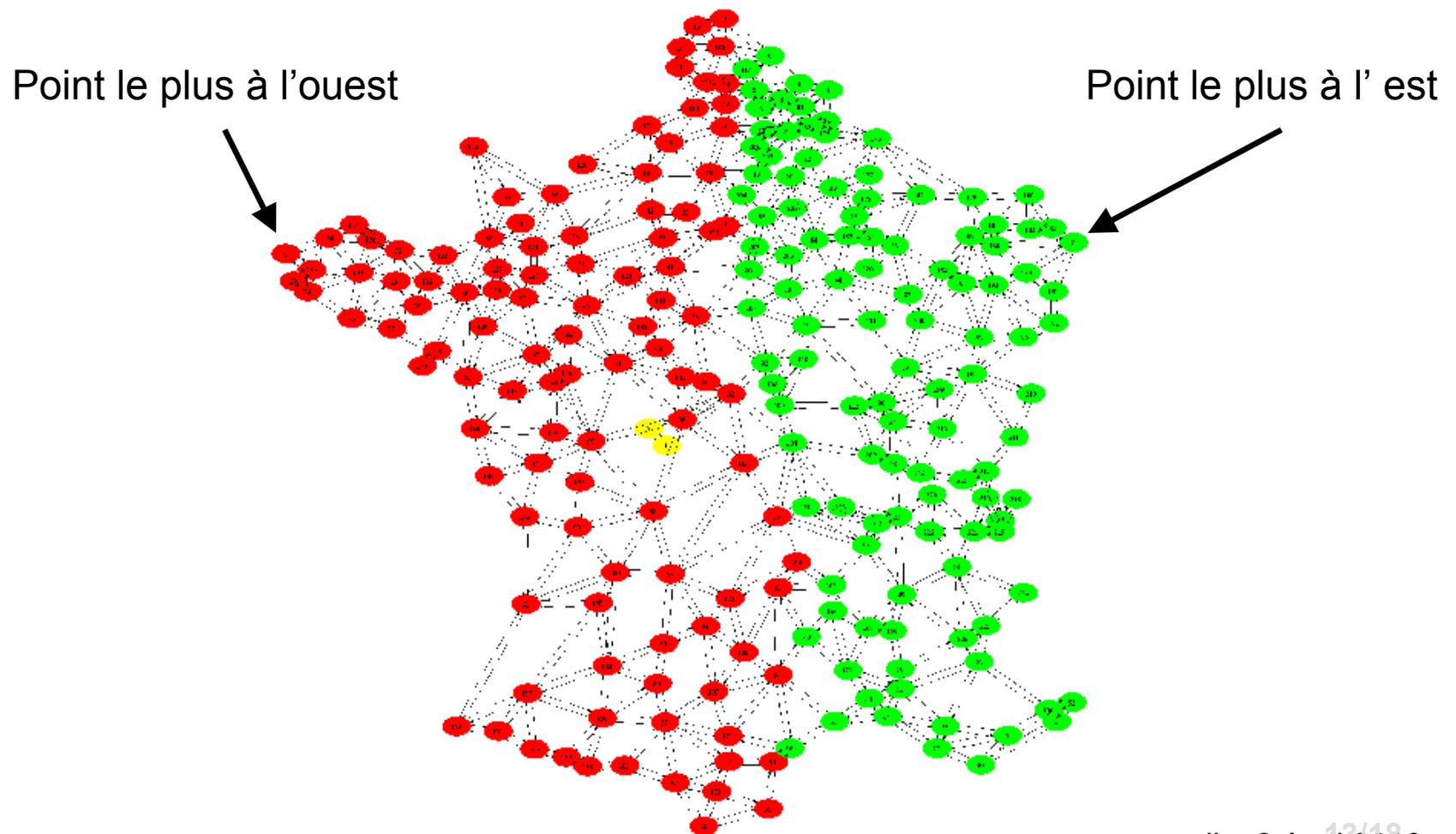
$$\sum_{i \in Y'} \sum_{k \in K} \left| (y_i^{h1k}) - (y_i^{*h1k}) \right| + \sum_{i \in Y'} \sum_{k \in K} \left| (y_i^{h2k}) - (y_i^{*h2k}) \right|$$

- Équilibrage des tournées :

