

# Une étude sur l'ordonnancement de groupes par rapport aux temps de transport dans une chaîne de production

Guillaume Pinot   Olivier Cardin   Nasser Mebarki

IRCCyN — UMR CNRS 6597  
Nantes, France  
prenom.nom@irccyn.ec-nantes.fr

ROADEF 2008

# 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

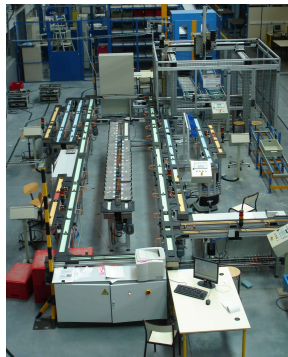
# Introduction

Chaîne de production flexible (FMS) :  
conçue pour combiner une haute  
productivité et une flexibilité de production.

Le problème du *job-shop* : un modèle utilisé  
pour optimiser les FMS.

Le modèle du *job-shop* est un modèle  
simplifié du FMS : il existe des différences  
entre le modèle et la réalité, les incertitudes  
(temps de transports, durées opératoires  
variables, etc.).

L'ordonnancement de groupes peut être  
une solution à ce problème : il fournit une  
flexibilité séquentielle à une solution d'un  
problème de *job-shop* qui permet  
d'absorber certaines incertitudes.

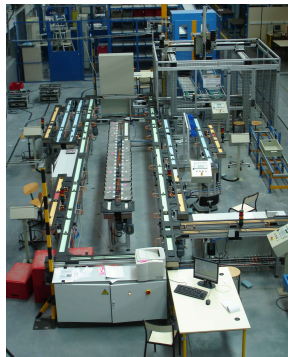


# Introduction

Chaîne de production flexible (FMS) :  
conçue pour combiner une haute  
productivité et une flexibilité de production.  
Le problème du *job-shop* : un modèle utilisé  
pour optimiser les FMS.

Le modèle du *job-shop* est un modèle  
simplifié du FMS : il existe des différences  
entre le modèle et la réalité, les incertitudes  
(temps de transports, durées opératoires  
variables, etc.).

L'ordonnancement de groupes peut être  
une solution à ce problème : il fournit une  
flexibilité séquentielle à une solution d'un  
problème de *job-shop* qui permet  
d'absorber certaines incertitudes.

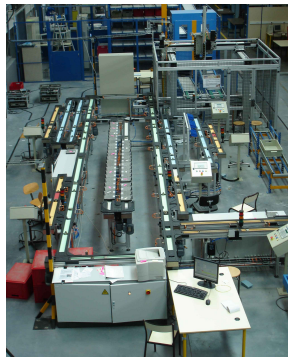


# Introduction

Chaîne de production flexible (FMS) : conçue pour combiner une haute productivité et une flexibilité de production. Le problème du *job-shop* : un modèle utilisé pour optimiser les FMS.

Le modèle du *job-shop* est un modèle simplifié du FMS : il existe des différences entre le modèle et la réalité, les incertitudes (temps de transports, durées opératoires variables, etc.).

L'ordonnancement de groupes peut être une solution à ce problème : il fournit une flexibilité séquentielle à une solution d'un problème de *job-shop* qui permet d'absorber certaines incertitudes.

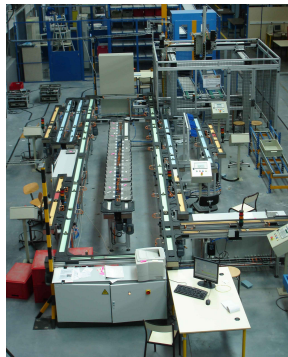


# Introduction

Chaîne de production flexible (FMS) : conçue pour combiner une haute productivité et une flexibilité de production. Le problème du *job-shop* : un modèle utilisé pour optimiser les FMS.

Le modèle du *job-shop* est un modèle simplifié du FMS : il existe des différences entre le modèle et la réalité, les incertitudes (temps de transports, durées opératoires variables, etc.).

L'ordonnancement de groupes peut être une solution à ce problème : il fournit une flexibilité séquentielle à une solution d'un problème de *job-shop* qui permet d'absorber certaines incertitudes.



