

Les groupes d'opérations permutables permettent-ils de pallier les incertitudes ?

Guillaume Pinot

IRCCyN — UMR CNRS 6597
Nantes, France
guillaume.pinot@irccyn.ec-nantes.fr

JDoc 2007

Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Ordonnancement de groupes
- 3 Adaptation de l'ordonnancement de groupes sur une chaîne de production
- 4 Expérimentations
- 5 Conclusion

Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Ordonnancement de groupes
- 3 Adaptation de l'ordonnancement de groupes sur une chaîne de production
- 4 Expérimentations
- 5 Conclusion

Exemple : un problème de *job shop*

i représente un travail, j une opération, $M_{i,j}$ la machine requise par l'opération j du travail i , et $p_{i,j}$ le temps requis par l'opération j du travail i .

Problème

| i | j | $M_{i,j}$ | $p_{i,j}$ |
|-----|-----|-----------|-----------|
| 1 | 1 | 1 | 3 |
| 1 | 2 | 2 | 3 |
| 1 | 3 | 3 | 3 |
| 2 | 1 | 2 | 4 |
| 2 | 2 | 3 | 3 |
| 2 | 3 | 1 | 1 |
| 3 | 1 | 3 | 2 |
| 3 | 2 | 1 | 2 |
| 3 | 3 | 2 | 2 |

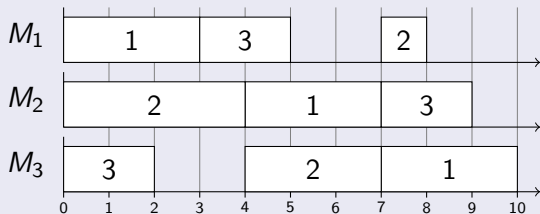
Exemple : un problème de *job shop*

i représente un travail, j une opération, $M_{i,j}$ la machine requise par l'opération j du travail i , et $p_{i,j}$ le temps requis par l'opération j du travail i .

Problème

| i | j | $M_{i,j}$ | $p_{i,j}$ |
|-----|-----|-----------|-----------|
| 1 | 1 | 1 | 3 |
| 1 | 2 | 2 | 3 |
| 1 | 3 | 3 | 3 |
| 2 | 1 | 2 | 4 |
| 2 | 2 | 3 | 3 |
| 2 | 3 | 1 | 1 |
| 3 | 1 | 3 | 2 |
| 3 | 2 | 1 | 2 |
| 3 | 3 | 2 | 2 |

Une Solution de qualité $C_{\max} = 10$



Introduction

L'ordonnancement d'atelier type *job shop* :

- est un problème d'optimisation combinatoire très complexe ;
- représente les ateliers de productions travaillant à la commande et réalisant des produits différents (petite et moyenne série) ;
- n'est pas aussi déterministe en réalité : des incertitudes peuvent être présentes (opération durant plus de temps que prévu, retard de livraison, etc.).

Introduction

L'ordonnancement d'atelier type *job shop* :

- est un problème d'optimisation combinatoire très complexe ;
- représente les ateliers de productions travaillant à la commande et réalisant des produits différents (petite et moyenne série) ;
- n'est pas aussi déterministe en réalité : des incertitudes peuvent être présentes (opération durant plus de temps que prévu, retard de livraison, etc.).

Introduction

L'ordonnancement d'atelier type *job shop* :

- est un problème d'optimisation combinatoire très complexe ;
- représente les ateliers de productions travaillant à la commande et réalisant des produits différents (petite et moyenne série) ;
- n'est pas aussi déterministe en réalité : des incertitudes peuvent être présentes (opération durant plus de temps que prévu, retard de livraison, etc.).

Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Ordonnement de groupes
- 3 Adaptation de l'ordonnement de groupes sur une chaîne de production
- 4 Expérimentations
- 5 Conclusion

Ordonnancement de groupes

L'ordonnancement de groupes fut créé au LAAS-CNRS pour obtenir de la flexibilité séquentielle durant l'exécution de l'ordonnancement tout en assurant une certaine qualité. Pour une description complète de la méthode :

[Esswein, 2003, Esswein et al., 2004, Artigues et al., 2005].

Pour générer de la flexibilité séquentielle, cette méthode utilise des « groupes d'opérations permutables ».

