



HAL
open science

Modélisation et optimisation du problème de planification de type RMRP

Ilhem Slama, Oussama Ben-Ammar, Alexandre Dolgui

► **To cite this version:**

Ilhem Slama, Oussama Ben-Ammar, Alexandre Dolgui. Modélisation et optimisation du problème de planification de type RMRP. MOSIM'20 : 13eme Conference Francophone de Modelisation, Optimisation et Simulation, Nov 2020, Agadir, Maroc. <hal-03171078>

HAL Id: hal-03171078

<https://hal.science/hal-03171078v1>

Submitted on 16 Mar 2021

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.



HAL Authorization

MODÉLISATION ET OPTIMISATION DU PROBLÈME DE PLANIFICATION DE TYPE RMRP

Ilhem SLAMA¹, Oussama BEN-AMMAR², Alexandre DOLGUI¹, Faouzi MASMOUDI³

¹ IMT Atlantique, LS2N-CNRS, La Chantrerie, 4 rue Alfred Kastler - B.P. 20722, 44307 Nantes, France

{ilhem.slama,alexandre.dolgui}@imt-atlantique.fr

² Mines Saint-Étienne, Univ Clermont Auvergne, UMR-CNRS 6158 LIMOS

CMP Department of Manufacturing Sciences and Logistics

880 route de Mimet, F-13541 Gardanne, France

oussama.ben-ammar@emse.fr

² Engineering School of Sfax, LA2MP

University of Sfax, Tunisia

masmoudi.fawzi@gmail.com

RÉSUMÉ : *Le processus de démontage a suscité un intérêt croissant en raison de préoccupations écologiques croissantes. Dans ce travail préliminaire, nous étudions le problème de planification de désassemblage de Produits en Fin de Vie (PFVs). Nous tenons compte de plusieurs éléments comme l'approvisionnement externe, les articles defectueux, la rupture de stock, les délais d'installation et la disponibilité d'une capacité supplémentaire de désassemblage. L'objectif est de déterminer le nombre de PFVs à démonter à chaque période afin de maximiser le prix de revente d'articles récupérés et de minimiser un ensemble de coûts lié au processus de démontage. Le problème est modéliser sous forme d'un programme linéaire en nombres entiers (PLNE) et résolu avec le solveur CPLEX. Un exemple numérique est présenté pour illustrer le problème étudié.*

MOTS-CLÉS : *Logistique inverse, désassemblage, planification, articles defectueux, contrainte de capacité.*

1 INTRODUCTION

Le problème de planification de désassemblage se focalise sur l'étude d'un produit que l'on désassemble pour obtenir d'articles destinés à la revente. Dans la plupart des cas, il existe une demande en composants à satisfaire. L'objectif est de déterminer la quantité de PFV à désassembler à chaque période.

Dans ce travail, nous nous référons au modèle de planification de type RMRP (Reverse Materiel Requirement Planning) pour souligner qu'il s'agit d'un modèle de minimisation des coûts pour la planification du désassemblage sous une contrainte sur la capacité. Nous formulons le problème sous forme d'un PLNE qui maximise le profit tiré du processus de démontage. Autrement dit, la différence entre les revenus générés par la revente d'articles récupérés et les coûts liés au processus de démontage d'un seul type de produit. La planification est faite sur plusieurs périodes pour un système de désassemblage multi-niveau.

Le modèle proposé intègre le rejet des composants, le stockage et la rupture en composants, et les temps de configuration. Une décision d'achat externe est également considérée afin de satisfaire toutes les demandes en proposant le bon compromis entre le désas-

semblage et l'approvisionnement externe en composants. Dans les sections suivantes, tous ces paramètres seront présentés, modélisés et expliqués. A notre connaissance, c'est pour la première fois que tous ces paramètres sont traités simultanément dans un problème de type RMRP déterministe. Le modèle proposé fournit les quantités optimales de PFVs à démonter ainsi que la quantité d'articles à s'approvisionner en externe pour satisfaire toutes les demandes de l'horizon de planification.

