



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0

Apprendre la sensibilité d'un ordonnancement en analysant le processus de recherche

Marc-André Ménard, Ph.D. student

marc-andre.menard.2@ulaval.ca

Claude-Guy Quimper, Professeur

Jonathan Gaudreault, Professeur





[multiplier la perfection]

- Entreprise œuvrant dans le domaine aéronautique et militaire.
- Usinage de haute précision.
- Développe un logiciel Meta4.0 pour aider la production et la gestion de l'entreprise.



**CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0**



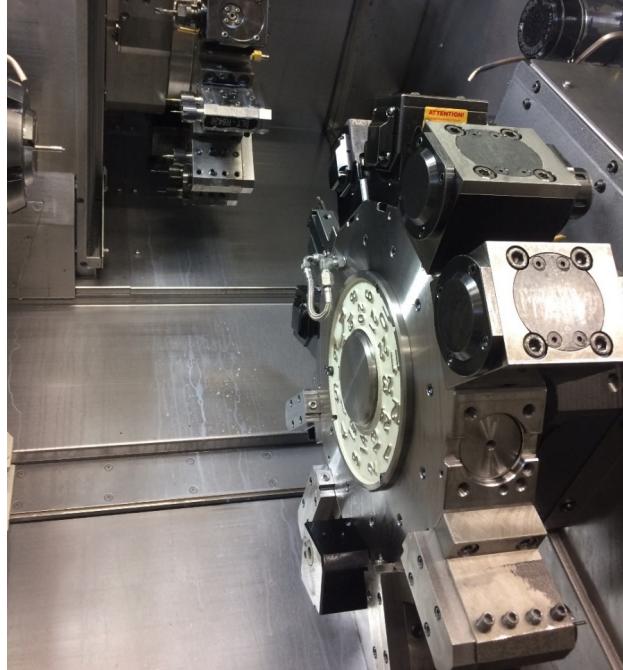
Machine à commande numérique



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



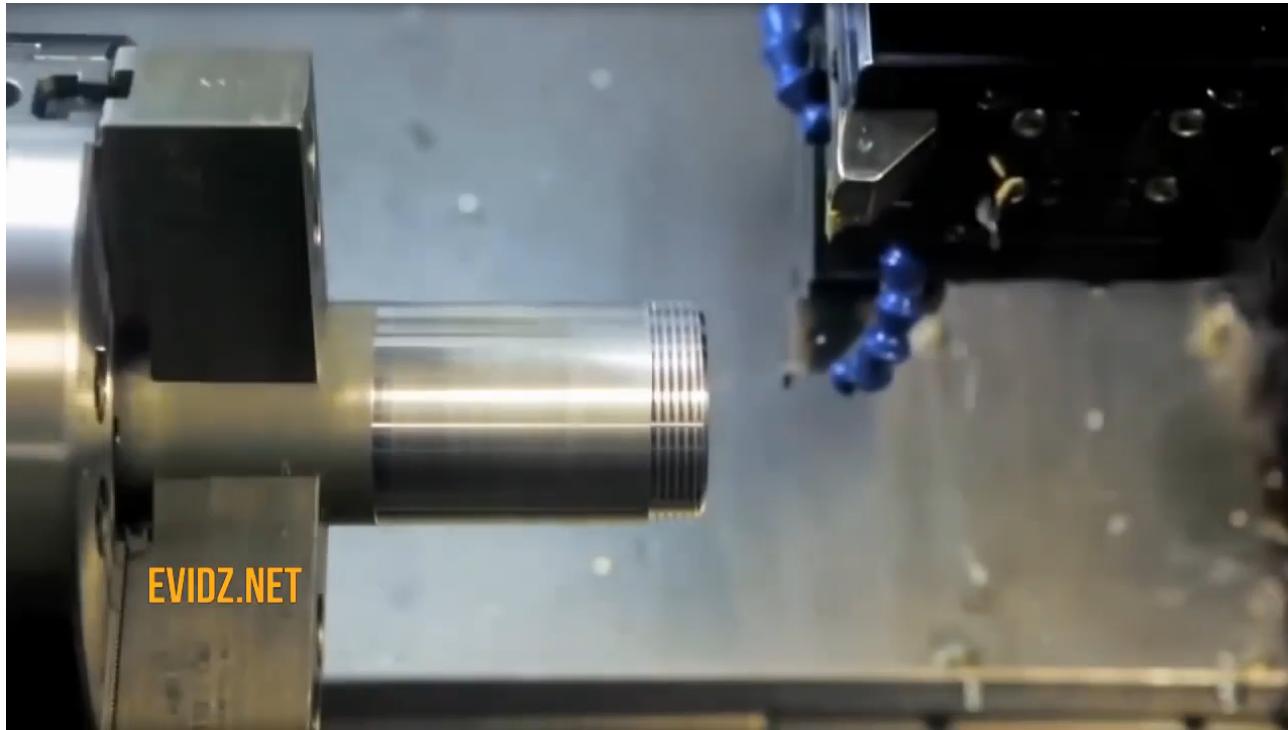
Tourelle dans une machine CNC



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



Usinage par extraction



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



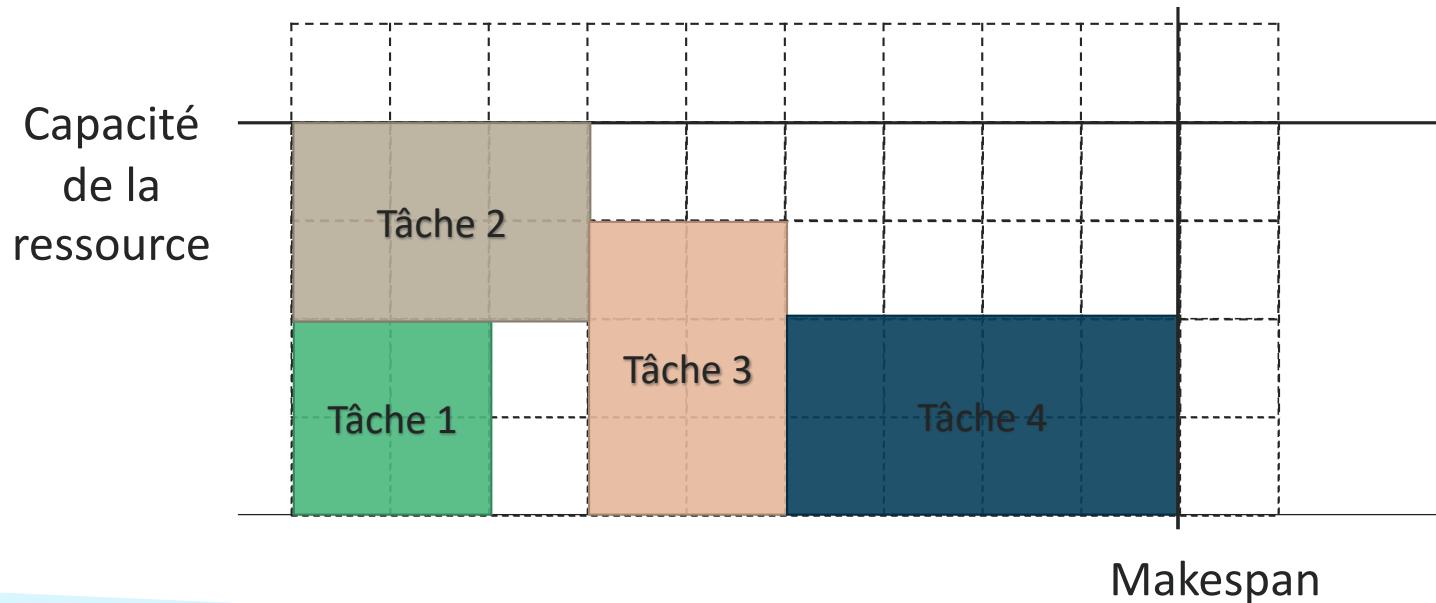
UNIVERSITÉ
LAVAL

Plan de production



“What if”

- En analysant la solution retourné par le solveur, nous pouvons avoir plusieurs questions.



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0

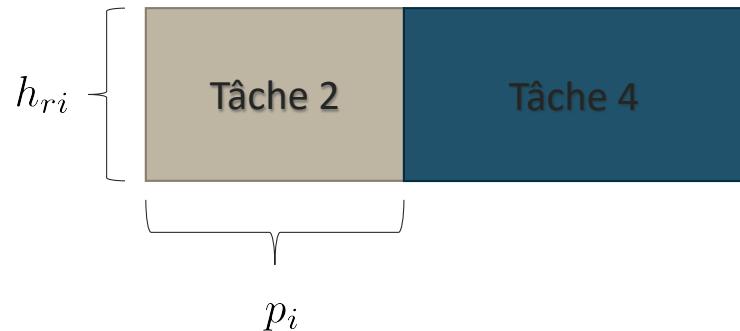


UNIVERSITÉ
LAVAL

Resource-Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP)

- Tâches

- Temps d'exécution p_i
- Quantité de ressources requises h_{ri}
- Temps de début S_i
- Précérences entre les tâches $S_i + p_i \leq S_j$

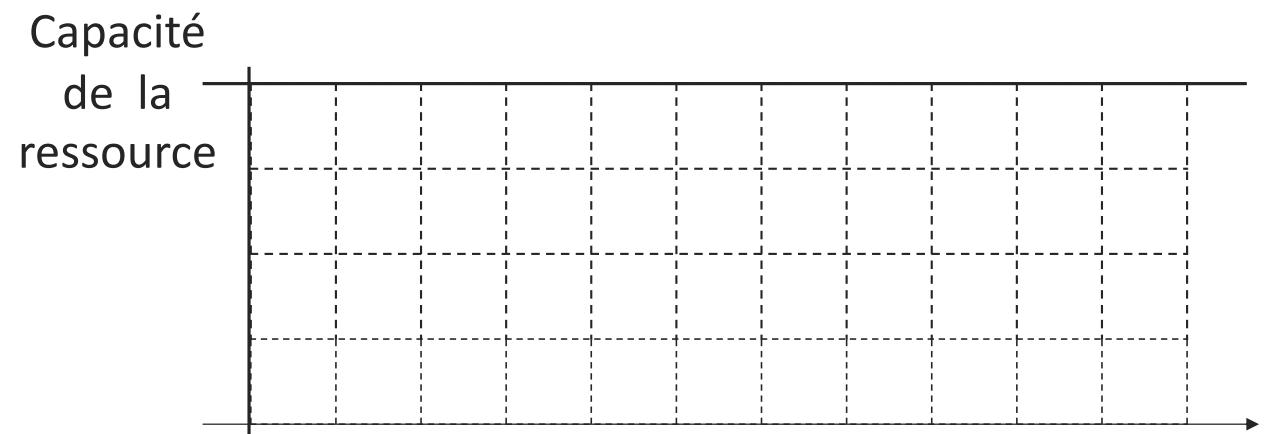


CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



Resource-Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP)

- Ressources
 - Capacité

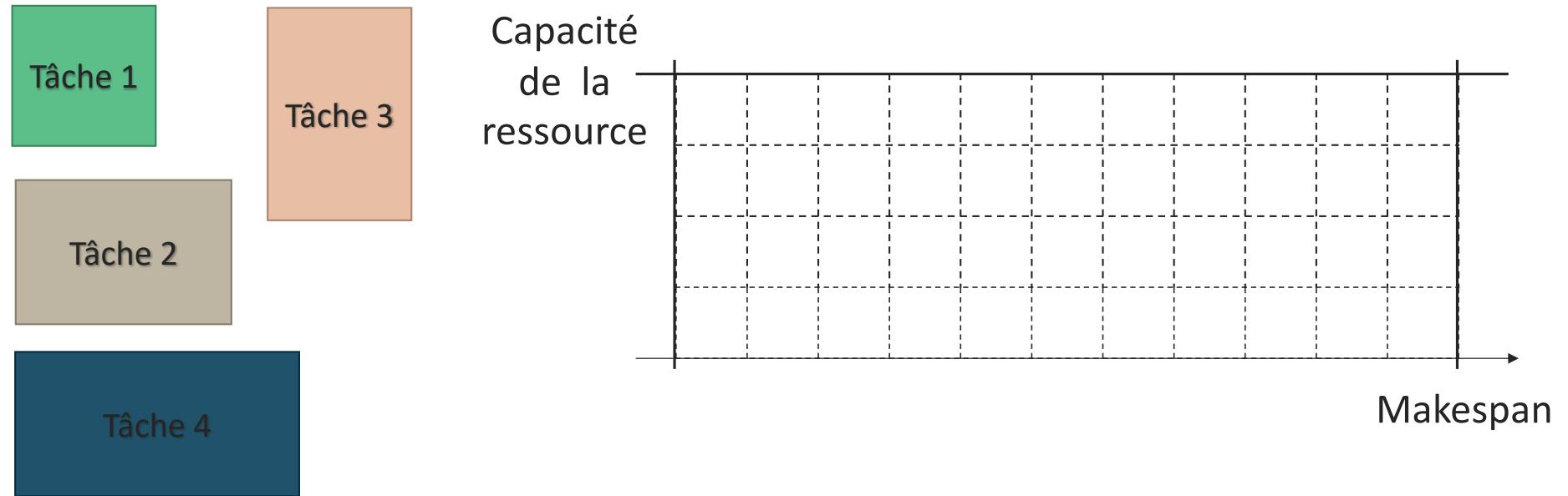


CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Resource-Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP)



- Minimiser le temps pour terminer toutes les tâches (Makespan) tout en respectant les précédences et la capacité des ressources