Ordonnancement de groupes

L'ordonnancement de groupes fut créé au LAAS-CNRS pour obtenir de la flexibilité séquentielle durant l'exécution de l'ordonnancement tout en assurant une certaine qualité. Pour une description complète de la méthode :
[Esswein, 2003, Esswein et al., 2004, Artigues et al., 2005].
Pour générer de la flexibilité séquentielle, cette méthode utilise des « groupes d'opérations permutables ».

Exemple : un problème de *job shop*

i représente un travail, j une opération, $M_{i,j}$ la machine requise par opération j du travail i , et $p_{i,j}$ le temps requis par l'opération j du travail i .

Problème

| i | j | $M_{i,j}$ | $p_{i,j}$ |
|-----|-----|-----------|-----------|
| 1 | 1 | 1 | 3 |
| 1 | 2 | 2 | 3 |
| 1 | 3 | 3 | 3 |
| 2 | 1 | 2 | 4 |
| 2 | 2 | 3 | 3 |
| 2 | 3 | 1 | 1 |
| 3 | 1 | 3 | 2 |
| 3 | 2 | 1 | 2 |
| 3 | 3 | 2 | 2 |

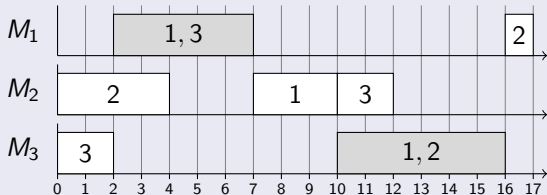
Exemple : un problème de *job shop*

i représente un travail, j une opération, $M_{i,j}$ la machine requise par opération j du travail i , et $p_{i,j}$ le temps requis par l'opération j du travail i .

Problème

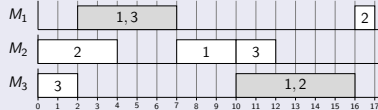
| i | j | $M_{i,j}$ | $p_{i,j}$ |
|-----|-----|-----------|-----------|
| 1 | 1 | 1 | 3 |
| 1 | 2 | 2 | 3 |
| 1 | 3 | 3 | 3 |
| 2 | 1 | 2 | 4 |
| 2 | 2 | 3 | 3 |
| 2 | 3 | 1 | 1 |
| 3 | 1 | 3 | 2 |
| 3 | 2 | 1 | 2 |
| 3 | 3 | 2 | 2 |

Une Solution

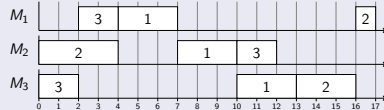
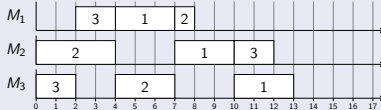
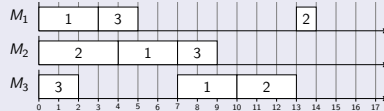
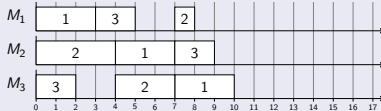


Exécution de l'exemple

L'Ordonnement de groupes



Les Ordonnements semi-actifs correspondants



Pourquoi l'ordonnancement de groupes est-il intéressant ?

Pourquoi l'ordonnancement de groupes est-il intéressant ?

- méthode prédictive réactive ;
- flexibilité sur les séquences ;
- évaluation de l'ordonnancement dans le pire des cas en temps polynomial pour les objectifs de type *minmax* ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode bien étudiée et recherche toujours active sur le sujet ([Esswein, 2003]) ;
- méthode permettant de pallier certaines incertitudes, comme nous allons le voir.

Pourquoi l'ordonnancement de groupes est-il intéressant ?

Pourquoi l'ordonnancement de groupes est-il intéressant ?

- méthode prédictive réactive ;
- flexibilité sur les séquences ;
- évaluation de l'ordonnancement dans le pire des cas en temps polynomial pour les objectifs de type *minmax* ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode bien étudiée et recherche toujours active sur le sujet ([Esswein, 2003]) ;
- méthode permettant de pallier certaines incertitudes, comme nous allons le voir.

Pourquoi l'ordonnancement de groupes est-il intéressant ?

Pourquoi l'ordonnancement de groupes est-il intéressant ?

- méthode prédictive réactive ;
- flexibilité sur les séquences ;
- évaluation de l'ordonnancement dans le pire des cas en temps polynomial pour les objectifs de type *minmax* ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode bien étudiée et recherche toujours active sur le sujet ([Esswein, 2003]) ;
- méthode permettant de pallier certaines incertitudes, comme nous allons le voir.