2 ÉTAT DE L'ART

Depuis les travaux précurseurs de Gupta and Taleb (1994), le problème de planification de désassemblage a suscité beaucoup d'attention. Afin de ne pas faire une étude exhaustive de la littérature, nous allons se limiter aux études pertinentes qui restreignent la capacité de démontage. D'après notre récente étude bibliographique (Slama et al., 2019), ces travaux peuvent être classés par type de produit.

Pour un système de démontage avec un seul type de produit, Lee et al. (2002) étaient les premiers à étudier le problème déterministe avec une limitation de capacité de désassemblage. Les auteurs ont proposé

un programme en nombres entiers qui vise à minimiser la somme des coûts de stockage des composants et des coûts liés aux opérations de démontage et d'approvisionnement en PFVs. Une année plus tard, [Kim et al. \(2003\)](#) ont prouvé que la solution optimale est identique que celle trouvée en relâchant la contrainte sur la capacité. Ensuite, [Kim et al. \(2006\)](#) ont étendu le modèle proposé par [Lee et al. \(2002\)](#) en ajoutant des coûts d'installation fixes générés sur l'horizon de planification une fois l'opération de désassemblage est lancée. En règle générale, les coûts d'installation ont tendance à être substantiels dans les processus de démontage réels. Les auteurs ont suggéré une heuristique lagrangienne pour résoudre le problème avec des tests sur des instances de grande taille.

Pour un système de démontage avec plusieurs type de produit, [Ullrich and Buscher \(2013\)](#) ont présenté un programme linéaire en nombres entiers pour étudier le cas d'une nomenclature à deux niveaux avec des similitudes de pièces. Cependant, leur modèle a ignoré le coût d'installation, qui est un paramètre essentiel pour le problème de lot-sizing. [Ji et al. \(2016\)](#) ont étendu le travail de [Ullrich and Buscher \(2013\)](#) en introduisant à la fois les coûts d'installation et de démarrage. Les auteurs ont proposé une heuristique efficace pour résoudre le problème. En raison des écarts entre les rendements de désassemblage et les demandes en composants, une introduction d'un stock au début de l'horizon a été suggérée. Le problème de la conservation inutile des composants est traité par [Godichaud et al. \(2015\)](#); [Godichaud and Amodeo \(2019, 2018\)](#). Une solution basée sur l'achat externe des composants est proposée. [Tian and Zhang \(2019\)](#) ont étudié le problème de lot-sizing et la tarification des produits en fin de vie en utilisant des rendements liés aux prix d'acquisition des produits. Le problème a été résolu par optimisation de colonies de fourmis pour déterminer les meilleurs prix d'achat des éléments racines ainsi que le meilleur plan de désassemblage. Récemment, [Slama et al. \(2020\)](#) ont développé un nouveau modèle de programmation en nombres entiers mixtes (PMNE) pour maximiser les revenus du processus de démontage pour un système de désassemblage avec un type de produit avec une nomenclature à plusieurs niveaux et des composant en commun.

Concernant la restriction de capacité sur les ressources de désassemblage, Plusieurs études ont démontré qu'elle augmente la complexité du problème ([Kim et al., 2006](#); [Kim and Xirouchakis, 2010](#); [Kim et al., 2009](#)). Cependant, aucune étude n'a considéré le temps de configuration nécessaires pour préparer le processus de désassemblage. Le temps d'installation est généralement un paramètre indispensable dans les problèmes de lot-sizing. Il doit être intégré dans la contrainte de capacité même si cela augmente considérablement la complexité du problème ([Kim et al.,](#)

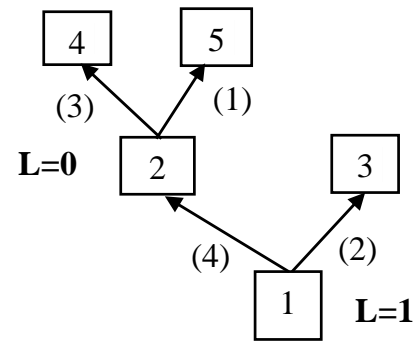


FIGURE 1 – Système de démontage : exemple illustratif.

