

# Coopération homme machine pour le réordonnancement d'atelier

## Contexte et perspectives

Guillaume Pinot

IRCCyN — UMR CNRS 6597  
Nantes, France  
[guillaume.pinot@irccyn.ec-nantes.fr](mailto:guillaume.pinot@irccyn.ec-nantes.fr)

29 juin 2006

# Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Contexte
  - Les Différentes Phases de l'ordonnancement
  - Incertitudes
  - Flexibilité et Robustesse
  - Différentes Catégories de l'ordonnancement
  - Coopération homme machine
- 3 Environnement de recherche
  - Ordonnancement de groupe
  - Psychologie pour l'ordonnancement
  - Apprentissage automatique
  - Architecture de résolution
- 4 Planning prévisionnel
- 5 Conclusion

# Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Contexte
  - Les Différentes Phases de l'ordonnancement
  - Incertitudes
  - Flexibilité et Robustesse
  - Différentes Catégories de l'ordonnancement
  - Coopération homme machine
- 3 Environnement de recherche
  - Ordonnancement de groupe
  - Psychologie pour l'ordonnancement
  - Apprentissage automatique
  - Architecture de résolution
- 4 Planning prévisionnel
- 5 Conclusion

# Introduction

Ce travail a été initié par la thèse de Julien Cegarra [Cegarra, 2004]. Le but de ce travail est de donner des outils et des méthodes pour faciliter la coopération homme machine dans un contexte de mise en œuvre de l'ordonnancement.

# Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Contexte
  - Les Différentes Phases de l'ordonnancement
  - Incertitudes
  - Flexibilité et Robustesse
  - Différentes Catégories de l'ordonnancement
  - Coopération homme machine
- 3 Environnement de recherche
  - Ordonnancement de groupe
  - Psychologie pour l'ordonnancement
  - Apprentissage automatique
  - Architecture de résolution
- 4 Planning prévisionnel
- 5 Conclusion

# Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Contexte
  - Les Différentes Phases de l'ordonnancement
  - Incertitudes
  - Flexibilité et Robustesse
  - Différentes Catégories de l'ordonnancement
  - Coopération homme machine
- 3 Environnement de recherche
  - Ordonnancement de groupe
  - Psychologie pour l'ordonnancement
  - Apprentissage automatique
  - Architecture de résolution
- 4 Planning prévisionnel
- 5 Conclusion

# Les Différentes Phases de l'ordonnancement

## Définition : phase prédictive d'un ordonnancement

La phase prédictive d'un ordonnancement est la phase effectuée avant l'exécution de l'ordonnancement.

## Définition : phase réactive d'un ordonnancement

La phase réactive d'un ordonnancement est la phase effectuée pendant l'exécution de l'ordonnancement.

# Les Différentes Phases de l'ordonnancement

## Définition : phase prédictive d'un ordonnancement

La phase prédictive d'un ordonnancement est la phase effectuée avant l'exécution de l'ordonnancement.

## Définition : phase réactive d'un ordonnancement

La phase réactive d'un ordonnancement est la phase effectuée pendant l'exécution de l'ordonnancement.



# Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Contexte
  - Les Différentes Phases de l'ordonnancement
  - **Incertitudes**
  - Flexibilité et Robustesse
  - Différentes Catégories de l'ordonnancement
  - Coopération homme machine
- 3 Environnement de recherche
  - Ordonnancement de groupe
  - Psychologie pour l'ordonnancement
  - Apprentissage automatique
  - Architecture de résolution
- 4 Planning prévisionnel
- 5 Conclusion

# Incertitudes

## Définition : Incertitudes

Les incertitudes décrivent les modifications possible des données entre la phase prédictive et la phase réactive (d'après [Esswein, 2003]).

Exemples :

- le retard d'une opération ;
- l'insertion d'une opération ;
- la distance entre le modèle et la réalité (par exemple, les temps de transport entre deux machines ne sont pas pris en compte dans le modèle) ;
- la panne d'une machine ;
- etc.

# Incertitudes

## Définition : Incertitudes

Les incertitudes décrivent les modifications possible des données entre la phase prédictive et la phase réactive (d'après [Esswein, 2003]).

### Exemples :

- le retard d'une opération ;
- l'insertion d'une opération ;
- la distance entre le modèle et la réalité (par exemple, les temps de transport entre deux machines ne sont pas pris en compte dans le modèle) ;
- la panne d'une machine ;
- etc.

# Incertitudes

## Définition : Incertitudes

Les incertitudes décrivent les modifications possible des données entre la phase prédictive et la phase réactive (d'après [Esswein, 2003]).

Exemples :

- le retard d'une opération ;
- l'insertion d'une opération ;
- la distance entre le modèle et la réalité (par exemple, les temps de transport entre deux machines ne sont pas pris en compte dans le modèle) ;
- la panne d'une machine ;
- etc.

# Incertitudes

## Définition : Incertitudes

Les incertitudes décrivent les modifications possible des données entre la phase prédictive et la phase réactive (d'après [Esswein, 2003]).

Exemples :

- le retard d'une opération ;
- l'insertion d'une opération ;
- la distance entre le modèle et la réalité (par exemple, les temps de transport entre deux machines ne sont pas pris en compte dans le modèle) ;
- la panne d'une machine ;
- *etc.*

# Incertitudes

## Définition : Incertitudes

Les incertitudes décrivent les modifications possible des données entre la phase prédictive et la phase réactive (d'après [Esswein, 2003]).

Exemples :

- le retard d'une opération ;
- l'insertion d'une opération ;
- la distance entre le modèle et la réalité (par exemple, les temps de transport entre deux machines ne sont pas pris en compte dans le modèle) ;
- la panne d'une machine ;
- *etc.*

# Incertitudes

## Définition : Incertitudes

Les incertitudes décrivent les modifications possible des données entre la phase prédictive et la phase réactive (d'après [Esswein, 2003]).

