



LIMOS, UMR CNRS 6158

HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

présentée par

Olga BATAÏA

Apport de l'optimisation combinatoire pour la configuration des lignes de production

le 21 octobre 2014

Membres du jury

| | | |
|------------|----------------------|--|
| Rapporteur | Michel ALDANONDO | Professeur à l'Ecole des Mines d'Albi |
| Rapporteur | Christian ARTIGUES | Directeur de recherche au LAAS-CNRS |
| Rapporteur | Jean-Charles BILLAUT | Professeur à Polytech'Tours |
| Rapporteur | Jacques TEGHEM | Professeur à l'Université de Mons |
| Examineur | Daniel BRISSAUD | Professeur à Grenoble INP |
| Examineur | Hoda ELMARAGHY | Professeur, Canada Research Chair in Manufacturing |
| Examineur | Farouk YALAOUI | Professeur à l'Université de Technologie de Troyes |
| Directeur | Alexandre DOLGUI | Professeur à l'École des Mines de St-Étienne |

Spécialités doctorales :
 SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX
 MECANIQUE ET INGENIERIE
 GENIE DES PROCÉDES
 SCIENCES DE LA TERRE
 SCIENCES ET GENIE DE L'ENVIRONNEMENT
 MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES
 INFORMATIQUE
 IMAGE, VISION, SIGNAL
 GENIE INDUSTRIEL
 MICROELECTRONIQUE

Responsables :
 K. Wolski Directeur de recherche
 S. Drapier, professeur
 F. Gruy, Maître de recherche
 B. Guy, Directeur de recherche
 D. Graillet, Directeur de recherche
 O. Roustant, Maître-assistant
 O. Boissier, Professeur
 J.C. Pinoli, Professeur
 A. Dolgui, Professeur

EMSE : Enseignants-chercheurs et chercheurs autorisés à diriger des thèses de doctorat (titulaires d'un doctorat d'État ou d'une HDR)

| | | | | |
|--------------------|--------------|---------|--------------------------------------|-------|
| AVRIL | Stéphane | PR2 | Mécanique et ingénierie | CIS |
| BATTON-HUBERT | Mireille | PR2 | Sciences et génie de l'environnement | FAYOL |
| BENABEN | Patrick | PR1 | Sciences et génie des matériaux | CMP |
| BERNACHE-ASSOLLANT | Didier | PR0 | Génie des Procédés | CIS |
| BIGOT | Jean Pierre | MR(DR2) | Génie des Procédés | SPIN |
| BILAL | Essaid | DR | Sciences de la Terre | SPIN |
| BOISSIER | Olivier | PR1 | Informatique | FAYOL |
| BORBELY | Andras | MR(DR2) | Sciences et génie de l'environnement | SMS |
| BOUCHER | Xavier | PR2 | Génie Industriel | FAYOL |
| BRODHAG | Christian | DR | Sciences et génie de l'environnement | FAYOL |
| BURLAT | Patrick | PR2 | Génie Industriel | FAYOL |
| COURNIL | Michel | PR0 | Génie des Procédés | DIR |
| DARRIEULAT | Michel | IGM | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| DAUZERE-PERES | Stéphane | PR1 | Génie Industriel | CMP |
| DEBAYLE | Johan | CR | Image Vision Signal | CIS |
| DELAFOSSÉ | David | PR1 | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| DESRAYAUD | Christophe | PR2 | Mécanique et ingénierie | SMS |
| DOLGUI | Alexandre | PR0 | Génie Industriel | FAYOL |
| DRAPIER | Sylvain | PR1 | Mécanique et ingénierie | SMS |
| FEILLET | Dominique | PR2 | Génie Industriel | CMP |
| FOREST | Bernard | PR1 | Sciences et génie des matériaux | CIS |
| FORMISYN | Pascal | PR0 | Sciences et génie de l'environnement | DIR |
| FRACZKIEWICZ | Anna | DR | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| GARCIA | Daniel | MR(DR2) | Génie des Procédés | SPIN |
| GERINGER | Jean | MA(MDC) | Sciences et génie des matériaux | CIS |
| GIRARDOT | Jean-jacques | MR(DR2) | Informatique | FAYOL |
| GOEURIOT | Dominique | DR | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| GRAILLOT | Didier | DR | Sciences et génie de l'environnement | SPIN |
| GROSSEAU | Philippe | DR | Génie des Procédés | SPIN |
| GRUY | Frédéric | PR1 | Génie des Procédés | SPIN |
| GUY | Bernard | DR | Sciences de la Terre | SPIN |
| GUYONNET | René | DR | Génie des Procédés | SPIN |
| HAN | Woo-Suck | CR | Mécanique et ingénierie | SMS |
| HERRI | Jean Michel | PR1 | Génie des Procédés | SPIN |
| INAL | Karim | PR2 | Microélectronique | CMP |
| KERMOUCHE | Guillaume | PR2 | Mécanique et Ingénierie | SMS |
| KLOCKER | Helmut | DR | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| LAFOREST | Valérie | MR(DR2) | Sciences et génie de l'environnement | FAYOL |
| LERICHE | Rodolphe | CR | Mécanique et ingénierie | FAYOL |
| LI | Jean Michel | | Microélectronique | CMP |
| MALLIARAS | Georges | PR1 | Microélectronique | CMP |
| MOLIMARD | Jérôme | PR2 | Mécanique et ingénierie | CIS |
| MONTHEILLET | Franck | DR | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| PERIER-CAMBY | Laurent | PR2 | Génie des Procédés | DFG |
| PIJOLAT | Christophe | PR0 | Génie des Procédés | SPIN |
| PIJOLAT | Michèle | PR1 | Génie des Procédés | SPIN |
| PINOLI | Jean Charles | PR0 | Image Vision Signal | CIS |
| POURCHEZ | Jérémy | CR | Génie des Procédés | CIS |
| ROUSTANT | Olivier | MA(MDC) | | FAYOL |
| STOLARZ | Jacques | CR | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| SZAFNICKI | Konrad | MR(DR2) | Sciences et génie de l'environnement | CMP |
| TRIA | Assia | | Microélectronique | CMP |
| VALDIVIESO | François | MA(MDC) | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| VIRICELLE | Jean Paul | MR(DR2) | Génie des Procédés | SPIN |
| WOLSKI | Krzystof | DR | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| XIE | Xiaolan | PR0 | Génie industriel | CIS |

ENISE : Enseignants-chercheurs et chercheurs autorisés à diriger des thèses de doctorat (titulaires d'un doctorat d'État ou d'une HDR)

| | | | | |
|-----------|-------------|------------------------|---------------------------------|-------|
| BERGHEAU | Jean-Michel | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| BERTRAND | Philippe | MCF | Génie des procédés | ENISE |
| DUBUJET | Philippe | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| FORTUNIER | Roland | PR | Sciences et Génie des matériaux | ENISE |
| GUSSAROV | Andrey | Enseignant contractuel | Génie des procédés | ENISE |
| HAMDI | Hédi | MCF | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| LYONNET | Patrick | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| RECH | Joël | MCF | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| SMUROV | Igor | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| TOSCANO | Rosario | MCF | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| ZAHOUANI | Hassan | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |

| | | | |
|----------|------------------------------------|----------|-----------------------------|
| PR 0 | Professeur classe exceptionnelle | Ing. | Ingénieur |
| PR 1 | Professeur 1 ^{ère} classe | MCF | Maître de conférences |
| PR 2 | Professeur 2 ^{ème} classe | MR (DR2) | Maître de recherche |
| PU | Professeur des Universités | CR | Chargé de recherche |
| MA (MDC) | Maître assistant | EC | Enseignant-chercheur |
| DR | Directeur de recherche | IGM | Ingénieur général des mines |

| | |
|-------|--|
| SMS | Sciences des Matériaux et des Structures |
| SPIN | Sciences des Processus Industriels et Naturels |
| FAYOL | Institut Henri Fayol |
| CMP | Centre de Microélectronique de Provence |
| CIS | Centre Ingénierie et Santé |

Résumé étendu en français

Dans un contexte où ne cesse de croître la valeur des ressources humaines et matérielles ainsi que celle des matières premières, seule une gestion rationalisée rendue possible par des études amont est à même de fournir un avantage compétitif aux systèmes de production déployés sur le territoire français. Le développement des outils de la recherche opérationnelle présentés dans ce mémoire vise à améliorer la prise de décisions lors de la conception de systèmes de production ou de la reconfiguration de systèmes existants. De tels outils sont destinés à aider les décideurs dans la recherche de solutions performantes, mais aussi de minimiser le temps de conception et de prendre en considération l'incertitude des données disponibles.

Pour de nombreux produits, le processus de fabrication comporte une phase d'usinage des composants qui est suivie d'une phase d'assemblage. A l'autre extrémité du cycle de vie du produit, face à l'épuisement des matières premières et grâce à une sensibilisation croissante sur l'impact environnemental de nos modes de production et de consommation, de plus en plus de produits usagés sont récupérés afin d'être désassemblés. Ceci permet une réutilisation responsable des matières et composants. Ainsi, trois types de système "de production" interviennent dans le cycle de vie : les systèmes d'usinage, d'assemblage et de désassemblage. Ce mémoire présente les résultats de l'étude des problèmes de conception de tels systèmes.

Les problèmes considérés sont d'une importance majeure dans l'industrie manufacturière, mais sont aussi reconnus comme difficiles au sein de la communauté scientifique d'optimisation combinatoire. Ils sont, en premier lieu, difficiles à modéliser à cause du grand nombre de contraintes techniques et technologiques et des spécificités qu'elles présentent. En second lieu, ils sont difficiles à résoudre en raison de leur caractère combinatoire et leurs particularités industrielles qui rendent les modèles et les méthodes classiquement développés dans la littérature difficilement transposables à ces nouveaux problèmes. En effet, pour obtenir des solutions efficaces, le processus de conception de systèmes de production ainsi que les outils décisionnels doivent être adaptés au contexte industriel et aux contraintes imposées par chaque procédé. C'est pour cette raison que nous avons considéré les problèmes de la conception des lignes d'usinage, d'assemblage et de désassemblage séparément

en les replaçant dans leur contexte. En développant des méthodes permettant de réduire le coût de tels systèmes, nous avons œuvré pour la minimisation des coûts de production et l'optimisation de l'utilisation des ressources tout au long du cycle de vie du produit.