# 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



# 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 ».

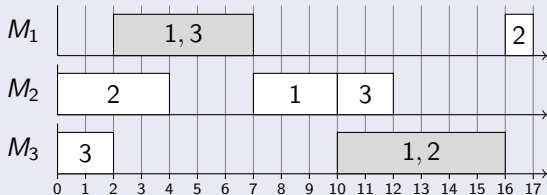
## Exemple : un problème de *job shop*

$i$  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

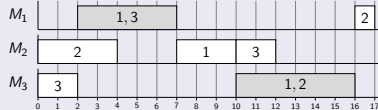
$i$	$j$	$M_{i,j}$	$p_{i,j}$
1	1	1	3
1	2	2	3
1	3	3	3
2	1	2	4
2	2	3	3
2	3	1	1
3	1	3	2
3	2	1	2
3	3	2	2

### Une Solution

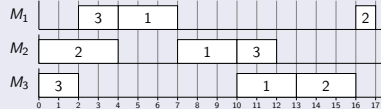
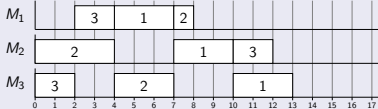
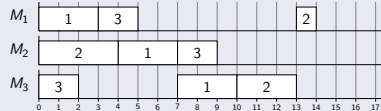
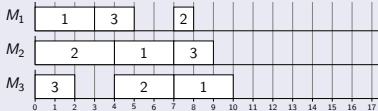


# Exécution de l'exemple

## 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* comme le  $C_{\max}$  et le  $L_{\max}$  ;
- méthode bien étudiée durant les 30 dernières années : [Erschler and Roubellat, 1989, Billaut and Roubellat, 1996, Wu et al., 1999, Artigues et al., 2005] ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode permettant de pallier certaines incertitudes : [Wu et al., 1999, Esswein, 2003] et cette présentation.

# 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* comme le  $C_{\max}$  et le  $L_{\max}$  ;
- méthode bien étudiée durant les 30 dernières années : [Erschler and Roubellat, 1989, Billaut and Roubellat, 1996, Wu et al., 1999, Artigues et al., 2005] ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode permettant de pallier certaines incertitudes : [Wu et al., 1999, Esswein, 2003] et cette présentation.

# 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* comme le  $C_{\max}$  et le  $L_{\max}$  ;
- méthode bien étudiée durant les 30 dernières années : [Erschler and Roubellat, 1989, Billaut and Roubellat, 1996, Wu et al., 1999, Artigues et al., 2005] ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode permettant de pallier certaines incertitudes : [Wu et al., 1999, Esswein, 2003] et cette présentation.

# 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* comme le  $C_{\max}$  et le  $L_{\max}$  ;
- méthode bien étudiée durant les 30 dernières années : [Erschler and Roubellat, 1989, Billaut and Roubellat, 1996, Wu et al., 1999, Artigues et al., 2005] ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode permettant de pallier certaines incertitudes : [Wu et al., 1999, Esswein, 2003] et cette présentation.



# 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* comme le  $C_{\max}$  et le  $L_{\max}$  ;
- méthode bien étudiée durant les 30 dernières années : [Erschler and Roubellat, 1989, Billaut and Roubellat, 1996, Wu et al., 1999, Artigues et al., 2005] ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode permettant de pallier certaines incertitudes : [Wu et al., 1999, Esswein, 2003] et cette présentation.

# 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* comme le  $C_{\max}$  et le  $L_{\max}$  ;
- méthode bien étudiée durant les 30 dernières années : [Erschler and Roubellat, 1989, Billaut and Roubellat, 1996, Wu et al., 1999, Artigues et al., 2005] ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode permettant de pallier certaines incertitudes : [Wu et al., 1999, Esswein, 2003] et cette présentation.

# Pourquoi l'ordonnancement de groupes est-il intéressant ?

Pourquoi l'ordonnancement de groupes est-il intéressant ?

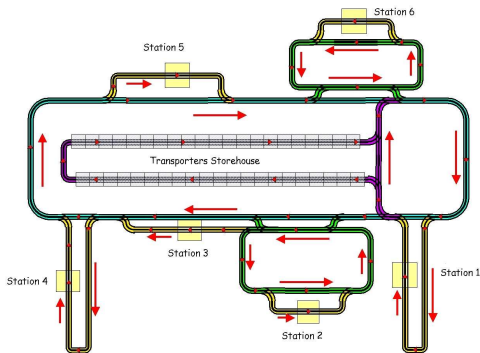
- méthode prédictive réactive ;
- flexibilité sur les séquences ;
- évaluation de l'ordonnancement dans le pire des cas en temps polynomial pour les objectifs de type *minmax* comme le  $C_{\max}$  et le  $L_{\max}$  ;
- méthode bien étudiée durant les 30 dernières années : [Erschler and Roubellat, 1989, Billaut and Roubellat, 1996, Wu et al., 1999, Artigues et al., 2005] ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode permettant de pallier certaines incertitudes : [Wu et al., 1999, Esswein, 2003] et cette présentation.