Exemples :

- le retard d'une opération ;
- l'insertion d'une opération ;
- la distance entre le modèle et la réalité (par exemple, les temps de transport entre deux machines ne sont pas pris en compte dans le modèle) ;
- la panne d'une machine ;
- *etc.*

# Incertitudes

## Définition : Incertitudes

Les incertitudes décrivent les modifications possible des données entre la phase prédictive et la phase réactive (d'après [Esswein, 2003]).

Exemples :

- le retard d'une opération ;
- l'insertion d'une opération ;
- la distance entre le modèle et la réalité (par exemple, les temps de transport entre deux machines ne sont pas pris en compte dans le modèle) ;
- la panne d'une machine ;
- *etc.*



# Aléas

## Définition : Aléa

Les aléas représentent les incertitudes causés par des événements extérieurs (et donc aléatoires).

- Les aléas sont un sous-ensemble des incertitudes.
- Les modifications structurelles des données sont des aléas.
- Les valeurs incertaines ne sont pas des aléas.
- L'insertion d'une opération, la panne d'une machine sont forcément des aléas.

# Aléas

## Définition : Aléa

Les aléas représentent les incertitudes causés par des événements extérieurs (et donc aléatoires).

- Les aléas sont un sous-ensemble des incertitudes.
- Les modifications structurelles des données sont des aléas.
- Les valeurs incertaines ne sont pas des aléas.
- L'insertion d'une opération, la panne d'une machine sont forcément des aléas.

# Aléas

## Définition : Aléa

Les aléas représentent les incertitudes causés par des événements extérieurs (et donc aléatoires).

- Les aléas sont un sous-ensemble des incertitudes.
- Les modifications structurelles des données sont des aléas.
- Les valeurs incertaines ne sont pas des aléas.
- L'insertion d'une opération, la panne d'une machine sont forcément des aléas.

# Aléas

## Définition : Aléa

Les aléas représentent les incertitudes causés par des événements extérieurs (et donc aléatoires).

- Les aléas sont un sous-ensemble des incertitudes.
- Les modifications structurelles des données sont des aléas.
- Les valeurs incertaines ne sont pas des aléas.
- L'insertion d'une opération, la panne d'une machine sont forcément des aléas.

# Aléas

## Définition : Aléa

Les aléas représentent les incertitudes causés par des événements extérieurs (et donc aléatoires).

- Les aléas sont un sous-ensemble des incertitudes.
- Les modifications structurelles des données sont des aléas.
- Les valeurs incertaines ne sont pas des aléas.
- L'insertion d'une opération, la panne d'une machine sont forcément des aléas.

# Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Contexte
  - Les Différentes Phases de l'ordonnancement
  - Incertitudes
  - **Flexibilité et Robustesse**
  - Différentes Catégories de l'ordonnancement
  - Coopération homme machine
- 3 Environnement de recherche
  - Ordonnancement de groupe
  - Psychologie pour l'ordonnancement
  - Apprentissage automatique
  - Architecture de résolution
- 4 Planning prévisionnel
- 5 Conclusion

# Flexibilité, Définition

## Définition : Flexibilité

La flexibilité mesure les degrés de liberté présent pendant la phase réactive de l'ordonnancement (d'après [Esswein, 2003]).

Différentes sortes de flexibilité (d'après [Groupe flexibilité du GOTHa, 2002]) :

- La flexibilité temporelle ;
- La flexibilité séquentielle ;
- La flexibilité sur les affectations ;
- La flexibilité sur les modes d'exécution.

# Flexibilité, Définition

## Définition : Flexibilité

La flexibilité mesure les degrés de liberté présent pendant la phase réactive de l'ordonnancement (d'après [Esswein, 2003]).

Différentes sortes de flexibilité (d'après [Groupe flexibilité du GOTHa, 2002]) :

- La flexibilité temporelle ;
- La flexibilité séquentielle ;
- La flexibilité sur les affectations ;
- La flexibilité sur les modes d'exécution.



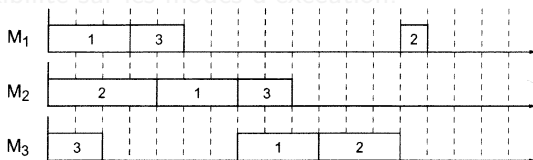
# Flexibilité, Définition

## Définition : Flexibilité

La flexibilité mesure les degrés de liberté présent pendant la phase réactive de l'ordonnement (d'après [Esswein, 2003]).

Différentes sortes de flexibilité (d'après [Groupe flexibilité du GOTHa, 2002]) :

- La flexibilité temporelle ;
- La flexibilité séquentielle ;
- La flexibilité sur les affectations ;
- La flexibilité sur les modes d'exécution.



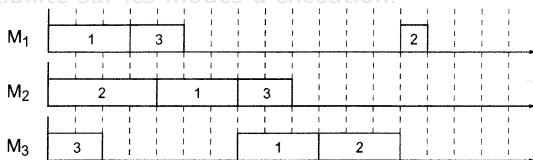
# Flexibilité, Définition

## Définition : Flexibilité

La flexibilité mesure les degrés de liberté présent pendant la phase réactive de l'ordonnement (d'après [Esswein, 2003]).

Différentes sortes de flexibilité (d'après [Groupe flexibilité du GOTHa, 2002]) :

- La flexibilité temporelle ;
- La flexibilité séquentielle ;
- La flexibilité sur les affectations ;
- La flexibilité sur les modes d'exécution.



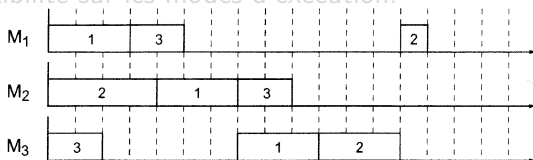
# Flexibilité, Définition

## Définition : Flexibilité

La flexibilité mesure les degrés de liberté présent pendant la phase réactive de l'ordonnancement (d'après [Esswein, 2003]).

Différentes sortes de flexibilité (d'après [Groupe flexibilité du GOTHa, 2002]) :

- La flexibilité temporelle ;
- La flexibilité séquentielle ;
- La flexibilité sur les affectations ;
- La flexibilité sur les modes d'exécution.



