

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie Industriel

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Industriel option
Management Industriel

Conception d'outils digitaux pour le contrôle et
l'optimisation de la flotte logistique domestique au sein
de SLB.

BELLAMARI Hani & SIDHOUM Raihane

Sous la direction de :

Dr. ZOUAGHI Iskander ENP & BENKERROU Ramtane SLB

Présenté et soutenu publiquement le (09/07/2024)

Composition du jury :

Président :	BOUKABOUS Ali	ENP
Promoteur :	ZOUAGHI Iskander	ENP
Examinatrice :	BELDJOUDI Samia	ENP
Invité :	BENKERROU Ramtane	SLB

ENP 2024

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie Industriel

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Industriel option
Management Industriel

Conception d'outils digitaux pour le contrôle et
l'optimisation de la flotte logistique domestique au sein
de SLB.

BELLAMARI Hani & SIDHOUM Raihane

Sous la direction de :

Dr. ZOUAGHI Iskander ENP & BENKERROU Ramtane SLB

Présenté et soutenu publiquement le (09/07/2024)

Composition du jury :

Président :	BOUKABOUS Ali	ENP
Promoteur :	ZOUAGHI Iskander	ENP
Examinatrice :	BELDJOUDI Samia	ENP
Invité :	BENKERROU Ramtane	SLB

ENP 2024

ملخص

شركة أس أل بي من الشركات الخدمية التي تلعب دوراً حيوياً في صناعة النفط والغاز. يهدف هذا العمل إلى تحسين أداء اللوجستيات المحلية من خلال ثلاث مراحل: تحليل شامل للوجستيات المحلية في أس أل بي، مراجعة المفاهيم النظرية المتعلقة بتحسين اللوجستيات، وتصميم أدوات رقمية لإدارة أفضل للأسطول. بعد الغوص في الأنشطة في حاسبي مسعود، حددنا العمليات الحرجة واقترحنا حلولاً لتحسين عمليات التحميل/التفريغ باستخدام محاكاة مونت كارلو لتحقيق جدول زمني أمثل.

الكلمات المفتاحية: بوابة رقمية، تحميل/تفريغ، ميتاهوريستيك، مونت كارلو.

Abstract

SLB is a service company playing a crucial role in the oil and gas industry. This work aims to improve the performance of domestic logistics in three parts : an in-depth analysis of domestic logistics at SLB, a review of theoretical concepts related to logistics optimization, and the design of digital tools for better fleet management. After an immersion in Hassi Messaoud, we identified critical processes and proposed solutions to optimize loading/unloading operations, using Monte Carlo simulations for optimal scheduling.

Keywords : Digital Portal, Loading, Offloading, Metaheuristics, Monte Carlo.

Résumé

SLB est une entreprise de services pétroliers jouant un rôle crucial dans l'industrie. Ce travail vise à améliorer la performance de la logistique domestique en trois parties : une analyse approfondie de la logistique domestique chez SLB, une revue des concepts théoriques liés à l'optimisation logistique, et la conception d'outils numériques pour une meilleure gestion de flotte. Après une immersion à Hassi Messaoud, nous avons identifié les processus critiques et proposé des solutions pour optimiser les opérations de chargement/déchargement, utilisant des simulations Monte Carlo pour un ordonnancement optimal.

Mots clés : Portail digital, Chargement, Déchargement, Métaheuristique, Monte Carlo.

Remerciements

Au tout début, nous tenons à remercier Dieu le tout-puissant, source de toute force, en qui nous avons cru et qui nous a donné la force pour mener à bien notre travail.

*Nous adressons nos plus vifs remerciements à **Dr Iskander Zouaghi** pour les conseils qu'il nous a prodigués et pour nous avoir guidés dans la réalisation de notre travail.*

*Nous présentons nos profonds remerciements et notre reconnaissance à notre promoteur au niveau de l'entreprise, **M. Ramtane Benkerrou**, pour nous avoir accordé de son temps et nous avoir orienté et accompagné tout au long de ce projet.*

Nous tenons à remercier également l'ensemble des enseignants du Département Génie Industriel auxquels nous devons notre formation d'ingénieur.

*Nous remercions sincèrement **Zakaria Meguellati**, pour sa présence et sa disponibilité, ainsi que toute l'équipe de la logistique domestique et l'équipe de SLB pour leur chaleureux accueil et leur aide.*

Nous remercions les membres du jury de nous faire l'honneur d'évaluer notre travail.

Hani et Raihane.

Table des matières

Liste des tableaux	v
Table des figures	v
Liste des acronymes	v
Introduction générale	10
1 État des lieux	12
1.1 Secteur d'activité	12
1.2 Présentation générale de SLB	15
1.3 La supply chain de SLB	19
1.3.1 Organisation de la supply chain de SLB	19
1.3.2 La logistique domestique chez SLB	20
1.3.3 Le processus de la logistique domestique	22
1.4 Diagnostic et formulation de la problématique	23
1.4.1 Dysfonctionnements dans le processus de la logistique domestique	24
1.4.2 Formulation de la problématique	33
2 Etat de l'art	36
2.1 Les activités de chargement et déchargement dans le contexte de l'industrie O&G	36
2.1.1 Particularités des opérations de chargement et déchargement	37
2.1.2 Optimisation et Efficacité des Opérations de Chargement/Déchargement	38
2.1.3 Stratégies et Technologies pour Réduire la Perte de Temps	40
2.1.4 Actions Correctives, Mise en Œuvre et Évaluation	42
2.2 Evolution et Tendances de la Logistique Numérique	44

2.2.1	Technologies de Suivi en Temps Réel	45
2.2.2	Applications Mobiles et Portails Numériques dans le Contexte de l'Indus- trie O&G	48
2.3	Méthodes et Programmes Utilisés pour la Simulation et l'Optimisation des Événements Logistiques	51
2.3.1	Simulation et Optimisation	52
2.3.2	Utilisation des Métaheuristiques en optimisation	54
2.3.3	Méthodes de Monte Carlo	57
3	Contribution	61
3.1	Étude des pertes de temps à MD1 :	62
3.1.1	Définitions des événements de l'opération	63
3.1.2	L'analyse	64
3.1.3	Causes racines et actions correctives	73
3.2	Conception de la Solution Numérique	82
3.2.1	Application mobile	82
3.2.2	Le Portail digitale	84
3.2.3	Création du programme d'ordonnancement	84
	Conclusion générale	94
	Bibliographie	96
A	Depot GIT contenant l'ensemble des fichiers	103
B	Code Niveau 1	104
C	Code Niveau 2	108
D	Tableau des distributions	114

Liste des tableaux

3.1	Distribution des événements logistiques	65
3.2	Actions correctives et suggestions d'implémentation	74
3.3	Description des différentes étapes logistiques	80
3.4	Comparaison des résultats entre l'étude et la simulation Monte Carlo	87
3.5	Distribution des événements logistiques	88
3.6	Table de complexité	92
4.1	Metrics data by hour and category	114

Table des figures

1.1	L'impact du COVID-19 sur la production de pétrole aux États-Unis et en Russie[1]	12
1.2	La part de l'OPEP dans les réserves mondiales de pétrole brut, 2022 [2]	13
1.3	Les leaders du marché des services pétroliers[3]	14
1.4	L'évolution du prix de brent au fil des années[4]	14
1.5	Organisation des Bassins et GeoUnits de SLB - SLB 2022	16
1.6	Organisation des Bassins et GeoUnits de SLB - SLB 2022	18
1.7	Répartition des installations de SLB Algérie	19
1.8	Représentation des processus de la supply chain chez SLB [5]	20
1.9	Représentation de l'organisation de l'équipe logistique domestique	21
1.10	Processus des opérations de chargement et déchargement	22
1.11	Approche d'analyse des dysfonctionnements et de recherche de problématiques	24
1.12	Représentation du pourcentage d'anomalies à chaque étape du processus	25
1.13	Le Pareto des obstacles identifiés dans le processus	26
1.14	Représentation des 5 pourquoi pour les étapes retenues	26
1.15	Représentation des causes racines, de leurs responsables et de leurs impacts	28
1.16	Le cycle de mouvement de la flotte de la logistique domestique	29
1.17	Le processus des opérations de chargement et déchargement	30
1.18	Les conséquences directes et indirectes des causes racines	31
1.19	L'évaluation des ressources procédée	32
2.1	Composantes d'un système télématique	47
2.2	Diagramme des étapes du Recuit Simulé	55
2.3	Fonctionnement de la Recherche Tabou	56
3.1	Méthodologie de travail	61

3.2	Distribution horaire des camions	64
3.3	Analyse des Causes de Perte de Temps	65
3.4	Diagrammes de distribution de la fréquence des événements	66
3.5	Zones de chargement - MD1	68
3.6	Circuit de maintenance - MD1	69
3.7	Zone grue - MD1	70
3.8	zones du matériel TST - MD1	71
3.9	Les causes racines de chaque événement	73
3.10	L'écart type de chaque événement	78
3.11	Représentation de la moyenne et de l'écart type de chaque événement	78
3.12	La matrice de corrélation	79
3.13	Captures illustrantes le fonctionnement de l'application	83
3.14	Graphe de distribution des simulations d'opérations	87
3.15	Captures d'écran de l'exécution du programme - Terminale	90
3.16	Captures d'écran de l'exécution du programme - Graph	90

Liste des acronymes

- **ABS** : Agent-Based Simulation
- **ABM** : Agent-Based Modeling
- **AGV** : Automated Guided Vehicle
- **AHP** : Service Level Agreement
- **API** : American Petroleum Institute
- **BL** : Business Line
- **BPMN** : Business Process Model and Notation
- **COPS** : Compagnie d'Opérations Pétrolières Schlumberger
- **DES** : Discrete Event Simulation
- **DI** : Digital Integration
- **DL** : Domestic Logistic
- **ETA** : Estimated Time of Arrival
- **ETD** : Estimated Time of Departure
- **FLM** : Field Logistics Module
- **GES** : Gaz à Effet de Serre
- **GPS** : Global Positioning System
- **HSE** : Health, Safety, and Environment
- **IID** : Instruction to Invoice Document
- **K-S** : Kolmogorov-Smirnov
- **MCDA** : Multi-Criteria Decision Analysis
- **NAF** : North Africa
- **OG** : Oil and Gaz
- **OPEC** : Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole
- **PL** : Product Lines
- **PnSC** : Planning Supply Chain
- **PS** : Production Systems
- **RCA** : Root Causes Analysis
- **RFID** : Radio Frequency Identification
- **RP** : Reservoir Performance
- **SIG** : Système d'Information Géographique
- **SPS** : Service Pétrolier Schlumberger
- **TMS** : Transportation Management System
- **TLM** : Technologie Lifecycle Management
- **TOPSIS** : Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
- **TR** : Transport request
- **WC** : Well Construction
- **WMS** : Warehouse Management System
- **WPM** : le Modèle de Produit Pondéré

Introduction générale

Dans l'industrie pétrolière et gazière, les entreprises de prestation de service occupent une place essentielle dans le processus d'exploration, de production et de gestion des ressources énergétiques. Spécialisées dans ce domaine, elles fournissent une vaste gamme de services techniques, technologiques et opérationnels aux acteurs de l'industrie, contribuant ainsi de manière significative à l'efficacité et à la rentabilité des opérations pétrolières et gazières à travers le monde.

