

# Généralisation des contraintes de transport dans le RCPSPR :

## Nouvelle modélisation du problème intégré

Manuel Iori<sup>1</sup>, Philippe Lacomme<sup>2</sup>, [Marina Vinot<sup>2</sup>](#)

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze e Metodi dell'Ingegneria, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, 42122 Reggio Emilia, Italy.

<sup>2</sup> Université Clermont Auvergne, Complexe Scientifique Des Cézeaux, CNRS, LIMOS UMR 6158, 63178 Aubière.



18-21 Février 2019, Le Havre, France



**UNIMORE**  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
MODENA E REGGIO EMILIA



# Les problèmes intégrés

## Introduction

- Flow-Shop / Job-Shop with Transport

- Succession d'opérations à réaliser sur des machines
- Robots pour déplacer les produits

→ Les opérations de transport sont déduites du problème d'ordonnement avec la notion de gamme

- Flexible Manufacturing System (FMS)

- Systèmes intégrés
- Machines outils, stations (opérations manuelles, inspections, etc.)
- Système de manutention automatique (déplacement des produits)

→ Les opérations de transports permettent au système de s'adapter. Il n'y a pas de notion de gamme opératoire fixe

- Resource Constrained Routing and Scheduling Problems, Workforce Scheduling and Routing Problem, Resource Constrained Project Scheduling Problem with Routing

- Satisfaire au mieux la demande des clients en ressources, celles-ci devant être transportées

→ Les opérations de transport ne sont pas déterminées par les données du problème. Il n'y a pas de notion de gamme

# Le RCPSPR

## Les données du problème

Données du problème (Lacomme et al. 2017) :

- $R$  ensemble des ressources, chaque ressource  $k$  est disponible en quantité  $B_k \geq 0$
- $A$  ensemble des activités, chaque activité  $A_i, i \in \{0, \dots, n + 1\}$  possède :
  - Une durée  $p_i \geq 0$
  - Une demande de ressource  $b_{ik} \geq 0$
  - Une position  $(x_i, y_i) \rightarrow$  durée du transport entre deux activités  $, i, j \in A, t_{ij} \geq 0$
- $E$  ensemble de contraintes de précédences entre deux activités  $(i, j), i, j \in A, i < j$
- $V$  ensemble des véhicules, chaque véhicule  $m \in \{1, \dots, N\}$  est de capacité  $C_m \geq 0$
- $T$  horizon de temps

Objectif :

Minimiser le makespan en déterminant :

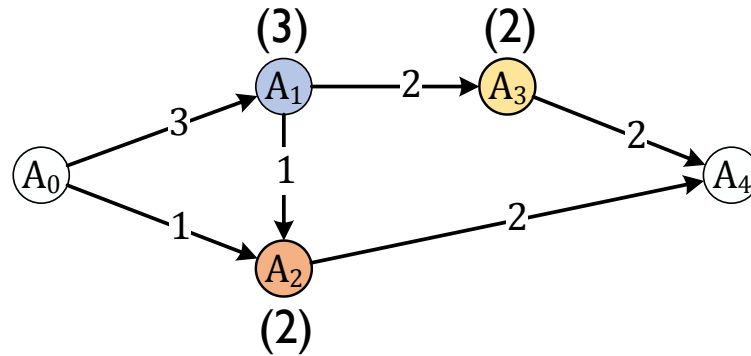
- Les dates de début de chacune des activités  $i, S_i \geq 0$
- Les tournées des véhicules permettant le transport des ressources entre les activités

Hypothèses :  $|R| = 1$ , une ressource renouvelable disponible en quantité  $B \geq 0$

# Les contraintes de transport

Hypothèses initiales (Lacomme et al. 2018)

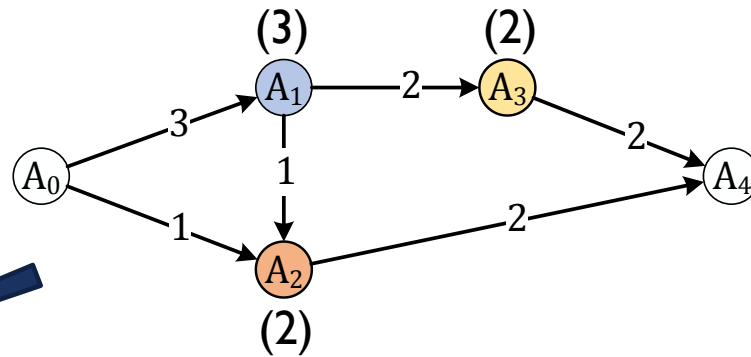
Graphe flot (Artigues et al. 2003)



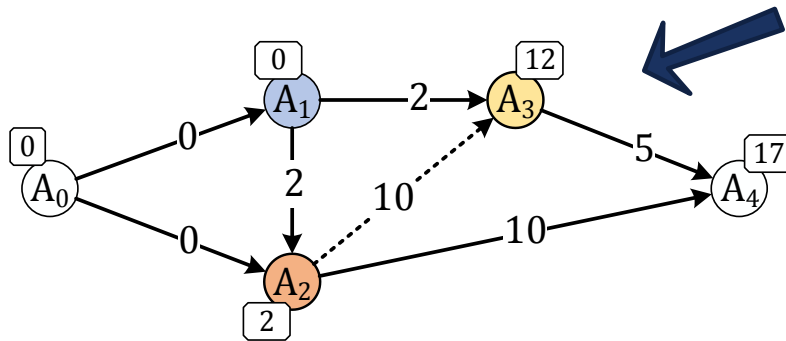
# Les contraintes de transport

Hypothèses initiales (Lacomme et al. 2018)

Graphe flot (Artigues et al. 2003)



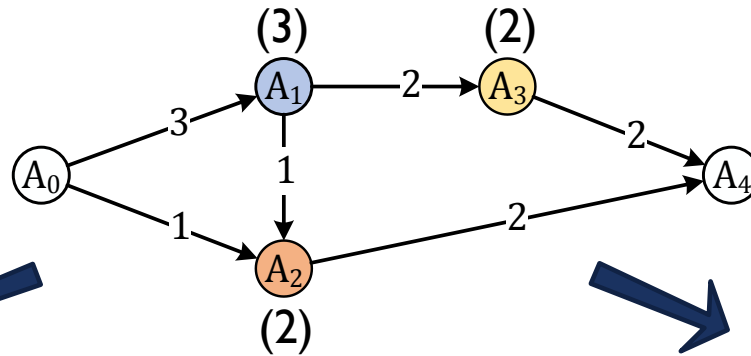
Graphe disjonctif évalué  
Solution du RCPSP