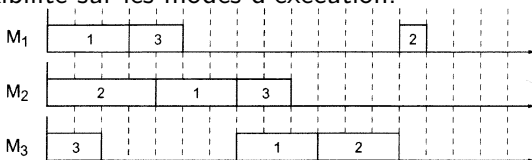
# Flexibilité, Définition

## Définition : Flexibilité

La flexibilité mesure les degrés de liberté présent pendant la phase réactive de l'ordonnancement (d'après [Esswein, 2003]).

Différentes sortes de flexibilité (d'après [Groupe flexibilité du GOTHa, 2002]) :

- La flexibilité temporelle ;
- La flexibilité séquentielle ;
- La flexibilité sur les affectations ;
- La flexibilité sur les modes d'exécution.



# La mesure de la flexibilité

La mesure de la flexibilité dépend :

- du type de flexibilité à mesurer ;
- du problème traité ;
- de la manière d'utiliser la flexibilité ;
- de la méthode utilisé pour générer la flexibilité.

Le but de la flexibilité est d'améliorer la robustesse de l'ordonnancement. On peut utiliser la mesure de la robustesse comme évaluation de l'utilité de la flexibilité.

# La mesure de la flexibilité

La mesure de la flexibilité dépend :

- du type de flexibilité à mesurer ;
- du problème traité ;
- de la manière d'utiliser la flexibilité ;
- de la méthode utilisée pour générer la flexibilité.

Le but de la flexibilité est d'améliorer la robustesse de l'ordonnancement. On peut utiliser la mesure de la robustesse comme évaluation de l'utilité de la flexibilité.

# La mesure de la flexibilité

La mesure de la flexibilité dépend :

- du type de flexibilité à mesurer ;
- du problème traité ;
- de la manière d'utiliser la flexibilité ;
- de la méthode utilisé pour générer la flexibilité.

Le but de la flexibilité est d'améliorer la robustesse de l'ordonnancement. On peut utiliser la mesure de la robustesse comme évaluation de l'utilité de la flexibilité.

# La mesure de la flexibilité

La mesure de la flexibilité dépend :

- du type de flexibilité à mesurer ;
- du problème traité ;
- de la manière d'utiliser la flexibilité ;
- de la méthode utilisé pour générer la flexibilité.

Le but de la flexibilité est d'améliorer la robustesse de l'ordonnancement. On peut utiliser la mesure de la robustesse comme évaluation de l'utilité de la flexibilité.



# La mesure de la flexibilité

La mesure de la flexibilité dépend :

- du type de flexibilité à mesurer ;
- du problème traité ;
- de la manière d'utiliser la flexibilité ;
- de la méthode utilisé pour générer la flexibilité.

Le but de la flexibilité est d'améliorer la robustesse de l'ordonnancement. On peut utiliser la mesure de la robustesse comme évaluation de l'utilité de la flexibilité.

# La mesure de la flexibilité

La mesure de la flexibilité dépend :

- du type de flexibilité à mesurer ;
- du problème traité ;
- de la manière d'utiliser la flexibilité ;
- de la méthode utilisé pour générer la flexibilité.

Le but de la flexibilité est d'améliorer la robustesse de l'ordonnancement. On peut utiliser la mesure de la robustesse comme évaluation de l'utilité de la flexibilité.

# Robustesse

## Définition : robustesse d'un ordonnancement

Un ordonnancement robuste est un ordonnancement peu sensible aux incertitudes.

La flexibilité est un outil permettant d'améliorer la robustesse.

L'**utilisation** de la flexibilité permettra d'améliorer la robustesse.

# Robustesse

## Définition : robustesse d'un ordonnancement

Un ordonnancement robuste est un ordonnancement peu sensible aux incertitudes.

La flexibilité est un outil permettant d'améliorer la robustesse.

L'**utilisation** de la flexibilité permettra d'améliorer la robustesse.

# Robustesse

## Définition : robustesse d'un ordonnancement

Un ordonnancement robuste est un ordonnancement peu sensible aux incertitudes.

La flexibilité est un outil permettant d'améliorer la robustesse.

**L'utilisation** de la flexibilité permettra d'améliorer la robustesse.

# Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Contexte
  - Les Différentes Phases de l'ordonnancement
  - Incertitudes
  - Flexibilité et Robustesse
  - Différentes Catégories de l'ordonnancement
  - Coopération homme machine
- 3 Environnement de recherche
  - Ordonnancement de groupe
  - Psychologie pour l'ordonnancement
  - Apprentissage automatique
  - Architecture de résolution
- 4 Planning prévisionnel
- 5 Conclusion

# L'Ordonnancement statique

## Définition : ordonnancement statique

L'ordonnancement statique (ou prédictif) est une méthode d'ordonnancement basé uniquement sur la phase prédictive

La phase réactive est triviale : l'ordonnancement calculé est utilisé de manière stricte. La flexibilité temporelle est souvent utilisé pour obtenir un ordonnancement faisable (décalage à droite).

# L'Ordonnancement statique

## Définition : ordonnancement statique

L'ordonnancement statique (ou prédictif) est une méthode d'ordonnancement basé uniquement sur la phase prédictive

La phase réactive est triviale : l'ordonnancement calculé est utilisé de manière stricte. La flexibilité temporelle est souvent utilisé pour obtenir un ordonnancement faisable (décalage à droite).



# L'Ordonnancement dynamique

## Définition : L'Ordonnancement dynamique

L'ordonnancement dynamique (ou réactif) est une méthode d'ordonnancement basé uniquement sur la phase réactive.

Généralement, l'ordonnancement dynamique utilise les règles de priorités (par exemple la règle *Shortest Processing Time*).

# L'Ordonnancement dynamique

## Définition : L'Ordonnancement dynamique

L'ordonnancement dynamique (ou réactif) est une méthode d'ordonnancement basé uniquement sur la phase réactive.

Généralement, l'ordonnancement dynamique utilise les règles de priorités (par exemple la règle *Shortest Processing Time*).

# L'Ordonnancement prédictif réactif

## Définition : L'Ordonnancement prédictif réactif

L'ordonnancement prédictif réactif est une méthode qui exploite les phases prédictives **et** réactive.

