

# Une approche basée sur l’ordonnancement pour évaluer la performance de la production d’avions à haut niveau

Anouck Chan<sup>1</sup>, Stéphanie Roussel<sup>1</sup>, Thomas Polacsek<sup>1</sup>

ONERA/DTIS, Université de Toulouse, F-31055 Toulouse, France  
{anouck.chan,stephanie.roussel,thomas.polacsek}@onera.fr

**Mots-clés** : *conception d’avion, conception de ligne d’assemblage, ordonnancement*

## 1 Contexte

Lors de la conception d’un produit complexe comme un avion, il est aussi nécessaire de concevoir son moyen de production (*i.e.* son usine et ses lignes d’assemblage). En effet, la spécificité de chaque famille d’avion implique un système industriel dédié. Par ailleurs, les choix de conception d’un avion, comme les matériaux utilisés ou la forme et le découpage du fuselage, influent grandement sur le moyen de production. Ainsi, un choix de conception peut être corrélé à l’usage de machines spécifiques ou venir modifier de façon importante les temps de fabrication. L’approche séquentielle, consistant à concevoir le design de l’usine après celui de l’avion, conduit à des difficultés de fabrication et à certains coûts de production élevés. Pour pallier à ce problème, des travaux récents, comme [1], s’intéressent à la conception simultanée de l’avion et de son usine et présentent une modélisation conceptuelle de l’avion et son système de production afin d’évaluer l’impact de choix de conception sur l’usine. Dans ce travail, nous proposons une approche basée sur l’ordonnancement permettant d’évaluer la performance d’une ligne d’assemblage pour un design d’avion donné au plus tôt dans le processus de conception.

## 2 Modélisation

**Lignes d’assemblages** Nous nous intéressons ici à un moyen production spécifique : les lignes d’assemblage pulsées. Ces dernières sont organisées en *stations*, *i.e.* espaces physiques de l’usine dans lesquels sont installés des machines et des outils et où des *activités* d’assemblage sont réalisées. La ligne est dite pulsée, car l’avion avance de station en station à un intervalle de temps régulier nommé *takt*. L’assemblage de l’avion commence à la première station et il sort achevé de la dernière station à chaque intervalle de takt. Le temps total passé par un avion sur la ligne est appelé *durée de fabrication*. Une ligne d’assemblage est considérée comme très performante lorsqu’elle possède à la fois une cadence rapide et peu de stations. Techniquement, cela correspond à un petit takt et une petite durée de fabrication.

Dans les phases préliminaires de conception, le nombre de stations, leurs équipements et le takt ne sont pas définis. Ne sont fixées que les *ressources dimensionnantes*, *i.e.* les machines, robots et outils spécifiques, attachés à une station et dont le nombre est limité pour des raisons de coût ou de volume. Ces ressources peuvent potentiellement être incompatibles entre-elles, c’est-à-dire qu’elles ne peuvent être placées sur la même station.

**Données du problème et contraintes associées** Comme dans l’approche proposée dans [2], nous supposons qu’un design avion est décrit par un ensemble d’activités d’assemblage permettant de le construire. Ces activités possèdent une durée et sont liées entre elles par une relation de précédence. L’avion est découpé en zones (*i.e.* espaces de travail) possédant toutes une capacité correspondant au nombre de techniciens maximum pouvant y travailler simultanément. Chaque activité occupe un nombre de places (éventuellement nul) dans chaque zone

lors de sa réalisation. Par ailleurs, elle peut bloquer l'accès à certaines zones, par exemple pour des raisons de sécurité. Les ressources dimensionnantes sont des ressources cumulatives (*i.e.* avec une capacité) et chaque activité peut consommer des unités de ces ressources. On définit le *span* d'une ressource  $r$  comme l'intervalle temporel qui démarre au début de la première activité qui consomme  $r$  et qui termine à la fin de la dernière activité consommant également  $r$ . La relation d'incompatibilité entre les ressources correspond alors à un non chevauchement temporel des spans des ressources. Notons que ce problème peut être vu comme une variante du RCPSP (Problème de gestion de projet à contraintes de ressources).

**Critères** Afin de modéliser la performance d'une ligne d'assemblage, nous considérons trois fonctions objectifs. La première consiste à minimiser la date de fin de la dernière activité, ce qui correspond à la durée de fabrication. Le second critère est la minimisation du plus grand span des ressources dimensionnantes. En effet, puisque chaque ressource dimensionnante doit être assignée à une unique station, le plus grand span est une borne inférieure du takt que nous cherchons à minimiser. Pour le troisième critère, nous fixons le nombre de stations, nous imposons ensuite que chaque ressource soit placée dans une unique station et nous minimisons finalement la durée de fabrication.

### 3 Expérimentations

Le problème a été modélisé en programmation par contrainte avec CP Optimizer 20.1 et appliqué sur deux descriptions de designs possibles du même avion fournies par un fabricant d'avion. Les données sont composées d'environ 180 activités, 5 ressources dimensionnantes et d'une vingtaine de zones.

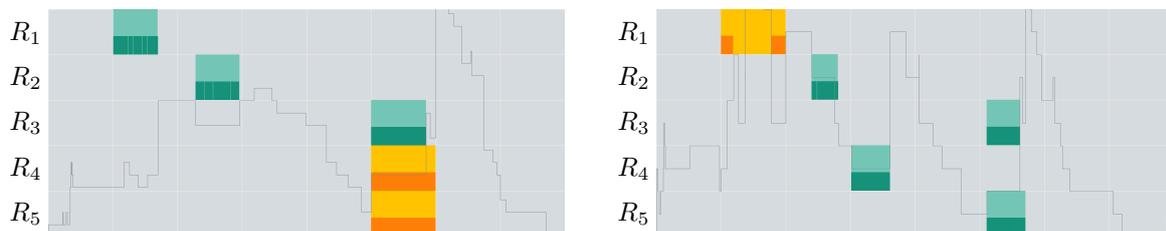


FIG. 1 – Utilisation des ressources dimensionnantes pour 2 designs d'avion

La figure 1 illustre l'utilisation des ressources dimensionnantes pour les 2 designs. Dans le design de gauche, ce sont les ressources  $R_4$  et  $R_5$  qui bornent le takt (plus grand span), tandis que c'est la ressource  $R_1$  dans le design de droite. Les expérimentations réalisées montrent que le critère de minimisation du takt ne représente pas assez finement la performance potentielle des lignes d'assemblage. Le critère du découpage en stations est plus fidèle mais demande un temps de calcul plus important lorsque le nombre de stations croît. Aucun des designs d'avion ne domine l'autre sur tous les critères. Les futurs travaux consistent à ajouter des coûts unitaires et d'utilisation des ressources de manière à approfondir la comparaison.

### Références

- [1] Thomas Polacek, Stéphanie Roussel, François Bouissière, Claude Cuiller, Pierre-Eric Dereux, and Stéphane Kersuzan. Towards thinking manufacturing and design together : An aeronautical case study. In *Proceedings of ER'17*, volume 10650 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 340–353. Springer, 2017.
- [2] Cédric Pralet, Stéphanie Roussel, Thomas Polacek, François Bouissière, Claude Cuiller, Pierre-Eric Dereux, Stéphane Kersuzan, and Marc Lelay. A scheduling tool for bridging the gap between aircraft design and aircraft manufacturing. In *Proceedings of ICAPS'18*, pages 347–355. AAAI Press, 2018.