



## PROJET DE FIN D'ÉTUDE INFORMATIQUE

UNIVERSITÉ LILLE 1

---

# Méthode de résolution pour le problème de planification des tâches multi-objectif

*INRIA - Lille Nord Europe*

---

*Auteur:*

Emilie ALLART

*Tuteurs:*

Sophie JACQUIN  
Laetitia JOURDAN

*27 janvier 2016*

## Remerciements

Je remercie ....

# Contents

Remerciements . . . . .	1
Introduction . . . . .	4
<b>1 Position du problème</b>	<b>5</b>
1.1 JobShop . . . . .	5
1.2 Optimisation multi-objectif . . . . .	5
<b>2 Méthodes de résolution</b>	<b>7</b>
2.1 Principe générale . . . . .	7
2.2 NSGA II . . . . .	8
2.3 IBEA . . . . .	8
<b>3 Application au problème</b>	<b>10</b>
3.1 Etat de l'art . . . . .	10
3.2 Implémentation . . . . .	10
3.2.1 Paradiseo . . . . .	10
3.2.2 Modélisation . . . . .	10
<b>4 Protocole</b>	<b>11</b>
4.1 Jeu de données . . . . .	11
4.2 Comparaison . . . . .	11
<b>5 Résultats et Discussion</b>	<b>12</b>
Conclusion . . . . .	12
Glossaire . . . . .	13
Annexe . . . . .	14

# Introduction

Dans le cadre de ma dernière année de master, j'ai effectué mon projet de fin d'étude à INRIA Lille Nord Europe dans l'équipe Dolphin, afin de mettre en place une nouvelle méthode de résolution pour le problème de planification des tâches multi-objectif, encadrée par Sophie Jacquin (INRIA) et Laetitia Jourdan (INRIA/CRISAL). Je vais donc dans un premier temps, présenter INRIA et l'équipe Dolphin, puis Paradiseo et enfin le plan de mon rapport.

INRIA est un établissement public de recherche à caractère scientifique et technologique. Il a été créé en 1967 et a pour mission de produire une recherche d'excellence dans les champs informatiques et mathématiques des sciences du numérique et de garantir l'impact de cette recherche. Il couvre l'ensemble du spectre des recherches au coeur de ces domaines d'activités, et intervient sur les questions en lien avec le numérique, posées par les autres sciences et par les acteurs économiques et sociétaux. INRIA rassemble 1677 chercheurs de l'institut et 1772 universitaires ou chercheurs d'autres organismes, il compte plus de 4500 articles publiés en 2013 et est à l'origine de plus de 110 start-ups. L'institut est organisé en 8 centres : Bordeaux, Grenoble, Lille, Nancy, Rennes, Rocquencourt, Saclay et Sophia-Antipolis.

INRIA Lille - Nord Europe comporte 16 équipes de recherche et possède plusieurs partenariats tels que Lille1, Lille2, Lille3, Centrale Lille, le CNRS et le CWI. La stratégie du centre est de développer autour de la métropole lilloise un pôle d'excellence de rayonnement international (en priorité vers l'Europe du nord) et à fort impact local. Pour se faire, l'institut s'appuie sur des thématiques de recherche ambitieuses dans le domaine des sciences du numérique; l'intelligence des données et les systèmes logiciels adaptatifs, plus précisément :

- Internet des données et Internet des objets
- Couplage perception/action pour l'interaction homme-machine
- Modèle patient personnalisé dynamique
- Génie logiciel pour les systèmes éternels

L'équipe Dolphin (Discrete multi-objective Optimization for Large-scale Problems with Hybrid dIstributed techNiques) entretient plusieurs relations industrielles et internationales (EDF-GDF, bioinformatique, DHL, Univ. Montréal, ...) De nombreux secteurs de l'industrie sont concernés par des problèmes d'optimisation à grande échelle et complexes mettant en jeu des coûts financiers très importants et pour lesquels les décisions doivent être prises de façon optimales. Face à des applications qui nécessitent la résolution de problèmes de taille sans cesse croissante et ce dans des délais de plus en plus court, voire en temps réel, seule la mise en oeuvre conjointe des méthodes avancées issues de l'optimisation combinatoire en Recherche Opérationnelle, de la décision en IA

et de l'utilisation du Parallélisme et de la distribution permettrait d'aboutir à des solutions satisfaisantes.

L'équipe Dolphin a pour objectif la modélisation et la résolution parallèle de problèmes d'optimisation combinatoire (multi-objectifs) de grandes tailles. Des méthodes parallèles coopératives efficaces sont développées à partir de l'analyse de la structure du problème traité. Les problèmes ciblés appartiennent aussi bien à la classe des problèmes génériques (ordonnancement flow-shop, élaboration de tournées, etc...) que des problèmes industriels issue de la logistique, du transport, de l'énergie et de la bioinformatique.

