Résolution exacte du RCPSP avec transfert de ressources fixé grâce à l'utilisation de la notion de flot.

Philippe Lacomme[1], Aziz Moukrim[2], Alain Quilliot [1], Marina Vinot[1]

[1] Université Clermont Auvergne,
Complexe Scientifique Des Cézeaux,
CNRS, LIMOS UMR 6158, 63178 Aubière.

[2] Sorbonne Universités,
Université De Technologie De Compiègne,
CNRS, Heudiasyc UMR 7253, 60203 Compiègne.

Journées conjointes des groupes GOThA et Bermudes
26-27 Septembre 2017

LES PROBLÈMES INTÉGRÉS : ORDONNANCEMENT ET ROUTING

- Motivations :
  - Milieu hospitalier
    - la gestion de ressources (salles, matériels, personnels, etc.)
    - le transport de flux de produits, de patients.
  - Chaine logistique en entreprise (production/distribution)

- Exemple :

  Entreprise de location d'échafaudages.

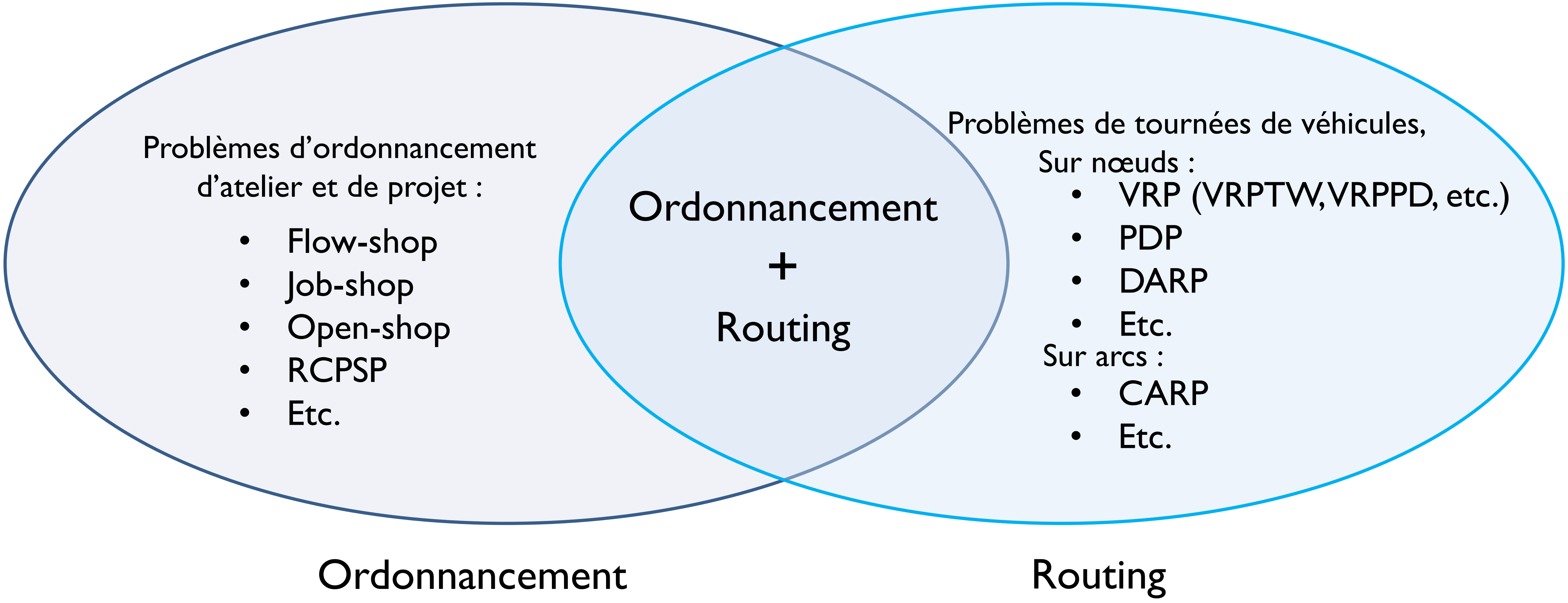
→ Pas de production

→ Transport de ressources (tubes)

→ Activités à ordonnancer (chantiers)

Intégration ordonnancement et routing

LES PROBLÈMES INTÉGRÉS : ORDONNANCEMENT ET ROUTING



ORDONNANCEMENT ET TRANSPORT

Problème intégré ordonnancement et transport

Définition et choix de résolution du problème

TRANSPORT

Modélisation IMPLICITE

- Setup times

Mika et al. (2008).

- Transfer times

Krüger and Scholl (2010).
Poppenborg and Knust(2016).

- Time-lags

Quilliot and Toussaint, (2012), Kreter et al. (2016).

Modélisation EXPLICITE

- Job shop

Lacomme et al. (2013).
Zhang et al. (2012).

- Flexible Manufacturing Systems

Caumond et al. (2009).

- Hoist Scheduling Problem

Chtourou et al. (2013).

ROUTING

- Une machine

Geismar et al. (2008).
Cheref et al. (2016).
Devapriya et al (2017).

- Flow shop

Scholz-Reiter et al. (2011).

- Job shop

Meinecke and Scholz-Reiter (2014).

ORDONNANCEMENT ET TRANSPORT

Problème intégré ordonnancement et transport

Définition et choix de résolution du problème

TRANSPORT

Modélisation IMPLICITE

- Setup times

Mika et al. (2008).

- Transfer times

Krüger and Scholl (2010).

Poppenborg and Knust(2016).

- Time-lags

Quilliot and Toussaint, (2012), Kreter et al. (2016).

Modélisation EXPLICITE

- Job shop

Lacomme et al. (2013).

Zhang et al. (2012).

- Flexible Manufacturing Systems

Caumond et al. (2009).

- Hoist Scheduling Problem

Chtourou et al. (2013).

ROUTING

- Une machine

Geismar et al. (2008).

Cheref et al. (2016).

Devapriya et al (2017).

- Flow shop

Scholz-Reiter et al. (2011).

- Job shop

Meinecke and Scholz-Reiter (2014).

MODÉLISATION EXPLICITE

- Job shop

Afsar et al. (2016).
Nouri et al. (2016).
Lacomme et al. (2013).
Zhang et al. (2012).

- Flexible Manufacturing Systems

Caumond et al. (2009).

- Hoist Scheduling Problem

Chtourou et al. (2013).
Zhang et al. (2011).

- Graphe disjonctif Roy et Sussmann (1964)
- Problème d’ordonnancement avec des jobs/gammes donnés
- Job shop avec transport

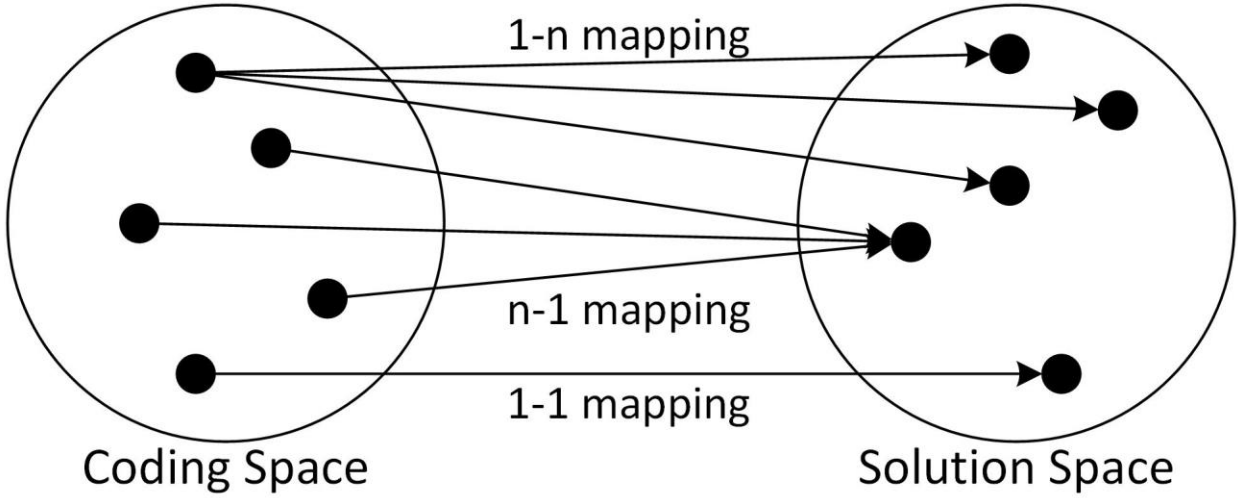
Hurink et Knust (2005) un robot
Lacomme et al. (2007) plusieurs robots

Robots / Automatic Guided Vehicles (AGVs) / Vehicules

- Contrainte de capacité

LES OUTILS DE RÉSOLUTION
LA REPRÉSENTATION INDIRECT DE LA SOLUTION

Fonction d'évaluation

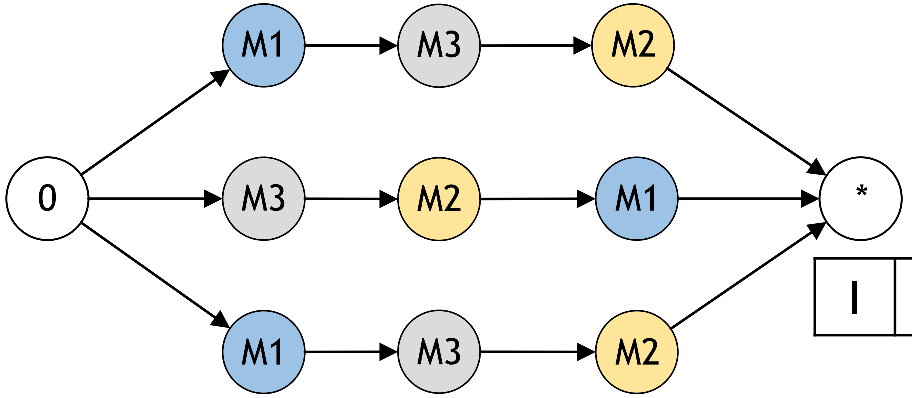


R. Cheng, M. Gen and Y. Tsujimura. A tutorial survey of job-shop scheduling problems using genetic algorithms - I representation. Computers and Industrial Engineering, 30, 983-997, 1996.

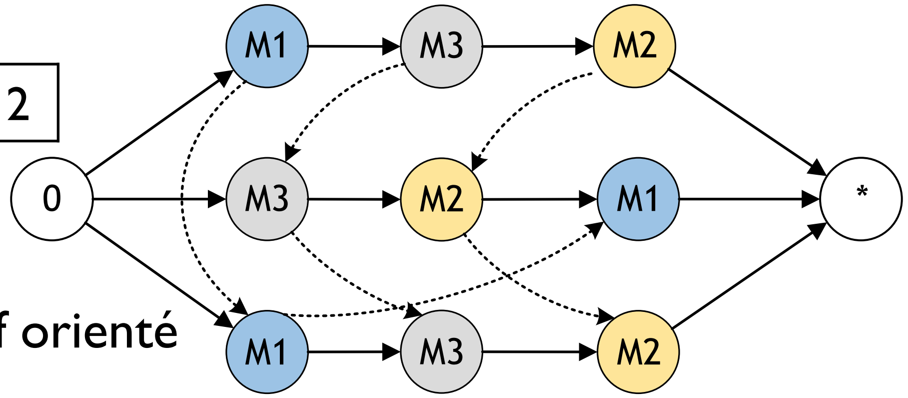
LES OUTILS DE RÉSOLUTION
LA REPRÉSENTATION INDIRECT DE LA SOLUTION

Pour les problèmes d'ordonnancement (le vecteur de Bierwirth et le graphe disjonctif) :

- Roy B, Sussmann B. Les problèmes d'ordonnancement avec contraintes disjonctives 1964; In: Note DS N° 9 bis, SEMA, Paris, France.
- Bierwirth C. A generalized permutation approach to job-shop scheduling with genetic algorithms, OR Spektrum 1995; 17: 87–92.



1	3	1	2	3	1	2	3	2

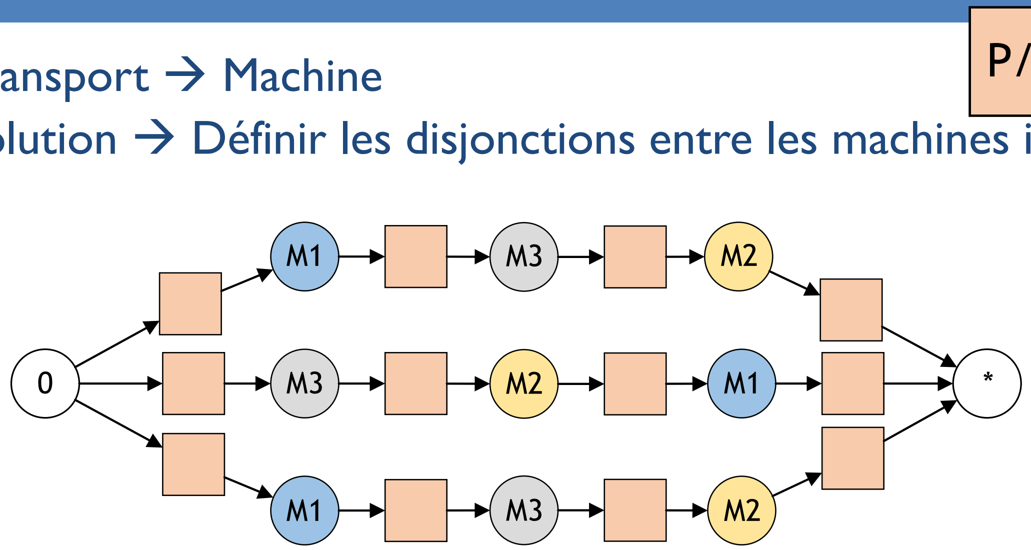


<u>Fonction d'évaluation :</u>

Plus long chemin dans le graphe disjonctif orienté

MODÉLISATION EXPLICITE DU TRANSPORT OPÉRATIONS DE TRANSPORT

- Transport → Machine
- Solution → Définir les disjonctions entre les machines identiques et évaluer.