Ce secteur occupe une place très importante dans l'économie mondiale en fournissant une source d'énergie essentielle à notre société moderne. Au sein de cette industrie, SLB se distingue comme l'une des plus grandes entreprises de services pétroliers, jouant un rôle clé dans l'exploration et la gestion des ressources énergétiques à l'échelle mondiale. Dans le but de favoriser la prospérité et l'évolution optimale de cette industrie, il est impératif que les fonctions de support, telles que la logistique et le transport, apportent leur contribution qui demeure essentielle. En combinant leur expertise et leurs solutions spécialisées, ces services de soutien contribuent à la transformation et à l'amélioration continue de l'industrie, ouvrant ainsi la voie à de nouvelles opportunités de croissance et de développement. Cependant, l'inefficacité dans le transport des équipements et des produits finis peut entraîner des retards coûteux, des pertes de productivité et des risques pour la sécurité. De plus, cela peut contribuer à une augmentation des émissions de gaz à effet de serre et à une utilisation inefficace des ressources, impactant ainsi la durabilité globale de l'entreprise. Il est donc nécessaire d'assurer un niveau d'efficacité des processus et une visibilité sur l'évolution des processus et des ressources afin de garantir une performance soutenant les fonctions principales de l'entreprise et assurant ainsi sa compétitivité sur le marché.

Dans ce contexte, SLB vise à assurer la performance et la visibilité de toutes ses opérations logistiques dans le but d'augmenter l'optimisation et la rentabilité globales du transport. Notre travail s'intéresse particulièrement à la mise en place de solutions permettant une gestion plus optimale de la flotte, en améliorant les processus clés dans les circuits de la logistique domestique et en apportant une visibilité qui permettrait de meilleures prises de décision et l'identification des opportunités d'optimisation.

Ce qui nous amène à nous poser les questions suivantes : Comment pourrait-on améliorer la performance de l'activité de la logistique domestique au sein de l'entreprise ? et comment pourrait-on assurer la visibilité de ses ressources ? Ces questions constituent le point de départ de notre investigation au sein du département, où nous nous sommes immergés dans ses activités durant notre long séjour à Hassi Messaoud. Une fois que nous avons eu une image complète du paysage logistique et des différentes parties prenantes impliquées dans les opérations de la logistique domestique (qu'elles soient internes ou externes), nous avons pu identifier les processus les plus critiques et les points d'intervention, ainsi que comprendre la direction stratégique et tactique dans laquelle SLB et l'équipe de la logistique domestique se dirigent. Cela nous a permis d'adapter notre démarche de résolution de manière dynamique pour être alignée avec ces intentions.

Notre problématique, à laquelle ce travail tente de répondre, s'énonce donc comme suit : **comment pourrait-on améliorer l'efficacité du processus de chargement/déchargement et suivre son évolution ?** Avec comme question annexe, comment assurer plus de visibilité sur la flotte logistique de l'équipe de logistique domestique ?

Nous nous sommes concentrés sur les opérations de chargement/déchargement - la partie la plus intégrale du processus de transport - et sur la base MD1 en particulier, en raison de l'importance des mouvements à cette base et de l'impact des changements de ses processus sur le chiffre d'affaires de SLB. Une fois l'étude des opérations réalisée, nous avons dégagé les causes racines et présenté des actions correctives, avant de passer à la deuxième étape de notre résolution, qui est la conception d'outils digitaux pour assurer une visibilité sur la flotte et les processus et présenter des opportunités d'optimisation des opérations.

- Le premier chapitre, **État des lieux**, contient une analyse approfondie de l'entreprise, du département de la logistique domestique et de son environnement. Nous y présenterons SLB et l'industrie du pétrole et du gaz en général, puis nous passerons au département de la logistique domestique en présentant ses différentes relations avec les autres maillons de l'entreprise. Nous ferons ensuite une analyse interne pour dégager les dysfonctionnements et les points d'action, pour finalement exposer notre problématique à la lumière des résultats de l'analyse faite.
- Le deuxième chapitre, **État de l'Art**, sert à construire le cadre conceptuel et théorique de la résolution. Il traitera les notions explorées lors de notre réflexion, présentant diverses approches et outils en littérature liés à notre problématique. Nous mettrons en contexte les concepts liés au chargement/déchargement et présenterons diverses méthodes d'optimisation de ces opérations, ainsi que des stratégies et technologies pour réduire la perte de temps, détecter les causes racines, et évaluer et mettre en œuvre les actions correctives. Nous passerons ensuite à une étude sur la logistique numérique et les technologies liées au suivi en temps réel et à la conception des applications mobiles et portails numériques. Enfin, nous fournirons le cadre théorique pour le programme d'optimisation créé, combinant la puissance des métaheuristiques et des simulations Monte Carlo.
- Le troisième chapitre, **Contribution**, présente notre tentative de résolution. La première partie concerne l'opération de chargement/déchargement, les résultats de notre récolte de données, ainsi que notre analyse et observations pour ensuite identifier les causes racines et présenter des actions correctives et des suggestions d'implémentation. Nous finissons cette partie par l'application de la méthode TOPSIS pour présenter aux décideurs des recommandations sur les actions prioritaires en termes d'actions correctives.
- La deuxième partie est la conception de notre solution numérique, qui combine une application mobile et un portail digital. L'application mobile sert à assurer une pérennité en termes de récolte de données et donc un suivi de l'évolution des opérations, permettant d'évaluer l'impact des actions correctives. Le portail collectera ces données et les présentera à l'équipe de la logistique domestique. Il permettra également de suivre l'ensemble de la flotte logistique et de présenter des ordonnancements pour les opérations journalières de chargement/déchargement. Cette dernière partie se fait via une métaheuristique qui utilise les simulations Monte Carlo comme fonction objective afin d'assurer que l'ordonnement est optimal compte tenu de l'état de la base et des anomalies qui peuvent survenir.

Chapitre 1

État des lieux

Dans ce chapitre, nous allons explorer l'entreprise SLB en présentant ses aspects généraux. Nous commencerons par offrir un aperçu global de cette entreprise, en mettant en lumière ses activités principales, son historique et sa position sur le marché. Ensuite, nous approfondirons notre analyse en examinant certains éléments clés qui nous ont permis de identifier la problématique principale. Et enfin, nous allons pouvoir expliciter la problématique qui fait l'objet du présent travail.

1.1 Secteur d'activité

Le marché mondial du pétrole

Le marché mondial du pétrole, en tant que pilier essentiel de l'économie mondiale, soutient une vaste gamme d'industries incluant la production d'électricité, les transports, ainsi que la fabrication de produits chimiques et plastiques. Cette importance est amplifiée par une demande croissante et une offre parfois restreinte, rendant le marché sujet à des fluctuations notables. Ces dernières années, la volatilité a été exacerbée par l'essor de la production de pétrole de schiste aux États-Unis et par les impacts économiques de la pandémie de COVID-19, qui ont significativement réduit la demande de pétrole sur le marché mondial [6].

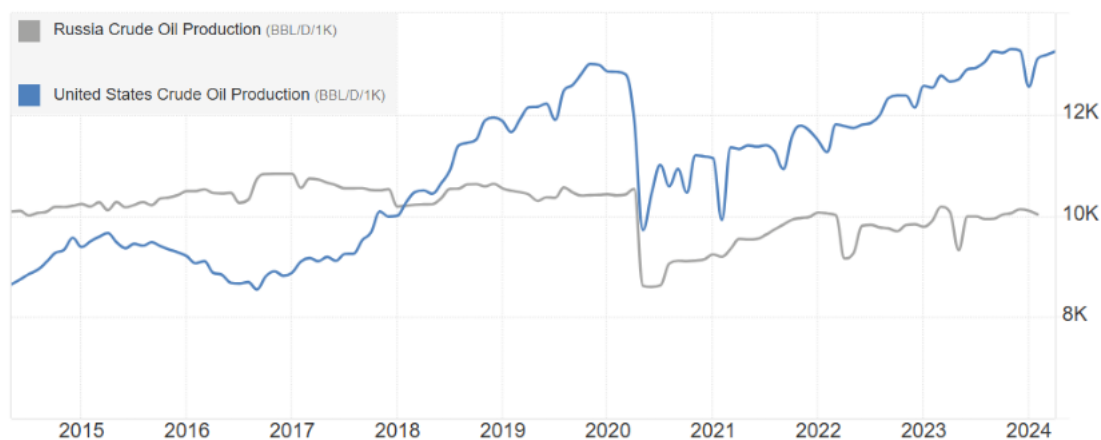


FIGURE 1.1 – L'impact du COVID-19 sur la production de pétrole aux États-Unis et en Russie[1]

Dans ce contexte, l'Organisation des pays exportateurs de Pétrole (OPEP) joue un rôle central

dans la régulation de ce marché complexe. Fondée en 1960, l'OPEP regroupe aujourd'hui 13 pays membres représentant environ un tiers de la production mondiale de pétrole. Son objectif principal est de stabiliser les prix en coordonnant la production de ses membres. En 2021, la production mondiale de pétrole s'élevait à 4 221,4 millions de tonnes, avec une contribution significative des membres de l'OPEP ainsi que des principaux producteurs tels que les États-Unis, la Russie et l'Arabie Saoudite [7].

L'OPEP exerce un pouvoir considérable sur le marché mondial du pétrole en raison des vastes réserves de pétrole détenues par ses pays membres. Ces réserves représentent une part significative des ressources mondiales de pétrole, permettant à l'OPEP de jouer un rôle clé dans la détermination de l'offre mondiale de pétrole. En coordonnant les politiques de production de ses membres, l'OPEP peut influencer les prix du pétrole sur le marché international, stabiliser les revenus des pays producteurs et réguler les fluctuations économiques liées à l'énergie[8].

