

2^{ème} Congrès Annuel de la SAGIP 29-31 mai 2024 **Villeurbanne**

Allocation et coordination des mouvements de robots en espace partagé : une approche par la recherche opérationnelle

Younes EL GHAZI	Doctorant	– IUT de Nantes (LS2N)
Arnaud LAURENT	Encadrant	– IUT de Nantes (LS2N)
Kevin SUBRIN	Encadrant	– IUT de Nantes (LS2N)
Sébastien LEVILLY	Encadrant	– IUT de Nantes (LS2N)
Harold MOUCHERE	Co-Directeur de thèse	– IUT de Nantes (LS2N)
Olivier CARDIN	Directeur de thèse	– IUT de Nantes (LS2N)

Plan de la présentation



1

Contexte

2

Etat de l'art

3

Méthodologie

4

Résultats

5

Conclusion

Objectifs:

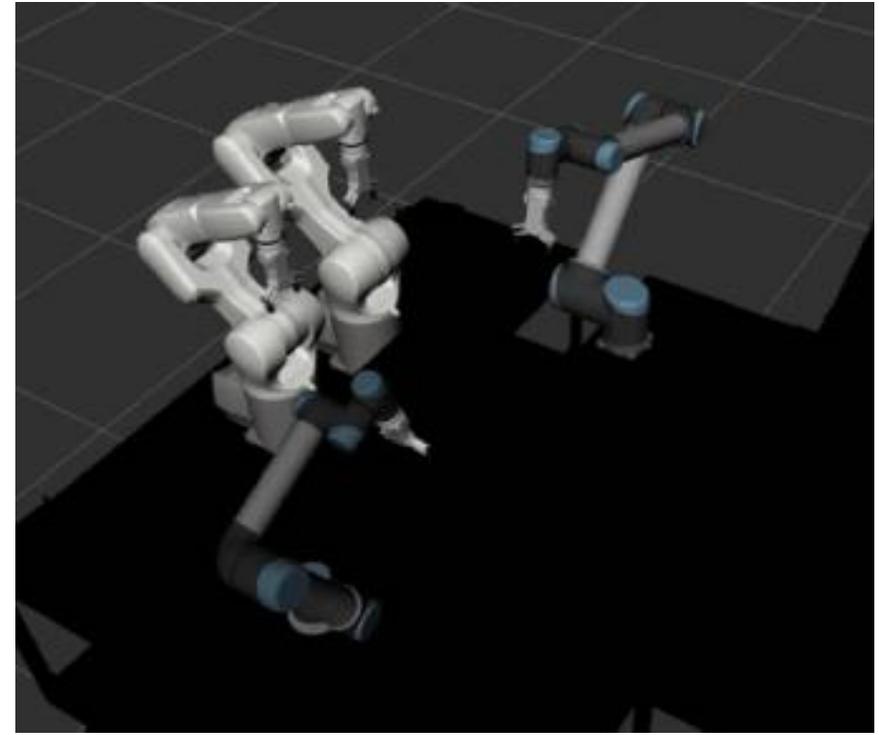
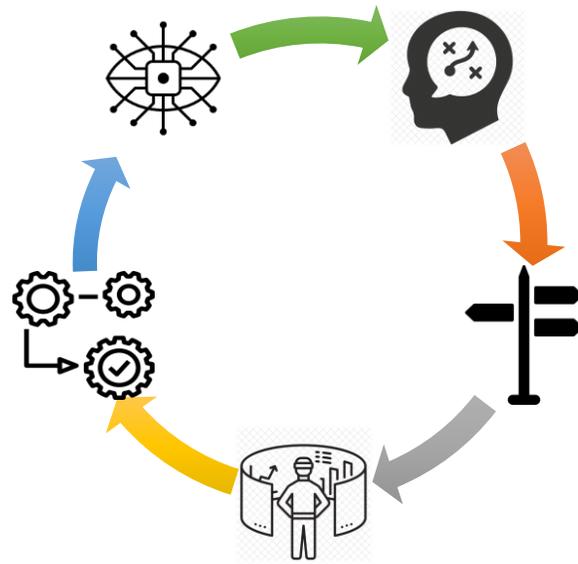
Estimation de pose

Allocation et planification de trajectoires

Gestion de collisions

Simulation

Exécution sur la partie réelle



Problématiques:

- Comment **Allouer** les tâches à un système multi-robots pour une éventuelle coopération ?
- Comment **coordonner** leurs mouvements pour éviter les collision ?

Deux approches pour la planification des trajectoires [1].

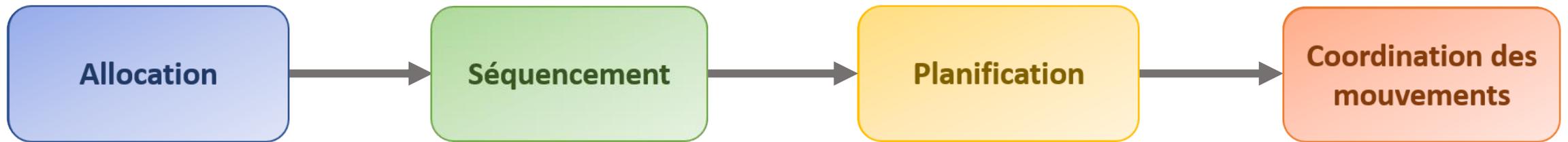
Hors ligne (Prédictive)

- Simulation
- Obstacles statiques
- Trajectoires optimisées

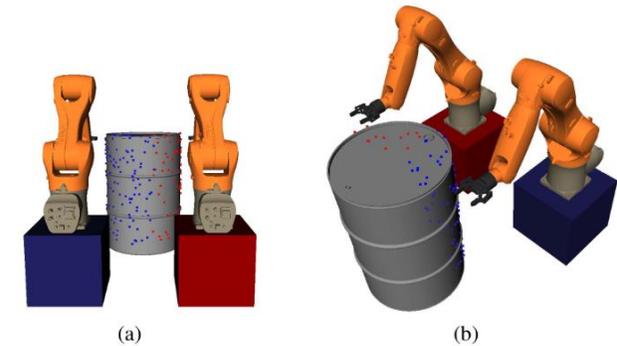
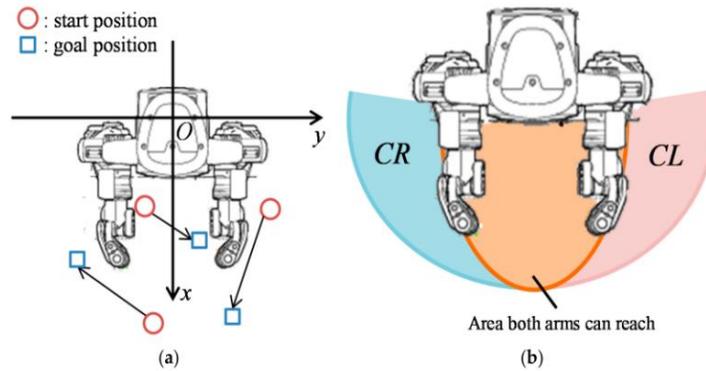
En ligne (Réactive)