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

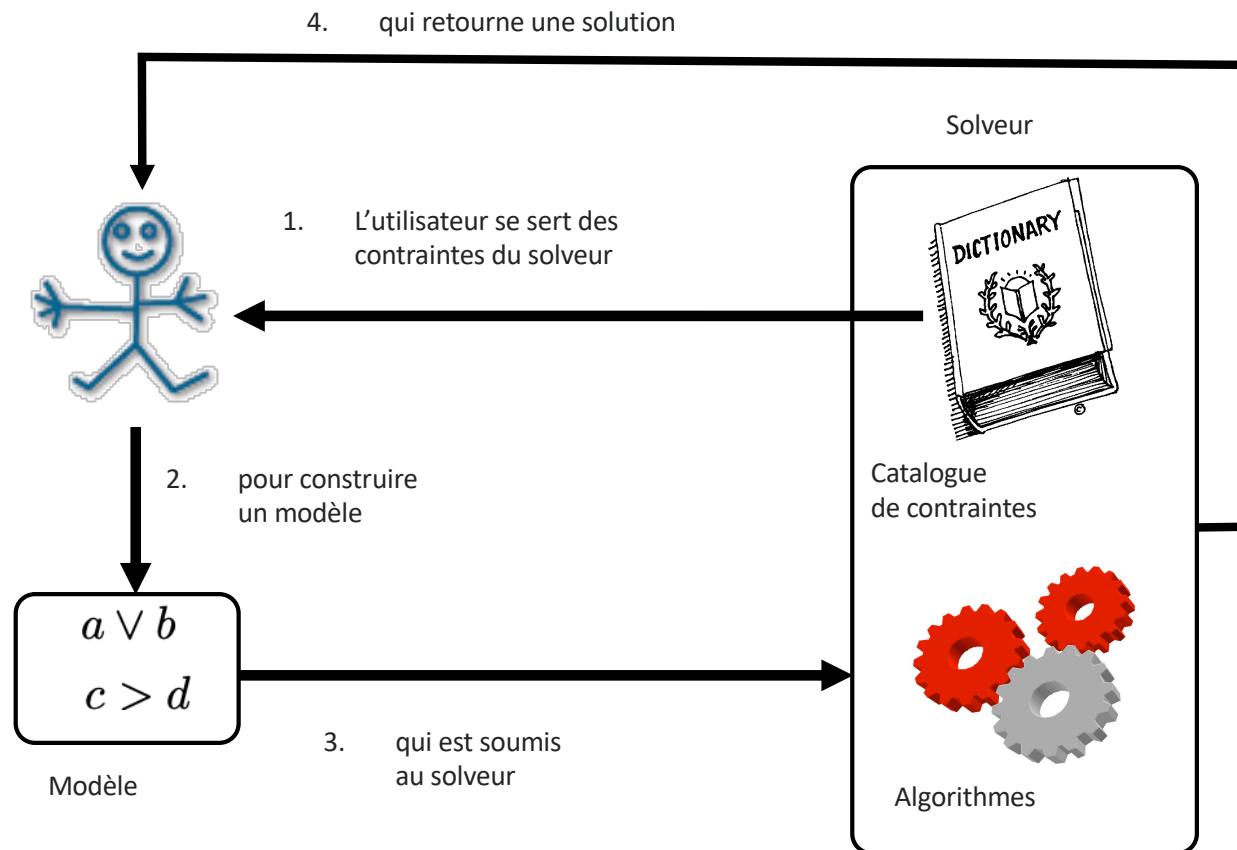
Programmation par contraintes

- C'est une technique de résolution de problèmes combinatoires.
- L'utilisateur décrit son problème en utilisant un langage informatique.
- Un solveur résout le problème.
- L'utilisateur n'a pas à dire comment résoudre le problème.



**CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0**





CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Modèle pour le problème RCPSP

Ensembles I : ensembles des tâches

R : ensembles des ressources

Q : ensembles des précédences entre les tâches

Paramètres t_{\max} : horizon de planification

p_i : temps d'exécution de la tâche i

h_{ri} : nombre de ressources r nécessaire pour l'exécution de la tâche i

c_r : capacité de la ressource r

Variables $S_i \in \{0, \dots, t_{\max}\} \quad \forall i \in I$

$M \in \{0, \dots, t_{\max}\}$

Contraintes $S_i + p_i \leq S_j \quad \forall (i, j) \in Q$

$\text{Cumulative}(S, p, h_r, c_r) \quad \forall r \in R$

$S_i + p_i \leq M \quad \forall i \in I$

minimiser M



**CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0**



Recherche dans un arbre

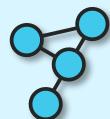
Variables $X \in \{0, \dots, 10\}$

$Y \in \{2, 3\}$

$Z \in \{2, \dots, 15\}$

Contraintes $X + Y \leq Z$

$Y \neq Z$



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Recherche dans un arbre

Variables $X \in \{0, \dots, 10\}$

$Y \in \{2, 3\}$

$Z \in \{2, \dots, 15\}$

Contraintes $X + Y \leq Z$

$Y \neq Z$

$$X \in \{0, 1, \dots, 10\}$$

$$Y \in \{2, 3\}$$

$$Z \in \{2, 3, \dots, 15\}$$



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



Recherche dans un arbre

Variables $X \in \{0, \dots, 10\}$

$Y \in \{2, 3\}$

$Z \in \{2, \dots, 15\}$

Contraintes $X + Y \leq Z$

$Y \neq Z$

$X \in \{0, 1, \dots, 10\}$

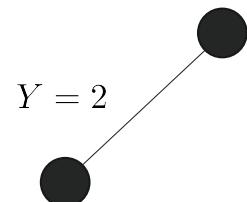
$Y \in \{2, 3\}$

$Z \in \{2, 3, \dots, 15\}$

$X \in \{0, 1, \dots, 10\}$

$Y \in \{2\}$

$Z \in \{2, 3, \dots, 15\}$



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Recherche dans un arbre

Variables $X \in \{0, \dots, 10\}$

$Y \in \{2, 3\}$

$Z \in \{2, \dots, 15\}$

Contraintes $X + Y \leq Z$

$\mathbf{Y} \neq \mathbf{Z}$

$X \in \{0, 1, \dots, 10\}$

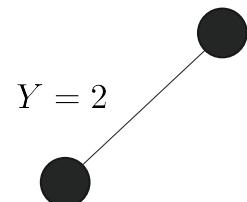
$Y \in \{2, 3\}$

$Z \in \{2, 3, \dots, 15\}$

$X \in \{0, 1, \dots, 10\}$

$Y \in \{2\}$

$Z \in \{3, 4, \dots, 15\}$



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



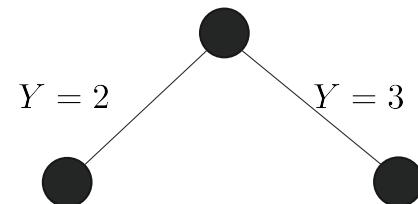
UNIVERSITÉ
LAVAL

Recherche dans un arbre

Variables $X \in \{0, \dots, 10\}$
 $Y \in \{2, 3\}$
 $Z \in \{2, \dots, 15\}$
Contraintes $X + Y \leq Z$
 $\mathbf{Y} \neq \mathbf{Z}$

$X \in \{0, 1, \dots, 10\}$
 $Y \in \{2, 3\}$
 $Z \in \{2, 3, \dots, 15\}$

$X \in \{0, 1, \dots, 10\}$
 $Y \in \{2\}$
 $Z \in \{3, 4, \dots, 15\}$



$X \in \{0, \dots, 10\}$
 $Y \in \{3\}$
 $Z \in \{2, 4, \dots, 15\}$

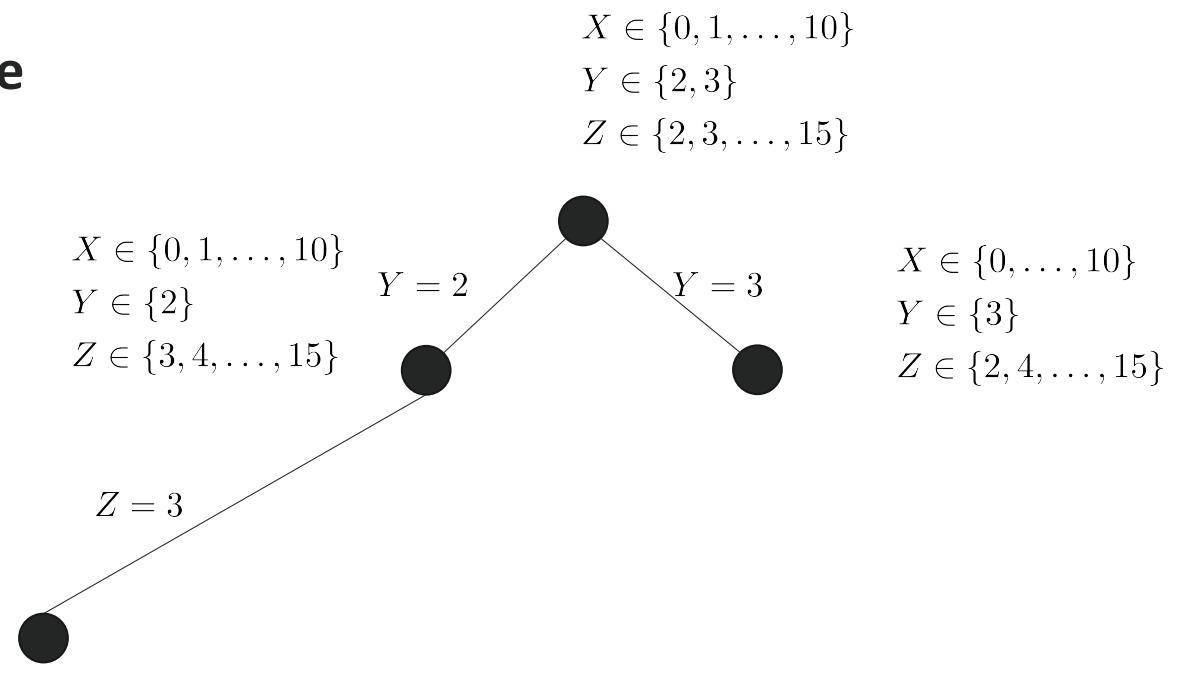


CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



Recherche dans un arbre

Variables $X \in \{0, \dots, 10\}$
 $Y \in \{2, 3\}$
 $Z \in \{2, \dots, 15\}$
Contraintes $X + Y \leq Z$
 $Y \neq Z$

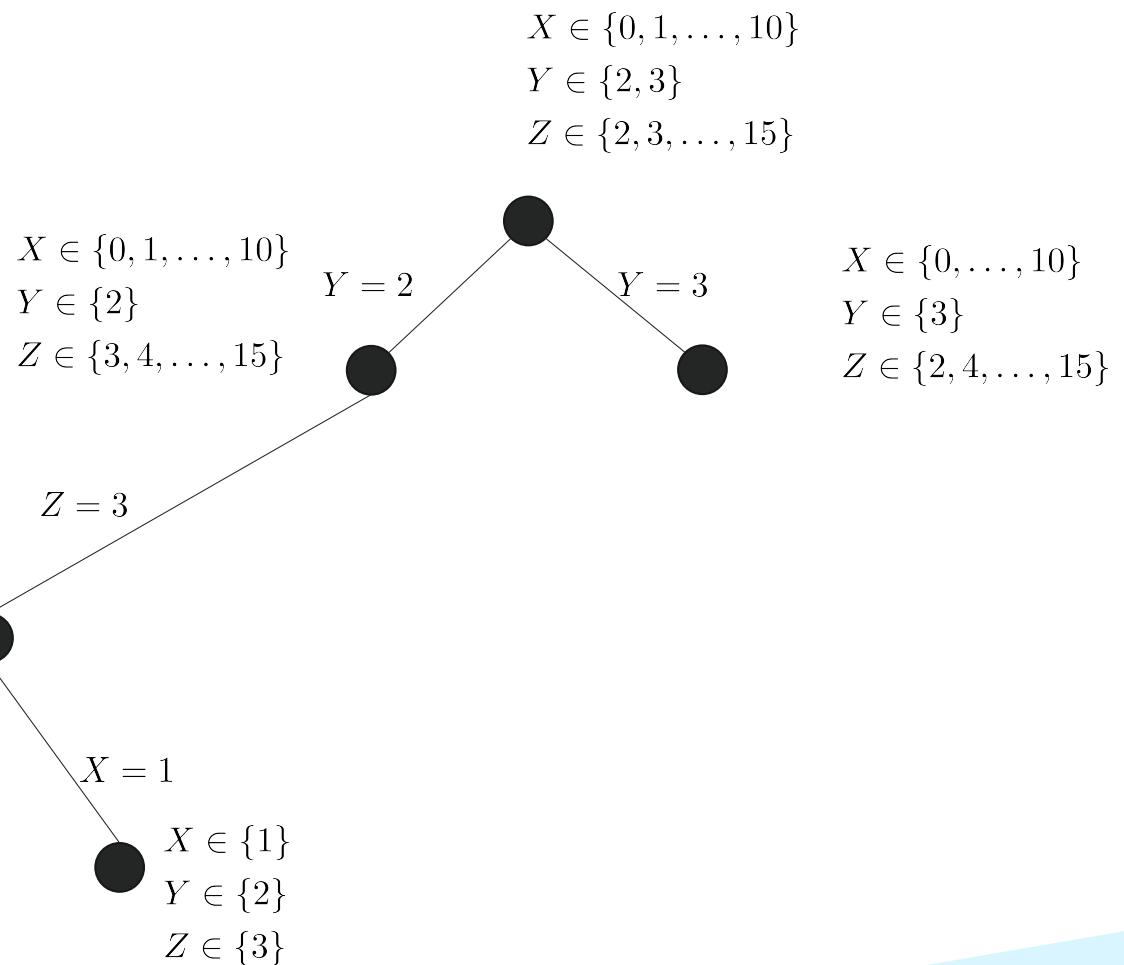


CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



Recherche dans un arbre

Variables $X \in \{0, \dots, 10\}$
 $Y \in \{2, 3\}$
 $Z \in \{2, \dots, 15\}$
Contraintes $X + Y \leq Z$
 $Y \neq Z$



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



Génération de clauses

- Combiner un solveur de programmation par contraintes avec un solveur SAT
- Problème SAT: $(x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3) \wedge (\bar{x}_3 \vee x_4 \vee x_5) \wedge \dots$
- Permet de prendre avantage de la modélisation haut niveau, de la compréhension de la structure du problème et la génération de clauses des solveur SAT.