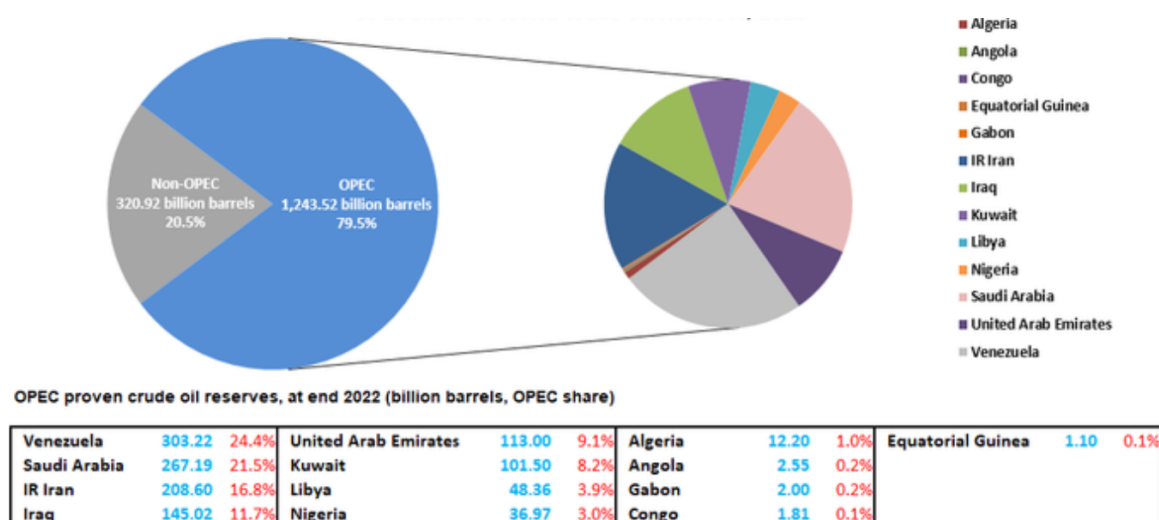


FIGURE 1.2 – La part de l'OPEP dans les réserves mondiales de pétrole brut, 2022 [2]

Les services pétroliers

Le marché des services pétroliers est essentiel pour soutenir les opérations de l'industrie pétrolière et gazière. Ces entreprises fournissent une gamme complète de prestations, depuis l'exploration initiale des gisements jusqu'à l'entretien continu des puits de pétrole et de gaz. Leur rôle est crucial dans la maximisation de l'efficacité opérationnelle et la gestion des coûts, adaptant leurs services aux fluctuations de la demande sur le marché mondial du pétrole[9].

La demande fluctuante sur le marché mondial du pétrole dicte le niveau d'activité dans le secteur des services pétroliers. Par exemple, l'augmentation prévue des dépenses en maintenance et en opérations dans ce secteur, passant de 175 milliards de dollars en 2021 à 205 milliards de dollars en 2023, reflète l'importance croissante de ces services pour garantir des opérations efficaces sur le terrain. Une gestion efficace et innovante de ces services est essentielle pour répondre aux fluctuations du marché mondial du pétrole, s'adaptant à la demande variable et aux besoins technologiques de l'industrie [10].

Le marché des services pétroliers est fragmenté. Certains des principaux acteurs du marché (sans ordre particulier) comprennent Schlumberger Limited, Baker Hughes Company, Halliburton

Company, Weatherford International PLC, et China Oilfield Services Limited [3].



FIGURE 1.3 – Les leaders du marché des services pétroliers[3]

En réponse aux défis et aux opportunités posés par le marché, les entreprises de services pétroliers ont évolué en adoptant des technologies avancées telles que la fracturation hydraulique et le forage horizontal, soutenant ainsi l'innovation continue dans le secteur. Cependant, ces entreprises doivent également faire face aux pressions économiques, comme la baisse des prix du pétrole observée entre 2014 et 2016, qui a entraîné des ajustements significatifs dans leurs modèles économiques et une intensification de leur engagement envers la durabilité environnementale.

Aujourd'hui, avec la reprise du secteur et la hausse des prix du pétrole, les entreprises de services pétroliers mettent l'accent sur l'amélioration de l'efficacité des processus pour réduire les coûts pour leurs clients. Elles innovent en proposant des solutions qui améliorent l'efficacité opérationnelle tout en restant flexibles face aux fluctuations des prix du pétrole. Cela inclut l'optimisation de la gestion des réservoirs, l'analyse des données pour identifier les zones d'amélioration et la maintenance proactive des puits pour éviter les interruptions imprévues[6].



FIGURE 1.4 – L'évolution du prix de Brent au fil des années[4]

Les entreprises du secteur des services pétroliers sont également responsables de la gestion environnementale et des déchets, veillant à éliminer correctement les déchets générés lors des opérations de forage et de production, et surveillant l'impact environnemental de leurs activités. La conformité aux réglementations environnementales strictes est cruciale, nécessitant le

respect de normes visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à promouvoir des pratiques durables. Dans un environnement où l'innovation et l'adaptabilité sont essentielles, les entreprises capables de répondre à ces exigences tout en proposant des solutions efficaces et rentables seront mieux positionnées pour prospérer[11].

De plus, l'émergence croissante des énergies renouvelables et les pressions en faveur d'une transition énergétique durable incitent les entreprises du secteur pétrolier à diversifier leurs activités en intégrant des projets liés aux énergies propres. Cette diversification vise non seulement à réduire l'empreinte carbone globale, mais aussi à assurer une résilience économique face aux fluctuations du marché des hydrocarbures. Les collaborations avec des acteurs des énergies renouvelables et les investissements dans des technologies vertes représentent des opportunités stratégiques pour ces entreprises[11].

1.2 Présentation générale de SLB

Schlumberger Limited, communément désignée sous le nom de SLB, est une entreprise multinationale opérant dans le secteur des services pétroliers et gaziers. Fondée en 1926 par les frères Conrad et Marcel Schlumberger, elle est devenue l'un des acteurs majeurs de l'industrie parapétrolière. Au fil des décennies, SLB a élargi son éventail de services et s'est imposée comme un leader mondial dans les domaines de la caractérisation des réservoirs, du forage, de la production et de la technologie numérique appliquée au secteur énergétique. L'histoire de Schlumberger remonte à 1926, lorsque les frères Schlumberger ont fondé la société à Paris sous le nom de "Société de Prospection Électrique". Depuis lors, l'entreprise n'a cessé de croître et de se diversifier, étendant ses activités à l'échelle mondiale et développant des technologies de pointe pour répondre aux besoins changeants de l'industrie. Aujourd'hui, SLB est reconnue pour son expertise technique, son engagement envers l'innovation et sa contribution significative à l'industrie pétrolière et gazière.

L'organisation de SLB

En 2020, Schlumberger a entrepris une réorganisation majeure visant à stimuler sa croissance et à s'adapter aux nouveaux défis de l'industrie. Cette initiative a abouti à une structure organisationnelle plus agile et réactive, centrée sur les besoins des clients de Schlumberger. Aujourd'hui, Schlumberger est structurée en cinq bassins géographiques, regroupant au total 30 GeoUnits. Chaque GeoUnit représente un pays ou un groupe de pays inclus dans l'un des cinq bassins suivants : Amériques terrestres, Atlantique offshore, Russie et Asie centrale, Asie, et Moyen-Orient et Afrique du Nord. Cette structure des GeoUnits offre un point de contact centralisé pour les clients au niveau local, réunissant des équipes spécialisées pour répondre aux besoins spécifiques de chaque région et fournir des solutions personnalisées. Les sites des GeoUnits sont stratégiquement positionnés pour assurer un soutien efficace et rentable aux opérations sur le terrain.

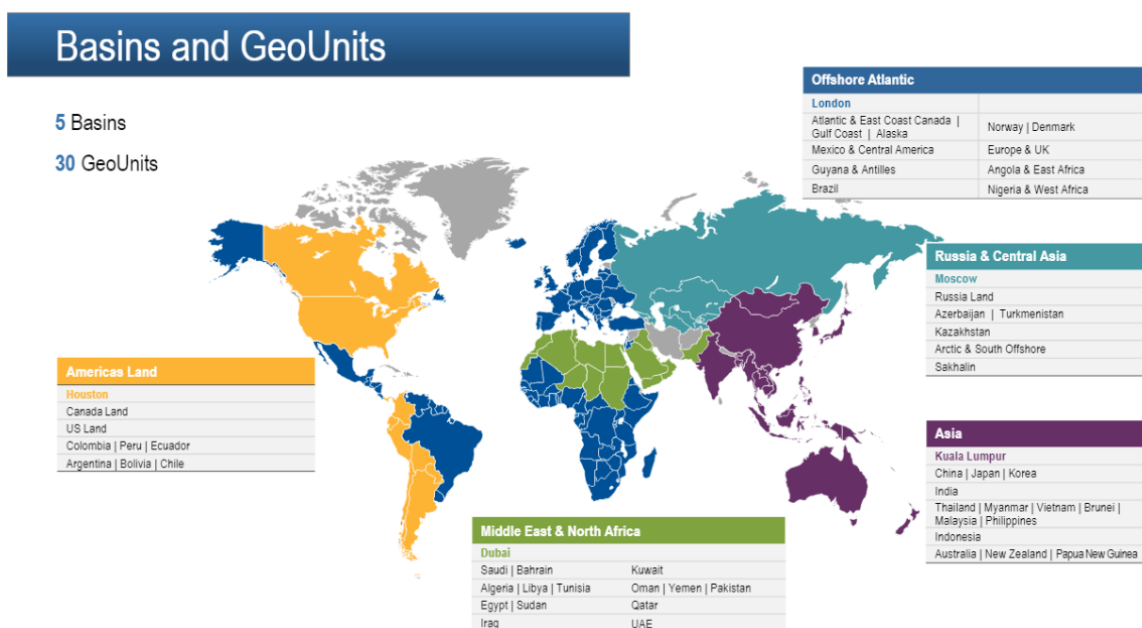


FIGURE 1.5 – Organisation des Bassins et GeoUnits de SLB - SLB 2022

Les services et les divisions de SLB

SLB offre une gamme complète de services allant de l'exploration et la prospection à la production et au transport des hydrocarbures. La société opère dans quatre principaux secteurs d'activité couvrant l'ensemble du cycle de vie d'un réservoir. Ces secteurs comprennent :

- **La caractérisation des réservoirs** : qui fournit des informations essentielles sur les gisements pétroliers et gaziers lors de la découverte et de la prospection.
- **Le forage** : qui propose une gamme complète de technologies pour le forage des puits de pétrole ou de gaz, notamment des outils de forage et de reconditionnement.
- **La production** : qui offre les technologies nécessaires à la production des réservoirs tout au long de leur cycle de vie, allant des systèmes de complétion aux équipements de surface.
- **La technologie numérique** : qui intègre les activités logicielles, sismiques et numériques pour améliorer les actifs de l'entreprise grâce à l'intégration des données et des processus.