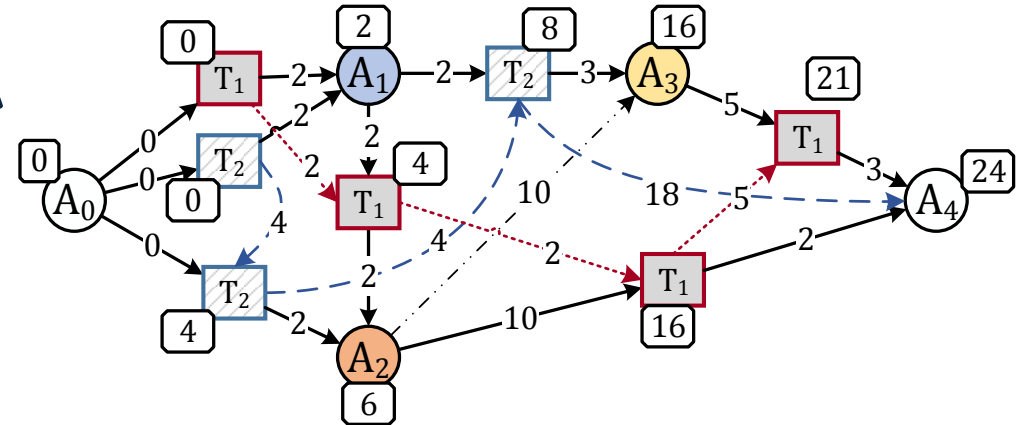
# Les contraintes de transport

Hypothèses initiales (Lacomme et al. 2018)

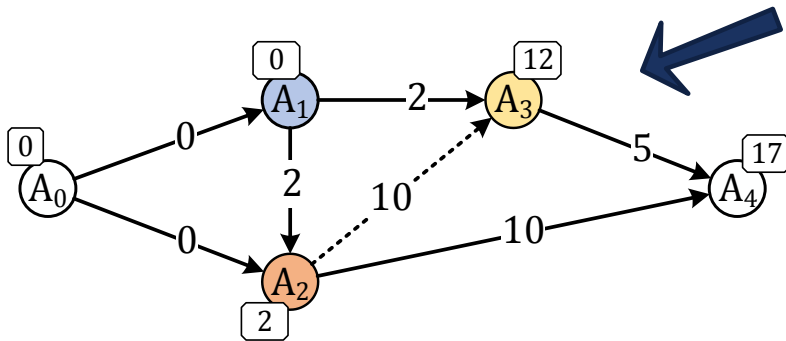
Graphe flot (Artigues et al. 2003)



Graphe disjonctif évalué  
Solution du RCPSR



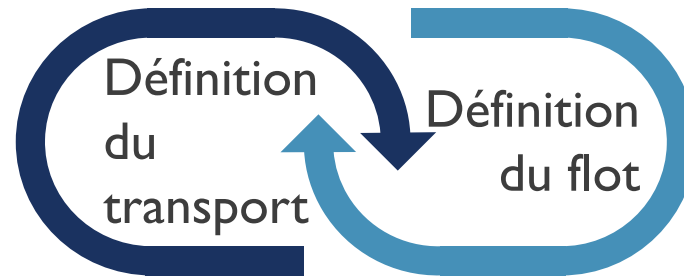
Graphe disjonctif évalué  
Solution du RCPSP



- Véhicules de capacité unitaire
- Transport de la quantité exacte de ressources

# Généralisation des contraintes de transport

## Hypothèses



→ Transport avec des véhicules de capacités unitaire → véhicules de capacités multiple

### ■ Modifications du flot

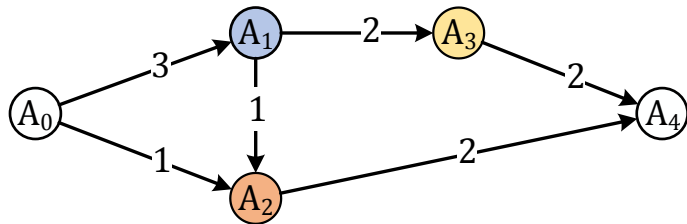
→ Quantité de flot entre deux activités ?

→ Deux types de ressources parmi les ressources transportées

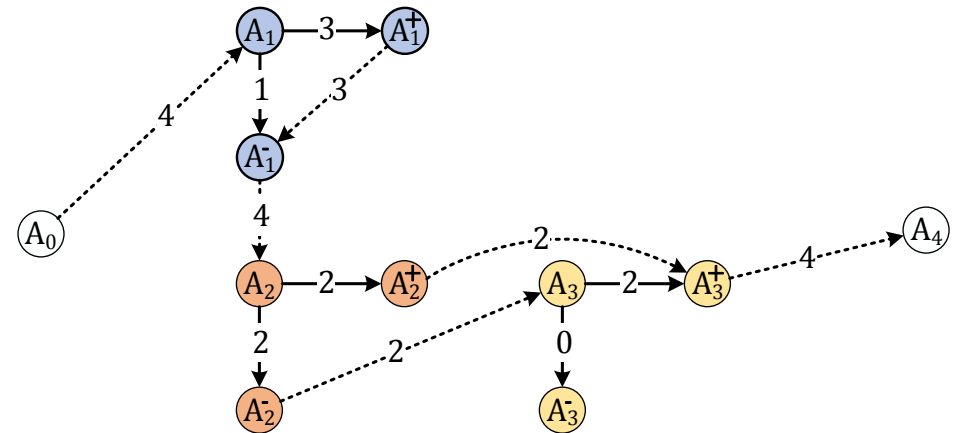
# Généralisation des contraintes de transport