# 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.

Ordonnancement 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 la14<sup>1</sup> (pas de temps de transport).

Différentes exécutions :


OSS : 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.

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

DGSS : Un ordonnancement de groupes possédant comme qualité dans le pire des cas  $C_{\max} = 1382$ .

DS : 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 la14<sup>1</sup> (pas de temps de transport).

Différentes exécutions :

**OSS** : 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.

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

**DGSS** : Un ordonnancement de groupes possédant comme qualité dans le pire des cas  $C_{\max} = 1382$ .

**DS** : 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 la14<sup>1</sup> (pas de temps de transport).

Différentes exécutions :

**OSS** : 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.

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

**DGSS** : Un ordonnancement de groupes possédant comme qualité dans le pire des cas  $C_{\max} = 1382$ .

**DS** : 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 la14<sup>1</sup> (pas de temps de transport).

Différentes exécutions :

- OSS** : 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.
- OGSS** : Un ordonnancement de groupes possédant comme qualité dans tous les cas :  $C_{\max} = 1292$ .
- DGSS** : Un ordonnancement de groupes possédant comme qualité dans le pire des cas  $C_{\max} = 1382$ .
- DS** : 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 la14<sup>1</sup> (pas de temps de transport).

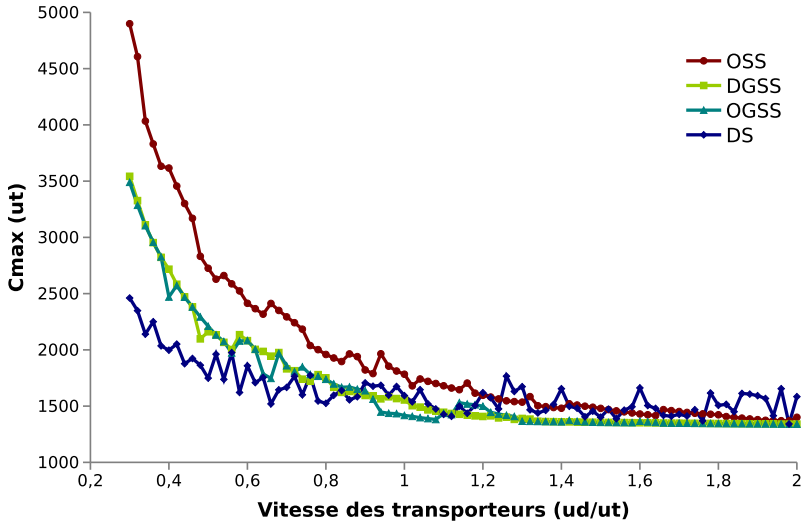
Différentes exécutions :

- OSS** : 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.
- OGSS** : Un ordonnancement de groupes possédant comme qualité dans tous les cas :  $C_{\max} = 1292$ .
- DGSS** : Un ordonnancement de groupes possédant comme qualité dans le pire des cas  $C_{\max} = 1382$ .
- DS** : Une version totalement dynamique, reposant sur la règle « premier arrivé, premier servi ».

---

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

# Résultats



# 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 flexible ;
- L'efficacité de l'ordonnancement de groupes sur une chaîne de production par rapport aux temps de transport.

# 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 flexible ;
- L'efficacité de l'ordonnancement de groupes sur une chaîne de production par rapport aux temps de transport.

# 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 flexible ;
- L'efficacité de l'ordonnancement de groupes sur une chaîne de production par rapport aux temps de transport.






# 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 flexible ;
- L'efficacité de l'ordonnancement de groupes sur une chaîne de production par rapport aux temps de transport.

# 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.
-  Billaut, J.-C. and Roubellat, F. (1996).  
A new method for workshop real-time scheduling.  
*International Journal of Production Research*,  
34(6) :1555–1579.
-  Erschler, J. and Roubellat, F. (1989).  
An approach for real time scheduling for activities with time  
and resource constraints.  
In Slowinski, R. and Weglarz, J., editors, *Advances in project  
scheduling*. Elsevier.

## Bibliographie II



Esswein, C. (2003).

*Un apport de flexibilité séquentielle pour l'ordonnancement robuste.*

Thèse de doctorat, Université François Rabelais Tours.



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.

## Bibliographie III



Wu, S. D., Byeon, E.-S., and Storer, R. H. (1999).

A graph-theoretic decomposition of the job shop scheduling problem to achieve scheduling robustness.

*Operations Research*, 47(1) :113–124.