

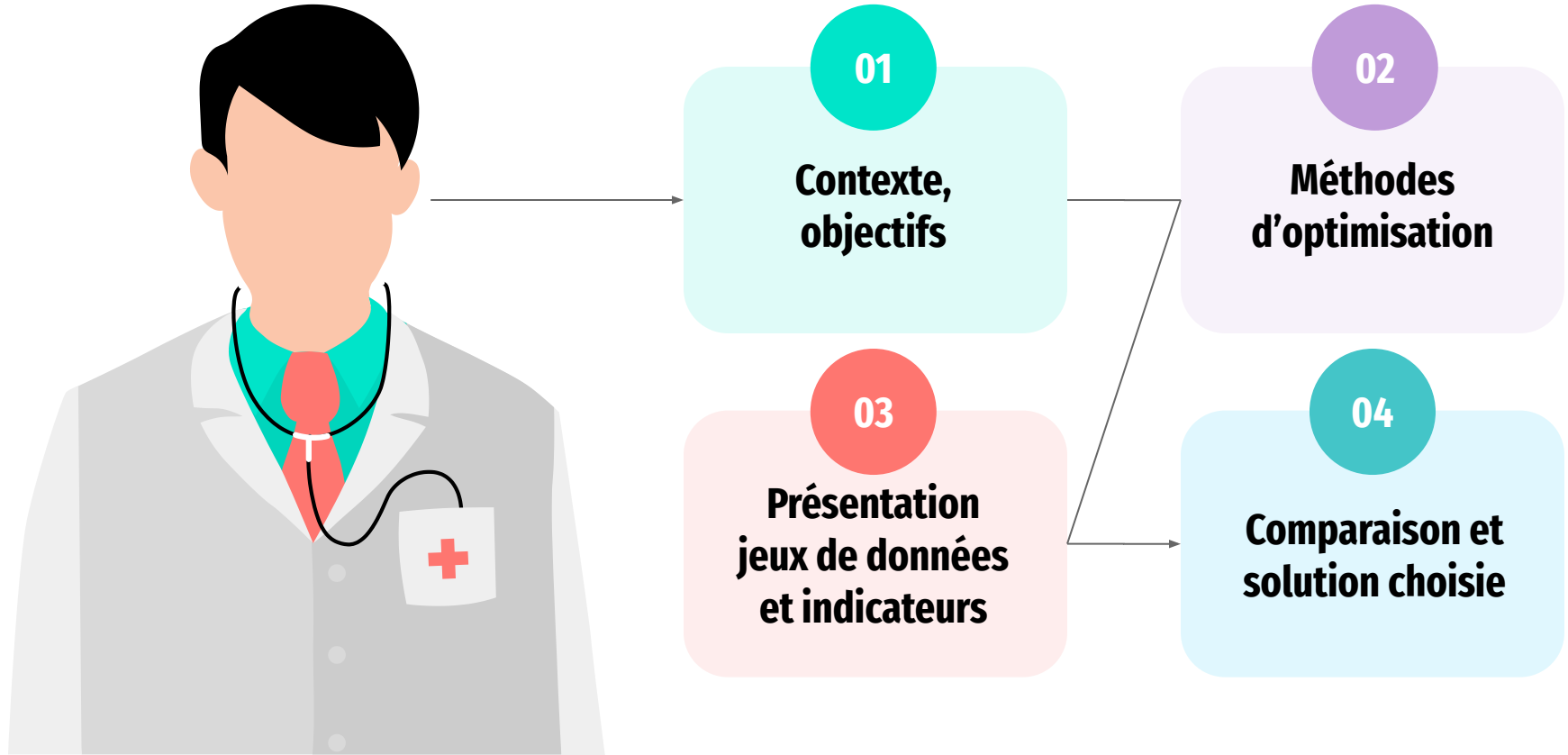
# Recherche opérationnelle pour l'optimisation des flux de brancardiers à l'hôpital

Projet tuteuré de 5ème année  
2022/2023



Victor MAINTENANT - Séraphie MAURY - Victoria SCHWINDENHAMMER

# Sommaire





**01**

# **Contexte et Objectif du projet**

# Contexte - Entreprise cliente



**Commanditaire :** Dimitri DUVAL



## **Entreprise de développement Informatique**

Depuis 20 ans, 30 personnes, 4 pôles.