- Multi-agents
- Obstacles dynamiques
- Basée sur les capteurs
- Comportement adaptatif

Approche hors ligne



Allocation



- Statique
- Allocation puis planification

- Dynamique
- Allocation puis planification

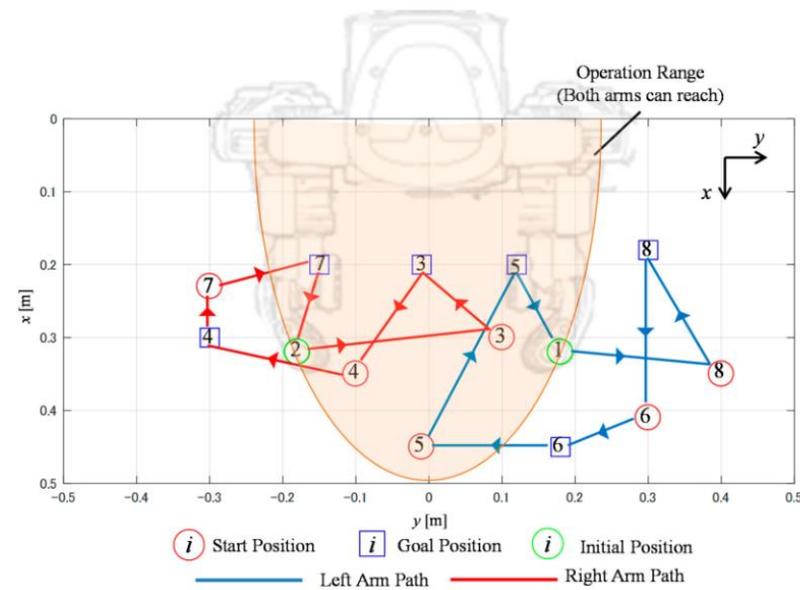
- Dynamique
- Planification puis allocation

[2] Behrens, J.K., Lange, R., Mansouri, M.: A Constraint Programming Approach to Simultaneous Task Allocation and Motion Scheduling for Industrial Dual-Arm Manipulation Tasks <https://doi.org/10.1109/ICRA.2019.8794022>.

[3] Kurosu, J., Yorozu, A., Takahashi, M.: Simultaneous Dual-Arm Motion Planning for Minimizing Operation Time. Appl. Sci. 7, 1210 (2017). <https://doi.org/10.3390/app7121210>.

[4] Robotic Task Sequencing and Motion Coordination for Multiarm Systems | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9789108>,

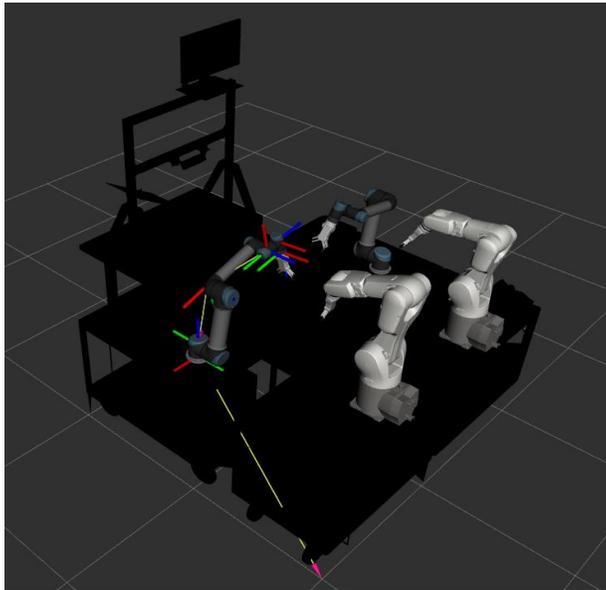
Séquencement



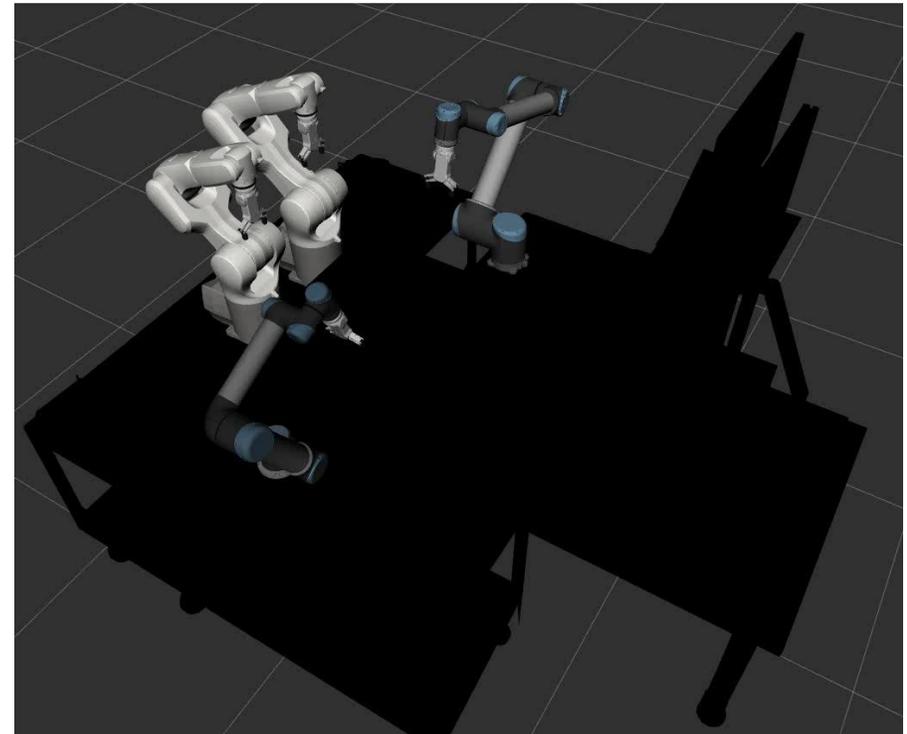
- TSP, Travelling salesman problem
- Minimiser le temps de cycle