En pratique, nous avons :

- une phase prédictive : un ou plusieurs ordonnancements sont construits ;
- une phase réactive : les ordonnancements construits durant la phase prédictive sont utilisés et adaptés en temps réel.

# L'Ordonnancement prédictif réactif

## Définition : L'Ordonnancement prédictif réactif

L'ordonnancement prédictif réactif est une méthode qui exploite les phases prédictives **et** réactive.

En pratique, nous avons :

- une phase prédictive : un ou plusieurs ordonnancements sont construits ;
- une phase réactive : les ordonnancements construits durant la phase prédictive sont utilisés et adaptés en temps réel.

# L'Ordonnancement prédictif réactif

## Définition : L'Ordonnancement prédictif réactif

L'ordonnancement prédictif réactif est une méthode qui exploite les phases prédictives **et** réactive.

En pratique, nous avons :

- une phase prédictive : un ou plusieurs ordonnancements sont construits ;
- une phase réactive : les ordonnancements construits durant la phase prédictive sont utilisés et adaptés en temps réel.

# Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Contexte
  - Les Différentes Phases de l'ordonnancement
  - Incertitudes
  - Flexibilité et Robustesse
  - Différentes Catégories de l'ordonnancement
  - **Coopération homme machine**
- 3 Environnement de recherche
  - Ordonnancement de groupe
  - Psychologie pour l'ordonnancement
  - Apprentissage automatique
  - Architecture de résolution
- 4 Planning prévisionnel
- 5 Conclusion

# Coopération homme machine

De nombreuses expérimentations ([Cegarra, 2004]) montrent que les performances obtenues en combinant l'homme avec la machine sont meilleurs que celles obtenues en utilisant uniquement un des deux.

Il est donc important d'utiliser la coopération homme machine, mais cette coopération est loin d'être triviale.

# Coopération homme machine

De nombreuses expérimentations ([Cegarra, 2004]) montrent que les performances obtenues en combinant l'homme avec la machine sont meilleurs que celles obtenues en utilisant uniquement un des deux.

Il est donc important d'utiliser la coopération homme machine, mais cette coopération est loin d'être triviale.



# Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Contexte
  - Les Différentes Phases de l'ordonnancement
  - Incertitudes
  - Flexibilité et Robustesse
  - Différentes Catégories de l'ordonnancement
  - Coopération homme machine
- 3 Environnement de recherche
  - Ordonnancement de groupe
  - Psychologie pour l'ordonnancement
  - Apprentissage automatique
  - Architecture de résolution
- 4 Planning prévisionnel
- 5 Conclusion

# Environnement de recherche

Ce travail repose sur deux thèses de doctorat :

- [Cegarra, 2004] : point de vue psychologique de notre problème.
- [Esswein, 2003] : méthode d'ordonnancement sur laquelle reposera ce travail.

Un outil nous semble intéressant pour nous aider dans la résolution de notre problème : l'apprentissage automatique.

# Environnement de recherche

Ce travail repose sur deux thèses de doctorat :

- [Cegarra, 2004] : point de vue psychologique de notre problème.
- [Esswein, 2003] : méthode d'ordonnancement sur laquelle reposera ce travail.

Un outil nous semble intéressant pour nous aider dans la résolution de notre problème : l'apprentissage automatique.

# Environnement de recherche

Ce travail repose sur deux thèses de doctorat :

- [Cegarra, 2004] : point de vue psychologique de notre problème.
- [Esswein, 2003] : méthode d'ordonnancement sur laquelle reposera ce travail.

Un outil nous semble intéressant pour nous aider dans la résolution de notre problème : l'apprentissage automatique.

# Environnement de recherche

Ce travail repose sur deux thèses de doctorat :

- [Cegarra, 2004] : point de vue psychologique de notre problème.
- [Esswein, 2003] : méthode d'ordonnancement sur laquelle reposera ce travail.

Un outil nous semble intéressant pour nous aider dans la résolution de notre problème : l'apprentissage automatique.

# Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Contexte
  - Les Différentes Phases de l'ordonnancement
  - Incertitudes
  - Flexibilité et Robustesse
  - Différentes Catégories de l'ordonnancement
  - Coopération homme machine
- 3 Environnement de recherche
  - Ordonnancement de groupe
  - Psychologie pour l'ordonnancement
  - Apprentissage automatique
  - Architecture de résolution
- 4 Planning prévisionnel
- 5 Conclusion

# Ordonnancement de groupe

L'ordonnancement de groupe est originaire du LAAS-CNRS de Toulouse. Il a été développé depuis plus de 25 ans, notamment par [Thomas, 1980, Billaut, 1993, Artigues, 1997, Esswein, 2003].  
Pour générer de la flexibilité séquentielle, cette méthode utilise des « groupes d'opérations permutables ».

## Ordonnancement de groupe

L'ordonnancement de groupe est originaire du LAAS-CNRS de Toulouse. Il a été développé depuis plus de 25 ans, notamment par [Thomas, 1980, Billaut, 1993, Artigues, 1997, Esswein, 2003]. Pour générer de la flexibilité séquentielle, cette méthode utilise des « groupes d'opérations permutables ».



## Exemple : un problème de *job shop*

$i$  est une gamme,  $j$  est une opération,  $M_{i,j}$  est la machine requise pour l'opération  $j$  de la gamme  $i$ , et  $p_{i,j}$  est le temps nécessaire à l'opération  $j$  de la gamme  $i$ .

### Le 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

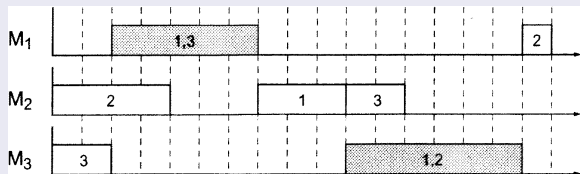
## Exemple : un problème de *job shop*

$i$  est une gamme,  $j$  est une opération,  $M_{i,j}$  est la machine requise pour l'opération  $j$  de la gamme  $i$ , et  $p_{i,j}$  est le temps nécessaire à l'opération  $j$  de la gamme  $i$ .