Positionnement

De façon générale, le processus de (re)conception d'un système de production intègre les quatre étapes suivantes :

1. Analyse du besoin : cette phase consiste à caractériser le produit à fabriquer en répondant au besoin du marché.

2. Planification des processus : cette étape couvre la sélection des processus et des équipements nécessaires pour fabriquer le produit.

3. (Re)configuration de la ligne (Équilibrage de la ligne) : l'objectif de cette étape est d'organiser le processus de fabrication en répartissant les opérations requises (usinage, assemblage, désassemblage) à des stations de travail et en associant les outils nécessaires pour leur réalisation.

4. Évaluation et simulation : la performance du système est évaluée au travers de mesures exprimées telles que qualité, coût, temps et/ou flexibilité. La simulation est utilisée pour étudier le flux dynamique des produits en tenant compte des aléas.

La différence entre la configuration et la reconfiguration d'un système se positionne principalement à l'étape 3 en imposant ou non des contraintes spécifiques au processus de reconfiguration. Cette étape est très importante dans le processus décisionnel, car elle permet de minimiser les coûts d'investissement et de fonctionnement. Cependant, le nombre d'éléments à prendre en considération rend cette phase d'optimisation extrêmement complexe. Les modèles mathématiques utilisés doivent être suffisamment précis pour exclure la possibilité que des défauts de conception soient découverts à l'étape de fabrication et les méthodes d'optimisation doivent être adaptés au contexte de production. Nos travaux s'inscrivent dans la démarche de développement de tels outils d'optimisation.

Contributions scientifiques

La conception des systèmes de production est un problème de décision complexe. Il est nécessaire d'associer un processus de fabrication (assemblage, usinage, etc.) avec les ressources humaines et matérielles tout en respectant un certain nombre de contraintes économiques, technologiques, environnementales, etc. Le résultat attendu doit satisfaire aux objectifs fixés sur les indicateurs de performance du système. L'analyse de la littérature montre que ce problème a été considéré dans la littérature sous différents angles, mais toujours dans un cadre très restreint et particulier [Battaïa and Dolgui, 2013].

En effet, le problème d'optimisation se pose bien différemment pour les trois familles de systèmes que nous avons étudiés, à savoir : les lignes d'usinage, les lignes d'assemblage et les lignes de désassemblage. La configuration des lignes d'usinage, hautement automatisées, est soumise à de fortes contraintes technologiques, difficiles à modéliser et à intégrer dans les méthodes connues, développées principalement pour les lignes d'assemblage. Ces dernières sont majoritairement manuelles et permettent plus de flexibilité dans l'affectation des opérateurs, mais nécessitent la prise en compte du facteur humain. De leur côté, les lignes de désassemblage doivent être conçues en prenant en compte, non seulement l'incertitude que suppose l'intervention d'opérateurs humains, mais aussi, la variabilité des états des produits en fin de vie. Dans nos travaux de recherche, nous avons contribué au développement des modèles mathématiques et des méthodes d'optimisation combinatoire pour résoudre efficacement ces problèmes. De manière générale, nous pouvons décrire notre **stratégie de recherche** de la façon suivante :

1. En collaborant avec des partenaires industriels, étudier et modéliser de nouveaux problèmes d'optimisation dans le contexte de la (re)conception de systèmes de production.

2. Proposer des méthodes de résolution exacte pour les problèmes modélisés. Étudier leurs performances, notamment sur des instances de taille réelle. Si le temps de résolution est inacceptablement long, mettre en place des techniques de pré-traitement et/ou des méthodes de résolution approchée, puis évaluer la performance des méthodes développées.

3. Pour les problèmes qui peuvent être résolus efficacement, étudier la stabilité des solutions obtenues face à des variations affectant les données d'entrée. Les résultats d'une telle étude peuvent être utilisés par les concepteurs afin de privilégier, parmi les solutions optimales ou proche de l'optimum, celles qui sont le moins sen-

sibles aux éventuelles perturbations.

4. Si la collaboration industrielle est suffisamment mature, mettre en place un outil d'aide à la décision informatique permettant l'utilisation effective des méthodes développées.

Dans ce qui suit nous présentons les résultats de nos recherches obtenus pour les systèmes de production dans l'ordre dans lequel ils interviennent au cours du cycle de vie d'un produit, en commençant donc par les systèmes d'usinage.

Configuration de lignes d'usinage

Le problème d'équilibrage des lignes d'usinage ou de transfert (Transfert Line Balancing Problem, TLBP) a été initialement défini pour les lignes de transfert dédiées qui comportent une séquence de stations de travail où des blocs d'opérations sont exécutés de façon séquentielle par des boîtiers multibroches. Lors de la conception de tels systèmes, toutes les opérations doivent être affectées à des boîtiers et des stations de travail avec pour objectif de minimiser le nombre de stations et de boîtiers utilisés.

A la différence des lignes d'assemblage qui sont souvent manuelles, les lignes d'usinage sont hautement automatisées. Pour cette raison, les coûts des équipements sont prépondérants dans le coût total de la ligne. A l'étape de configuration de la ligne ou de son équilibrage, l'objectif primordial est donc de minimiser ces coûts. Les différents problèmes d'optimisation que nous avons étudiés pour les lignes d'usinage peuvent être classés au regard de l'information disponible sur les équipements pouvant être utilisés dans la ligne selon les catégories suivantes :

Configuration avec conception des boîtiers multibroches. Les lignes d'usinage concernées sont équipées de stations de travail du même type mais pouvant accueillir plusieurs boîtiers multibroches. Ces boîtiers doivent être conçus en prenant en compte l'ensemble des opérations qu'ils doivent exécuter.

Ce problème a été intensivement étudié dans nos travaux de recherche. Plusieurs algorithmes de résolution ont été développés pour minimiser le coût de telles lignes, notamment des heuristiques ou des approches hybrides conjuguant des schémas métaheuristiques (algorithmes génétiques, GRASP, ...) avec la résolution exacte de sous-problèmes [Guschinskaya *et al.*, 2010; 2011]. Moyennant des expérimentations numériques, nous avons évalué les performances de chaque approche développée y compris sur des cas réels. Des consignes sur le choix de la méthode de résolution pour traiter un problème particulier ont ainsi été proposées aux utilisateurs industriels.

Le problème de conception pour ce type de ligne d'usinage a aussi été considéré sous hypothèse de temps d'exécution variables pour les opérations. Les conditions de stabilité et la formule du rayon de stabilité pour les solutions faisables, quasi-faisables, et optimales ont été développées. La complexité algorithmique de ces problèmes a été étudiée. Des algorithmes polynomiaux pour le calcul du rayon de stabilité ont été proposés pour les solutions faisables et quasi-faisables, alors que pour les solutions optimales un algorithme approché de calcul du rayon de stabilité a été développé. Le concept de l'optimalité au sens de Pareto a été utilisé afin de proposer un compromis entre le coût de la configuration choisie et le rayon de stabilité de la solution correspondante. Un algorithme approché a été également proposé pour la recherche des solutions non-dominées au sens de Pareto [Gurevsky *et al.*, 2013a].

Configuration avec conception des machines spéciales. Nous avons fortement contribué à la modélisation du problème d'optimisation de la configuration des machines spéciales telles que les machines à table mobile et les machines à table circulaire pivotante. Ces machines peuvent être utilisées séparément ou groupées en une ligne d'usinage cadencée où le déplacement de la pièce est organisée d'une machine à l'autre selon l'ordre dans lequel elles sont disposées. Le problème de conception d'une telle ligne concerne non seulement le nombre de machines et le type de chaque machine spéciale utilisée, mais aussi sa configuration détaillée en termes de positions de travail et de boîtiers multibroches [Battaïa *et al.*, 2014b].

Pour les machines à table mobile, l'objectif d'optimisation peut être la minimisation soit du coût de la machine [Battaïa *et al.*, 2012b] soit du temps de cycle [Guschinskaya *et al.*, 2009], car la configuration avec un seul poste de travail actif rend l'usinage de la pièce plus lent. Le problème d'optimisation de la configuration des machines à table circulaire pivotante consiste à minimiser le coût total de la machine en déterminant le nombre de positions de travail et les boîtiers multibroches à installer à chaque position de travail. Pour la résolution de ces problèmes d'optimisation, nous avons développé des méthodes exactes basées sur la recherche du plus court chemin dans un graphe spécialement conçu à cet effet. Compte tenu de la taille des problèmes réels, ces problèmes peuvent être résolus efficacement en utilisant cet algorithme exact. Le cas des machines à table circulaire pivotante comportant des tourelles (plusieurs unités d'usinage activées de façon séquentielle) a également été étudié [Battaïa *et al.*, 2014a].

Pour la résolution du problème d'optimisation de la configuration d'une ligne d'usinage constituée de machines spéciales, nous avons développé une approche hybride à trois phases incluant résolutions exacte et approchée [Battaïa *et al.*, 2014b].

Configuration avec choix des modèles de machines. Ce problème a été étudié pour les lignes d'usinage constituées de machines à commande numérique (CNC) ou centres d'usinage. Plusieurs types de machines dont les caractéristiques techniques et les coûts diffèrent sont disponibles. Dans ce cas, le problème d'optimisation concerne à la fois le choix du type de machine à utiliser et leur nombre, mais aussi l'affectation des opérations faite à chacune d'elles le tout en minimisant le coût total de la ligne. Un modèle mathématique pour ce nouveau problème d'optimisation a été développé et résolu en utilisant un solveur conventionnel [Essafi *et al.*, 2010a].

