

Lot streaming et pegging pour l'intégration de la planification de production et de l'ordonnancement

Anna Robert
Claude Le Pape, Francis Sourd

ILOG S.A.
Laboratoire d'Informatique de Paris VI (LIP6)

GOThA - 1er juillet 2005



Introduction

- 1 Définition du problème et approche envisagée
 - Planification de production et ordonnancement
 - Lot streaming et pegging
 - Intérêts pratiques de l'approche



Introduction

- 1 Définition du problème et approche envisagée
 - Planification de production et ordonnancement
 - Lot streaming et pegging
 - Intérêts pratiques de l'approche
- 2 Modélisation par un programme linéaire en nombres entiers (PLNE)
 - Contraintes de lot streaming et de pegging
 - Approximation des contraintes de ressources
 - Liaison des variables
 - Fonction objectif



Introduction

- 1 Définition du problème et approche envisagée
 - Planification de production et ordonnancement
 - Lot streaming et pegging
 - Intérêts pratiques de l'approche
- 2 Modélisation par un programme linéaire en nombres entiers (PLNE)
 - Contraintes de lot streaming et de pegging
 - Approximation des contraintes de ressources
 - Liaison des variables
 - Fonction objectif
- 3 Etude expérimentale et analyse
 - Benchmark testé
 - Méthodes comparées et indicateurs
 - Résultats numériques



Introduction

- 1 Définition du problème et approche envisagée
 - Planification de production et ordonnancement
 - Lot streaming et pegging
 - Intérêts pratiques de l'approche
- 2 Modélisation par un programme linéaire en nombres entiers (PLNE)
 - Contraintes de lot streaming et de pegging
 - Approximation des contraintes de ressources
 - Liaison des variables
 - Fonction objectif
- 3 Etude expérimentale et analyse
 - Benchmark testé
 - Méthodes comparées et indicateurs
 - Résultats numériques
- 4 Conclusion et perspectives



Références bibliographiques

Intégration planification et ordonnancement

- Dauzère-Pères and Lasserre, 1994, *An Integrated Approach in Production Planning and Scheduling*
- Timpe, 2002, *Solving Planning and Scheduling Problems with Combined Integer and Constraint Programming*
- Maravelias and Grossmann, 2005, *An Hybrid MILP/CP Decomposition Approach for the Continuous Time Scheduling of Multipurpose Batch Plants*

Lot streaming

- Baker and Jia, 1993, *A comparative study of lot streaming procedures*
- Trietsch and Baker, 1993, *Basic techniques for lot streaming*
- Dauzère-Pères and Lasserre, 1997, *Lot streaming in job-shop scheduling*



Références bibliographiques

Intégration planification et ordonnancement

- Dauzère-Pères and Lasserre, 1994, *An Integrated Approach in Production Planning and Scheduling*
- Timpe, 2002, *Solving Planning and Scheduling Problems with Combined Integer and Constraint Programming*
- Maravelias and Grossmann, 2005, *An Hybrid MILP/CP Decomposition Approach for the Continuous Time Scheduling of Multipurpose Batch Plants*

Lot streaming

- Baker and Jia, 1993, *A comparative study of lot streaming procedures*
- Trietsch and Baker, 1993, *Basic techniques for lot streaming*
- Dauzère-Pères and Lasserre, 1997, *Lot streaming in job-shop scheduling*



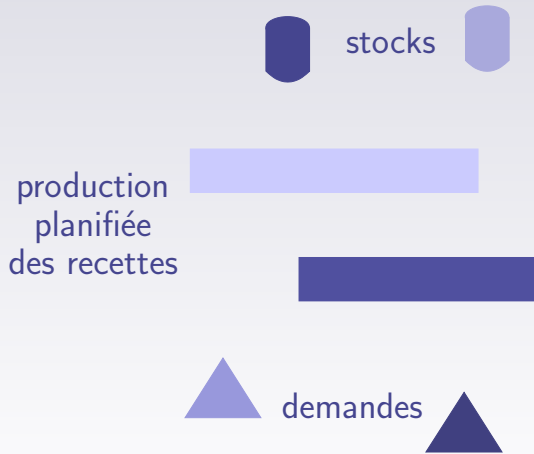
Problématique globale

Planification de la production

- production planifiée par période
- satisfaction des demandes planifiée par période
- niveau d'inventaires planifié par période



Problématique globale



Problématique globale

Planification de la production

- production planifiée par période
- satisfaction des demandes planifiée par période
- niveau d'inventaires planifié par période

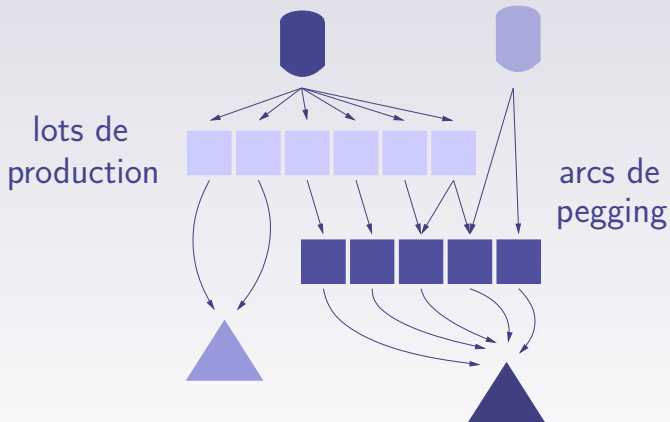


Lot streaming et pegging

- lots de production : taille et indications temporelles
- arcs de pegging reliant inventaires, lots et demandes