Planification

Découplée

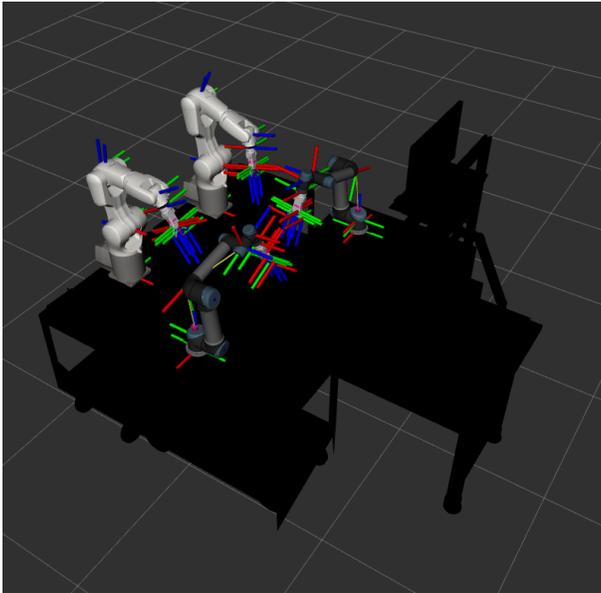


- Une solution garantie
- Risque de collision

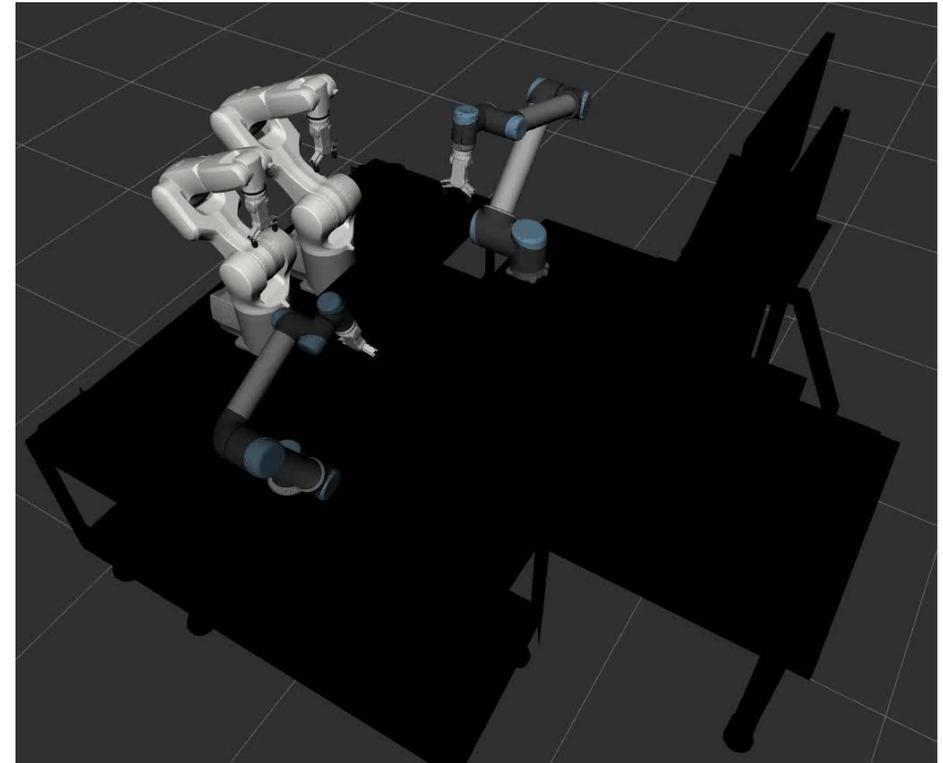


Planification

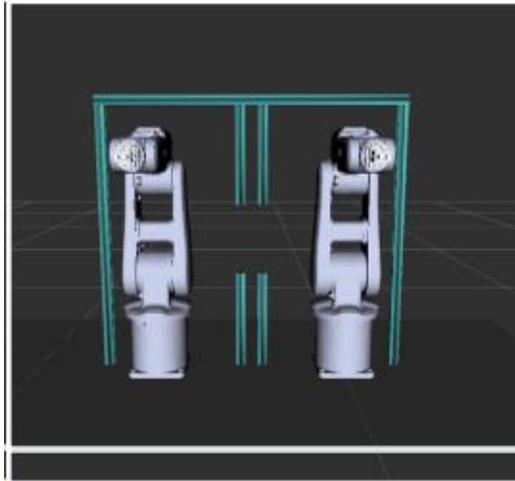
Couplée



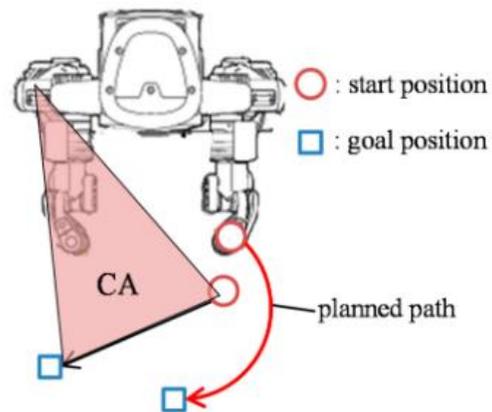
- La solution n'est pas garantie
- Sans collision