Reconfiguration des lignes de transfert. Le problème de reconfiguration concerne à la fois la réutilisation des anciens équipements, ce qui nécessite un choix dans le panel des équipements disponibles, et la conception des nouveaux boîtiers multibroches. Dans un article récent [Makssoud *et al.*, 2014], nous avons formulé le problème d'optimisation de la reconfiguration des lignes de transfert et nous avons proposé deux programmes linéaires en variables mixtes (MIP) pour le résoudre. Les lignes étudiées appartiennent à la classe des systèmes d'usinage à boîtiers multibroches ayant un mode d'activation séquentiel des boîtiers. L'objectif de la reconfiguration de tels systèmes est de minimiser les nouveaux investissements en réutilisant au maximum les équipements existants. Néanmoins, les contraintes techniques et technologiques rendant impossible l'utilisation des anciens boîtiers d'usinage pour les nouvelles opérations à effectuer sur le produit doivent être respectées. L'évaluation de ces deux modèles a été réalisée à l'aide du solveur ILOG Cplex, sur un échantillon de cas de tests. Les résultats obtenus sont encourageants. Nous avons notamment montré que la reconfiguration d'une ligne existante permet d'économiser jusqu'à 60% d'investissement par rapport à l'installation d'une nouvelle ligne. En se basant sur les résultats obtenus, nous avons aussi développé une méthode de programmation par but (Goal Programming) pour traiter le problème de reconfiguration formulé différemment afin de faciliter l'identification des données d'entrée en pratique.

Configuration de lignes d'assemblage

Les lignes d'assemblage ont été intensivement étudiées dans la littérature mais avec l'hypothèse de temps opératoires modélisés de façon déterministe. Ceci ne correspond pas aux réalités industrielles, car ces lignes sont souvent manuelles et à l'étape de conception, les données d'entrée ne peuvent pas être déterminées de façon certaine. En partant de ce constat, nous avons étudié les problèmes d'équilibrage des lignes d'assemblage dans le cas où les temps d'exécution seraient susceptibles

de varier. Dans un premier temps, nous avons mené l'analyse de sensibilité afin d'évaluer l'impact de la variabilité des temps opératoires sur la performance des solutions faisables, quasi-faisables et optimales [Gurevsky *et al.*, 2012]. Une mesure de sensibilité appelée rayon de stabilité a été utilisée. Nous avons montré que le rayon de stabilité mesure en soi un niveau de performance des solutions et peut jouer un rôle important lors de la conception de ce type de lignes. Dans certains cas, des algorithmes polynomiaux ont été proposés pour calculer cet indicateur. Un problème bicritère a aussi été introduit visant à optimiser, d'une part, la fonction objectif, et à maximiser, d'autre part, le rayon de stabilité. Pour résoudre ce problème, nous avons proposé une approche qui se base sur une méthode heuristique et qui cherche des solutions non-dominées au sens de Pareto pour les deux critères précités. L'approche développée a été testée sur des instances de référence et a montré des résultats prometteurs.

Nous avons également étudié la formulation basique du problème d'équilibrage des lignes d'assemblage mais en considérant le cas où les temps opératoires sont connus sous la forme d'un intervalle de valeurs admissibles. Dans cette situation, la préoccupation n'était plus de trouver la solution optimale, mais une ou plusieurs solutions qui soient les meilleures parmi celles ayant un comportement « acceptable » dans toutes les réalisations possibles des temps opératoires. Pour trouver cette solution, nous avons présenté un modèle robuste pour ce problème et développé une méthode de type séparation et évaluation pour le résoudre. L'algorithme proposé a montré une bonne performance sur l'ensemble des instances traitées [Gurevsky *et al.*, 2013b].

Une autre conséquence de la variabilité des données est la reconfiguration fréquente des lignes d'assemblage existantes. Or ce problème n'a été que rarement traité dans la littérature et seulement avec des approches heuristiques. Dans le but de proposer une méthode exacte, nous avons modélisé le problème de rééquilibrage des lignes d'assemblage manuelles. Une définition formelle du SALReBP (Simple Assembly Line Rebalancing Problem) a été présentée dont l'objectif est de minimiser le nombre de changements dans l'affectation des opérations existantes [Makssoud *et al.*, 2013]. Le modèle linéarisé a été résolu à l'aide de solveurs existants. Des études de performances ont été réalisées sur un échantillon de problèmes de référence tirés de la littérature. Les résultats obtenus sont satisfaisants, puisque toutes les instances ont été résolues en un temps raisonnable.

Configuration des lignes de désassemblage

Le processus de désassemblage présente des caractéristiques physiques et opérationnelles plus complexes que celles de l'assemblage. L'une des différences princi-

pales concerne les flux : le désassemblage est, par essence, un processus divergent (un produit est décomposé en plusieurs composants et/ou sous-assemblages dont la quantité et la qualité ne peuvent être ni connues ni maîtrisées a priori) contrairement à l'assemblage qui est convergent (plusieurs composants convergent vers un seul produit). Dans la pratique, le processus d'assemblage est forcément complet alors que, pour des raisons techniques et économiques, le désassemblage est très souvent partiel et suscité par une demande qui concerne plusieurs sous-assemblages et composants à la fois.

Pour prendre en considération ces diverses sources de complexité associées aux lignes de désassemblage, nous avons développé des modèles mathématiques et des méthodes d'optimisation qui permettent de tenir compte à la fois des incertitudes portant sur les durées opératoires, de la possibilité du désassemblage partiel et de la présence des matières dangereuses. Le profit de la ligne à concevoir a été défini comme objectif. Ce dernier est calculé comme la différence entre les revenus générés par les matières, composants et/ou sous-assemblages récupérés et le coût de fonctionnement de la ligne. Les modèles mathématiques et les méthodes de résolution mises en place contribuent à :

1. Représenter, pour un produit en fin de vie, toutes les alternatives possibles de désassemblage en tenant compte des différentes relations de précédence à la fois entre les tâches mais aussi entre les différentes parties du sous-produit générées par le désassemblage.

2. Déterminer l'alternative à mettre en place mais aussi les tâches à réaliser, sachant que le processus de désassemblage peut être partiel.

3. Définir la configuration de la ligne de désassemblage en spécifiant le nombre de postes de travail à installer, les opérations qui leur seront affectées et les traitements réservés aux matériaux dangereux.

4. Évaluer le coût d'un arrêt de la ligne qui serait dû au dépassement du temps de cycle au travers d'approches intégrant la simulation Monte Carlo [Bentaha *et al.*, 2014a; 2014e], la décomposition de Benders [Bentaha *et al.*, 2014d] et la relaxation Lagrangienne [Bentaha *et al.*, 2014c].

5. Assurer un taux de service fixé par le concepteur, tout en maximisant le profit de la ligne au travers d'approches permettant de satisfaire les contraintes du temps de cycle avec un niveau de confiance donné en utilisant la programmation conique de second ordre et l'approximation linéaire de fonctions [Bentaha *et al.*, 2014b].

Perspectives

Les perspectives de nos recherches sont nombreuses et se positionnent sur les trois volets suivants :

(1) l'élargissement des approches développées afin d'englober d'autres problèmes décisionnels qui se trouvent en amont ou en aval du problème de configuration de la ligne de production, ceci ayant pour objectif la mise en place des usines numériques ;

(2) l'utilisation des méthodes d'optimisation combinatoire dans le cadre du développement durable des systèmes de production tout au long du cycle de vie de produits ;

(3) la mise en place des modèles et des méthodes permettant de considérer de manière efficace l'incertitude des données à l'étape de la conception et leur variabilité ainsi que de faciliter la reconfiguration des systèmes de production existants lorsque cela devient nécessaire.

Vers une usine numérique

Pour préserver et enrichir le tissu productif national, il est primordial de réduire l'écart entre les mondes académique et industriel en fournissant aux entreprises des outils simples et opérationnels pour la gestion optimisée de leurs processus de fabrication. Dans cette optique, il convient d'élaborer une approche intégrée, générique et modulaire permettant une optimisation «à la carte» pour les concepteurs de systèmes de production réels. En s'inspirant des besoins actuels du monde industriel, cette approche doit s'appuyer sur les dernières avancées dans la modélisation et l'optimisation des systèmes de production. Le but sera de fournir aux acteurs industriels une approche simple à utiliser tout en étant dotée d'outils de calcul et d'optimisation puissants pour la résolution des problèmes de décision liés à la conception des systèmes de production. Pour atteindre cet objectif, il sera nécessaire d'élaborer une approche générale et modulaire utilisant une modélisation adaptée pour concevoir des systèmes de production en tenant compte de l'important volume de données et de leur nature stochastique. Cette approche généraliste devra être dotée de méthodes de modélisation, d'optimisation et de simulation afin d'accompagner le décideur dans l'évaluation du coût, des performances du système de production et de ses impacts environnementaux et sociaux. La prise en compte de toutes les informations et contraintes, déterministes ou stochastiques, et des interactions entre elles ne peut se faire que par le couplage d'une approche d'optimisation

avec un outil de simulation permettant une évaluation dynamique de l'impact des décisions prises au niveau de la conception sur le comportement du système.

Développement durable des systèmes de production

Les algorithmes de résolution développés au cours de nos travaux cherchent à optimiser l'utilisation des ressources lors de la conception de systèmes de production. Néanmoins, une meilleure communication avec les modules de conception du produit est nécessaire. Les systèmes de production doivent évoluer en même temps que les produits. Puis, la prise en compte de l'utilisation d'autres ressources telles que l'énergie, l'eau, doit enrichir les modèles déjà construits. De notre point de vue, la conception du produit doit être indissociable de la conception du système de production pour évaluer le coût et l'impact environnemental des décisions prises par les concepteurs en temps réel. Cet objectif rappelle également l'importance du problème de reconfiguration des systèmes de production. Dans nos travaux, seuls quelques types de système ont été considérés dans cette optique. La littérature est également encore assez peu abondante sur ce sujet. Enfin, nombreuses sont les pistes de recherche à explorer dans le domaine du désassemblage, du fait que ce processus peut conduire à une réutilisation responsable des matières et composants.

Prise en compte de l'incertitude des données lors de la conception des systèmes de production et leur reconfiguration

Les premiers modèles que nous avons proposés prennent en compte la variabilité des temps opératoires, mais d'autres sources d'incertitudes existent telles que la variabilité de la demande et/ou de la disponibilité des produits en fin de vie. Ces aspects sont pourtant le reflet d'un besoin pour une meilleure maîtrise de la chaîne logistique et de la manière dont les activités de production s'y intègrent. Cela concerne, en particulier, les activités de désassemblage et les chaînes logistiques inverses. La formalisation et la modélisation des incertitudes d'une façon adaptée au contexte industriel permettra aux systèmes productifs d'être à la fois plus robustes et plus facilement reconfigurables.

Pour bien souligner l'importance de ces axes de recherches, ainsi que l'apport que constitue nos contributions et les perspectives qui s'en dégagent, nous les considérerons chacun dans un chapitre séparé dans le présent manuscrit.