Problématique globale



Problématique globale

Planification de la production

- production planifiée par période
- satisfaction des demandes planifiée par période
- niveau d'inventaires planifié par période



Lot streaming et pegging

- lots de production : taille et indications temporelles
- arcs de pegging reliant inventaires, lots et demandes



Ordonnancement des lots

- dates de début et de fin d'exécution de chaque lot
- affectation de ressource pour l'exécution de chaque lot



Problématique globale

Planification de la production

- production planifiée par période
- satisfaction des demandes planifiée par période
- niveau d'inventaires planifié par période



Lot streaming et pegging

- lots de production : taille et indications temporelles
- arcs de pegging reliant inventaires, lots et demandes



Ordonnancement des lots

- dates de début et de fin d'exécution de chaque lot
- affectation de ressource pour l'exécution de chaque lot



Couplage du lot streaming et du pegging

Lot streaming

⇒ *découper* la production planifiée pour chaque recette en **lots** dont on doit déterminer la **taille** afin de respecter les décisions de la planification

Pegging

⇒ décider explicitement des **flux de matériaux** circulant entre l'inventaire, les lots de production et les demandes



Couplage du lot streaming et du pegging

Lot streaming

⇒ *découper* la production planifiée pour chaque recette en **lots** dont on doit déterminer la **taille** afin de respecter les décisions de la planification

Pegging

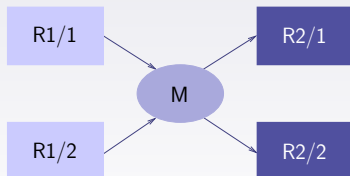
⇒ décider explicitement des **flux de matériaux** circulant entre l'inventaire, les lots de production et les demandes



Pegging : le problème combinatoire

(Hypothèse : lot streaming déjà résolu)

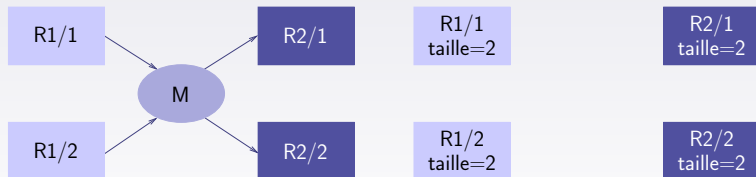
- 2 recettes $R1$ et $R2$, découpées chacune en 2 lots : $R1/1$, $R1/2$, et $R2/1$, $R2/2$
- 1 matériau M produit par $R1$ et consommé par $R2$



Pegging : le problème combinatoire

(Hypothèse : lot streaming déjà résolu)

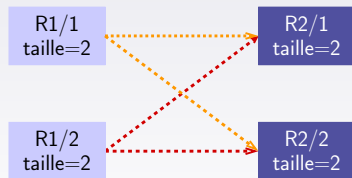
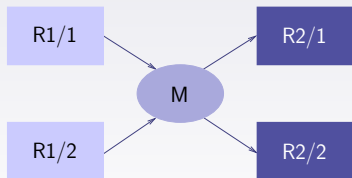
- 2 recettes $R1$ et $R2$, découpées chacune en 2 lots : $R1/1$, $R1/2$, et $R2/1$, $R2/2$
- 1 matériau M produit par $R1$ et consommé par $R2$



Pegging : le problème combinatoire

(Hypothèse : lot streaming déjà résolu)

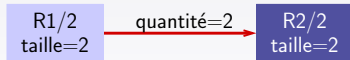
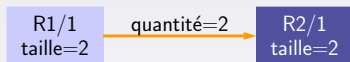
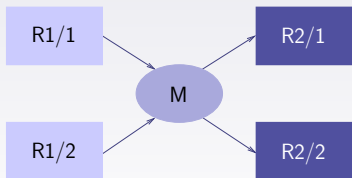
- 2 recettes $R1$ et $R2$, découpées chacune en 2 lots : $R1/1$, $R1/2$, et $R2/1$, $R2/2$
- 1 matériau M produit par $R1$ et consommé par $R2$



Pegging : le problème combinatoire

(Hypothèse : lot streaming déjà résolu)

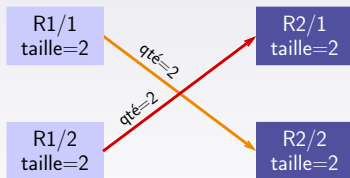
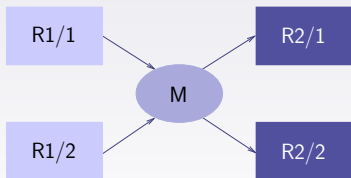
- 2 recettes $R1$ et $R2$, découpées chacune en 2 lots : $R1/1$, $R1/2$, et $R2/1$, $R2/2$
- 1 matériau M produit par $R1$ et consommé par $R2$



Pegging : le problème combinatoire

(Hypothèse : lot streaming déjà résolu)

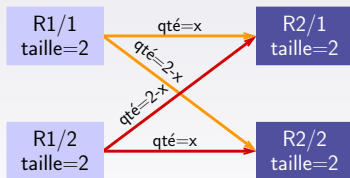
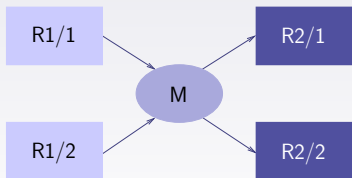
- 2 recettes $R1$ et $R2$, découpées chacune en 2 lots : $R1/1$, $R1/2$, et $R2/1$, $R2/2$
- 1 matériau M produit par $R1$ et consommé par $R2$