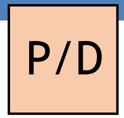
- Un véhicule

→ Suite d'opération de transport

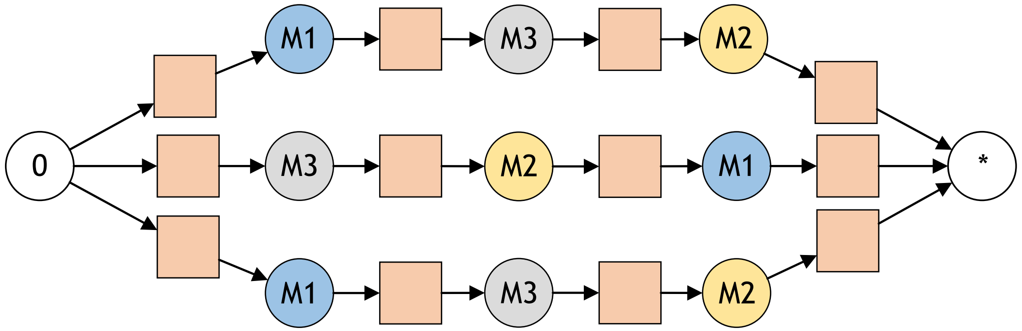
→ (P, D)(P,D)(P,D)(P,D)(P,D) ……

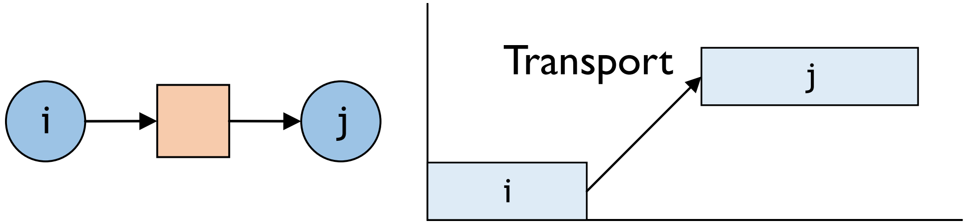
Hurink, J. and Knust, S. (2005). Tabu search algorithms for job-shop problems with a single transport robot. European journal of operational research, 162(1), 99–111

MODÉLISATION EXPLICITE DU TRANSPORT
OPÉRATIONS DE TRANSPORT



- Transport → Machine
- Solution → Définir les disjonctions entre les machines identiques et évaluer.





- Un véhicule

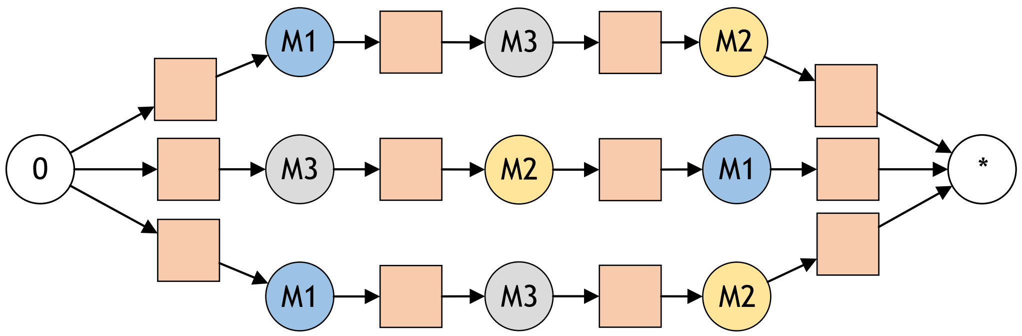
→ Suite d'opération de transport

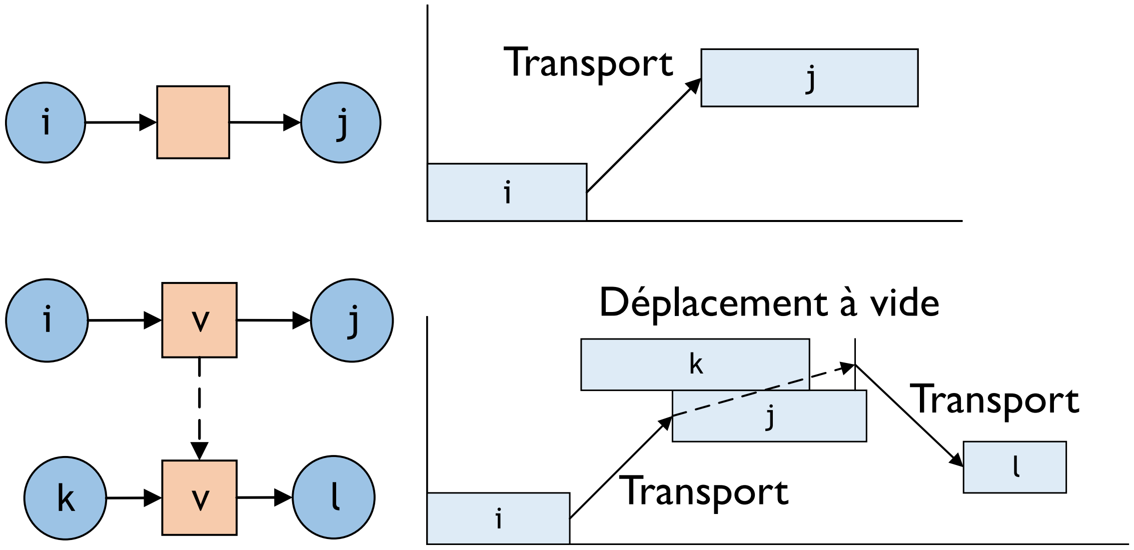
→ (P, D)(P,D)(P,D)(P,D)(P,D) ……

MODÉLISATION EXPLICITE DU TRANSPORT
OPÉRATIONS DE TRANSPORT

P/D

- Transport → Machine
- Solution → Définir les disjonctions entre les machines identiques et évaluer.



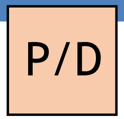


- Un véhicule

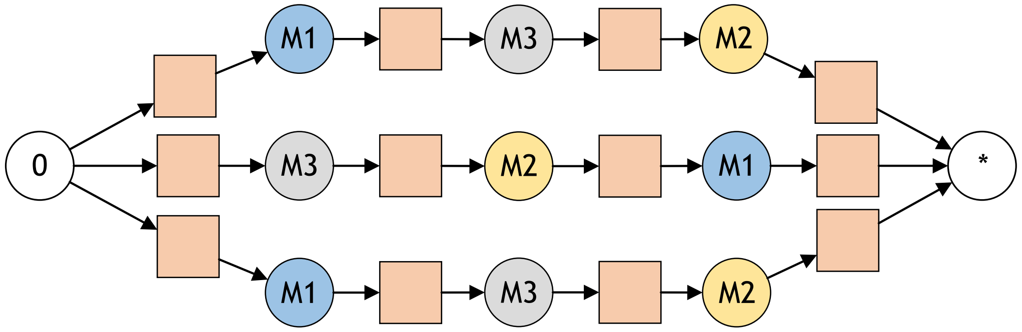
→ Suite d'opération de transport

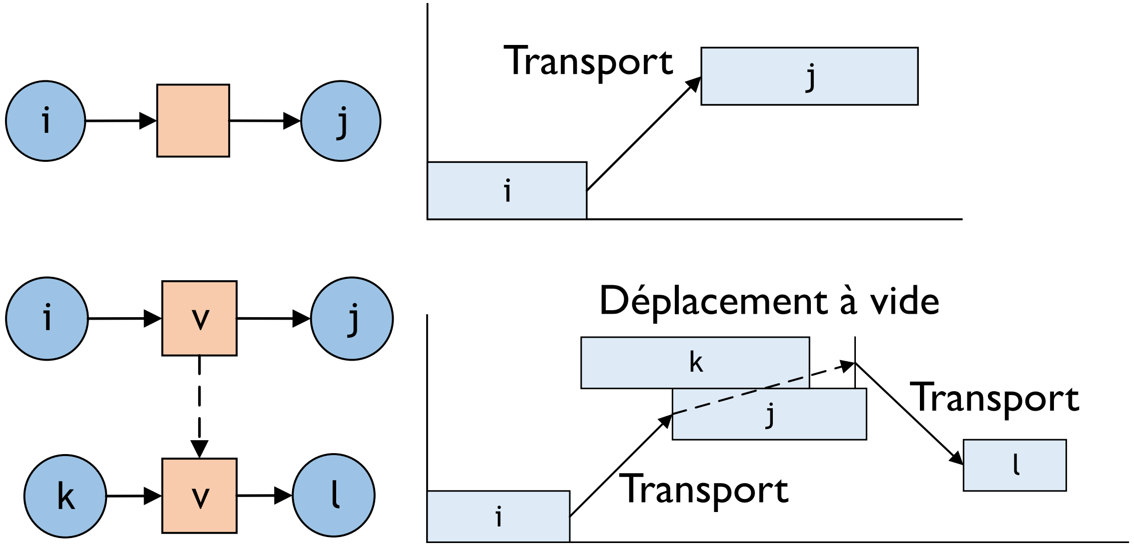
→ (P, D)(P,D)(P,D)(P,D)(P,D) ……

MODÉLISATION EXPLICITE DU TRANSPORT
OPÉRATIONS DE TRANSPORT



- Transport → Machine
- Solution → Définir les disjonctions entre les machines identiques et évaluer.

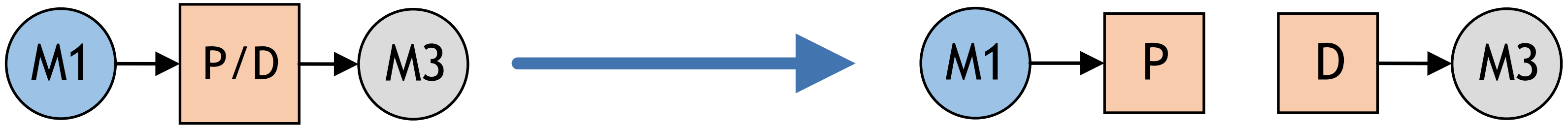




- Un véhicule

→ Suite d'opération de transport

→ (P, D)(P,D)(P,D)(P,D)(P,D) ……



RCPSP AVEC ROUTING
RCPSPR

Problèmes d'ordonnancement :

Flow-Shop Scheduling Problem FSSP
Job-Shop Scheduling Problem JSSP
…

→ Jobs avec des gammes
→ Emplacements des opérations de transport connus

Problème d'ordonnancement :

Resource-Constrained Project Scheduling Problem
RCPSP

→ Jobs/Activités sans gamme
→ Emplacements des opération de transport inconnus

RCPSP AVEC ROUTING
RCPSPR

Problèmes d'ordonnancements :

Flow-Shop Scheduling Problem FSSP
Job-Shop Scheduling Problem JSSP
…

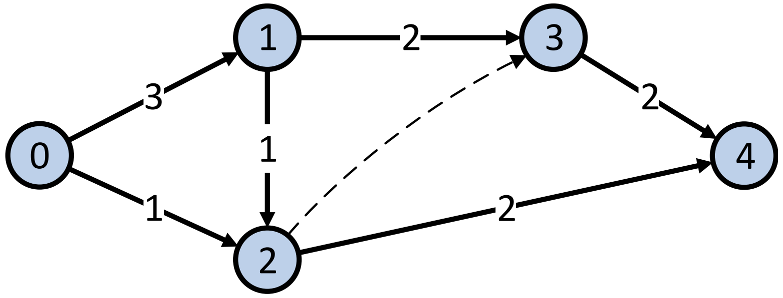
→ Jobs avec des gammes
→ Emplacements des opérations de transport connus

Problème d'ordonnancement :

