

Stratégies de tarification dans le dimensionnement de lots et l'ordonnancement du processus de remanufacturing

Domaines scientifiques : Génie des Systèmes Industriels, Recherche Opérationnelle, Sciences de l'Ingénieur.

Mots clés : Ordonnancement, tarification, remanufacturing, lot-sizing.

1 Contexte scientifique

Après plusieurs décennies de pratique d'une activité industrielle basée sur une économie linéaire, la croissance alarmante des dommages environnementaux a donné naissance à un concept innovant appelé "économie circulaire". Définie comme étant un modèle économique qui vise principalement à préserver les ressources et réduire les déchets et le gaspillage, l'économie circulaire propose plusieurs options (alternatives) de gestion des produits en fin de vie, ou en fin d'utilisation, telles que la réutilisation directe, la réparation, le recyclage et le remanufacturing.

Bien que, de façon générale, les options de gestion de produits en fin d'utilisation contribuent à réduire considérablement l'utilisation de nouveaux matériaux impliquant ainsi une diminution avantageuse de la consommation d'énergie et des émissions issues des extractions de matériaux, il reste difficile d'accéder aux produits en fin d'utilisation, à moins d'assurer leur collecte via des infrastructures spécialisées, et d'adapter les systèmes économiques pratiquant la collecte des produits en fin de vie pour le recyclage par des services de logistique inverse.

Trouvant un équilibre parfait entre les autres options, le remanufacturing est un processus qui permet de remettre à neuf un produit usagé ou en fin de vie et de récupérer partiellement l'énergie et les matériaux utilisés dans la fabrication initiale du produit. Le remanufacturing est présenté comme un alternative écologique prometteuse permettant de réduire les déchets à moindre coût. Il est considéré comme la meilleure forme de recyclage, étant donné que le contenu en matières premières est conservé et le produit remis à neuf garde la même valeur qu'un produit nouvellement fabriqué.

Le processus de remanufacturing est généralement plus efficace que le processus de fabrication classique d'un point de vue écologique, économique et social [1]. En effet, le remanufacturing utilise moins de ressources matérielles et énergétiques, génère moins de gaz à effet de serre et permet d'éviter une certaine quantité de déchets. D'autant plus que les produits remis à neufs coûtent moins chers que les produits nouvellement fabriqués, ce qui donne un large choix de marchés.

D'après les enquêtes menés au sein de différentes entreprises proposant des services de remanufacturing, ce dernier reste très efficace, bien que les entreprises interrogées fabriquent des produits variés [2]. Selon une étude sur l'impact du remanufacturing en Europe dans différents secteurs industriels (automobile, équipement médical, marine, etc.) indique que le remanufacturing a permis d'éviter près de 8,3 millions de tonnes de CO_2 et environ 2,3 millions de métriques de matériaux mis en décharge [3].

Selon une autre étude menée pour comparer les impacts environnementaux d'un produit nouvellement fabriqué et d'un produit usagé remis à neuf, le remanufacturing permet d'économiser 50 % de l'énergie, 30 % de la main-d'oeuvre et 80 % des matières premières [4]. Les produits considérés sont des moteurs diesel et les données utilisées pour l'étude proviennent de *Sinotruck* (une entreprise de

fabrication de camions). Les résultats de l'analyse de la consommation d'énergie montrent que la remise à neuf des moteurs usagés permet d'économiser plus de 2000 MJ d'énergie par rapport à la fabrication d'un nouveau moteur. Trois types de ressources naturelles sont utilisés dans la fabrication des moteurs, le remanufacturing permet d'économiser de 70 % de charbon, 20 % de pétrole brut et 69 % de gaz naturel.

Enfin, le remanufacturing possède également des avantages sur le marché du travail. En effet, et en raison de la complexité du processus de remanufacturing et de la non-automatisation des tâches, des milliers de postes sont créés. Aux États-Unis, le remanufacturing offre 180000 opportunités d'emploi [5].

Le processus de remanufacturing comprend plusieurs étapes : la collecte de produits usagés, le démontage pour accéder aux composants, l'inspection, le nettoyage, le remontage, et tests et la commercialisation.

L'intégration du remanufacturing dans une usine peut présenter divers défis pour un fabricant notamment dans la conception du produit qui doit être adapté au remanufacturing, ou encore dans la collecte et le tri des produits usagés. De façon générale, toute la gestion de la chaîne logistiques en boucle fermée du remanufacturing présente un grand défi.

Les chercheurs se sont intéressés à étudier différentes problématiques visant à améliorer et optimiser les étapes liées au processus de remise à neuf.

