

## SUJET DE THESE G-SCOP 2021- 2022

**Titre de la thèse** : Vers une prise en compte efficace de divers objectifs dans les modèles d'ordonnancement sous contraintes.

**Directeur(s) de thèse** : Marie-Laure Espinouse (G-SCOP),

**Co-encadrant** : Margaux Nattaf, MCF, laboratoire G-SCOP et Arnaud Malapert, MCF, laboratoire I3S (Sophia-Antipolis).

**Ecole doctorale** : **IMEP2 (Ingénierie - Matériaux, Mécanique, Environnement, Energétique, Procédés, Production)**

**Date de début** (souhaitée) : 01/10/2021

**Financements envisagés – Contexte – Partenaires éventuels** : *Allocation de recherche IMEP2 demandée*

**Description du sujet** :

### ***Mots clés***

Recherche Opérationnelle ; Optimisation Combinatoire ; Ordonnancement ; Programmation Par Contraintes.

### ***Contexte***

L'ordonnancement et la planification des tâches et des processus regroupent plusieurs aspects qui passent par l'étude, la mise au point et l'optimisation des moyens de production ainsi que la mise en place d'une organisation des flux, à la fois pour les matières premières et pour les produits finis. Il s'agit également de tenir compte des demandes des clients, des délais de livraison, sans oublier l'adaptation aux éventuelles anomalies ou incidents tout au long du cycle de production. Ces différents aspects sont à prendre en compte dans une logique globale, ce qui explique pourquoi l'ordonnancement de la production fait partie des travaux les plus complexes et chronophages des dirigeants et responsables d'entreprises industrielles. La mise en place de méthode et logiciel d'ordonnancement de la production peut avoir un impact significatif sur la performance industrielle d'une entreprise.

En pratique, les décideurs utilisent fréquemment différentes fonctions objectifs comme le délai moyen, le délai pondéré, ou le maximum de fonctions régulières. De plus, l'objectif global de l'ordonnancement est souvent une combinaison complexe de fonctions objectif, voire dans bien des cas, une fonction multicritère. Les travaux réalisés dans cette thèse ont vocation à compléter et enrichir les possibilités offertes aux décideurs pour définir les objectifs de leurs ordonnancements.

La programmation par contraintes est une méthode de résolution de problèmes combinatoires à la frontière entre l'informatique, l'intelligence artificielle et les mathématiques. Parmi ses nombreuses applications, les problèmes d'ordonnancement occupent une place importante de par les succès obtenus. L'ordonnancement sous contraintes [2] est une extension de la programmation par contraintes [1] qui offre un langage expressif et puissant pour modéliser des problèmes ainsi que des techniques spécialisées pour résoudre ces problèmes. Plus formellement, un problème d'ordonnancement consiste à organiser dans le temps la réalisation de tâches, compte tenu de contraintes temporelles et de contraintes portant sur la disponibilité des ressources requises. Un ordonnancement est défini par le planning d'exécution des tâches et d'allocation des ressources, et vise généralement à satisfaire un ou plusieurs objectifs. La fonction objectif la mieux traitée est la minimisation du délai total, *i.e.* la date de fin de l'ordonnancement. Une part conséquente et structurée de la littérature y est consacrée que ce soit pour des ressources disjonctives (une seule tâche peut s'exécuter à un instant donné) ou cumulatives (plusieurs tâches peuvent s'exécuter à un instant donné). Proposer des méthodes efficaces d'ordonnancement sous contraintes avec d'autres critères reste aujourd'hui un véritable challenge à relever. Cette thèse a pour objectif de contribuer à relever ce défi.

Cette thèse s'inscrit dans la continuité du stage de Master intitulé « Ordonnancement sous contraintes avec des fonctions objectifs régulières ».

### **Objectifs**

Le sujet de cette thèse est de développer de nouvelles techniques en programmation par contraintes pour mieux ordonnancer une machine disjonctive selon des fonctions objectif moins étudiées, mais fréquentes en pratique : le délai moyen ; le délai pondéré ; le maximum de fonctions régulières. Ceci est important, car la résolution peut devenir inefficace pour optimiser ces fonctions. En effet, la programmation par contraintes est naturellement plus tournée vers la satisfaction des contraintes (recherche d'une solution) que vers l'optimisation (recherche de la meilleure solution). L'objectif principal est donc de développer de nouvelles techniques spécialisées pour ces fonctions objectifs afin de les optimiser efficacement en se basant sur les résultats en théorie de l'ordonnancement [3].