Pegging : le problème combinatoire

(Hypothèse : lot streaming déjà résolu)

- 2 recettes $R1$ et $R2$, découpées chacune en 2 lots : $R1/1$, $R1/2$, et $R2/1$, $R2/2$
- 1 matériau M produit par $R1$ et consommé par $R2$



Pegging : optimisation

Affectation d'un **délati** Δt sur chaque arc créé modélisant la différence temporelle entre :

(1) l'instant d'exécution du lot prédécesseur et celui du lot



(2) l'instant d'exécution du lot prédécesseur et la date de



⇒ Minimisation de la somme sur tous les arcs des **délais internes** (1) et d'**avance-retard** (2) multipliés par la **quantité de produit** circulant sur l'arc (borne supérieure)



Pegging : optimisation

Affectation d'un **délat** Δt sur chaque arc créé modélisant la différence temporelle entre :

(1) l'instant d'exécution du lot prédécesseur et celui du lot



(2) l'instant d'exécution du lot prédécesseur et la date de



⇒ Minimisation de la somme sur tous les arcs des **délais internes** (1) et d'**avance-retard** (2) multipliés par la **quantité de produit** circulant sur l'arc (borne supérieure)



Intérêts pratiques du pegging

Apports opérationnels

- déterminer des **précédences temporelles** entre les lots de production, pour *contraindre le problème d'ordonnancement*
- assurer que **la production précède la consommation** sans avoir recours à l'ajout de contraintes coûteuses en temps de calcul (mauvaise propagation), pour *alléger le moteur d'ordonnancement*

⇒ *accélérer la recherche de l'ordonnancement*

Apports informatifs

- faciliter le contrôle des inventaires à tout instant dans le moteur d'ordonnancement
- décider à l'avance des flux de matériaux : information et réactivité



Intérêts pratiques du pegging

Apports opérationnels

- déterminer des **précédences temporelles** entre les lots de production, pour *contraindre le problème d'ordonnancement*
- assurer que **la production précède la consommation** sans avoir recours à l'ajout de contraintes coûteuses en temps de calcul (mauvaise propagation), pour *alléger le moteur d'ordonnancement*

⇒ *accélérer la recherche de l'ordonnancement*

Apports informatifs

- faciliter le contrôle des inventaires à tout instant dans le moteur d'ordonnancement
- décider à l'avance des flux de matériaux : information et réactivité



Intérêts d'une résolution simultanée

- **quantité de production ciblée** par rapport aux demandes (*lot pour lot*)
- **limitation de la production en avance** due à une trop grande quantité produite
- **limitation du stockage** pour les mêmes raisons

Inconvénient :

Le problème résultant est très complexe et très combinatoire



Intérêts d'une résolution simultanée

- **quantité de production ciblée** par rapport aux demandes (*lot pour lot*)
- **limitation de la production en avance** due à une trop grande quantité produite
- **limitation du stockage** pour les mêmes raisons

Inconvénient :

Le problème résultant est très complexe et très combinatoire



Lot streaming : taille des lots

- bornes inférieure et supérieure : (1) et (2)
- cas facultatifs des tailles constantes : (3), (4) et (5)

$$\forall r \in \mathcal{Rec}, \forall j \in \{1, \dots, \max_r\}, \quad q_{ij} \geq \underline{LS}_r \times x_{ij} \quad (1)$$

$$q_{ij} \leq \overline{LS}_r \times x_{ij} \quad (2)$$

* cas des tailles de lot constante :

$$\forall r \in \mathcal{Rec}, \quad q_r = Q_r + \sum_{j=2}^{\max_r} \left(\left(\frac{Q_r}{j} - \frac{Q_r}{j-1} \right) \times x_{ij} \right) \quad (3)$$

$$\forall r \in \mathcal{Rec}, \forall j \in \{1, \dots, \max_r\}, \quad q_{ij} \geq q_r - \overline{LS}_r \times (1 - x_{ij}) \quad (4)$$

$$q_{ij} \leq q_r \quad (5)$$



Lot streaming : taille des lots

- bornes inférieure et supérieure : (1) et (2)
- cas facultatifs des tailles constantes : (3), (4) et (5)

$$\forall r \in \mathcal{Rec}, \forall j \in \{1, \dots, \max_r\}, \quad q_{ij} \geq \underline{LS}_r \times x_{ij} \quad (1)$$

$$q_{ij} \leq \overline{LS}_r \times x_{ij} \quad (2)$$

* cas des tailles de lot constante :

$$\forall r \in \mathcal{Rec}, \quad q_r = Q_r + \sum_{j=2}^{\max_r} \left(\left(\frac{Q_r}{j} - \frac{Q_r}{j-1} \right) \times x_{rj} \right) \quad (3)$$

$$\forall r \in \mathcal{Rec}, \forall j \in \{1, \dots, \max_r\}, \quad q_{ij} \geq q_r - \overline{LS}_r \times (1 - x_{ij}) \quad (4)$$

$$q_{ij} \leq q_r \quad (5)$$



Pegging : production et consommation

- consommation et production de chaque lot : (6) et (7)
- niveau d'inventaire de chaque matériau : (8)
- satisfaction de chaque demande : (9)