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Génération de clauses

- Lorsqu'une contrainte filtre ou détecte un conflit, elle doit expliquer la raison à l'aide d'une clause

Variables $X \in \{0, \dots, 10\}$

$Y \in \{2, 3\}$

$Z \in \{2, \dots, 15\}$

Contraintes $X + Y \leq Z$

$Y \neq Z$



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



Génération de clauses

- Lorsqu'une contrainte filtre ou détecte un conflit, elle doit expliquer la raison à l'aide d'une clause

Variables $X \in \{0, \dots, 10\}$

$Y \in \{2, 3\}$

$Z \in \{2\}$

Contraintes $X + Y \leq Z$

$Y \neq Z$



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



Génération de clauses

- Lorsqu'une contrainte filtre ou détecte un conflit, elle doit expliquer la raison à l'aide d'une clause

Variables $X \in \{0, \dots, 10\}$

$$Y \in \{2\}$$

$$Z \in \{2\}$$

$$\llbracket X \geq 0 \rrbracket \wedge \llbracket Z \leq 2 \rrbracket \implies \llbracket Y \leq 2 \rrbracket$$

Contraintes $\mathbf{X} + \mathbf{Y} \leq \mathbf{Z}$

$$Y \neq Z$$



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



Génération de clauses

- Lorsqu'une contrainte filtre ou détecte un conflit, elle doit expliquer la raison à l'aide d'une clause

Variables $X \in \{0, \dots, 10\}$

$$Y \in \{2\}$$

$$Z \in \{2\}$$

$$\llbracket Y = 2 \rrbracket \wedge \llbracket Z = 2 \rrbracket \implies \text{faux}$$

Contraintes $X + Y \leq Z$

$$\mathbf{Y} \neq \mathbf{Z}$$

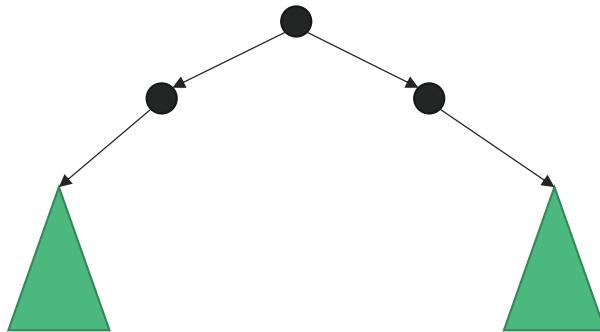


CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



Apprentissage de clauses

- Après la détection d'un conflit, le solveur crée une clause à partir des clauses générées par les contraintes
- Évite de faire les mêmes mauvais choix lors de l'exploration d'une autre partie de l'arbre de recherche

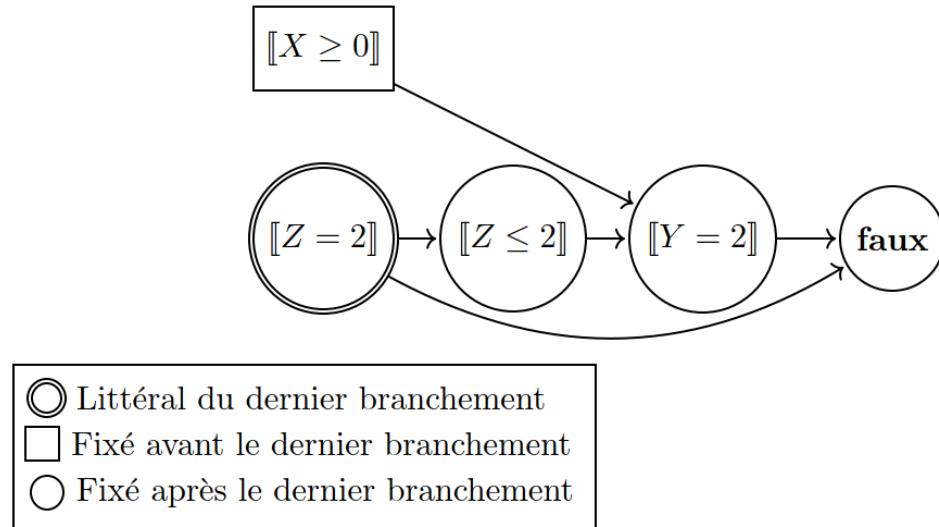


CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

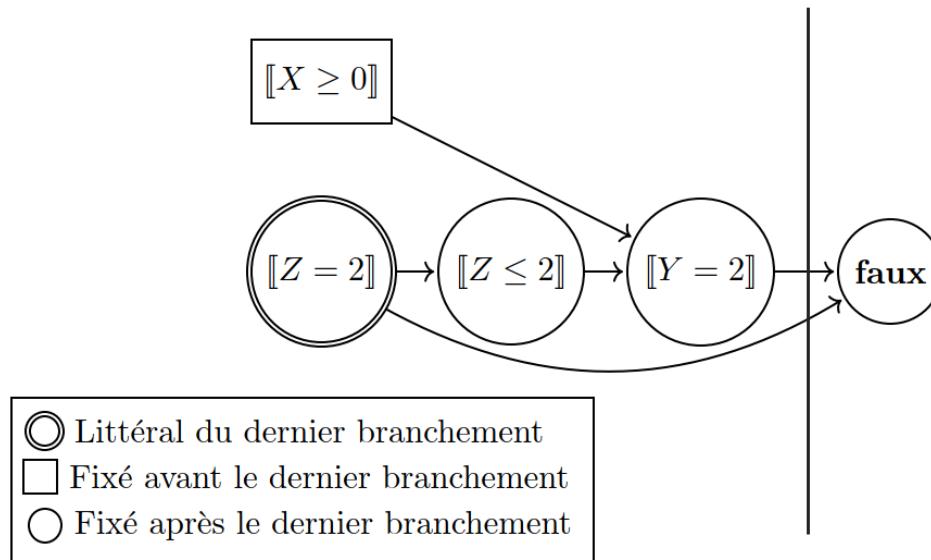
Apprentissage de clauses



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



Apprentissage de clauses



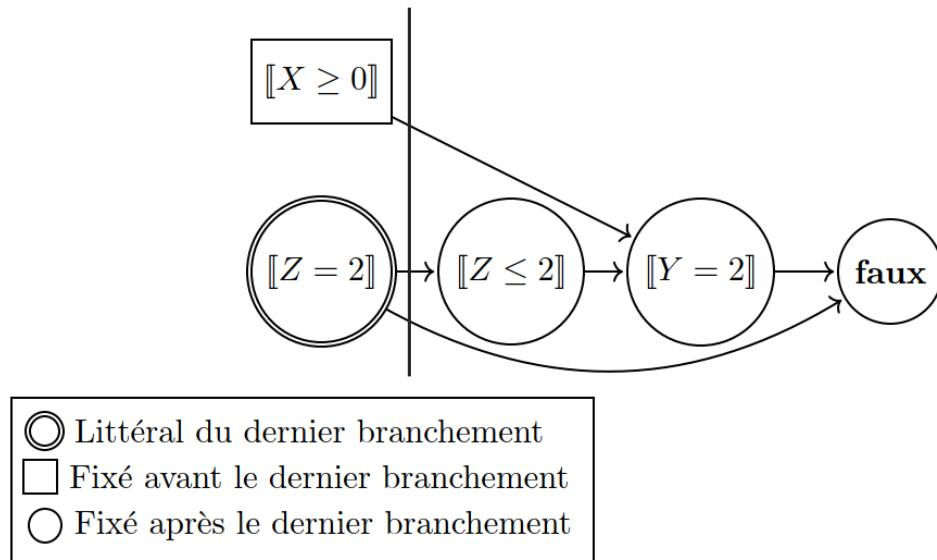
$$\neg[Y = 2] \vee \neg[Z = 2]$$



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



Apprentissage de clauses



$$\neg[X \geq 0] \vee \neg[Z = 2]$$

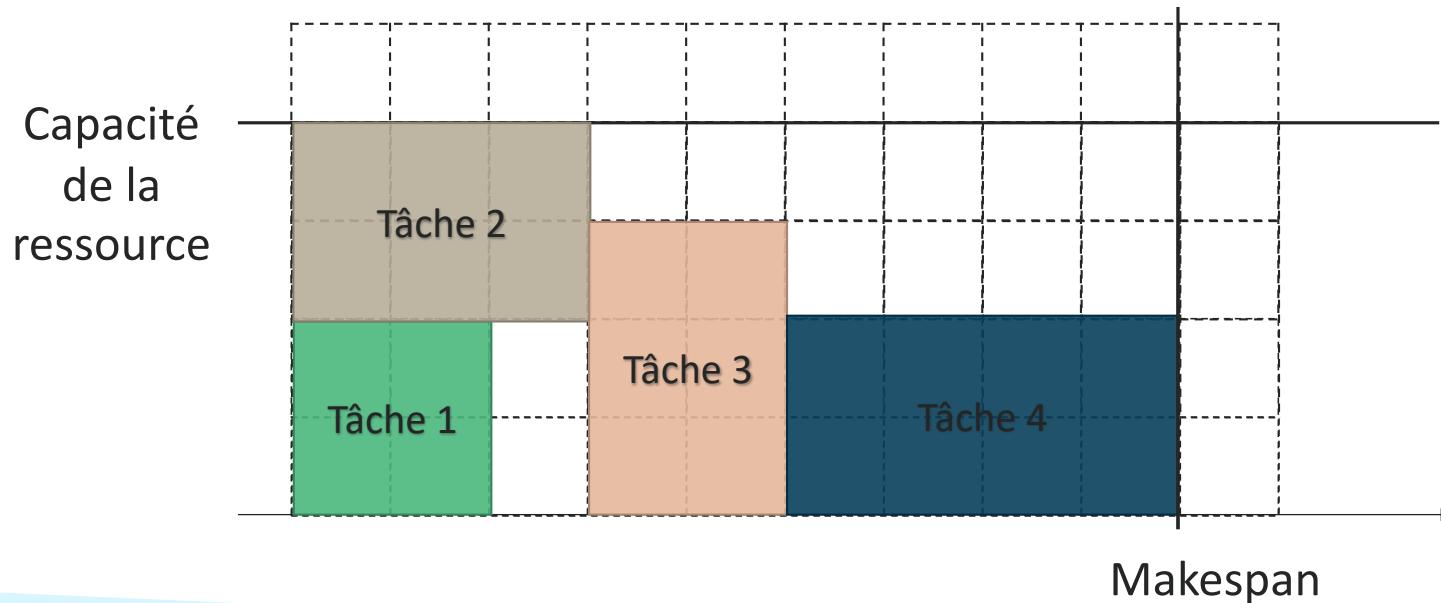


CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



“What if”

- En analysant la solution retourné par le solveur, nous pouvons avoir plusieurs questions.



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Analyse de sensibilité

- Étude de l'impact sur la solution de changer la valeur d'un paramètre du problème
- Peu de méthode existe pour l'analyse de sensibilité en programmation par contraintes



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Question 1

- Prédire l'impact sur le makespan d'augmenter/diminuer la capacité d'une ressource



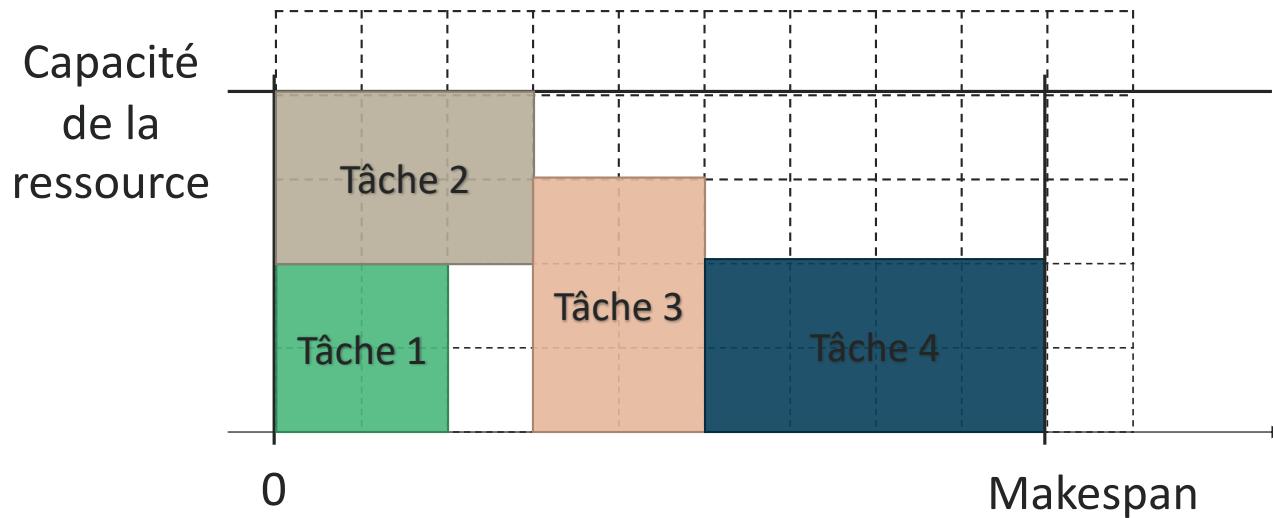
CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Question 2

- Prédire l'impact sur le makespan de finir une tâche plus tôt



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Stratégie

- Machine learning
 - Forêt aléatoire
- S'entraîner sur les instances passées pour répondre aux questions de l'instance courante
- Features
 - Features par rapport à la solution
 - Features par rapport à la recherche
 - Features par rapport à l'instance du problème