## **Pour les acteurs de la santé**

Dématérialisation de processus de gestion.



## **Propose plusieurs outils**

Un progiciel avec plus de 65 applications.

# Contexte - Brancardage



**Important**

Un des systèmes de transport les plus importants, impact direct sur les soins des patients.



**Complexe**

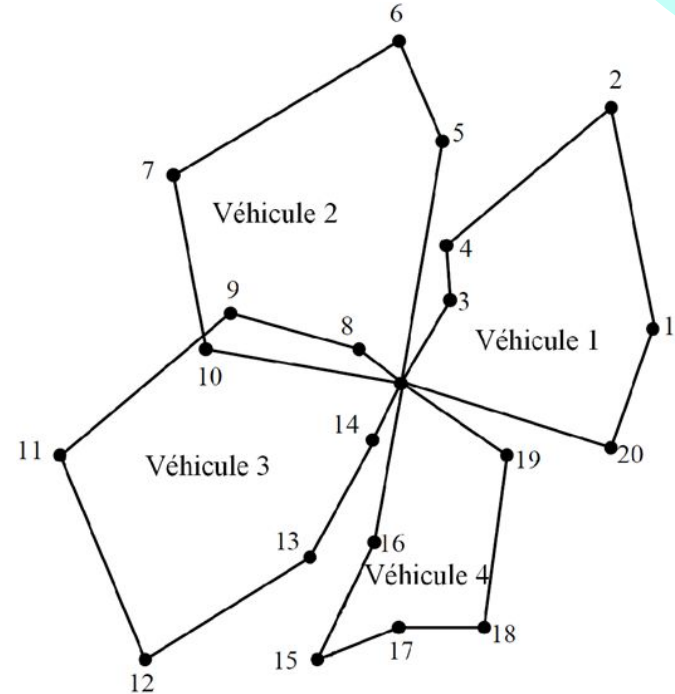
Composé de plusieurs étapes qui doivent être exécutées rapidement et soigneusement.

# Contexte - VRP

## Vehicle Routing Problem



- « Problème de tournées de véhicules ».
- C'est une version étendue du problème du voyageur de commerce (TSP, Travel Salesman Problem).
- Classe de problèmes de recherche opérationnelle et d'optimisation combinatoire.
- Le but, déterminer les tournées d'une flotte de véhicules pour visiter des clients.
- Il vise à minimiser le coût, le temps, ou la distance d'une livraison afin de définir des plannings.



*Exemple de VRP classique*

# Objectif

Comparer 3 modèles d'optimisation



01



**Définir les limites des solutions en place**

En fonction de l'étendue des besoins

02



**Minimiser le temps d'exécution**

Temps d'attente des patients et équité du temps de travail des brancardiers

03



**Faut-il remplacer la méthode existante ?**

Améliorer la méthode exacte et mettre en place la méthode métaheuristique



**02**

# **Méthodes d'optimisation**



# Grands Principes à Respecter



## Brancardier

- Respecter les horaires des brancardiers.
- Respecter la charge de travail journalière maximale des brancardiers.
- Homogénéiser l'affectation de missions.

01



02

## Mission



- Caractéristiques des missions (Heure de départ et d'arrivée, durée, etc).
- Plusieurs types de missions.
- Priorité