Le problème de planification des tâches (Job Shop Scheduling Problem) consiste à planifier le traitement d'un certain nombre de tâches par les machines d'un l'atelier. L'objectif le plus couramment étudié est de trouver le planning qui permette d'achever l'ensemble des tâches au plus tôt. Néanmoins, avec une politique du juste à temps, il est nécessaire de considérer simultanément, comme second critère, le respect maximal de dates d'échéance afin d'éviter les retards de livraison et les coûts de stockage. L'équipe Dolphin développe de nouvelles méthodes d'optimisation combinatoire multi-objectif pour ce problème, en particulier des métaheuristiques. Pour tester la qualité des méthodes proposées, il nous faut nous comparer aux méthodes existantes.

# Chapter 1

## Position du problème

### 1.1 JobShop

La planification de tâche (ou job shop scheduling) est un problème NP-complet. Il s'agit d'organiser  $N$  tâches au mieux en respectant des contraintes d'avance  $\alpha$  et de retard  $\beta$  ainsi qu'une disponibilité des ressources  $r$ .

Pour calculer le coût d'un ordonnancement, on somme sur chaque tâche le calcul de l'avance ou du retard. L'avance étant la différence entre la complétude de la tâche  $i$ , notée  $C_i$ , c'est à dire le temps à laquelle elle est achevée, et la due date, notée  $d_i$ , le temps à laquelle elle aurait dû être finie, le tout pondérée par le facteur  $\beta$  spécifique à cette tâche. Et inversement pour l'avance avec un facteur de pondération  $\alpha$ . Les facteurs  $\alpha$  et  $\beta$  sont spécifiques à chaque tâche car il est plus ou moins important selon la tâche de la finir dans les temps impartis. Cependant, il faut prendre garde à respecter la disponibilité  $r$ , une tâche ne peut pas être effectuée avant son temps  $r$ . On en tire donc formule ci-dessous :

$$\sum_{i=0}^N \max(\beta_i(C_i - d_i), \alpha_i(d_i - C_i)) \quad (1.1)$$

### 1.2 Optimisation multi-objectif

L'optimisation multi-objectif permet de résoudre des problèmes d'optimisation présentant plus d'un objectif. La formule ci-dessous représente un problème de minimisation multi-objectif.

$$\text{Minimize } F(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_M(x)\} \quad x \in \Omega \quad (1.2)$$

$\Omega$  est l'espace de solution,  $x$  est une solution,  $f_i(x)$  est la  $i^{ème}$  fonction objective et  $M$  donne le nombre d'objectif. Dans la plupart des cas, ces objectifs sont conflictuels, ce qui signifie que l'optimisation d'un objectif entraîne la détérioration d'autres. Ici, comme le représente la formule ci-dessous, nos objectifs à minimiser sont le retard et l'avance, deux objectifs opposés.

$$\text{objectif1 : earliness} = \sum_{i=0}^N \beta_i \max((d_i - C_i), 0) \quad (1.3)$$

$$objectif2 : tardiness = \sum_{i=0}^N \alpha_i \max((C_i - d_i), 0) \quad (1.4)$$

Le principe d'optimalité Pareto pour l'optimisation mutli-objectif est basé sur la relation de dominance Pareto. En supposant que les fonctions objectives sont à minimiser, une somution est dites dominante par rapport à une solution  $y$  si  $\forall i \in 1, \dots, M, f_i(x) \leq f_i(y)$  et  $\exists i \in 1, \dots, M f_i(x) < f_i(y)$ . Une solution  $x^*$  est Pareto optimale si elle n'est pas dominée par aucune solution de l'espace de solution. L'ensemble des solutions Pareto optimale est appelé l'ensemble Pareto optimal, et l'ensemble des vecteurs objectifs correspondant représente le front Pareto. Le but de la résolution de problèmes d'optimisation multi-objectifs (MOPs) concernant la Pareto optimalité, est de trouver l'ensemble Pareto optimal.

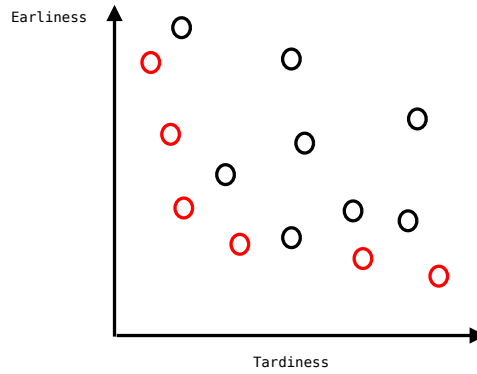


Figure 1.1: Front Pareto pour le problème de minimisation de retard et d'avance

## Chapter 2

# Méthodes de résolution

### 2.1 Principe générale

**Algorithme évolutionnaire** Les algorithmes évolutionnaires sont inspirés du concept de sélection naturelle élaboré par Charles Darwin, d'ailleurs le vocabulaire employé découle de cette théorie.