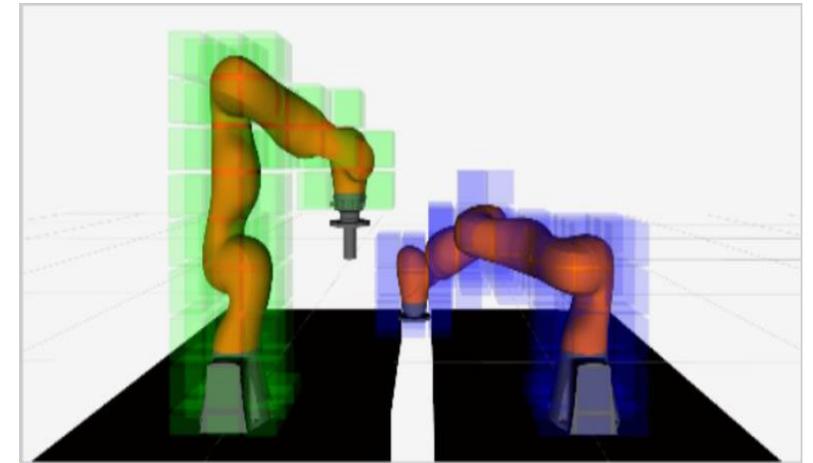
Coordination des mouvements



- Barrières virtuelles

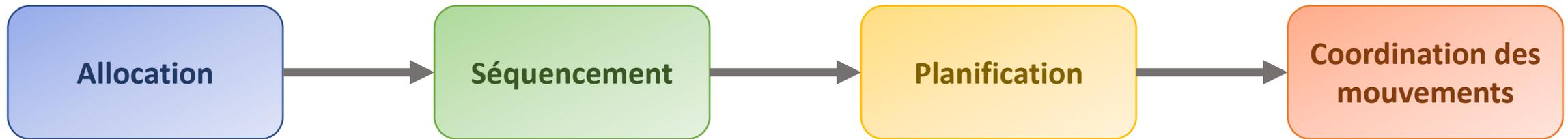


- Limitation de l'espace cartésien
- Replanification de trajectoire

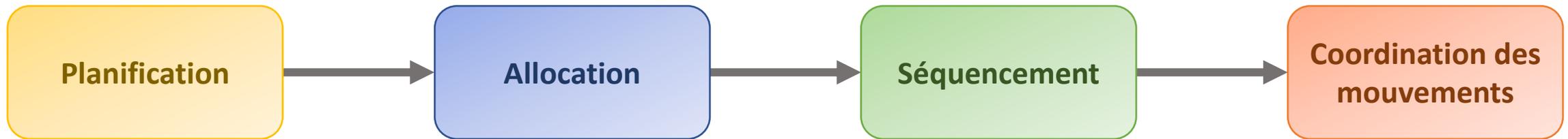


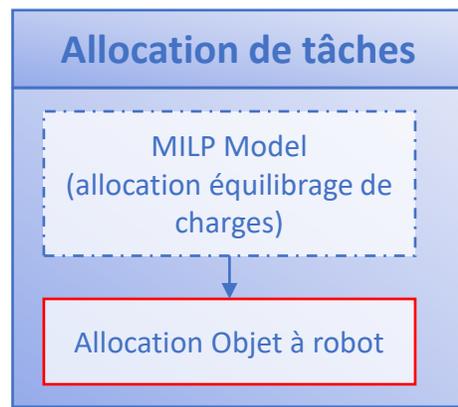
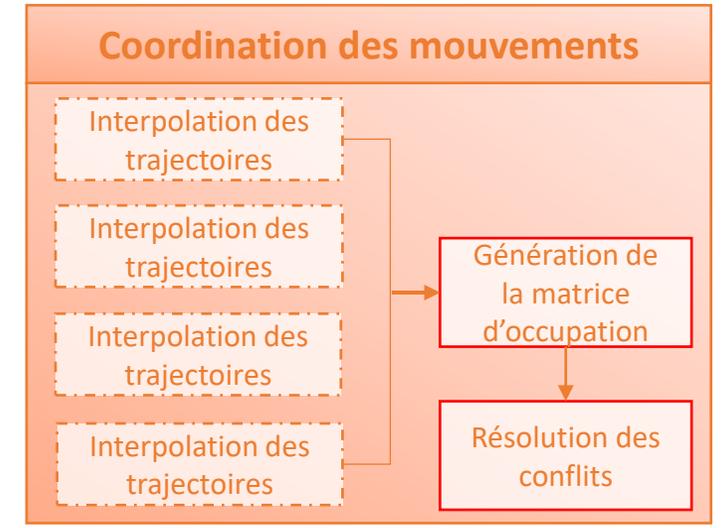
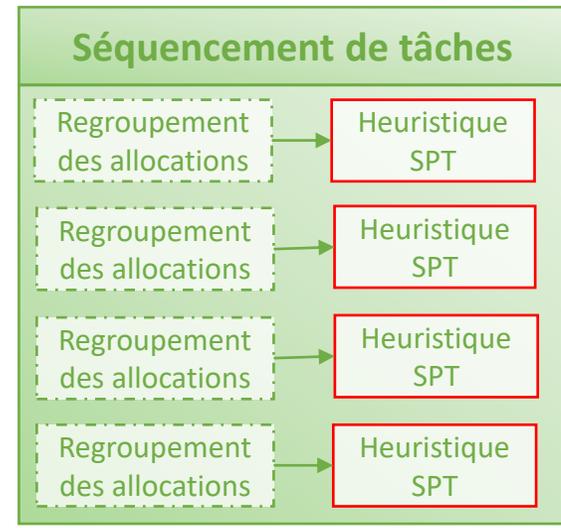
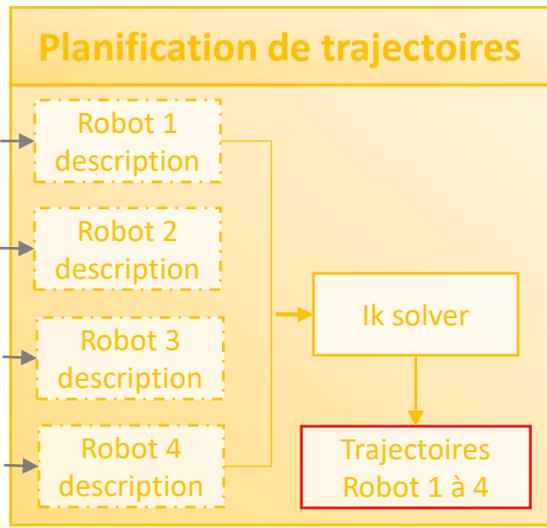
- Représentation de l'espace occupé
- Ordonnement par rapport à l'espace occupé