2007).

Dans ce travail préliminaire, nos contributions sont les suivantes : (i) nous introduisons à la fois le temps d'installation et la capacité de désassemblage, et (ii) nous tenons compte des composants défectueux, de la rupture de stock et de l'achat externe des composants.

3 DESCRIPTION DU PROBLÈME

Dans ce travail, nous considérons un seul type de PFV. Ce produit a une nomenclature à plusieurs niveaux (voir l'exemple dans la Figure 1). Un article parent représente l'élément à démonter, il peut être un élément racine ou un élément intermédiaire (sous-ensemble). Un article parent a plusieurs enfants. Chaque élément enfant désigne un élément non-racine qui peut avoir un seul parent. Comme le montre la Figure 1, l'élément 1 désigne l'élément racine. Les éléments 2 et 3 représentent les sous-ensembles et les éléments 4 et 5 représentent les pièces. De même, le nombre entre parenthèses représente le nombre d'unités de l'article obtenu lorsqu'une unité de son parent est démontée ; par exemple, l'article 2 est démonté en trois unités d'article 4 et une unité d'article 5. Le délai de démontage (L) comprend le temps écoulé entre le lancement de l'ordre de démontage et la réception d'articles démontés.

La capacité de démontage est supposée limitée à chaque période. Une capacité supplémentaire peut être ajoutée si le plan de démontage l'exige. Un exemple classique est d'utiliser les heures supplémentaires. Nous supposons que l'utilisation de ces heures est limitée.

Les clients ont des demandes d'articles démontés (sous-ensemble ou pièces) sur l'horizon de planifi-

cation. Toutes ces demandes doivent être satisfaites soit en démontant les produits en fin de vie, soit les achetant directement afin d'éviter tout désassemblage avec une pénalité élevée dans la fonction objectif. Par ailleurs, toute rupture engendre une pénalité. Un article non-racine est en rupture de stock si la demande ne peut être satisfaite à la période souhaitée. Nous notons que l'achat des composants auprès d'un prestataire est fait seulement si le coût de revient d'un composant issu du désassemblage est supérieur à son coût d'achat chez un prestataire. Nous notons que la solution proposée par le modèle propose un bon compromis entre l'achat et le désassemblage. Concernant le taux de rejet de chaque article, il est connu et concerne seulement les articles non-racine.

Le coût de stockage se produit lorsque les éléments non-racine sont conservés en stock pour répondre à une demande future. Le coût et le temps d'installation des machines sont supposés non nuls. Une fois qu'un élément parent est démonté, l'équipement de désassemblage nécessaire pour cet élément doit être configuré. Cela génère un coût d'installation spécifique à chaque élément parent. Le temps d'installation est généralement un paramètre indispensable dans les problèmes de lot-sizing. Il est défini comme le temps nécessaire pour préparer le processus de désassemblage. Nous notons aussi que le temps d'installation pour les opérations de désassemblage manuel est souvent long, il doit être intégré dans la contrainte de capacité.

Les hypothèses du problème étudié peuvent être résumées comme suit :

- a) Les demandes pour les éléments non-racine sont connues,
- b) Les demandes peuvent être satisfaites par l'opération de démontage et/ou par les achats externes,
- c) Le retard sur les demandes est autorisé,
- d) Les articles démontés peuvent être défectueux,
- e) Le temps d'opération de démontage et le temps de configuration pour tous les articles parents sont non nuls,
- f) Le démontage est complet, ce qui signifie que tous les articles parents sont démontés,
- g) La capacité de désassemblage et l'utilisation des heures supplémentaire sont limitées.