SLB est présente dans le monde entier, avec des opérations dans plus de 120 pays. Ses principales divisions comprennent :

- **La division Digital & Integration (D&I)** : Cette division se concentre sur la collecte, l'analyse approfondie et l'interprétation des données sismiques et géologiques. Son objectif est d'optimiser les performances en réduisant les cycles et les risques, en accélérant les rendements, et en augmentant la productivité, tout en minimisant les coûts et les émissions de carbone. En parallèle, elle se dédie à l'intégration des données, des technologies numériques et des processus pour améliorer efficacement les actifs de l'entreprise.
- **La division Production Systems (PS)** : Cette division se concentre sur les systèmes de complétion, le levage artificiel en fond de puits, les têtes de puits ainsi que les services de fracturation en surface. Elle spécialise également dans le développement de technologies avancées et fournit une expertise pour optimiser la production et la récupération des ressources des réservoirs souterrains jusqu'à la surface, à travers les pipelines et les raffineries.
- **La division Well Construction (WC)** : Cette division offre une large gamme de produits et de services visant à maximiser l'efficacité du forage, à améliorer le contact

avec le réservoir, tout en réduisant les risques et en favorisant des opérations dynamiques. Elle propose aux opérateurs et aux fabricants de plateformes de forage des solutions intégrées pour la conception et la construction des puits.

- **La division Reservoir Performance (RP)** : Cette division se concentre sur l'évaluation approfondie de la performance des réservoirs, incluant l'étude de la productivité, des propriétés des fluides, de la composition, de la capacité, ainsi que des variables d'état telles que la température, le débit et la pression. En intégrant des technologies et des services innovants, elle garantit l'optimisation continue de la performance des réservoirs, permettant ainsi aux clients de mieux comprendre et de maximiser la valeur de leurs actifs sub surfaciques.

Vision Globale

SLB adopte une stratégie de croissance ambitieuse axée sur l'innovation, l'expansion géographique et la diversification de ses services. L'entreprise investit activement dans la recherche et le développement pour développer de nouvelles technologies et solutions adaptées aux besoins évolutifs de l'industrie, tout en cherchant à renforcer sa présence mondiale par l'exploration de nouveaux marchés et l'établissement de partenariats stratégiques avec d'autres acteurs clés du secteur. En tant que leader mondial dans le domaine des services pétroliers et gaziers, SLB bénéficie d'une position concurrentielle solide, soutenue par son expertise technique, sa vaste expérience et ses capacités de recherche et développement avancées, lui permettant ainsi de fournir des solutions innovantes et personnalisées à ses clients. Son réseau mondial étendu et ses capacités à répondre aux défis complexes des projets internationaux en font un choix privilégié. SLB a joué un rôle crucial dans le développement et la modernisation de l'industrie pétrolière et gazière grâce à ses technologies innovantes et à ses services spécialisés qui améliorent l'efficacité, la sécurité et la durabilité des opérations, de la caractérisation des réservoirs à la production et au transport des hydrocarbures. Au-delà de ses activités commerciales, SLB s'engage activement à avoir un impact positif sur la société et l'environnement. L'entreprise soutient des initiatives sociales et environnementales visant à améliorer les conditions de vie des communautés locales et à promouvoir le développement durable. En intégrant des pratiques et des technologies respectueuses de l'environnement dans ses opérations, SLB vise à réduire son empreinte carbone et à préserver les ressources naturelles pour les générations futures.

Valeurs de SLB

Schlumberger accorde une grande importance à ses valeurs fondamentales, qui guident ses décisions et ses actions au quotidien. Trois valeurs principales sont mises en avant :

- **People First** : SLB reconnaît que ses employés sont sa ressource la plus précieuse. L'entreprise s'engage à offrir un environnement de travail sûr et inclusif, où la diversité est valorisée et où le bien-être mental et physique des employés est prioritaire.
- **Technologie** : Depuis sa fondation, SLB s'est distinguée par son engagement envers l'innovation technologique. Elle investit continuellement dans la recherche et le développement pour maintenir son avantage concurrentiel et fournir les meilleures solutions à ses clients.
- **Performance** : Schlumberger vise l'excellence dans toutes ses activités. Ses employés sont encouragés à être performants dans tous les aspects de leur travail, en agissant avec intégrité, en tenant leurs engagements et en se concentrant sur ce qui est essentiel pour assurer la réussite à long terme de l'entreprise.

SLB NAF

SLB opère en Afrique du Nord, offrant une variété de services et de technologies adaptés aux secteurs pétrolier et gazier de la région. Les activités de SLB en Afrique du Nord englobent

principalement le forage, la complétion, la production, la gestion des réservoirs, ainsi que les services de traitement et de raffinage. En outre, l'entreprise propose des solutions numériques et des logiciels avancés. SLB NAF couvre cinq pays de la région : l'Algérie, la Tunisie, le Maroc, la Libye et le Tchad. Elle collabore étroitement avec des clients locaux pour développer des solutions et des services sur mesure, répondant spécifiquement aux besoins de chaque pays et projets.

SLB North Africa

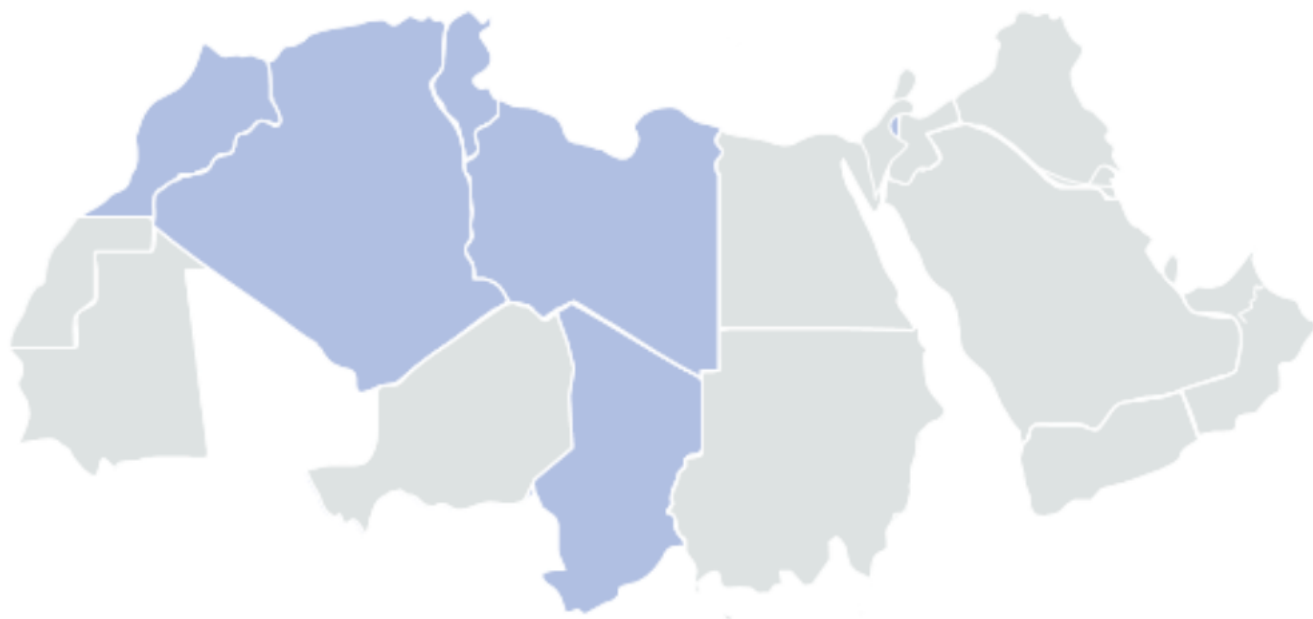


FIGURE 1.6 – Organisation des Bassins et GeoUnits de SLB - SLB 2022

SLB est présente en Algérie depuis 1955, avec son siège social basé à Alger, plus précisément à Hydra. Elle exerce ses activités à travers deux entités légales : "Service Pétrolier Schlumberger (SPS)" et "Compagnie d'Opérations Pétrolières Schlumberger(COPS)". En Algérie, SLB fait partie du bassin MENA et est intégrée à la GeoUnit NAF, jouant un rôle significatif dans cette région avec une contribution de plus de 60 % au chiffre d'affaires de cette unité. L'entreprise opère à travers plusieurs bases stratégiquement situées dans quatre zones géographiques du sud du pays, ainsi que des installations à Alger, comprenant :

- Un immeuble de bureaux et une Guest House à Alger.
- Six bases à Hassi Messaoud : MD1, MD2, MD3, MD5, MI Base, Cameron Base.
- Une base à Hassi Berkine.
- Une base à In Salah.
- Une base à In Amenas.

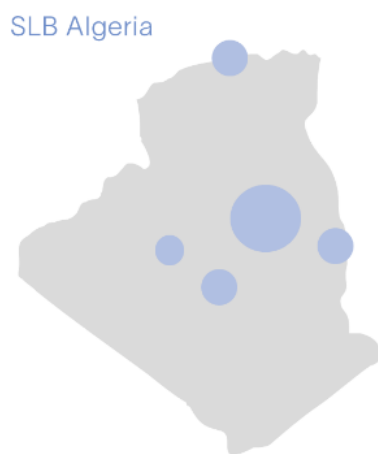


FIGURE 1.7 – Répartition des installations de SLB Algérie

1.3 La supply chain de SLB

Cette section explore l'organisation de la supply chain de SLB ainsi que son processus global. Nous examinerons également la logistique domestique de SLB et les types de camions utilisés pour répondre aux besoins de transport.

1.3.1 Organisation de la supply chain de SLB

Face à l'intensification de la concurrence, SLB adopte une stratégie visant à réduire continuellement les coûts tout en respectant les délais et en maintenant la qualité du service. La supply chain de SLB est structurée en quatre départements, chacun ayant un rôle distinct mais interconnecté :

Planification : Ce département est chargé de réaliser le Sales and Operations Planning (S&OP) ainsi que de développer les stratégies à long terme de SLB.

Achats et Approvisionnements : Ce département se concentre sur la catégorisation des fournisseurs, la contractualisation, et l'établissement de relations d'achat durables.

Distribution Globale : Ce département gère les fonctions d'import-export, le management du matériel, et la gestion des inventaires de l'entreprise.

Logistique Domestique : Ce département assure le transport des équipements et des ressources entre les bases opérationnelles et les sites de travail.