- La fonction objectif  $F$  est appelé fonction de fitness
- Les points de l'espace de recherche  $\Omega$  (pour notre cas se sont des ordonnancement) sont appelés des individus (ou chromosomes)
- L'ensemble des individus est une population
- Un tour de boucle principale de l'algorithme correspond à une génération

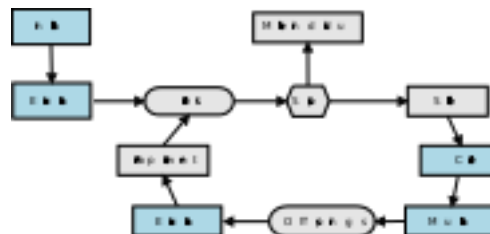


Figure 2.1: Schéma du déroulement de l'AE

L'espace de recherche est déterminé par le problème (la fonction objectif).

**Initialisation** L'initialisation consiste à échantillonner le plus uniformément possible l'espace de recherche  $\Omega$ . Pour le cas de ce projet, on génère aléatoirement des ordonnancements de job.

Avec l'aide d'opérateurs génétiques, de nouveaux individus sont créés à partir des individus sélectionnés au préalable. On distingue les opérateurs de croisement (ou crossover) et les opérateurs de mutation. Ces transformations sont stochastiques, leur application nécessite des tirages aléatoires. Ainsi, tout opérateur doit respecter des conditions d'ergodicité (tous points de l'espace doit être atteignable).



**Mutation** La mutation permet de parcourir l'ensemble de l'espace, de se diversifier. Elle est appliquée avec une probabilité  $P_m$  sur chaque individu et permet de modifier chacun aléatoirement. Les détails des opérateurs choisis pour ce projet sont détaillés dans le chapitre suivant.

**Crossover** Ce croisement reflète la “transmission d'information génétique” des parents. Si deux chromosomes parents sont performants, on peut considérer le fait qu'un de leur enfant pourrait hériter des parties qui les rendent performants et être ainsi meilleurs encore. Le croisement est appliqué avec une certaine probabilité  $P_c$ , ainsi il est possible de conserver certains chromosomes optimaux. On est dans le cadre d'une intensification (on garde les traits importants d'un individu). Il existe également une grande quantité d'opérateurs de crossover, ceux utilisés pour ce projet seront expliqués un peu plus loin.

**Selection / Remplacement** L'intégration de l'idée darwinienne s'intègre sous la forme de deux étapes dans l'algorithme : la sélection et le remplacement. Il existe deux types de procédures, la sélection déterministe lors de laquelle on sélectionne les meilleurs individus selon la fitness. Les individus moins performants sont totalement éliminés, seuls les meilleurs restent, on parle d'élitisme. Et la sélection stochastique, le but est là aussi de sélectionner les meilleurs individus, mais de manière stochastique. Le meilleur n'est pas choisi à tous les coups.

- Le tirage de roulette consiste à donner à chaque individu une probabilité d'être sélectionné proportionnelle à sa performance.
- La sélection par le rang consiste à faire une sélection en utilisant une roulette dont les portions sont proportionnelles au rang des individus.
- La sélection par tournoi consiste à tirer  $T$  individus uniformément dans la population et à sélectionner le meilleur.

Plusieurs algorithmes évolutionnaires ont été proposés au cours du temps comme le NSGA-II et le IBEA par exemple.

## 2.2 NSGA II

Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II L'objectif du NSGA est d'améliorer l'adaptation d'une population de solutions candidates à un front Pareto défini via l'ensemble des fonctions objectives. La population est triée en une hiérarchie de sous-population basée sur l'ordre de la dominance Pareto. La similarité entre les membres de chaque sous-groupe est évaluée avec le front Pareto. Les groupes qui en découlent ainsi que les mesures de similarité sont utilisés pour générer un front diversifié de solutions non-dominées.

## 2.3 IBEA

Indicator-based evolutionary algorithm L'algorithme IBEA compare des paires d'individus et non des ensembles. Il permet l'adaptation selon des informations

de préférence. Le mécanisme de sélection repose sur le fait qu'il enlève les pires individus de la population.

TODO revoir NSGA et IBEA

## Chapter 3

# Application au problème

### 3.1 Etat de l'art

Choix des opérateurs

### 3.2 Implémentation

#### 3.2.1 Paradiseo

#### 3.2.2 Modélisation

## Chapter 4

# Protocole

### 4.1 Jeu de données

### 4.2 Comparaison

influence des différents opérateurs `mut(0.1 .. 1.0)` `cross(0.1 .. 1.0)` Sur différents  
jeu de données

## Chapter 5

# Résultats et Discussion

graphe et analyse

### Conclusion

#### **Les compétences acquises**

Grâce au travail effectué à INRIA, j'ai pu acquérir plusieurs compétences:

#### **Les apports personnelles**

#### **Les apports à l'entreprise**

Ajout de fonctionnalité à Paradiseo Comparatif d'algo

## Glossaire

**INRIA** Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique

**CRISTal** Centre de Recherche en Informatique, Signal et Automatique de Lille

**CNRS** Centre National de la Recherche Scientifique

**CWI** Centrum Wiskunde Informatica, organisme de recherche d'Amsterdam

## Références

- <http://www.inria.fr/>
- <http://dolphin.lille.inria.fr/>
- <http://vision.ucsd.edu/~sagarwal/nsga2.pdf>
- <http://www.tik.ee.ethz.ch/sop/publicationListFiles/zk2004a.pdf>