Pourquoi l'ordonnancement de groupes est-il intéressant ?

Pourquoi l'ordonnancement de groupes est-il intéressant ?

- méthode prédictive réactive ;
- flexibilité sur les séquences ;
- évaluation de l'ordonnancement dans le pire des cas en temps polynomial pour les objectifs de type *minmax* ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode bien étudiée et recherche toujours active sur le sujet ([Esswein, 2003]) ;
- méthode permettant de pallier certaines incertitudes, comme nous allons le voir.

Pourquoi l'ordonnancement de groupes est-il intéressant ?

Pourquoi l'ordonnancement de groupes est-il intéressant ?

- méthode prédictive réactive ;
- flexibilité sur les séquences ;
- évaluation de l'ordonnancement dans le pire des cas en temps polynomial pour les objectifs de type *minmax* ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode bien étudiée et recherche toujours active sur le sujet ([Esswein, 2003]) ;
- méthode permettant de pallier certaines incertitudes, comme nous allons le voir.

Pourquoi l'ordonnancement de groupes est-il intéressant ?

Pourquoi l'ordonnancement de groupes est-il intéressant ?

- méthode prédictive réactive ;
- flexibilité sur les séquences ;
- évaluation de l'ordonnancement dans le pire des cas en temps polynomial pour les objectifs de type *minmax* ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode bien étudiée et recherche toujours active sur le sujet ([Esswein, 2003]) ;
- méthode permettant de pallier certaines incertitudes, comme nous allons le voir.

Pourquoi l'ordonnancement de groupes est-il intéressant ?

Pourquoi l'ordonnancement de groupes est-il intéressant ?

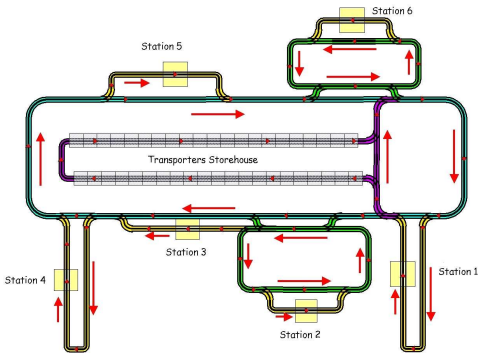
- méthode prédictive réactive ;
- flexibilité sur les séquences ;
- évaluation de l'ordonnancement dans le pire des cas en temps polynomial pour les objectifs de type *minmax* ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode bien étudiée et recherche toujours active sur le sujet ([Esswein, 2003]) ;
- méthode permettant de pallier certaines incertitudes, comme nous allons le voir.

Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Ordonnancement de groupes
- 3 Adaptation de l'ordonnancement de groupes sur une chaîne de production**
- 4 Expérimentations
- 5 Conclusion

La chaîne de production

La chaîne de production :



Job shop avec temps de transports.

Ordonnement de groupes :

- chaque station tient à jour une liste de groupes d'opérations à exécuter ;
- une station n'accepte qu'une opération appartenant au groupe courant ;
- lorsqu'un groupe est vide, passer au groupe suivant.

Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Ordonnancement de groupes
- 3 Adaptation de l'ordonnancement de groupes sur une chaîne de production
- 4 Expérimentations**
- 5 Conclusion

Protocole

Utilisation du problème la14¹ (pas de temps de transport).


Différentes exécutions :

opt : Un ordonnancement optimale du problème la14. La qualité est $C_{\max} = 1292$. Les séquences des opérations sur chaque machine doivent suivre les séquences de l'ordonnancement optimal.

grp-opt : Un ordonnancement de groupes possédant comme qualité dans tous les cas : $C_{\max} = 1292$.

grp-opt+7 : Un ordonnancement de groupes possédant comme qualité dans le pire des cas $C_{\max} = 1382$.

dyn : une version totalement dynamique, reposant sur la règle « premier arrivé, premier servi ».

1. Voir <http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/info.html> 

Protocole

Utilisation du problème la14¹ (pas de temps de transport).


Différentes exécutions :

opt : Un ordonnancement optimale du problème la14. La qualité est $C_{\max} = 1292$. Les séquences des opérations sur chaque machine doivent suivre les séquences de l'ordonnancement optimal.

grp-opt : Un ordonnancement de groupes possédant comme qualité dans tous les cas : $C_{\max} = 1292$.

grp-opt+7 : Un ordonnancement de groupes possédant comme qualité dans le pire des cas $C_{\max} = 1382$.

dyn : une version totalement dynamique, reposant sur la règle « premier arrivé, premier servi ».