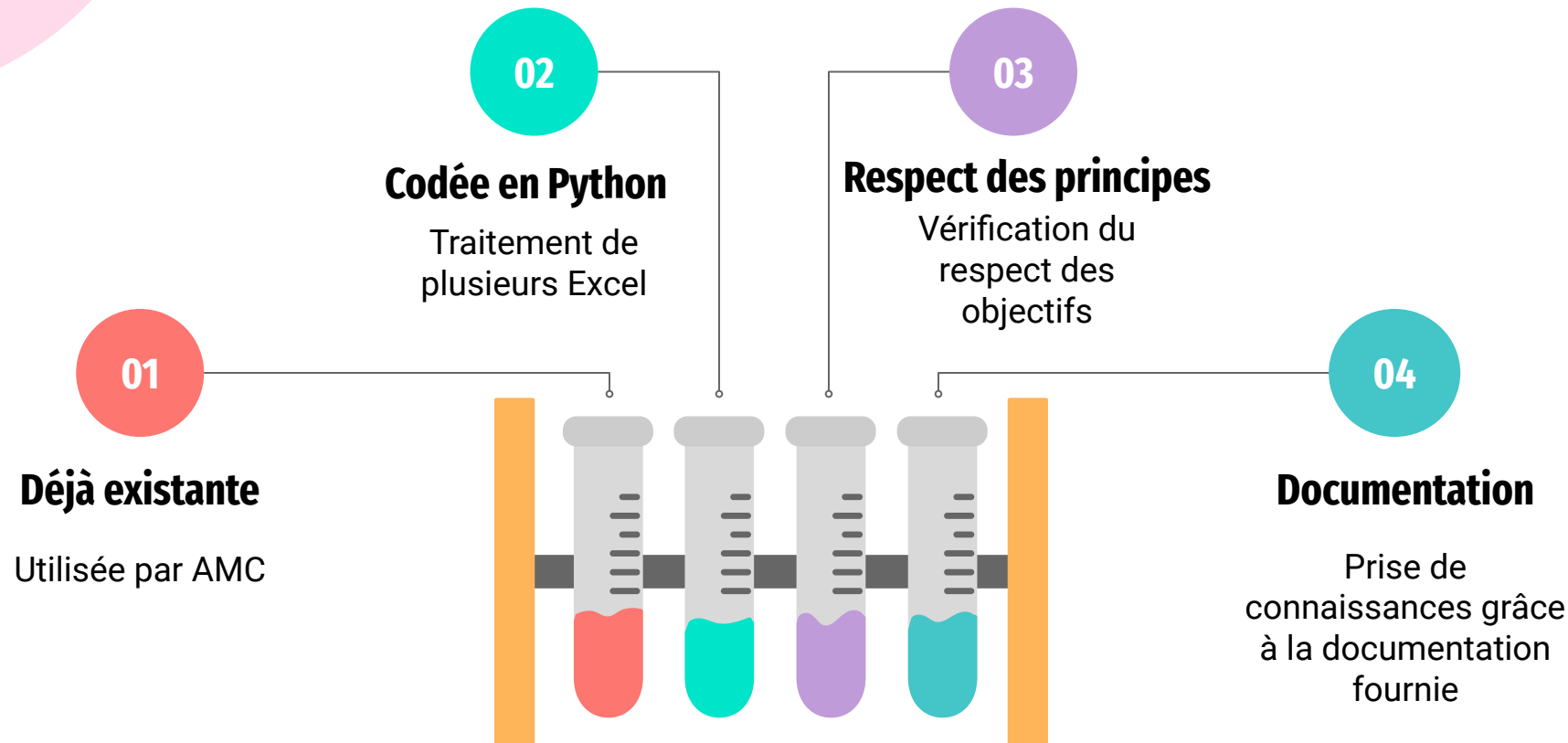
## Système



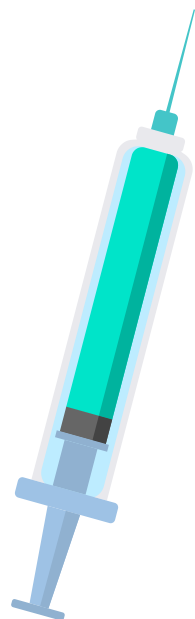
03

- Synchroniser les missions à deux brancardiers.
- Limiter les retards des brancardiers et leurs déplacements inutiles.
- Imposer une exécution chronologique des missions.

