

# Ordonnancement de la production et de la maintenance sur une machine multicomposant : étude de complexité \*

Ernest Foussard<sup>1,2</sup>, Marie-Laure Espinouse<sup>1</sup>, Grégory Mounié<sup>2</sup>, Margaux Nattaf<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP<sup>‡</sup> G-SCOP, 38000 Grenoble, France

<sup>2</sup> Univ. Grenoble Alpes, Inria, CNRS, Grenoble INP<sup>‡</sup> LIG, 38000 Grenoble, France

**Mots-clés** : *Ordonnancement, Planification de la maintenance, Santé des équipements, Étude de complexité*

**Introduction** La maintenance est un enjeu crucial dans la gestion des équipements industriels. On distingue habituellement la maintenance curative, coûteuse et réalisée immédiatement pour réparer un équipement suite à un dysfonctionnement, de la maintenance préventive, réalisée en amont pour limiter entre autres le risque de panne. Une politique de maintenance préventive efficace permet d’assurer la continuité du fonctionnement des équipements, d’allonger leur durée de vie et de garantir un niveau de service satisfaisant.

Au cours de ces dernières années, de nombreuses études ont été menées en optimisation à propos de la maintenance conditionnelle [1]. Ce terme désigne les opérations de maintenance préventives qui sont planifiées en se basant sur des indicateurs de l’état des équipements. En raison de l’essor de l’industrie 4.0 et des récentes avancées technologiques sur les capteurs, il est désormais possible de suivre précisément l’évolution de l’usure, et des premiers modèles de dégradation ont vu le jour [6]. Pour répondre à cette évolution technologique, la santé des équipements a été intégrée à des problèmes de planification de la production dans des travaux de recherche récents [2, 5]. Dans la continuité de ces travaux, nous présentons un problème d’ordonnancement de la maintenance et de la production sur une machine multicomposant.

**Définition du problème** Nous considérons un problème d’ordonnancement de tâches de production et de maintenance sur une seule machine à plusieurs composants  $\mathcal{G} = \{1..G\}$ . Chaque composant a un niveau de santé variant entre 0 (hors-service) et 100 (état neuf). Chacune des tâches  $i \in \mathcal{N}$  a une durée  $p_i$  et cause une usure  $w_{gi}$  sur chaque composant  $g \in \mathcal{G}$ . De plus, il n’est possible de planifier la tâche  $i$  que si la santé des composants est supérieure aux seuils d’acceptabilité  $s_{gi}$ .

Afin de régénérer le niveau de santé des composants, il est possible de planifier des opérations de maintenance avant l’exécution d’une tâche. Chaque maintenance  $m$  a une durée  $p_m$  et permet de régénérer la santé d’un ou plusieurs composants.

**Sous-cas et complexité** Nous proposons une première cartographie partielle pour la complexité de ce problème. De nombreuses hypothèses sur les maintenances sont possibles, en particulier sur :

- La régénération : régénération totale (maintenance parfaite) ou partielle (fraction de la santé manquante, valeur fixe...) ciblée sur un ou plusieurs composants.
- La disponibilité : chaque maintenance ne peut être planifiée qu’une seule fois, un nombre limité de fois ou sans limite.

---

\*Ce travail a bénéficié d’aides de L’État gérées par l’Agence Nationale de la Recherche au titre du programme « Investissements d’avenir » Persyval-Lab portant les références ANR-11-LABX-0025-01

<sup>‡</sup>Institute of Engineering Univ. Grenoble Alpes

Enfin, les objectifs classiques d'ordonnancement :  $C_{max}$ ,  $\sum C_j$ ,  $L_{max}$ ... mais aussi des objectifs sur la santé ou les maintenances peuvent être considérés.

Quelques résultats pour illustrer cette cartographie sont présentés ci-dessous.

**Cas des maintenances parfaites à utilisation limitées** Pour commencer, on s'intéresse au cas des maintenances parfaites (régénération totale de la santé) ne pouvant être planifiées qu'un nombre limité de fois. Nous montrons que le problème d'existence d'une solution pour un composant se ramène à des problèmes d'ordonnancement avec périodes d'indisponibilité, connus pour être NP-difficiles au sens fort [3, 4].

**Cas des maintenances parfaites utilisables sans restriction** On considère dans un second temps le cas où il n'y a plus de restrictions sur le nombre d'utilisation des maintenances. On étudie plus particulièrement deux fonctions objectifs :  $C_{max}$  et  $\sum C_j$ .

- Dans le cas  $C_{max}$ , minimiser l'objectif revient à minimiser le nombre de maintenances. Cela implique que le problème d'existence présenté précédemment est réductible à ce cas particulier, qui est donc également NP-difficile au sens fort dans le cas général.
- Pour le cas  $\sum C_j$ , nous considérons deux sous-cas polynomiaux à un composant si les seuils d'acceptabilité des tâches sont tous égaux : si les usures  $w_i$  sont égales pour toutes les tâches, alors la règle SPT (tâches par ordre croissant de temps d'exécution) est optimale. Réciproquement, si les durées des tâches sont toutes égales, nous démontrons que la règle consistant à placer les tâches par ordre d'usure croissant est optimale. Dans le cas général, on voit apparaître un trade-off entre les deux règles. La complexité du problème général est à ce jour une question ouverte.

**Conclusions et perspectives** Nous initions ici un travail de cartographie de la complexité d'un problème de planification conjointe de la production et de la maintenance. L'objectif est de pouvoir proposer à terme une vue d'ensemble sur la complexité de ces problèmes. Au-delà de la question de la complexité, les méthodes exactes, heuristiques et algorithmes d'approximation pour résoudre ce problème sont des pistes de recherche à investiguer. La cartographie réalisée, les similarités et les différences identifiées avec plusieurs problèmes classiques de la littérature, seront, à n'en pas douter des éléments qui pourront contribuer à la conception de ces méthodes de résolution.

## Références

- [1] Bram de Jonge and Philip A Scarf. A review on maintenance optimization. *European Journal of Operational Research* 285(3) :805-824, 2020.
- [2] Yu-Ting Kao, Stéphane Dauzère-Pérès, Jakey Blue and Shi-Chung Chang. Impact of integrating equipment health in production scheduling for semiconductor fabrication. *Computers & Industrial Engineering* 120 :450-459, 2018.
- [3] Chung-Yee Lee. Machine scheduling with an availability constraint. *Journal of Global Optimization* 9(3-4) :395-416, 1996.
- [4] Ying Ma, Chengbin Chu and Chunrong Zuo. A survey of scheduling with deterministic machine availability constraints. *Computers & Industrial Engineering* 58(2) :199-211. 2010.
- [5] Margaux Nattaf and Stéphane Dauzère-Pérès. Problème d'ordonnancement sur machines parallèles avec prise en compte de la santé des équipements : analyse et résolution. *20ème édition du congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision*, ROADEF2019, 2019.
- [6] Hamideh Rostami, Jakey Blue, Argon Chen and Claude Yugma. Equipment deterioration modeling and cause diagnosis in semiconductor manufacturing. *International Journal of Intelligent Systems* 36 :2618-2638, 2021.