4 FORMULATION MATHÉMATIQUE

Dans cette section nous présentons un modèle mathématique pour formuler le problème de planification du démontage étudié. L'objectif est de trouver le meilleur plan de démontage qui satisfait toutes les

demandes en composants en minimisant les coûts et en maximisant le profit.

Dans ce travail préliminaire, nous proposons une nouvelle formulation du problème par rapport à celle présentée dans la littérature. Afin de minimiser le nombre de contraintes, nous fusionnons les équations de niveau de stock des sous-ensembles et d'articles du dernier niveau en une seule contrainte de stockage. Ces techniques sont inspirées des travaux de [Voß and Woodruff \(2006\)](#) dans lesquels les auteurs étudient les problèmes de planification de la production dans un environnement MRP (Material Requirements Planning).

Pour formuler le problème, l'ordre topologique est considéré de gauche à droite et de bas en haut pour tous les éléments. Soit $i = 1$ l'indice du PFV et N l'indice du dernier article démonté obtenu. Soit les trois ensembles suivants : (i) \mathcal{N} l'ensemble d'articles i avec $i = 1, \dots, i_l, \dots, N$, où i_l désigne l'indice du premier élément feuille. (ii) \mathcal{A} l'ensemble des éléments feuille i du dernier niveau de nomenclature qui ne peuvent plus être démontés avec $i = i_l, \dots, N$. Ces éléments vérifient l'égalité suivante : $\forall i \in \mathcal{A}, \forall j \in \mathcal{N} \mid R_{i,j} = 0$, et (iii) \mathcal{A}^C l'ensemble des éléments restants i avec $\mathcal{A} \cup \mathcal{A}^C = \mathcal{N}$ où $i = 2, \dots, i_{l-1}$. Pour faciliter la lecture du modèle, nous introduisons une macro, notée \equiv , pour indiquer le niveau de stock pour chaque élément non-racine à la fin de chaque période.

Les indices utilisées dans la notation sont :

- t : indice de la période $t, t \in \mathcal{T}$,
- i : indice de l'article $i, i \in \mathcal{N}$.

Les paramètres utilisés dans ce travail sont :

- \mathcal{T} : ensemble de périodes,
- \mathcal{N} : ensemble d'articles,
- \mathcal{A} : ensemble d'articles du dernier niveau,
- \mathcal{A}^C : ensemble des sous-ensembles (niveaux intermédiaires),
- $R_{i,j}$: nombre d'unités de l'article j issus du démontage de i ,
- $D_{i,t}$: demande externe en i à la période t
- $I_{i,0}$: niveau de stock initial de l'article i ,
- L_i : délai de désassemblage de l'article i ,
- h_i : coût unitaire de stock de l'article i ,
- S_i : coût unitaire d'installation de l'article i ,
- ϕ_i : parent de l'article i ,
- b_i : coût unitaire de rupture en article i ,
- C_i : coût unitaire d'achat de l'article i ,
- α_i : taux de rejet pour l'article i ,
- G_i : temps de l'opération de l'article i ,
- U_t : capacité disponible à la période t ,

- O_t : coût de l'ajout d'une unité de capacité supplémentaire à la période t ,
- F_t : capacité des heures supplémentaires à la période t ,
- SC_i : prix unitaire de vente de l'article i ,
- ST_i : temps d'installation de l'élément parent i ,
- M : un grand nombre.

Les variables de décisions sont :

- $X_{i,t}$: quantité de i à démonter à la période t ,
- $Z_{i,t}$: quantité de i achetée à la période t .

Les variables suivantes sont utilisées dans ce travail :

- $\delta_{i,t}$: indicateur binaire de démontage de i à t ,
- $I_{i,t}^+$: niveau de stock de i à la fin de t ,
- $I_{i,t}^-$: quantité en rupture de i à la fin de t ,
- $W_{i,t}$: quantité défectueuse de i à la période t ,
- O_t : heures supplémentaires utilisées à t ,
- $Q_{i,t}$: quantité de vente de i à la période t .