# Méthode Heuristique

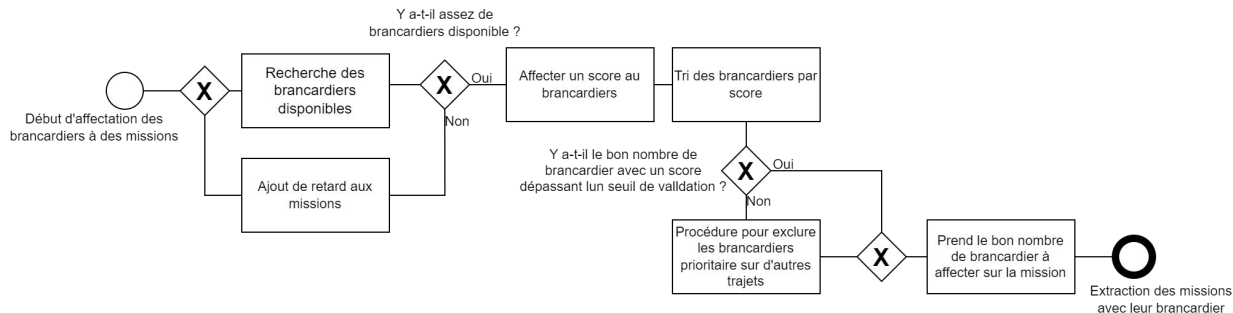
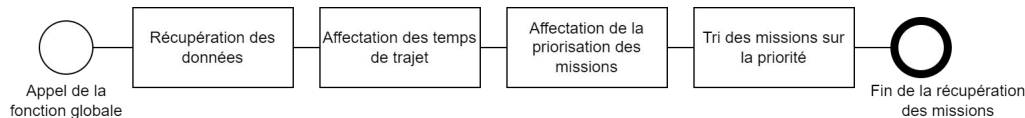