$$\forall r \in \mathcal{R}ec, \forall j \in \{1, \dots, \max_r\}, \forall m \in \mathcal{C}_r, \quad Q_{l_{ij}}^m + \sum_{\substack{r' \in \mathcal{R}ec \\ m \in \mathcal{P}_{r'}}} \sum_{j'=1}^{\max_{r'}} Q_{r'j'ij}^m = \theta_r^m \times q_{ij} \quad (6)$$

$$\forall r \in \mathcal{R}ec, \forall j \in \{1, \dots, \max_r\}, \forall m \in \mathcal{P}_r, \quad Q_{rjl}^m + \sum_{\substack{r' \in \mathcal{R}ec \\ m \in \mathcal{C}_{r'}}} \sum_{j'=1}^{\max_{r'}} Q_{rjr'j'l}^m + \sum_{\substack{d \in \mathcal{D} \\ m \text{ requis} \\ \text{par } d}} Q_{rjd} = \theta_r^m \times q_{ij} \quad (7)$$



Pegging : production et consommation

- consommation et production de chaque lot : (6) et (7)
- niveau d'inventaire de chaque matériau : (8)
- satisfaction de chaque demande : (9)

$$\forall m \in \mathcal{M}, \sum_{\substack{r \in \mathcal{R}ec \setminus \\ m \in \mathcal{C}_r}} \sum_{j=1}^{\max_r} Q_{I r j}^m + \sum_{\substack{d \in \mathcal{D} \setminus \\ m \text{ req.} \\ \text{par } d}} Q_{I d} - \sum_{\substack{r \in \mathcal{R}ec \setminus \\ m \in \mathcal{P}_r}} \sum_{j=1}^{\max_r} Q_{r j l}^m = I_i^m - I_f^m \quad (8)$$

$$\forall d \in \mathcal{D}, Q_{I d} + \sum_{\substack{r \in \mathcal{R}ec \setminus \\ m, \text{ req.} \\ \text{par } d, \in \mathcal{P}_r}} \sum_{j=1}^{\max_r} Q_{r j d}^m = q_d \quad (9)$$



Pegging : précédences temporelles

- précedence entre producteurs et consommateurs : (10)
- bornes inférieure et supérieure sur la date de fin des lots : (11)

$\forall r \in \text{Rec}, \forall j \in \{1, \dots, \max_r\}, \forall r' \in \text{Rec}, \forall j' \in \{1, \dots, \max_{r'}\}, \forall m \in \mathcal{P}_r \cap \mathcal{C}_{r'},$

$$t_{rj} \leq t_{r'j'} - p_{r'j'} + (\text{End} - \text{Start}) \times (1 - X_{r'r'j'j'}^m) \quad (10)$$

$$\forall r \in \text{Rec}, \forall j \in \{1, \dots, \max_r\}, \quad t_{rj} \geq \text{Start} + p_{rj} \quad (11a)$$

$$\forall r \in \text{Rec}, \forall j \in \{1, \dots, \max_r\}, \quad t_{rj} \leq \text{End} \quad (11b)$$



Pegging : précédences temporelles

- précedence entre producteurs et consommateurs : (10)
- bornes inférieure et supérieure sur la date de fin des lots : (11)

$\forall r \in \text{Rec}, \forall j \in \{1, \dots, \max_r\}, \forall r' \in \text{Rec}, \forall j' \in \{1, \dots, \max_{r'}\}, \forall m \in \mathcal{P}_r \cap \mathcal{C}_{r'},$

$$t_{rj} \leq t_{r'j'} - p_{r'j'} + (\text{End} - \text{Start}) \times (1 - X_{r'r'j'j'}^m) \quad (10)$$

$$\forall r \in \text{Rec}, \forall j \in \{1, \dots, \max_r\}, \quad t_{rj} \geq \text{Start} + p_{rj} \quad (11a)$$

$$\forall r \in \text{Rec}, \forall j \in \{1, \dots, \max_r\}, \quad t_{rj} \leq \text{End} \quad (11b)$$



Capacités des ressources (approximation)

- utilisation d'une ressource par les lots d'une même recette : (12)
- utilisation totale d'une ressource : (13)

$\forall r \in \mathcal{R}ec, \forall res \in \mathcal{R}es$ tq r utilise res ,

$$t_{r1} \geq Start + p_{r1} \times \frac{End - Start}{C_{res}} \quad (12a)$$

$\forall r \in \mathcal{R}ec, \forall res \in \mathcal{R}es$ tq r utilise res ,

$\forall j \in \{1, \dots, max_r\}$,

$$t_{rj} \geq t_{rj-1} + (p_{rj} + \delta t_r^{res}) \times \frac{End - Start}{C_{res}} \quad (12b)$$

$$\forall res \in \mathcal{R}es, \sum_{r \in \mathcal{R}ec \setminus r \text{ req. } res} \sum_{j=1}^{max_r} p_{rj} \leq C_{res} \quad (13)$$



Capacités des ressources (approximation)

- utilisation d'une ressource par les lots d'une même recette : (12)
- utilisation totale d'une ressource : (13)

$\forall r \in \mathcal{R}ec, \forall res \in \mathcal{R}es$ tq r utilise res ,

$$t_{r1} \geq Start + p_{r1} \times \frac{End - Start}{C_{res}} \quad (12a)$$

$\forall r \in \mathcal{R}ec, \forall res \in \mathcal{R}es$ tq r utilise res ,

$\forall j \in \{1, \dots, max_r\}$,

$$t_{rj} \geq t_{rj-1} + (p_{rj} + \delta t_r^{res}) \times \frac{End - Start}{C_{res}} \quad (12b)$$

$$\forall res \in \mathcal{R}es, \quad \sum_{r \in \mathcal{R}ec \setminus \{r \text{ req. } res\}} \sum_{j=1}^{max_r} p_{rj} \leq C_{res} \quad (13)$$



Contraintes artificielles de liaison

- rupture de symétrie dans la création des lots
- respect des décisions de planning
- liaison entre existence d'un arc de pegging et quantité en circulation
- liaison entre délai sur un arc de pegging et dates des lots et/ou des demandes



Contraintes artificielles de liaison

- rupture de symétrie dans la création des lots
- respect des décisions de planning
- liaison entre existence d'un arc de pegging et quantité en circulation
- liaison entre délai sur un arc de pegging et dates des lots et/ou des demandes



Contraintes artificielles de liaison

- rupture de symétrie dans la création des lots
- respect des décisions de planning
- liaison entre existence d'un arc de pegging et quantité en circulation
- liaison entre délai sur un arc de pegging et dates des lots et/ou des demandes



Contraintes artificielles de liaison

- rupture de symétrie dans la création des lots
- respect des décisions de planning
- liaison entre existence d'un arc de pegging et quantité en circulation
- liaison entre délai sur un arc de pegging et dates des lots et/ou des demandes



Fonction objectif

Minimiser la somme des délais sur les arcs de pegging

$$\begin{aligned}
 \text{Minimiser} \quad & \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{j=1}^{\max_r} \left(c_r^{\text{prod}_f} \times x_{rj} + c_r^{\text{prod}_v} \times q_{rj} \right) \\
 & + \sum_{d \in \mathcal{D}} \sum_{\substack{r \in \mathcal{R} \setminus \\ m \text{ requis} \\ \text{par } d, \in \mathcal{P}_r}} \sum_{j=1}^{\max_r} (X_{rjd} \times t_d - Z_{rjd})^+ \times c_d^{\text{retard}} \times M_{rj}^d \\
 & + \sum_{d \in \mathcal{D}} \sum_{\substack{r \in \mathcal{R} \setminus \\ m \text{ requis} \\ \text{par } d, \in \mathcal{P}_r}} \sum_{j=1}^{\max_r} (Z_{rjd} - X_{rjd} \times t_d)^+ \times c_d^{\text{avance}} \times M_{rj}^d \\
 & + \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{j=1}^{\max_r} \sum_{r' \in \mathcal{R}} \sum_{j'=1}^{\max_{r'} t} \sum_{m \in \mathcal{P}_r \cap \mathcal{C}_{r'}} \left(ZC_{rj'r'j'}^m - ZP_{rj'r'j'}^m \right) \times c_m^{\text{stock}} \times M_{rj'r'j'}^m
 \end{aligned}$$



Fonction objectif

Minimiser la somme des délais sur les arcs de pegging

$$\begin{aligned}
 \text{Minimiser} \quad & \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{j=1}^{\max_r} \left(c_r^{\text{prod}_f} \times x_{rj} + c_r^{\text{prod}_v} \times q_{rj} \right) \\
 & + \sum_{d \in \mathcal{D}} \sum_{\substack{r \in \mathcal{R} \setminus \\ m \text{ requis} \\ \text{par } d, \in \mathcal{P}_r}} \sum_{j=1}^{\max_r} (X_{rjd} \times t_d - Z_{rjd})^+ \times c_d^{\text{retard}} \times M_{rj}^d \\
 & + \sum_{d \in \mathcal{D}} \sum_{\substack{r \in \mathcal{R} \setminus \\ m \text{ requis} \\ \text{par } d, \in \mathcal{P}_r}} \sum_{j=1}^{\max_r} (Z_{rjd} - X_{rjd} \times t_d)^+ \times c_d^{\text{avance}} \times M_{rj}^d \\
 & + \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{j=1}^{\max_r} \sum_{r' \in \mathcal{R}} \sum_{j'=1}^{\max_{r'} t} \sum_{m \in \mathcal{P}_r \cap \mathcal{C}_{r'}} \left(ZC_{jr'j'}^m - ZP_{jr'j'}^m \right) \times c_m^{\text{stock}} \times M_{jr'j'}^m
 \end{aligned}$$



Fonction objectif

Minimiser la somme des délais sur les arcs de pegging

$$\begin{aligned}
 \text{Minimiser} \quad & \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{j=1}^{\max_r} \left(c_r^{\text{prod}_f} \times x_{rj} + c_r^{\text{prod}_v} \times q_{rj} \right) \\
 & + \sum_{d \in \mathcal{D}} \sum_{\substack{r \in \mathcal{R} \setminus \\ m \text{ requis} \\ \text{par } d, \in \mathcal{P}_r}} \sum_{j=1}^{\max_r} (X_{rjd} \times t_d - Z_{rjd})^+ \times c_d^{\text{retard}} \times M_{rj}^d \\
 & + \sum_{d \in \mathcal{D}} \sum_{\substack{r \in \mathcal{R} \setminus \\ m \text{ requis} \\ \text{par } d, \in \mathcal{P}_r}} \sum_{j=1}^{\max_r} (Z_{rjd} - X_{rjd} \times t_d)^+ \times c_d^{\text{avance}} \times M_{rj}^d \\
 & + \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{j=1}^{\max_r} \sum_{r' \in \mathcal{R}} \sum_{j'=1}^{\max_{r'} t} \sum_{m \in \mathcal{P}_r \cap \mathcal{C}_{r'}} \left(ZC_{rj'r'j'}^m - ZP_{rj'r'j'}^m \right) \times c_m^{\text{stock}} \times M_{rj'r'j'}^m
 \end{aligned}$$



Fonction objectif

Minimiser la somme des délais sur les arcs de pegging

$$\begin{aligned}
 \text{Minimiser} \quad & \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{j=1}^{\max_r} \left(c_r^{\text{prod}_f} \times x_{rj} + c_r^{\text{prod}_v} \times q_{rj} \right) \\
 & + \sum_{d \in \mathcal{D}} \sum_{\substack{r \in \mathcal{R} \setminus \\ m \text{ requis} \\ \text{par } d, \in \mathcal{P}_r}} \sum_{j=1}^{\max_r} (X_{rjd} \times t_d - Z_{rjd})^+ \times c_d^{\text{retard}} \times M_{rj}^d \\
 & + \sum_{d \in \mathcal{D}} \sum_{\substack{r \in \mathcal{R} \setminus \\ m \text{ requis} \\ \text{par } d, \in \mathcal{P}_r}} \sum_{j=1}^{\max_r} (Z_{rjd} - X_{rjd} \times t_d)^+ \times c_d^{\text{avance}} \times M_{rj}^d \\
 & + \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{j=1}^{\max_r} \sum_{r' \in \mathcal{R}} \sum_{j'=1}^{\max_{r'}} \sum_{m \in \mathcal{P}_r \cap \mathcal{C}_{r'}} \left(ZC_{rj'r'j'}^m - ZP_{rj'r'j'}^m \right) \times c_m^{\text{stock}} \times M_{rj'r'j'}^m
 \end{aligned}$$



Description du benchmark

planification ▷ lot streaming + pegging ▷ ordonnancement

- 92 instances réparties en 4 classes selon le type de chaîne de production décrite
- 10 chaînes de production avec une ou plusieurs étapes de production
- entre 2 et 14 recettes, entre 10 et 90 demandes jusqu'à 30 ressources
- différentes prises en compte dans la planification et l'ordonnancement de pénalités d'avance, de retard et de coûts de production



Description du benchmark

planification ▷ lot streaming + pegging ▷ ordonnancement

- 92 instances réparties en 4 classes selon le type de chaîne de production décrite
- 10 chaînes de production avec une ou plusieurs étapes de production
- entre 2 et 14 recettes, entre 10 et 90 demandes jusqu'à 30 ressources
- différentes prises en compte dans la planification et l'ordonnancement de pénalités d'avance, de retard et de coûts de production



Description du benchmark

planification ▷ lot streaming + pegging ▷ ordonnancement

- 92 instances réparties en 4 classes selon le type de chaîne de production décrite
- 10 chaînes de production avec une ou plusieurs étapes de production
- entre 2 et 14 recettes, entre 10 et 90 demandes jusqu'à 30 ressources
- différentes prises en compte dans la planification et l'ordonnancement de pénalités d'avance, de retard et de coûts de production



Description du benchmark

planification ▷ lot streaming + pegging ▷ ordonnancement

- 92 instances réparties en 4 classes selon le type de chaîne de production décrite
- 10 chaînes de production avec une ou plusieurs étapes de production
- entre 2 et 14 recettes, entre 10 et 90 demandes jusqu'à 30 ressources
- différentes prises en compte dans la planification et l'ordonnancement de pénalités d'avance, de retard et de coûts de production



Description du benchmark

planification ▷ lot streaming + pegging ▷ ordonnancement

- 92 instances réparties en 4 classes selon le type de chaîne de production décrite
- 10 chaînes de production avec une ou plusieurs étapes de production
- entre 2 et 14 recettes, entre 10 et 90 demandes jusqu'à 30 ressources
- différentes prises en compte dans la planification et l'ordonnancement de pénalités d'avance, de retard et de coûts de production



Description du benchmark

planification ▷ lot streaming + pegging ▷ ordonnancement

- 92 instances réparties en 4 classes selon le type de chaîne de production décrite
- 10 chaînes de production avec une ou plusieurs étapes de production
- entre 2 et 14 recettes, entre 10 et 90 demandes jusqu'à 30 ressources
- différentes prises en compte dans la planification et l'ordonnancement de pénalités d'avance, de retard et de coûts de production



Description du benchmark

planification ▷ lot streaming + pegging ▷ ordonnancement

- 92 instances réparties en 4 classes selon le type de chaîne de production décrite
- 10 chaînes de production avec une ou plusieurs étapes de production
- entre 2 et 14 recettes, entre 10 et 90 demandes jusqu'à 30 ressources
- différentes prises en compte dans la planification et l'ordonnancement de pénalités d'avance, de retard et de coûts de production



Technique de référence et indicateurs de qualité

Résolution heuristique \mathcal{H}_e

- *lot streaming* : maximisation de la taille des lots (minimisation du nombre de lots)
- *pegging* : procédure gloutonne fondée sur un algorithme de tri

⇒ Comparaison avec le programme mathématique \mathcal{P}_m

Critères comparés

- valeur de la solution finale pour l'ordonnancement
- valeur des différents termes de l'objectif de l'ordonnancement



Technique de référence et indicateurs de qualité

Résolution heuristique \mathcal{H}_e

- *lot streaming* : maximisation de la taille des lots (minimisation du nombre de lots)
- *pegging* : procédure gloutonne fondée sur un algorithme de tri

⇒ Comparaison avec le programme mathématique \mathcal{P}_m

Critères comparés

- valeur de la solution finale pour l'ordonnancement
- valeur des différents termes de l'objectif de l'ordonnancement



Notations

- $\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$ quand \mathcal{P}_m aboutit à une amélioration du critère considéré,
- $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$ quand \mathcal{P}_m et \mathcal{H}_e sont équivalentes,
- $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$ quand \mathcal{P}_m aboutit à une dégradation du critère.