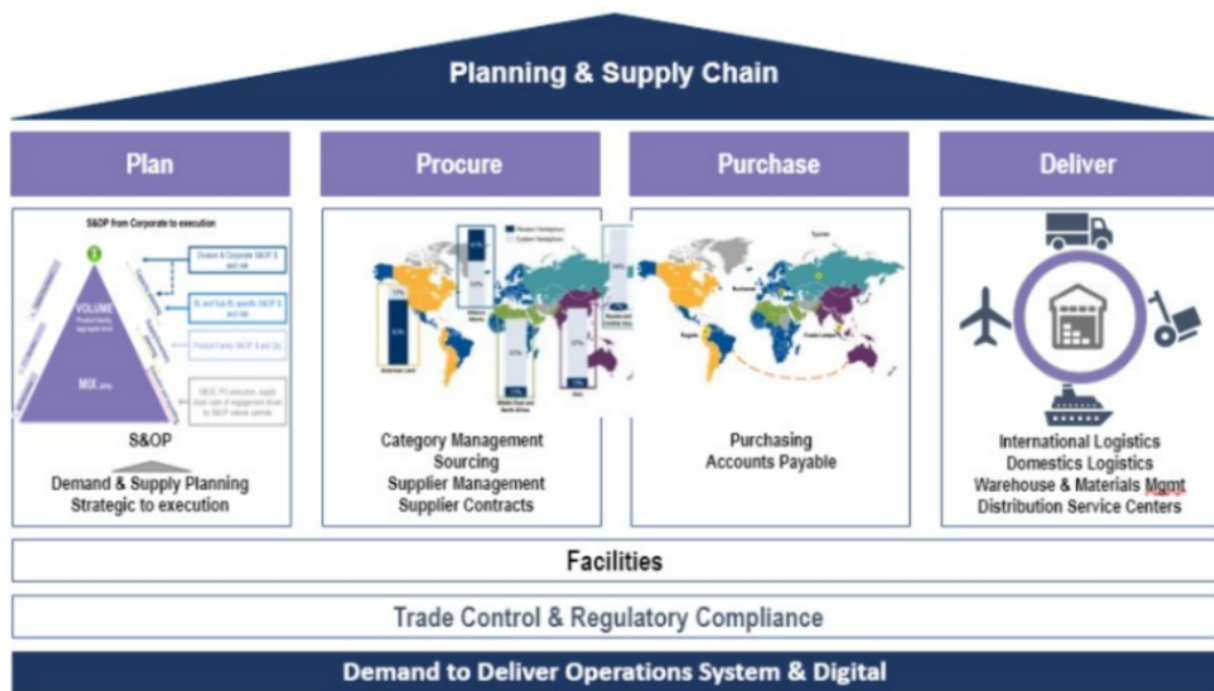


FIGURE 1.8 – Représentation des processus de la supply chain chez SLB [5]

Le processus de supply chain adopté par SLB commence par une demande de service, suivie d'une vérification de la conformité aux réglementations. Ensuite, un plan stratégique est élaboré pour l'acquisition des équipements et des produits nécessaires à la réalisation du projet. Le processus se termine par la livraison, dont les moyens varient en fonction de la nature du travail.

Nous allons maintenant détailler la fonction de la logistique domestique et ses processus de fonctionnement au sein de SLB.

1.3.2 La logistique domestique chez SLB

La logistique domestique chez SLB englobe tous les transports routiers de véhicules lourds à l'intérieur du pays. Toute relocalisation d'actifs entre les sites SLB (d'une base à une autre) ou vers des entités externes (de base à client) est sous la responsabilité de la logistique domestique. Cela inclut également la gestion des véhicules légers et moyens (comme les pick-ups) utilisés pour le transport de personnes et d'objets.

L'organisation de la logistique domestique chez SLB repose sur trois piliers principaux :

- **Centralisation et Co-localisation des Équipes** : Les équipes de logistique domestique sont centralisées et co-localisées pour améliorer le contrôle des processus, fournir un soutien efficace, et faciliter la coordination de la planification entre les membres de l'équipe.
- **Répartition Régionale/Géographique** : Les rôles de planification et de coordination sont distribués par région ou inter-région. Cette répartition permet une planification efficace entre les différentes lignes de métier et assure une visibilité claire sur les charges amont et aval.
- **Séparation des Tâches** : Les rôles et responsabilités liés à l'expédition sont séparés pour garantir la conformité des processus. Cela permet également de maximiser l'efficacité en formant certains membres du personnel en tant qu'experts dans leurs domaines respectifs.

Ci-dessous la description sommaire d'équipe DL.



FIGURE 1.9 – Représentation de l'organisation de l'équipe logistique domestique

Stratégies de Transport et la diversité de la flotte :

SLB (logistique domestique) ne possède pas sa propre flotte de véhicules, la gestion logistique domestique se concentre sur la location et l'optimisation de l'utilisation de divers types de camions.

- Modèles et réseaux de transport de la logistique domestique :

Il existe différents modèles de conception de réseaux de transport répondant à divers objectifs, principalement la consolidation des marchandises et l'optimisation des itinéraires. Pour répondre efficacement et rapidement aux demandes des clients, SLB a instauré un système qui assure la disponibilité continue et le transport prompt des équipements et produits depuis les bases vers les sites d'exploitation. SLB utilise deux modèles de gestion logistique domestique, définies par les contrats avec les transporteurs, nous pouvons alors distinguer :

- **Camions sur appel (Call Out)** : utilise des tarifs contractuels domestiques pour des trajets spécifiques sans obligation de paiement après le trajet, offrant ainsi plus de flexibilité et s'adaptant mieux aux variations de la demande.
- **Camions en location mensuelle (Rental)** : implique la location de camions pour une période fixe à un prix standard, avec des coûts supplémentaires éventuels pour le carburant et les péages par trajet. Cette option assure la disponibilité exclusive des camions pour SLB pendant la durée de la location, bien que cela puisse parfois inclure la possession de camions.
 1. **Camions dédiés** : Ce sont des camions en location, mais dédiés à servir un seul segment pour une longue période de temps (plus d'un mois).
 2. **Camions non-dédiés** : Ce sont également des camions en location, mais qui servent l'ensemble des segments selon la demande.

- Types de camions utilisés par la logistique domestique :

SLB utilise une variété de camions, chacun doté de spécificités techniques uniques, pour transporter divers équipements et produits de tailles, structures et fragilités différentes. Les modèles de camions les plus fréquemment employés sont :

- **Camions Lowboy** : Semi-remorques permettant de transporter des charges très basses, idéales pour des équipements mesurant jusqu'à 3,66 mètres de hauteur.
- **Camions trailers** : Remorques destinées au transport de marchandises, reposant partiellement sur le véhicule tracteur via une plateforme appelée "sellette", permettant au tracteur de supporter une partie du poids.

- **Camions Watertank** : Véhicules équipés de réservoirs d'eau pour divers usages.
- **Camion fuel tanker** : Véhicule équipés de réservoirs (Liquide inflammable, reformate, xylène,).
- **Camions SOLO** : Tracteurs sans remorque, utilisés pour tracter des semiremorques, formant des véhicules articulés.

1.3.3 Le processus de la logistique domestique

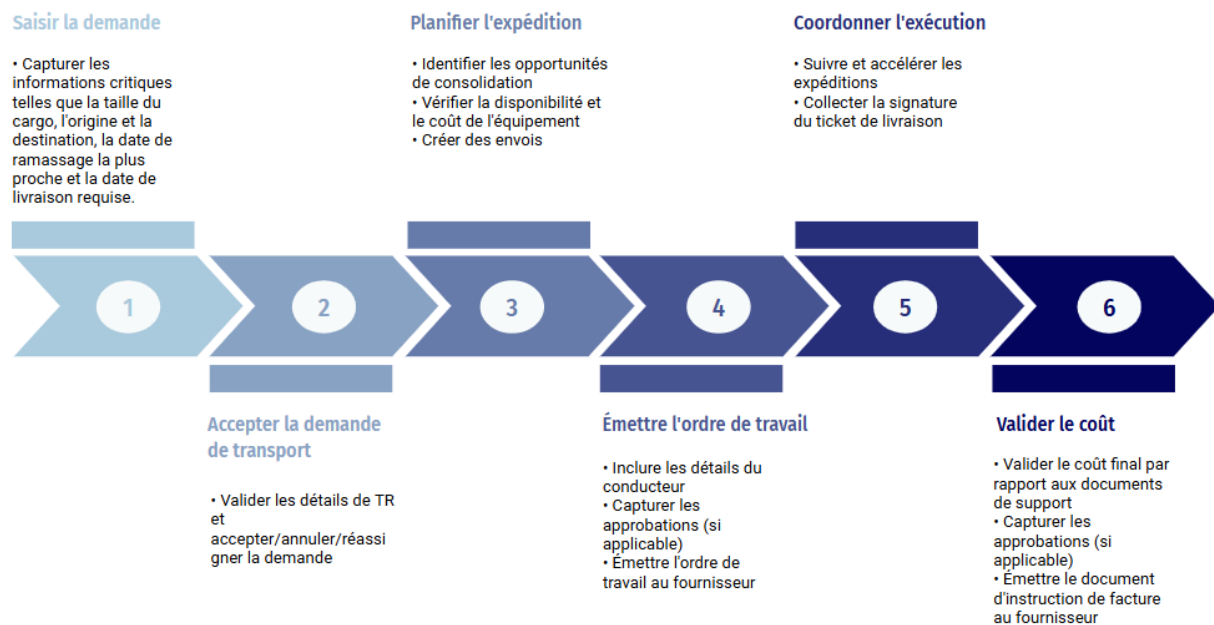


FIGURE 1.10 – Processus des opérations de chargement et déchargement

Il y a plusieurs étapes enchaînées dans le processus des opérations de chargement et de déchargement. Nous allons explorer en détail ces différentes étapes du processus :

- **Saisir la demande** : Tous les employés peuvent demander l'accès à la demande de transport (TR) en ligne directement via SAMBA. Le demandeur doit fournir les informations minimales nécessaires pour que l'équipe de logistique domestique puisse organiser le déplacement. La demande en ligne capture les informations et les transmet automatiquement au système de gestion des transports (TMS).
- **Accepter la demande de transport** : Le spécialiste de la planification domestique sélectionne la demande relative à sa région, valide l'exhaustivité et la qualité des informations fournies, et accepte ou rejette la demande de transport. Une fois cette action terminée, le demandeur reçoit une notification automatisée de l'acceptation, et le spécialiste de la planification domestique procède à l'organisation de l'expédition.
- **Planifier l'expédition** : En se basant sur les détails de la date, l'origine/destination et les contraintes de la cargaison, le spécialiste de la planification domestique identifie les opportunités de consolidation, que ce soit pour ajouter les nouvelles commandes à une expédition existante ou pour en créer une nouvelle. Dans les deux cas, le spécialiste de la planification domestique vérifie la disponibilité des camions et sélectionne les coûts en fonction des tarifs négociés dans le système. Si les tarifs ne sont pas disponibles ou dépassent le seuil du Geomarket, un processus d'appel d'offres dans TESS est nécessaire. Le spécialiste de la planification domestique peut contacter le demandeur pour valider ou recueillir des informations supplémentaires pour sa prise de décision.