Bibliography

- [Agpak, 2010] Kürsad Agpak. An approach to find task sequence for re-balancing of assembly lines. *Assembly Automation*, 30(4):378–387, 2010.
- [Agrawal and Tiwari, 2008] S. Agrawal and M.K. Tiwari. A collaborative ant colony algorithm to stochastic mixed-model u-shaped disassembly line balancing and sequencing problem. *International Journal of Production Research*, 46(6):1405–1429, 2008.
- [Aissi *et al.*, 2009] H. Aissi, C. Bazgan, and D. Vanderpooten. Min-max and min-max regret versions of combinatorial optimization problems: A survey. *European Journal of Operational Research*, 197(2):427–438, 2009.
- [Aldanondo *et al.*, 2010] M. Aldanondo, E. Vareilles, and M. Djefel. Towards an association of product configuration with production planning. *International journal of Mass Customization*, 3(4):316–332, 2010.
- [AlGeddawy and ElMaraghy, 2010] T. AlGeddawy and H. ElMaraghy. Design of single assembly line for the delayed differentiation of product variants. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 22(3-4):163–182, 2010.
- [Altekin and Akkan, 2011] F. T. Altekin and C. Akkan. Task-failure-driven re-balancing of disassembly lines. *International Journal of Production Research*, 50(18):4955–4976, 2011.
- [Altekin *et al.*, 2008] F.T. Altekin, L. Kandiller, and N.E. Ozdemirel. Profit-oriented disassembly-line balancing. *International Journal of Production Research*, 46(10):2675–2693, 2008.
- [Alteimeier *et al.*, 2010a] S. Alteimeier, M. Helmdach, A. Koberstein, and W. Dangelmaier. Reconfiguration of assembly lines under the influence of high product variety in the automotive industry—a decision support system. *International Journal of Production Research*, 48(21):6235–6256, 2010.

- [Altemeier *et al.*, 2010b] Simon Altemeier, Marcel Helmdach, Achim Koberstein, and Wilhelm Dangelmaier. Reconfiguration of assembly lines under the influence of high product variety in the automotive industry—a decision support system. *International Journal of Production Research*, 48(21):6235–6256, 2010.
- [Amen, 2000] M. Amen. Heuristic methods for cost-oriented assembly line balancing: A survey. *International Journal of Production Economics*, 68(1):1–14, 2000.
- [Artigues *et al.*, 2013] C. Artigues, P. Lopez, and A. Haït. The energy scheduling problem: Industrial case study and constraint propagation techniques. *International Journal of Production Economics*, 143(1):13–23, 2013.
- [Ashby, 2012] M. F. Ashby. *Materials and the Environment, Eco-informed Material Choice*. Butterworth–Heinemann, 2 edition, 2012.
- [Ağpak and Gökçen, 2005] K. Ağpak and H. Gökçen. Assembly line balancing: Two resource constrained cases. *International Journal of Production Economics*, 96(1):129–140, 2005.
- [Ağpak and Gökçen, 2007] K. Ağpak and H. Gökçen. A chance-constrained approach to stochastic line balancing problem. *European Journal of Operational Research*, 180(3):1098–1115, 2007.
- [Avikal *et al.*, 2013] S. Avikal, R. Jain, and P.K. Mishra. A heuristic for U-shaped disassembly line balancing problems. *MIT International Journal of Mechanical Engineering*, 3(1):51–56, 2013.
- [Aydemir-Karadag and Turkbey, 2013] A. Aydemir-Karadag and O. Turkbey. Multi-objective optimization of stochastic disassembly line balancing with station paralleling. *Computers & Industrial Engineering*, 65(3):413–425, 2013.
- [Bailey *et al.*, 1999] T. G. Bailey, P. A. Jensen, and D. P. Morton. Response surface analysis of two-stage stochastic linear programming with recourse. *Naval Research Logistics (NRL)*, 46(7):753–776, 1999.
- [Battaïa and Dolgui, 2012] O. Battaïa and A. Dolgui. Reduction approaches for a generalized line balancing problem. *Computers & Operations Research*, 39:2337–2345, 2012.
- [Battaïa and Dolgui, 2013] O. Battaïa and A. Dolgui. A taxonomy of line balancing problems and their solution approaches. *International Journal of Production Economics*, 142:259–277, 2013.

- [Battaïa *et al.*, 2012a] O. Battaïa, A. Dolgui, N. Guschinsky, and G. Levin. A decision support system for design of mass production machining lines composed of stations with rotary or mobile table. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 28:672–680, 2012.
- [Battaïa *et al.*, 2012b] O. Battaïa, A. Dolgui, N. Guschinsky, and G. Levin. Optimal design of machines processing pipeline parts. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2012. In Press.
- [Battaïa *et al.*, 2013] O. Battaïa, E. Gurevsky, F. Makssoud, and A. Dolgui. Equipment location in machining transfer lines with multi-spindle heads. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms in Operations Research*, 12(2):117–133, 2013.
- [Battaïa *et al.*, 2014a] O. Battaïa, A. Dolgui, N. Guschinsky, and G. Levin. Combinatorial techniques to optimally customize an automated production line with rotary transfer and turrets. *IIE Transactions*, 46:867–879, 2014.
- [Battaïa *et al.*, 2014b] O. Battaïa, A. Dolgui, N. Guschinsky, and G. Levin. Integrated configurable equipment selection and line balancing for mass production with serial-parallel machining systems. *Engineering Optimisation*, 46(10):1369–1388, 2014.
- [Baybars, 1986] I. Baybars. An efficient heuristic method for the simple assembly line balancing problem. *International Journal of Production Research*, 24(1):149–166, 1986.
- [Baykasoğlu and Dereli, 2008] A. Baykasoğlu and T. Dereli. Two-sided assembly line balancing using an ant-colony-based heuristic. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(5-6):582–588, 2008.
- [Baykasoğlu and Ozbakır, 2007] A. Baykasoğlu and L. Ozbakır. Stochastic U-line balancing using genetic algorithms. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(1):139–147, 2007.
- [Baykasoğlu and Özbakır, 2007] A. Baykasoğlu and Özbakır. Stochastic U-line balancing using genetic algorithms. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(1-2):139–147, 2007.
- [Becker and Scholl, 2009] C. Becker and A. Scholl. Balancing assembly lines with variable parallel workplaces: Problem definition and effective solution procedure. *European Journal of Operational Research*, 199(2):359–374, 2009.

- [Belgacem and Hifi, 2008] T. Belgacem and M. Hifi. Sensitivity analysis of the knapsack sharing problem: Perturbation of the weight of an item. *Computers & Industrial Engineering*, 35(1):295–308, 2008.
- [Belmokhtar *et al.*, 2006] S. Belmokhtar, A. Dolgui, N. Guschinsky, and G. Levin. Integer programming models for logical layout design of modular machining lines. *Computers & Industrial Engineering*, 51(3):502–518, 2006.
- [Belmokhtar *et al.*, 2007] S. Belmokhtar, A. Dolgui, I. Ignatenko, and X. Delorme. Optimizing modular machining line design problem with mixed activation mode of machining units. *Decision Making in Manufacturing and Services*, 1(1-2):35–48, 2007.
- [Bentaha *et al.*, 2013a] M. L. Bentaha, O. Battaïa, and A. Dolgui. Chance constrained programming model for stochastic profit-oriented disassembly line balancing in the presence of hazardous parts. In *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, volume 414, pages 103–110. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [Bentaha *et al.*, 2013b] M. L. Bentaha, O. Battaïa, and A. Dolgui. A cone programming approach for stochastic disassembly line balancing in the presence of hazardous parts. In *Proceedings of the 22nd International Conference on Production Research (ICPR 22)*, 2013.
- [Bentaha *et al.*, 2013c] M. L. Bentaha, O. Battaïa, and A. Dolgui. A stochastic formulation of the disassembly line balancing problem. In *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, volume 397, pages 397–404. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [Bentaha *et al.*, 2014a] M. L. Bentaha, O. Battaïa, and A. Dolgui. Disassembly line balancing and sequencing under uncertainty. *Procedia CIRP*, 15:239–244, 2014.
- [Bentaha *et al.*, 2014b] M. L. Bentaha, O. Battaïa, and A. Dolgui. An exact solution approach for disassembly line balancing problem under uncertainty of the task processing times. *International Journal of Production Research*, page In Press, 2014.
- [Bentaha *et al.*, 2014c] M. L. Bentaha, O. Battaïa, and A. Dolgui. Lagrangian relaxation for stochastic disassembly line balancing problem. *Procedia CIRP 2014*, 17:56–60, 2014.

- [Bentaha *et al.*, 2014d] M. L. Bentaha, O. Battaïa, and A. Dolgui. A sample average approximation method for disassembly line balancing problem under uncertainty. *Computers & Operations Research*, 51:111 – 122, 2014.
- [Bentaha *et al.*, 2014e] M. L. Bentaha, O. Battaïa, A. Dolgui, and S. J. Hu. Dealing with uncertainty in disassembly line design. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 63(1):21 – 24, 2014.
- [Bertsimas and Sim, 2003] D. Bertsimas and M. Sim. Robust discrete optimization and network flows. *Mathematical Programming*, 98(1-3):49–71, 2003.
- [Bertsimas and Thiele, 2006] D. Bertsimas and A. Thiele. A robust optimization approach to inventory theory. *Operations Research*, 54(1):150–168, 2006.
- [Bhattacharjee and Sahu, 1990] T.K. Bhattacharjee and S. Sahu. Complexity of single model assembly line balancing problems. *Engineering Costs and Production Economics*, 18(3):203–214, 1990.
- [Billaut *et al.*, 2008] J.-C. Billaut, A. Moukrim, and E. Sanlaville, editors. *Flexibility and Robustness in Scheduling*. Wiley, 2008.
- [Blum and Miralles, 2011] C. Blum and C. Miralles. On solving the assembly line worker assignment and balancing problem via beam search. *Computers & Operations Research*, 38(1):328–339, 2011.
- [Bock, 2008] S. Bock. Using distributed search methods for balancing mixed-model assembly lines in the automotive industry. *OR Spectrum*, 30(3):551–578, 2008.
- [Boctor, 1995] F.F. Boctor. A multiple-rule heuristic for assembly line balancing. *Journal of the Operational Research Society*, 46:62–69, 1995.
- [Boon *et al.*, 2000] J. E. Boon, J. A. Isaacs, and S. M. Gupta. Economic impact of aluminum-intensive vehicles on the US automotive recycling infrastructure. *Journal of Industrial Ecology*, 4(2):117–134, 2000.
- [Borisovsky *et al.*, 2012] P. Borisovsky, A. Dolgui, and S. Kovalev. Algorithms and implementation of a set partitioning approach for modular machining line design. *Computers & Operations Research*, 39(12):3147 – 3155, 2012.
- [Borisovsky *et al.*, 2013] P. A. Borisovsky, X. Delorme, and A. Dolgui. Genetic algorithm for balancing reconfigurable machining lines. *Computers & Industrial Engineering*, 66(3):541 – 547, 2013. Special Issue: The International Conferences on Computers and Industrial Engineering (ICC&IEs) - series 41.