# Méthode Heuristique

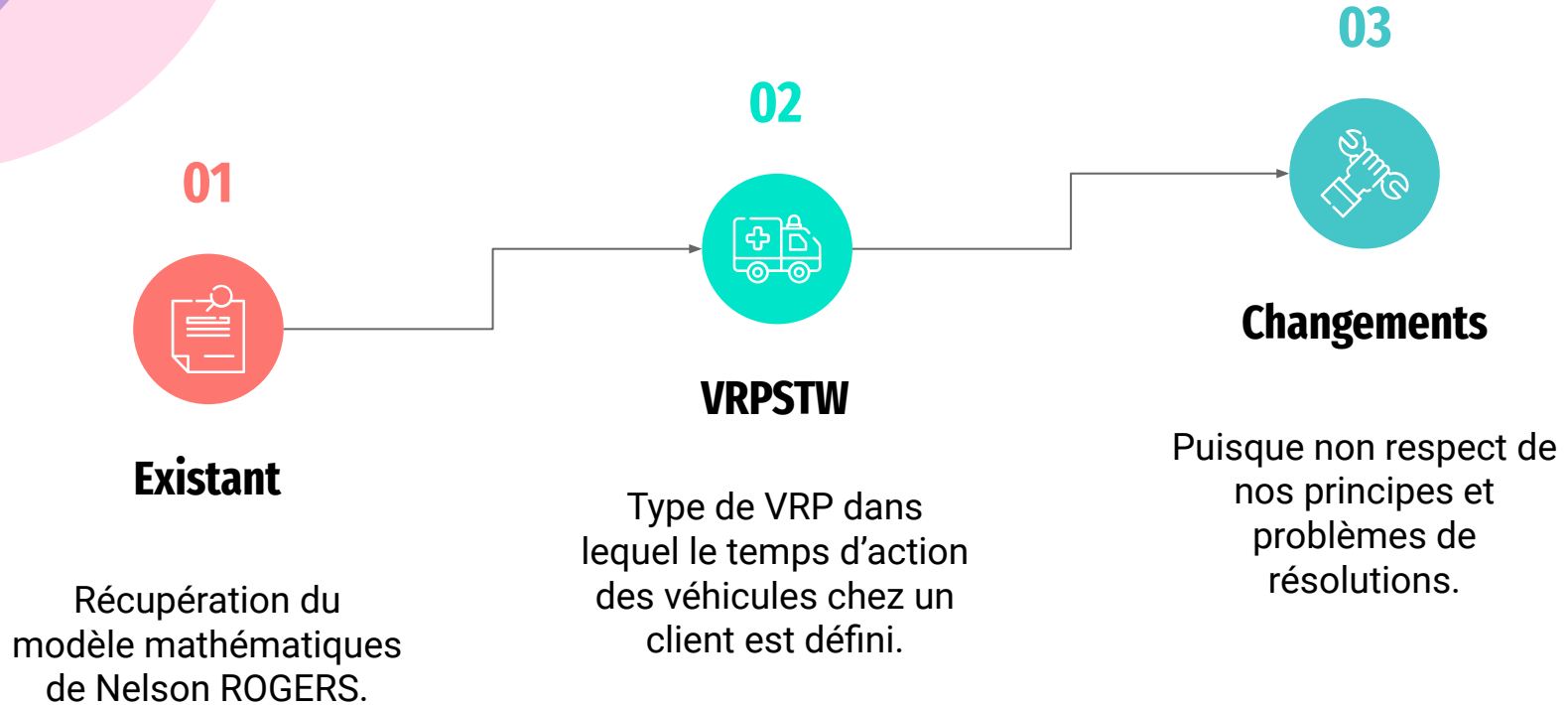


Traitement des missions

Affectations des brancardiers



# Méthode exacte



# Changements apportés - Fonction Objective

C'est la fonction d'optimisation que l'on veut atteindre pour notre modèle.

$$Z = \min \left( \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^B D_{moyen_{ij}} * x_{ij}^{k^{[1]}} + \sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^B (late_i^k) + \sum_{k=1}^B (t_k^- + t_k^{+^{[2]}}) \right)$$

- Minimiser le temps de trajet à vide.
- Minimiser le retard accumulé sur la journée.
- Diminuer l'écart du nombre de missions affectées aux brancardiers.

[1]. Bouabdallah, M.N., Rached, M., Fondrevelle, J., Bahroun, Z., (2013). "Organization and management of hospital patient transportation system".

[2]. Rogers N. (2022). "Optimisation du flux de brancardiers".

# Changements - Nouvelles Contraintes

$$(Tdep_i^k \geq Trdv_i - D_i) \&\& (Tdep_i^k \leq Trdv_i + R_i + D_i)$$

$$\forall i \in N, \forall k \in B$$

Création de la fenêtre de temps et variation du départ en mission en fonction de cette dernière.

$$Tdep_{i \neq 0}^k \leq Tdep_{i \neq 0}^l + M * (1 - x_{ij}^k)^{[1]}$$

$$\forall i, j \in N^2, ij > 0, \forall k, l \in B^2$$

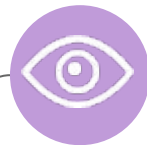
Synchronisation de l'heure de départ des brancardiers pour les missions nécessitant d'être deux.

# Méthode métaheuristique

**Open Source**



**Visuel**



# OptaPlanner



**Grand jeux de  
données**



**Solveur de  
contrainte**



# Méthode métaheuristique

The screenshot shows the OptaPlanner examples application. On the left, a grid of 15 problem categories is displayed, with 'Vehicle routing' highlighted. The main window shows a map with a central depot and 32 customer locations. A route is plotted, connecting the depot to several customers. The map includes a legend for 'Depot' and 'Customer demand', and a status bar at the bottom indicating '8 vehicles' and '32 customers'. The 'Latest best score' is shown as 'Ghardi-743441soft'.

Choix du modèle **VRP**

→ Problème de minimisation :



**Temps**

**VS**



**Distance**





**03**

# **Jeux de données et Indicateurs**

# Jeux de données

## 2 jeux fictifs

## 2 jeux réels



**13 missions**

- 5 brancardiers
- Échelle de temps de 0 à 100
- 6 missions à 1 brancardier
- 7 missions à 2 brancardiers



**25 missions**

- 5 brancardiers
- Échelle de temps de 0 à 100
- 16 missions à 1 brancardier
- 9 missions à 2 brancardiers



**50 missions**

- 20 brancardiers
- Échelle de temps de 8h00-17h15
- 35 missions à 1 brancardier
- 15 missions à 2 brancardiers



**80 missions**

- 20 brancardiers
- Échelle de temps de 8h00-17h15
- 57 missions à 1 brancardier
- 23 missions à 2 brancardiers

# Indicateurs

1

$$\left( \sum_{x=1}^{N_1} x + 2 * \sum_{y=1}^{N_2} y \right) / B \leq 5,15$$

Avec  $N_x$  = nb de mission à x brancardiers,  
B = nombre total de brancardiers.

2

$$\left( \sum_{x=1}^{N_1} tpsMiss_x + 2 * \sum_{y=1}^{N_2} tpsMiss_y \right) / B < \sum_{k=1}^B Tra_{\max}^k / B$$

$$\sum_{x=1}^N tpsMiss_x$$

Avec B = nombre total de brancardiers,  
 $\sum_{x=1}^N tpsMiss_x$  = durée totale des missions à x brancardiers en une journée,  
 $Tra_{\max}$  = durée maximale de travail autorisé en une journée pour un brancardier.

3

$$\max \left( \sum_{y=1}^N \sum_{i=1}^N \frac{\max(\min(d_y, d_i) - \max(Hrdv_y, Hrdv_i), 0)}{\min(d_y, d_i) - \max(Hrdv_y, Hrdv_i)} \right) < B$$

Avec  $d_x = Hrdv_x + tpsMoy_x$  l'heure de fin de la mission x,  
 $Hrdv_x$  = heure de début de la mission x,  
 $tpsMoy_x$  = durée moyenne de la mission x,  
B = nombre total de brancardiers.

# Indicateurs

1

**Évaluation de la charge de travail par rapport au nombre de brancardiers**

2

**Comparaison durée totale des missions sur une journée par brancardier-durée de travail maximale autorisée par brancardier par jour**

3

**Comparaison chevauchement maximum de missions en simultanée-nombre de brancardiers**

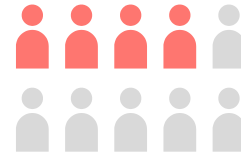
# Indicateurs



13 missions

	A	B	C	D
1	Indicateurs	N°1	N°2	N°3
2		4	20	3
3	Seuil	5,15	300	5

	A	B	C	D
1	Indicateurs	N°1	N°2	N°3
2		6,8	25	3
3	Seuil	5,15	300	5



25 missions



80 missions

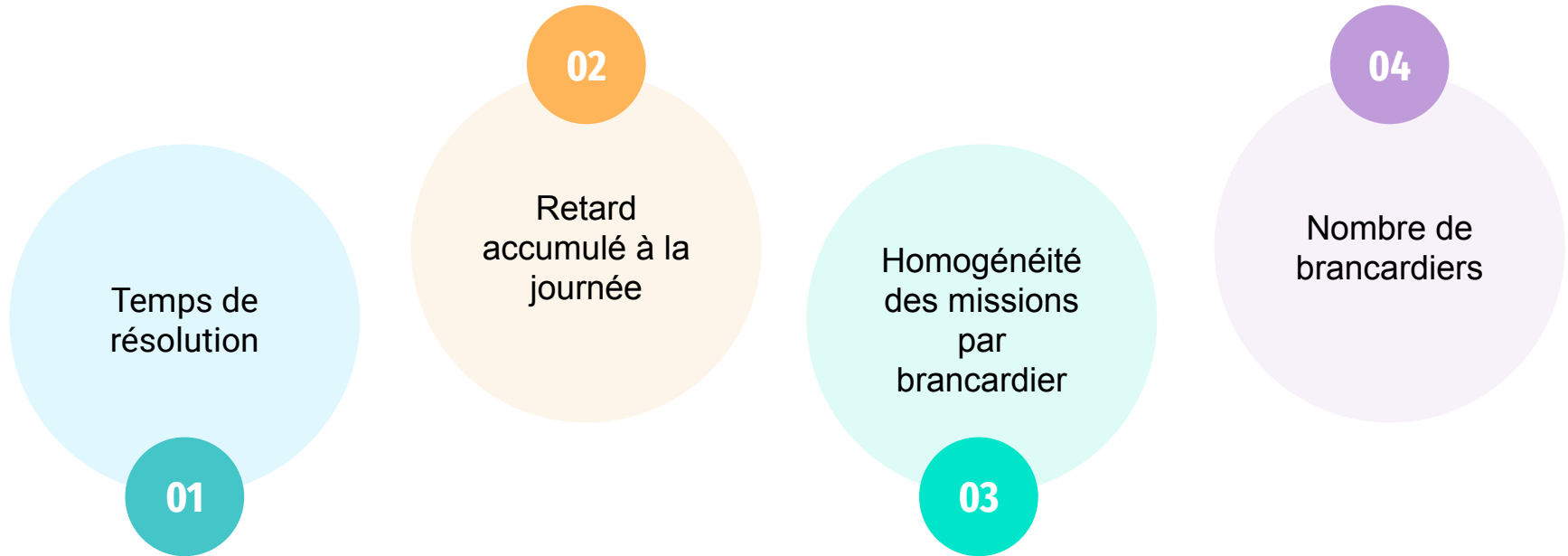
	A	B	C	D
1	Indicateurs	N°1	N°2	N°3
2		5,15	4494	8
3	Seuil	5,15	25200	20



**04**

# **Résultats et solution choisie**

# Récupération des résultats



# Résultats - Méthode exacte

Nombre de mission	1B	2B	Nombre de brancardier	Temps d'exécution (seconde)	Répartition (nb de mission)	Retard cumulé (seconde)
13	6	7	4	7	4,4,5,3	25
13	6	7	5	6	3,3,3,3,3	39
13	6	7	6	10	1,2,5,2,1,2	47
25	13	12	4	38	6,8,9,7	175
25	13	12	5	45	7,1,7,8,6	187
25	13	12	6	71	12,8,0,1,4,3	171
50	35	15	4	590	14,13,13,17	12260
50	35	15	5	185	13,14, 9,13, 8	5808
50	35	15	6	150	8,10,12, 8,11, 8	7260
80	57	23	4	Erreur de calcul		
80	57	23	5			
80	57	23	6			
80	57	23	7			
80	57	23	8	3243	11,11,14,12,12,11,13,8	15540

- Implémenté dans l'IDE CPLEX ILOG Studio.
- Résultat cohérent avec la méthode utilisée.
- Un temps d'exécution beaucoup trop long.
- Une répartition des missions plutôt bonne.
- Un retard cumulé cohérents mais qui reste à comparer.



# Résultats - Méthode heuristique

Nombre de mission	1B	2B	Nombre de brancardier	Temps d'exécution (seconde)	Répartition (nb de missions)	Retard cumulé (seconde)
50	35	15	4	0.07	17,13,15,13	24000
50	35	15	5	0.12	17,11,15, 5, 9	16800
50	35	15	6	0.11	11,13,10, 7, 9,11	12600
80	57	23	4	0.14	30,24,21,23	51900
80	57	23	5	0.13	28,19,23,15,11	38400
80	57	23	6	0.12	22,20,13,18,13, 8	35700
80	57	23	7	0.13	21,11,20,13,11,10,13	25200
80	57	23	8	0.15	21,11,20,13,11,10,13,4	25200

- Implémenté avec Python.
- Testé seulement sur les données réelles.
- Un temps d'exécution très rapide.
- Une répartition des missions moins partielle.
- Un retard cumulé très élevé.

# Comparaison des résultats



## Temps d'exécution

- L'heuristique bien plus performante
- Résultats de la méthode exacte assez performants pour un jeu de données moyen.



## Cumul du retard

- Méthode heuristique moins performante que l'exacte.



## Répartition du travail

- Plutôt efficace dans les deux cas, mais dépend du jeu de données et du nombre de brancardiers impliqués.