2 Sujet de stage

Le stage propose de se pencher sur une problématique complexe du processus de fabrication et remanufacturing appliqués à des moteurs de véhicules et des batteries de voitures électriques. Nous considérons un problème de dimensionnement de lots étudié conjointement avec un problème d'ordonnancement, prenant en compte les différents grades de qualité des produits. Les objectifs du stage sont les suivants :

Optimisation des Quantités à produire ou à remanufacturer : sur un horizon donné, déterminer le nombre optimal de produits à produire et/ou à remanufacturer en tenant compte de la demande et des différents grades de qualité des produits remis à neuf et en déterminant les prix des produits neufs et remis à neuf.

Ordonnancement des Tâches : établir un ordonnancement optimal des tâches sur les lignes de fabrication et de remanufacturing. Minimiser les temps d'attente, optimiser les flux de production et l'efficacité du processus tout en procurant des produits remis à neufs de bonne qualité.

Application dans le Secteur Automobile : focaliser l'étude sur le secteur automobile, en se concentrant spécifiquement sur la fabrication et la remise à neuf les moteurs de véhicules et les batteries de véhicules électriques. Étudier les différents grades de qualité des produits (neufs et remanufacturés) en se basant sur les spécificités des moteurs et des batteries.

Les objectifs à optimiser concernent :

- La maximisation du profit du fabricant en déterminant les prix des produits neufs et remis à neuf.
- La minimisation de l'impact carbone généré par la fabrication et toutes les étapes de la chaîne logistique en boucle fermée (utilisation, récupération, remise à neuf...).

- La minimisation du temps total d'achèvement de la fabrication et de la remise à neuf des produits.

Le stage répondra aux questions suivantes :

- Combien de produits doit-on produire et/ou remettre à neuf en fonction de la demande et des prix alloués pour chaque grade tout en maximisant le profit du fabricant ?
- Comment établir un ordonnancement des tâches sur les lignes de manufacturing et de remanufacturing de sorte à minimiser le temps total d'achèvement ?
- Comment ces stratégies d'optimisation peuvent-elles être adaptées et mises en œuvre dans le secteur automobile, en particulier pour les batteries de véhicules électriques ?

Ce projet de stage vise à apporter des solutions concrètes et innovantes dans le domaine du remanufacturing, en combinant des considérations économiques, environnementales et opérationnelles, tout en mettant en lumière leur application dans le secteur automobile, un secteur clé pour la transition vers une économie circulaire.

3 Missions

Le (la) candidat(e) sélectionné(e) se verra confier les tâches suivantes :

- Un état de l'art des problèmes de lot-sizing et d'ordonnancement intégrés ainsi que la tarification dans le contexte du remanufacturing.
- Étudier les étapes du processus de remanufacturing et définir les critères pertinents pour un ordonnancement optimal, tels que les temps de traitement, les ressources nécessaires et les dépendances entre les tâches.
- Développer un modèle mathématique intégré prenant en compte le problème de dimensionnement de lots, l'ordonnancement et la tarification, pour estimer les quantités optimales de produits à fabriquer ou à remettre à neuf en fonction des prix alloués, des grades de qualité et des contraintes opérationnelles. De plus, intégrer les objectifs d'optimisation environnementale en minimisant l'empreinte carbone dans le modèle global.
- Concevoir un algorithme d'optimisation.
- Programmer et tester l'algorithme pour évaluer son efficacité et sa capacité à optimiser de manière intégrée le processus de remanufacturing.
- Mettre en place des scénarios de simulation pour évaluer les performances du modèle d'optimisation et de l'algorithme dans des conditions variées.

4 Présentation du laboratoire

LINEACT CESI (EA 7527), Laboratoire d'Innovation Numérique pour les Entreprises et les Apprentissages au service de la Compétitivité des Territoires, anticipe et accompagne les mutations technologiques des secteurs et des services liés à l'industrie et au BTP. La proximité historique de CESI avec les entreprises est un élément déterminant pour nos activités de recherche, et a conduit à concentrer les efforts sur une recherche appliquée proche de l'entreprise et en partenariat avec elles. Une approche centrée sur l'humain et couplée à l'utilisation des technologies, ainsi que le maillage territorial et les liens avec la formation, ont permis de construire une recherche transversale ; elle met l'humain, ses besoins et ses usages, au centre de ses problématiques et aborde l'angle technologique au travers de ces apports.

Sa recherche est organisée selon deux équipes scientifiques interdisciplinaires et deux domaines applicatifs.