Le modèle est formulé en tant que PLNE. La fonction objectif (équation 1) maximise le profit total tout en minimisant plusieurs coûts : stockage, rupture, achats externes, installation et dépassement de la capacité sur l'horizon de planification :

$$\begin{aligned} \text{Max} \sum_{t \in \mathcal{T}} \left(\sum_{i \in \mathcal{N} \setminus \{1\}} (SC_i \cdot Q_{i,t} - h_i \cdot I_{i,t}^+ - b_i \cdot I_{i,t}^- - C_i \cdot Z_{i,t}) \right. \\ \left. - O_t \cdot Y_t - \sum_{i \in \mathcal{A}^c} S_i \cdot \delta_{i,t} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

Les contraintes (2) définissent le niveau de stock pour chaque article non-racine i à la fin de t :

$$I_{i,t}^+ - I_{i,t}^- = I_{i,t} \quad \forall i \in \mathcal{N} \setminus \{1\}, \forall t \in \mathcal{T} \quad (2)$$

où $I_{i,t}$ est la macro définie comme suit :

$$I_{i,t} \equiv I_{i,t-1} + R_{\phi_i, i} \cdot X_{\phi_i, t-L_{\phi_i}} - D_{i,t} - X_{i,t} - W_{i,t} + Z_{i,t}$$

Les contraintes (3) garantissent qu'un coût d'installation est généré dans une période si une opération de démontage doit être effectuée pendant cette période :

$$\delta_{i,t} - \frac{X_{i,t}}{M} \geq 0 \quad \forall i \in \mathcal{A}^c, \forall t \in \mathcal{T} \quad (3)$$

Les contraintes (4) représentent la quantité défectueuse pour chaque article non-racine i à chaque t :

$$W_{i,t} = \alpha_i \times R_{\phi_i, i} \cdot X_{\phi_i, t-L_{\phi_i}} \quad \forall i \in \mathcal{N} \setminus \{1\}, \forall t \in \mathcal{T} \quad (4)$$

Les contraintes (5) définissent la capacité de démontage à chaque période t :

$$\sum_{i \in \mathcal{A}^c} (ST_i \cdot \delta_{i,t} + G_i \cdot X_{i,t}) \leq U_t + Y_t \quad \forall t \in \mathcal{T} \quad (5)$$

Les contraintes (6) représentent les limites inférieures et supérieures disponibles pour une capacité supplémentaire à chaque période t :

$$0 \leq Y_t \leq F_t \quad \forall t \in \mathcal{T} \quad (6)$$

Les contraintes (7) représentent la quantité vendue pour chaque article non-racine i et la période t :

$$Q_{i,t} = (D_{i,t} - Z_{i,t} - I_{i,t}) \quad \forall i \in \mathcal{N} \setminus \{1\}, \forall t \in \mathcal{T} \quad (7)$$

Les contraintes (8-13) définissent les variables de décision :

$$I_{i,t}^+, I_{i,t}^- \geq 0 \quad \forall i \in \mathcal{N} \setminus \{1\}, \forall t \in \mathcal{T} \quad (8)$$

$$Z_{i,t}, Q_{i,t}, W_{i,t} \geq 0 \quad \forall i \in \mathcal{N} \setminus \{1\}, \forall t \in \mathcal{T} \quad (9)$$

$$X_{i,t} \geq 0 \quad \forall i \in \mathcal{A}^c, \forall t \in \mathcal{T} \quad (10)$$

$$X_{i,t} = 0 \quad \forall i \in \mathcal{A}, \forall t \in \mathcal{T} \quad (11)$$

$$Y_t \geq 0 \quad \forall t \in \mathcal{T} \quad (12)$$

$$\delta_{i,t} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{A}^c, \forall t \in \mathcal{T} \quad (13)$$

Le modèle proposé permet de décider :

1. Quand et combien d'articles parents doivent être démontés, en tenant compte du fait que le processus de démontage génère des pièces défectueuses ?
2. Quand et combien d'articles non-racines doivent être achetés en externe ?