## Nouveau graphe flot

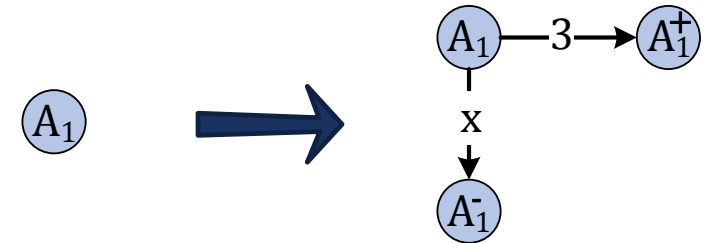
- Modifications du flot : Séparation des deux types de ressources
  - Ressources livrées et utilisées par l'activité
  - Ressources pouvant être immédiatement re-transportées



Graphe flot classique



Nouveau graphe flot (multi-flot)

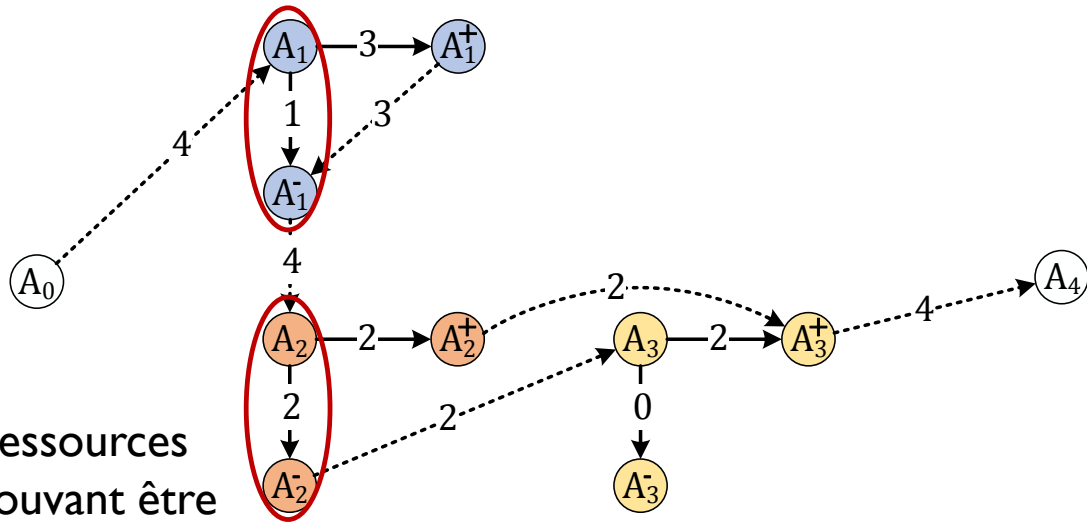




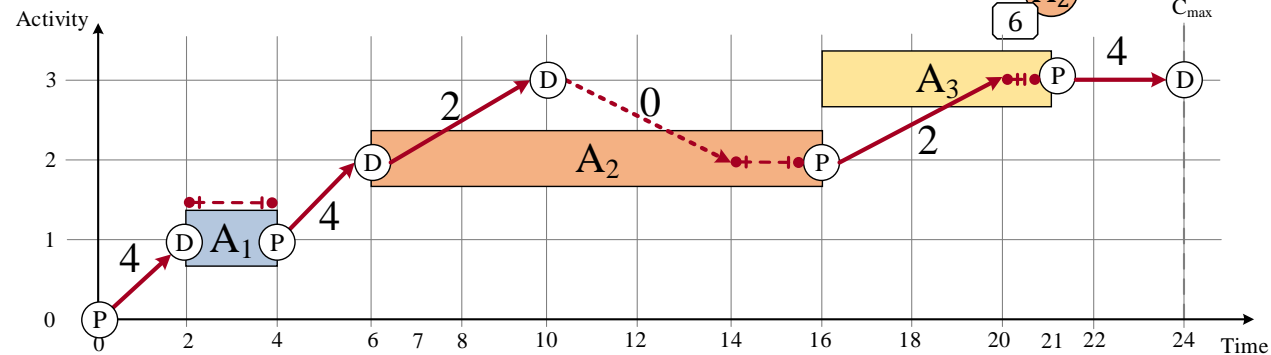
# Généralisation des contraintes de transport

