

Séquencement des véhicules dans les usines de RENAULT

Nawel YOUNES, Alain NGUYEN

Service Intelligence Artificielle Appliquée, Digital New Services, Groupe Renault
nawel.younes@renault.com, alain.nguyen@renault.com

Mots-clés : *Séquencement des véhicules, challenge ROADEF 2005*

1 Introduction et contexte industriel

Chez Renault, les commandes clients sont transmises quotidiennement aux usines, qui doivent (1) attribuer à chaque véhicule un jour de production selon les capacités et les dates de livraison, puis (2) déterminer l'ordre de passage des véhicules sur la ligne en respectant les contraintes des ateliers de tôlerie, peinture et montage. Les véhicules d'une même journée constituent un ensemble figé.

La première étape est gérée via un outil basé sur la programmation linéaire, tandis que la seconde — le séquencement des véhicules — constitue le cœur de ce travail. Ce problème a été l'objet du challenge ROADEF 2005, dont l'algorithme lauréat, basé sur la recherche locale, a été déployé dans les usines avec de bons résultats jusqu'à l'apparition de nouvelles contraintes industrielles. Parmi celles-ci figurent notamment les stocks de reconstruction, des buffers physiques de capacité limitée servant de points de re-séquencement entre ateliers. L'algorithme initial ne pouvait pas gérer ces stocks ni d'autres contraintes émergentes, le rendant inadapté au contexte actuel. Renault a ensuite acquis un progiciel externe capable de gérer ces nouvelles contraintes, basé sur un recuit simulé et déployé dans trois usines avec des résultats de qualité. Cependant, son coût élevé et la multiplication des contraintes opérationnelles ont motivé le développement d'une solution interne, au moins aussi performante, mais plus flexible et moins coûteuse.

2 Problème d'optimisation

Le séquencement actuel chez Renault est plus complexe que celui du challenge ROADEF 2005 [1] : chaque jour et pour chaque atelier, il faut déterminer l'ordre des véhicules en respectant les contraintes et critères d'optimisation spécifiques. À l'époque du challenge, l'absence de prise en compte des stocks de reconstruction imposait une séquence unique applicable à tous les ateliers, devant satisfaire simultanément toutes leurs contraintes et critères. L'introduction de ces stocks a apporté une marge d'optimisation et permis d'adapter la séquence aux spécificités de chaque atelier.

2.1 Critères d'optimisation (ordre lexicographique)

1. Minimisation des violations des écarts de critères prioritaires : pour chaque écart, toutes les fenêtres glissantes de la séquence sont vérifiées. Par exemple, pour un écart de 1/3 concernant les véhicules électriques (VE), chaque fenêtre glissante de taille 3 doit contenir au plus un VE (voir FIG. 1). Cette contrainte est principalement appliquée en atelier de montage, mais peut également concerner les ateliers de tôlerie et de peinture. L'objectif vise à lisser la charge de travail sur la chaîne de production.
2. Minimisation des changements de couleur en atelier de peinture : cet objectif maximise la taille des rafales de véhicules de même couleur, afin de réduire le coût lié au nettoyage du pistolet de peinture.



FIG. 1 – Respect des écarts de critère

3. Minimiser les violations de la capacité des stocks de reconstruction entre deux ateliers a_1 et a_2 : pour chaque véhicule, l'écart entre sa position dans a_1 et sa position dans a_2 ne doit pas dépasser la capacité du stock. L'objectif consiste à minimiser le dépassement absolu de cette capacité sur l'ensemble des véhicules.
4. Minimiser les violations des écarts de critères non prioritaires.
5. Minimiser des changements de couleur spécifiques : certaines transitions de couleurs (ex. rouge \rightarrow blanc) peuvent affecter la qualité de teinte même après nettoyage du pistolet. L'objectif vise à limiter ces transitions critiques.
6. Autres critères de performance : notamment le lissage de certaines populations de véhicules sur des fenêtres de taille définie.

2.2 Contraintes dures

- Lot verrouillé : certains véhicules séquencés la veille doivent conserver leur position sur chaque atelier. Ces véhicules, regroupés en bloc en début de séquence, ne sont pas soumis aux contraintes du jour mais sont pris en compte dans l'évaluation de certains critères d'optimisation.
- Fenêtres de position : certains véhicules doivent apparaître dans un intervalle spécifique de positions $[pos_{min}, pos_{max}]$ pour répondre à des besoins métier particuliers.
- Retards spécifiques : certains véhicules nécessitent plus de temps dans certains ateliers (ex. véhicules à double teinte en peinture). Le nombre de positions de retard est défini par le métier et doit être respecté dans le modèle, avec une tolérance configurable, généralement inférieure à 30%.
- Contraintes de cycles : dans certaines usines, l'atelier de montage doit respecter un ou plusieurs patterns répétitifs précis (ex. avoir sur toute la séquence le pattern suivant : 1 véhicule hybride suivi de 8 non hybrides sauf quelques fois où on insère un autre pattern différent : 1 véhicule hybride suivi par 16 non hybrides par exemple). Ces patterns renforcent le lissage de la charge de travail et préviennent les arrêts de chaîne lorsque les écarts de critères seuls ne suffisent pas.

3 Méthode de résolution, résultats et prochaines étapes

Les instances testées (≈ 1000 véhicules, 6 ateliers) ont été modélisées avec Hexaly. Les trois premiers objectifs convergeant en moins de 5 minutes, une approche en deux phases a été retenue : d'abord ces objectifs, puis le modèle complet avec solution initiale. Des améliorations ont inclus l'intégration de la contrainte d'anticipation (initialement un objectif) comme contrainte dure avec tolérance paramétrable et la création d'une variable de décision «permutation» permettant de définir la séquence d'un atelier à partir de celle de l'atelier précédent, conformément aux contraintes couplantes. Le modèle final a atteint un temps de calcul d'environ 2 heures (contre 4 heures pour le progiciel), pour une qualité de solution similaire. Le POC a été validé et son industrialisation est prévue en 2026.

Références

- [1] Christine Solmon, Van Dat Cung, Alain Nguyen, Christian Artigues. The car sequencing problem : Overview of state-of-the-art methods and industrial case-study of the ROA-DEF'2005 challenge problem. *European Journal of operational Research*, 2007.