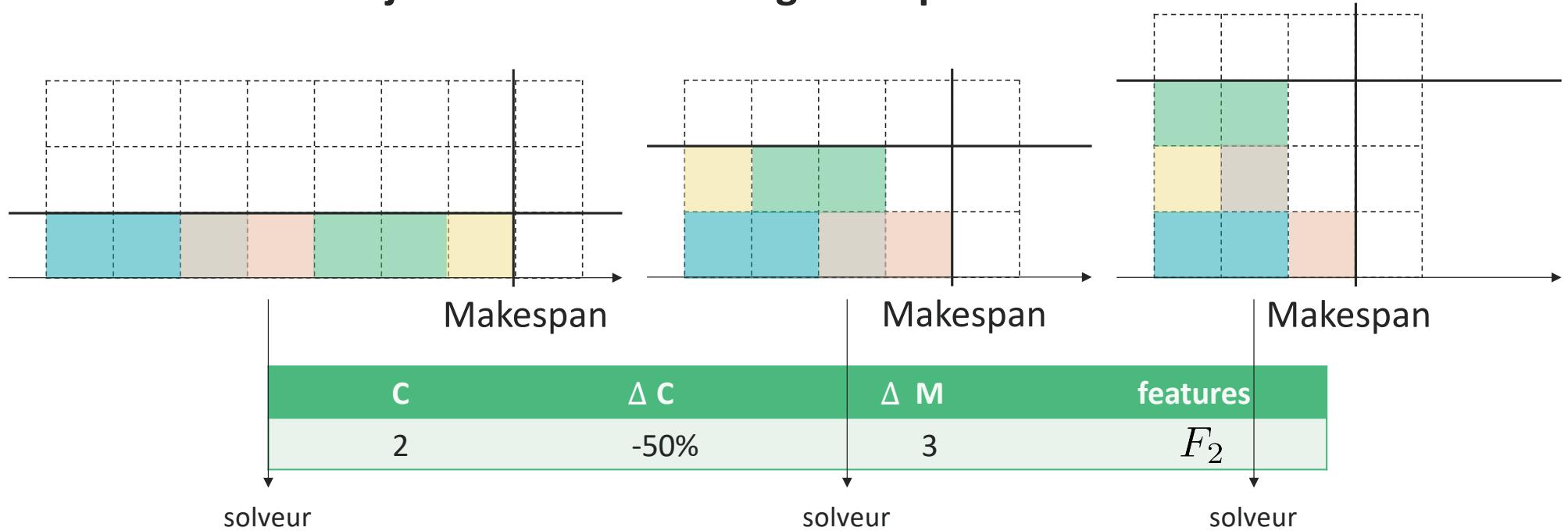


**CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0**



**UNIVERSITÉ
LAVAL**

Génération du jeu de données – changer la capacité d'une ressource

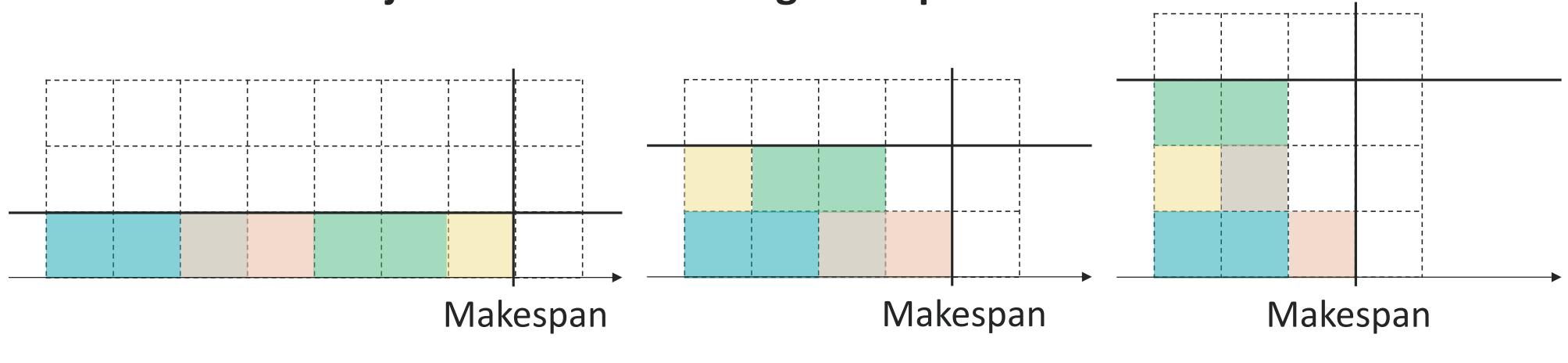


CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Génération du jeu de données – changer la capacité d'une ressource



C	ΔC	ΔM	features
2	-50%	3	F_2
2	+50%	-1	F_2

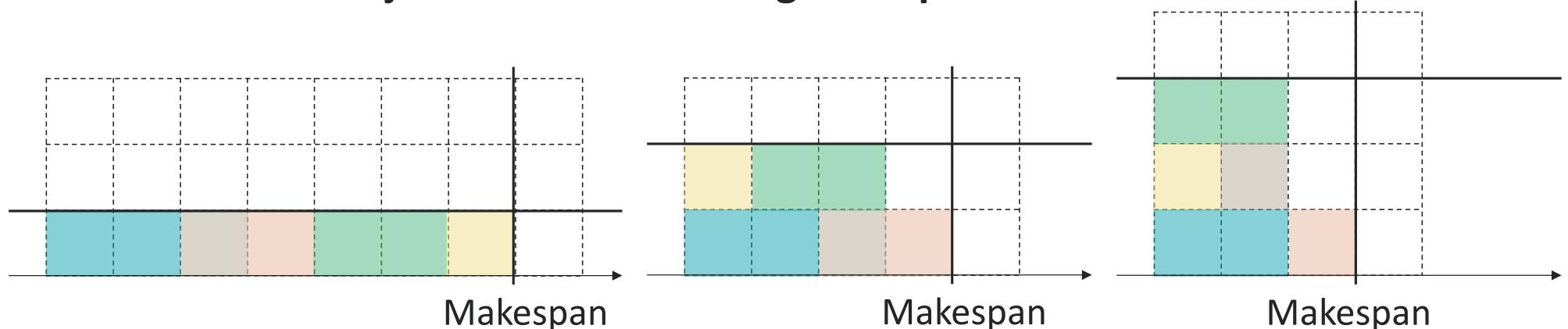


CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Génération du jeu de données – changer la capacité d'une ressource



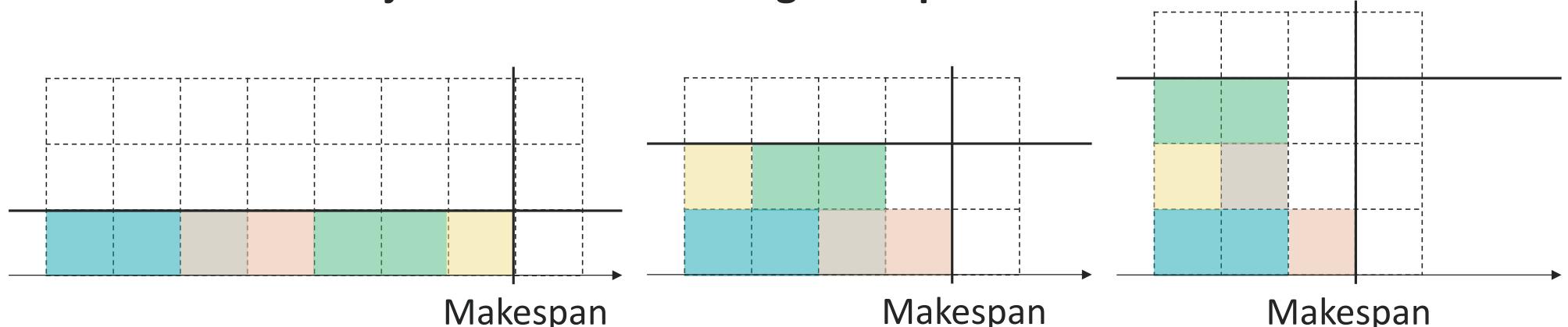
C	ΔC	ΔM	features
2	-50%	3	F_2
2	+50%	-1	F_2
1	+100%	-3	F_1



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



Génération du jeu de données – changer la capacité d'une ressource



C	ΔC	ΔM	features
2	-50%	3	F_2
2	+50%	-1	F_2
1	+100%	-3	F_1
1	+300%	-4	F_1



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Génération du jeu de données – terminer une tâche plus tôt

- Pour chaque instance historique, nous trouvons une solution au problème original
- Pour chaque tâche qui n'a pas de successeur, nous forçons cette tâche à terminer plus tôt



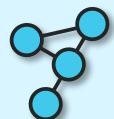
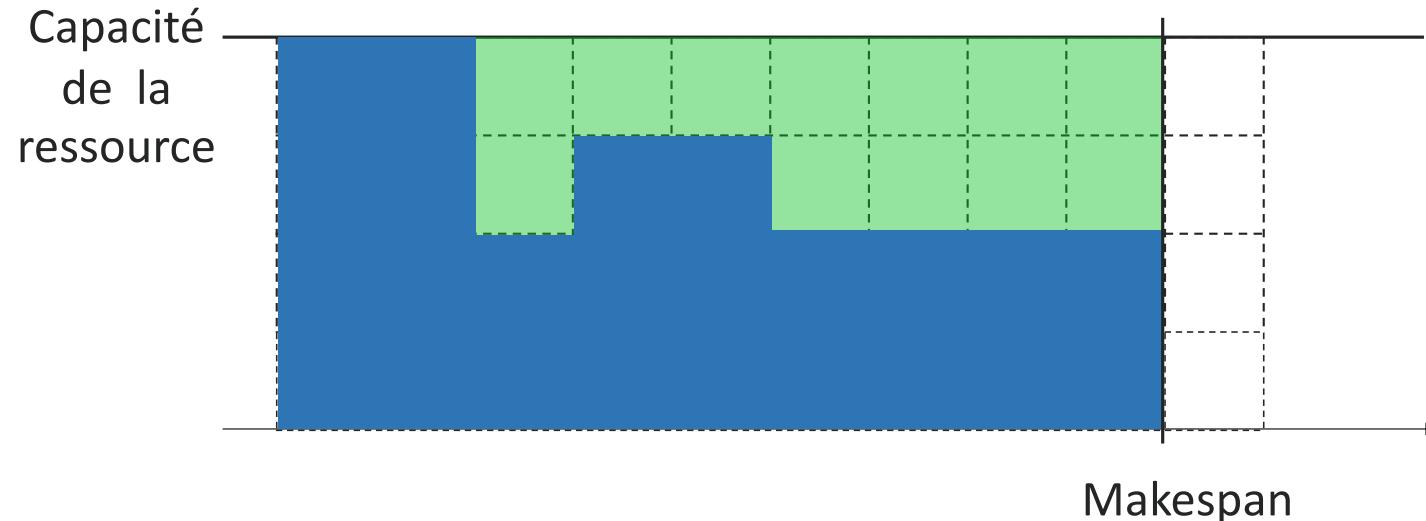
CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Features par rapport à la solution

- Ratio d'utilisation de la ressource



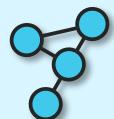
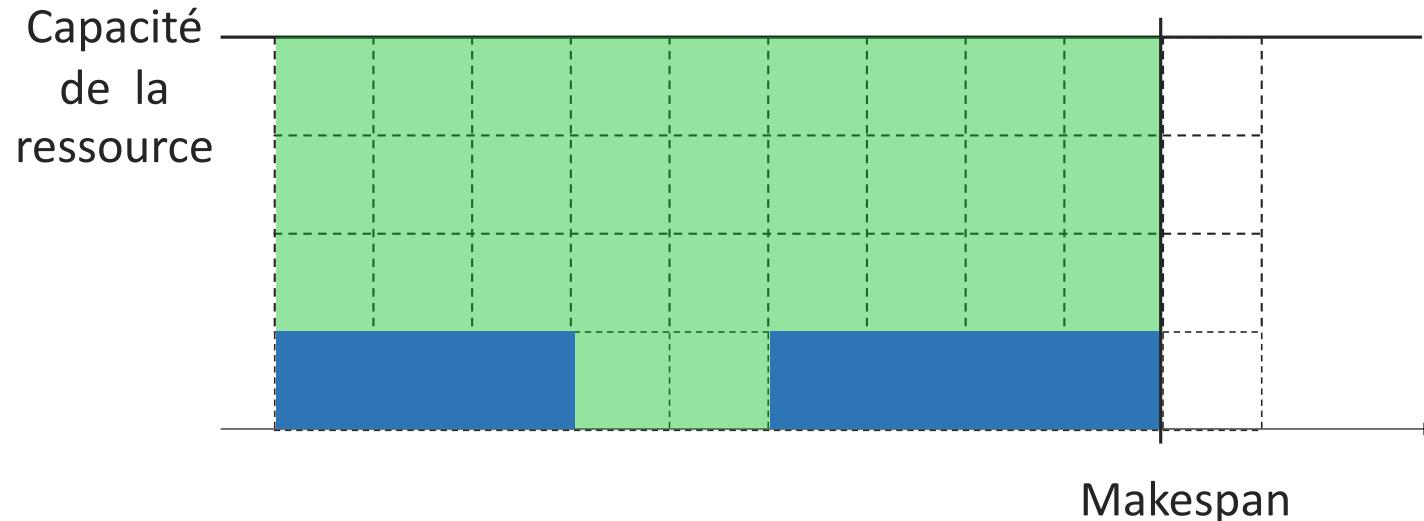
CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Features par rapport à la solution