### Le Problème

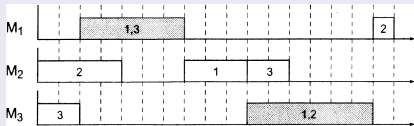
$i$	$j$	$M_{i,j}$	$p_{i,j}$
1	1	1	3
1	2	2	3
1	3	3	3
2	1	2	4
2	2	3	3
2	3	1	1
3	1	3	2
3	2	1	2
3	3	2	2

### Une Solution

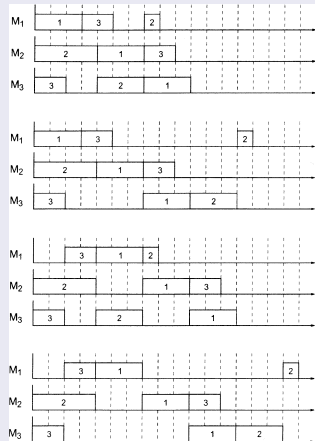


# Exécution de l'exemple

## L'ordonnement de groupe



## Les différents ordonnancements



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

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

- méthode prédictive réactive ;
- flexibilité sur les séquences ;
- évaluation de l'ordonnancement dans le pire des cas en temps polynomial ;
- possibilité d'évaluer des modifications manuelles (par exemple l'insertion d'une opération) en temps polynomial ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode bien étudiée.

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

Pourquoi l'ordonnancement de groupe est-il intéressant ?

- méthode prédictive réactive ;
- flexibilité sur les séquences ;
- évaluation de l'ordonnancement dans le pire des cas en temps polynômial ;
- possibilité d'évaluer des modifications manuelles (par exemple l'insertion d'une opération) en temps polynômial ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode bien étudiée.

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

Pourquoi l'ordonnancement de groupe est-il intéressant ?

- méthode prédictive réactive ;
- flexibilité sur les séquences ;
- évaluation de l'ordonnancement dans le pire des cas en temps polynômial ;
- possibilité d'évaluer des modifications manuelles (par exemple l'insertion d'une opération) en temps polynômial ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode bien étudiée.

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

Pourquoi l'ordonnancement de groupe est-il intéressant ?

- méthode prédictive réactive ;
- flexibilité sur les séquences ;
- évaluation de l'ordonnancement dans le pire des cas en temps polynômial ;
- possibilité d'évaluer des modifications manuelles (par exemple l'insertion d'une opération) en temps polynômial ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode bien étudiée.

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

Pourquoi l'ordonnancement de groupe est-il intéressant ?

- méthode prédictive réactive ;
- flexibilité sur les séquences ;
- évaluation de l'ordonnancement dans le pire des cas en temps polynômial ;
- possibilité d'évaluer des modifications manuelles (par exemple l'insertion d'une opération) en temps polynômial ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode bien étudiée.



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

Pourquoi l'ordonnancement de groupe est-il intéressant ?

- méthode prédictive réactive ;
- flexibilité sur les séquences ;
- évaluation de l'ordonnancement dans le pire des cas en temps polynômial ;
- possibilité d'évaluer des modifications manuelles (par exemple l'insertion d'une opération) en temps polynômial ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode bien étudiée.

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

Pourquoi l'ordonnancement de groupe est-il intéressant ?

- méthode prédictive réactive ;
- flexibilité sur les séquences ;
- évaluation de l'ordonnancement dans le pire des cas en temps polynômial ;
- possibilité d'évaluer des modifications manuelles (par exemple l'insertion d'une opération) en temps polynômial ;
- les incertitudes ne doivent pas être modélisées ;
- méthode bien étudiée.

# Ordonnancement de groupe : Continuité

Les perspectives de [Esswein, 2003] sont en adéquation avec nos objectifs :

- Évaluation de la robustesse de la méthode de groupe.
- L'influence de l'ordonnancement initial dans la méthode de génération de flexibilité.
- La répartition de la flexibilité dans l'ordonnancement de groupe proposé.
- Approche multicritère pour la phase réactive de l'algorithme.

# Ordonnancement de groupe : Continuité

Les perspectives de [Esswein, 2003] sont en adéquation avec nos objectifs :

- Évaluation de la robustesse de la méthode de groupe.
- L'influence de l'ordonnancement initial dans la méthode de génération de flexibilité.
- La répartition de la flexibilité dans l'ordonnancement de groupe proposé.
- Approche multicritère pour la phase réactive de l'algorithme.

## Ordonnancement de groupe : Continuité

Les perspectives de [Esswein, 2003] sont en adéquation avec nos objectifs :

- Évaluation de la robustesse de la méthode de groupe.
- L'influence de l'ordonnancement initial dans la méthode de génération de flexibilité.
- La répartition de la flexibilité dans l'ordonnancement de groupe proposé.
- Approche multicritère pour la phase réactive de l'algorithme.

## Ordonnancement de groupe : Continuité

Les perspectives de [Esswein, 2003] sont en adéquation avec nos objectifs :

- Évaluation de la robustesse de la méthode de groupe.
- L'influence de l'ordonnancement initial dans la méthode de génération de flexibilité.
- La répartition de la flexibilité dans l'ordonnancement de groupe proposé.
- Approche multicritère pour la phase réactive de l'algorithme.

## Ordonnancement de groupe : Continuité

Les perspectives de [Esswein, 2003] sont en adéquation avec nos objectifs :

- Évaluation de la robustesse de la méthode de groupe.
- L'influence de l'ordonnancement initial dans la méthode de génération de flexibilité.
- La répartition de la flexibilité dans l'ordonnancement de groupe proposé.
- Approche multicritère pour la phase réactive de l'algorithme.

# Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Contexte
  - Les Différentes Phases de l'ordonnancement
  - Incertitudes
  - Flexibilité et Robustesse
  - Différentes Catégories de l'ordonnancement
  - Coopération homme machine
- 3 **Environnement de recherche**
  - Ordonnancement de groupe
  - **Psychologie pour l'ordonnancement**
  - Apprentissage automatique
  - Architecture de résolution
- 4 Planning prévisionnel
- 5 Conclusion



# Psychologie pour l'ordonnancement

Différents aspects à prendre en compte ([Cegarra, 2004]) :

- Il ne faut pas demander à l'humain de choisir entre plusieurs possibilités brutes.
- On ne sait pas comment fait l'humain.
- Il y a de grandes différences inter-individuelles entre les opérateurs humains.
- La connaissance de l'algorithme de construction d'un ordonnancement n'aide pas un opérateur humain à réordonnancer un ordonnancement généré par un tel algorithme.

# Psychologie pour l'ordonnancement

Différents aspects à prendre en compte ([Cegarra, 2004]) :

- Il ne faut pas demander à l'humain de choisir entre plusieurs possibilités brutes.
- On ne sait pas comment fait l'humain.
- Il y a de grandes différences inter-individuelles entre les opérateurs humains.
- La connaissance de l'algorithme de construction d'un ordonnancement n'aide pas un opérateur humain à réordonnancer un ordonnancement généré par un tel algorithme.

# Psychologie pour l'ordonnancement

Différents aspects à prendre en compte ([Cegarra, 2004]) :

- Il ne faut pas demander à l'humain de choisir entre plusieurs possibilités brutes.
- On ne sait pas comment fait l'humain.
- Il y a de grandes différences inter-individuelles entre les opérateurs humains.
- La connaissance de l'algorithme de construction d'un ordonnancement n'aide pas un opérateur humain à réordonnancer un ordonnancement généré par un tel algorithme.

# Psychologie pour l'ordonnancement

Différents aspects à prendre en compte ([Cegarra, 2004]) :

- Il ne faut pas demander à l'humain de choisir entre plusieurs possibilités brutes.
- On ne sait pas comment fait l'humain.
- Il y a de grandes différences inter-individuelles entre les opérateurs humains.
- La connaissance de l'algorithme de construction d'un ordonnancement n'aide pas un opérateur humain à réordonnancer un ordonnancement généré par un tel algorithme.

# Psychologie pour l'ordonnancement

Différents aspects à prendre en compte ([Cegarra, 2004]) :

- Il ne faut pas demander à l'humain de choisir entre plusieurs possibilités brutes.
- On ne sait pas comment fait l'humain.
- Il y a de grandes différences inter-individuelles entre les opérateurs humains.
- La connaissance de l'algorithme de construction d'un ordonnancement n'aide pas un opérateur humain à réordonnancer un ordonnancement généré par un tel algorithme.

# Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Contexte
  - Les Différentes Phases de l'ordonnancement
  - Incertitudes
  - Flexibilité et Robustesse
  - Différentes Catégories de l'ordonnancement
  - Coopération homme machine
- 3 **Environnement de recherche**
  - Ordonnancement de groupe
  - Psychologie pour l'ordonnancement
  - **Apprentissage automatique**
  - Architecture de résolution
- 4 Planning prévisionnel
- 5 Conclusion

# Apprentissage automatique : présentation

L'objectif de l'apprentissage automatique est de générer une fonction donnant une sortie cohérente en fonction des entrées.

Utilisation :

- classification ;
- régression (approximation de fonction).

Des méthodes d'apprentissage :

- l'apprentissage supervisé ;
- l'apprentissage non supervisé ;
- l'apprentissage par renforcement.

# Apprentissage automatique : présentation

L'objectif de l'apprentissage automatique est de générer une fonction donnant une sortie cohérente en fonction des entrées.

Utilisation :

- classification ;
- régression (approximation de fonction).

Des méthodes d'apprentissage :

- l'apprentissage supervisé ;
- l'apprentissage non supervisé ;
- l'apprentissage par renforcement.



# Apprentissage automatique : présentation

L'objectif de l'apprentissage automatique est de générer une fonction donnant une sortie cohérente en fonction des entrées.

Utilisation :

- classification ;
- régression (approximation de fonction).

Des méthodes d'apprentissage :

- l'apprentissage supervisé ;
- l'apprentissage non supervisé ;
- l'apprentissage par renforcement.

# Apprentissage automatique : présentation

L'objectif de l'apprentissage automatique est de générer une fonction donnant une sortie cohérente en fonction des entrées.

Utilisation :

- classification ;
- régression (approximation de fonction).

Des méthodes d'apprentissage :

- l'apprentissage supervisé ;
- l'apprentissage non supervisé ;
- l'apprentissage par renforcement.

# Apprentissage automatique : présentation

L'objectif de l'apprentissage automatique est de générer une fonction donnant une sortie cohérente en fonction des entrées.

Utilisation :

- classification ;
- régression (approximation de fonction).

Des méthodes d'apprentissage :

- l'apprentissage supervisé ;
- l'apprentissage non supervisé ;
- l'apprentissage par renforcement.

# Apprentissage automatique : présentation

L'objectif de l'apprentissage automatique est de générer une fonction donnant une sortie cohérente en fonction des entrées.

Utilisation :

- classification ;
- régression (approximation de fonction).

Des méthodes d'apprentissage :

- l'apprentissage supervisé ;
- l'apprentissage non supervisé ;
- l'apprentissage par renforcement.

# Apprentissage automatique : présentation

L'objectif de l'apprentissage automatique est de générer une fonction donnant une sortie cohérente en fonction des entrées.

Utilisation :

- classification ;
- régression (approximation de fonction).

Des méthodes d'apprentissage :

- l'apprentissage supervisé ;
- l'apprentissage non supervisé ;
- l'apprentissage par renforcement.

# Apprentissage automatique : présentation

L'objectif de l'apprentissage automatique est de générer une fonction donnant une sortie cohérente en fonction des entrées.

Utilisation :

- classification ;
- régression (approximation de fonction).

Des méthodes d'apprentissage :

- l'apprentissage supervisé ;
- l'apprentissage non supervisé ;
- l'apprentissage par renforcement.

# Que peut nous apporter l'apprentissage automatique ?

L'apprentissage automatique peut nous être utile pour :

- générer des heuristiques de fonctions difficiles à calculer (par exemple une fonction objectif) ;
- prédire des fonctions calculables uniquement une fois l'ordonnancement effectué (par exemple la robustesse) ;
- utiliser les expériences passées pour mieux prendre en compte le problème traité (du point de vue de l'atelier ou de la coopération homme machine).