- **Émettre l'ordre de travail** : Le spécialiste de la planification domestique saisit les détails de l'équipement et du conducteur (le cas échéant), en plus de l'heure estimée de départ (ETD) et de l'heure estimée d'arrivée (ETA). L'ETD et l'ETA servent de référence pour le coordinateur et le fournisseur afin d'assurer l'exécution à temps de l'expédition. Une fois toutes les informations saisies, pour confirmer l'organisation, le spécialiste de la planification domestique émet l'ordre de travail. Des notifications confirmant les détails et les coûts de l'expédition sont envoyées aux fournisseurs et aux demandeurs, ainsi qu'à toute autre partie impliquée dans la création de la demande de transport. Selon la matrice d'approbation de chaque pays, l'ordre de travail suit un processus d'approbation.
- **Coordonner l'exécution** : Coordonner Pour la location et l'appel d'offres, le coordinateur suit et accélère l'exécution de l'expédition pour garantir sa réalisation à temps, y compris le chargement et le déchargement de la cargaison. Les signatures des tickets de livraison avec les horodatages pour l'arrivée, le chargement et le déchargement des camions sont capturées par les conducteurs. Pendant l'exécution, les événements de portail pour confirmer la date et l'heure de chaque étape de l'expédition sont saisis dans le système pour mesurer le temps de cycle global du processus et permettre la transition vers l'étape de facturation. Il existe trois moyens de capturer les événements de portail (par ordre de préférence) :
 - o Le fournisseur saisit directement les événements de portail dans TMS via le portail fournisseur.
 - o Le fournisseur soumet un rapport d'expédition (toutes les 2 heures, au moins 4 fois par jour) au coordinateur qui peut télécharger en masse les événements de portail dans TMS.
 - o Le coordinateur contacte lui-même le conducteur/fournisseur pendant l'exécution pour capturer et mettre à jour les événements de portail directement dans TMS.
- **Valider le coût** : Une fois les événements de portail terminés, le fournisseur accède au portail fournisseur pour saisir les coûts finaux et télécharger les documents justificatifs. Le spécialiste de la facturation valide le coût final et émet le document d'instruction de facturation (IID). Selon la matrice d'approbation de chaque pays, l'IID suit un processus d'approbation.

1.4 Diagnostic et formulation de la problématique

Nous allons adopter une approche rigoureuse et complète pour définir clairement notre problématique. Pour ce faire, nous commencerons par quantifier les anomalies à chaque étape clé du processus de la logistique domestique, en nous basant sur des entretiens approfondis avec l'équipe de logistique domestique et l'analyse des données historiques disponibles. Une fois les anomalies identifiées, nous concentrerons notre cadre d'étude sur les parties du processus présentant la majorité des anomalies. Pour ce faire, nous utiliserons la méthode de Pareto afin de sélectionner les étapes du processus présentant les anomalies les plus impactantes. Ensuite, nous chercherons les causes racines de ces anomalies en appliquant la méthode des "5 Pourquoi", ce qui nous permettra de comprendre le fonctionnement complexe du système et d'explorer en profondeur les causes racines des anomalies identifiées. Après avoir identifié les causes racines, nous procéderons à leur filtrage, car certaines peuvent être extérieures au système et ne peuvent pas être résolues à notre niveau. Une fois les causes racines filtrées, nous analyserons en profondeur celles qui relèvent de notre responsabilité, en utilisant des outils tels que la modélisation du processus à l'aide de BPMN 2.0. Nous détectons ensuite les conséquences directes et indirectes engendrées par ces causes racines, et enfin, nous évaluerons l'impact des conséquences directes

uniquement, afin de déterminer les mesures correctives les plus appropriées pour améliorer la performance globale du processus de logistique domestique.

Nous représentons l'approche suivie dans la figure 1.11.

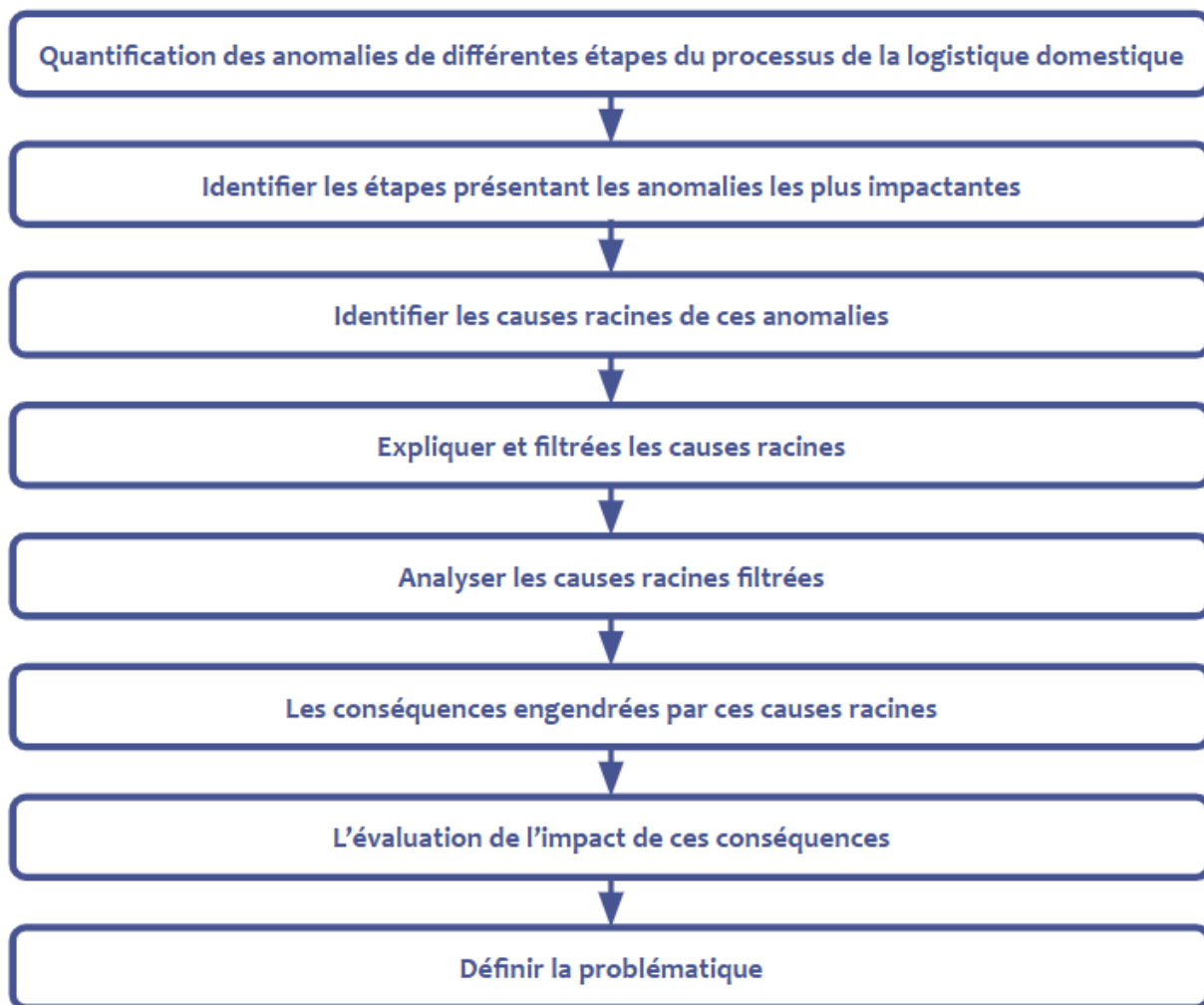


FIGURE 1.11 – Approche d'analyse des dysfonctionnements et de recherche de problématiques

1.4.1 Dysfonctionnements dans le processus de la logistique domestique

Quantification des anomalies de différentes étapes du processus de la logistique domestique :

Nous avons entrepris une approche rigoureuse pour quantifier les anomalies à chaque étape clé.

Notre approche méthodologique est la suivante :

- **Entretiens approfondis avec l'équipe de Logistique Domestique :** Nous avons mené des entretiens détaillés avec les membres clés de l'équipe de logistique domestique. Ces échanges nous ont permis de :
 1. **Identifier les Points Sensibles :** En dialoguant directement avec les acteurs opérationnels, nous avons ciblé les étapes du processus présentant le plus grand nombre d'anomalies et compris les défis spécifiques rencontrés sur le terrain.

2. **Évaluer les Causes Sous-jacentes** : En posant les bonnes questions et en écoutant attentivement les réponses, nous avons identifié les facteurs contribuant aux anomalies à chaque étape du processus. Cela va nous servir dans la suite pour détecter les causes racines de ces anomalies.
- **Analyse des Données Historiques** : En parallèle des entretiens, nous avons analysé les données historiques disponibles sur les opérations de logistique domestique. Cette analyse nous a permis de :
1. **Quantifier les Anomalies** : En examinant les enregistrements passés, nous avons calculé le taux d'anomalie pour chaque étape du processus par rapport au total. Cela nous a fourni une base solide pour comprendre l'ampleur et la fréquence des problèmes rencontrés.