- Ratio d'utilisation de la ressource



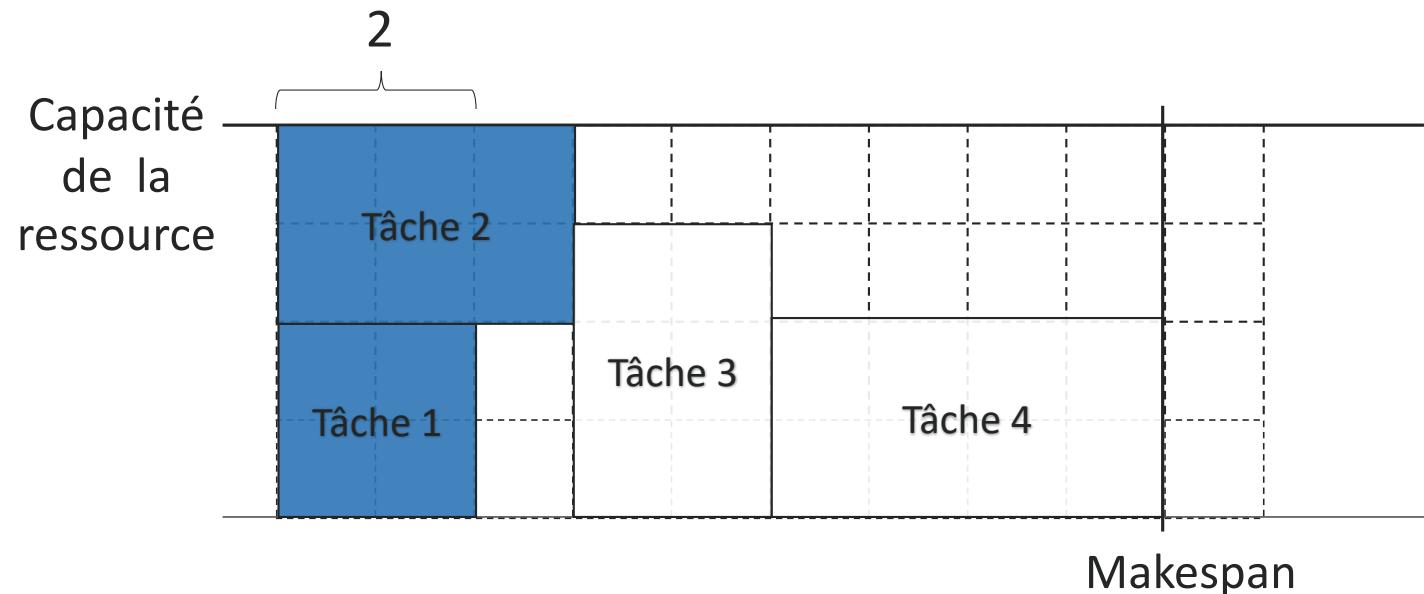
CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Features par rapport à la solution

- Duration pour laquelle la ressource est utilisée à pleine capacité



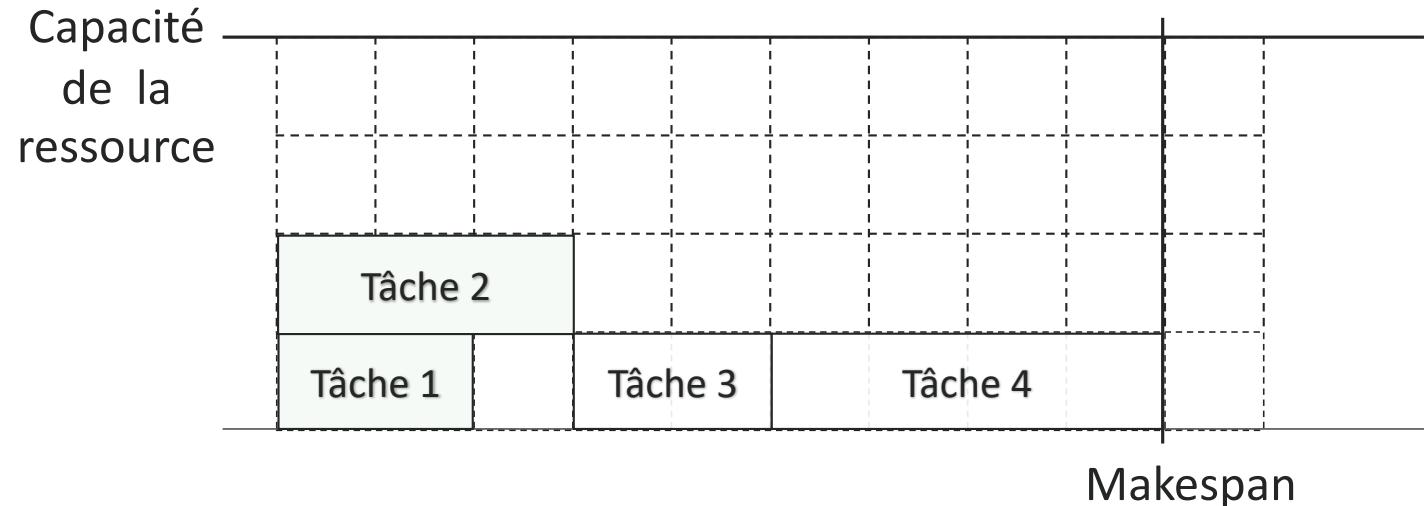
CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Features par rapport à la solution

- Duration pour lequel la ressource est utilisée à pleine capacité



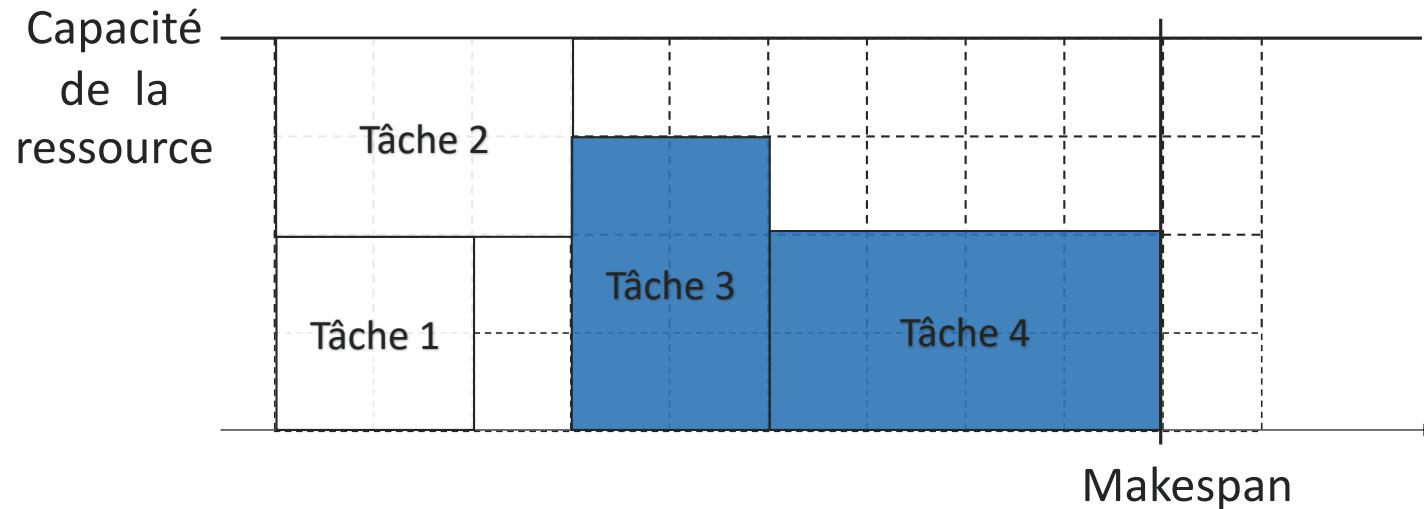
CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Features par rapport à la solution

- Nombre de tâches qui attend pour la disponibilité de la resource pour commencer

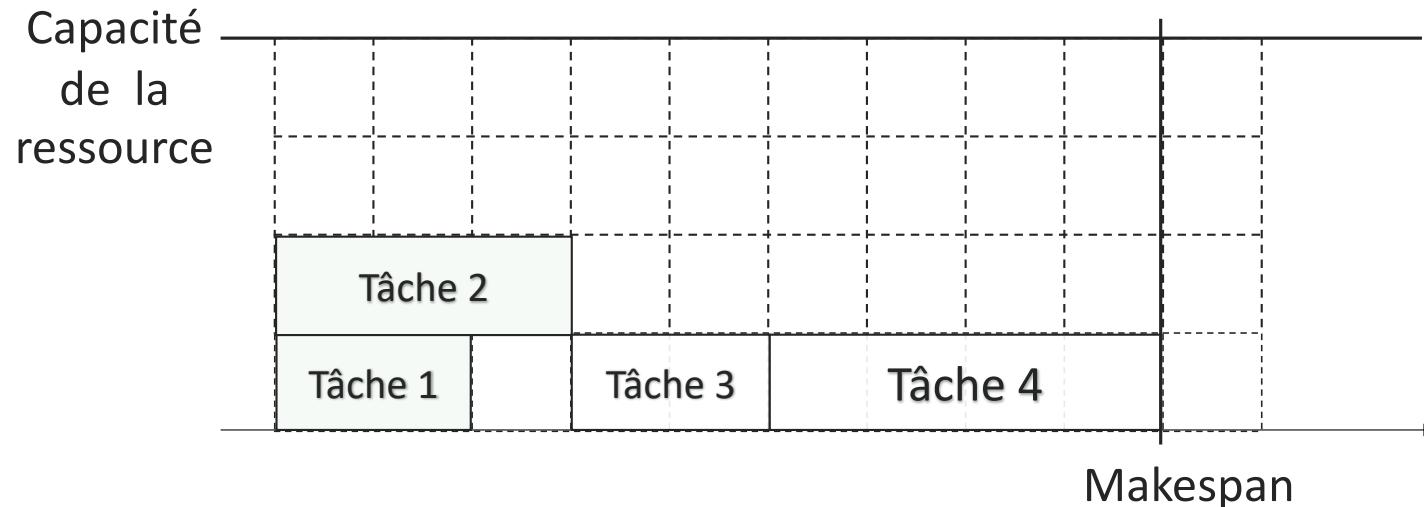


CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



Features par rapport à la solution

- Nombre de tâches qui attend pour la disponibilité de la resource pour commencer



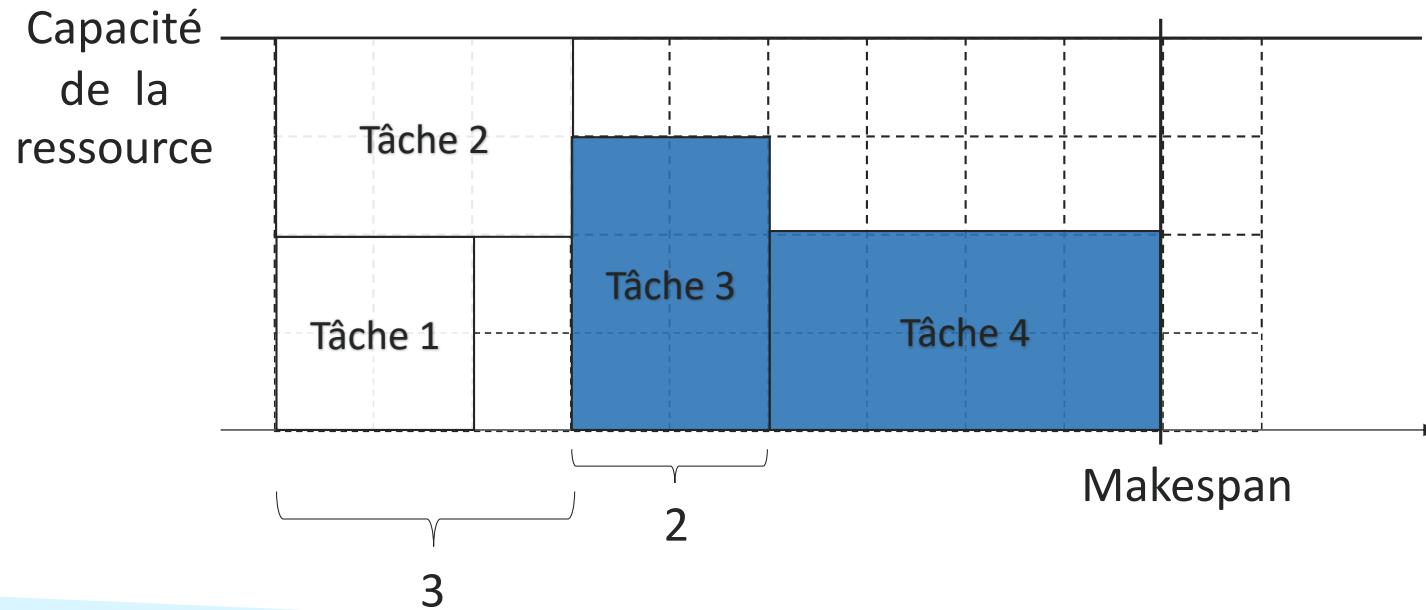
CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Features par rapport à la solution

- La duration du temps d'attente des tâches qui attend pour la disponibilité de la ressource pour commencer



