

## Résumé

La programmation par contraintes - Constraint Programming (CP) - est un paradigme né de l'intelligence artificielle, de la recherche opérationnelle et de l'algorithmique qui peut être utilisé pour résoudre des problèmes combinatoires. CP résout les problèmes en alternant recherche (assigner une valeur à une variable non assignée) et propagation. La propagation en CP a pour objectif de supprimer (filtrer) les valeurs inconsistantes des domaines des variables en élaguant l'arbre de recherche du problème. Dans cette thèse, nous proposons des algorithmes de filtrage pour deux problèmes d'optimisation combinatoires complexes : un problème de dimensionnement de lots avec capacités - Capacitated Lot Sizing Problem (CLSP) - et le problème d'arborescence contraint - Constrained Arborescence Problem (CAP). Chacun de ces problèmes a beaucoup de variantes et d'applications pratiques. Le CLSP consiste à trouver un plan de production optimal pour un ou plusieurs type(s) d'articles tout en satisfaisant les demandes des clients et en respectant les restrictions sur les ressources de production. Le CLSP a des applications importantes en planification de production. Dans cette thèse, nous introduisons le CLSP en CP. Dans beaucoup de problèmes de dimensionnement de lots et d'ordonnancement, en particulier lorsque l'horizon de planification est discret et fini, il y a des coûts de stockage à minimiser. Ces coûts dépendent du temps passé entre la production d'un article et sa livraison. Nous nous intéressons aux algorithmes de filtrage pour traiter les coûts de stockage intervenant dans une classe de problèmes de CLSP. Nous proposons la contrainte d'optimisation globale StockingCost lorsque les coûts de stockage sont les mêmes pour tous les articles et sa version généralisée, la contrainte IDStockingCost (ID pour *Item Dependent*). Dans cette thèse, nous traitons également d'un problème bien connu en théorie de graphes : l'arborescence recouvrante de poids minimum - Minimum Weight Arborescence (MWA). Considérons un graphe orienté et pondéré dans lequel on distingue un noeud  $r$  comme étant la racine. Un MWA enraciné en  $r$  est un arbre recouvrant orienté et enraciné en  $r$  de poids total minimum. Nous nous intéressons au CAP qui consiste à trouver une arborescence qui satisfait certaines contraintes et ayant le poids minimum. Le CAP a beaucoup d'applications pratiques dans les réseaux de télécommunications, réseaux informatiques, problèmes de transport, problèmes d'ordonnancement, etc. Après une analyse de sensibilité du MWA, nous introduisons le CAP en CP. Nous proposons une contrainte globale d'optimisation pour résoudre toutes les variantes du CAP en CP : la contrainte MinArborescence. Tous les algorithmes de filtrage proposés sont analysés de façon théorique et évalués expérimentalement. Les différentes évaluations expérimentales de ces propagateurs par rapport aux propagateurs de l'état de l'art ont montré leurs efficacités respectives.

**Mot-clés : contraintes globales, programmation par contraintes, problèmes de dimensionnement de lots, problèmes d'arborescence, filtering algorithms.**

## Abstract

Constraint Programming (CP) is a paradigm derived from artificial intelligence, operational research, and algorithmics that can be used to solve combinatorial problems. CP solves problems by interleaving search (assign a value to an unassigned variable) and propagation. Constraint propagation aims at removing/filtering inconsistent values from the domains of the variables in order to reduce the search space of the problem. In this thesis, we develop filtering algorithms for two complex combinatorial optimization problems: a Capacitated Lot Sizing Problem (CLSP) and the Constrained Arborescence Problem (CAP). Each of these problems has many variants and practical applications. The CLSP is the problem of finding an optimal production plan for single or multiple items while satisfying demands of clients and respecting resource restrictions. The CLSP finds important applications in production planning. In this thesis, we introduce a CLSP in CP. In many lot sizing and scheduling problems, in particular when the planning horizon is discrete and finite, there are stocking costs to be minimized. These costs depend on the time spent between the production of an order and its delivery. We focus on developing specialized filtering algorithms to handle the stocking cost part of a class of the CLSP. We propose the global optimization constraint StockingCost when the per-period stocking cost is the same for all orders; and its generalized version, the IDStockingCost constraint (ID stands for Item Dependent). In this thesis, we also deal with a well-known problem in graph theory: the Minimum Weight Arborescence (MWA) problem. Consider a weighted directed graph in which we distinguish one vertex  $r$  as the root. An MWA rooted at  $r$  is a directed spanning tree rooted at  $r$  with minimum total weight. We focus on the CAP that requires one to find an arborescence that satisfies some side constraints and that has minimum weight. The CAP has many real life applications in telecommunication networks, computer networks, transportation problems, scheduling problems, etc. After sensitivity analysis of the MWA, we introduce the CAP in CP. We propose a dedicated global optimization constraint to handle any variant of the CAP in CP: the MinArborescence constraint. All the proposed filtering algorithms are analyzed theoretically and evaluated experimentally. The different experimental evaluations of these propagators against the state-of-the-art propagators show their respective efficiencies.

**Keywords : global constraints, constraints programming, lot sizing problem, constrained arborescence problem, algorithmes de filtrage.**