# Que peut nous apporter l'apprentissage automatique ?

L'apprentissage automatique peut nous être utile pour :

- générer des heuristiques de fonctions difficiles à calculer (par exemple une fonction objectif) ;
- prédire des fonctions calculables uniquement une fois l'ordonnancement effectué (par exemple la robustesse) ;
- utiliser les expériences passées pour mieux prendre en compte le problème traité (du point de vue de l'atelier ou de la coopération homme machine).



# Que peut nous apporter l'apprentissage automatique ?

L'apprentissage automatique peut nous être utile pour :

- générer des heuristiques de fonctions difficiles à calculer (par exemple une fonction objectif) ;
- prédire des fonctions calculables uniquement une fois l'ordonnancement effectué (par exemple la robustesse) ;
- utiliser les expériences passées pour mieux prendre en compte le problème traité (du point de vue de l'atelier ou de la coopération homme machine).

# Que peut nous apporter l'apprentissage automatique ?

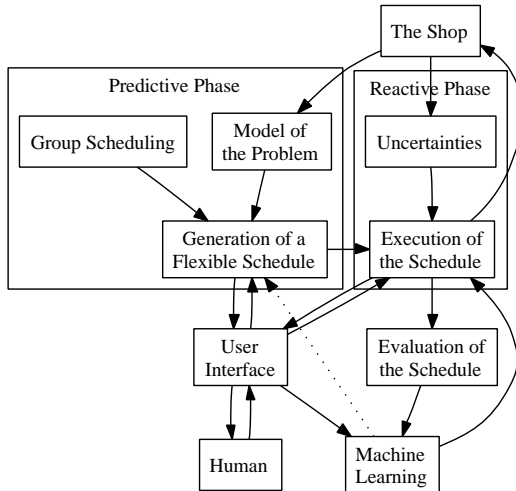
L'apprentissage automatique peut nous être utile pour :

- générer des heuristiques de fonctions difficiles à calculer (par exemple une fonction objectif) ;
- prédire des fonctions calculables uniquement une fois l'ordonnancement effectué (par exemple la robustesse) ;
- utiliser les expériences passées pour mieux prendre en compte le problème traité (du point de vue de l'atelier ou de la coopération homme machine).

# Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Contexte
  - Les Différentes Phases de l'ordonnancement
  - Incertitudes
  - Flexibilité et Robustesse
  - Différentes Catégories de l'ordonnancement
  - Coopération homme machine
- 3 **Environnement de recherche**
  - Ordonnancement de groupe
  - Psychologie pour l'ordonnancement
  - Apprentissage automatique
  - **Architecture de résolution**
- 4 Planning prévisionnel
- 5 Conclusion

# Architecture de résolution



# Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Contexte
  - Les Différentes Phases de l'ordonnancement
  - Incertitudes
  - Flexibilité et Robustesse
  - Différentes Catégories de l'ordonnancement
  - Coopération homme machine
- 3 Environnement de recherche
  - Ordonnancement de groupe
  - Psychologie pour l'ordonnancement
  - Apprentissage automatique
  - Architecture de résolution
- 4 Planning prévisionnel
- 5 Conclusion

# Planning prévisionnel

## Parties à éclaircir :

- problème étudié (jeu d'essai, application réelle) ;
- coopération homme machine (bien prendre en compte les travaux déjà effectués sur le sujet) ;
- l'apprentissage automatique en ordonnancement.

## Étapes à réaliser :

- Octobre 2006 (HOPS) : Implémentation de la phase statique.
- Modélisation de la phase dynamique.
- Implémentation de la phase dynamique.
- Expérimentations.

# Planning prévisionnel

Parties à éclaircir :

- problème étudié (jeu d'essai, application réelle) ;
- coopération homme machine (bien prendre en compte les travaux déjà effectués sur le sujet) ;
- l'apprentissage automatique en ordonnancement.

Étapes à réaliser :

- Octobre 2006 (HOPS) : Implémentation de la phase statique.
- Modélisation de la phase dynamique.
- Implémentation de la phase dynamique.
- Expérimentations.

# Planning prévisionnel

Parties à éclaircir :

- problème étudié (jeu d'essai, application réelle) ;
- coopération homme machine (bien prendre en compte les travaux déjà effectués sur le sujet) ;
- l'apprentissage automatique en ordonnancement.

Étapes à réaliser :

- Octobre 2006 (HOPS) : Implémentation de la phase statique.
- Modélisation de la phase dynamique.
- Implémentation de la phase dynamique.
- Expérimentations.



# Planning prévisionnel

Parties à éclaircir :

- problème étudié (jeu d'essai, application réelle) ;
- coopération homme machine (bien prendre en compte les travaux déjà effectués sur le sujet) ;
- l'apprentissage automatique en ordonnancement.

Étapes à réaliser :

- Octobre 2006 (HOPS) : Implémentation de la phase statique.
- Modélisation de la phase dynamique.
- Implémentation de la phase dynamique.
- Expérimentations.

# Planning prévisionnel

Parties à éclaircir :

- problème étudié (jeu d'essai, application réelle) ;
- coopération homme machine (bien prendre en compte les travaux déjà effectués sur le sujet) ;
- l'apprentissage automatique en ordonnancement.

Étapes à réaliser :

- Octobre 2006 (HOPS) : Implémentation de la phase statique.
- Modélisation de la phase dynamique.
- Implémentation de la phase dynamique.
- Expérimentations.

# Planning prévisionnel

Parties à éclaircir :

- problème étudié (jeu d'essai, application réelle) ;
- coopération homme machine (bien prendre en compte les travaux déjà effectués sur le sujet) ;
- l'apprentissage automatique en ordonnancement.

Étapes à réaliser :

- Octobre 2006 (HOPS) : Implémentation de la phase statique.
- Modélisation de la phase dynamique.
- Implémentation de la phase dynamique.
- Expérimentations.