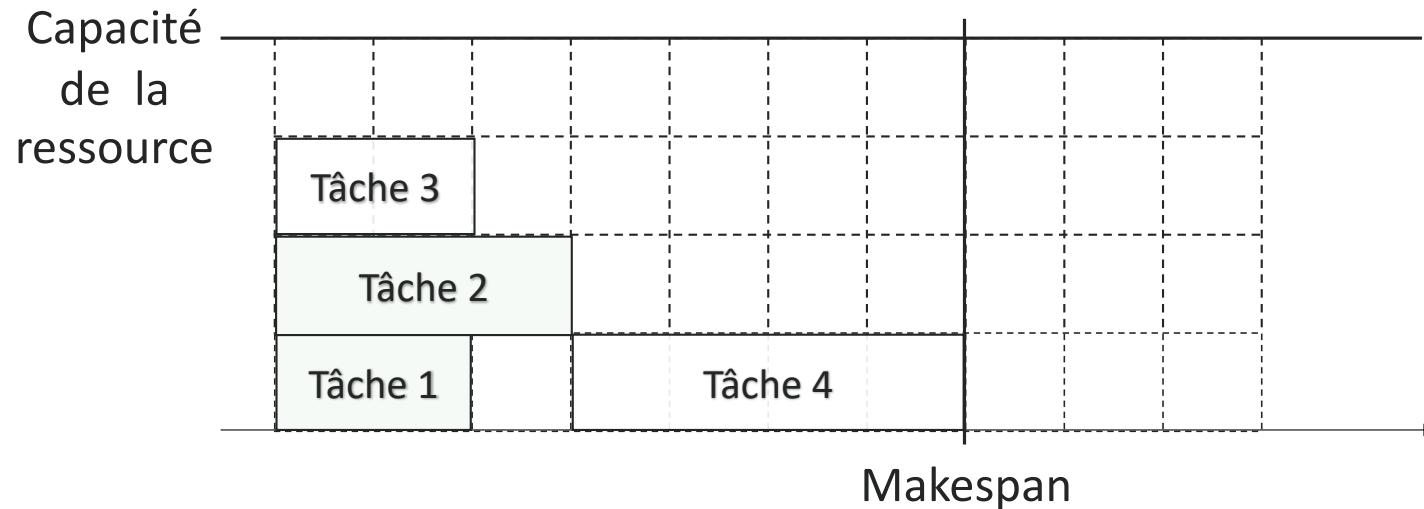
CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Features par rapport à la solution

- La duration du temps d'attente des tâches qui attend pour la disponibilité de la ressource pour commencer

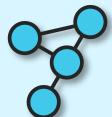


CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



Features par rapport à la solution

- Features pour prédire l'impact sur la solution de terminer une tâche plus tôt
 - Nombre de tâches terminant avant la tâche qu'on veut devancer
 - Makespan



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Features par rapport à la recherche

- Récolter des informations sur les contraintes représentant les ressources (Cumulative)
- Features pour chaque contrainte:
 - Nombre de fois que la contrainte a filtré le domaine de la variable
 - La quantité de filtrage



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

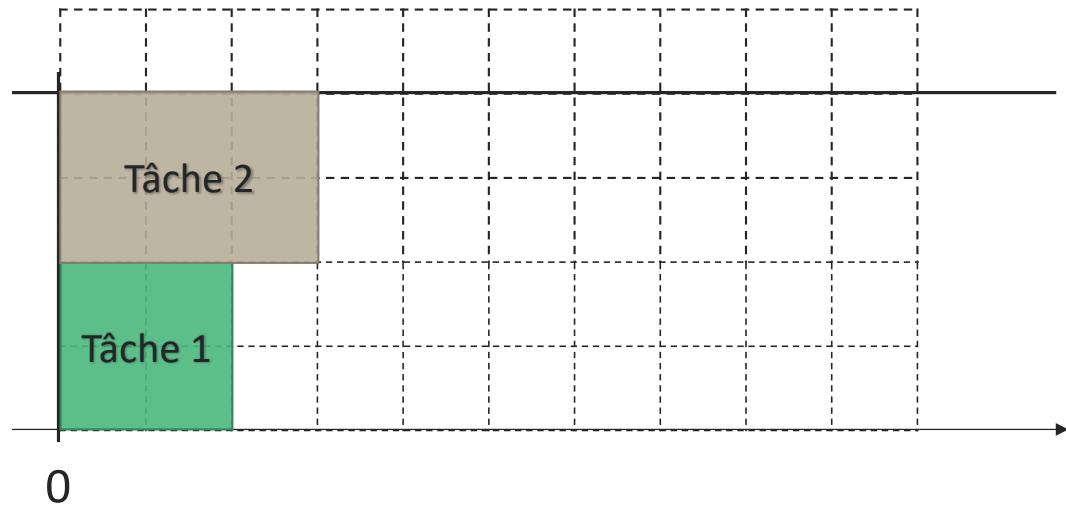
Features par rapport à la recherche

Nombre de filtrage: 0

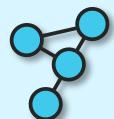
Quantité de filtrage: 0



Capacité
de la
ressource



$$S_3 \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, \dots\}$$



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



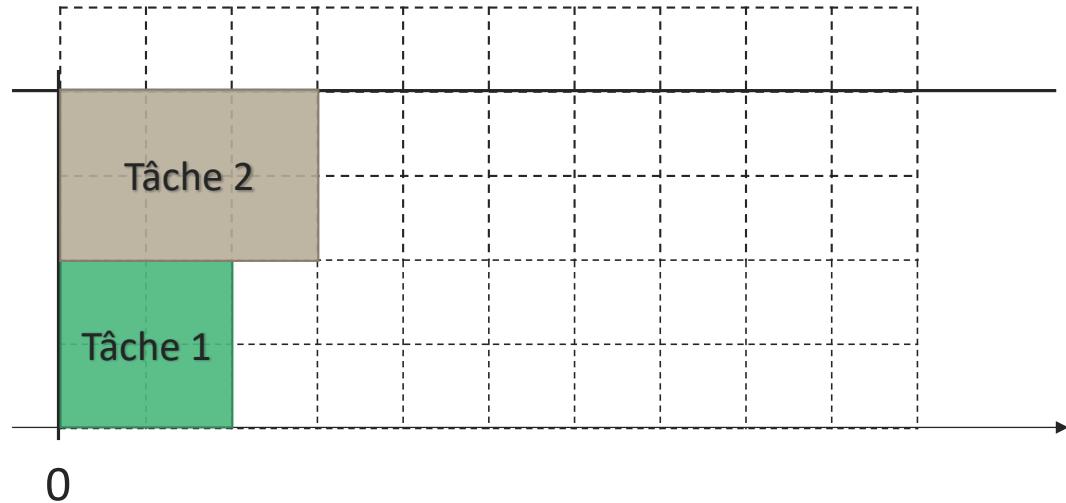
Features par rapport à la recherche

Nombre de filtrage: 1

Quantité de filtrage: 3



Capacité
de la
ressource



$$S_3 \in \{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, \dots\}$$



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0

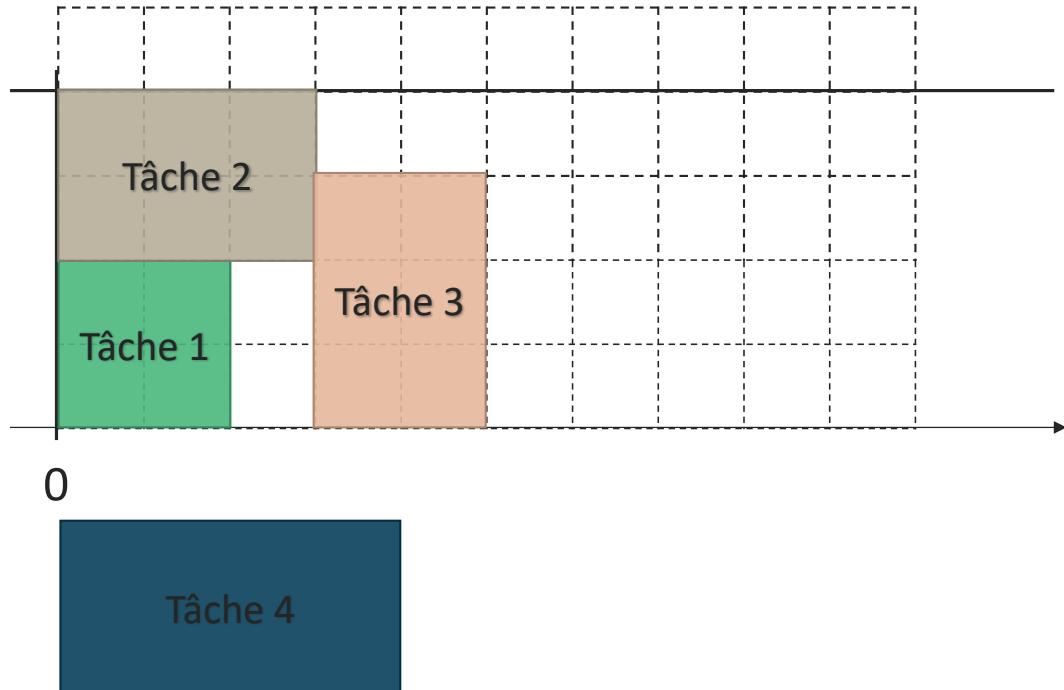


Features par rapport à la recherche

Nombre de filtrage: 1

Quantité de filtrage: 3

Capacité
de la
ressource



$$S_4 \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, \dots\}$$



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0

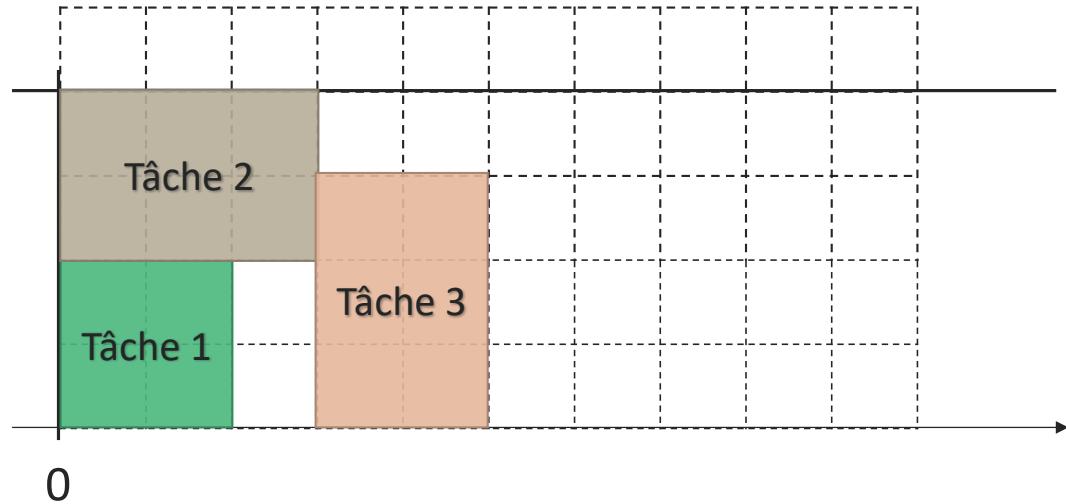


Features par rapport à la recherche

Nombre de filtrage: 2

Quantité de filtrage: 8

Capacité
de la
ressource



$$S_4 \in \{5, 6, 7, 8, 9, \dots\}$$

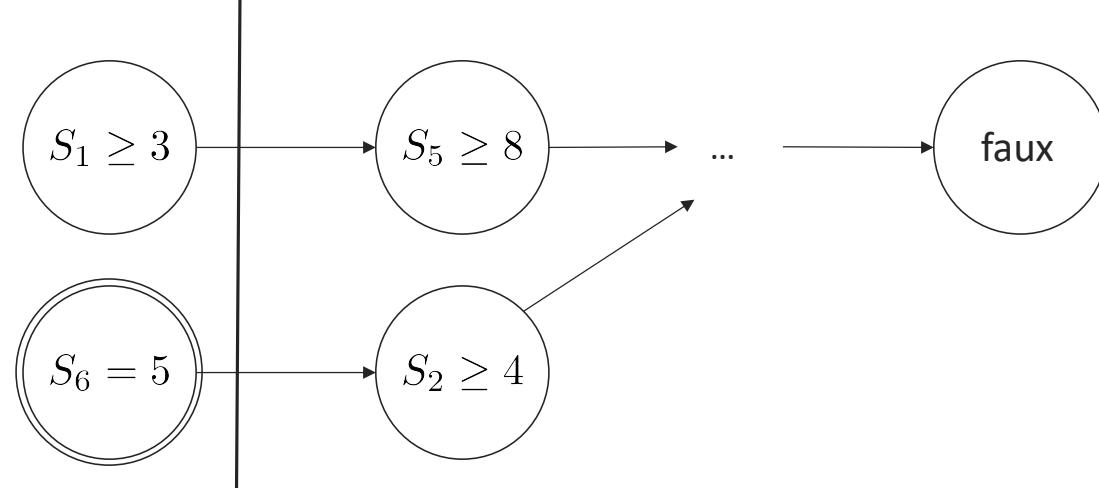


CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



Features par rapport à la recherche

Cumulative



$$\neg \llbracket S_1 \geq 3 \rrbracket \vee \neg \llbracket S_6 = 5 \rrbracket$$