Nouveau graphe flot : Exemple de solution

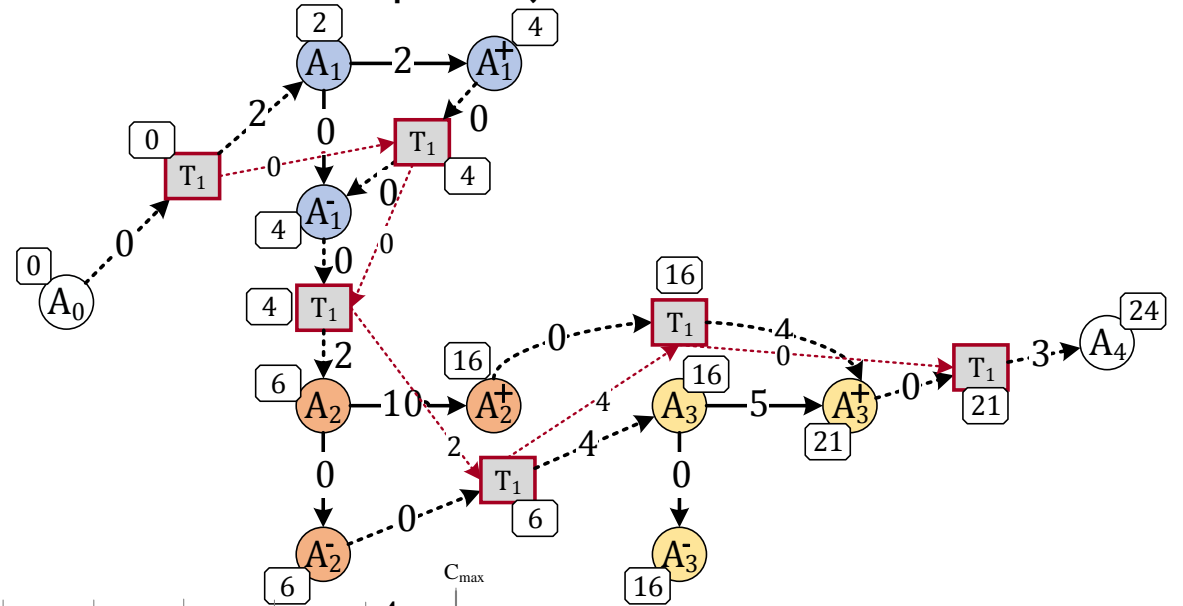
Graphe Multi-Flot



Ressources pouvant être transportées immédiatement

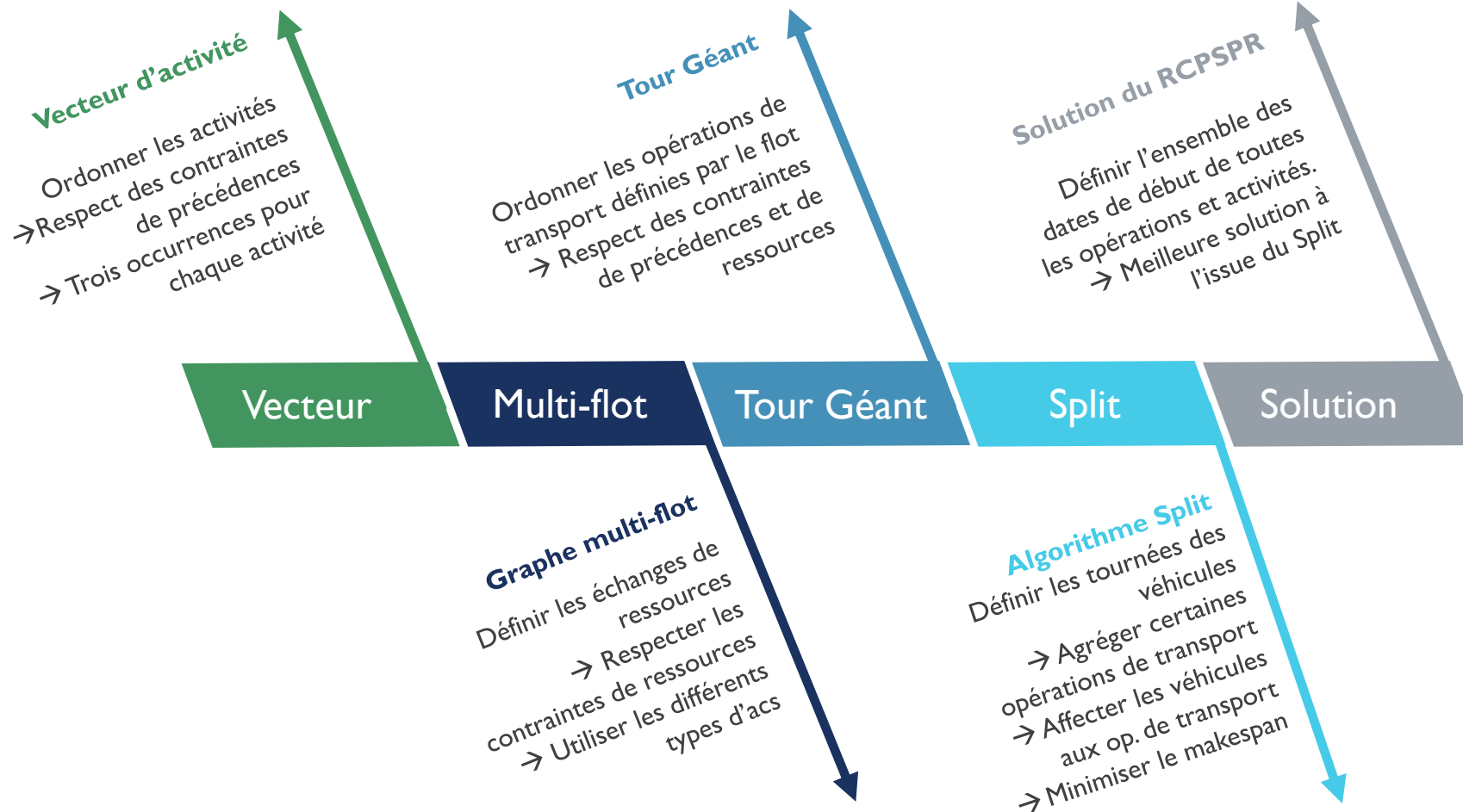


Graphe disjonctif évalué



# Généralisation des contraintes de transport

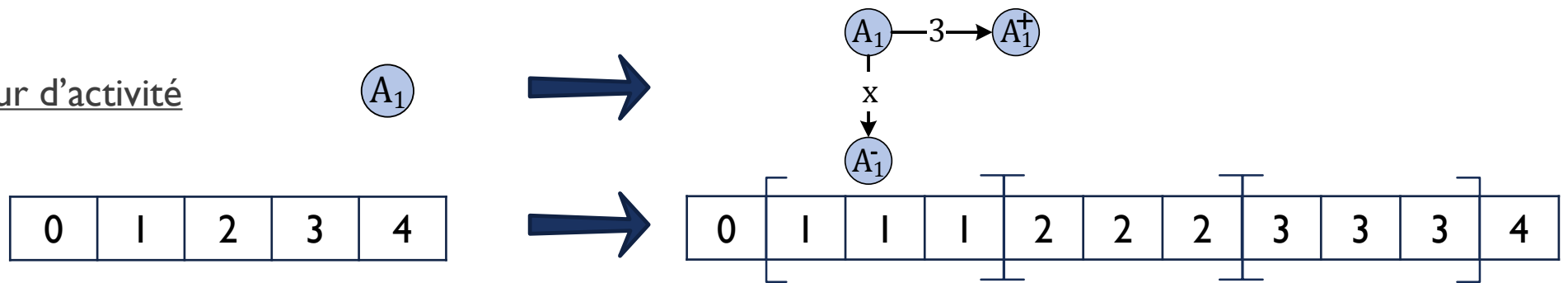
## Heuristique de résolution



# Généralisation des contraintes de transport

Heuristique de résolution : Construction du graphe multi-flot

- A partir d'un vecteur d'activité



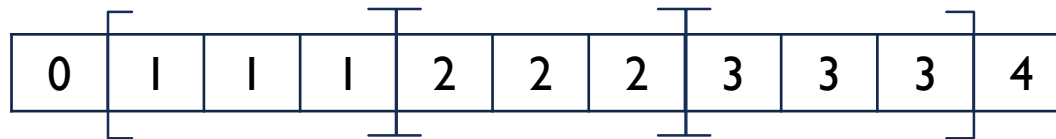
- 3 règles de priorités:

1. Transfert des ressources à partir de l'activité initiale vers les autres activités en autorisant seulement les échanges sans attentes. (correspondant aux arcs  $(A_i, A_i^-)$ )  $\rightarrow$  Satisfaire le maximum d'activités avec les ressources disponibles.
2. Transfert des ressources entre les activités en autorisant les pickups des ressources lorsque les activités sont terminées (correspondant aux arcs  $(A_i^+, A_j)$ )  $\rightarrow$  Satisfaire toutes les activités, à l'issue de cette étape, toutes les activités peuvent (ou ont) commencées.
3. Transfert des ressources entre les activités en autorisant les pickups successifs (correspondant aux arcs  $(A_i^+, A_j^+)$ )  $\rightarrow$  Pickup de toutes les ressources pour les ramener au dépôt (activité finale) .

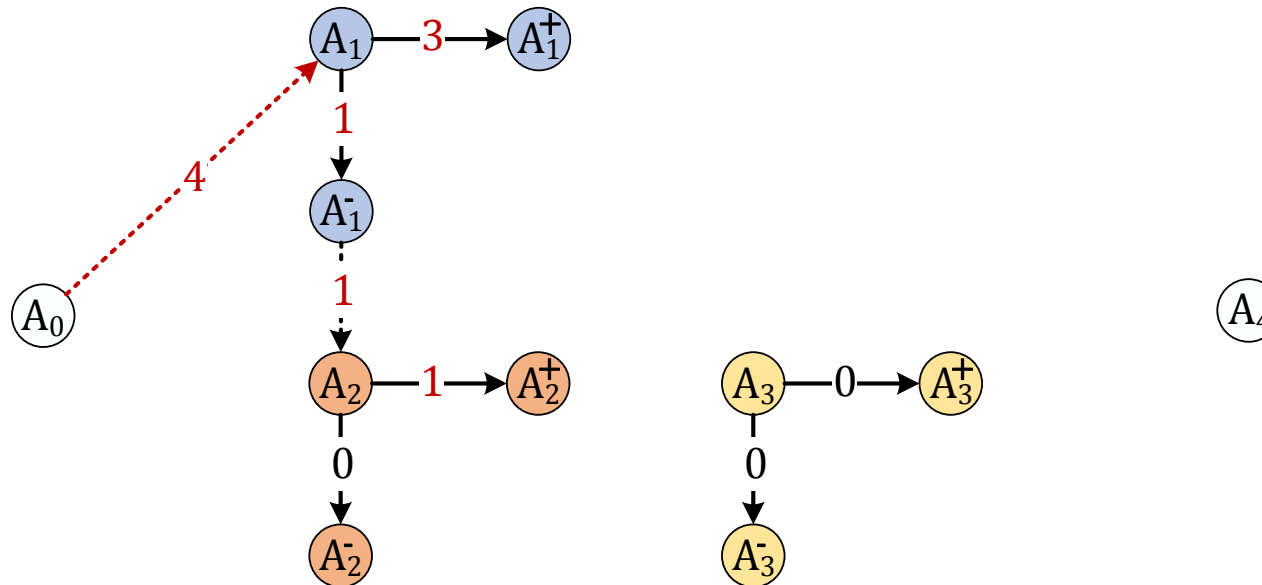
# Généralisation des contraintes de transport

Heuristique de résolution : Construction du graphe multi-flot

- A partir d'un vecteur d'activité
- 3 règles de priorités:



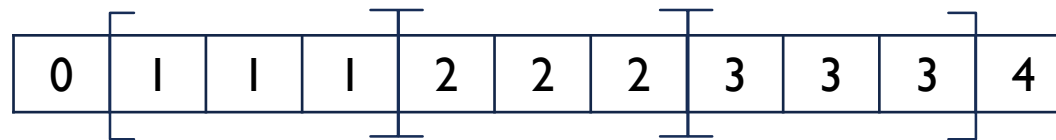
1. Transfert des ressources à partir de l'activité initiale vers les autres activités en autorisant seulement les échanges sans attentes. (correspondant aux arcs  $(A_i, A_i^-)$ )  $\rightarrow$  Satisfaire le maximum d'activités avec les ressources disponibles.



# Généralisation des contraintes de transport

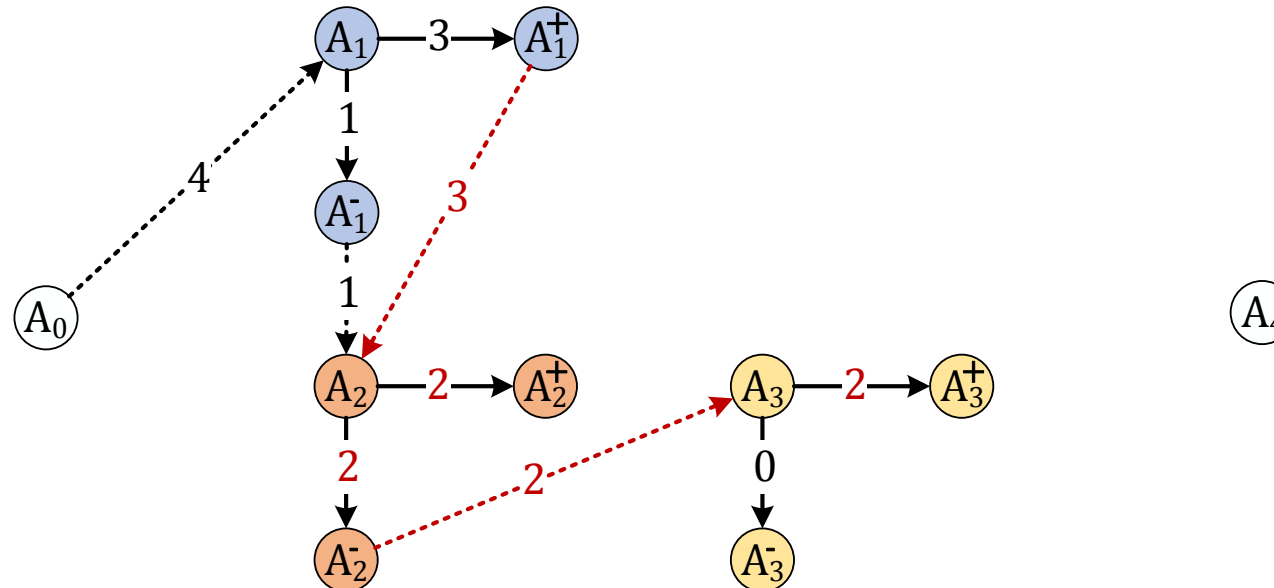
## Heuristique de résolution : Construction du graphe multi-flot

- A partir d'un vecteur d'activité



- 3 règles de priorités:

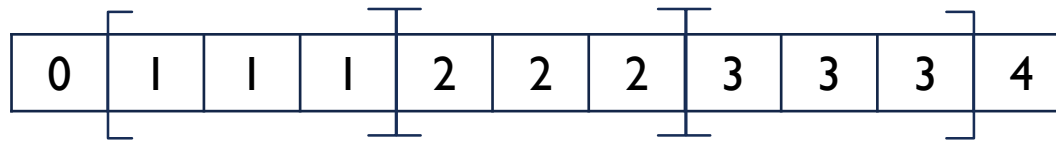
2. Transfert des ressources entre les activités en autorisant les pickups des ressources lorsque les activités sont terminées (correspondant aux arcs  $(A_i^+, A_j)$ ) → Satisfaire toutes les activités, à l'issue de cette étape, toutes les activités peuvent (ou ont) commencées.



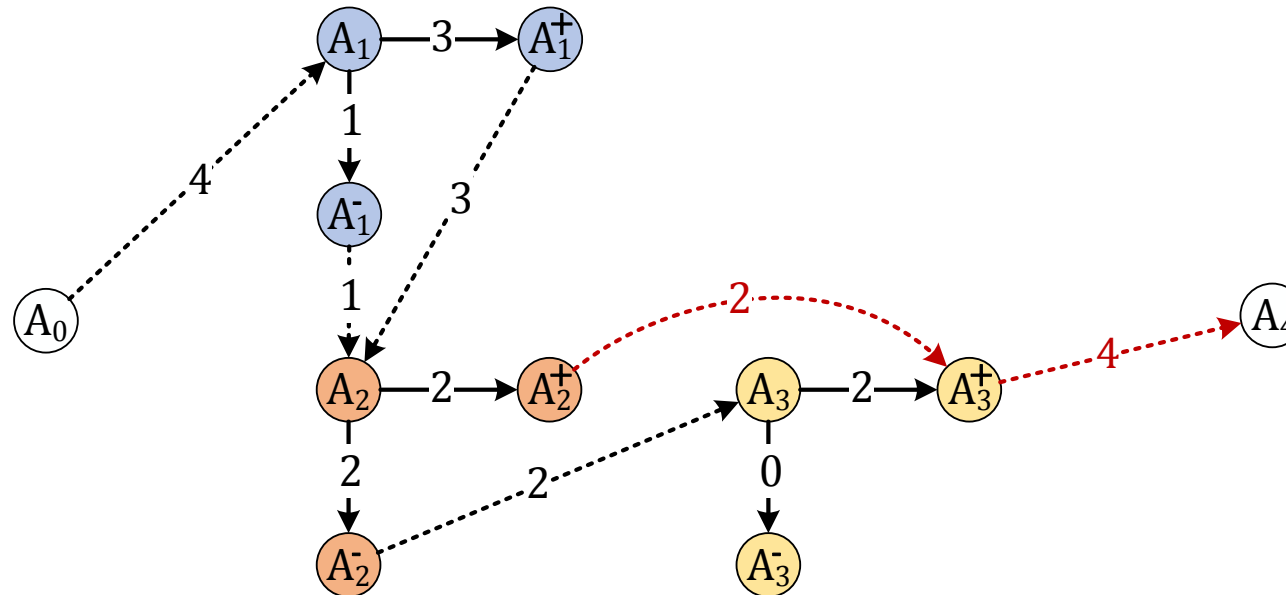
# Généralisation des contraintes de transport

## Heuristique de résolution : Construction du graphe multi-flot

- A partir d'un vecteur d'activité
- 3 règles de priorités:



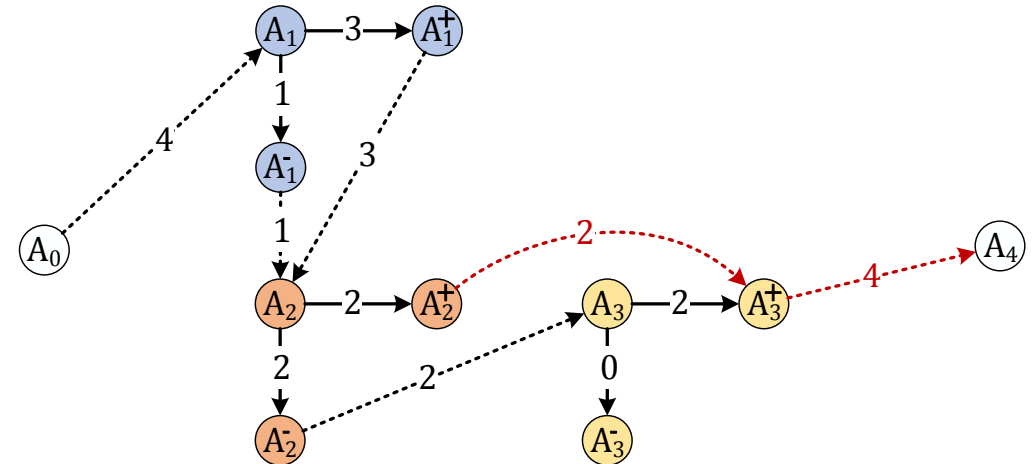
3. Transfert des ressources entre les activités en autorisant les pickups successifs (correspondant aux arcs  $(A_i^+, A_j^+)$ ) → Pickup de toutes les ressources pour les ramener au dépôt (activité finale) .