1. Voir <http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/info.html> 

Protocole

Utilisation du problème la14¹ (pas de temps de transport).

Différentes exécutions :

opt : Un ordonnancement optimale du problème la14. La qualité est $C_{\max} = 1292$. Les séquences des opérations sur chaque machine doivent suivre les séquences de l'ordonnancement optimal.

grp-opt : Un ordonnancement de groupes possédant comme qualité dans tous les cas : $C_{\max} = 1292$.

grp-opt+7 : Un ordonnancement de groupes possédant comme qualité dans le pire des cas $C_{\max} = 1382$.

dyn : une version totalement dynamique, reposant sur la règle « premier arrivé, premier servi ».

1. Voir <http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/info.html>

Protocole

Utilisation du problème la14¹ (pas de temps de transport).


Différentes exécutions :

opt : Un ordonnancement optimale du problème la14. La qualité est $C_{\max} = 1292$. Les séquences des opérations sur chaque machine doivent suivre les séquences de l'ordonnancement optimal.

grp-opt : Un ordonnancement de groupes possédant comme qualité dans tous les cas : $C_{\max} = 1292$.

grp-opt+7 : Un ordonnancement de groupes possédant comme qualité dans le pire des cas $C_{\max} = 1382$.

dyn : une version totalement dynamique, reposant sur la règle « premier arrivé, premier servi ».

1. Voir <http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/info.html> 

Protocole

Utilisation du problème la14¹ (pas de temps de transport).

Différentes exécutions :

opt : Un ordonnancement optimale du problème la14. La qualité est $C_{\max} = 1292$. Les séquences des opérations sur chaque machine doivent suivre les séquences de l'ordonnancement optimal.

grp-opt : Un ordonnancement de groupes possédant comme qualité dans tous les cas : $C_{\max} = 1292$.

grp-opt+7 : Un ordonnancement de groupes possédant comme qualité dans le pire des cas $C_{\max} = 1382$.

dyn : une version totalement dynamique, reposant sur la règle « premier arrivé, premier servi ».

1. Voir <http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/info.html>

Résultats

| Méthode | opt | grp-opt | grp-opt+7 | dyn |
|-----------------------|------|---------|-----------|------|
| $v = \infty$ | 1292 | 1292 | 1292 | 1425 |
| $v = 30 \text{ cm/s}$ | 1708 | 1415 | 1523 | 1684 |

TAB.: Temps total d'ordonnancement des différentes méthodes en fonction de la vitesse du convoyeur

Interprétation :

- $v = \infty$: toutes les exécutions ont un C_{\max} optimal sauf **dyn**.
- $v = 30 \text{ cm/s}$:
 - **opt** obtient la qualité la moins bonne ;
 - **dyn** obtient une meilleure qualité que **opt** ;
 - **grp-opt** et **grp-opt+7** obtiennent les meilleures qualités.

Pour ce cas réel, l'ordonnancement de groupes absorbe les incertitudes de manière efficace.



Résultats

| Méthode | opt | grp-opt | grp-opt+7 | dyn |
|-----------------------|------|---------|-----------|------|
| $v = \infty$ | 1292 | 1292 | 1292 | 1425 |
| $v = 30 \text{ cm/s}$ | 1708 | 1415 | 1523 | 1684 |

TAB.: Temps total d'ordonnancement des différentes méthodes en fonction de la vitesse du convoyeur

Interprétation :

- $v = \infty$: toutes les exécutions ont un C_{\max} optimal sauf **dyn**.
- $v = 30 \text{ cm/s}$:
 - **opt** obtient la qualité la moins bonne ;
 - **dyn** obtient une meilleure qualité que **opt** ;
 - **grp-opt** et **grp-opt+7** obtiennent les meilleures qualités.

Pour ce cas réel, l'ordonnancement de groupes absorbe les incertitudes de manière efficace.

Résultats

| Méthode | opt | grp-opt | grp-opt+7 | dyn |
|-----------------------|------|---------|-----------|------|
| $v = \infty$ | 1292 | 1292 | 1292 | 1425 |
| $v = 30 \text{ cm/s}$ | 1708 | 1415 | 1523 | 1684 |

TAB.: Temps total d'ordonnancement des différentes méthodes en fonction de la vitesse du convoyeur

Interprétation :

- $v = \infty$: toutes les exécutions ont un C_{\max} optimal sauf **dyn**.
- $v = 30 \text{ cm/s}$:
 - **opt** obtient la qualité la moins bonne ;
 - **dyn** obtient une meilleure qualité que **opt** ;
 - **grp-opt** et **grp-opt+7** obtiennent les meilleures qualités.