Approche hors ligne



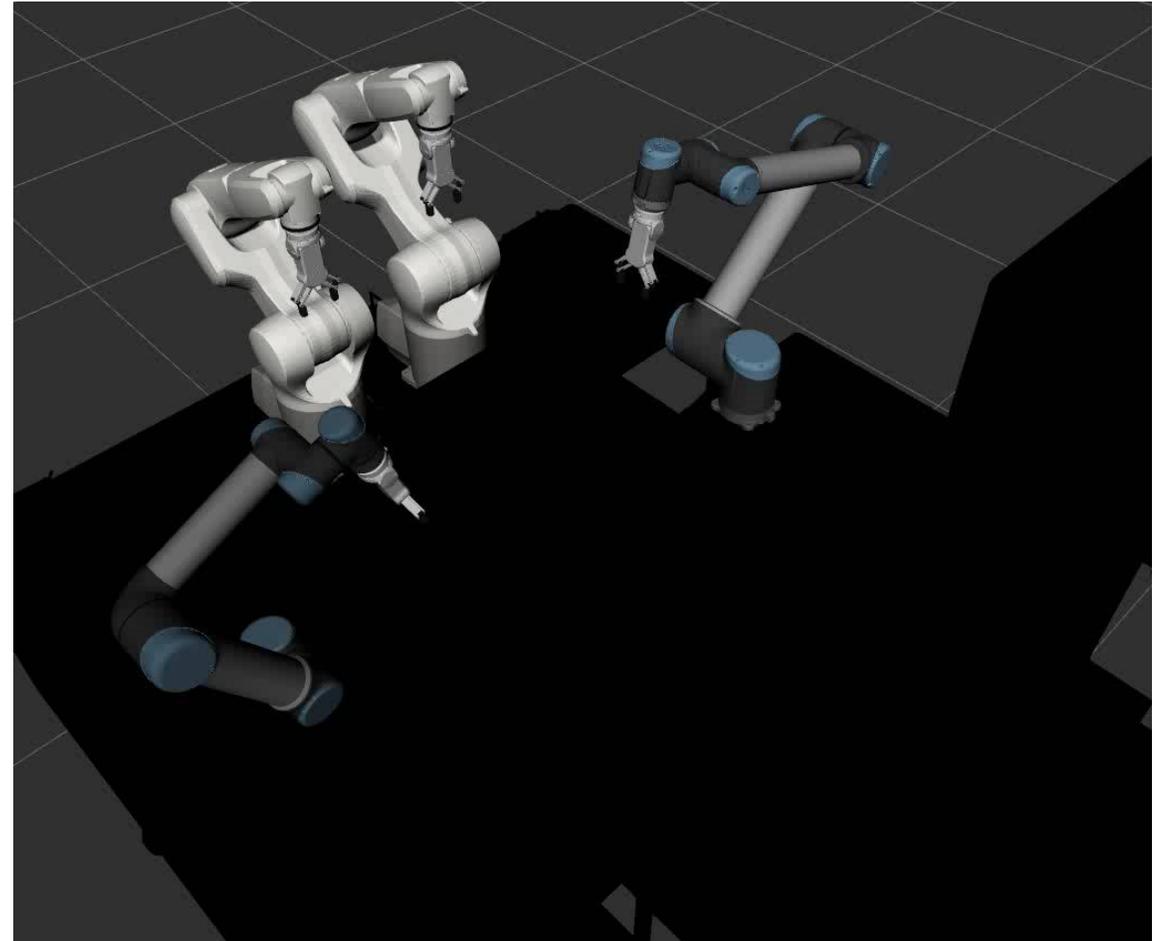
Approche hors ligne

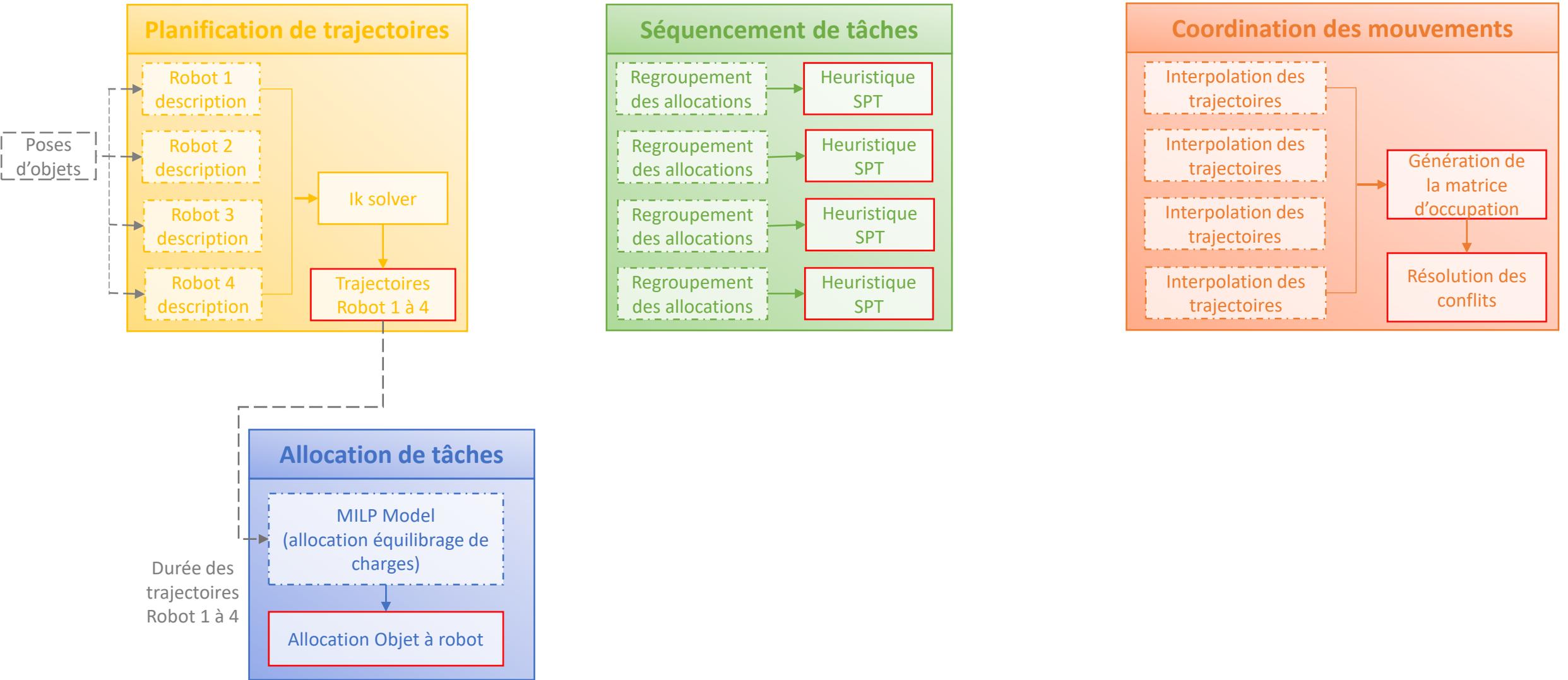




Planification de trajectoires

- Trajectoires planifiées en découplée
- Données:
 - État de la planification
 - Positions/vitesses/accélérations
 - Durée de la trajectoire





Allocation et séquençement

Notations :

- O is the set of all objects
- R is the set of all robots
- $t_{r,o} \in T$ The time required for the robot $r \in R$ to pick up the object $o \in O$.

Decision variables:

- $X_{r,o}$ is equal to 1 if robot $r \in R$ picks up $o \in O$, 0 otherwise;
- *Makespan* is the total execution time of all trajectories.