- [Boucher, 1987] T.O. Boucher. Choice of assembly line design under task learning. *International Journal of Production Research*, 25(4):513–524, 1987.
- [Brissaud *et al.*, 2013] D. Brissaud, Y. Frein, and V. Rocchi. What tracks for sustainable production systems in europe? *Procedia CIRP*, 7:9–16, 2013.
- [Bukchin and Rabinowitch, 2006] Y. Bukchin and I. Rabinowitch. A branch-and-bound based solution approach for the mixed-model assembly line-balancing problem for minimizing stations and task duplication costs. *European Journal of Operational Research*, 174:492–508, 2006.
- [Bukchin and Rubinovitz, 2003] J. Bukchin and J. Rubinovitz. A weighted approach for assembly line design with station paralleling and equipment selection. *IIE Transactions*, 35(1):73–85, 2003.
- [Bukchin and Tzur, 2000] J. Bukchin and M. Tzur. Design of flexible assembly line to minimize equipment cost. *IIE Transactions*, 32:585–598, 2000.
- [Cakir *et al.*, 2011] B. Cakir, F. Altiparmak, and B. Dengiz. Multi-objective optimization of a stochastic assembly line balancing: A hybrid simulated annealing algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 60(3):376–384, 2011.
- [Capacho and Pastor, 2006] L. Capacho and R. Pastor. The ASALB Problem with Processing Alternatives Involving Different Tasks: Definition, Formalization and Resolution. *Lecture Notes in Computer Science*, 3982:554–563, 2006.
- [Capacho *et al.*, 2009] L. Capacho, R. Pastor, A. Dolgui, and O. Guschinskaya. An evaluation of constructive heuristic methods to solve the alternative subgraphs assembly line balancing problem. *Journal of Heuristics*, 15(2):109–132, 2009.
- [Carraway, 1989] R.L. Carraway. A dynamic programming approach to stochastic assembly line balancing. *Management Science*, 35:459–471, 1989.
- [Chakravarty, 1988] A.K. Chakravarty. Line balancing with task learning effects. *IIE Transactions*, 20:186–193, 1988.
- [Chehade *et al.*, 2012] H. Chehade, A. Dolgui, F. Dugardin, L. Makdessian, and F. Yalaoui. A multi-objective approach for transfer line optimization. *Management and Production Engineering Review Journal*, 3(1):4–17, 2012.
- [Chehade *et al.*, 2013] H. Chehade, F. Yalaoui, and L. Amodeo. New multiobjective optimization algorithms for assembly line design. *International Journal of Advanced Operations Management*, 5(2):94–120, 2013.

- [Chen *et al.*, 2002] R.-S. Chen, K.-Y. Lu, and S.-C. Yu. A hybrid genetic algorithm approach on multi-objective of assembly planning problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 15:447–457, 2002.
- [Chiang and Urban, 2006] W.-C. Chiang and T.L. Urban. The stochastic U-line balancing problem: A heuristic procedure. *European Journal of Operational Research*, 175(3):1767–1781, 2006.
- [Chiang *et al.*, 2007] W.-C. Chiang, P. Kouvelis, and T.L. Urban. Line balancing in a just-in-time production environment: balancing multiple U-lines. *IIE Transactions*, 39(4):347–359, 2007.
- [Chica *et al.*, 2010] M. Chica, O. Cordón, S. Damas, J. Bautista, and J. Pereira. Multiobjective constructive heuristics for the 1/3 variant of the time and space assembly line balancing problem: ACO and random greedy search. *Information Sciences*, 180:3465–3487, 2010.
- [Choi, 2009] G. Choi. A goal programming mixed-model line balancing for processing time and physical workload. *Computers & Industrial Engineering*, 57(1):395–400, 2009.
- [Cohen and Dar-El, 1998] Y. Cohen and M.E. Dar-El. Optimizing the number of stations in assembly lines under learning for limited production. *Production Planning and Control*, 9(3):230–240, 1998.
- [Corominas *et al.*, 2011] A. Corominas, L. Ferrer, and R. Pastor. Assembly line balancing: general resource-constrained case. *International Journal of Production Research*, 49(12):3527–3542, 2011.
- [Delorme *et al.*, 2012] X. Delorme, A. Dolgui, and M. Y. Kovalyov. Combinatorial design of a minimum cost transfer line. *Omega*, 40(1):31 – 41, 2012.
- [Digiesi *et al.*, 2009] S. Digiesi, A.A.A. Kock, G. Mummolo, and J.E. Rooda. The effect of dynamic worker behavior on flow line performance. *International Journal of Production Economics*, 120(2):368–377, 2009.
- [Dolgui and Ihnatsenka, 2009a] A. Dolgui and I. Ihnatsenka. Balancing modular transfer lines with serial-parallel activation of spindle heads at stations. *Discrete Applied Mathematics*, 157(1):68–89, 2009.
- [Dolgui and Ihnatsenka, 2009b] A. Dolgui and I. Ihnatsenka. Branch and bound algorithm for a transfer line design problem: Stations with sequentially activated multi-spindle heads. *European Journal of Operational Research*, 197(3):1119–1132, 2009.

- [Dolgui and Kovalev, 2012] A. Dolgui and S. Kovalev. Scenario based robust line balancing: computational complexity. *Discrete Applied Mathematics*, 160(13-14):1955–1963, 2012.
- [Dolgui *et al.*, 2000] A. Dolgui, N. Guschinsky, and G. Levin. Approaches to balancing of transfer line with block of parallel operations. Technical Report Preprint No. 8, Institute of Engineering Cybernetics/University of Technology of Troyes, Minsk, 2000.
- [Dolgui *et al.*, 2006a] A. Dolgui, B. Finel, O. Guschinskaya, N. Guschinsky, G. Levitin, and F. Vernadat. Balancing large-scale machining lines with multi-spindle heads using decomposition. *International Journal of Production Research*, 44(18):4105–4120, 2006.
- [Dolgui *et al.*, 2006b] A. Dolgui, N. Guschinsky, and G. Levin. A decomposition method for transfer line life cycle cost optimisation. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*, 5(2):215–238, 2006.
- [Dolgui *et al.*, 2010] A. Dolgui, A. Ereemeev, and O. Guschinskaya. Mip-based grasp and genetic algorithm for balancing transfer lines. In V. Maniezzo, T. Stutzle, and S. Voss, editors, *Matheuristics: Hybridizing Metaheuristics and Mathematical Programming*, volume 10 of *Annals of Information Systems*. Springer, 189-208, 2010.
- [Driscoll and Thilakawardana, 2001] J. Driscoll and D. Thilakawardana. The definition of assembly line balancing difficulty and evaluation of balance solution quality. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 17:81–86, 2001.
- [Duta *et al.*, 2005] L. Duta, F. Gh. Filip, and J. M. Henrioud. Applying equal piles approach to disassembly line balancing problem. In *Proceedings of the 16th IFAC World Congress*, pages 1449–1449, 2005.
- [Ege *et al.*, 2009] Y. Ege, M. Azizoglu, and N.E. Ozdemirel. Assembly line balancing with station paralleling. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4):1218–1225, 2009.
- [Erel and Sarin, 1998] E. Erel and S.C. Sarin. A survey of the assembly line balancing procedures. *Production Planning and Control*, 9(5):414–434, 1998.
- [Essafi *et al.*, 2010a] M. Essafi, X. Delorme, A. Dolgui, and O. Guschinskaya. A MIP Approach for Balancing Transfer Lines with Complex Industrial Constraints. *Computers and Industrial Engineering*, 58(3):393–400, 2010.

- [Essafi *et al.*, 2010b] M. Essafi, X. Delorme, A. Dolgui, and O. Guschinskaya. A mip approach for balancing transfer line with complex industrial constraints. *Computers & Industrial Engineering*, 3(3):393–400, 2010.
- [Essafi *et al.*, 2012] M. Essafi, X. Delorme, and A. Dolgui. A reactive grasp and path relinking for balancing reconfigurable transfer lines. *International Journal of Production Research*, 50(18):5213–5238, 2012.
- [Faaland *et al.*, 1992] B.H. Faaland, T.D. Klasterin, T.G. Schmitt, and A. Shtub. Assembly Line Balancing with Resource Dependent Task Times. *Decision Sciences*, 23(2):343–364, 1992.
- [Falkenauer, 2005] E. Falkenauer. Line balancing in the real world. In *Proceedings of the International Conference on Product Lifecycle Management PLM*, volume 5, pages 360–370, 2005.
- [Gadidov and Wilhelm, 2000] R. Gadidov and W. Wilhelm. A cutting plane approach for the single-product assembly system design problem. *International Journal of Production Research*, 38(8):1731–1754, 2000.
- [Gamberini *et al.*, 2006] R. Gamberini, A. Grassi, and B. Rimini. A new multi-objective heuristic algorithm for solving the stochastic assembly line re-balancing problem. *International Journal of Production Economics*, 102(2):226, 2006.
- [Gamberini *et al.*, 2009] R. Gamberini, E. Gebennini, A. Grassi, and A. Regattieri. A multiple single-pass heuristic algorithm solving the stochastic assembly line rebalancing problem. *International Journal of Production Research*, 47(8):2141–2164, 2009.
- [Gao *et al.*, 2009] J. Gao, L. Sun, L. Wang, and M. Gen. An efficient approach for type II robotic assembly line balancing problems. *Computers & Industrial Engineering*, 56(3):1065–1080, 2009.
- [Gen *et al.*, 1996] M. Gen, Y. Tsujimura, and Y. Li. Fuzzy assembly line balancing using genetic algorithms. *Computers & Industrial Engineering*, 31(3-4):631–634, 1996.
- [Ghosh and Gagnon, 1989] S. Ghosh and R. Gagnon. A comprehensive literature review and analysis of the design, balancing and scheduling of assembly lines. *International Journal of Production Research*, 27(4):637–670, 1989.
- [Grangeon *et al.*, 2011] N. Grangeon, P. Leclaire, and S. Norre. Heuristics for the re-balancing of a vehicle assembly line. *International Journal of Production Research*, 49(22):6609–6628, 2011.