Pour ce cas réel, l'ordonnancement de groupes absorbe les incertitudes de manière efficace.



Résultats

| Méthode | opt | grp-opt | grp-opt+7 | dyn |
|-----------------------|------|---------|-----------|------|
| $v = \infty$ | 1292 | 1292 | 1292 | 1425 |
| $v = 30 \text{ cm/s}$ | 1708 | 1415 | 1523 | 1684 |

TAB.: Temps total d'ordonnancement des différentes méthodes en fonction de la vitesse du convoyeur

Interprétation :

- $v = \infty$: toutes les exécutions ont un C_{\max} optimal sauf **dyn**.
- $v = 30 \text{ cm/s}$:
 - **opt** obtient la qualité la moins bonne ;
 - **dyn** obtient une meilleure qualité que **opt** ;
 - **grp-opt** et **grp-opt+7** obtiennent les meilleures qualités.

Pour ce cas réel, l'ordonnancement de groupes absorbe les incertitudes de manière efficace.

Résultats

| Méthode | opt | grp-opt | grp-opt+7 | dyn |
|-----------------------|------|---------|-----------|------|
| $v = \infty$ | 1292 | 1292 | 1292 | 1425 |
| $v = 30 \text{ cm/s}$ | 1708 | 1415 | 1523 | 1684 |

TAB.: Temps total d'ordonnancement des différentes méthodes en fonction de la vitesse du convoyeur

Interprétation :

- $v = \infty$: toutes les exécutions ont un C_{\max} optimal sauf **dyn**.
- $v = 30 \text{ cm/s}$:
 - **opt** obtient la qualité la moins bonne ;
 - **dyn** obtient une meilleure qualité que **opt** ;
 - **grp-opt** et **grp-opt+7** obtiennent les meilleures qualités.

Pour ce cas réel, l'ordonnancement de groupes absorbe les incertitudes de manière efficace.

Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Ordonnancement de groupes
- 3 Adaptation de l'ordonnancement de groupes sur une chaîne de production
- 4 Expérimentations
- 5 Conclusion

Conclusion

Nous avons exposé :

- la problématique de l'ordonnancement sous incertitudes ;
- l'ordonnancement de groupes ;
- l'application de l'ordonnancement de groupes à une chaîne de production.

Dans de futurs travaux, nous allons réaliser d'autres expérimentations pour évaluer les limites de la méthode.

Conclusion

Nous avons exposé :

- la problématique de l'ordonnancement sous incertitudes ;
- l'ordonnancement de groupes ;
- l'application de l'ordonnancement de groupes à une chaîne de production.

Dans de futurs travaux, nous allons réaliser d'autres expérimentations pour évaluer les limites de la méthode.

Conclusion

Nous avons exposé :

- la problématique de l'ordonnancement sous incertitudes ;
- l'ordonnancement de groupes ;
- l'application de l'ordonnancement de groupes à une chaîne de production.

Dans de futurs travaux, nous allons réaliser d'autres expérimentations pour évaluer les limites de la méthode.




Conclusion

Nous avons exposé :

- la problématique de l'ordonnancement sous incertitudes ;
- l'ordonnancement de groupes ;
- l'application de l'ordonnancement de groupes à une chaîne de production.

Dans de futurs travaux, nous allons réaliser d'autres expérimentations pour évaluer les limites de la méthode.

Bibliographie I

-  Artigues, C., Billaut, J.-C., and Esswein, C. (2005).
Maximization of solution flexibility for robust shop scheduling.
European Journal of Operational Research, 165(2) :314–328.
-  Esquirol, P. and Lopez, P. (1999).
L'ordonnancement.
Economica, Paris.
-  Esswein, C. (2003).
Un apport de flexibilité séquentielle pour l'ordonnancement robuste.
Thèse de doctorat, Université François Rabelais Tours.

Bibliographie II



Esswein, C., Billaut, J.-C., and Artigues, C. (2004).

Ordonnancement de groupes : une approche multicritère pour un apport de flexibilité séquentielle.

In Billaut, J.-C., Moukrim, A., and Sanlaville, E., editors, *Flexibilité et robustesse en ordonnancement*, Traité IC2, pages 219–241. Hermes Science, Paris.