



**HAL**  
open science

# Utilisation d'un modèle de programmation par contraintes pour la replanification des tâches dans une chaîne d'assemblage aéronautique

Damien Lovato, Romain Guillaume, Caroline Thierry, Olga Battaïa

## ► To cite this version:

Damien Lovato, Romain Guillaume, Caroline Thierry, Olga Battaïa. Utilisation d'un modèle de programmation par contraintes pour la replanification des tâches dans une chaîne d'assemblage aéronautique. 23ème Congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF 2022), Institut National des Sciences Appliquées - INSA Lyon; Université de Lyon, Feb 2022, Villeurbanne - Lyon, France. hal-03595448

**HAL Id: hal-03595448**

**<https://hal.science/hal-03595448>**

Submitted on 3 Mar 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Utilisation d'un modèle de programmation par contraintes pour la replanification des tâches dans une chaîne d'assemblage aéronautique

Damien Lovato<sup>1</sup>, Romain Guillaume<sup>1</sup>, Caroline Thierry<sup>1</sup>, Olga Battaia<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univ. Toulouse, IRIT, 31400 Toulouse, France  
{Damien.Lovato, Romain.Guillaume, Caroline.Thierry}@irit.fr

<sup>2</sup> KEDGE Business School, 33405 Talence, France  
olga.battaia@kedgabs.com

**Mots-clés** : *Ordonnancement, Réactif, Aéronautique, Programmation Par Contraintes (PPC), Aléas.*

## 1 Contexte

Dans le cadre de ce travail nous considérons le problème d'ordonnancement d'une chaîne d'assemblage aéronautique. Ce problème est une généralisation du problème classique de type Resource Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP). Il est caractérisé par des relations de précédences généralisées avec cinq types possibles entre les tâches. Parmi les ressources, les ressources matérielles et les ressources humaines sont distinguées. Ces dernières sont catégorisées en fonction des différents métiers, et chaque opérateur humain est expert dans un seul et unique métier. Chaque tâche requiert un ou plusieurs opérateurs ayant chacun leur métier propre. De plus dans ce travail nous prenons en compte la pénibilité des tâches réalisées par les opérateurs.

L'organisation de la chaîne d'assemblage impose également des contraintes des zones de travail qui restreignent la possibilité de réalisation simultanée de certaines tâches. De plus, plusieurs avions sont assemblés en parallèle sur différents postes (emplacements), chacun à un stade différent de l'assemblage. Toutes ces caractéristiques font donc que la chaîne d'assemblage aéronautique qui est traitée ici est une version spécifique du RCPSP avec un plus grand nombre de contraintes.

Plus particulièrement, nous considérons le contexte où des aléas perturbent le planning initial, ces perturbations peuvent aller du simple décalage d'une tâche à un arrêt complet de la chaîne. Ce travail vise donc à replanifier les tâches en réponse à ces aléas lorsqu'il est impossible de continuer le planning initial. Ce travail est donc différent d'autres articles déjà publiés [2].

## 2 Replanification réactive

Pour pouvoir reprendre le travail après un aléa, il est nécessaire de réparer le planning, et ce en un laps de temps court. Pour cela nous proposons un outil d'ordonnancement qui utilise un modèle de programmation par contraintes (PPC) pour résoudre le problème de replanification [1]. L'objectif de cet outil est de déterminer une solution faisable qui respecte au mieux l'ancien planning de chaque opérateur et réduit les changements potentiels pour l'adaptation de la nouvelle solution. Pour cela, nous développons de nouveaux critères d'optimisation et comparons le nouveau et l'ancien planning.

Parmi ces critères figure le makespan en escalier qui va limiter la réduction du makespan à la fin des journées. Plutôt que de réduire au maximum celui-ci, l'objectif est d'optimiser à la journée pour

exploiter au maximum le nombre minimal de jours nécessaires à la réalisation de l'assemblage et les heures d'assemblage au sein de ces jours. Considérant qu'on travaille au centième d'heures et qu'une journée équivaut à 2400 centième d'heures, on pose une variable  $M$  qui va définir le jour où le projet se termine, et nous minimisons cette valeur en la couplant avec la contrainte suivante :

$$Makespan \leq M * 2400$$

Ainsi, minimiser  $M$  dans la fonction objectif permet de réduire au maximum le makespan tout en gardant une marge de manœuvre pour optimiser le critère des affectations sur l'ensemble des journées exploitées.

Ce critère des affectations permet de faire correspondre le nouvel ordonnancement à l'ancien. Par l'utilisation d'une matrice  $previous_{i,k}$  qui voit son élément  $(i, k)$  prendre pour valeur 1 si la tâche  $i$  était planifiée pour l'opérateur  $k$ , il est possible de maintenir ces affectations dans le nouveau. Cela se fait par l'utilisation d'une variable  $x_{i,k}$  qui prend pour valeur 1 si  $i$  est effectuée par l'opérateur  $k$  et en posant l'expression suivante :

$$Affectations = \sum_{i \in I, k \in H} x_{i,k} * previous_{i,k}$$

$I$  représente l'ensemble des tâches et  $H$  l'ensemble des opérateurs. En cherchant à maximiser le critère des affectations, le nouveau planning respecte au maximum l'ancien en conservant les associations tâche/opérateur par la multiplication qui ne peut que valoir 1 si l'association est maintenue.

### 3 Conclusions et perspectives

Les résultats des tests numériques montrent qu'on peut trouver une solution réalisable et de bonne qualité pour des problèmes de terrain de taille importante comportant plus de 400 tâches, en moins de 10 minutes.

Une des perspectives de ce travail est de combiner l'approche réactive que nous avons développée avec des approches robustes qui anticipent les perturbations les plus probables dans le planning initial.

Nous avons également pour objectif d'aborder l'aspect ergonomique via l'introduction d'un critère associé. Cela permettrait d'équilibrer l'impact qu'a la réalisation des tâches sur le physique des opérateurs et ainsi limiter les risques d'accident.

### Références

- [1] Lovato D., Guillaume R., Thierry C. et Battaïa O., 2020. Etude des critères d'optimisation pour la replanification des chaînes d'assemblage aéronautiques. *13<sup>th</sup> International Conference on Modelling, Optimization and Simulation (MOSIM 2020), Agadir, Morocco, hal-03015008*.
- [2] Zhu H., Lu Z., Lu C. and Ren Y., 2020. A reactive scheduling method for disturbances in aircraft moving assembly line. *International Journal of Production Research*, vol. 59, no 15, p. 4756-4772.