- indicateurs sur les tournées

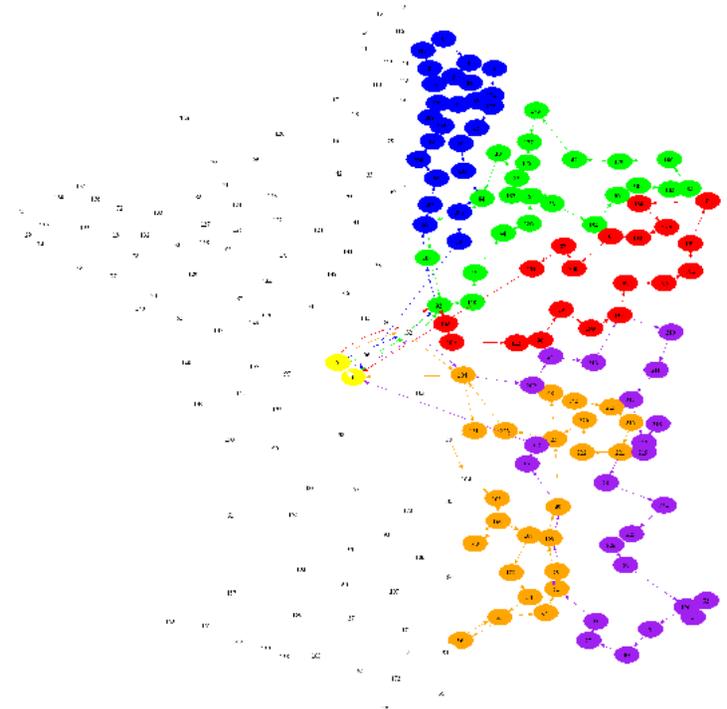
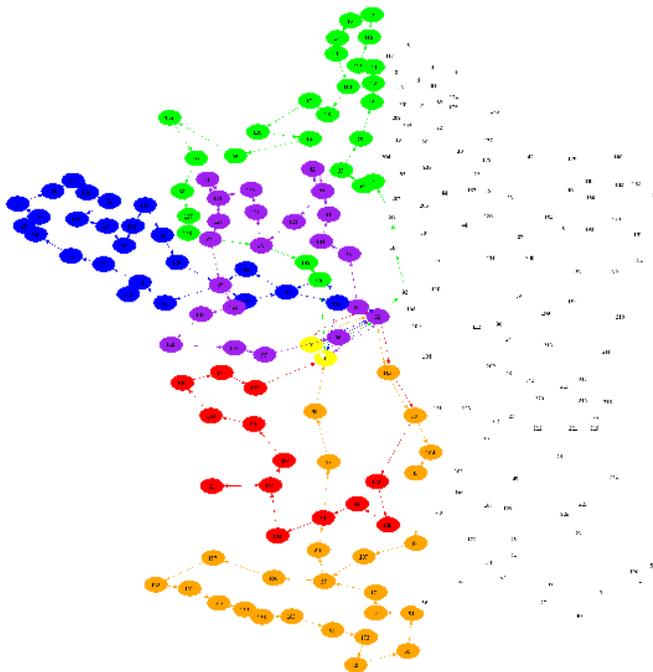
# Scinder le graphe

- Heuristique de construction :
  - Scinder le graphe en deux parties en équilibrant les tonnages :



# Construire 1ère solution

- Déterminer le nombre de camions nécessaires par jour : Algorithme de Solomon séquentiel
- Construire les secteurs de collecte et les tournées : Algorithme de Solomon parallèle
- On améliore cette solution à l'aide de recherche locale classique
  - Recherche locale intra-tournée : or-opt
  - Recherche locale inter-tournées : interchange



# Réorganisation

---

- Cas d'étude :
  - Ajout **d'un nœud** sans dépasser la limite de tonnage de collecte pour le circuit affecté,
  - Ajout **de plusieurs nœuds** en dépassant la limite de tonnage du circuit affecté.
- Méthodes d'insertion pour une étude d'une stabilité dynamique (pas de temps réel)
  - **I1** : Insertion au plus proche voisin,
  - **I2** : I1 + or-opt,
  - **I3** : I2 + interchange avec circuits immédiatement voisin,
  - **I4** : I3 +interchange entre tous les circuits,
  - **I5** : Reconstruction globale des circuits par secteur de collecte.

# Etude Stabilité dynamique

- Résultat :

- 1<sup>er</sup> problème :

	Instances de Solomon	Distance	Stabilité		
			Ecart temps	Ecart nœuds	Ecart chaînage
I1	R1	1431	16	1	0
I2	R1	1431	16	1	0
I3	R1	1431	16	1	0
I4	R1	1429	245	3	13
I5	R1	1432	1680	25	63

- Insertion d'un nœud sans dépasser la capacité totale du camion :

**I1(bonne stabilité) ou I4 (bonne distance)**

# Etude Stabilité dynamique

- **Résultat :**

- 2<sup>ème</sup> problème :

	Instances de Solomon	Distance	Stabilité		
			Ecart temps	Ecart noeuds	Ecart chaînage
I3	R1	1413	335	5	6
I4	R1	1403	415	8	14
I5	R1	1353	2513	62	88

- Insertion de plusieurs noeuds en dépassant la capacité totale du camion :

**Insertion au plus proche voisin et méthodes d'amélioration locales (I3 ou I4)**

# Conclusion & Perspectives

---

- ➔ - Proposition d'une modélisation du problème,
  - Construction d'une première solution,
  - Proposition de méthodes simples d'insertion de nouveaux points de collecte.
  
- ➔ **Comparer** les méthodes utilisées de construction et d'évolution des tournées pour la construction des circuits :
  - Heuristique de construction + amélioration par métaheuristique
  
- ➔ **Comparer** les méthodes utilisées de construction et d'évolution des tournées pour la construction des circuits :
  - Heuristique de construction + amélioration par métaheuristique