$$\min \text{Makespan} \quad (1)$$

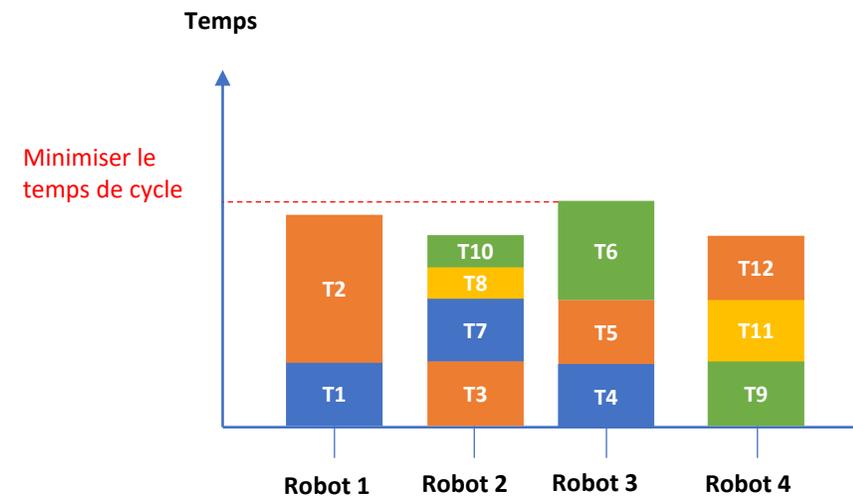
constraints:

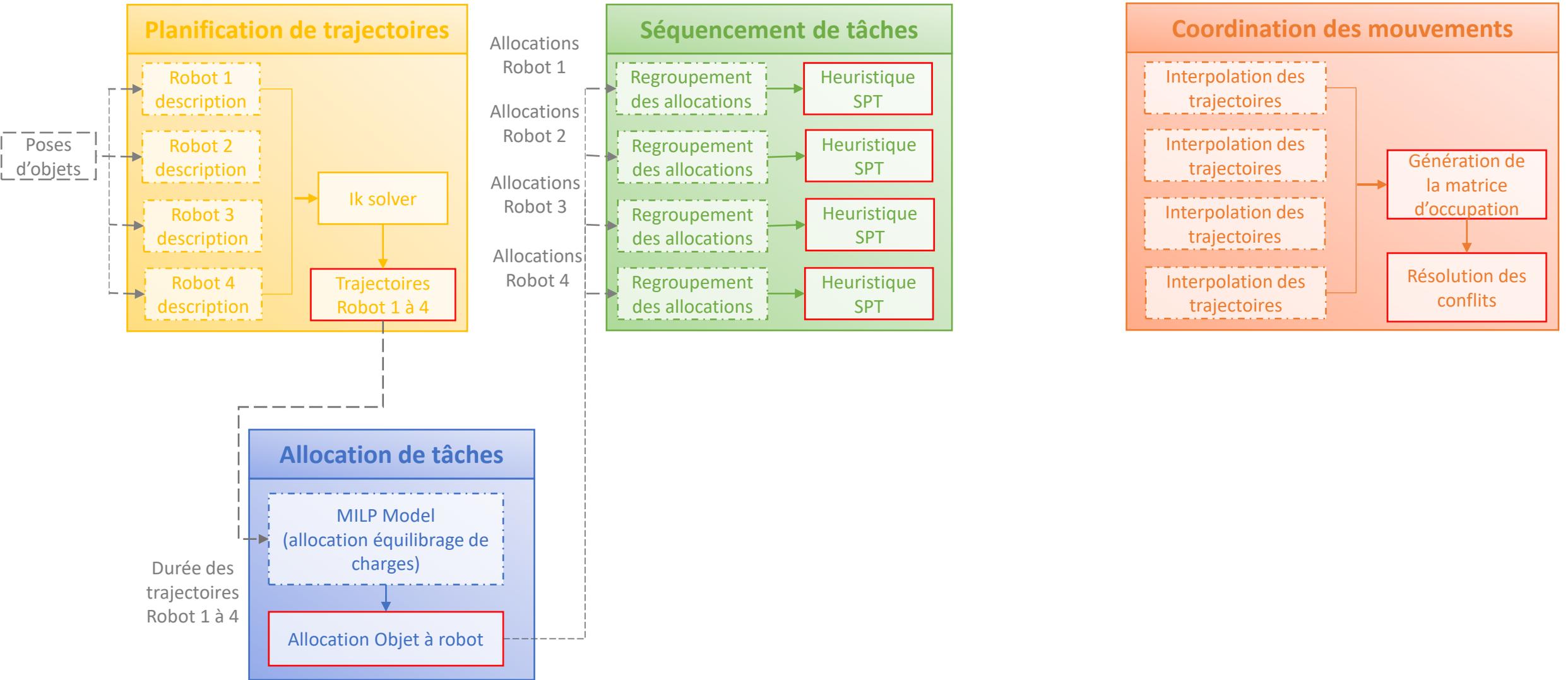
$$\sum_{o \in O} X_{r,o} \cdot t_{r,o} \leq \text{Makespan}, \quad \forall r \in R \quad (2)$$

$$\sum_{r \in R} X_{r,o} = 1, \quad \forall o \in O \quad (3)$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{o \in O} X_{r,o} = |O| \quad (4)$$

- Model MILP
- Minimisation du temps de cycle
- Equilibrage de charge entre robots





Allocation et séquençement

Notations :

- O is the set of all objects
- R is the set of all robots
- $t_{r,o} \in T$ The time required for the robot $r \in R$ to pick up the object $o \in O$.