L'objectif ultime, mais ambitieux, est de contribuer à définir un cadre unifié pour ces nouvelles techniques afin de simplifier leur compréhension, leur diffusion et leur implémentation à l'image de ce qui a pu être réalisé pour le délai total. À l'heure actuelle, plusieurs travaux existent sur ces fonctions objectif, mais manquent de généralité et ré-utilisabilité en comparaison des contributions essentielles en programmation par contraintes.

Nous espérons ouvrir ainsi de nouvelles perspectives pour modéliser et résoudre des problèmes d'ordonnancement réels et complexes à l'aide de la programmation par contraintes.

### **Méthode**

Classiquement, cette thèse débutera par une étude bibliographique. Cette étude bibliographique sera conduite selon deux axes d'une part les résultats en théorie de l'ordonnancement et d'autre part sur leur exploitation en programmation par contraintes. Fondés sur cette étude bibliographique, les objectifs et contraintes seront identifiés et hiérarchisés. Des études de complexité seront réalisées pour identifier les résultats en théorie de l'ordonnancement les mieux exploitables en programmation par contraintes. De nouvelles techniques seront proposées, prouvées, implémentées, et testées sur des instances de la littérature ou générées pour l'occasion.

### **Valorisation**

Ce sujet de thèse s'inscrit dans une collaboration initiée en 2018 entre Margaux Nattaf, Maître de conférences à l'INP-Grenoble et membre du laboratoire GSCOP, et Arnaud Malapert, Maître de conférences à l'Université Côte d'Azur et membre du laboratoire I3S [4,5].

Cette thèse en recherche fondamentale sur une meilleure prise en compte de critères d'optimisation variés en programmation par contraintes a pour objet de contribuer à différents développements théoriques en proposant notamment différentes règles et algorithmes qui à terme auront vocation à contribuer à l'amélioration et à l'évolution des solveurs de contraintes existants.

L'objectif principal de valorisation est la publication dans des conférences et journaux internationaux de haut niveau dans les domaines de l'intelligence artificielle et de la recherche opérationnelle.

Un objectif secondaire, et plus pratique, est l'implémentation de ces techniques dans les solveurs de contraintes existants.

### ***Références***

1. F. Rossi, P. v. Beek, and T. Walsh, Handbook of Constraint Programming (Foundations of Artificial Intelligence). New York, USA: Elsevier Science Inc., 2006.
2. P. Baptiste, C. Le Pape, and W. Nuijten, Constraint-Based Scheduling: Applying Constraint Programming to Scheduling Problems. Kluwer, 2001.
3. P. Brucker, Scheduling Algorithms — Third Edition. Berlin-Göttingen-Heidelberg-New York: Springer-Verlag, 2001.
4. M. Nattaf and A. Malapert, "Filtering Rules for Flow Time Minimization in a Parallel Machine Scheduling Problem," in Principles and Practice of Constraint Programming, Cham, 2020, pp. 462–477.
5. A. Malapert and M. Nattaf, "A New CP-Approach for a Parallel Machine Scheduling Problem with Time Constraints on Machine Qualifications," in Integration of Constraint Programming, Artificial Intelligence, and Operations Research - 16th International Conference, CPAIOR 2019, Thessaloniki, Greece, June 4-7, 2019, Proceedings, 2019, vol. 11494, pp. 426–442, doi: 10.1007/978-3-030-19212-9\_28.
6. Margaux Nattaf, Stéphane Dauzère-Pérès, Claude Yugma, Cheng-Hung Wu, "Parallel machine scheduling with time constraints on machine qualifications", Computers & Operations Research, Volume 107, 2019, Pages 61-76.

**Contact(s) :**

**Margaux Nattaf :** [Margaux.Nattaf@g-scop.grenoble-inp.fr](mailto:Margaux.Nattaf@g-scop.grenoble-inp.fr)

**Arnaud Malapert :** [arnaud.malapert@univ-cotedazur.fr](mailto:arnaud.malapert@univ-cotedazur.fr)

**Marie-Laure Espinouse :** [Marie-Laure.Espinouse@g-scop.grenoble-inp.fr](mailto:Marie-Laure.Espinouse@g-scop.grenoble-inp.fr)