# Généralisation des contraintes de transport

Heuristique de résolution : Construction du graphe multi-flot

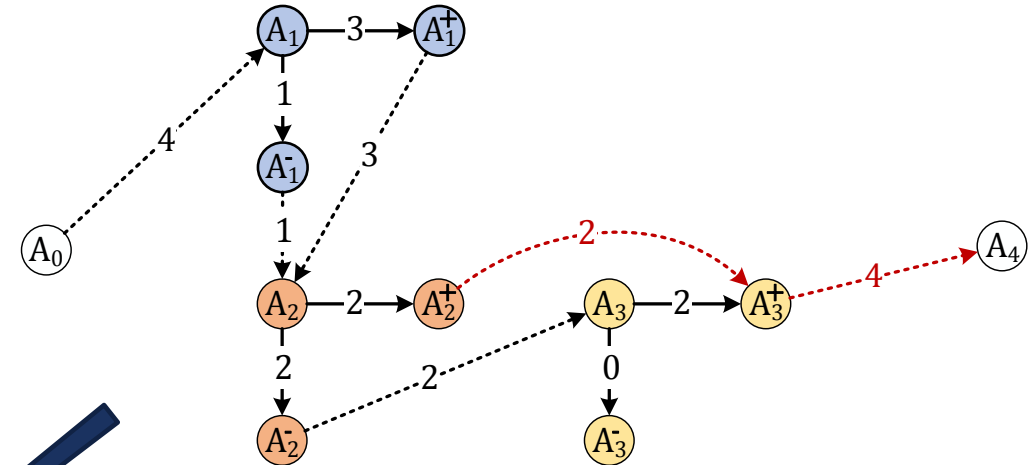
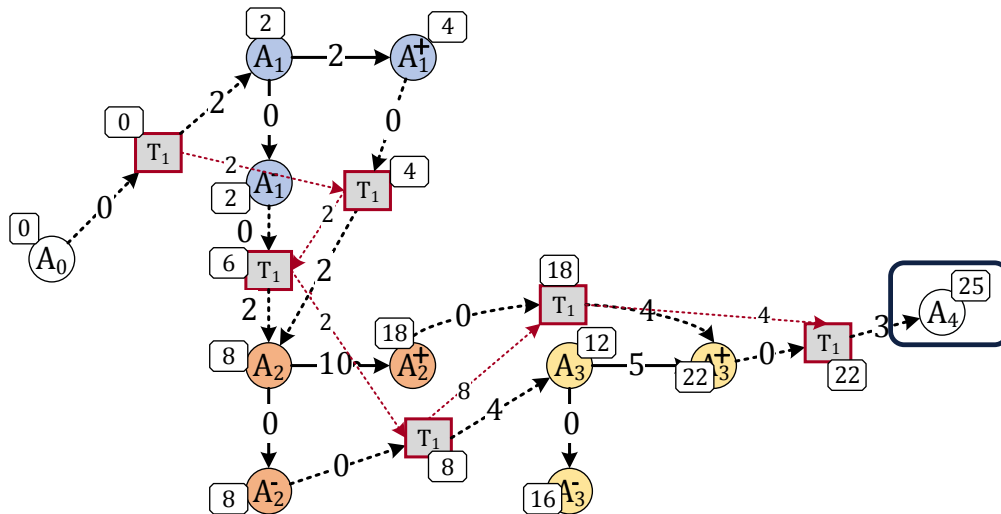
- A partir d'un graphe multi-flot
  - Définir les opérations de transport
  - Ordonner ces opérations
  - Affecter ces opérations
  - Evaluer le graphe disjonctif correspondant : Solution



# Généralisation des contraintes de transport

Heuristique de résolution : Trouver une solution

- A partir d'un graphe multi-flot
  - Définir les opérations de transport
  - Ordonner ces opérations
  - Affecter ces opérations
  - Evaluer le graphe disjonctif correspondant : Solution

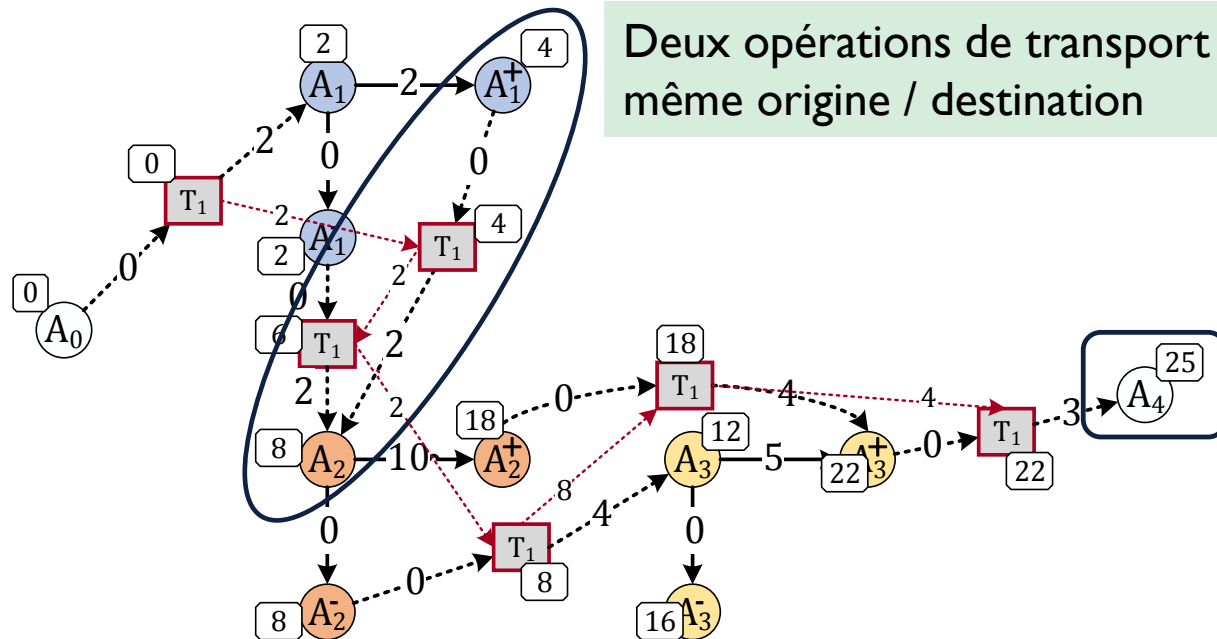


Comment améliorer cette solution ?