\mathcal{P}_m vs. \mathcal{H}_e : solutions finales de l'ordonnancement

Nombre d'instances	
$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$	46/92 (50.0%)
$\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$	30/92 (32.6%)
$\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$	16/92 (17.4%)
% meilleure amélioration	40.76%
% plus mauvaise dégradation	37.23%
% amélioration moyenne	6.21%



\mathcal{P}_m vs. \mathcal{H}_e : critères de la fonction objectif

	Production	Retard	Avance
$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 21/46 (45.7%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 25/46 (54.3%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 41/46 (89.1%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 5/46 (10.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 18/24 (75.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/24 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 6/24 (25.0%)
$\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/14 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%)
$\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/16 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 3/16 (16.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 2/16 (12.5%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 11/16 (68.8%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 5/8 (62.5%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/8 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 3/8 (37.5%)
Total	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/92 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 59/92 (64.1%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 33/92 (35.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 44/92 (47.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 32/92 (34.8%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 16/92 (17.4%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 23/46 (50.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/46 (30.4%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 9/46 (19.7%)



\mathcal{P}_m vs. \mathcal{H}_e : critères de la fonction objectif

	Production	Retard	Avance
$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 21/46 (45.7%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 25/46 (54.3%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 41/46 (89.1%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 5/46 (10.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 18/24 (75.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/24 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 6/24 (25.0%)
$\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/14 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%)
$\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/16 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 3/16 (16.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 2/16 (12.5%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 11/16 (68.8%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 5/8 (62.5%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/8 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 3/8 (37.5%)
Total	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/92 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 59/92 (64.1%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 33/92 (35.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 44/92 (47.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 32/92 (34.8%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 16/92 (17.4%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 23/46 (50.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/46 (30.4%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 9/46 (19.7%)



\mathcal{P}_m vs. \mathcal{H}_e : critères de la fonction objectif

	Production	Retard	Avance
$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 21/46 (45.7%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 25/46 (54.3%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 41/46 (89.1%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 5/46 (10.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 18/24 (75.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/24 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 6/24 (25.0%)
$\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/14 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%)
$\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/16 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 3/16 (16.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 2/16 (12.5%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 11/16 (68.8%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 5/8 (62.5%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/8 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 3/8 (37.5%)
Total	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/92 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 59/92 (64.1%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 33/92 (35.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 44/92 (47.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 32/92 (34.8%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 16/92 (17.4%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 23/46 (50.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/46 (30.4%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 9/46 (19.7%)



\mathcal{P}_m vs. \mathcal{H}_e : critères de la fonction objectif

	Production	Retard	Avance
$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 21/46 (45.7%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 25/46 (54.3%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 41/46 (89.1%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 5/46 (10.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 18/24 (75.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/24 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 6/24 (25.0%)
$\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/14 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%)
$\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/16 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 3/16 (16.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 2/16 (12.5%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 11/16 (68.8%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 5/8 (62.5%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/8 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 3/8 (37.5%)
Total	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/92 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 59/92 (64.1%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 33/92 (35.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 44/92 (47.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 32/92 (34.8%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 16/92 (17.4%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 23/46 (50.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/46 (30.4%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 9/46 (19.7%)



\mathcal{P}_m vs. \mathcal{H}_e : critères de la fonction objectif

	Production	Retard	Avance
$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 21/46 (45.7%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 25/46 (54.3%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 41/46 (89.1%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 5/46 (10.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 18/24 (75.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/24 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 6/24 (25.0%)
$\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/14 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%)
$\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/16 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 3/16 (16.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 2/16 (12.5%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 11/16 (68.8%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 5/8 (62.5%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/8 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 3/8 (37.5%)
Total	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/92 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 59/92 (64.1%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 33/92 (35.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 44/92 (47.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 32/92 (34.8%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 16/92 (17.4%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 23/46 (50.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/46 (30.4%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 9/46 (19.7%)



\mathcal{P}_m vs. \mathcal{H}_e : critères de la fonction objectif

	Production	Retard	Avance
$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 21/46 (45.7%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 25/46 (54.3%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 41/46 (89.1%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 5/46 (10.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 18/24 (75.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/24 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 6/24 (25.0%)
$\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/14 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%)
$\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/16 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 3/16 (16.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 2/16 (12.5%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 11/16 (68.8%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 5/8 (62.5%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/8 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 3/8 (37.5%)
Total	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/92 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 59/92 (64.1%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 33/92 (35.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 44/92 (47.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 32/92 (34.8%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 16/92 (17.4%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 23/46 (50.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/46 (30.4%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 9/46 (19.7%)



\mathcal{P}_m vs. \mathcal{H}_e : critères de la fonction objectif

	Production	Retard	Avance
$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 21/46 (45.7%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 25/46 (54.3%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 41/46 (89.1%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 5/46 (10.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 18/24 (75.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/24 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 6/24 (25.0%)
$\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/14 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%)
$\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/16 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 3/16 (16.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 2/16 (12.5%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 11/16 (68.8%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 5/8 (62.5%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/8 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 3/8 (37.5%)
Total	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/92 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 59/92 (64.1%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 33/92 (35.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 44/92 (47.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 32/92 (34.8%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 16/92 (17.4%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 23/46 (50.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/46 (30.4%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 9/46 (19.7%)