Decision variables:

- $X_{r,o}$ is equal to 1 if robot $r \in R$ picks up $o \in O$, 0 otherwise;
- $Makespan$ is the total execution time of all trajectories.

$$\min Makespan \quad (1)$$

constraints:

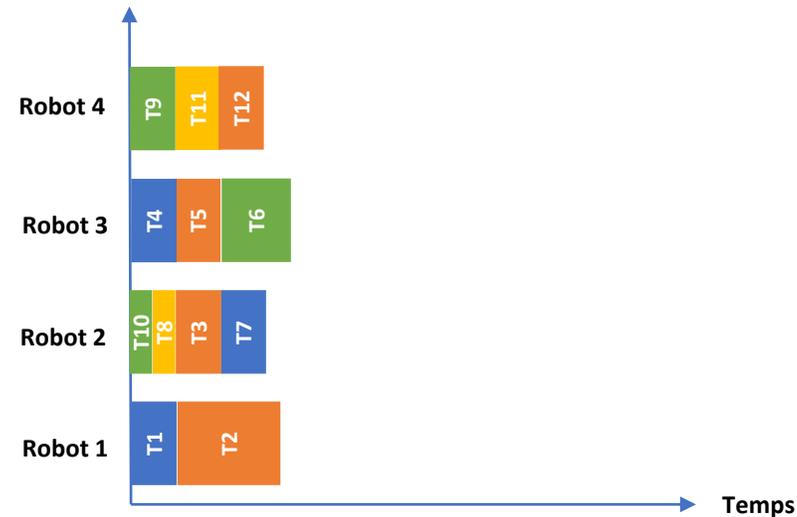
$$\sum_{o \in O} X_{r,o} \cdot t_{r,o} \leq Makespan, \quad \forall r \in R \quad (2)$$

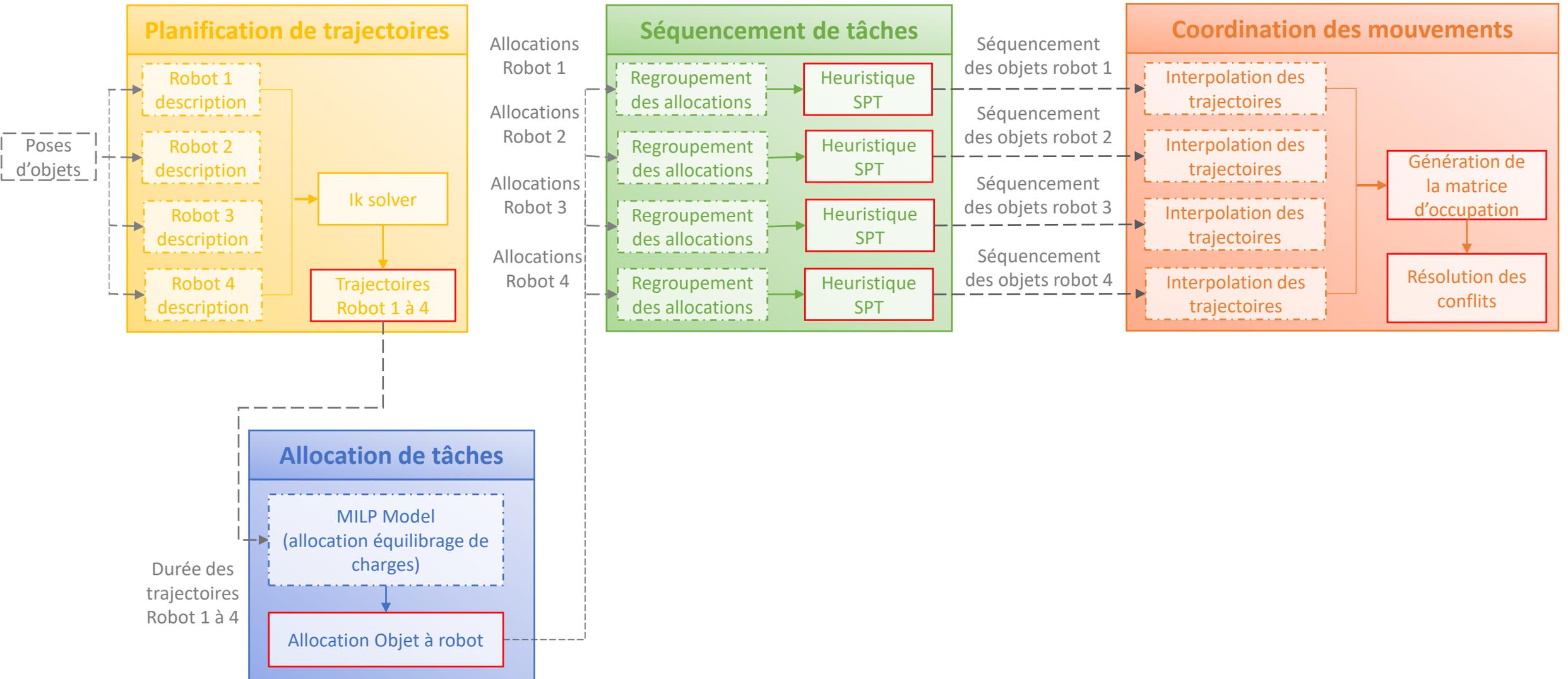
$$\sum_{r \in R} X_{r,o} = 1, \quad \forall o \in O \quad (3)$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{o \in O} X_{r,o} = |O| \quad (4)$$

Application de l'heuristique SPT

- Position départ et d'arrivée fixe
- Le temps le plus court = la distance la plus courte