- [Graves and Lamar, 1983] S.C. Graves and B.W. Lamar. An integer programming procedure for assembly design problems. *Operations Research*, 31(3):522–545, 1983.
- [Graves and Redfield, 1988] S.C. Graves and C.S. Redfield. Equipment selection and task assignment for multiproduct assembly system design. *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 1:31–50, 1988.
- [Guinand *et al.*, 2004] F. Guinand, A. Moukrim, and E. Sanlaville. Sensitivity analysis of tree scheduling on two machines with communication delays. *Parallel Computing*, 30(1):103–120, 2004.
- [Güngör and Gupta, 1999] A. Güngör and S. M. Gupta. Disassembly line balancing. In *Proceedings of the 1999 Annual Meeting of the Northeast Decision Sciences Institute*, pages 193–195, 1999.
- [Güngör and Gupta, 2001] A. Güngör and S. M. Gupta. A solution approach to the disassembly line balancing problem in the presence of task failures. *International Journal of Production Research*, 39(7):1427–1467, 2001.
- [Gunther *et al.*, 1983] R.E. Gunther, G.D. Johnson, and R.S. Peterson. Currently practiced formulations for the assembly line balance problem. *Journal of Operations Management*, 3(4):209–221, 1983.
- [Gupta and Gungor, 2001] S.M. Gupta and A. Gungor. Product recovery using a disassembly line: challenges and solution. In *Electronics and the Environment, 2001. Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium*, pages 36–40, 2001.
- [Gurevsky *et al.*, 2012] E. Gurevsky, O. Battaïa, and A. Dolgui. Balancing of simple assembly lines under variations of task processing times. *Annals of Operations Research*, 201(1):265–286, 2012.
- [Gurevsky *et al.*, 2013a] E. Gurevsky, O. Battaïa, and A. Dolgui. Stability measure for a generalized assembly line balancing problem. *Discrete Applied Mathematics*, 161(3):377–394, 2013.
- [Gurevsky *et al.*, 2013b] E. Gurevsky, O. Hazir, O. Battaïa, and A. Dolgui. Robust balancing of straight assembly lines with interval task times. *Journal of the Operational Research Society*, 64(11):1607–1613, 2013.
- [Guschinskaya and Dolgui, 2008] O. Guschinskaya and A. Dolgui. A transfer line balancing problem by heuristic methods: Industrial case studies. *Decision Making in Manufacturing and Services*, 2((1-2)):33–46, 2008.

- [Guschinskaya and Dolgui, 2009] O. Guschinskaya and A. Dolgui. A comprehensive comparative analysis of exact and heuristic methods for transfer line balancing problems. *International Journal of Production Economics*, 120(2):276–286, 2009.
- [Guschinskaya *et al.*, 2008] O. Guschinskaya, A. Dolgui, N. Guschinsky, and G. Levin. A heuristic multi-start decomposition approach for optimal design of serial machining lines. *European Journal of Operational Research*, 189(3):902–913, 2008.
- [Guschinskaya *et al.*, 2009] O. Guschinskaya, A. Dolgui, N. Guschinsky, and G. Levin. Minimizing makespan for multi-spindle head machines with a mobile table. *Computers and Operations Research*, 36(2):344–357, 2009.
- [Guschinskaya *et al.*, 2010] O. Guschinskaya, E. Gurevsky, A. Ereemeev, and A. Dolgui. Balancing mass production machining lines with genetic algorithms. *Lecture Notes in Computer Science*, x:x–x, 2010.
- [Guschinskaya *et al.*, 2011] O. Guschinskaya, E. Gurevsky, A. Dolgui, and A. Ereemeev. Metaheuristic approaches for the design of machining lines. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 55(1):11–22, 2011.
- [Guschinskaya, 2010] O. Guschinskaya. Vers une optimisation de la configuration de systèmes d’usinage à boîtiers multibroches. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 44(7):771–790, 2010.
- [Hall and Posner, 2004] N.G. Hall and M.E. Posner. Sensitivity analysis for scheduling problems. *Journal of Scheduling*, 7(1):49–83, 2004.
- [Hazır *et al.*, 2011] Ö. Hazır, E. Erel, and Y. Günalay. Robust optimization models for the discrete timecost trade-off problem. *International Journal of Production Economics*, 130(1):87–95, 2011.
- [Hoffmann, 1990] T.R. Hoffmann. Assembly line balancing: a set of challenging problems. *International Journal of Production Research*, 28(10):1807–1815, 1990.
- [Hop, 2006a] N. Van Hop. A heuristic solution for fuzzy mixed-model line balancing problem. *European Journal of Operational Research*, 168:789–810, 2006.
- [Hop, 2006b] N.V. Hop. A heuristic solution for fuzzy mixed-model line balancing problem. *European Journal of Operational Research*, 168(3):798–810, 2006.
- [Hu *et al.*, 2008] X. Hu, E. Wu, and Y. Jin. A station-oriented enumerative algorithm for two-sided assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 186(1):435–440, 2008.

- [Hwang and Katayama, 2009] R. Hwang and H. Katayama. A multi-decision genetic approach for workload balancing of mixed-model U-shaped assembly line systems. *International Journal of Production Research*, 47(14):3797–3822, 2009.
- [Hwang *et al.*, 2008] R.K. Hwang, H. Katayama, and M. Gen. U-shaped assembly line balancing problem with genetic algorithm. *International Journal of Production Research*, 46(16):4637–4650, 2008.
- [Iakovou *et al.*, 2009] E. Iakovou, N. Moussiopoulos, A. Xanthopoulos, Ch. Achillas, Michailidis N., Chatzipanagioti M., Koroneos C., K.-D. Bouzakis, and Kikise V. Multicriteria matrix: a methodology for end-of-life management. *Resources, Conservation and Recycling*, 53:329–39, 2009.
- [Ilgin and Gupta, 2010] M. A. Ilgin and S. M. Gupta. Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): A review of the state of the art. *Journal of environmental management*, 91(3):563–591, 2010.
- [Kahan *et al.*, 2009] T. Kahan, Y. Bukchin, R. Menassa, and I. Ben-Gal. Backup strategy for robots’ failures in an automotive assembly system. *International Journal of Production Economics*, 120(2):315–326, 2009.
- [Kalayci and Gupta, 2011] C. B. Kalayci and S. M. Gupta. Tabu search for disassembly line balancing with multiple objectives. In *Proceedings of the 41st International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE41)*, pages 477–482, 2011.
- [Kalayci and Gupta, 2013a] C. B. Kalayci and S. M. Gupta. Ant colony optimization for sequence-dependent disassembly line balancing problem. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 24(3):413–427, 2013.
- [Kalayci and Gupta, 2013b] C. B. Kalayci and S. M. Gupta. A particle swarm optimization algorithm with neighborhood-based mutation for sequence-dependent disassembly line balancing problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pages 1–13, 2013.
- [Kalayci and Gupta, 2013c] C. B. Kalayci and S. M. Gupta. River formation dynamics approach for sequence-dependent disassembly line balancing problem. In Surendra M. Gupta, editor, *Reverse Supply Chains: Issues and Analysis*, pages 289–312. CRC Press, 2013.
- [Kalayci and Gupta, 2013d] C. B. Kalayci and S. M. Gupta. A tabu search algorithm for balancing a sequence-dependent disassembly line. *Production Planning & Control*, pages 1–12, 2013.

- [Kalayci *et al.*, 2012] C. B. Kalayci, S. M. Gupta, and K. Nakashima. A simulated annealing algorithm for balancing a disassembly line. In Mitsutaka Matsumoto, Yasushi Umeda, Keijiro Masui, and Shinichi Fukushige, editors, *Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society*, pages 714–719. Springer Netherlands, 2012.
- [Kao, 1976] E.P.C. Kao. A preference order dynamic program for stochastic assembly line balancing. *Management Science*, 22:1097–1104, 1976.
- [Kao, 1979] E.P.C. Kao. Computational experience with a stochastic assembly line balancing algorithm. *Computers and Operations Research*, 6:79–86, 1979.
- [Kara *et al.*, 2007] Y. Kara, U. Özcan, and A. Peker. An approach for balancing and sequencing mixed-model JIT U-lines. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(11):1218–1231, 2007.
- [Kara *et al.*, 2011] Y. Kara, C. Özgüven, N. Yalçın, and Y. Atasagun. Balancing straight and u-shaped assembly lines with resource dependent task times. *International Journal of Production Research*, 49(21):6387–6405, 2011.
- [Kim and Park, 1995] H. Kim and S. Park. A strong cutting plane algorithm for the robotic assembly line balancing problem. *International Journal of Production Research*, 33(8):2311–2323, 1995.
- [Kim *et al.*, 2009] Y.K. Kim, W.S. Song, and J.H. Kim. A mathematical model and a genetic algorithm for two-sided assembly line balancing. *Computers and Operations Research*, 36(3):853–865, 2009.
- [Kimms, 2000] A. Kimms. Minimal investment budgets for flow line configuration. *IIE Transactions*, 32:287–298, 2000.
- [Kleywegt *et al.*, 2001] A. J. Kleywegt, A. Shapiro, and T. Homem-De-Mello. The sample average approximation method for stochastic discrete optimization. *SIAM Journal of Optimization*, 12:47–502, 2001.
- [Ko and Hu, 2008] J. Ko and J. Hu. Balancing of manufacturing systems with complex configurations for delayed product differentiation. *International Journal of Production Research*, 46(15):4285–4308, 2008.
- [Koc *et al.*, 2009] A. Koc, I. Sabuncuoglu, and E. Erel. Two exact formulations for disassembly line balancing problems with task precedence diagram construction using an AND/OR graph. *IIE Transactions*, 41(10):866–881, 2009.