\mathcal{P}_m vs. \mathcal{H}_e : critères de la fonction objectif

	Production	Retard	Avance
$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 21/46 (45.7%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 25/46 (54.3%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 41/46 (89.1%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 5/46 (10.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 18/24 (75.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/24 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 6/24 (25.0%)
$\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/14 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%)
$\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/16 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 3/16 (16.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 2/16 (12.5%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 11/16 (68.8%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 5/8 (62.5%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/8 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 3/8 (37.5%)
Total	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/92 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 59/92 (64.1%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 33/92 (35.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 44/92 (47.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 32/92 (34.8%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 16/92 (17.4%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 23/46 (50.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/46 (30.4%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 9/46 (19.7%)



\mathcal{P}_m vs. \mathcal{H}_e : critères de la fonction objectif

	Production	Retard	Avance
$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 21/46 (45.7%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 25/46 (54.3%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 41/46 (89.1%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 5/46 (10.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 18/24 (75.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/24 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 6/24 (25.0%)
$\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/14 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%)
$\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/16 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 3/16 (16.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 2/16 (12.5%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 11/16 (68.8%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 5/8 (62.5%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/8 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 3/8 (37.5%)
Total	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/92 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 59/92 (64.1%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 33/92 (35.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 44/92 (47.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 32/92 (34.8%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 16/92 (17.4%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 23/46 (50.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/46 (30.4%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 9/46 (19.7%)



\mathcal{P}_m vs. \mathcal{H}_e : critères de la fonction objectif

	Production	Retard	Avance
$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 21/46 (45.7%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 25/46 (54.3%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 41/46 (89.1%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/46 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 5/46 (10.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 18/24 (75.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/24 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 6/24 (25.0%)
$\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 30/30 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/30 (0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/14 (100%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 0/14 (0%)
$\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/16 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 8/16 (50.0%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 3/16 (16.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 2/16 (12.5%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 11/16 (68.8%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 5/8 (62.5%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 0/8 (0%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 3/8 (37.5%)
Total	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 0/92 (0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 59/92 (64.1%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 33/92 (35.9%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 44/92 (47.8%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 32/92 (34.8%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 16/92 (17.4%)	$\mathcal{P}_m > \mathcal{H}_e$: 23/46 (50.0%) $\mathcal{P}_m = \mathcal{H}_e$: 14/46 (30.4%) $\mathcal{P}_m < \mathcal{H}_e$: 9/46 (19.7%)



Conclusion et perspectives

Conclusion

- Mise en évidence d'un problème à 2 composantes : **lot streaming** et **pegging**
- Etablissement d'un premier modèle sous forme d'un **programme linéaire en variables mixtes**
- Bonnes performances relativement à une résolution heuristique

Perspectives

- Poursuivre l'amélioration du modèle
- Augmenter le nombre de problèmes résolus et tester sur des cas issus d'industriels de la production
- Envisager une approche décomposée en 2 modèles coopératifs



Conclusion et perspectives

Conclusion

- Mise en évidence d'un problème à 2 composantes : **lot streaming** et **pegging**
- Etablissement d'un premier modèle sous forme d'un **programme linéaire en variables mixtes**
- Bonnes performances relativement à une résolution heuristique

Perspectives

- Poursuivre l'amélioration du modèle
- Augmenter le nombre de problèmes résolus et tester sur des cas issus d'industriels de la production
- Envisager une approche décomposée en 2 modèles coopératifs



Conclusion et perspectives

Conclusion

- Mise en évidence d'un problème à 2 composantes : **lot streaming** et **pegging**
- Etablissement d'un premier modèle sous forme d'un **programme linéaire en variables mixtes**
- Bonnes performances relativement à une résolution heuristique

Perspectives

- Poursuivre l'amélioration du modèle
- Augmenter le nombre de problèmes résolus et tester sur des cas issus d'industriels de la production
- Envisager une approche décomposée en 2 modèles coopératifs



Conclusion et perspectives

Conclusion

- Mise en évidence d'un problème à 2 composantes : **lot streaming** et **pegging**
- Etablissement d'un premier modèle sous forme d'un **programme linéaire en variables mixtes**
- Bonnes performances relativement à une résolution heuristique

Perspectives

- Poursuivre l'amélioration du modèle
- Augmenter le nombre de problèmes résolus et tester sur des cas issus d'industriels de la production
- Envisager une approche décomposée en 2 modèles coopératifs



Conclusion et perspectives

Conclusion

- Mise en évidence d'un problème à 2 composantes : **lot streaming** et **pegging**
- Etablissement d'un premier modèle sous forme d'un **programme linéaire en variables mixtes**
- Bonnes performances relativement à une résolution heuristique

Perspectives

- Poursuivre l'amélioration du modèle
- Augmenter le nombre de problèmes résolus et tester sur des cas issus d'industriels de la production
- Envisager une approche décomposée en 2 modèles coopératifs



Conclusion et perspectives

Conclusion

- Mise en évidence d'un problème à 2 composantes : **lot streaming** et **pegging**
- Etablissement d'un premier modèle sous forme d'un **programme linéaire en variables mixtes**
- Bonnes performances relativement à une résolution heuristique

Perspectives

- Poursuivre l'amélioration du modèle
- Augmenter le nombre de problèmes résolus et tester sur des cas issus d'industriels de la production
- Envisager une approche décomposée en 2 modèles coopératifs