Resource-Constrained Project Scheduling Problem
RCPSP

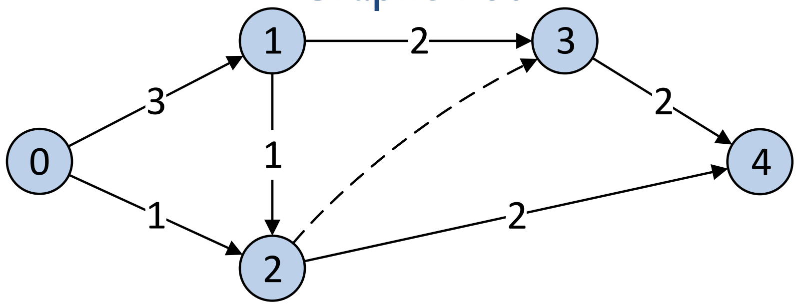
→ Jobs/Activités sans gamme
→ Emplacements des opération de transport inconnus

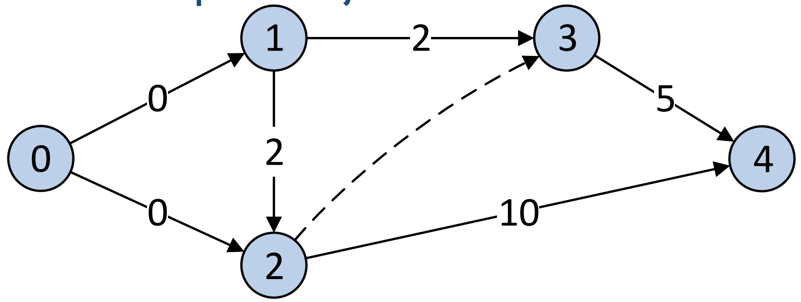
→ La définition d'un flot permet de fixer les contraintes de précédence entre les activités



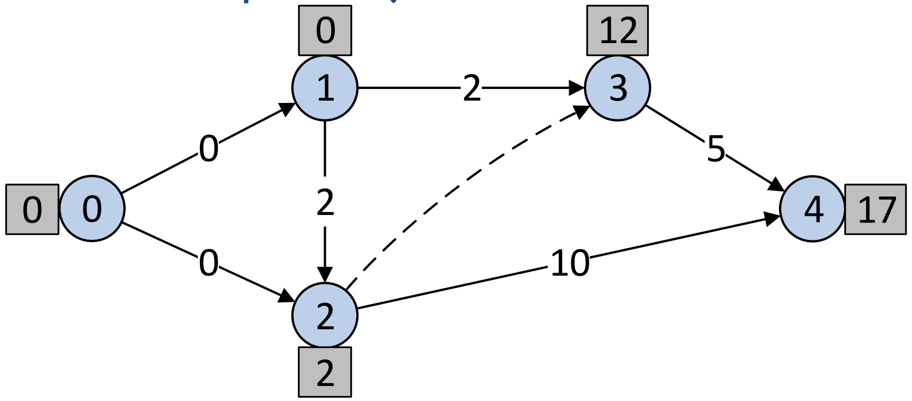
NOTION DE FLOT

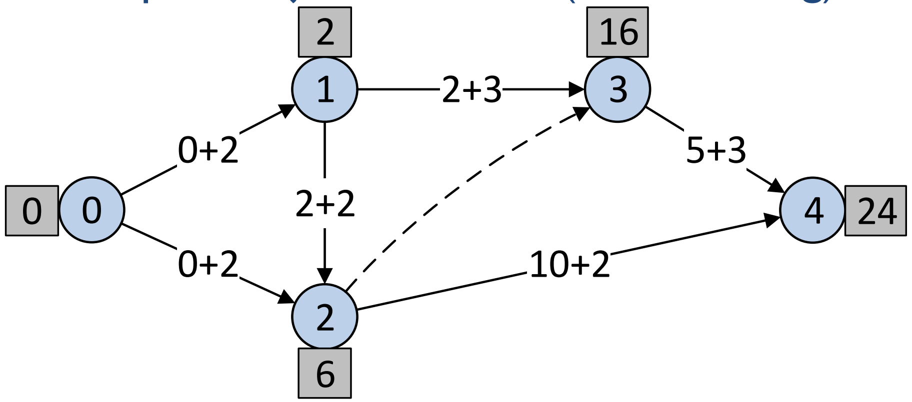
- Flot :
  - Modéliser la circulation de biens, de personnes, de ressources.
  - Utiliser pour résoudre le RCPSP, Artigues et al. (2003)
  - Graphe flot → Graphe Disjonctif





  - Graphe Disjonctif Evalué → Graphe Disjonctif Evalué (avec Routing)

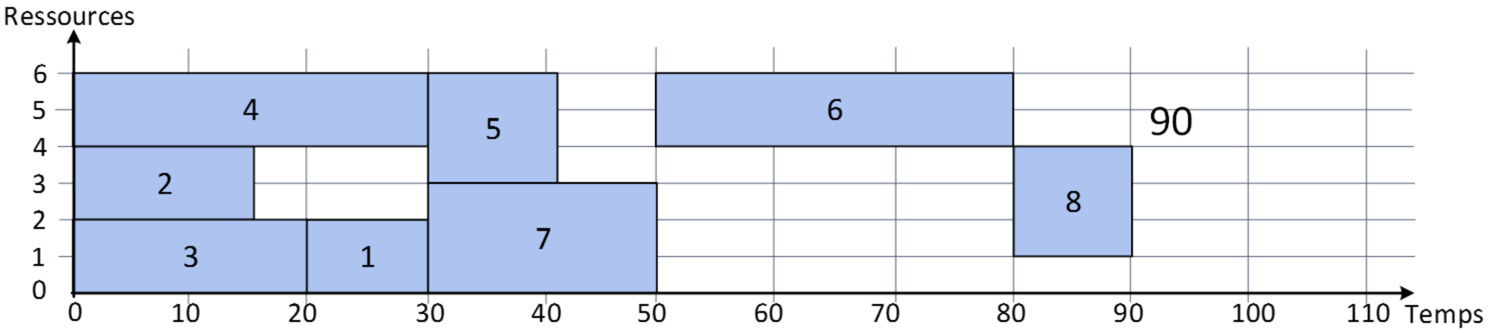




RCPSP AVEC ROUTING
RCPSPR

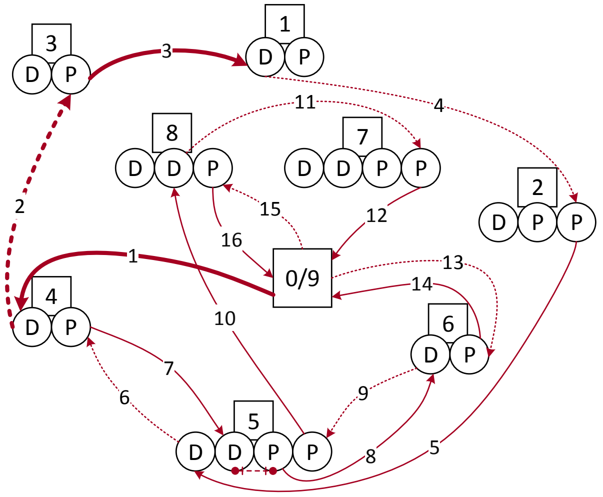
Problème d'ordonnancement :

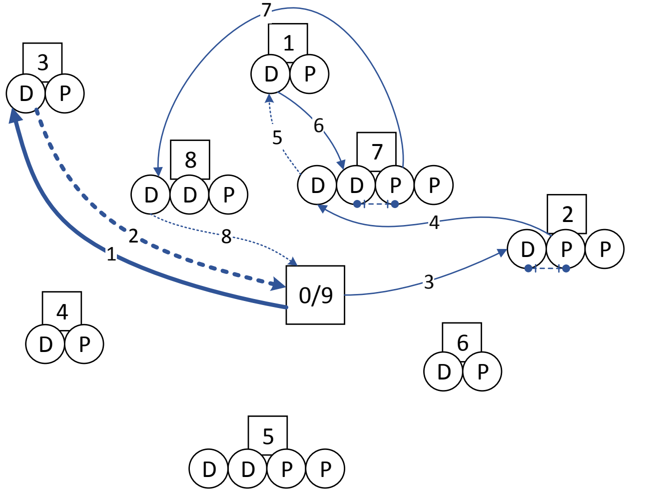
Resource-Constrained Project
Scheduling Problem
RCPSP



Problème lié au transport :

Vehicle Routing Problem
with Pickup and Delivery
VRPPD





DONNÉES DU RCPSP AVEC TRANSPORT DE RESSOURCES : RCPSPR

Données du problème :

- 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 $\mathrm{b}_{ik} \geq 0$
  - Une position (x_i, y_i) → 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

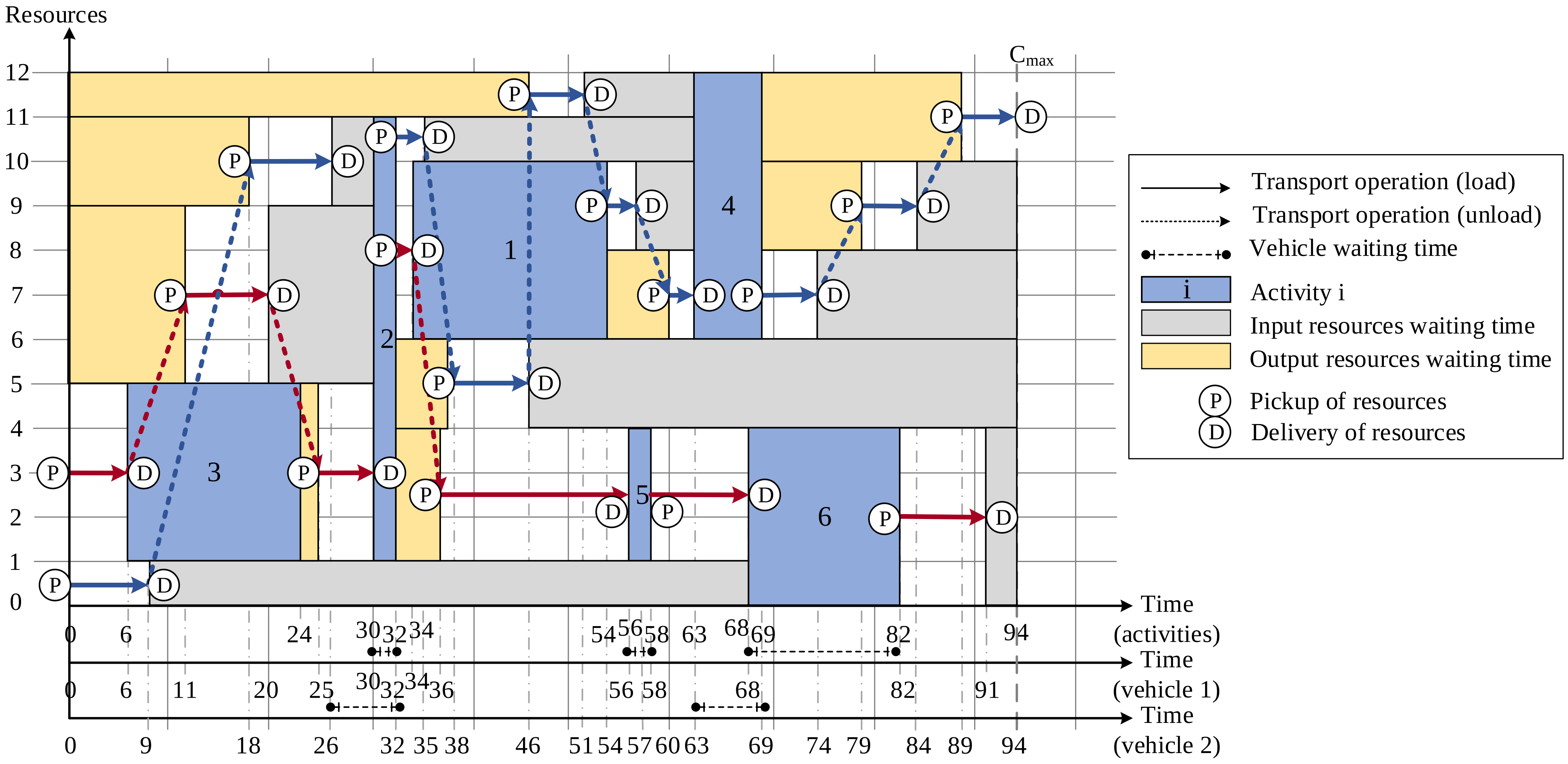
Objectif :

Minimiser le makespan en déterminant :

- La date de début de chaque activité $i, S_i \geq 0$
- La date de début de chaque opération de transport effectuée par un véhicule entre deux activités

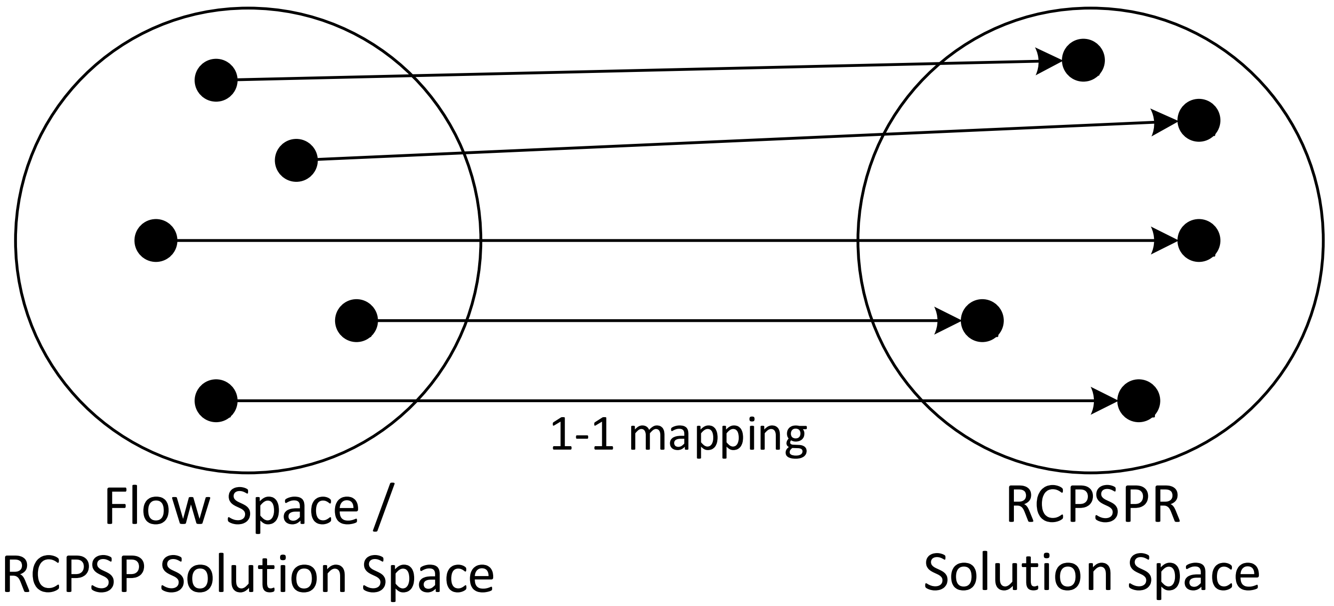
Hypothèses : $|R| = 1$, une resource renouvelable disponible en quantité $B \geq 0$

RCPSPR
UN EXEMPLE DE SOLUTION



NOTRE PROPOSITION POUR RÉSOUDRE LE RCPSP

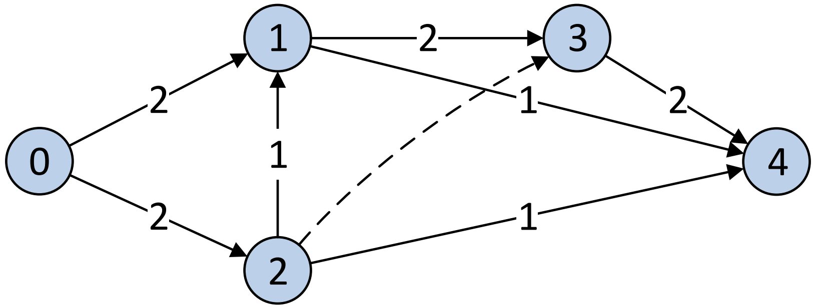
Utiliser deux espaces de recherches et une seule fonction d'évaluation optimale entre les espaces.

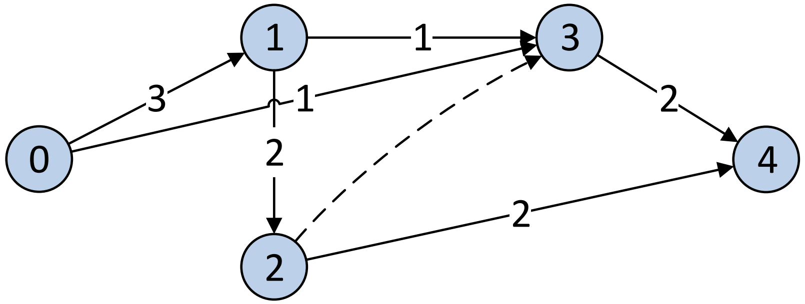


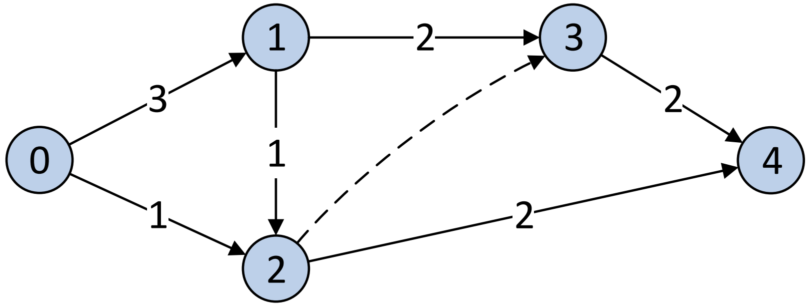
PLUSIEURS FLOTS POUR UNE MÊME INSTANCE

Flots respectant les demandes des clients : pas de déplacement non nécessaire

Artigues et al. (2003)







Activité	Demande
0	/
1	3
2	2
3	2
4	/

D'UN FLOT À UNE SOLUTION DU RCPSPR

Un flot:

- Les quantités de ressources transportée entre deux activités
  → (i, j, φ_{ij})

Une solution du RCPSPR :

- Les opérations de transport entre toutes les activités avec un flot non nulle affectées à un véhicules
  → (i, j, x, v, A, B)
  $\varphi_{ij} = \sum x \;, x \in (i, j, x, ., ., .)$
- Les dates de début au plus tôt de toutes les activités

D'UN FLOT À UNE SOLUTION DU RCPSPR

Un flot:

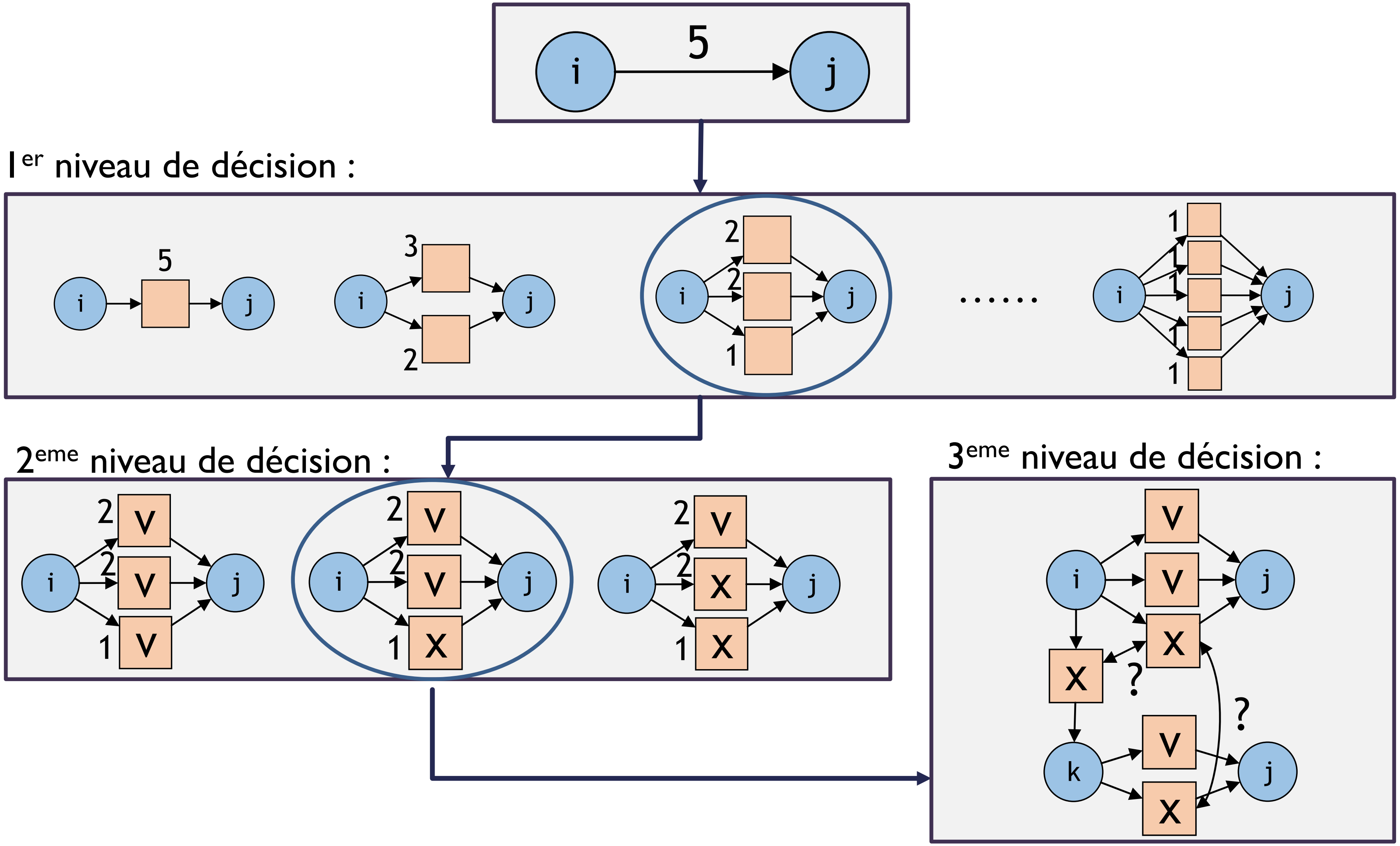
- Les quantités de ressources transportée entre deux activités
  → (i, j, φ_{ij})

1. Définir la quantité x à transporter entre deux activités ($x \leq \varphi_{ij}$)
2. Affecter un véhicule v pour transporter les ressources entre les activités.
3. Ordonner les transports pour former les tournées

Une solution du RCPSPR :

- Les opérations de transport entre toutes les activités avec un flot non nulle affectées à un véhicules
  → (i, j, x, v, A, B)
  $\varphi_{ij} = \sum x \text{ , } x \in (i, j, x, ., ., ., .)$
- Le date de début au plus tôt de toutes les activités

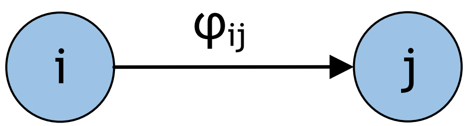
D’UN FLOT À UNE SOLUTION DU RCPSPR



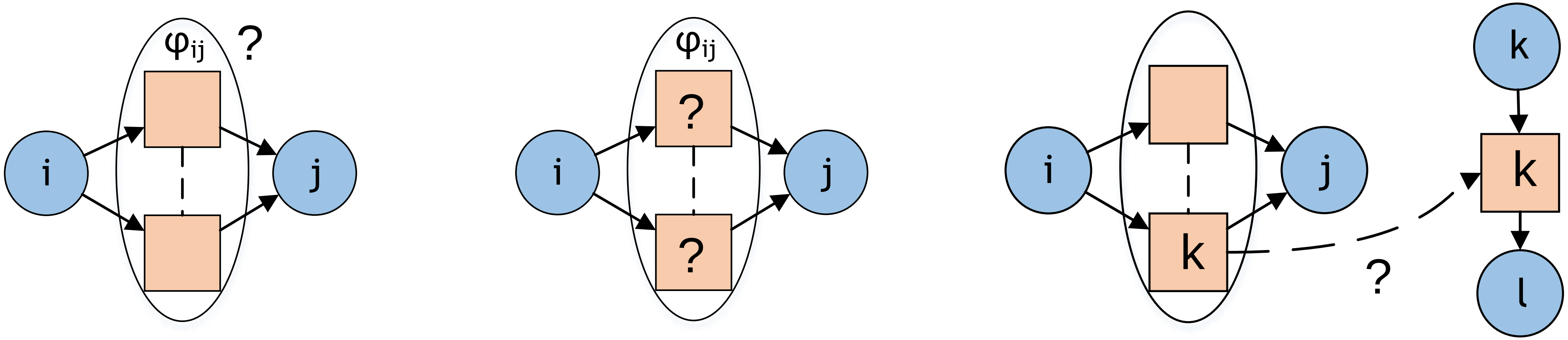
1. Définir la quantité x à transporter entre deux activités $(x \leq \varphi_{ij})$
2. Affecter un <u>véhicule</u> <u>v</u> pour transporter les ressources entre les activités.
3. Ordonner les transports pour former les tournées

IDÉE POUR LA FONCTION D'ÉVALUATION

Dans les problèmes classiques avec transport, on connait les opérations de transport. → FLOT

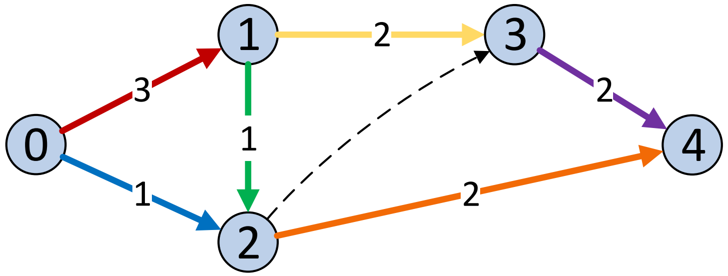


Inconnu → Le nombre réel d'opération de transport, avec les quantités
→ L'affectation des véhicules aux opérations de transport
→ Les disjonctions entre les opérations de transport réalisées pas le même véhicule

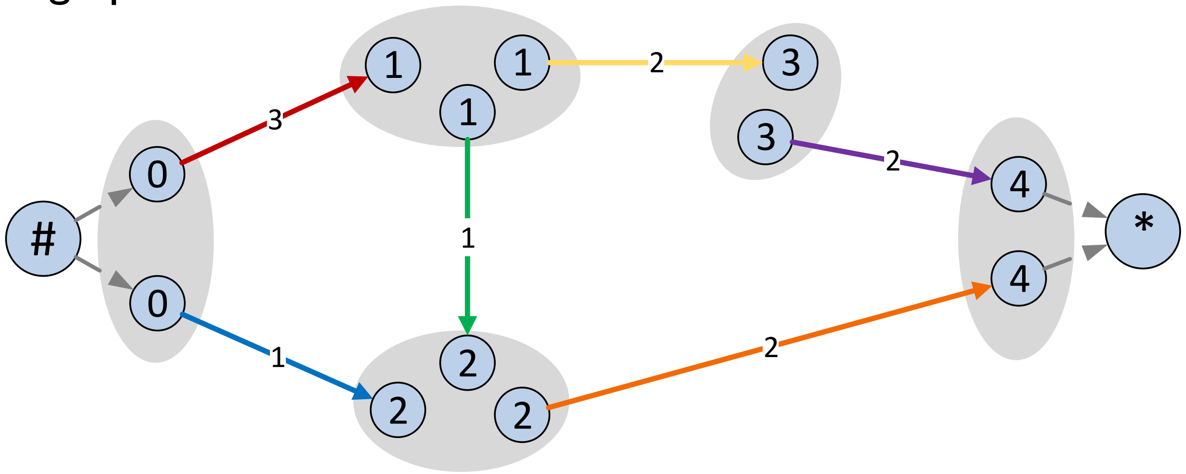


INTRODUCTION D'UN GRAPHE POUR MODÉLISER LE PROBLÈME

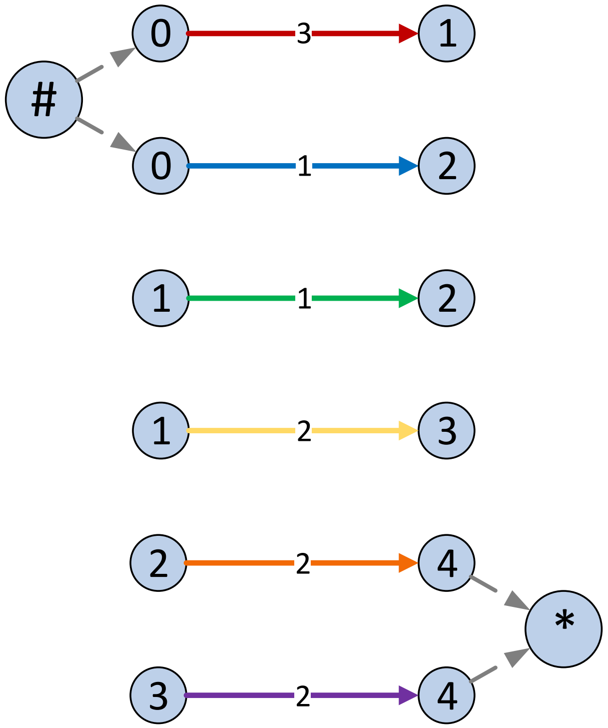
A partir d'un flot :



Le graphe auxiliaire :



Le graphe auxiliaire représenté verticalement :



Corberan et al. (2017) for the Chinese Postman Problem (CCP)

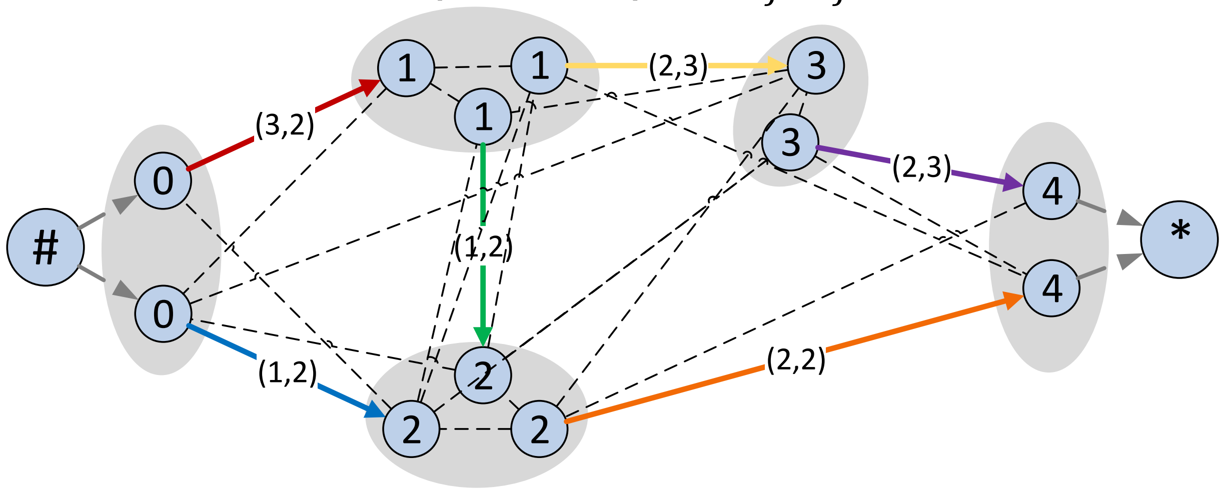
INTRODUCTION D'UN GRAPHE POUR MODÉLISER LE PROBLÈME

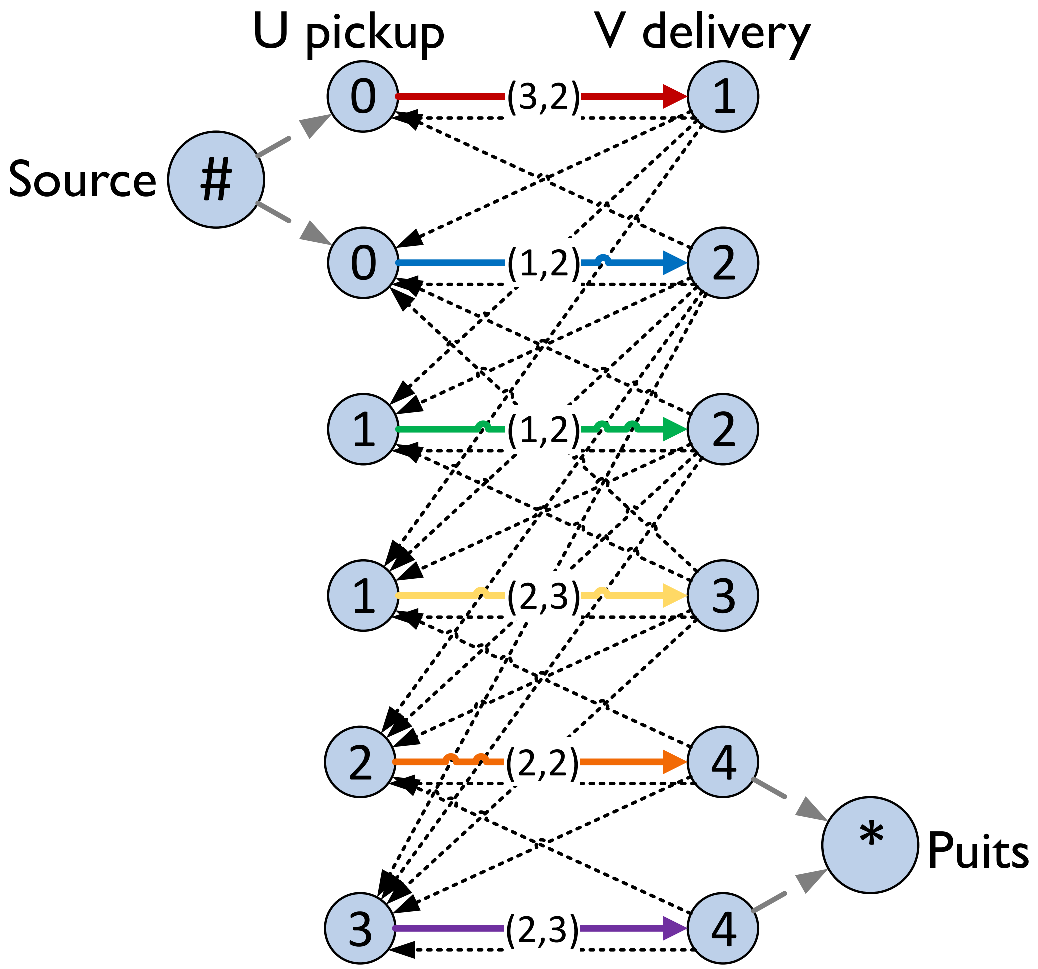
Création d'un graphe $T^{\varphi}(N, U, V, E, F)$ à partir d'une flot φ

- N : nœud source et nœud puits
- U : ensemble des nœuds de collecte (pickup)
- V : ensemble des noeuds de livraison (delivery)
- E : arc modélisant une opération de transport (flot non nul)
- F : arc modélisant les déplacements des véhicules

entre les opérations de transport (flot nul)

Un arc (i, j)est définit par le couple (φ_{ij}, t_{ij}).





CARP avec Split Delivery → un arc = une ou plusieurs opérations de transport

ALGORITHME :
PLUS COURT CHEMIN À CONTRAINTE DE RESSOURCES

Plus court chemin dans un graphe → Label

<u>Informations importantes :</u>

- Evaluation de la solution - Le coût
- L'état des véhicules

Où est le véhicule ? Position

A quelle date peut-il collecter/livrer les ressources ? Dates de disponibilité des véhicules

- L'état des activités

L'activité peut-elle avoir lieu à cette date ? Dates de début des activités (précédences)

- L'état des ressources

Quelle quantité a-t-on déjà transportée sut chaque arc ? Quantité de ressources restante à transporter sur un arc

- Activités ↔ Ressources

Un activité a-t-elle toutes ses ressources pour débuter ? Quantité de ressources restante à transporter pour une activité

- Activités ↔ Véhicules

A quelle date un véhicule peut-il collecter/livrer les ressources sur une activité ? Dates véhicules ↔ Dates activités

ALGORITHME : PLUS COURT CHEMIN À CONTRAINTE DE RESSOURCES

Pour trouver le plus court chemin dans le graphe $T^{\varphi}(U, V, E, F)$:

- Un label permettant de définir l'état global du système (activités, véhicules et les ressources)
- Une règle de propagation pour créer un label à partir d'un autre en fonction de l'arc et du véhicule affecté
- Une règle de dominance pour limiter le nombre de label généré en conservant l'optimalité

Définition du label, $L(f, S, R)$:

f : fonction objectif (évaluation de la solution partielle/finale)

S : état du système avec :

- position, date d'arrivée et de départ de chaque véhicule;
- date de début des activités.

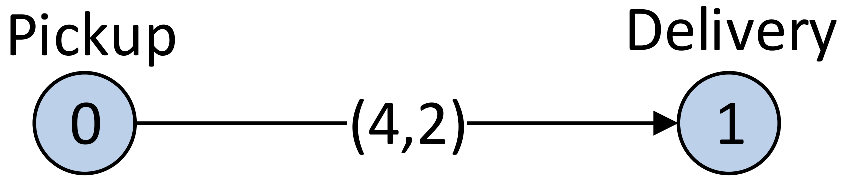
R : état des ressources avec :

- la quantité de ressources restante à transporter sur un arc (entre deux activités);
- la quantité de ressources restante à transporter pour une activité.

ALGORITHME : PLUS COURT CHEMIN À CONTRAINTE DE RESSOURCES

Pour trouver le plus court chemin dans le graphe $T^{\varphi} = (U, V, E, F)$:

- Un label permettant de définir l'état global du système (activités, véhicules et les ressources)
- Une règle de propagation pour créer un label à partir d'un autre en fonction de l'arc et du véhicule affecté
- Une règle de dominance pour limiter le nombre de label généré en conservant l'optimalité



(0,0,0,0,0,0 | 0,-∞,-∞,-∞,-∞ | 4,4,2,5,1,3,2 | 0,5,4,2,10) (0)

(1,0,2,0,2,0 | 0,2,-∞,-∞,-∞ | 0,4,2,5,1,3,2 | 0,1,4,2,10) (0)

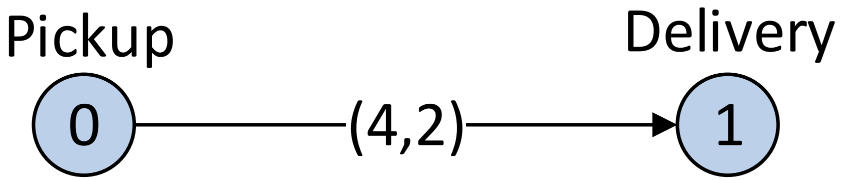
Informations à mettre à jour :

- La position du véhicule / date d'arrivé / date de départ
- La date de début de l'activité sur laquelle vient de s'opérer la livraison
- L'état des ressources sur l'arc et sur l'activité sur laquelle vient de s'opérer la livraison

ALGORITHME : PLUS COURT CHEMIN À CONTRAINTE DE RESSOURCES

Pour trouver le plus court chemin dans le graphe $T^{\varphi} = (U, V, E, F)$:

- Un label permettant de définir l'état global du système (activités, véhicules et les ressources)
- Une règle de propagation pour créer un label à partir d'un autre en fonction de l'arc et du véhicule affecté
- Une règle de dominance pour limiter le nombre de labels générés en conservant l'optimalité



(1,0,2,0,2,0 | 0,2,-∞,-∞,-∞ | 0,4,2,5,1,3,2 | 0,1,4,2,10) (0)

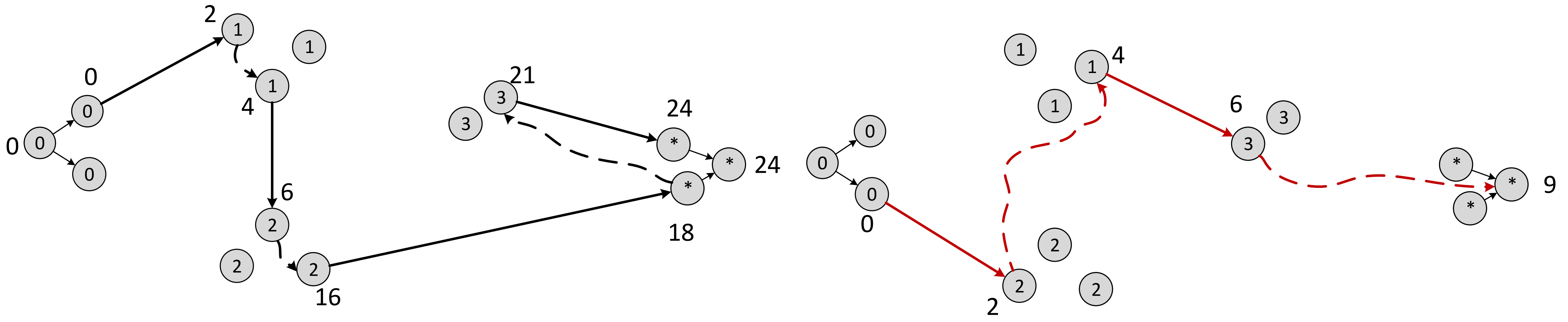
$\boxed{\text{(1,0,6,0,6,0 | 0,6,4,-∞,-∞ | 0,0,2,5,1,3,2 | 0,1,0,2,10) (0)}}$

(1,0,4,0,4,0 | 0,2,4,-∞,-∞ | 0,0,2,5,1,3,2 | 0,1,0,2,10) (0)

P domine L si :

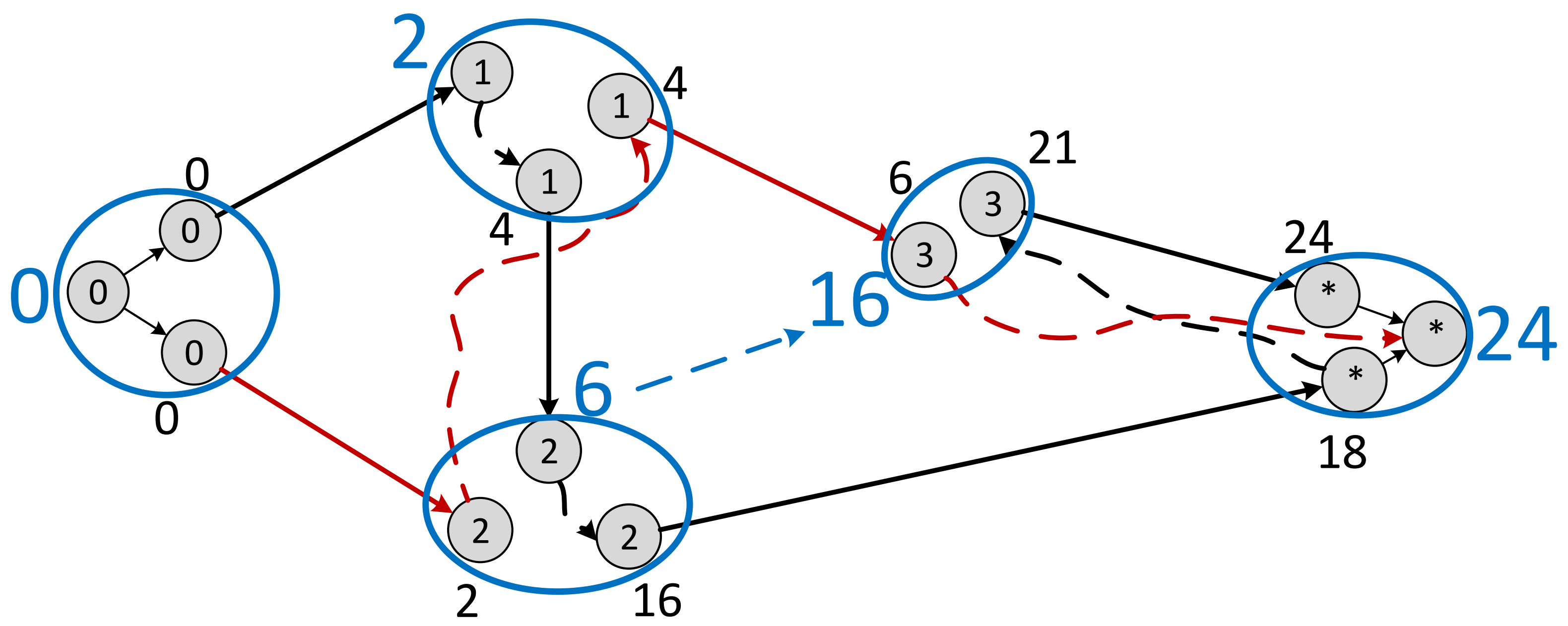
- La position des véhicules est identiques
- $\forall\, i \in [N+1, 2N+2n+nf], P[i] \leq L[i]$
- $\exists\, i \in [N+1, 2N+2n+nf], P[i] < L[i]$

UNE SOLUTION



Tournée du véhicule 1
Tournée du véhicule 2

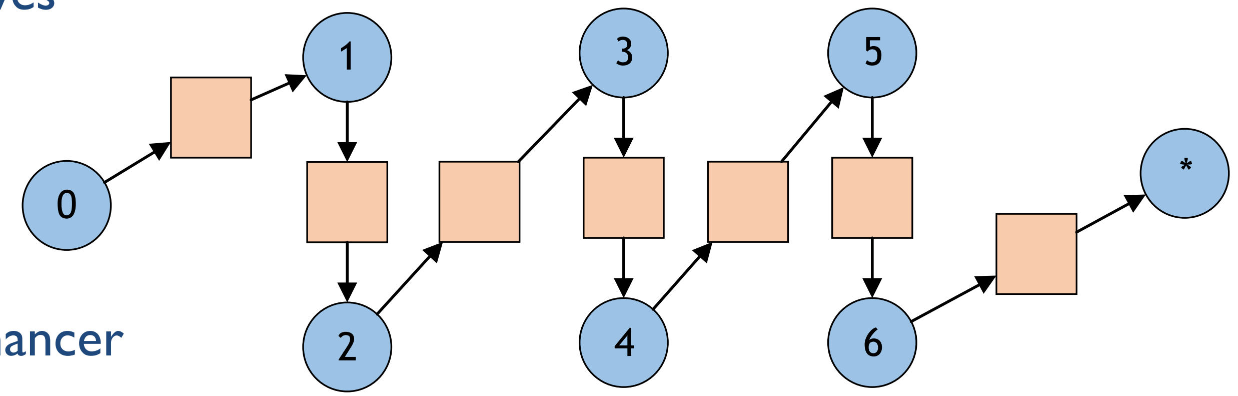
UNE SOLUTION



Tournée du véhicule 1
Tournée du véhicule 2

RÉSULTATS NUMÉRIQUES

- 18 instances avec 6 activités + 2 activités fictives



→ 6 activités à ordonnancer

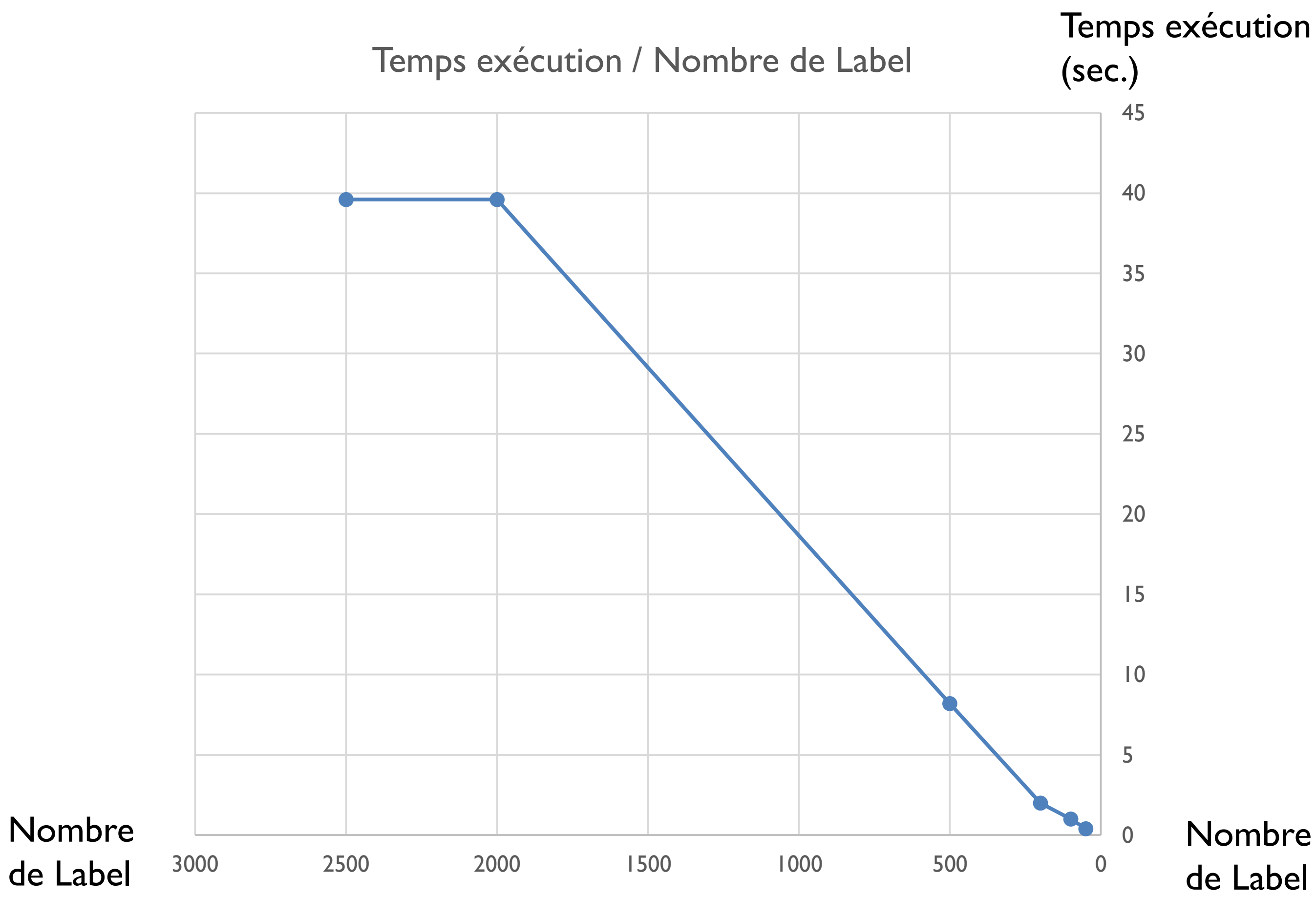
→ Minimum 7 opérations de transport à ordonnancer

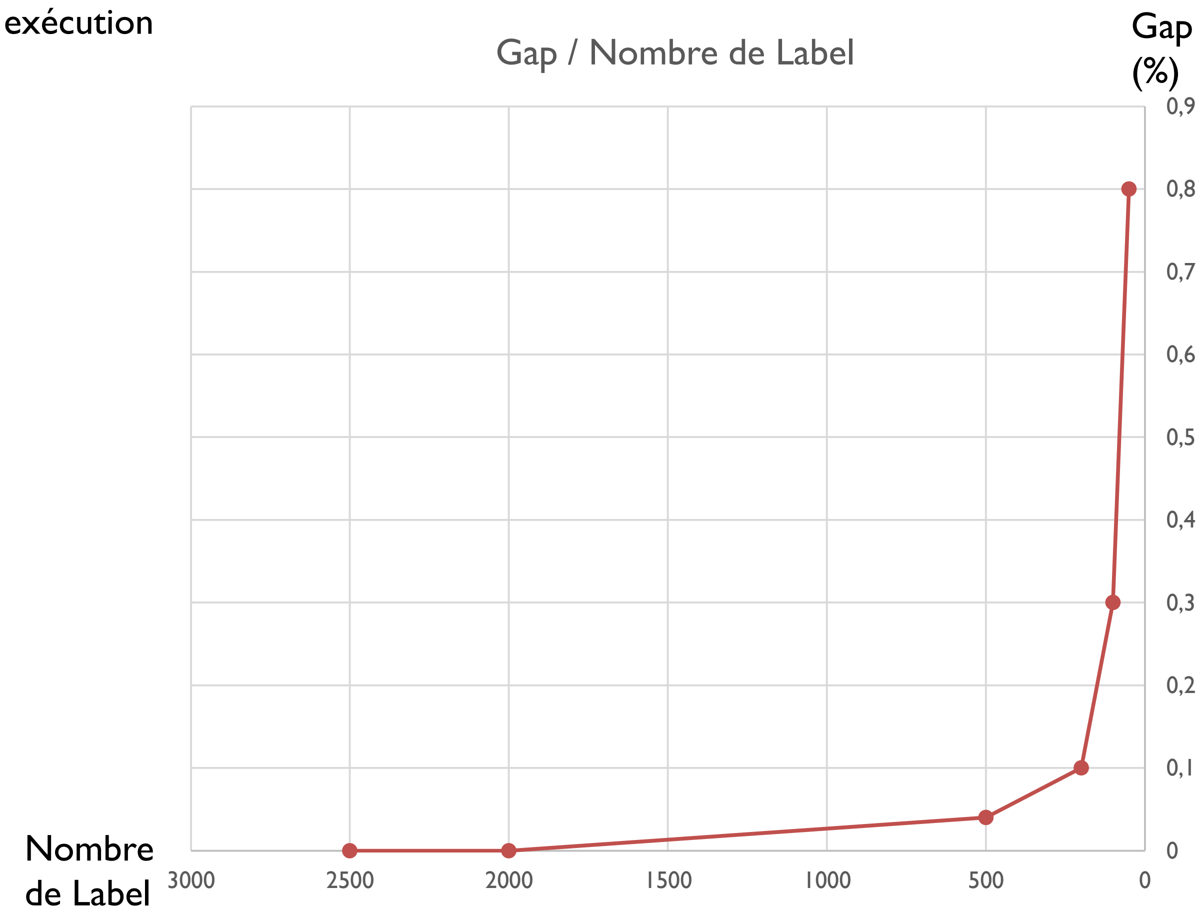
→ Minimum 13 opérations à ordonnancer

→ Affectation

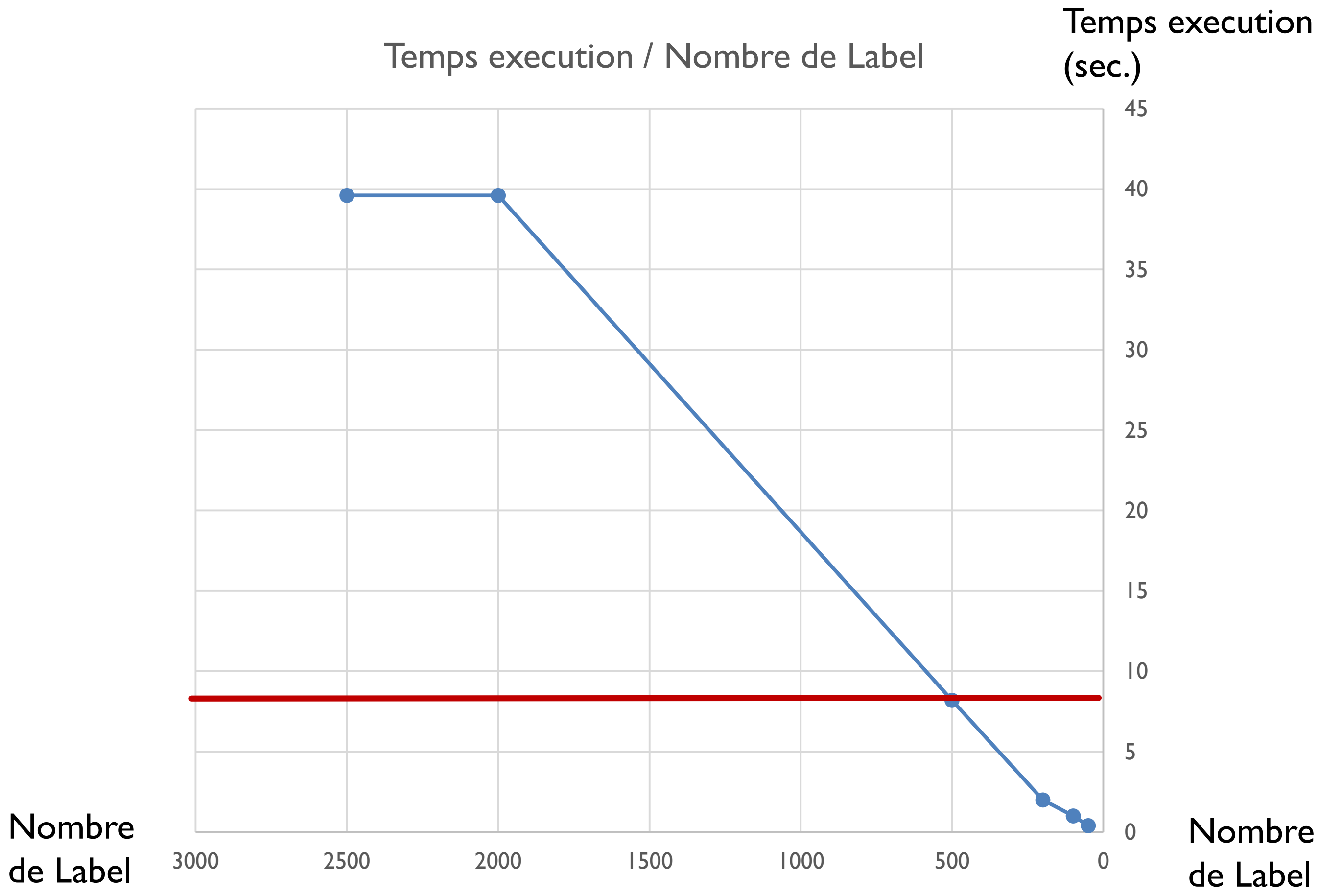
- 18 instances → Répartition des activités
  → Quantité de ressource disponible
  → Capacité des véhicules …

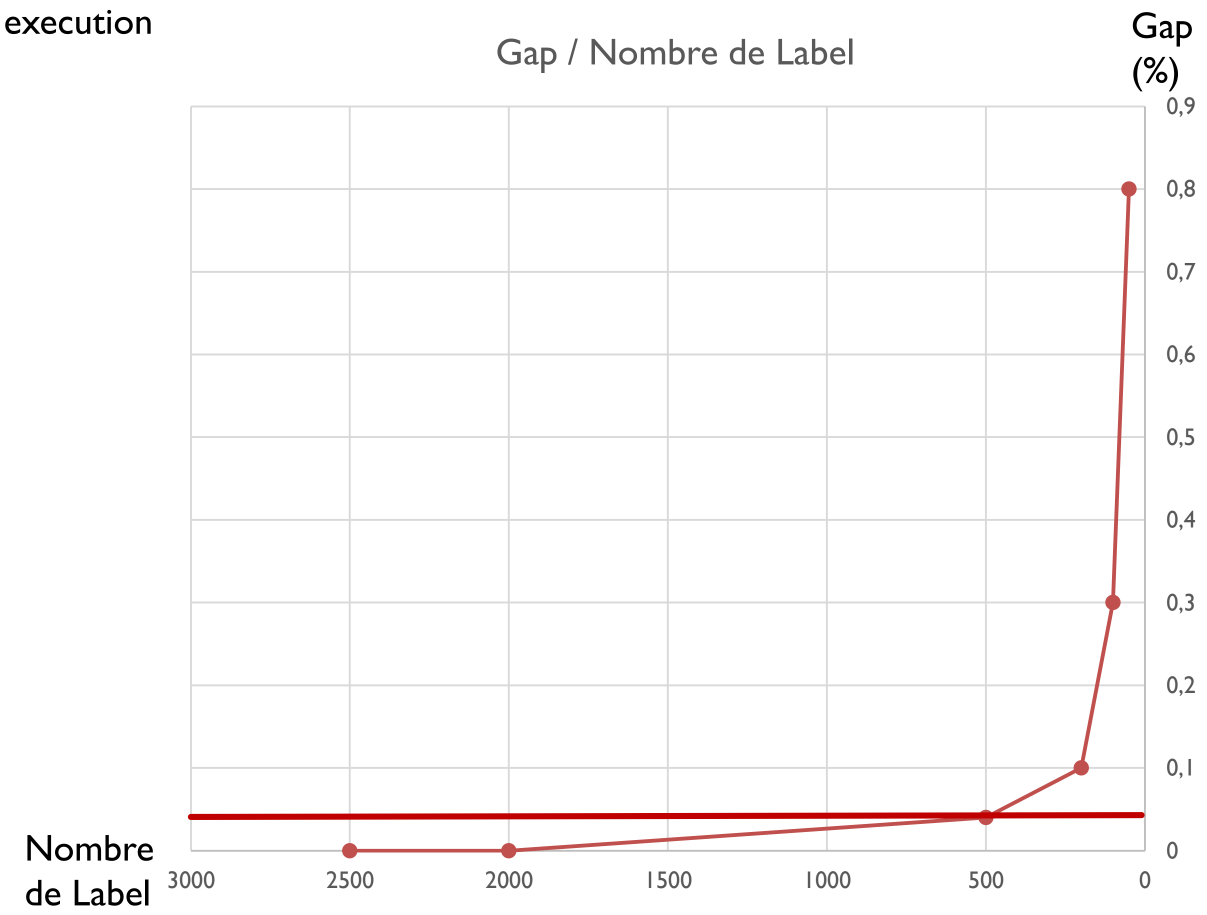
RÉSULTATS NUMÉRIQUES





RÉSULTATS NUMÉRIQUES





RÉSULTATS NUMÉRIQUES SUR 10 FLOTS ALEATOIRES POUR CHAQUE INSTANCE

	CPLEX optimal resolution		**Shortest path resolution (NL=500)**			
Instances	$\overline{h_C(x,\mathrm{r})}$	$\overline{t_C(x,r)}$	$\overline{h_{SP}(x,\mathrm{r})}$	$n_{SP}(x,r)$	$\overline{t_{SP}(x,r)}$	$\overline{g(x,r)}$
LMQV_U1	101.5	46.6	101.5	10/10	10.6	0.00 %
LMQV_U2	198.5	37.2	198.7	9/10	10.2	0.09 %
LMQV_U3	246.6	29.0	246.6	10/10	11.9	0.00 %
LMQV_U4	123.3	31.0	123.3	10/10	3.6	0.00 %
LMQV_U5	247.1	32.3	247.1	10/10	4.3	0.00 %
LMQV_U6	288.1	34.5	288.1	10/10	7.0	0.00 %
LMQV_U7	128.4	9.9	128.4	10/10	2.2	0.00 %
LMQV_U8	261.1	9.3	261.1	10/10	2.4	0.00 %
LMQV_U9	276.1	9.2	276.1	10/10	2.5	0.00 %
LMQV_C1	78.6	11.1	78.6	10/10	0.0	0.00 %
LMQV_C2	135.6	9.0	135.6	10/10	0.0	0.00 %
LMQV_C3	160.6	10.0	160.6	10/10	0.0	0.00 %
LMQV_C4	45.2	10.5	45.3	9/10	21.1	0.20 %
LMQV_C5	92.0	12.2	92.3	9/10	25.8	0.28 %
LMQV_C6	94.6	12.2	94.8	9/10	24.6	0.19 %
LMQV_C7	66.4	5.6	66.4	10/10	6.3	0.00 %
LMQV_C8	132.6	5.2	132.6	10/10	10.2	0.00 %
LMQV_C9	136.7	5.7	136.7	10/10	5.2	0.00 %
$\overline{g(.,r)}$						0.04 %
$\overline{t_*(.,r)}$		17.8			8.2	
$\overline{n_{SP}(.,r)}$				9.99		
$n_{SP}(.,.)$				176/180		

RÉSULTATS NUMÉRIQUES SUR 10 FLOTS ALEATOIRES POUR CHAQUE INSTANCE

	CPLEX optimal resolution		Shortest path resolution (NL=500)			
Instances	$\overline{h_C(x,\mathrm{r})}$	$\overline{t_C(x,r)}$	$\overline{h_{SP}(x,\mathrm{r})}$	$n_{SP}(x,r)$	$\overline{t_{SP}(x,r)}$	$\overline{g(x,r)}$
LMQV_U1	101.5	46.6	101.5	10/10	10.6	0.00 %
LMQV_U2	198.5	37.2	198.7	9/10	10.2	0.09 %
LMQV_U3	246.6	29.0	246.6	10/10	11.9	0.00 %
LMQV_U4	123.3	31.0	123.3	10/10	3.6	0.00 %
LMQV_U5	247.1	32.3	247.1	10/10	4.3	0.00 %
LMQV_U6	288.1	34.5	288.1	10/10	7.0	0.00 %
LMQV_U7	128.4	9.9	128.4	10/10	2.2	0.00 %
LMQV_U8	261.1	9.3	261.1	10/10	2.4	0.00 %
LMQV_U9	276.1	9.2	276.1	10/10	2.5	0.00 %
LMQV_C1	78.6	11.1	78.6	10/10	0.0	0.00 %
LMQV_C2	135.6	9.0	135.6	10/10	0.0	0.00 %
LMQV_C3	160.6	10.0	160.6	10/10	0.0	0.00 %
LMQV_C4	45.2	10.5	45.3	9/10	21.1	0.20 %
LMQV_C5	92.0	12.2	92.3	9/10	25.8	0.28 %
LMQV_C6	94.6	12.2	94.8	9/10	24.6	0.19 %
LMQV_C7	66.4	5.6	66.4	10/10	6.3	0.00 %
LMQV_C8	132.6	5.2	132.6	10/10	10.2	0.00 %
LMQV_C9	136.7	5.7	136.7	10/10	5.2	0.00 %
$\overline{g(.,r)}$						0.04 %
$\overline{t_*(.,r)}$		17.8			8.2	
$\overline{n_{SP}(.,r)}$				9.99		
$n_{SP}(.,.)$				176/180		

RÉSULTATS NUMÉRIQUES SUR 10 FLOTS ALEATOIRES POUR LA PREMIÈRE INSTANCE

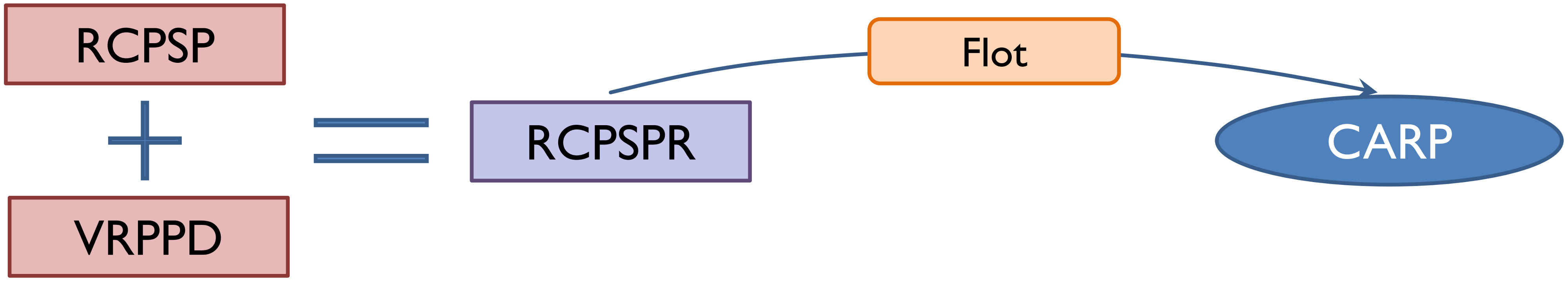
		CPLEX optimal resolution		Shortest path resolution (NL=500)		
Flow	RCPSP Solution	$\overline{h_C(x,1)}$	$\overline{t_C(x,1)}$	$\overline{h_{SP}(x,1)}$	$\overline{t_{SP}(x,1)}$	$\overline{h_C(x,1)}$
1	19*	95	20.4	95	22.5	0.0 %
2	19	115	97.1	115	25.0	0.0 %
3	20	87	20.3	87	0.1	0.0 %
4	20	117	115.7	117	22.3	0.0 %
5	21	96	22.8	96	1.3	0.0 %
6	22	99	27.7	99	5.8	0.0 %
7	23	86	26.1	86	5.2	0.0 %
8	23	105	40.7	105	1.5	0.0 %
9	24	102	30.5	102	1.0	0.0 %
10	24	113	65.2	113	23.4	0.0 %

RÉSULTATS NUMÉRIQUES SUR 10 FLOTS ALEATOIRES POUR LA PREMIÈRE INSTANCE

		CPLEX optimal resolution		Shortest path resolution (NL=500)		
Flow	RCPSP Solution	$\overline{h_C(x,1)}$	$\overline{t_C(x,1)}$	$\overline{h_{SP}(x,1)}$	$\overline{t_{SP}(x,1)}$	$\overline{h_C(x,1)}$
1	19*	95	20.4	95	22.5	0.0 %
2	19	115	97.1	115	25.0	0.0 %
3	20	87	20.3	87	0.1	0.0 %
4	20	117	115.7	117	22.3	0.0 %
5	21	96	22.8	96	1.3	0.0 %
6	22	99	27.7	99	5.8	0.0 %
7	23	86	26.1	86	5.2	0.0 %
8	23	105	40.7	105	1.5	0.0 %
9	24	102	30.5	102	1.0	0.0 %
10	24	113	65.2	113	23.4	0.0 %

CONCLUSION

- Un nouveau problème : RCPSP avec Routing (RCPSPR)

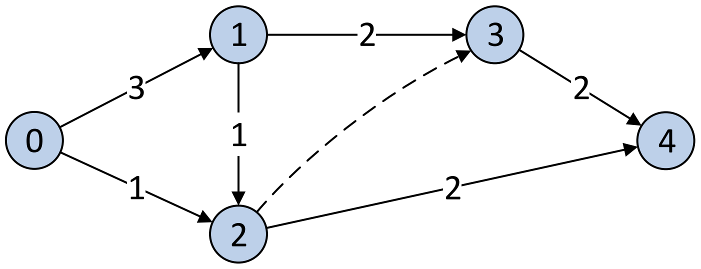


- Résolution basée sur un algorithme de plus court chemin à contrainte de ressources
  - A partir d'un flot / RCPSP solution
  - Pour obtenir une solution optimal du RCPSPR

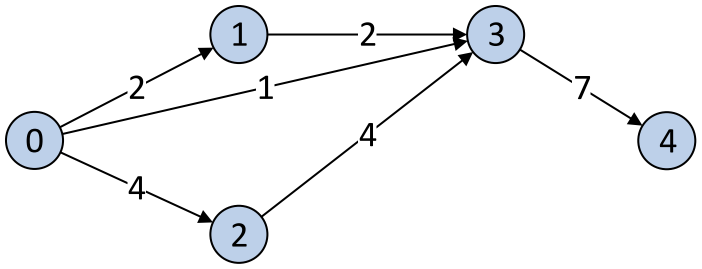
- Suite de travaux
  - Prendre en compte le cas multi-ressources
  - Définir un flux et non plus un flot
  - Introduction de notions de qualité de services

MULTI-RESSOURCES

Flot pour R1:



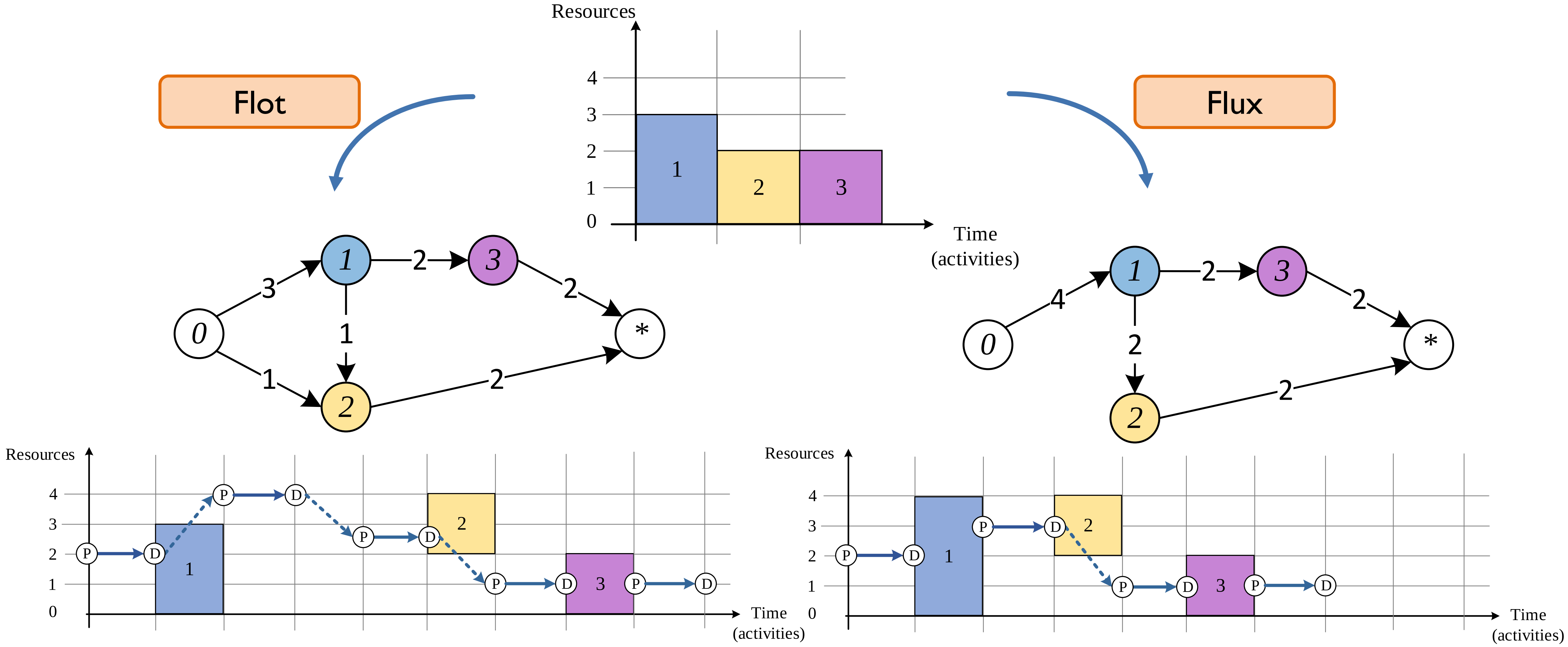
Flot pour R2:



Activité	Demande R1 / R2
0	/
1	3 / 2
2	2 / 4
3	2 / 7
4	/

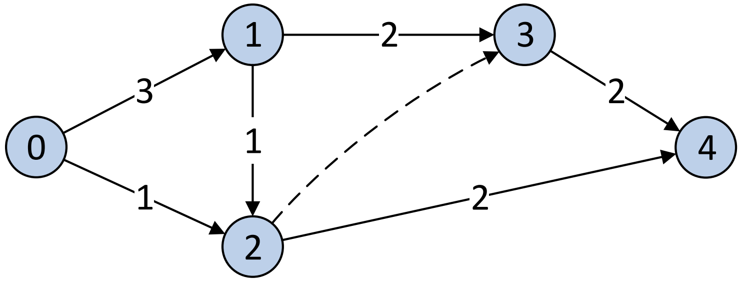
- Impact des ressources sur les véhicules, volume identique ?
- Conflits ou non dans le transport de ressources différentes

FLOT ≠ FLUX



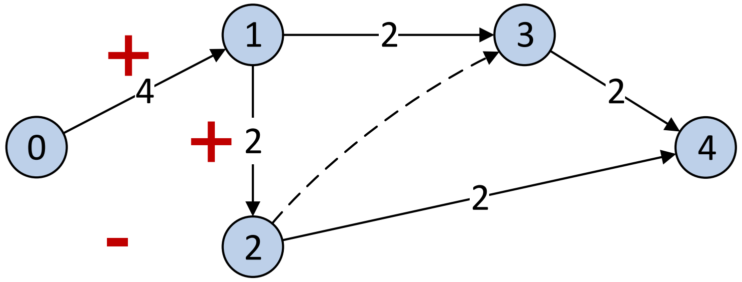
Resources
4
3
2
1
0
1
2
3
Time (activities)
Flot
Flux
0
1
2
3
*
3
2
1
1
2
2
4
2
2
2
2
Resources
P
D
1
2
3
Time (activities)

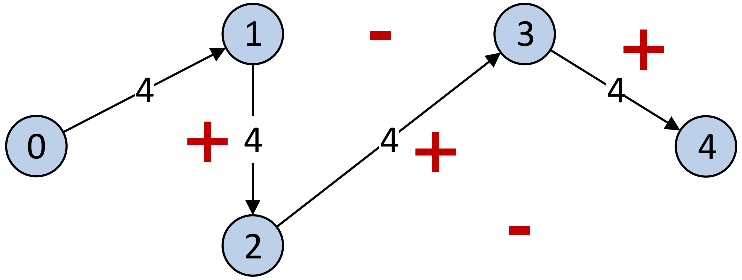
PLUSIEURS FLOTS POUR UNE MÊME INSTANCE



Activité	Demande
0	/
1	5
2	4
3	2
4	/

Flots supérieurs aux demandes des clients :





- Mesurer impact sur le makespan
- Mesurer impact sur la qualité de service (une seule livraison)
- Mesurer impact sur les couts annexes (stockage des ressources non utilisées)

Merci