- l'équipe 1 - "Apprendre et Innover" travaille principalement sur des Sciences cognitives, Sciences sociales et Sciences de gestion, Sciences et techniques de la formation et celles de l'innovation. Les principaux objectifs scientifiques visés par cette équipe sont la compréhension des effets de l'environnement, et plus particulièrement des situations instrumentées par des objets techniques (plateformes, ateliers de prototypage, systèmes immersifs...) sur les processus d'apprentissage, de créativité et d'innovation.
- L'équipe 2 - "Ingénierie et Outils Numériques" travaille principalement sur des Sciences du Numérique et de l'Ingénierie. Les principaux objectifs scientifiques de cette équipe portent sur la modélisation, la simulation, l'optimisation et l'analyse de données de systèmes industriels ou urbains. Les travaux de recherche portent également sur les outils d'aide à la décision associés et sur l'étude des jumeaux numériques couplés à des environnements virtuels ou augmentés.

Ces deux équipes développent et croisent leurs recherches dans les deux domaines applicatifs de l'Industrie du Futur et de la Ville du Futur, soutenues par des plateformes de recherche, principalement celle de Rouen dédiée à l'Usine du Futur et celles de Nanterre dédiée à l'Usine et au Bâtiment du Futur.

5 Positionnement dans les axes de recherche du laboratoire

Le sujet de stage est en adéquation avec les travaux de recherche de l'équipe 2 "Ingénierie et Outils Numériques" de CESI LINEACT et en particulier la thématique Gestion et Décision (planification, ordonnancement dynamique et pilotage).

6 Vos compétences

Le (la) candidat(e) retenu(e) doit :

- Être en Master/dernière année du cycle ingénieur, en recherche opérationnelle, informatique, mathématiques appliquées ou dans tout autre domaine connexe.
- Posséder une culture sur les algorithmes d'optimisation (recherche opérationnelle).
- Avoir de bonnes compétences en programmation informatique (C/C++/python, etc.).
- Avoir un bon niveau d'anglais.

Compétences relationnelles :

- Être autonome, avoir un esprit d'initiative et de curiosité.
- Savoir travailler en équipe et avoir un bon relationnel.
- Être rigoureux.

7 Durée & Contacts

Durée du stage : 6 mois à partir de fin janvier 2024.

Localisation : CESI campus de Nancy.

Merci d'adresser votre candidature à Latifa Belhocine et Hajar Nouinou {lbelhocine;hnouinou}@cesi.fr, avec pour objet de mail :
«[Candidature] Dimensionnement des lots en remanufacturing».

Votre candidature devra comporter :

- Un Curriculum-Vitae détaillé. En cas de rupture dans le cursus universitaire, merci de donner une explication ;
- Une lettre de motivation explicitant ses motivations à poursuivre une thèse de doctorat ;
- Les résultats du MASTER 1 et 2 et les bulletins de notes correspondant ;
- Toute autre pièce que vous jugerez utile .

Merci de transmettre l'ensemble des documents au sein d'un fichier zip intitulé **NOM-Prénom.zip**.

Références

- [1] Haolan Liao, Qianwang Deng, Yuanrui Wang, Shumin Guo, and Qinghua Ren. An environmental benefits and costs assessment model for remanufacturing process under quality uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 178 :45–58, 2018.
- [2] Tomohiko Sakao and Erik Sundin. How to improve remanufacturing ?—a systematic analysis of practices and theories. *Journal of manufacturing science and engineering*, 141(2), 2019.
- [3] Erik Sundin. The role of remanufacturing in a circular economy. *Remanufacturing in the Circular Economy : Operations, Engineering and Logistics*, pages 31–60, 2019.
- [4] Zhichao Liu, Tao Li, Qihong Jiang, and Hongchao Zhang. Life cycle assessment-based comparative evaluation of originally manufactured and remanufactured diesel engines. *Journal of Industrial Ecology*, 18(4) :567–576, 2014.
- [5] Jian Cao, Xihui Chen, Xuemei Zhang, Yan Chen Gao, Xueping Zhang, and Sanjay Kumar. Overview of remanufacturing industry in china : Government policies, enterprise, and public awareness. *Journal of Cleaner Production*, 242 :118450, 2020.
- [6] Latifa Belhocine, Mohammed Dahane, and Mohammed Yagouni. Customer behaviour-based multi-objective approach for the recovery and remanufacturing of used products : application to smartphone reconditioning process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 117 :125–146, 2021.

- [7] Meihan Yu, Bo Bai, Siqin Xiong, and Xiawei Liao. Evaluating environmental impacts and economic performance of remanufacturing electric vehicle lithium-ion batteries. *Journal of Cleaner Production*, 321 :128935, 2021.
- [8] Hajar Nouinou, Elnaz Asadollahi-Yazdi, Isaline Baret, Nhan Quy Nguyen, Mourad Terzi, Yassine Ouazene, Farouk Yalaoui, and Russell Kelly. Decision-making in the context of industry 4.0 : Evidence from the textile and clothing industry. *Journal of Cleaner Production*, page 136184, 2023.