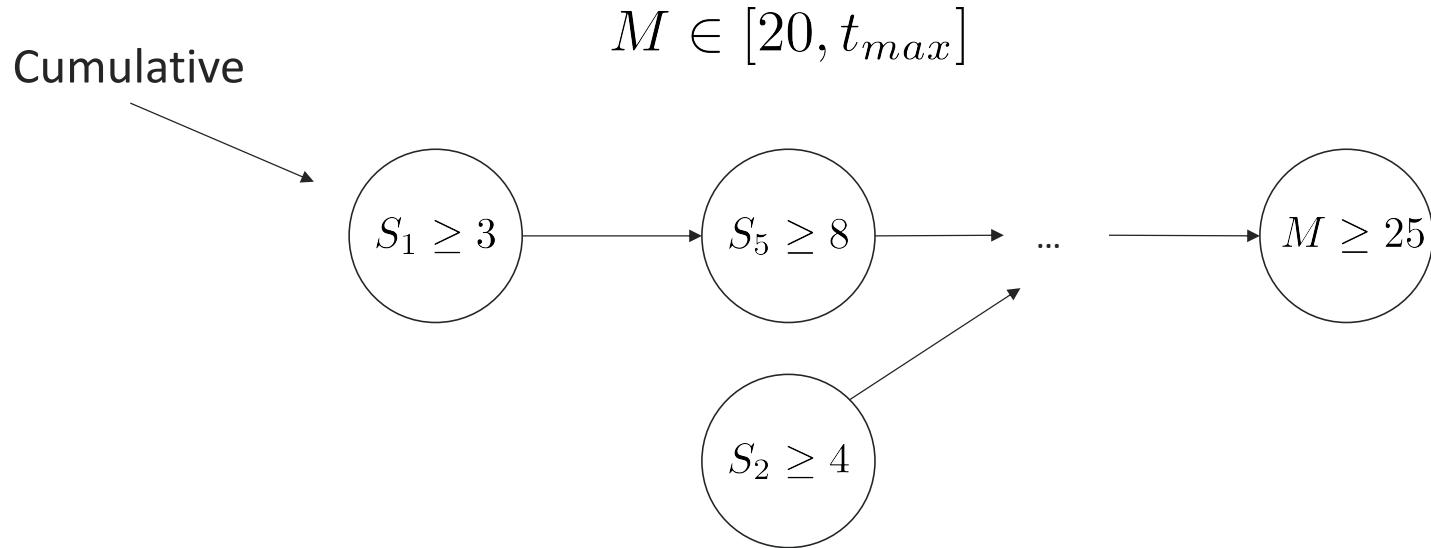
CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Features par rapport à la recherche

- Features par rapport au filtrage de la valeur objective



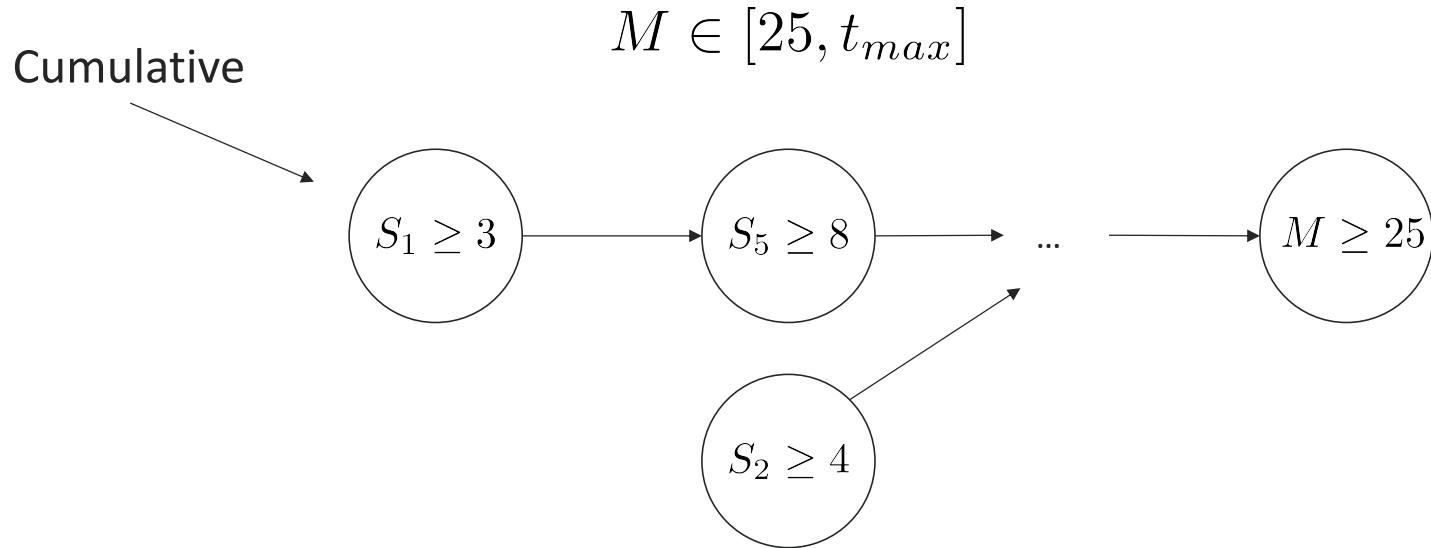
CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Features par rapport à la recherche

- Features par rapport au filtrage de la valeur objective



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Features par rapport à la recherche

- Features par rapport au filtrage de la valeur objective
- L_r : ensemble des bornes sur la fonction objectif qui a comme explication la contrainte
- La plus petit valeur: $\min(L_r) - M$
- La plus grande valeur: $\max(L_r) - M$
- La valeur moyenne: $\text{avg}(L_r) - M$



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Features par rapport à la recherche

- Features pour prédire l'impact de terminer une tâche plus tôt
- Features par rapport au domaine de la variable de début de la tâche
 - Le nombre de fois que le domaine est filtré
 - Le nombre de valeurs filtrées du domaine



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



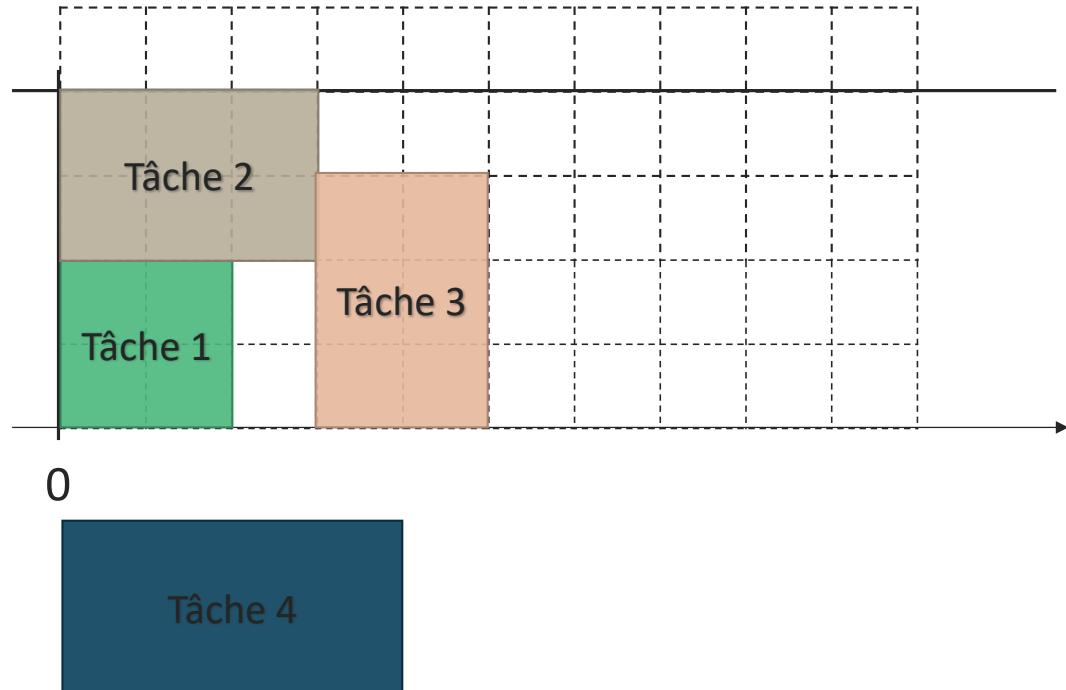
UNIVERSITÉ
LAVAL

Features par rapport à la recherche

Nombre de fois filtré: 0

Nombre de valeurs filtrées: 0

Capacité
de la
ressource



$$S_4 \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, \dots\}$$



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0

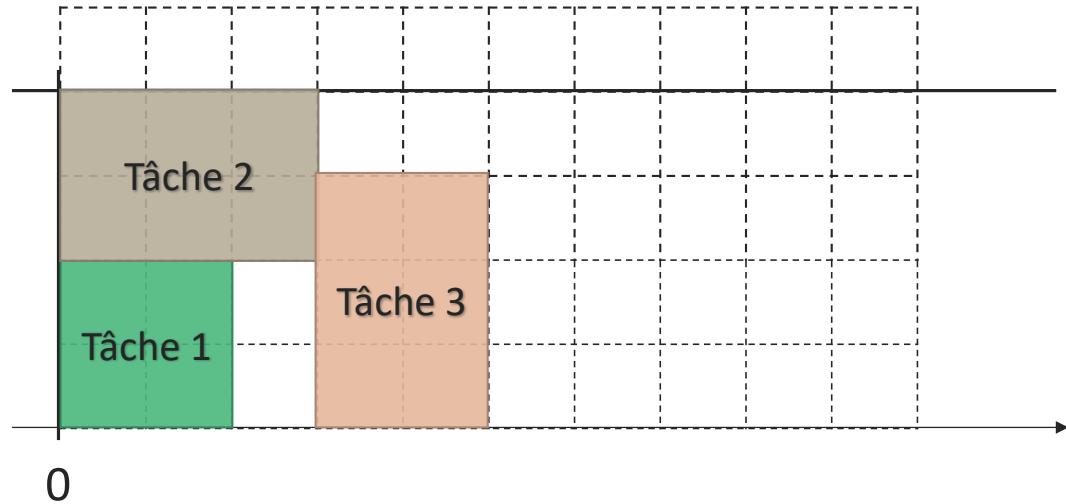


Features par rapport à la recherche

Nombre de fois filtré: 1

Nombre de valeurs filtrées: 3

Capacité
de la
ressource



$$S_4 \in \{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, \dots\}$$



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0

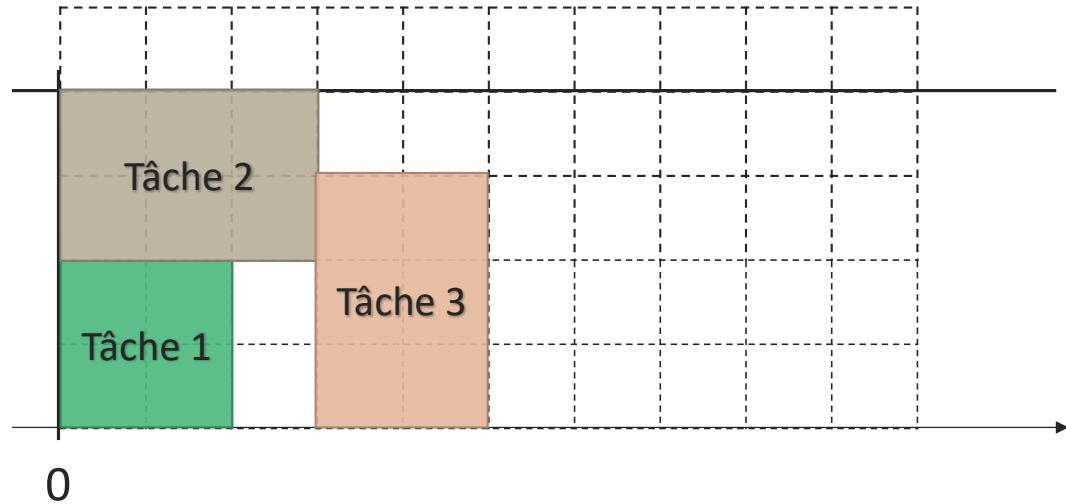


Features par rapport à la recherche

Nombre de fois filtré: 2

Nombre de valeurs filtrées: 5

Capacité
de la
ressource



$$S_4 \in \{5, 6, 7, 8, 9, \dots\}$$



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



Features par rapport à l'instance du problème

- Le nombre de tâches
- La capacité de la ressource
- Features pour prédire l'impact d'augmenter ou diminuer la capacité d'une ressource
 - La nouvelle capacité de la ressource
 - Le ratio d'augmentation/diminution de la capacité de la ressource
- Features pour prédire l'impact sur la solution de terminer une tâche plus tôt
 - La différence entre le temps de fin de la tâche et la nouvelle date d'échéance



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Benchmark

- PSPLib [Kolisch et Sprecher, 1997]
 - Nombre de tâches: 30, 60, 90, 120
 - 4 ressources
 - Beaucoup de précédences entre les tâches
- Pack [Carlier et Néron, 2003]
 - Entre 17 et 32 tâches
 - Entre 2 et 5 ressources
 - Moins de précédences entre les tâches que PSPLib



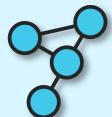
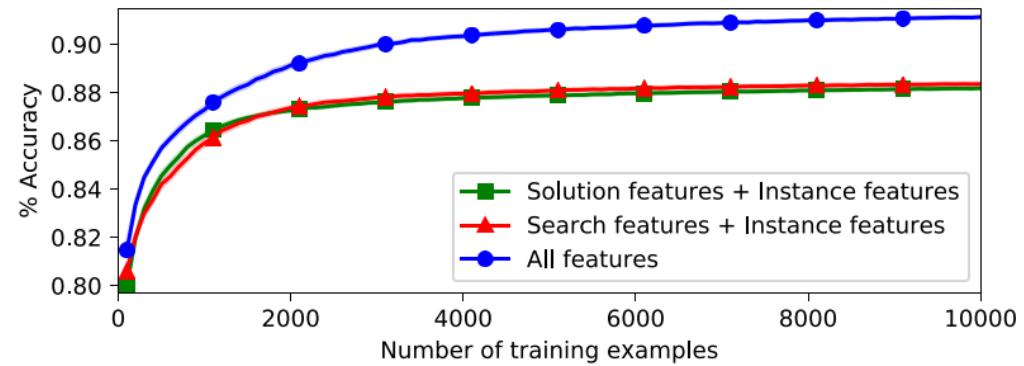
CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Résultats – changer la capacité de la ressource sur PSPLib

- Prédire si oui ou non, il y a un impact sur le makespan de modifier la capacité de la ressource