Le résultat de taux d'anomalies dans chaque étape est représentée dans la figure 1.12 :

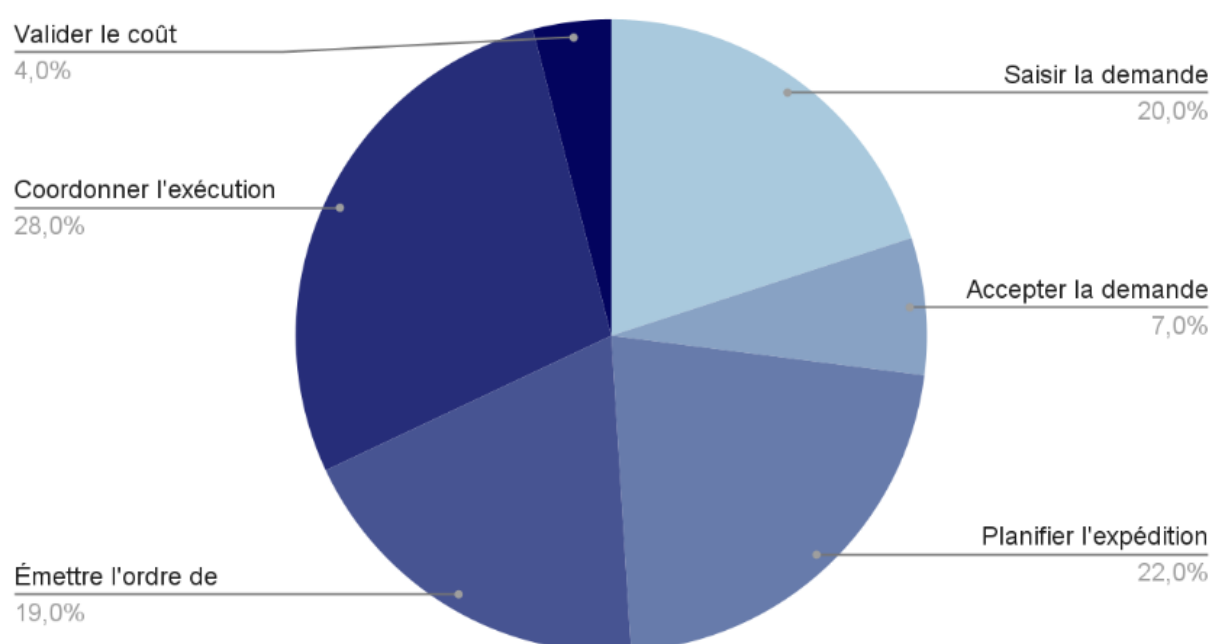


FIGURE 1.12 – Représentation du pourcentage d'anomalies à chaque étape du processus

Sélectionner les étapes dont les anomalies plus Impactantes :

Pour optimiser notre stratégie d'amélioration, nous avons utilisé la méthode de Pareto qui aide à identifier et à se concentrer sur les problèmes ou les causes les plus significatifs qui méritent une attention prioritaire pour obtenir des améliorations importantes et efficaces. Cela nous permettra de maximiser l'impact de nos initiatives d'amélioration continue sur la performance globale de processus.

La figure 1.13 illustre la représentation du pourcentage d'anomalies à chaque étape du processus dans l'ordre décroissant, ainsi que la courbe cumulée.

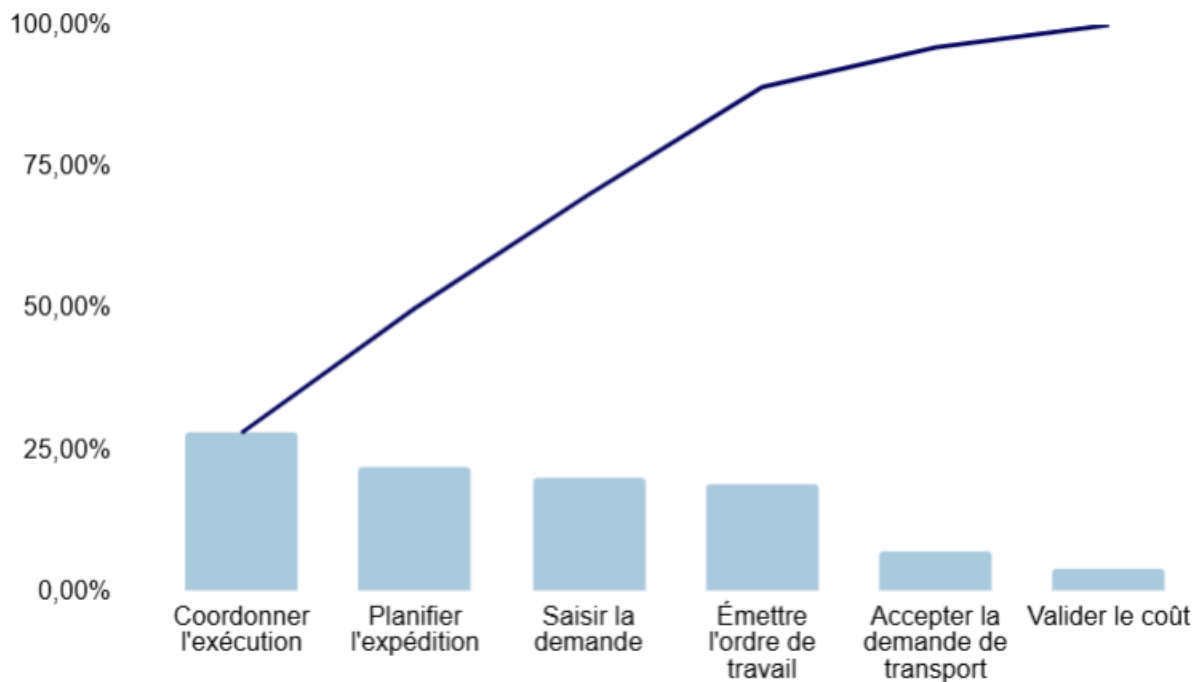


FIGURE 1.13 – Le Pareto des obstacles identifiés dans le processus

Suite à l'application de la méthode de Pareto, nous avons retenu les étapes suivantes : Anomalie dans la Coordination de l'exécution, Anomalie dans la Planification de l'expédition, Anomalie dans la Saisie de la demande pour identifier ces principales causes.

Trouver des causes racines de ces anomalies :

Dans cette étape, nous utiliserons la méthode des "5 Pourquoi" pour explorer en profondeur les causes racines des problèmes identifiés (étapes sélectionnées précédemment grâce à la méthode de Pareto). Cette méthode est précieuse car elle nous permet d'aller au-delà des symptômes évidents et de comprendre les véritables causes sous-jacentes des anomalies observées. En posant répétitivement la question "Pourquoi?", nous pouvons découvrir les facteurs fondamentaux qui contribuent aux défis rencontrés à chaque étape du processus.

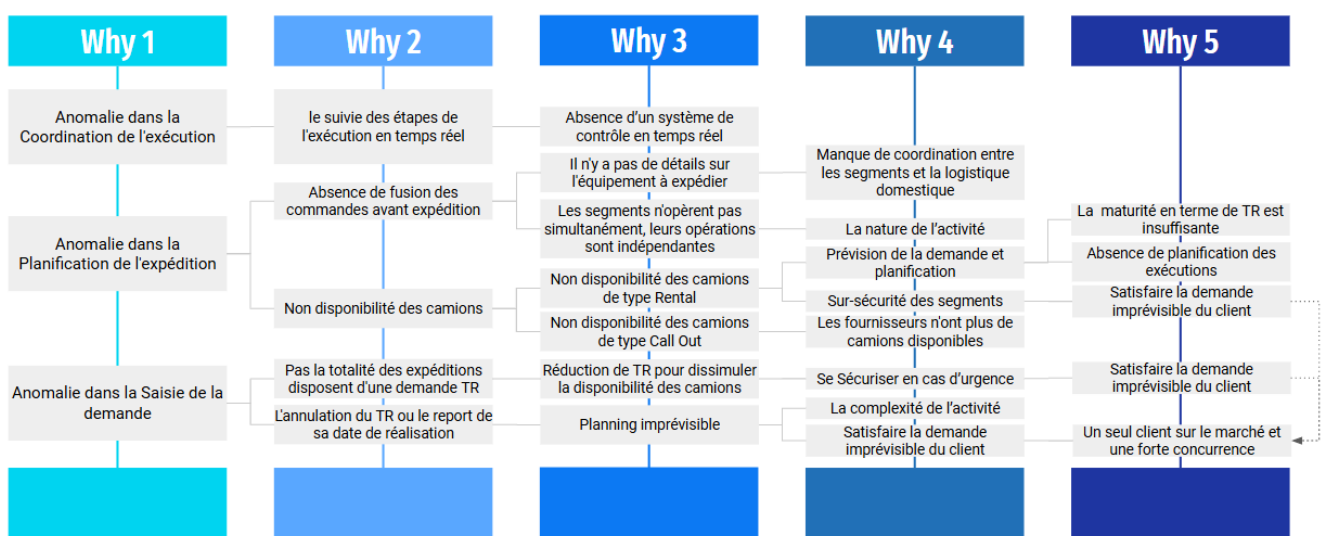


FIGURE 1.14 – Représentation des 5 pourquoi pour les étapes retenues

Expliquer et filtrées les causes racines :

Pour les causes racines, nous avons identifié les éléments suivants :

1. **La nature & la complexité des activités** : Les segments interviennent à différentes étapes du processus en raison des technologies actuelles utilisées dans le secteur des activités pétrolières, lesquelles ne supportent pas efficacement la consolidation des expéditions.
2. **Les fournisseurs n'ont plus de camions disponibles** : car le fournisseur de transport ne peut pas simplement attendre que SLB lance une demande. De plus, s'il dispose de camions, il cherche à maximiser son profit en les affectant à différents travaux. C'est pourquoi il peut parfois se retrouver dans l'incapacité de fournir des camions disponibles.
3. **La maturité en termes de TR est insuffisante** : D'abord, le retard dans la création des TR par l'équipe des segments met constamment l'équipe de logistique domestique sous pression. Ensuite, certains segments ne font qu'une demande de camion par mois et peuvent conserver ces véhicules pendant 30 jours sans informer la logistique domestique de leur utilisation réelle, ce qui limite la visibilité de la DL sur ses demandes.
4. **Manque de coordination entre la logistique domestique et les segments** : les informations vitales sur les besoins en transport des segments ne parviennent pas à temps à l'équipe de logistique, et même lorsqu'elles arrivent, le TR ne contient pas la description ou les informations nécessaires sur l'équipement à transporter. Ce manque de communication précise entraîne des retards, des inefficacités opérationnelles et une gestion des ressources sous-optimale.
5. **Un seul client sur le marché et une forte concurrence** : La situation d'avoir un seul client échappe au contrôle de l'entreprise, car cela est dû à des facteurs étatiques. Les entreprises rivalisent pour offrir les meilleures solutions, services et prix afin d'attirer ce client unique. Dans ce contexte, chaque mouvement stratégique compte. La logistique domestique doit être extrêmement efficace, car toute inefficacité ou retard peut faire perdre des opportunités cruciales. Les marges étant serrées, l'innovation est essentielle pour rester compétitif. L'absence de planification précise ou de systèmes de contrôle en temps réel peut entraîner des coûts élevés, des retards et une perte de confiance du client.
6. **Absence de planification des exécutions** : L'absence de planification des exécutions pose quotidiennement des défis majeurs. La plupart du temps, la journée débute par des appels urgents de divers segments, sollicitant des camions pour le transport d'équipements critiques. Cependant, faute de planification préalable, l'équipe de logistique domestique se retrouve constamment en mode réactif, plutôt qu'en adoptant une approche proactive.
7. **Absence d'un système de contrôle en temps réel** : l'équipe de logistique domestique ne dispose que de la localisation des camions à travers les applications des fournisseurs. Cela nécessite une recherche individuelle pour chaque camion afin de comprendre son utilisation en temps réel et d'assurer la visibilité nécessaire pour une gestion efficace des ressources de transport. Cette limitation accroît la complexité opérationnelle et prolonge les délais de réponse aux demandes de transport, compromettant ainsi la capacité de l'équipe à optimiser les affectations de camions de manière proactive.