- [Kottas and Lau, 1973] J.F. Kottas and H.S. Lau. A Cost-Oriented Approach to Stochastic Line Balancing 1. *IIE Transactions*, 5(2):164–171, 1973.
- [Kottas and Lau, 1981] J.F. Kottas and H.S. Lau. A stochastic line balancing procedure. *International Journal of Production Research*, 19(2):177–193, 1981.
- [Kulak *et al.*, 2008] O. Kulak, I.O. Yilmaz, and H.O. Gunther. A GA-based solution approach for balancing printed circuit board assembly lines. *OR Spectrum*, 30(3):469–491, 2008.
- [Lambert and Gupta, 2005] A. J. D. Lambert and Surendra M. Gupta. A heuristic solution for the disassembly line balancing problem incorporating sequence dependent costs. In *Proc. SPIE 5997, Environmentally Conscious Manufacturing V, 59970A*, 2005.
- [Lapierre and Ruiz, 2004] S.D. Lapierre and A.B. Ruiz. Balancing assembly lines: An industrial case study. *Journal of the Operational Research Society*, 55:589–597, 2004.
- [Lee and Johnson, 1991] H.F. Lee and R.V. Johnson. A line-balancing strategy for designing flexible assembly systems. *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 3:91–120, 1991.
- [Levitin *et al.*, 2006] G. Levitin, J. Rubinovitz, and B. Shnits. A genetic algorithm for robotic assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168:811–825, 2006.
- [Li *et al.*, 2011] S. Li, H. Wang, S.J. Hu, Y.T. Lin, and J.A. Abell. Automatic generation of assembly system configuration with equipment selection for automotive battery manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 30(4):188–195, 2011.
- [Liu *et al.*, 2005] S.B. Liu, H.L. Ong, and H.C. Huang. A bidirectional heuristic for stochastic assembly line balancing type II problem. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25(1-2):71–77, 2005.
- [Makssoud *et al.*, 2012] F. Makssoud, O. Battaïa, and A. Dolgui. An application of goal programming techniques to reconfigurable transfer lines. In *Proceedings of the 9th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*, 2012.
- [Makssoud *et al.*, 2013] F. Makssoud, O. Battaïa, and A. Dolgui. An exact method for the assembly line re-balancing problem. In V. Prabhu, M. Taisch, and D. Kiritsis, editors, *Advances in Production Management Systems. Sustainable Produc-*

- tion and Service Supply Chains*, volume 414 of *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, pages 159–166. Springer, 2013.
- [Makssoud *et al.*, 2014] F. Makssoud, O. Battaïa, and A. Dolgui. An exact optimization approach for a transfer line reconfiguration problem. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72:717–727, 2014.
- [Mayyas *et al.*, 2012] A. Mayyas, A. Qattawi, M. Omar, and D. Shan. Design for sustainability in automotive industry: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4):1845–1862, 2012.
- [McGovern and Gupta, 2006] S.M. McGovern and S.M. Gupta. Ant colony optimization for disassembly sequencing with multiple objectives. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 30(5):481–496, 2006.
- [McGovern and Gupta, 2007] S.M. McGovern and S.M. Gupta. Combinatorial optimization analysis of the unary np-complete disassembly line balancing problem. *International Journal of Production Research*, 45(18):4485–4511, 2007.
- [McGovern and Gupta, 2011] S. M. McGovern and S. M. Gupta. *The Disassembly Line: Balancing and Modeling*. McGraw Hill, New York, 2011.
- [McMullen and Frazier, 1997] P.R. McMullen and G.V. Frazier. A heuristic for solving mixed-model line balancing problems with stochastic task durations and parallel stations. *International Journal of Production Economics*, 51:177–190, 1997.
- [McMullen and Tarasewich, 2003] P.R. McMullen and P. Tarasewich. Using ant techniques to solve the assembly line balancing problem. *IIE Transactions*, 35(7):605–617, 2003.
- [McMullen and Tarasewich, 2006] P.R. McMullen and P. Tarasewich. Multi-objective assembly line balancing via a modified ant colony optimization technique. *International Journal of Production Research*, 44(1):27–42, 2006.
- [Miralles *et al.*, 2008] C. Miralles, J.P. García-Sabater, C. Andrés, and M. Cardós. Branch and bound procedures for solving the assembly line worker assignment and balancing problem: Application to sheltered work centres for disabled. *Discrete Applied Mathematics*, 156(3):352–367, 2008.
- [Moodie and Young, 1965] C.L. Moodie and H.H. Young. A heuristic method of assembly line balancing for assumptions of constant or variable work element times. *Journal of Industrial Engineering*, 16(1):23–29, 1965.

- [Moon and Yao, 2011] Y. Moon and T. Yao. A robust mean absolute deviation model for portfolio optimization. *Computers & Operations Research*, 38(9):1251–1258, 2011.
- [Morrison *et al.*, 2014] D. R. Morrison, E. C. Sewell, and S. H. Jacobson. An application of the branch, bound, and remember algorithm to a new simple assembly line balancing dataset. *European Journal of Operational Research*, 236(2):403 – 409, 2014.
- [Otto *et al.*, 2013] A. Otto, C. Otto, and A. Scholl. Systematic data generation and test design for solution algorithms on the example of SALBPGen for assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 228(1):33 – 45, 2013.
- [Özbakır and Tapkan, 2011] L. Özbakır and P. Tapkan. Bee colony intelligence in zone constrained two-sided assembly line balancing problem. *Expert Systems with Applications*, 38(9):11947–11957, 2011.
- [Özcan and Toklu, 2009] U. Özcan and B. Toklu. A tabu search algorithm for two-sided assembly line balancing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43(7-8):822–829, 2009.
- [Özcan *et al.*, 2010] U. Özcan, H. Çerçioğlu, H. Gökçen, and B. Toklu. Balancing and sequencing of parallel mixed-model assembly lines. *International Journal of Production Research*, 48(17-18):5089–5113, 2010.
- [Özcan *et al.*, 2011] U. Özcan, T. Kellegöz, and B. Toklu. A genetic algorithm for the stochastic mixed-model u-line balancing and sequencing problem. *International Journal of Production Research*, 49(6):1605–1626, 2011.
- [Özdemir and Ayağ, 2011] R.G. Özdemir and Z. Ayağ. An integrated approach to evaluating assembly-line design alternatives with equipment selection. *Production Planning and Control*, 22(2):194–206, 2011.
- [Özdemir *et al.*, 2012] Ö. Özdemir, M. V. Denizel, and D. R. Guide Jr. Recovery decisions of a producer in a legislative disposal fee environment. *European Journal of Operational Research*, 216:293–300, 2012.
- [Pekin and Azizoglu, 2008a] N. Pekin and M. Azizoglu. Bi criteria flexible assembly line design problem with equipment decisions. *International Journal of Production Research*, 46(22):6323–6343, 2008.
- [Pekin and Azizoglu, 2008b] N. Pekin and M. Azizoglu. Bi criteria flexible assembly line design problem with equipment decisions. *International Journal of Production Research*, 46(22):6323–6343, 2008.

- [Penuel *et al.*, 2010] J. Penuel, J. C. Smith, and Y. Yuan. An integer decomposition algorithm for solving a two-stage facility location problem with second-stage activation costs. *Naval Research Logistics (NRL)*, 57(5):391–402, 2010.
- [Petrovic *et al.*, 2008] S. Petrovic, C. Fayad, and D. Petrovic. Sensitivity analysis of a fuzzy multiobjective scheduling problem. *International Journal of Production Research*, 46(12):3327–3344, 2008.
- [Pettie, 2005] S. Pettie. Sensitivity analysis of minimum spanning trees in sub-inverse-Ackermann time. In *Algorithms and Computation*, volume 3827 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 964–973. Springer Berlin / Heidelberg, 2005.
- [Pinnoi and Wilhelm, 1997] A. Pinnoi and W.E. Wilhelm. A family of hierarchical models for assembly system design. *International Journal of Production Research*, 35:253–280, 1997.
- [Pinnoi and Wilhelm, 1998] A. Pinnoi and W.E. Wilhelm. Assembly system design: A branch and cut approach. *Management Science*, 44:103–118, 1998.
- [Pitiot *et al.*, 2014] P. Pitiot, M. Aldanondo, and E. Vareilles. Concurrent product configuration and process planning: Some optimization experimental results. *Computers in Industry*, 65:610–621, 2014.
- [Ponnambalam *et al.*, 1999] S.G. Ponnambalam, P. Aravindan, and G.M. Naidu. A comparative evaluation of assembly line balancing heuristics. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15:577–586, 1999.
- [Raouf and Tsui, 1982] A. Raouf and C. Tsui. A new method for assembly line balancing having stochastic work elements. *Computers and Industrial Engineering*, 6:131–148, 1982.
- [Rekiek *et al.*, 2002] B. Rekiek, A. Dolgui, A. Delchambre, and A. Bratcu. State of art of assembly lines design optimisation. *Annual Reviews in Control*, 26(2):163–174, 2002.
- [Rekiek, 2001] B. Rekiek. *Assembly Line Design: multiple objective grouping genetic algorithm and the Balancing of mixed-model hybrid assembly line*. PhD thesis, Université Libre de Bruxelles, 2001.
- [Sabuncuoglu *et al.*, 2009] I. Sabuncuoglu, E. Erel, and A. Alp. Ant colony optimization for the single model U-type assembly line balancing problem. *International Journal of Production Economics*, 120(2):287–300, 2009.