# Solution optimale : La méthode heuristique

Pour les grands jeux de données

**Vitesse d'exécution**

Pas de frais et pas de grandes puissances de calcul nécessaire

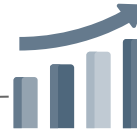
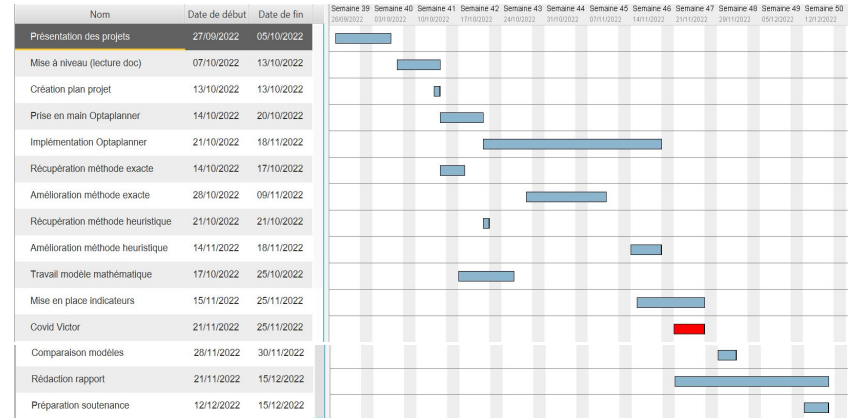
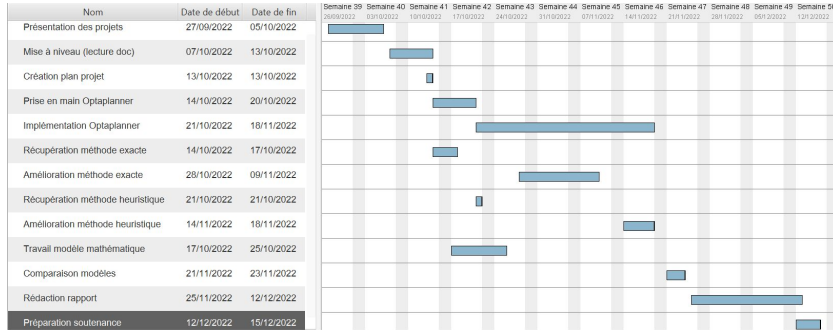
**Ressources nécessaires**

De 15h à 5h de retard pour 80 missions

**Pseudo-optimisation du retard**



# Gestion de projet



# Conclusion

## Ce qui est fait

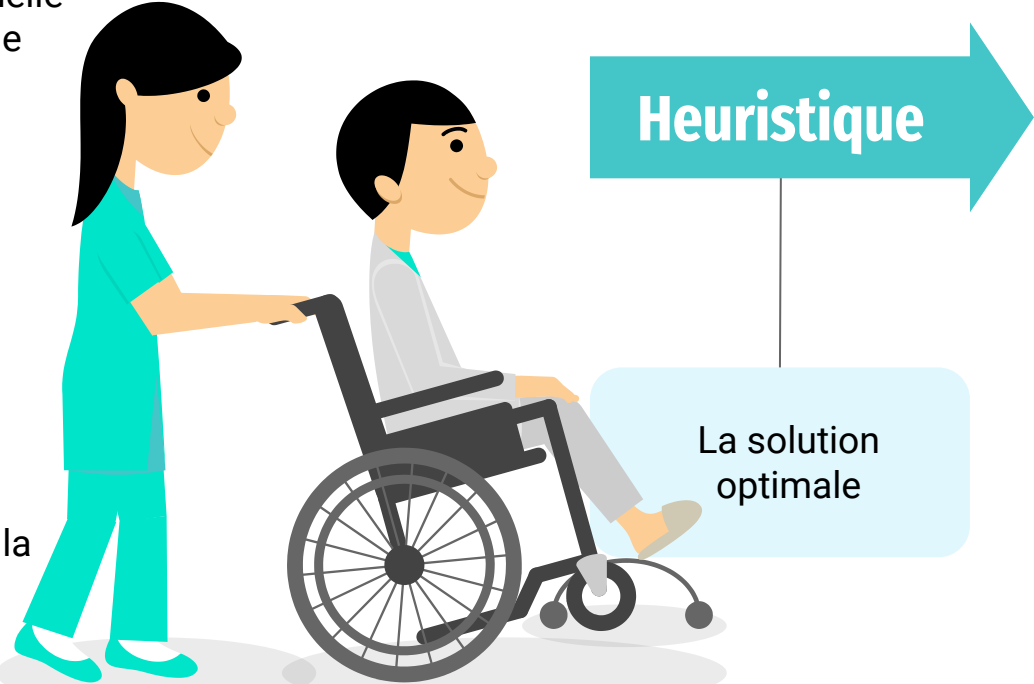
- Méthode heuristique fonctionnelle
- Méthode exacte sur des jeux de données de petites tailles
- Documentation Optaplanner

## Problèmes rencontrés

- Retard au départ
- Sujet complexe
- Prise en main d'OptaPlanner

## Ce qui reste à faire

- Décomplexifier le problème de la méthode exacte
- Terminer la formulation mathématique des indicateurs
- Poursuivre Optaplanner



# Merci pour votre attention