# Généralisation des contraintes de transport

Heuristique de résolution : Recherche locale

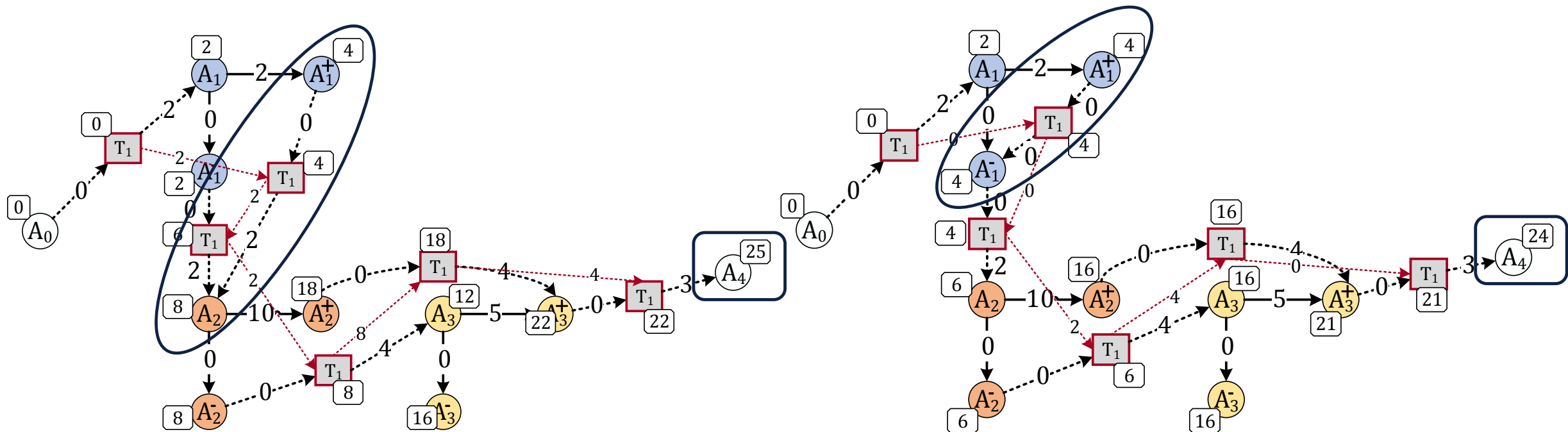


Deux opérations de transport identiques :  
même origine / destination

Recherche de ces patterns  
Proposition → Fusionner ces opérations  
Comment ?  
→ Ajout d'un arc de coût nul :  $(A_1^+, A_1^-)$

# Généralisation des contraintes de transport

Heuristique de résolution : Recherche locale

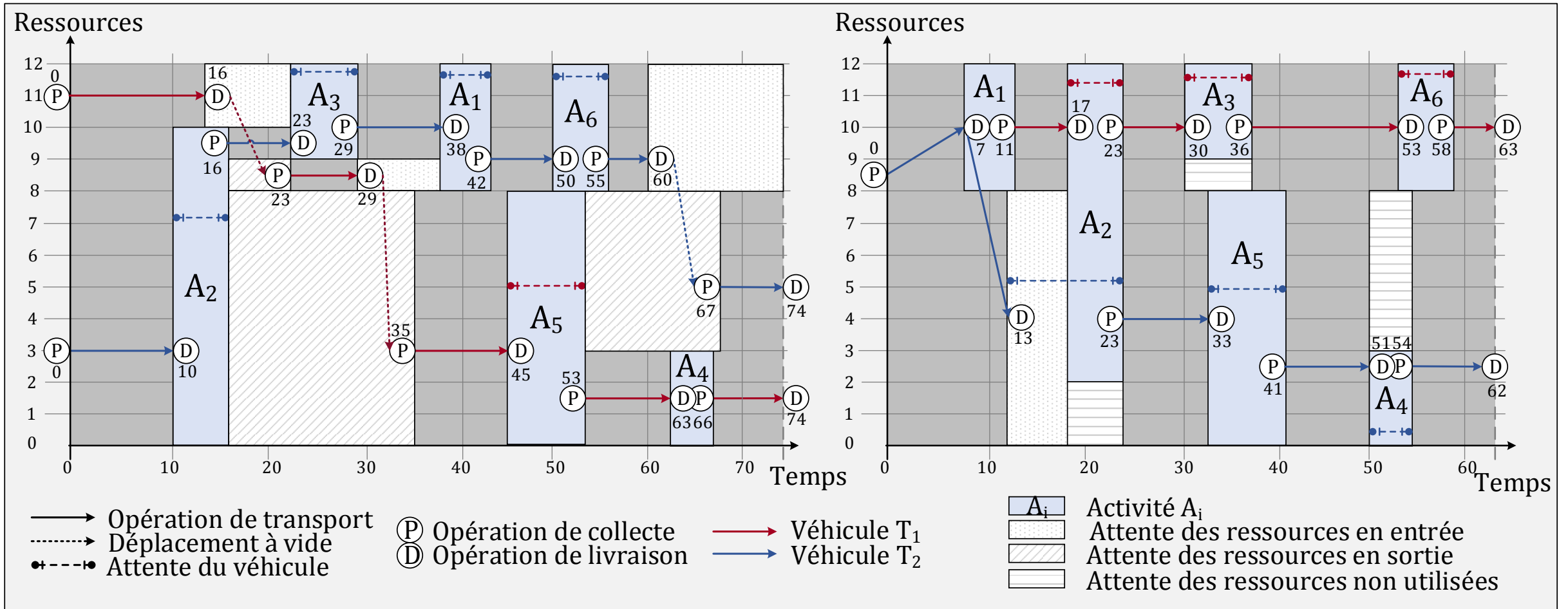


Avant modification  
Deux opérations de transport identiques

Après modification  
Une seule opérations de transport

# Généralisation des contraintes de transport

Comparaison du nouveau modèle à l'ancien sur un exemple



# Conclusion

- RCPSP with routing: RCPSPR
- Généralisation des contraintes de transport
  - Proposition d'un nouveau graphe pour modéliser les contraintes de ressources
  - Méthode de résolution adaptée
  - Mise en évidence de patterns à éviter dans les solutions
- Perspectives
  - Méthode de recherche local à partir du chemin critique du graphe disjonctif
  - Notion de qualité de service (critères sur le transport)



Merci