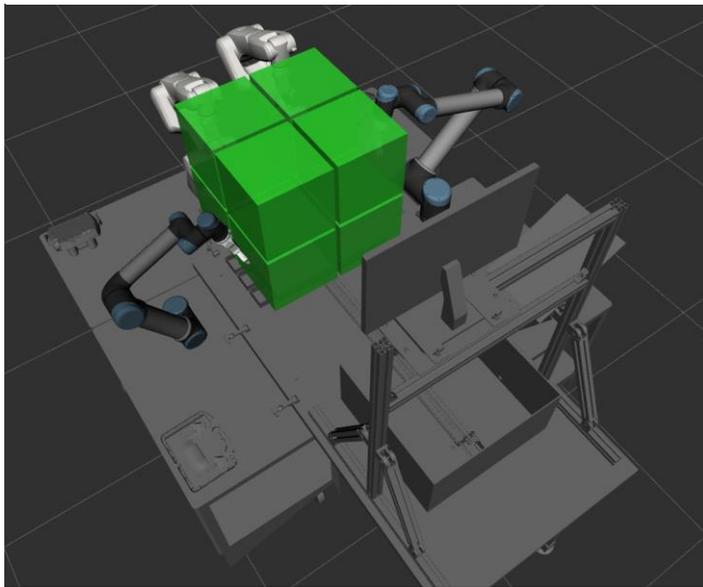




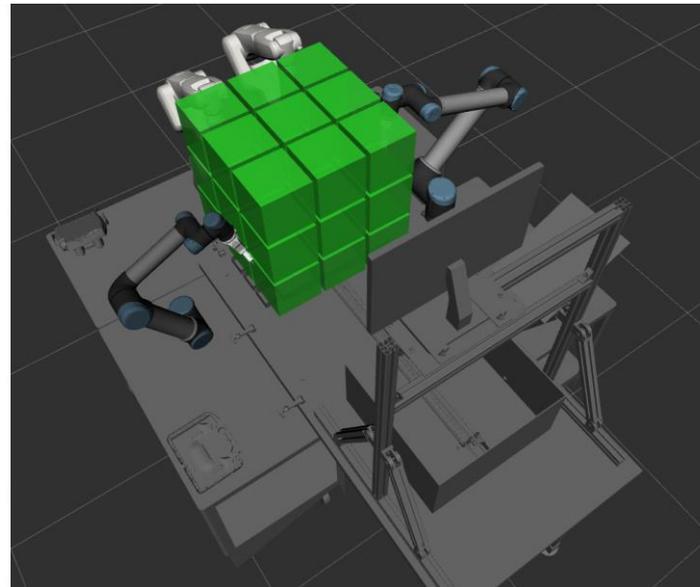
Coordination des mouvements (Génération de données)

- Discrétiser l'espace de travail en cubes
- Tester les collisions Robot-Cubes
- Obtenir une matrice d'occupation

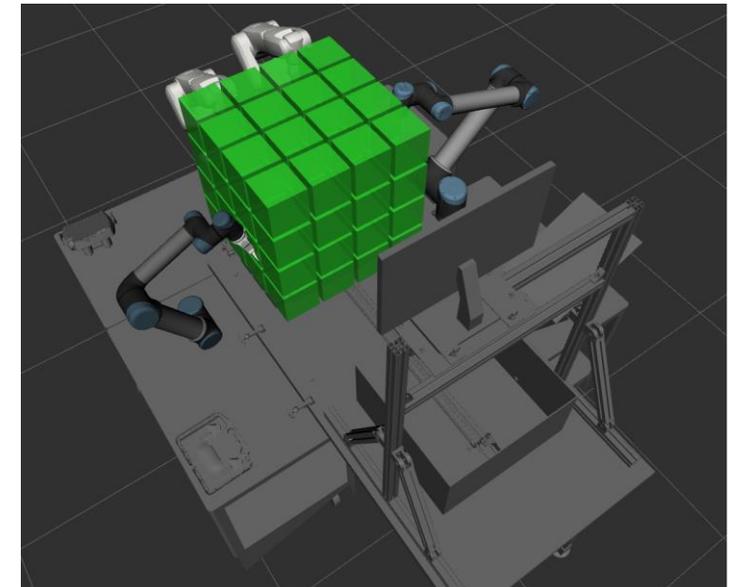
Ordonnancement avec ressources



(a) 8 cubes



(b) 27 cubes



(c) 64 cubes

Coordination des mouvements (Méthodes de résolution)

Model MILP

Heuristique

Resolution Time									
# OF CUBES	# OF OBJECTS	MILP				Heuristic		Avg GAP(%) MIPL-Heuristic	Data generation (s)
		# OF OPTI	Avg GAP (%)	Avg CPU (s)	Avg Makespan (s)	Avg CPU (s)	Avg Makespan (s)		
8	4	4	13.68	20 min 36 s	14.29	2.1	15.27	7.13	3.18
	6	0	45.81	30 min 18 s	20.53	3.98	23.85	21.34	4.28
	8	0	57.35	30 min 28 s	24.43	5.94	30.34	19.81	6.24
	10	0	69.98	31 min 7 s	33.98	9.18	37.11	9.04	7.33
27	4	5	6.53	19 min 31 s	13.11	4.1	14.19	8.24	3.26
	6	0	47.59	31 min 9 s	19.22	10.41	22.68	17.84	4.91
	8	0	62.20	31 min 8 s	24.26	14.76	29.07	20.08	6.34
	10	0	68.44	30 min 34 s	29.79	24.34	36.30	21.62	7.66
64	4	8	0.55	10 min	11.85	7.27	13.5	10.79	4.57
	6	0	36.70	31 min 6 s	16.15	15.93	20	24.25	6.55
	8	0	50.53	31 min 54 s	19.84	24.20	25.44	27.89	8.47
	10	0	63.81	32 min 44 s	25.46	50.39	33.42	31.89	10.35

- 3 variantes de discrétisations
- 4 nombres d'objets
- 10 instances par cas
- Temps de résolution limité à 30 minutes

-
- Deux méthodes pour l'allocation et coordination de mouvements:
 - Méthode exacte
 - Résultat optimal
 - Temps de calcul trop long
 - Méthode heuristique
 - Résultat de moins bonne qualité
 - Temps de calcul acceptable
 - Explorer l'approche de planification en ligne
 - Tester les résultats sur le dispositif réel

Merci de votre attention