

Chapitre 10

Conclusion

Nous avons étudié au cours de cette thèse la résolution de problèmes d'ordonnancement par la programmation par contraintes. Plutôt que d'améliorer des techniques ou algorithmes préalablement identifiés, la méthodologie suivie a consisté à identifier les faiblesses de différents modèles exprimés dans le langage déclaratif offert par la programmation par contraintes, puis à proposer des techniques permettant de les combler. Une attention soutenue a été portée aux interactions entre plusieurs composantes essentielles d'une approche en programmation par contraintes : le modèle ; le niveau de filtrage des contraintes ; et les algorithmes de recherche.

Ainsi, nos travaux sur les problèmes d'atelier ont démontré que la plupart des algorithmes de recherche étaient très sensibles au modèle et aux propagateurs choisis. En effet, des variations de performance significatives ont été observées pour des modèles logiquement équivalents en fonction du niveau de filtrage et de l'algorithme de recherche employés. Entre autres, ces expérimentations ont remis en cause l'utilisation systématique de contraintes globales couplées à des propagateurs complexes puisque leur présence a quelquefois dégradé les performances, ou pire, a provoqué un conflit avec l'algorithme de recherche. Par ailleurs, il n'a pas été possible de faire apparaître une unique configuration dominante, mais plutôt un ensemble restreint de très bonnes configurations.

Après un travail préliminaire de modélisation de notre problème de fournées, nos travaux ont surtout porté sur des raisonnements liés à l'optimalité des solutions. En effet, la structure de ce problème entraîne une mauvaise évaluation de la borne inférieure par le solveur lors de la résolution et on peut souvent observer une augmentation brutale de celle-ci lors de la découverte d'une solution. Nous avons montré que l'intégration de règles de filtrage basées sur les coûts dans un algorithme de recherche classique améliorerait grandement la résolution du problème de fournées traité dans cette thèse. En effet, une meilleure borne inférieure permet d'éviter l'exploration de larges pans de l'espace de recherche.

Concernant nos contributions sur le solveur choco, nous avons surtout cherché à promouvoir les techniques proposées au cours de cette thèse. Cependant, ce travail a engendré des réflexions et des contributions plus générales sur le langage de modélisation, l'architecture interne du solveur, ou encore sa flexibilité. Nous avons affronté les difficultés issues de la cohabitation au sein du solveur de techniques redondantes, ou même contradictoires. En effet, la simplicité du langage déclaratif de modélisation et le principe de la boîte noire cachent les mécanismes internes et l'implémentation des solveurs. Si ce choix a des avantages certains pour les nouveaux utilisateurs ou lors de la résolution de problème simple, il peut devenir un obstacle à la résolution de problèmes complexes pour lesquels une compréhension approfondie du fonctionnement du solveur peut s'avérer nécessaire. Ainsi, nous avons justifié nos choix d'implémentation et nous proposons plusieurs outils de reformulation et de configuration pour comparer les modèles, niveaux de filtrage et algorithmes de recherche.

Tout au long de cette thèse, nous avons discuté de certaines limitations et perspectives concernant les approches proposées. Nous rappelons maintenant les perspectives les plus pertinentes en les envisageant d'un point de vue global.

10.1 Problèmes d'atelier

Les premières perspectives consistent à améliorer certains aspects de notre approche. Tout d'abord, l'incorporation d'un mécanisme de guidage des heuristiques d'arbitrage basé sur les dernières solutions découvertes semble prometteuse, car elle a déjà été appliquée avec succès par d'autres approches en ordonnancement sous contraintes. Ensuite, une contribution importante pourrait être l'intégration des propriétés de Brucker sur les solutions améliorantes dans un algorithme de recherche générique sans passer par une stratégie de branchement dédiée comme ce fut le cas jusqu'à présent.

D'autre part, une perspective immédiate est l'application de notre approche sur d'autres problèmes d'atelier, par exemple avec un autre critère d'optimalité ou avec la présence de temps d'attente minimaux ou maximaux entre les tâches. Cette généralisation permettrait une analyse encore plus fine du comportement des différents modèles, niveaux de filtrage et algorithmes de recherche. Au vu des résultats précédents, les axes prioritaires devraient porter sur l'influence de la randomisation, l'élaboration d'un critère de choix entre les procédures d'optimisation bottom-up et top-down.

Une perspective plus lointaine est de proposer des contraintes globales dont les propagateurs s'adaptent dynamiquement en fonction de l'état des domaines pendant la résolution. En effet, il est fréquent que certaines ressources jouent un rôle prépondérant dans la réalisation d'un projet. Il est parfois possible de les identifier lors de la modélisation, mais leur rôle apparaît quelquefois au cours de la résolution. Dans ce cas, il serait souhaitable que les contraintes soient capables de changer leurs propagateurs en fonction de l'état des domaines. Cependant, il est très difficile d'automatiser le choix des propagateurs et il faut conserver le déterminisme du solveur qui revêt une importante critique pour la plupart des utilisateurs.

10.2 Problème de fournées

Au vu du succès rencontré par le filtrage basé sur les coûts, il serait intéressant d'évaluer des stratégies de branchement basées sur les coûts qui se sont révélées efficaces pour d'autres problèmes. Ensuite, il est sûrement possible d'apporter quelques améliorations algorithmiques aux règles de filtrage proposées dans cette thèse.

Cependant, la perspective la plus intéressante est la généralisation de la relaxation et des règles de filtrage associées à tous les problèmes de fournées sans contraintes de précedence ni dates de disponibilité dont les homologues à une machine sont résolus en temps polynomial. Les difficultés majeures concerneront la généralisation de la règle de filtrage basé sur le coût du nombre de fournées non vides et l'adaptation de l'algorithme de filtrage du placement des tâches.

Une perspective à long terme concerne le traitement des problèmes de machines à traitement par fournées parallèles.

10.3 Solveur choco

Concernant le solveur *choco*, notre première perspective est d'intégrer les éléments de documentation présents dans cette thèse à la documentation officielle de *choco*. De plus, il faudrait tester intensivement les modules de reformulation et de prétraitement sur des problèmes moins structurés que les problèmes d'atelier.

Un axe majeur du développement concerne les problèmes à machine parallèle avec allocation de ressources. On peut distinguer deux problématiques principales au niveau du solveur que sont l'intégration totale des domaines hypothétiques et la gestion de contraintes globales multi-ressources. Les contraintes transversales définissant l'usage des ressources par les tâches sont encore propagées par une surcouche du solveur et non par le moteur de propagation. Ensuite, la modélisation de l'allocation de ressources aux tâches est aisée et flexible, mais l'implémentation souffre d'un grave défaut lorsque le problème est structuré. En effet, une contrainte globale distincte est définie pour chaque ressource avec des tâches optionnelles ce qui entraîne un filtrage redondant lorsque les ressources sont totalement parallèles, c'est-à-dire elles peuvent réaliser initialement les mêmes tâches. Ce phénomène affecte les contraintes de partage de ressource, mais aussi la contrainte de placement à une dimension.