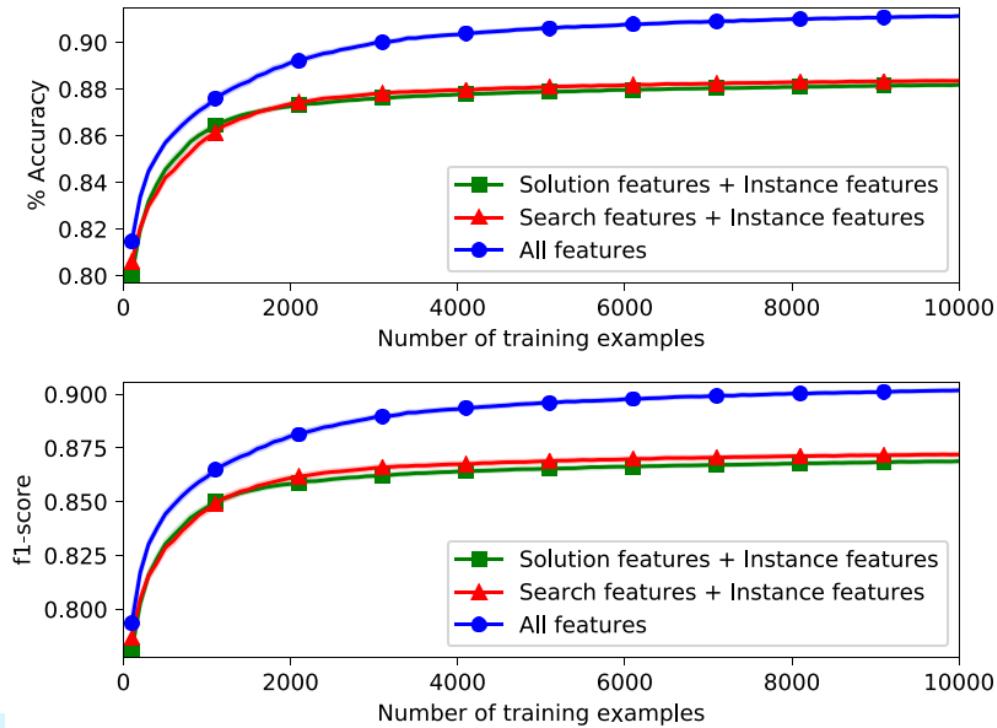
CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Résultats – changer la capacité de la ressource sur PSPLib

- Prédire si oui ou non, il y a un impact sur le makespan de modifier la capacité de la ressource



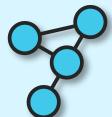
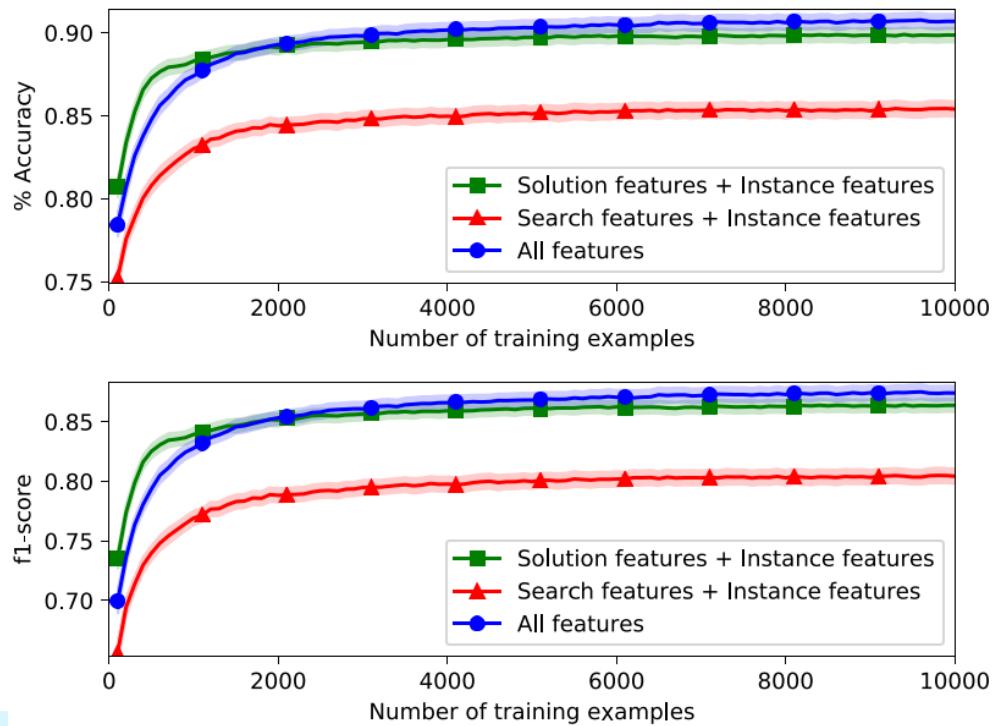
CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Résultats – changer la capacité de la ressource sur Pack

- Prédire si oui ou non, il y a un impact sur le makespan de modifier la capacité de la ressource



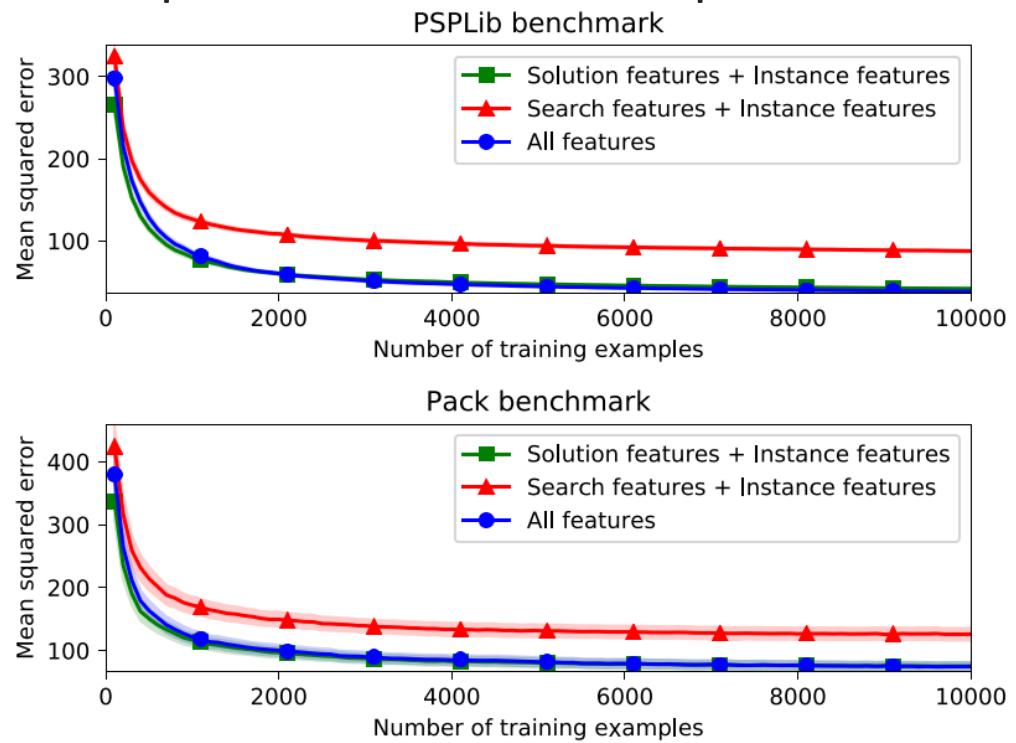
CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Résultats – changer la capacité de la ressource

- Prédire la différence sur le makespan en modifiant la capacité de la ressource



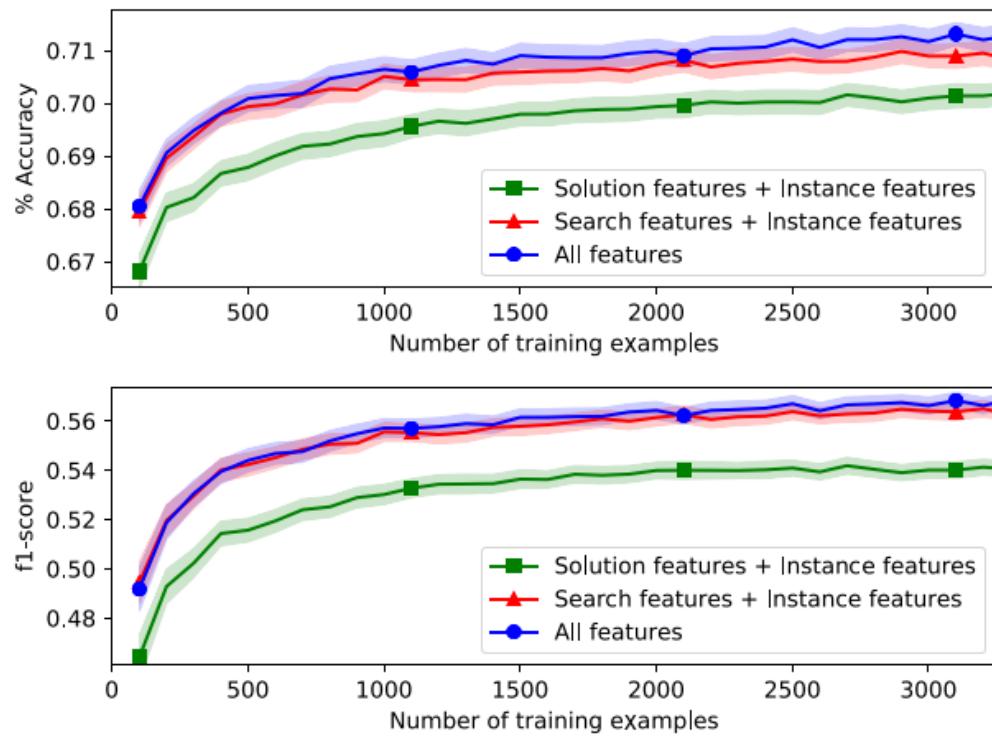
CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Résultats – finir une tâche plus tôt sur PSPLib

- Prédire si oui ou non, il y a un impact sur le makespan de finir une tâche plus tôt



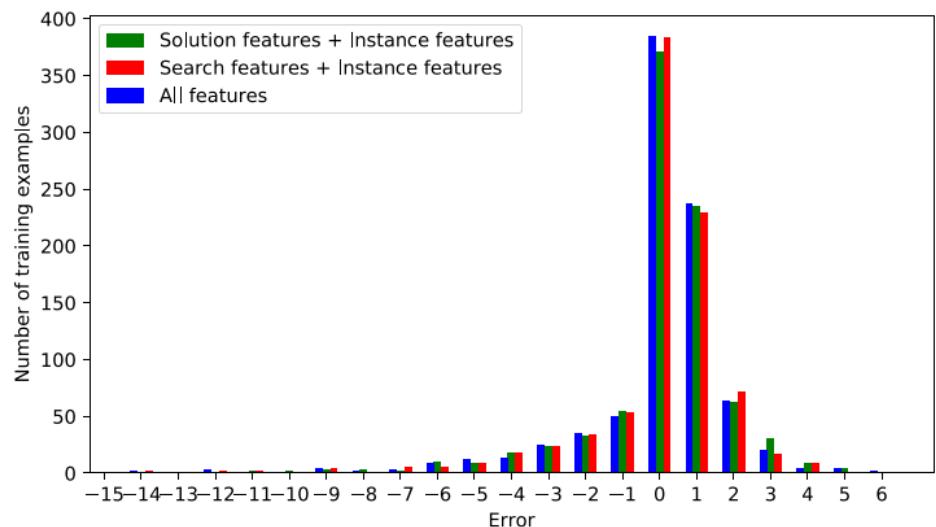
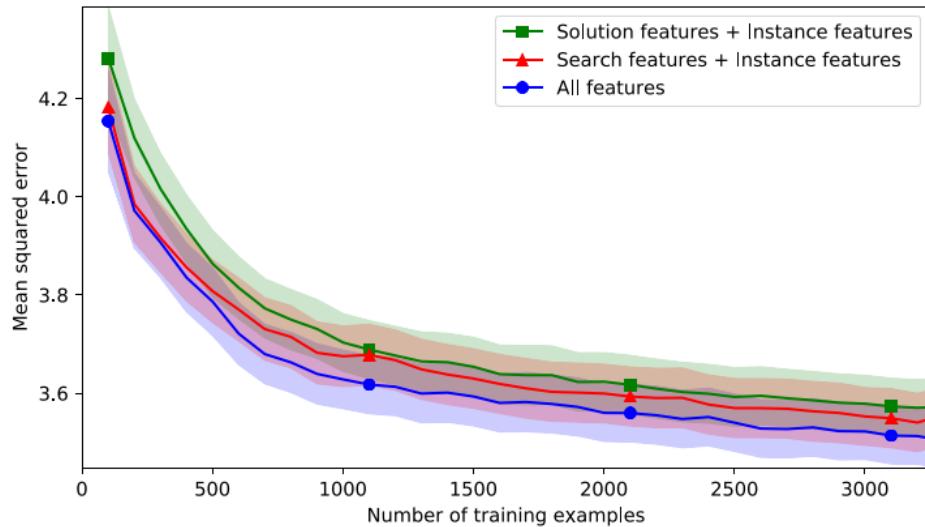
CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Résultats – finir une tâche plus tôt sur PSPLib

- Prédire la différence sur le makespan de finir une tâche plus tôt



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Conclusion

- Permet à une compagnie de rapidement vérifier quelles ressources acheter pour améliorer la production
- Permet d'expliquer pourquoi une solution n'est pas satisfiable
 - Exemple: Cette semaine, nous aurions besoin d'un outil de plus pour avoir cette ordonnancement
- Permet à la compagnie de faire une meilleure analyse de l'ordonnancement



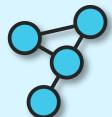
CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL

Travaux futurs

- Appliquer cette méthode chez APN
- Dans la réalité les problèmes sont différents
- Adapter la méthode à la recherche locale à grand voisinage



CONSORTIUM DE RECHERCHE EN INGÉNIERIE
DES SYSTÈMES INDUSTRIELS 4.0



UNIVERSITÉ
LAVAL