5 Illustration avec un exemple

Le solveur CPLEX v.12.6 a été utilisé pour résoudre de manière optimale le PLNE. Toutes les formulations ont été codées en C avec un processeur Intel (R) Core™ i7-5500 CPU @ 2.4 GHz.

Pour présenter la solution optimale trouvée sur une petite instance et sur la structure du produit illustré dans la Figure 1, nous considérons un horizon de planification de 5 périodes. Nous supposons que le temps de l'opération de démontage G_i et d'installation ST_i sont respectivement 5 et 30 pour chaque article i , $\forall i \in \mathcal{A}^c$. Le tableau 1 résume, pour chaque période t , la demande en composants, le taux de rejet, la capacité de désassemblage et le nombre maximale d'heures supplémentaires qu'on peut allouer, ainsi que les différents coûts unitaires.

Le tableau 2 présente la solution optimale sous forme de plan directeur de démontage. Le coût optimale est égale 12836 et trouvé en 0.047 secondes.

6 Conclusion

Dans ce travail préliminaire, une modélisation déterministe qui consiste à étendre les problèmes examinés dans la littérature à un problème plus général. Nous avons considéré un seul type de produit avec une

Tableau 1 – Caractéristiques de l'ensemble des données

Demande					
Période t	1	2	3	4	5
Composant i					
2	41	85	72	38	80
3	69	65	68	96	22
4	49	67	51	61	63
5	87	66	24	80	83
Taux de rejet					
Article i	1	2	3	4	5
α_i	0	0,02	0	0,03	0
Capacité de désassemblage					
Période t	1	2	3	4	5
U_t	480	480	480	480	480
Capacité en heures supplémentaires					
Période t	1	2	3	4	5
F_t	120	120	120	120	120
Coûts unitaires					
Article i	1	2	3	4	5
h_i	-	8	5	6	5
S_i	20	20	-	-	-
A_i	-	16	10	12	10
SC_i	-	42	7,5	9	7,5
C_i	-	63	11,25	13,25	11,25

nomenclature multi-niveau. Le modèle mathématique a été construit en supposant que les demandes sont connues pour chaque article non-racine à chaque période. La décision d'approvisionnement en externe et l'autorisation de la rupture sont autorisées. Les temps d'installation et la capacité en heures supplémentaires sont prises en considération. Les articles démontés peuvent être rejetés lors de l'opération de désassemblage. Un PLNE a été proposé pour formuler et résoudre de manière optimale le problème étudié. Un exemple numérique est présentée. C'est une petite instance avec un système de démontage composé de 5 articles et un horizon de planification de 5 périodes.

Comme continuité de cette étude nous envisagerons les perspectives suivantes. Tout d'abord, pour montrer l'extensibilité et les limites du modèle proposé, plusieurs tests de performance devront être menés sur des moyennes et grandes. Ensuite, la prise en compte de l'existence de plusieurs types de produits à démonter avec plusieurs articles en commun. Enfin, afin de se rapprocher des cas réels, nous compterons étudier les systèmes de désassemblage dans un environnement incertain.