# Planning prévisionnel

Parties à éclaircir :

- problème étudié (jeu d'essai, application réelle) ;
- coopération homme machine (bien prendre en compte les travaux déjà effectués sur le sujet) ;
- l'apprentissage automatique en ordonnancement.

Étapes à réaliser :

- Octobre 2006 (HOPS) : Implémentation de la phase statique.
- Modélisation de la phase dynamique.
- Implémentation de la phase dynamique.
- Expérimentations.

# Planning prévisionnel

Parties à éclaircir :

- problème étudié (jeu d'essai, application réelle) ;
- coopération homme machine (bien prendre en compte les travaux déjà effectués sur le sujet) ;
- l'apprentissage automatique en ordonnancement.

Étapes à réaliser :

- Octobre 2006 (HOPS) : Implémentation de la phase statique.
- Modélisation de la phase dynamique.
- Implémentation de la phase dynamique.
- Expérimentations.

# Planning prévisionnel

Parties à éclaircir :

- problème étudié (jeu d'essai, application réelle) ;
- coopération homme machine (bien prendre en compte les travaux déjà effectués sur le sujet) ;
- l'apprentissage automatique en ordonnancement.

Étapes à réaliser :

- Octobre 2006 (HOPS) : Implémentation de la phase statique.
- Modélisation de la phase dynamique.
- Implémentation de la phase dynamique.
- Expérimentations.

# Table des Matières

- 1 Introduction
- 2 Contexte
  - Les Différentes Phases de l'ordonnancement
  - Incertitudes
  - Flexibilité et Robustesse
  - Différentes Catégories de l'ordonnancement
  - Coopération homme machine
- 3 Environnement de recherche
  - Ordonnancement de groupe
  - Psychologie pour l'ordonnancement
  - Apprentissage automatique
  - Architecture de résolution
- 4 Planning prévisionnel
- 5 Conclusion

# Conclusion

Nous avons vu le contexte de ce travail :

- l'importance des incertitudes ;
- la flexibilité et la robustesse ;
- l'importance de la coopération homme machine.

Les outils intéressants :

- l'ordonnancement de groupe ;
- la psychologie de l'ordonnancement ;
- l'apprentissage automatique.

Ainsi que les idées directrices et les étapes du projet.



# Conclusion

Nous avons vu le contexte de ce travail :

- l'importance des incertitudes ;
- la flexibilité et la robustesse ;
- l'importance de la coopération homme machine.

Les outils intéressants :

- l'ordonnancement de groupe ;
- la psychologie de l'ordonnancement ;
- l'apprentissage automatique.

Ainsi que les idées directrices et les étapes du projet.

# Conclusion

Nous avons vu le contexte de ce travail :

- l'importance des incertitudes ;
- la flexibilité et la robustesse ;
- l'importance de la coopération homme machine.

Les outils intéressants :

- l'ordonnancement de groupe ;
- la psychologie de l'ordonnancement ;
- l'apprentissage automatique.

Ainsi que les idées directrices et les étapes du projet.

# Conclusion

Nous avons vu le contexte de ce travail :

- l'importance des incertitudes ;
- la flexibilité et la robustesse ;
- l'importance de la coopération homme machine.

Les outils intéressants :

- l'ordonnancement de groupe ;
- la psychologie de l'ordonnancement ;
- l'apprentissage automatique.

Ainsi que les idées directrices et les étapes du projet.

# Conclusion

Nous avons vu le contexte de ce travail :

- l'importance des incertitudes ;
- la flexibilité et la robustesse ;
- l'importance de la coopération homme machine.

Les outils intéressants :

- l'ordonnancement de groupe ;
- la psychologie de l'ordonnancement ;
- l'apprentissage automatique.

Ainsi que les idées directrices et les étapes du projet.

# Conclusion

Nous avons vu le contexte de ce travail :

- l'importance des incertitudes ;
- la flexibilité et la robustesse ;
- l'importance de la coopération homme machine.

Les outils intéressants :

- l'ordonnancement de groupe ;
- la psychologie de l'ordonnancement ;
- l'apprentissage automatique.

Ainsi que les idées directrices et les étapes du projet.

# Conclusion

Nous avons vu le contexte de ce travail :

- l'importance des incertitudes ;
- la flexibilité et la robustesse ;
- l'importance de la coopération homme machine.

Les outils intéressants :

- l'ordonnancement de groupe ;
- la psychologie de l'ordonnancement ;
- l'apprentissage automatique.

Ainsi que les idées directrices et les étapes du projet.

# Conclusion

Nous avons vu le contexte de ce travail :

- l'importance des incertitudes ;
- la flexibilité et la robustesse ;
- l'importance de la coopération homme machine.

Les outils intéressants :

- l'ordonnancement de groupe ;
- la psychologie de l'ordonnancement ;
- l'apprentissage automatique.

Ainsi que les idées directrices et les étapes du projet.

# Conclusion

Nous avons vu le contexte de ce travail :

- l'importance des incertitudes ;
- la flexibilité et la robustesse ;
- l'importance de la coopération homme machine.

Les outils intéressants :

- l'ordonnancement de groupe ;
- la psychologie de l'ordonnancement ;
- l'apprentissage automatique.

Ainsi que les idées directrices et les étapes du projet.



# Bibliographie I



Artigues, C. (1997).

*Ordonnancement en temps réel d'ateliers avec temps de préparation des ressources.*

Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse.



Billaut, J.-C. (1993).

*Prise en compte des ressources multiples et des temps de préparation dans les problèmes d'ordonnancement en temps réel.*

Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse.

## Bibliographie II



Cegarra, J. (2004).

*La gestion de la complexité dans la planification : le cas de l'ordonnancement.*

Thèse de doctorat, Université de Paris 8.



Esswein, C. (2003).

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

Thèse de doctorat, Université François Rabelais Tours.



Groupe flexibilité du GOTHa (2002).

Flexibilité et robustesse en ordonnancement.

*Bulletin de la ROADEF*, 8 :10–12.

## Bibliographie III



Thomas, V. (1980).

*Aide à la décision pour l'ordonnancement d'atelier en temps réel.*

Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse.