

# ACHACHERA KHALID

Etudiant

**Nom :** ACHACHERA

**Prénom :** KHALID

**Email :**  
Khalid.Achachera@grenoble-  
inp.org

Soutenance

**Date :** 28/06/2024

**Heure :** 15:30

**Lieu :** F217

Tuteur

PHOURATSAMAY Siao

Entreprise

URPS-CD-ARA  
Auvergne-Rhône-Alpe grenoble - FRANCE

DESCRIPTIF DE LA MISSION

Minimizing Patient Travel in Medically Desertified Areas by using Mobile Dental Buses

RESUME DU STAGE

L'accès équitable aux soins médicaux reste un défi crucial, particulièrement dans les zones rurales souvent qualifiées de "déserts médicaux". Ces régions souffrent d'une pénurie de services de santé, aggravée par l'isolement géographique, des infrastructures inadéquates et des populations souvent économiquement défavorisées. L'accès aux soins dentaires est particulièrement problématique dans ces zones, où les habitants doivent parcourir de longues distances pour consulter un dentiste. Cela conduit fréquemment à des soins différés ou non effectués, exacerbant les problèmes de santé bucco-dentaire et amplifiant les disparités entre populations urbaines et rurales.

Les "déserts médicaux" sont définis comme des régions ayant un accès insuffisant aux services de santé, ce qui pose un problème critique pour la couverture sanitaire globale. En France, de nombreuses zones rurales souffrent d'un manque chronique de professionnels de santé, notamment de dentistes. La population médicale vieillissante et la réticence des nouveaux praticiens à s'installer dans ces zones isolées accentuent ce problème. Cette situation oblige les résidents à effectuer de longs trajets pour obtenir des soins dentaires, aggravant ainsi les problèmes de santé bucco-dentaire et contribuant à des disparités de santé significatives.

L'objectif principal de cette étude est d'améliorer l'accès aux soins dentaires dans les déserts médicaux à travers une approche innovante utilisant des cliniques dentaires mobiles. La question de recherche centrale est : comment maximiser la couverture et l'efficacité des services dentaires mobiles tout en minimisant les coûts opérationnels et les distances de déplacement dans les zones rurales ? Pour répondre à cette question, nous avons développé un modèle mathématique sophistiqué visant à optimiser l'emplacement des arrêts et la planification des visites de ces cliniques mobiles.

Pour aborder ce problème, nous avons utilisé un modèle d'optimisation linéaire mixte (MILP). Ce modèle est conçu pour gérer la logistique des cliniques dentaires mobiles, avec pour objectif de maximiser le nombre de patients traités tout en minimisant la distance totale parcourue par les unités mobiles. Notre approche prend en compte plusieurs facteurs cruciaux : la demande locale en soins dentaires, la capacité maximale de traitement d'une clinique mobile par jour, les distances entre les villages et les arrêts potentiels, ainsi que la fréquence des visites requises pour répondre adéquatement à la demande.

Les données utilisées pour alimenter le modèle proviennent de matrices de distance et des enregistrements des besoins en soins des patients. Ces données permettent de définir précisément les paramètres du modèle, tels que les distances à parcourir et le nombre de patients dans chaque village nécessitant des soins dentaires. Le modèle formule deux objectifs principaux : maximiser la couverture des soins en assurant que le plus grand nombre possible de patients soient traités, et minimiser la distance totale parcourue par les cliniques mobiles pour optimiser les coûts opérationnels.

Le modèle a été testé à travers un cas d'étude spécifique, appliqué à la région de l'Ardèche en France. Les simulations réalisées ont montré que l'application de notre modèle permet une amélioration significative de l'accès aux soins dentaires dans les zones rurales. Les résultats de ces simulations sont prometteurs :

- Une augmentation notable du nombre de patients traités par rapport à une planification non optimisée.
- Une réduction significative de la distance totale parcourue par les cliniques mobiles, optimisant ainsi les ressources disponibles et réduisant les coûts logistiques.
- Une utilisation efficace des capacités des cliniques mobiles, assurant une couverture maximale des besoins en soins dentaires tout en respectant les contraintes opérationnelles.

L'analyse de différents scénarios a permis de démontrer que l'approche basée sur l'optimisation est capable de mieux répondre aux besoins locaux en soins dentaires tout en respectant les contraintes financières et logistiques. Cette méthodologie offre une solution viable pour maximiser l'impact des services dentaires mobiles dans les déserts médicaux, en permettant une planification efficace des routes et des horaires, et en assurant une gestion rationnelle des ressources.

Toutefois, la mise en œuvre de cette solution n'est pas sans défis. La collecte de données précises sur la demande en soins et les distances à parcourir reste un élément crucial pour l'efficacité du modèle. De plus, l'acceptation de cette approche par les communautés locales et la coordination avec les autorités sanitaires sont essentielles pour le succès de la mise en œuvre sur le terrain.

En conclusion, l'intégration de cliniques dentaires mobiles, soutenues par des modèles d'optimisation sophistiqués, représente une avancée significative dans la réduction des disparités en matière de santé bucco-dentaire dans les régions rurales. Cette étude fournit une base solide pour le développement futur de stratégies similaires visant à améliorer l'accès aux soins dans d'autres contextes de déserts médicaux. La combinaison d'une planification rigoureuse et de l'utilisation de données précises permet de maximiser l'efficacité des cliniques mobiles et de garantir une couverture plus large des soins dentaires dans les zones mal desservies.

# BEDJAOUI RAMZI

Etudiant

**Nom :** BEDJAOUI

**Prénom :** RAMZI

**Email :**  
Ramzi.Bedjaoui@grenoble-  
inp.org

Soutenance

**Date :** 27/06/2024

**Heure :** 15:30

**Lieu :** F217

Tuteur

QUISBERT TRUJILLO Ernesto

Entreprise

UGA Yassine LAKHNECH  
Avenue Centrale - 38058 Grenoble - FRANCE

DESCRIPTIF DE LA MISSION

Computational Systems for sustainability transition of industry

RESUME DU STAGE

L'environnement est sous une pression qui ne cesse de s'intensifier. Par contre, nous pouvons éviter ce destin si nous changeons l'approche de la croissance économique, la consommation des ressources naturelles, l'émission de CO2 et la génération des déchets en masse. Sinon, il y a une forte chance que l'humanité soit en danger.

Green IS est désormais un sous-domaine dans le domaine des Systèmes d'information (SI) qui se focalise sur la compréhension de la façon par laquelle nous pourrions utiliser les SI pour transformer les organisations et les sociétés aux entités plus durables (Watson, Boudreau, & Chen, 2010). La durabilité fait référence essentiellement à la conservation, déploiement et réutilisation des ressources d'une façon plus durable (Malhotra, Melville, & Watson, 2013). Les systèmes d'information pourront jouer un rôle essentiel pour répondre aux exigences environnementales parce qu'ils permettent les personnes concernées d'implémenter des processus commerciaux et sociétaux plus durables (Melville, 2010; Seidel, Recker, & vom Brocke, 2013; Watson et al., 2010; Watson, Boudreau, Chen, & Huber, 2008).

Beaucoup d'entreprises utilisent les SDGs (Sustainable Development Goals) de l'UN comme un point de référence pour leurs initiatives durables. Pour rendre compte de ses objectifs il faudrait collecter, traiter et interpréter des quantités substantielles de données (par exemple sur les émissions ou les matériaux recyclés) qu'ils étaient auparavant ni capturés ni analysés. Ce rapport vise à développer cette perspective en mettant en lumière les pratiques d'approvisionnement de données pour un reporting fiable sur les initiatives et les objectifs de développement durable.

Pour expliquer comment les pratiques d'approvisionnement en données se développent dans le contexte de la durabilité, nous utilisons la théorie institutionnelle comme lentille théorique. D'un côté nous avons les trois types de pressions institutionnelles - réglementaire, normative et culturelle et cognitive - qui influencent les organisations engagées en initiative durable (Galleli et al., 2021). D'un autre côté nous avons les pratiques d'approvisionnement en données qui se développent en réponse aux pressions institutionnelles pour supporter le reporting sur les initiatives durables. Pour les pratiques d'approvisionnement en données, nous avons adopté le modèle de Krasikov, P., & Legner, C. (2023) qui se compose de trois pratiques et sont : création de sens, collecte de données et consolidation de données. Dans ce rapport nous nous intéressons à la collection de données, notamment les objets de données requis pour atteindre un SDF donné.

La pratique de collecte de données implique l'analyse de données disponible nécessaire pour réaliser les initiatives de développement durable, l'évaluation de la qualité et l'identification des lacunes, ainsi que la collecte des données manquantes provenant de sources internes et externes. Nous pensons que les initiatives de développement durable s'appuient principalement sur des objets de données existants et bien définis, qui sont utilisés pour répondre aux exigences durables. Par exemple, les données de base des produits finis, les données de base de toutes les pièces, composantes, matières premières, et le BoM sont essentiels pour avoir une compréhension de la composition des produits finis ou leurs emballages au niveau de granularité le plus bas. En revanche, ils existent de nouveaux objets de données qu'ils n'étaient auparavant pas conservés dans les systèmes des entreprises, et qu'ils doivent être créés. Ces objets, entre autres, incluent des KPIs spécifiques (par exemple, un indicateur plastique), ainsi que des méta-informations pertinentes (par exemple, une étiquette de produit, un organisme de certification, une réglementation) (Krasikov, P., & Legner, C. 2023). Même si plusieurs objets de données existent déjà dans les ERP les systèmes BI des entreprises, les activités de développement durable réutilisent et étendent la portée de l'utilisation des données (par exemple, avec des modifications des descriptions et classifications des matériaux) et, à leur tour, nécessitent l'établissement de nouvelles règles commerciales et des pipelines de données. Tout cela se résume en une question de recherche : Comment les méthodes d'approvisionnement de données dans le contexte du Green IS facilitent la transition durable de l'industrie ?

[Eng] How data sourcing methods in the context of Green IS facilitate sustainability transition of industry ?

La méthodologie adoptée dans ce rapport est une revue rapide de la littérature, il s'agit d'un processus consistant à examiner juste assez d'articles pour résoudre un problème spécifique ou obtenir une réponse spécifique. Dans ce rapport, nous avons choisi trois axes pour répondre à notre question de recherche : i) Méthodes de données pour la durabilité, ii) Stratégies de données de Green IS et iii) Performance des bases de données environnementales. Nous avons utilisé la méthode PRISMA pour exclure les articles. Le premier axe est consacré à l'étude des méthodes et méthodologies de données pouvant avoir un impact sur la durabilité d'une entreprise. Le deuxième axe est consacré à l'étude des stratégies Green IS basées sur les données. Et le dernier axe est dédié aux mesures de performances des bases de données environnementales. Chaque axe possède son propre ensemble de mots-clés.

Après avoir examiné tous les articles sélectionnés, nous avons pu obtenir deux résultats principaux. Le premier résultat est que les initiatives de durabilité s'appuient principalement sur des objets de données existants et bien définis comme entrées, qui sont réutilisés pour répondre aux besoins de durabilité. C'est la preuve que les données des ERP peuvent être utilisées pour traiter des problématiques écologiques et qu'il n'est pas nécessaire d'optimiser l'ERP. Le deuxième résultat est que les initiatives durables s'appuient sur des objets de données et des attributs similaires pour un niveau donné (par exemple, niveau produit, niveau emballage). Au début nous étions préoccupés par l'hétérogénéité de l'environnement et des initiatives, nous pensions que chaque industrie et chaque initiative nécessiterait des différents type de données mais après la revue de la littérature, il s'avère qu'elles s'appuient toutes sur les mêmes objets de données pour un niveau donné.

# GRANGEIRO CAVALCANTE YASMIN

Etudiant

**Nom :** GRANGEIRO CAVALCANTE

**Prénom :** YASMIN

**Email :** Yasmin.Grangeiro-Cavalcante@grenoble-inp.org

Soutenance

**Date :** 28/06/2024

**Heure :** 10:00

**Lieu :** F217

Tuteur

NOEL Frederic

Entreprise

GSCOP - Grenoble Institute of Technology  
46 Avenue Félix Viallet, 38000 Grenoble - 38000 GRENOBLE - FRANCE

DESCRIPTIF DE LA MISSION

Gestion immersive des modes de défaillance de machines pour un partage collaboratif - Immersive management of machine failure modes for collaborative sharing.

RESUME DU STAGE

Gestion immersive des modes de défaillance de machines pour un partage collaboratif  
Immersive management of machine failure modes for collaborative sharing  
Laboratoire / Entreprise d'accueil de stage : G-SCOP

Encadrant(s) : Frédéric Noël

Mots clés. Visualisation Immersive, Gestion Collaborative des Pannes, Jumeaux Numériques, Modes de Défaillance des Machines, Gestion des Connaissances.

Résumé

Dans cette étude, nous explorons l'utilisation de la réalité virtuelle dans la gestion collaborative et immersive des modes de défaillance des horloges anciennes, un méthode jusqu'alors peu explorée, associant technologies avancées et la préservation des connaissances techniques traditionnelles de maintenance horlogère. L'application de cette étude est réalisée dans le domaine de la maintenance des horloges anciennes et portée par une structure basée à Lyon. Cette structure fournit des services itinérants à travers la France, d'où la nécessité d'un outil collaboratif.

En raison de leur mécanique complexe et de leur importance historique, les horloges anciennes posent des problèmes de maintenance inhabituels. Les artisans qualifiés se faisant rares, la maintenance de ces horloges peut s'avérer difficile. En étudiant le potentiel des technologies immersives dans des domaines qui exigent un mélange de compétences techniques et de savoir historique et culturel, et en permettant la transmission coopérative de ce savoir, cette étude contribue à la littérature sur l'application des technologies immersives dans des contextes non-industriels, dans le domaine de la maintenance et de la connaissance.

La question de recherche centrale est : "How failure modes can be shared using virtual reality to promote collaboration in the identification, prevention and correction of antique clocks maintenance?" L'approche propose la création de répliques numériques de ces horloges, permettant de simuler et d'analyser les défaillances dans un environnement virtuel immersif, indépendamment de leur emplacement géographique.

La méthodologie développée pour cette étude est un modèle qui fait référence à des connaissances spécialisées. Elle est décrite à l'aide de l'outil de modélisation UML (Unified Modelling Language), en termes simples, un diagramme de classes, qui servira d'outil de modélisation pour le génie logiciel, comme base pour la programmation guidée. C'est la technique initiale de la réalité virtuelle, ainsi que des modèles numériques en 3D. L'objectif de ce modèle est de promouvoir la visualisation des défauts pour le diagnostic des dysfonctionnements des horloges anciennes, en permettant une collaboration à distance entre les spécialistes et les professionnels de la maintenance.

Le diagramme montre les classes, leurs attributs, leurs modes de fonctionnement et les relations entre elles, ainsi que le flux des diagnostics et des corrections associés aux interventions de maintenance correspondantes. À ce stade, le défi consistait à traduire un langage associé à des défauts mécaniques et à l'intégrer dans un comportement programmatique. L'interface utilisateur doit également être intuitive et favoriser l'interaction avec le modèle numérique, avec un menu permettant d'appliquer des filtres pour visualiser les différents couchés du mécanisme et accéder à des informations sur chaque mécanisme, assemblage, composant et ses défaillances connues dans le passé.

Le modèle servira de base au développement d'une application de réalité virtuelle qui permettra aux utilisateurs de visualiser les défaillances de l'horloge en fonctionnement à l'aide d'un CAVE ou d'un casque de réalité virtuelle. Ce modèle n'inclut pas la mise en œuvre pratique de l'application de réalité virtuelle, mais conditionne le terrain pour sa réalisation future en définissant les composants et les flux de travail nécessaires et en les préparant pour un développement ultérieur.

La visualisation, désignée dans le diagramme UML, sera la représentation du modèle 3D de l'horloge dans son fonctionnement normal

et également avec les défauts observés. La méthode met en évidence les parties de l'horloge compromises par un défaut, et les composants environnants peuvent être manipulés ou rendus transparents pour une meilleure visualisation.

Le développement de la méthode a été structuré en quelques phases : initialement, une enquête détaillée sur les types de défaillances courants dans les horloges anciennes, en utilisant des documents historiques et des contributions d'horlogers expérimentés comme références. Par la suite, ces défaillances ont été catégorisées, de même que les réparations et les procédures, servant de base au développement du modèle.

Il existe de nombreuses familles de mécanismes, de types et de structures d'horloges anciennes, selon leur époque, leur zone géographique et le savoir-faire des fabricants. Nous avons choisi d'utiliser ici un type d'horloge précis : l'horloge Comtoise, en utilisant des données historiques et des informations fournies par des experts, servant de base au diagramme. L'intégration d'interfaces interactives facilite la manipulation des modèles, où les utilisateurs peuvent appliquer diverses conditions de tests pour observer comment différentes défaillances affectent le fonctionnement de ce type d'horloge.

Un autre aspect de cette méthode est la mise en place d'une banque de fichiers audio MP3 des sons émis par les horloges lorsqu'elles présentent des défaillances dues à divers facteurs qu'ils soient isolés ou combinés. Ces défaillances acoustiques, peuvent être plus facilement identifiées par les utilisateurs en comparant le son émis par l'horloge et les bandes audios présentes dans la base de données.

Même si l'idée de la plateforme n'est pas de fournir des mises à jour en temps réel, le diagramme fournit une représentation exhaustive des défauts de l'horloge Comtoise afin qu'elle soit bien à jour. Il sera donc possible d'examiner et d'interagir avec des jumeaux numériques\* de l'horloge dans un environnement virtuel collaboratif. Cela permet à des experts de différents endroits d'examiner le même modèle numérique et de discuter des problèmes ou des solutions sans avoir besoin de l'objet physique à portée de main pour diagnostiquer les défauts. Cette méthode sera donc validée dans des cas d'étude où, à l'aide du diagramme UML et de ses chapitres détaillés, le comportement du système peut être observé après la programmation proprement dite.

Nous espérons qu'au terme de cette étude, nous aurons contribué à la littérature sur l'application des jumeaux numériques à la maintenance, ainsi qu'à la préservation des connaissances, dans des contextes qui transcendent la fabrication et la production industrielle, explorant leur potentiel dans des domaines qui nécessitent une combinaison de précision technique et d'appréciation historique. Ce travail pose également une base pour de futures recherches sur l'application de la réalité virtuelle et numérique dans la préservation d'autres formes de patrimoines mécanique, artistique et culturel.

\* Un jumeau numérique est une représentation virtuelle à l'identique d'un objet réel.

# GRARI MANEL

Etudiant

**Nom** : GRARI

**Prénom** : MANEL

**Email** : Manel.Grari@grenoble-  
inp.org

Soutenance

**Date** : 28/06/2024

**Heure** : 09:00

**Lieu** : F217

Tuteur

SIMEU Zineb

Entreprise

LABORATOIRE G-SCOP  
46 avenue Felix Viallet - 38000 GRENOBLE - FRANCE

DESCRIPTIF DE LA MISSION

Gestion de l'obsolescence lors des actions de maintenance d'un système de production dans un contexte d'économie circulaire

RESUME DU STAGE

Gestion de l'obsolescence lors des actions de maintenance d'un système de production dans un contexte d'économie circulaire

# GÜRSES YASMIN

Etudiant

**Nom :** GÜRSES

**Prénom :** YASMIN

**Email :**  
Yasmin.Gurses@grenoble-inp.org

Soutenance

**Date :** 28/06/2024

**Heure :** 08:00

**Lieu :** F217

Tuteur

MANGIONE Fabien

Entreprise

G-SCOP  
46, avenue Félix Viallet - 38031 GRENOBLE CEDEX 1 - FRANCE

DESCRIPTIF DE LA MISSION

Mesure de la circularité dans la supply chain des batteries automobiles

RESUME DU STAGE

Le passage vers la durabilité est de plus en plus motivé par des préoccupations environnementales et la nécessité urgente de réduire les empreintes carbone. L'amélioration des infrastructures de recharge et les innovations dans les technologies à faible émission de carbone ont intensifié l'électrification des transports, conduisant à une augmentation des ventes de véhicules électriques. Alors que des batteries efficaces et durables sont nécessaires pour alimenter ces véhicules, la Commission européenne souligne les implications géopolitiques, environnementales et sociales de l'approvisionnement en métaux stratégiques pour les batteries, dont l'extraction reste coûteuse et complexe. Cette croissance rapide présente toutefois des défis importants, notamment l'augmentation de la demande en matières premières essentielles à la production de batteries. De plus, les problèmes environnementaux compliquent encore davantage les chaînes logistiques. Par conséquent, pour garantir une croissance durable et respectueuse de l'environnement dans le secteur des véhicules électriques, il est essentiel de mettre en place une chaîne logistique durable et efficace pour répondre aux besoins en matières premières, tout en développant des stratégies appropriées pour la fin de vie des produits.

Le principe de l'économie circulaire consiste à optimiser l'utilisation de ressources, à réduire les déchets, et à promouvoir une consommation responsable. Le concept de circularité émerge comme un cadre crucial pour atteindre ces objectifs et le recyclage soutient une économie circulaire en réduisant les déchets mis en décharge, diminuant ainsi la dépendance aux matières premières et l'impact environnemental de l'extraction des ressources. L'intérêt mondial croissant pour l'économie circulaire suscite des recherches visant à évaluer la circularité par le développement d'indicateurs de circularité. Étant donné que les outils et indicateurs existants ne suffisent pas à eux seuls à évaluer pleinement tous les impacts de l'économie circulaire, une évaluation holistique nécessite l'intégration des dimensions environnementales, économiques, sociales et techniques. Ensuite, l'approche du cycle de vie est nécessaire pour comprendre la circularité tout au long du cycle de vie du produit, depuis l'extraction des matières premières jusqu'aux stratégies de fin de vie. Ainsi, spécifiquement pour les batteries automobiles, de nouvelles méthodes sont nécessaires pour soutenir la conception et le développement d'une chaîne logistique circulaire. En outre, les principes génériques des chaînes logistiques circulaires doivent être adaptés aux exigences spécifiques des batteries de véhicules électriques.

L'objectif de cette étude est donc d'évaluer la circularité au sein de la chaîne logistique des batteries automobiles dans le contexte de l'économie circulaire. Les questions de recherche suivantes émergent : (QR1) Quels pourraient être les indicateurs de la chaîne logistique circulaire pour la fabrication de batteries de véhicules électriques lors de la phase de conception de la chaîne logistique ? (QR2) Dans quelle mesure la chaîne de processus peut-elle être spécifique pour la production de véhicules électriques ? (QR3) Quels sont les différents scénarios et données nécessaires pour calculer la circularité dans la chaîne logistique des batteries automobiles ?

Pour répondre à la première question de recherche, une revue de la littérature sur les indicateurs de circularité et les chaînes logistiques circulaires a été réalisée, permettant d'identifier les relations, les limites et les lacunes de ces indicateurs. Cette recherche a abouti à l'analyse des indicateurs existants et à leur combinaison avec des outils complémentaires dans le but de développer une perspective holistique. Afin de soutenir la phase de construction de la chaîne logistique, un modèle complet pour mesurer la circularité est construit, comparant diverses initiatives d'économie circulaire. Dans le cadre de ce projet, le modèle a été déployé au contexte de la batterie automobile. Le modèle partant de l'extraction des matières premières nécessaires à la production des batteries et progressant jusqu'à la fin de vie, prend en compte des scénarios de recyclage afin de fermer la boucle ouverte du « prendre-faire-jeter » dans le modèle linéaire conventionnel et de le changer au « faire-utiliser-recycler » en modèle circulaire en aussi permettant de combiner plusieurs activités de circularité. Le calcul peut être étendu à l'intégration de plusieurs catégories d'impact et permet de quantifier la différence entre les modèles linéaires et circulaires. Ensuite, afin d'observer les niveaux de perturbations sur la chaîne, une analyse des systèmes de production des batteries automobiles a été faite, et une chaîne de processus au niveau des matériaux est construite pour comprendre les défis et les perturbations de la chaîne logistique. Pour observer dans quelle mesure les disparités dans le cycle de vie des matériaux influencent la production, une étude a été menée spécifiquement sur le lithium. Elle a révélé la multiplicité des paramètres impliqués, depuis l'extraction du matériau jusqu'à sa contribution à la fabrication des batteries et à leur utilisation. De plus, pour aborder la troisième question et mettre en œuvre le modèle élaboré en réponse à la première question, l'analyse du cycle de vie (ACV) a été utilisée comme outil pour mesurer la circularité. L'indicateur de circularité, basé sur l'indicateur

global de circularité, sert de cadre conceptuel, tandis que l'ACV fournit des données pour calculer la circularité des différentes étapes de la chaîne logistique.

Par conséquent, le modèle conçu est adaptable à tous les secteurs et à toutes les étapes d'un processus de production bien que cette étude se concentre sur le scénario des batteries électriques. Ensuite, le modèle offre la possibilité d'explorer différents scénarios en ajustant les données, dans le but de créer une étude multidimensionnelle qui intègre à la fois un indicateur de circularité et une analyse du cycle de vie. Cette approche offre aux décideurs des perspectives stratégiques pour atteindre des impacts significatifs sur la chaîne logistique en prenant des mesures vers un développement environnementale et en identifiant quand un impact significatif sur la chaîne logistique peut être atteint.

# KAMOUN OUSSAMA

Etudiant

**Nom :** KAMOUN

**Prénom :** OUSSAMA

**Email :**  
Oussama.Kamoun@grenoble-  
inp.org

Soutenance

**Date :** 28/06/2024

**Heure :** 13:30

**Lieu :** F217

Tuteur

SYLLA Abdourahim

Entreprise

NTN-SNR  
1 Rue des Usines - 74010 ANNECY CEDEX - FRANCE

DESCRIPTIF DE LA MISSION

Prescriptive maturity model for integrating a digital twin into a manufacturing line

RESUME DU STAGE

Vers un jumeau numérique d'une ligne de production pour la réduction des temps d'arrêts planifiés  
G-SCOP /NTN Europe

Encadrants scientifiques : Abdourahim Sylla et Frédéric Noël

Encadrant entreprise : Frederic Guerre-Chaley

Mots clés : Réduction de temps d'arrêts planifiés, Jumeau numérique, Simulation à événement discret, Analyse de données, étude de cas industrielle.

Résumé

Le concept de « Jumeau Numérique (JN) » présente un réel potentiel pour l'amélioration de l'efficacité et des performances opérationnelles des systèmes de productions [1]. Il promet une meilleure prise de décision dans des contextes industriels hautement dynamiques et incertains [2]. Dans cette perspective, cette étude explore l'intégration d'un JN à une ligne de fabrication de composants mécaniques destinés à l'industrie automobile. La problématique traitée émerge d'un cas industriel réel et porte sur la réduction des temps d'arrêts planifiés tout en améliorant la productivité et l'efficacité de la ligne. Ces interruptions sont dues à l'usure des outils dans les machines, qui ne peuvent produire qu'un nombre limité de pièces avant d'atteindre leur fin de vie.

L'intégration de JN à des lignes de production est une problématique qui suscite beaucoup l'intérêt des chercheurs [3]. L'état de l'art présenté dans [4] montre que les JN sont déjà utilisés dans différentes industries, notamment la fabrication intelligente, où ils améliorent l'efficacité de la production, réduisent les coûts et améliorent la qualité des produits et des processus. Concernant les arrêts machines, la littérature sur la maintenance prédictive et la reconfiguration des systèmes de production souligne l'importance de la planification proactive pour minimiser les temps d'arrêts [5]. Quelques travaux intègrent déjà les JN pour collecter des données « temps réel » et réaliser des analyses prédictives pour anticiper les défaillances et planifier les interventions de maintenance de manière plus efficace [2].

Nous nous inspirons de ces travaux pour développer une approche plus globale, intégrant à la fois la collecte de données « temps réel », la recommandation autonome de plannings des arrêts, l'estimation multicritère des impacts des solutions sur le système physique avant leur application et la sélection multicritère du planning le plus intéressant. Cette approche est présentée dans la Figure 1. La méthodologie de recherche combine à la fois l'exploitation de la littérature, la modélisation, la simulation, l'analyse de données et l'application des propositions à des données réelles issues d'une ligne de fabrication réelle de roulements destinés à l'industrie automobile.

Fig. 1. Description de la ligne de production.

Cette ligne de fabrication est organisée en quatre blocs distincts. Le premier bloc fig. 1 traite la bague extérieure. Le deuxième bloc fig. 1 fabrique le « moyeu ». Tandis que le troisième bloc fig. 1 fabrique la bague intérieure. Le quatrième bloc fig. 1 est l'assemblage final des composants. Chaque machine nécessite des arrêts fréquents pour changer les outils usés. Actuellement, il n'existe pas de méthode permettant de planifier ces arrêts de manière à minimiser les temps d'arrêts et maximiser la productivité de la ligne de fabrication.

L'objectif de ce projet de recherche est donc d'étudier l'influence des arrêts fréquents sur la productivité de la ligne de production et de proposer une approche à base de JN pour mieux planifier les arrêts pour les changements d'outils. Quatre problématiques scientifiques peuvent être abordées dans ce contexte. Elles sont identifiées sur la Figure 2 et sont décrites comme suit.

- La première (PBa) concerne l'extraction, le nettoyage et la transformation des données. Après réception des données de la part de notre partenaire industriel, des méthodes de nettoyage telles que la moyenne mobile et la médiane mobile tronquée ont été utilisées pour nettoyer les données. Ensuite, des connaissances expertes associées à des analyses statistiques ont permis de transformer des données brutes en données utiles exploitables.

- La deuxième problématique (PBb) consiste à construire notre modèle de simulation qui va être le réplicat de notre ligne de production physique, Les testes de synchronisation vont être sur ce modèle digital. Nous avons utilisé un logiciel de simulation à événement discret pour créer un modèle numérique de notre ligne physique. En utilisant Python, nous avons déterminé les distributions des données de production et les avons intégrées dans le modèle, que nous avons ensuite validé.
- La troisième problématique (PBc) concerne le développement de l'outil intelligent. Ici, l'idée est de développer un outil intelligent et autonome, capable de générer différents scénarios de planification des arrêts. Deux approches peuvent être exploitées : extraire des connaissances expertes et les formaliser à travers un outil capable de raisonner, ou appliquer un algorithme d'apprentissage automatique à des jeux de données pour apprendre un modèle de génération de scénario. Il faut noter que cette problématique n'est pas traitée dans le cadre de ce stage. En effet, nous faisons l'hypothèse que les scénarios sont fournis par les experts du domaine.
- Enfin, la quatrième problématique (PBd) est l'aide à la décision multi-critères. Une fois les différents scénarios générés sont évalués, il s'agira ici d'appliquer une méthode d'aide à la décision multicritère pour les classer de la meilleure à la pire ou de sélectionner l'ensemble restreint des scénarios les plus intéressants. Cette problématique n'est pas également traitée dans le cadre de ce stage.

Les résultats espérés permettront d'améliorer la disponibilité des machines et maximiser la productivité de la ligne de production.

Fig. 2. Architecture de notre jumeau numérique.

#### References

1. Macchi, M., Roda, I., Negri, E., & Fumagalli, L. (2018). Exploring the role of digital twin for asset lifecycle management. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 790-795.
2. van Dinter, R., Tekinerdogan, B., & Catal, C. (2022). Predictive maintenance using digital twins: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 151, 107008.
3. Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *Ifac-PapersOnline*, 51(11), 1016-1022.
4. Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., & Hicks, B. (2020). Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. *CIRP journal of manufacturing science and technology*, 29, 36-52.
5. van Dinter, R., Tekinerdogan, B., & Catal, C. (2022). Predictive maintenance using digital twins: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 151, 107008.

# OJEDA MENA ELIMY REBECA

Etudiant

**Nom :** OJEDA MENA

**Prénom :** ELIMY REBECA

**Email :** Elimy-Rebeca.Ojeda-Mena@grenoble-inp.org

Soutenance

**Date :** 28/06/2024

**Heure :** 11:00

**Lieu :** F217

Tuteur

DAVID Pierre

Entreprise

UNIVERSITE GRENOBLE ALPES - UGA  
Avenue Centrale 38058 - 38400 GRENOBLE - FRANCE

DESCRIPTIF DE LA MISSION

The use of emerging digital technologies for product disassembly within circular production systems

RESUME DU STAGE

Les industries sont confrontées à deux grands défis: l'évolution technologique rapide et l'adoption de pratiques durables. Il est essentiel de relever ces défis pour passer du modèle de production traditionnel ou linéaire (Prendre-Faire-Jeter), qui accroît la pénurie de ressources et l'impact sur l'environnement, à une économie circulaire.

L'économie circulaire (EC) vise à minimiser la production de déchets et à optimiser l'utilisation des ressources grâce à des cycles de vie multiples et prolongés pour les produits et les matériaux. Pour permettre la remise en état d'un produit et de ses composants, le désassemblage industriel joue un rôle fondamental, en particulier en ce qui concerne les stratégies de fin de vie. Le désassemblage des produits peut être classé en différents types : partiel ou complet, destructif ou non destructif. Le désassemblage non destructif est préconisé pour favoriser l'économie circulaire, mais ce processus rencontre plusieurs défis, tels que la complexité du processus dû aux variabilités du produit (due à sa conception, son matériau ou à son état) et de l'action de l'opérateur au sein du processus (travail manuel complexe, chronophage, inconfortable et parfois réalisé avec des erreurs). Si l'on se concentre sur cet aspect social, il existe notamment des risques pour la santé des opérateurs et concernant la conception ergonomique du poste de travail pour les travailleurs. Des recherches antérieures suggèrent que les technologies digitales émergentes (TDE), qui sont directement liées au cadre de l'industrie 4.0, offrent de nouvelles opportunités et solutions pour surmonter les contraintes du processus de désassemblage et le rendre soutenable. Cependant, elles soulignent également la nécessité de réaliser des études de cas approfondies pour comprendre l'aspect humain de l'intégration de l'Industrie 4.0 et de l'EC, de développer des outils pratiques pour aider les entreprises à surmonter les obstacles et à faciliter la transition vers l'EC, et de mettre en place un cadre global pour réaliser l'EC grâce à l'utilisation d'outils de numérisation.

Ces technologies comprennent l'intelligence artificielle (IA), la réalité augmentée (RA) et les robots collaboratifs (Cobots), entre autres. Par exemple, l'IA peut être utilisée pour détecter et récupérer des matériaux, diagnostiquer des problèmes et automatiser des procédures. La RA peut fournir aux opérateurs des informations en temps réel et des instructions précises, minimisant ainsi les erreurs et guidant un désassemblage efficace. Toutefois, il est crucial de sélectionner et d'appliquer correctement ces technologies pour exploiter leur potentiel. Une application médiocre et inappropriée des technologies peut réduire les performances des systèmes à bien des égards, notamment en termes d'ergonomie, de productivité, de performances sociales et de coûts.

L'objectif principal de cette recherche est d'explorer et d'analyser comment les technologies numériques émergentes peuvent être intégrées efficacement dans les processus de désassemblage industriel pour stimuler l'EC. La première étape pour répondre à ce besoin est donc d'identifier les critères clés qui influencent les activités de désassemblage et de développer des stratégies pour explorer l'utilité des technologies avant leur implémentation. La question globale liée à cette recherche est : comment les technologies numériques émergentes influencent-elles l'efficacité et la durabilité des processus de désassemblage des produits, et dans quelle mesure ces technologies peuvent-elles être implémentées dans le processus de désassemblage ?

La question que nous avons spécifiquement abordées dans le cadre de ce Master est :

- Comment identifier les activités critiques dans les processus de désassemblage qui pourraient bénéficier de l'application des technologies numériques émergentes ?

En se concentrant sur l'identification des critères les plus influents dans les activités de désassemblage et sur la manière dont ces technologies peuvent être intégrées efficacement dans ces processus, nous pouvons viser des processus plus soutenables, qui intègrent la préservation de la santé des opérateurs et la réduction de l'impact sur l'environnement. À cette fin, l'un des objectifs est d'évaluer différents facteurs au sein du processus, tels que les exigences physiques des tâches, les facteurs cognitifs liés aux fonctions de la tâche (raisonnement, répétition, etc.) et les risques liés à la santé humaine, à la sécurité et à l'environnement.

La méthodologie utilisée dans cette recherche est une approche mixte, combinant des méthodes quantitatives et qualitatives, et basée sur des connaissances en sciences et de l'ingénieur et en sciences humaines et sociales (en particulier l'ergonomie et la psychologie du travail). Une revue exhaustive de la littérature existante sur l'EC, le désassemblage industriel et les TDE a été réalisée pour identifier les meilleures pratiques, les défis et les opportunités. En outre, une étude de cas expérimentale et une recherche interdisciplinaire avec des experts ont été menées pour obtenir une vision holistique des facteurs influençant le processus de désassemblage et l'intégration des TDE.

Les résultats obtenus comprennent le développement d'un cadre pour identifier les critères clés et explorer les applications potentielles des technologies digitales dans le processus de désassemblage. Ce cadre, inspiré des principes de l'analyse multicritère et de l'AMDEC

(Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets et de leur Criticité), fournit un guide visuel global pour la mise en œuvre de ces technologies. En outre, une matrice de corrélation qui relie les critères identifiés aux solutions technologiques possibles a été développée.

# REZAEELYATOO AHMAD

Etudiant		
<b>Nom</b> : REZAEELYATOO	<b>Prénom</b> : AHMAD	<b>Email</b> : Ahmad.Rezaee-Elyatoo@grenoble-inp.org

Soutenance		
<b>Date</b> : 28/06/2024	<b>Heure</b> : 14:30	<b>Lieu</b> : F217

Tuteur		
SYLLA Abdourahim		

Entreprise		
UNIVERSITE GRENOBLE ALPES - UGA Avenue Centrale 38058 GRENOBLE FRANCE Grenoble - FRANCE		

DESCRIPTIF DE LA MISSION		
Application of machine learning techniques for the analysis and optimization of production performance		

RESUME DU STAGE		
<p>Cette thèse vise à résoudre le problème actuel d'augmentation du débit de production auquel est confronté notre partenaire industriel, NTN Europe, une entreprise de fabrication de roulements. Il existe un module de production pour le meulage et l'assemblage d'un produit de roulement utilisé dans les automobiles. Le module de production est illustré à la Figure 1. Ce module, dédié à la production d'un seul type de produit, comporte trois parties principales. Chaque partie est traitée sur une ligne dédiée, et finalement, les trois parties sont assemblées sur la ligne d'assemblage utilisant les machines A1 à A3. Le temps de cycle de production est court, le processus est standard et divisé en fonctions petites et uniques allouées à des machines définies; il s'agit de production en masse. Le département de production fonctionne en continu durant le mois, 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, mais les machines s'arrêtent la moitié du temps en raison de changements d'outils, de réglages, d'arrêts non planifiés, etc. Ces arrêts peuvent durer de 1 minute à plusieurs heures. Étant donné que le module est très complexe et automatisé, il y a peu d'opérateurs, ce qui rend impossible la détection manuelle des goulets d'étranglement, nécessitant ainsi des méthodes de détection basées sur les données. Le module est conçu pour être équilibré, donc les temps d'opération des machines sont très proches les uns des autres. De plus, en raison des faibles marges et de la production en masse, la détection des goulets d'étranglement tout en maintenant les ressources (par exemple, humaines, temporelles et machines) identiques pourrait entraîner des améliorations financières significatives.</p> <p>Les machines sont connectées par des convoyeurs à capacité limitée; lorsqu'une machine s'arrête, après un court laps de temps, toutes les autres machines s'arrêteront en raison de la famine en aval et du blocage en amont. Certaines machines possèdent un outil de meulage qui doit être changé périodiquement. Les outils de meulage peuvent fonctionner pendant plusieurs heures à plusieurs jours selon la machine.</p> <p>Figure 1 – Module de production</p> <p>Au total, il existe 14 méthodes de détection des goulets d'étranglement dans la littérature qui utilisent divers types de données, telles que la longueur de la file d'attente, le temps d'attente dans la file, la fréquence de famine et de blocage, le temps de famine et de blocage, le temps d'activité continu, le temps d'activité moyen, le temps d'inactivité, l'effet sur la production totale et le temps inter-départ. [Skoogh et al. (2023)]. Il y a peu de publications dans la littérature abordant les défis pratiques de la détection des goulets d'étranglement pour améliorer le débit de production [Subramaniyan et al. (2021)]. De plus, la méthode du temps inter-départ (IDT), la seule méthode applicable dans ce cas réel puisque nous n'avons que des données de type IDT, n'a pas été suffisamment développée pour faire face aux défis réels. En raison de sa dépendance à la variance des données, elle est très sensible aux erreurs dans le jeu de données. Le temps inter-départ est le temps entre les articles de travail successifs quittant chaque station dans une ligne [Betterton &amp; Silver (2012)]. La Figure 2 montre l'IDT pour une machine qui a produit trois articles; chaque donnée temporelle au format hh:mm indique un IDT ainsi que la fin du traitement d'un article. La partie non-traitement peut inclure tout type d'arrêt, soit dû à la machine elle-même (par exemple, changement d'outil ou maintenance) ou à cause d'autres machines (par exemple, arrêts courts dans chaque cycle ou arrêts longs en raison d'arrêts dans d'autres machines).</p> <p>Figure 2 – Temps inter-départ</p> <p>Lorsque vous avez le temps inter-départ, même si le débit isolé des machines est différent, la moyenne générale des temps inter-départ pour différentes machines est égale puisqu'elles doivent attendre la machine la plus lente.</p> <p>Pour combler le vide dans la littérature, nous avons développé une méthode applicable avec IDT et robuste contre les erreurs dans les ensembles de données. Désormais, vous pouvez décrire la méthode proposée, les résultats obtenus et son applicabilité et pertinence. Ensuite, vous devriez parler des limitations et des recherches futures.</p> <p>Pour comprendre la situation réelle, nous avons analysé et nettoyé les données. Grâce à des réunions hebdomadaires avec notre partenaire industriel, nous avons mieux compris les données. Le premier résultat de notre travail est un rapport décrivant les besoins de l'entreprise en termes de données supplémentaires et le type de données nécessaires pour l'application de méthodes de détection des goulets d'étranglement plus fiables. Nous montrons que la méthode IDT est très sensible aux erreurs et que de telles erreurs existent dans notre cas réel, rendant les résultats peu fiables. Le deuxième résultat est une nouvelle méthode capable de détecter la</p>		

machine la plus lente en utilisant les données IDT et qui est également robuste contre les erreurs. Nous avons réalisé que dans certaines situations, l'IDT est égal au temps d'opération isolé pour les machines, nous aidant à identifier la machine la plus lente. Lorsqu'une machine redémarre après un arrêt dû à ses propres problèmes, non à cause des autres, elle fonctionnera à son temps d'opération isolé pendant un certain temps car il y a suffisamment de pièces avant la machine et suffisamment d'espace après elle, donc la machine n'a pas besoin d'attendre la machine en goulet d'étranglement. Nous avons classé le temps en périodes de travail et de non-travail pour trouver la machine la plus lente pendant les périodes de travail.

La méthode pourrait être utile pour des horizons de temps quotidiens ou par poste, mais pas pour des périodes horaires. Pour valider notre méthode, nous prévoyons de l'appliquer à des exemples fournis par [Betterton & Silver (2012)], qui est une situation simulée avec un débit de machine spécifié, un temps entre les pannes et un temps de réparation. De plus, nous appliquerons la méthode à des données réelles pour voir si les experts valident ou non les résultats. Les travaux futurs pourraient inclure l'identification des points de changement et la prédiction du prochain goulet d'étranglement.

# VALDERRAMA GUTIERREZ MARLY FERNANDA

Etudiant

**Nom :** VALDERRAMA GUTIERREZ

**Prénom :** MARLY FERNANDA

**Email :** Marly-Fernanda.Valderrama-Gutierrez@grenoble-inp.org

Soutenance

**Date :** 27/06/2024

**Heure :** 16:30

**Lieu :** F217

Tuteur

RIEL Andreas

Entreprise

UNIVERSITE GRENOBLE ALPES - UGA  
Avenue Centrale 38058 - 38400 GRENOBLE - FRANCE

DESCRIPTIF DE LA MISSION

Transversal evaluation of a PSS model from one business area to another

RESUME DU STAGE

Actuellement, l'industrie manufacturière a de plus en plus tendance à augmenter la valeur ajoutée de son offre par la mise en œuvre du système produit-service. Ce système propose une solution hybride, par la combinaison de produits tangibles et de services intangibles qui répondent aux besoins déterminés par le client. Le développement de ce système inclut la servitisation comme objectif stratégique, puisqu'elle permet de fournir des solutions plus complètes visant la satisfaction du client.

Cependant, dans l'environnement industriel, l'application des modèles commerciaux de PSS reste ambiguë. Dans le cas des entreprises manufacturières, le manque d'informations entrave le transfert efficace de la servitisation. La gestion des risques, la réorganisation du modèle d'entreprise, les nouveaux objectifs stratégiques et la gestion des clients externes et internes sont quelques-uns des obstacles auxquels l'industrie est confrontée. L'hypothèse initiale de la présente recherche suggère que les défis inhérents à la transition vers un PSS sont réduits par le transfert, au sein de la même entreprise, des ressources, des capacités et des compétences d'un secteur de services vers un autre où elle opère avec un modèle d'entreprise traditionnel axé sur les produits. La littérature actuelle ne mentionne pas de méthodologie pour gérer le transfert interne d'un modèle de PSS au sein d'une même entreprise. Afin de soutenir la tâche critique de prise de décision sur la viabilité de la stratégie organisationnelle adoptée, il est nécessaire d'étudier comment évaluer la performance du processus de transition au sein de l'entreprise. La question principale de la présente recherche est donc la suivante : Comment évaluer qualitativement et quantitativement la transférabilité du modèle d'entreprise PSS d'un domaine à l'autre ?

Le cadre de recherche proposé est le résultat de l'adaptation de méthodologies existantes qui, combinées, apportent une réponse à la question de recherche. Initialement, une analyse systématique de la littérature a été réalisée en utilisant la méthode PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Une analyse des références croisées de la littérature a été utilisée pour définir les critères d'évaluation à prendre en compte dans la transition. Le Business Model Canvas (BMC) a été utilisé dans des recherches antérieures pour le développement et l'analyse de nouveaux modèles commerciaux de PSS. L'adoption de cette approche réduit la complexité de la compréhension de la gestion des ressources et des capacités de l'organisation pour mettre en œuvre la stratégie de servitisation requise dans les PSS. Dans ce cadre, 8 des 9 champs du BMC sont utilisés pour l'analyse. Les champs utilisés dans la méthodologie sont les suivants : Segment de clientèle, proposition de valeur, flux de bénéfices, canaux, relations avec les clients, activités clés, ressources clés et alliés clés. L'établissement d'un lien entre les critères et le BMC permet de comprendre de manière plus globale comment l'entreprise adapte sa stratégie, ses opérations et ses processus aux performances du PSS. Les critères sont utilisés pour évaluer le potentiel du transfert de business model (BM) en termes d'exigences pour le développement du PSS. Les sous-critères sont établis pour homogénéiser les différents paramètres présents dans chaque critère, ce qui permet de caractériser et de différencier chaque PSS en tant que BM dans les scénarios industriels.

L'instrument proposé pour l'évaluation qualitative est une adaptation de la boîte morphologique proposée par Lay en 2009. Le présent cadre de recherche adapte cette méthode graphique pour évaluer qualitativement les performances d'une organisation en termes de ressources et de capacités. Cet outil permet de mieux comprendre une organisation en représentant graphiquement le lien entre les caractéristiques du modèle d'entreprise. Il est utilisé pour évaluer la reproductibilité d'un modèle de PSS d'un département à l'autre de la même entreprise. Les critères sont placés par rapport au domaine du BMC auquel ils appartiennent, en profitant de l'approche interdisciplinaire donnée par le BMC pour l'analyse du BM. Les sous-critères représentent les configurations possibles de chaque critère par rapport aux ressources et aux composants du BM. Une barre de pourcentage est introduite lorsqu'un critère comporte plus d'un sous-critère au cours de l'étude. La méthode pour l'évaluation quantitative des critères d'évaluation est le QFD, reconnu pour sa large application dans la conception des PSS. Cette recherche propose d'étendre son utilisation initiale dans la conception de PSS pour l'employer dans l'analyse quantitative des critères pendant le transfert. Cet outil permet de visualiser de manière compréhensible l'impact des ressources et des compétences disponibles dans le BM par rapport aux exigences du client (CR). En outre, il réduit la complexité de l'analyse de la reproductibilité de la banque de services, car il permet de hiérarchiser la satisfaction des exigences du client dans la banque de services qui recevra le transfert.

Cette recherche a été appliquée pour évaluer la transférabilité potentielle du modèle commercial "Pay per unit of service" dans le domaine des compresseurs d'air au domaine de l'eau dans une entreprise française. Les résultats obtenus dans l'étude de cas avec l'évaluation du transfert du BM au sein de la même organisation démontrent que le cadre est applicable dans des contextes industriels. Son application est un exemple de l'analyse comparative, qui permet d'établir la faisabilité de la reproductibilité de la configuration du PSS. Toutefois, les résultats peuvent varier lors du transfert entre deux organisations différentes. Il est nécessaire d'étendre la partie pratique des outils à d'autres secteurs industriels, en analysant les ressources et les compétences requises pour le fonctionnement de chaque BM. Enfin, le transfert d'un PSS au sein d'une même organisation ne garantit pas le succès absolu de la transition. La gestion des ressources, des capacités et des compétences d'un BM est le reflet de la stratégie adoptée. L'analyse de la manière dont la culture organisationnelle peut affecter la reproductibilité de la stratégie de servitisation dans les modèles d'entreprise fait partie des recherches futures.

# ZAHMATKESH DARIUSH

Etudiant

**Nom :** ZAHMATKESH

**Prénom :** DARIUSH

**Email :**  
Dariush.Zahmatkesh@grenoble-  
inp.org

Soutenance

**Date :** 27/06/2024

**Heure :** 14:30

**Lieu :** F217

Tuteur

DI MASCOLO Maria

Entreprise

GRENOBLE ALPES UNIVERSITY - UGA  
Avenue Centrale 38058 GRENOBLE FRANCE - 38058 GRENOBLE - FRANCE

DESCRIPTIF DE LA MISSION

Scheduling operating rooms with balanced sterilization activity

RESUME DU STAGE

Dariush Zahmatkesh Master in Industrial Engineering  
Operations Research Management

Operating Room Scheduling with Balanced Sterilization Activities

Laboratoire /Entreprise d'accueil de stage :GSCOP

Encadrant(s) :  
Dr. Maria Di Mascolo, G-SCOP, Grenoble INP, Uni. Grenoble Alpes, France  
Dr. Aida Jebali, SKEMA Business School, Paris, France

Keywords. Surgery Scheduling, Sterilization, Mathematical Programming, Optimization, Simulation.

Summary

Introduction

Hospitals worldwide rely heavily on operating rooms (ORs) for revenue, with surgical efficiency being critical to financial performance. Efficient OR utilization hinges on the timely sterilization of Reusable Medical Devices (RMDs), essential for preventing delays and reducing costs. Despite its importance, the integration of sterilization activities within OR scheduling is underexplored. This report introduces a mathematical model designed to optimize OR scheduling while minimizing RMD volume variability to the Sterilization Unit (SU), thereby enhancing both OR and SU performance.

Literature Review

The literature review systematically examined existing research on OR scheduling and sterilization activities, identifying significant advancements and gaps. Key findings highlight the importance of integrating sterilization processes into OR scheduling to enhance efficiency and patient care. Despite extensive research on OR scheduling and SU optimization, few studies effectively combine both. The review categorized 39 selected articles into four main sections: literature review articles, SU activities, OR scheduling with resource capacities, and integrated SU and OR scheduling. It emphasized the need for comprehensive models that balance the flow of RMDs between ORs and SUs, suggesting that such integration can reduce costs, improve resource utilization, and prevent surgical delays. This study aims to address these gaps by developing models that ensure a balanced flow of RMDs and incorporate clean inventory management, ultimately enhancing hospital operations.

Research Context and Questions:

In the limited literature on integrating sterilization unit (SU) activities with operating room (OR) scheduling, no studies have proposed a method to create a balanced flow of sterilized instruments between ORs and SUs to enhance the efficiency of both units. Our research addresses this gap by developing a comprehensive approach to OR scheduling that not only establishes a balanced flow of reusable medical devices (RMDs) from ORs to SUs throughout the planning horizon but also incorporates sterilization activities by proposing a closed-loop scheduling system. This system considers the availability of clean RMDs after sterilization for subsequent surgeries. We aim to contribute to the literature by providing a comprehensive approach to operating room scheduling that considers the critical aspect of sterilization activities, thereby improving the efficiency and effectiveness of healthcare institutions by answering two main research questions: (1) How does OR scheduling allow to balance the demand addressed to SU using mathematical modeling and optimization methods? (2) What is the impact of balancing the demand addressed to the SU during the day on the performance of the OR and the SU?

### Research Methodology

Our approach is an optimization-based method, using mathematical programming models and algorithms to find the most efficient OR scheduling solutions. The Prime Model Focuses on balancing RMD flow to the SU. It is inspired by methodologies in our referenced papers addressing surgical scheduling and sterilization constraints, and more specifically Al Hasan et al. [37] and Coban [6]. Al Hasan et al. [37] employed a robust rolling horizon approach to account for uncertainties in surgery duration and potential delays in the sterilization of surgical instruments. In our research, their model has been extended in order to include the balancing, over the course of the day, of the amount of RMDs flowing from the operating rooms to the sterilization units. Furthermore, Coban [6] proposed a deterministic model for daily OR and SU scheduling, analyzing the effect of considering clean and sterilized inventory of RMDs on costs of sterilization, postponement of surgeries, and makespan and providing policy insights through computational experiments. Her work has been extended to integrate OR scheduling and SU scheduling while ensuring a balanced flow of RMDs from the ORs to the SU in each period of any day of the planning horizon. The Closed-loop Model, based in the later reference, integrates the availability of sterilized and clean RMDs into OR scheduling.

### Experimental Results and Discussion

The models were tested using a case study of a healthcare complex comprising a public teaching hospital and a Medical Research Center. The hospital has various surgical units and a central SU equipped with autoclaves.

#### Findings:

- The proposed models demonstrated improvements in OR and SU performance compared to current practices.
- The Prime Model effectively balanced RMD flow to the SU, enhancing sterilization predictability.
- The Closed-loop Model further optimized scheduling by incorporating clean inventory management, ensuring timely availability of RMD kits.

These improvements suggest that integrating sterilization activities into OR scheduling can significantly enhance hospital efficiency, reduce costs, and improve patient care.

### Conclusion

This study presents a comprehensive approach to OR scheduling, integrating sterilization activities to balance RMD flows and optimize resource utilization. The proposed models demonstrate significant improvements over existing practices, highlighting the importance of considering sterilization in OR scheduling. Future research could explore further refinements to these models and their application in different healthcare settings to validate their effectiveness and adaptability.