Tableau 2 – Solution optimale obtenue par CPLEX

Quantités de PFVs à désassembler						
Période t	0	1	2	3	4	5
$X_{1,t}$	20	25	25	11	25	
$X_{2,t}$		17	22	17	20	21
Quantités à acheter						
Période t	0	1	2	3	4	5
$Z_{2,t}$						
$Z_{3,t}$		33	25	33	57	
$Z_{4,t}$						
$Z_{5,t}$		70	44	7	60	
Niveaux de stock						
Période t	0	1	2	3	4	5
$I_{2,t}^+$		22	8	16	2	1
$I_{3,t}^+$						
$I_{4,t}^+$		2	1	1		
$I_{5,t}^+$						
Niveaux de rupture						
Période t	0	1	2	3	4	5
$I_{2,t}^-$			12	4		
$I_{3,t}^-$					28	
$I_{4,t}^-$						
$I_{5,t}^-$						62
Quantités vendues						
Période t	0	1	2	3	4	5
$Q_{2,t}$		41	73	68	38	80
$Q_{3,t}$		36	40	35	39	22
$Q_{4,t}$		49	67	51	61	63
$Q_{5,t}$		17	22	17	20	21
Heures supplémentaire						
Période t	0	1	2	3	4	5
Y_t	0	0	0	0	0	0

Références

- Godichaud, M. and Amodeo, L. (2018). Economic order quantity for multistage disassembly systems. *International Journal of Production Economics*, 199 :16–25.
- Godichaud, M. and Amodeo, L. (2019). Eoq inventory models for disassembly systems with disposal and lost sales. *International Journal of Production Research*, 57(18) :5685–5704.
- Godichaud, M., Amodeo, L., and Hrouga, M. (2015). Metaheuristic based optimization for capacitated disassembly lot sizing problem with lost sales. In *2015 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM)*, pages 1329–1335. IEEE.
- Gupta, S. and Taleb, K. (1994). Scheduling disassembly. *The International Journal of Production Research*, 32(8) :1857–1866.
- Ji, X., Zhang, Z., Huang, S., and Li, L. (2016). Capacitated disassembly scheduling with parts commo-

- nality and start-up cost and its industrial application. *International Journal of Production Research*, 54(4) :1225–1243.
- Kim, H.-J., Lee, D.-H., and Xirouchakis, P. (2006). A lagrangean heuristic algorithm for disassembly scheduling with capacity constraints. *Journal of the Operational Research Society*, 57(10) :1231–1240.
- Kim, H.-J., Lee, D.-H., and Xirouchakis, P. (2007). Disassembly scheduling : literature review and future research directions. *International Journal of Production Research*, 45(18-19) :4465–4484.
- Kim, H.-J., Lee, D.-H., Xirouchakis, P., and Kwon, O. (2009). A branch and bound algorithm for disassembly scheduling with assembly product structure. *Journal of the Operational Research Society*, 60(3) :419–430.
- Kim, H.-J., Lee, D.-H., Xirouchakis, P., and Züst, R. (2003). Disassembly scheduling with multiple product types. *CIRP Annals*, 52(1) :403–406.
- Kim, H.-J. and Xirouchakis, P. (2010). Capacitated disassembly scheduling with random demand. *International Journal of Production Research*, 48(23) :7177–7194.
- Lee, D.-H., Xirouchakis, P., and Züst, R. (2002). Disassembly scheduling with capacity constraints. *CIRP Annals*, 51(1) :387–390.
- Slama, I., Ben-Ammar, O., Dolgui, A., and Masmoudi, F. (2020). New mixed integer approach to solve a multi-level capacitated disassembly lot-sizing problem with defective items and backlogging. *Journal of Manufacturing Systems*, 56 :50–57.
- Slama, I., Ben-Ammar, O., Masmoudi, F., and Dolgui, A. (2019). Disassembly scheduling problem : literature review and future research directions. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13) :601–606.
- Tian, X. and Zhang, Z.-H. (2019). Capacitated disassembly scheduling and pricing of returned products with price-dependent yield. *Omega*, 84 :160–174.
- Ullrich, C. and Buscher, U. (2013). Flexible disassembly planning considering product conditions. *International Journal of Production Research*, 51(20) :6209–6228.
- Voß, S. and Woodruff, D. L. (2006). *Introduction to computational optimization models for production planning in a supply chain*, volume 240. Springer Science & Business Media.