- [Salveson, 1955] M.E. Salveson. The assembly line balancing problem. *Journal of Industrial Engineering*, 6(3):18–25, 1955.
- [Sarin *et al.*, 1999] S.C. Sarin, E. Erel, and E.M. Dar-El. A methodology for solving single-model, stochastic assembly line balancing problem. *OMEGA*, 27:525–535, 1999.
- [Sarker and Shanthikumar, 1983] B.R. Sarker and J.G. Shanthikumar. A generalized approach for serial or parallel line balancing. *International Journal of Production Research*, 21:109–133, 1983.
- [Sawik, 2002] T. Sawik. Monolithic vs. hierarchical balancing and scheduling of a flexible assembly line. *European Journal of Operational Research*, 143:115–124, 2002.
- [Scholl and Becker, 2006] A. Scholl and C. Becker. State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168:666–693, 2006.
- [Scholl *et al.*, 2008] A. Scholl, N. Boysen, and M. Fliedner. The sequence-dependent assembly line balancing problem. *OR Spectrum*, 30(3):579–609, 2008.
- [Scholl, 1999] A. Scholl. *Balancing and sequencing of assembly lines*. Physica, Heidelberg, 2 edition, 1999.
- [Sewell and Jacobson, 2012] E. C. Sewell and S. H. Jacobson. A branch, bound, and remember algorithm for the simple assembly line balancing problem. *INFORMS Journal on Computing*, 24(3):433–442, 2012.
- [Shtub, 1984] A. Shtub. The effect of incompleteness cost on line balancing with multiple manning of work stations. *International Journal of Production Research*, 22:235–245, 1984.
- [Simaria and Vilarinho, 2009] A.S. Simaria and P.M. Vilarinho. 2-ANTBAL: An ant colony optimisation algorithm for balancing two-sided assembly lines. *Computers & Industrial Engineering*, 56(2):489–506, 2009.
- [Sniedovich, 1981] M. Sniedovich. Analysis of a preference order assembly line problem. *Management Science*, 27:1067–1080, 1981.
- [Sotskov *et al.*, 1998] Y.N. Sotskov, A.P.M. Wagelmans, and F. Werner. On the calculation of the stability radius of an optimal or an approximate schedule. *Annals of Operations Research*, 83(0):213–252, 1998.

- [Sotskov *et al.*, 2010] Yu.N. Sotskov, N.Yu. Sotskova, T.-C. Lai, and F. Werner. *Scheduling under Uncertainty: Theory and Algorithms*. Belorusskaya nauka, Minsk, 2010.
- [Sparling, 1998] D. Sparling. Balancing JIT production units: The N U-line balancing problem. *Information Systems and Operational Research*, 36:215–237, 1998.
- [Suresh and Sahu, 1994] G. Suresh and S. Sahu. Stochastic assembly line balancing using simulated annealing. *International Journal on Production Research*, 32(8):1801–1810, 1994.
- [Talbot *et al.*, 1986] F.B. Talbot, J.H. Paterson, and W.V. Gehrlein. A comparative evaluation of heuristic line balancing techniques. *Management Science*, 32:430–454, 1986.
- [Tang and Zhou, 2006] Y. Tang and M. C. Zhou. A systematic approach to design and operation of disassembly lines. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 3:324–329, 2006.
- [Tang *et al.*, 2001] Y. Tang, M. Zhou, and R. Caudill. A systematic approach to disassembly line design. In *Electronics and the Environment. Proceedings of the IEEE International Symposium*, pages 173–178, 2001.
- [Teghem, 2013] J. Teghem. *Recherche opérationnelle*. Ellipses, 2013.
- [Toklu and Özcan, 2008] B. Toklu and U. Özcan. A fuzzy goal programming model for the simple U-line balancing problem with multiple objectives. *Engineering Optimization*, 40(3):191–204, 2008.
- [Toksarı *et al.*, 2008] M.D. Toksarı, S.K. İşleyen, E. Güner, and Ö.F. Baykoç. Simple and U-type assembly line balancing problems with a learning effect. *Applied Mathematical Modelling*, 32(12):2954–2961, 2008.
- [Toksarı *et al.*, 2010] M.D. Toksarı, S.K. İşleyen, E. Güner, and Ö.F. Baykoç. Assembly line balancing problem with deterioration tasks and learning effect. *Expert Systems With Applications*, pages 1223–1228, 2010.
- [Tripathi *et al.*, 2009] M. Tripathi, S. Agrawal, M. Kumar Pandey, R. Shankar, and M.K. Tiwari. Real world disassembly modeling and sequencing problem: Optimization by Algorithm of Self-Guided Ants (ASGA). *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25(3):483–496, 2009.

- [Tseng *et al.*, 2008] H.E. Tseng, M.H. Chen, C.C. Chang, and W.P. Wang. Hybrid evolutionary multi-objective algorithms for integrating assembly sequence planning and assembly line balancing. *International Journal of Production Research*, 46(21):5951–5977, 2008.
- [Tsujiyama *et al.*, 1995a] Y. Tsujiyama, M. Gen, and E. Kubota. Solving fuzzy assembly-line balancing problem with genetic algorithms. *Computers and Industrial Engineering*, 29:543–547, 1995.
- [Tsujiyama *et al.*, 1995b] Y. Tsujiyama, M. Gen, and E. Kubota. Solving fuzzy assembly-line balancing problem with genetic algorithms. *Computers & Industrial Engineering*, 29(1-4):543–547, 1995.
- [Tuncel *et al.*, 2012] E. Tuncel, A. Zeid, and S. Kamarthi. Solving large scale disassembly line balancing problem with uncertainty using reinforcement learning. *Journal of Intelligent Manufacturing*, pages 1–13, 2012.
- [Turowski and Morgan, 2005] M. Turowski and M. Morgan. Disassembly line design with uncertainty. *2005 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 1:954–959, 2005.
- [Urban and Chiang, 2006] T.L. Urban and W.C. Chiang. An optimal piecewise-linear optimization of the U-line balancing problem with stochastic task times. *European Journal of Operational Research*, 168:771–782, 2006.
- [Van Hoesel and Wagelmans, 1993] S. Van Hoesel and A. Wagelmans. Sensitivity analysis of the economic lot-sizing problem. *Discrete Applied Mathematics*, 45(3):291–312, 1993.
- [Wee and Magazine, 1986] T.S. Wee and M.J. Magazine. Assembly line balancing as generalized bin packing. *Operations Research Letters*, 1:56–58, 1986.
- [Wei *et al.*, 1997] S.-Y. Wei, C.-C. Lo, and C. Chang. Using throughput profit for selecting manufacturing process plan. *Computers and Industrial Engineering*, 32(4):939–948, 1997.
- [Wilhelm, 1999a] W.E. Wilhelm. A column-generation approach for the assembly system design problem with tool changes. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 11:177–205, 1999.
- [Wilhelm, 1999b] W.E. Wilhelm. A column-generation approach for the assembly system design problem with tool changes. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 11(2):177–205, 1999.

- [Wilson, 1986] J.M. Wilson. Formulation of a problem involving assembly lines with multiple manning of work stations. *International Journal of Production Research*, 24:59–63, 1986.
- [Wong *et al.*, 2006] WK Wong, PY Mok, and SYS Leung. Developing a genetic optimisation approach to balance an apparel assembly line. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(3):387–394, 2006.
- [Wu *et al.*, 2008] E.F. Wu, Y. Jin, J.S. Bao, and X.F. Hu. A branch-and-bound algorithm for two-sided assembly line balancing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(9):1009–1015, 2008.
- [Xu and Xiao, 2009] W. Xu and T. Xiao. Robust balancing of mixed model assembly line. *COMPEL*, 28(6):1489–1502, 2009.
- [Xu and Xiao, 2011] W. Xu and T. Xiao. Strategic robust mixed model assembly line balancing based on scenario planning. *Tsinghua Science & Technology*, 16(3):308–314, 2011.
- [Yazgan *et al.*, 2011] H. R. Yazgan, I. Beypinar, S. Boran, and C. Ocak. A new algorithm and multi-response taguchi method to solve line balancing problem in an automotive industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 57(1-4):379–392, 2011.
- [Zacharia and Nearchou, 2012] P.T. Zacharia and A.C. Nearchou. Multi-objective fuzzy assembly line balancing using genetic algorithms. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(3):615–627, 2012.
- [Zhang *et al.*, 2014] H. Zhang, F. Zhao, K. Fang, and J. W. Sutherland. Energy-conscious flow shop scheduling under time-of-use electricity tariffs. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 63(1):37–40, 2014.
- [Zorpas and Inglezakis, 2012] A. A. Zorpas and V. J. Inglezakis. Technology in society automotive industry challenges in meeting EU 2015 environmental standard. *Technology in Society*, 34(1):55–83, 2012.

Résumé :

Ce mémoire présente nos contributions dans le développement des modèles mathématiques et des méthodes d'optimisation combinatoire pour la configuration des lignes d'usinage, d'assemblage et de désassemblage. Les problèmes considérés sont d'une importance majeure dans l'industrie manufacturière, mais sont aussi reconnus comme difficiles au sein de la communauté scientifique d'optimisation combinatoire. En développant des méthodes permettant de réduire le coût de tels systèmes, nous avons œuvré pour la minimisation des coûts de production et l'optimisation de l'utilisation des ressources tout au long du cycle de vie du produit.

Les perspectives de nos recherches par rapport aux trois volets suivants sont également présentées :

(1) l'élargissement des approches développées afin d'englober d'autres problèmes décisionnels qui se trouvent en amont ou en aval du problème de configuration de la ligne de production, ceci ayant pour objectif la mise en place des usines numériques ;

(2) l'utilisation des méthodes d'optimisation combinatoire dans le cadre du développement durable des systèmes de production tout au long du cycle de vie de produits ;

(3) la mise en place des modèles et des méthodes permettant de considérer de manière efficace l'incertitude des données à l'étape de la conception et leur variabilité ainsi que de faciliter la reconfiguration des systèmes de production existants lorsque cela devient nécessaire.

Mots clés : Optimisation combinatoire, lignes d'usinage, lignes d'assemblage, ligne de désassemblage, configuration de lignes de production, équilibrage de lignes, incertitude des données.

Abstract:

This manuscript presents our contributions in the development of mathematical models and combinatorial optimization methods for the configuration of machining, assembly and disassembly lines. These problems are very important in industry, but known to be hard from an optimization point of view. By developing methods aiming to reduce the cost of such systems, we contributed to the minimization of production costs and optimization of the use of resources during the whole product life cycle.

The future research developments in the field are also discussed for the following scientific objectives:

- (1) to propose a holistic design approach expanding the core line balancing problem to connected decision levels;
- (2) to provide a support for sustainable manufacturing and circular economy;
- (3) to develop tools and metrics for evaluating the robustness of the solutions found as well for adapting them to the changing environment.

Keywords: Combinatorial optimization, machining lines, assembly lines, disassembly lines, line configuration, line balancing, uncertainty.