Le tableau ci-dessous énumère chaque cause racine, en indiquant à qui incombe la responsabilité et leurs impacts directs

Causes racines	Responsabilité	Impact directe
La nature & la complexité des activités	La complexité d'activité est indépendante de situation de l'entreprise	Les segments
Les fournisseurs n'ont plus de camions disponibles	Achats et Approvisionnements	Les segments
La maturité en termes de TR est insuffisante	Les segments	- la logistique domestique - Les segments
Manque de communication entre la logistique domestique et les segments	- la logistique domestique - Les segments	Les segments
Un seul client sur le marché et une forte concurrence	L'entreprise n'a aucun contrôle sur la situation	Les segments
Absence de planification des exécutions	la logistique domestique	la logistique domestique
Absence d'un système de contrôle en temps réel	la logistique domestique	la logistique domestique

FIGURE 1.15 – Représentation des causes racines, de leurs responsables et de leurs impacts

Il est crucial de chercher à éliminer et à remédier à toutes les causes racines des anomalies. Dans notre contexte, il est particulièrement pertinent de se concentrer sur les causes racines relevant de la responsabilité de la logistique domestique, car même si elles peuvent impacter d'autres services, elles ont un effet négatif direct sur le bon fonctionnement de la logistique domestique. Donc pour la suite on va juste concentrer sur ces causes racines : l'absence de planification des exécutions, l'absence d'un système de contrôle en temps réel.

Analyser les causes racines filtrées :

Pour comprendre les causes racines identifiées et filtrées, telles que l'absence de planification des excursions et l'absence de système de contrôle en temps réel, il est essentiel de comprendre les mouvements typiques d'une opération, incluant le cycle temporel des événements et les différentes étapes par lesquelles passe le camion.

- les mouvements de la logistique domestique :

Les mouvements de la logistique domestique jouent un rôle crucial dans le bon fonctionnement et l'efficacité des opérations au sein de l'entreprise. Une compréhension approfondie des mouvements de la logistique domestique est essentielle pour identifier les points faibles et les opportunités d'amélioration, ce qui, en fin de compte, contribue à la performance globale de l'entreprise.

o Le cycle de mouvement :

Le cycle de mouvement des camions est relativement simple et repose sur trois composantes principales : la base du fournisseur de transport, la base opérationnelle de SLB et les chantiers, ce cycle est défini par les mouvements entre ces trois composantes.

Le cycle de mouvement des camions peut être représenté par la figure 1.16 :

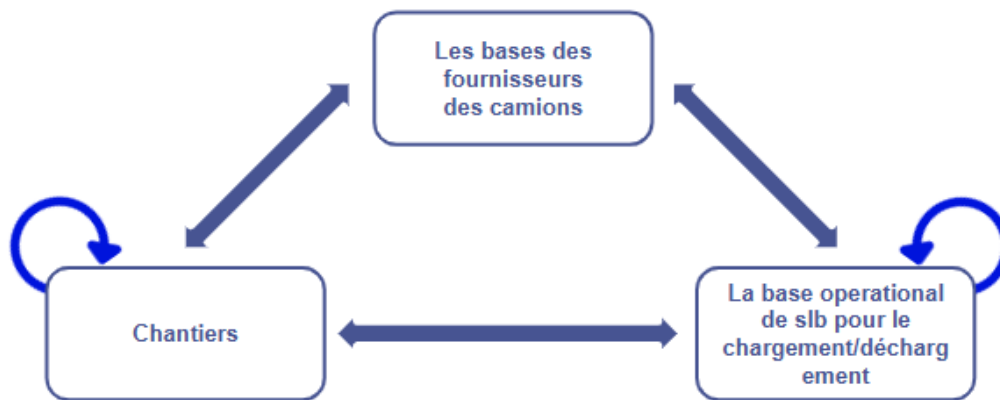


FIGURE 1.16 – Le cycle de mouvement de la flotte de la logistique domestique

Cependant, la variabilité des opérations rend la description détaillée du processus de chargement et de déchargement complexe. Pour surmonter cette complexité, il est crucial d'adopter une méthode de modélisation telle que le BPMN 2.0. Cette approche permet d'intégrer tous les scénarios possibles de mouvements des camions entre les trois composantes principales : la base du fournisseur de transport, la base opérationnelle de SLB, et les chantiers.

Nous allons maintenant décrire en détail le processus des opérations de chargement et de déchargement, afin d'identifier les points critiques et les opportunités d'amélioration.

- Le processus des opérations de chargement et déchargement :

énéralement, le camion est stationné dans la base du fournisseur, en attendant que le segment le contacte et lui communique les détails de l'opération, tels que l'équipement à expédier, le temps de départ et d'arrivée, ainsi que la destination. On peut distinguer plusieurs situations :

• Contact à la base fournisseur :

○ Chargement :

1. Si le camion est dans la base du fournisseur pour une opération de chargement, il se rend à la base opérationnelle.
2. Après le chargement, il y a deux possibilités :
 - a) Le camion part directement vers le chantier.
 - b) Le camion retourne à la base du fournisseur jusqu'à l'heure prévue pour l'expédition de l'équipement.
3. Après l'expédition, deux possibilités s'offrent à lui :
 - a) Le camion reste au chantier pour des besoins liés à l'utilisation du matériel.
 - b) Le camion retourne à vide ou se rend à un autre chantier pour un déchargement.

○ Déchargement :

1. Si le camion est dans la base du fournisseur pour une opération de déchargement, il se rend directement au chantier.
2. Après le déchargement, deux options s'offrent à lui :
 - a) Retourner à la base opérationnelle.

- b) Retourner à la base du fournisseur jusqu'à ce qu'il soit contacté pour une nouvelle mission vers la base opérationnelle pour décharger le matériel.

- **Contact au chantier :**

1. Si le camion est contacté alors qu'il est au chantier, il y a deux possibilités :
 - a) Le camion suit le même processus que s'il était à la base du fournisseur pour le chargement. Pour le déchargement, cela ne concerne qu'une opération de déchargement vers un autre chantier.
 - b) Après le déchargement, il peut soit retourner à la base opérationnelle, soit retourner à la base du fournisseur jusqu'à ce qu'il soit contacté pour une nouvelle opération.

En résumé, les opérations du camion sont régies par des séquences de chargement et de déchargement, avec des retours possibles à la base opérationnelle ou à la base du fournisseur en fonction des besoins de l'expédition et de la nature de l'utilisation du matériel.

La description détaillée facilite la modélisation BPMN 2.0, que nous pouvons illustrer dans la figure 1.17.

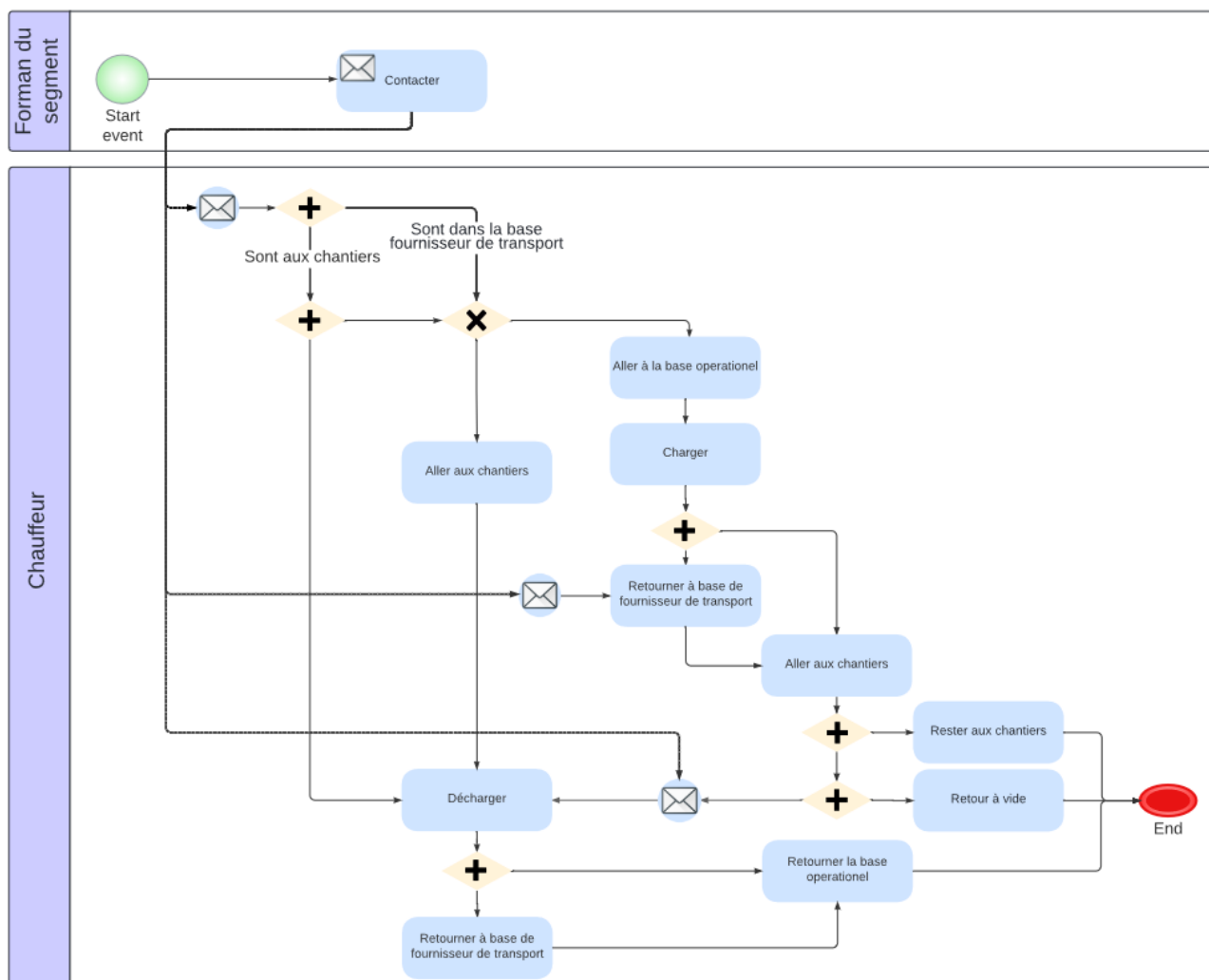


FIGURE 1.17 – Le processus des opérations de chargement et déchargement

Une gestion optimale de ces mouvements permet de réduire les coûts, d'améliorer la qualité du service, de minimiser les délais de livraison et d'augmenter la satisfaction des clients.

Cependant, cette gestion requiert une planification minutieuse, une coordination précise et l'utilisation de technologies avancées pour suivre et optimiser les flux des opérations à chaque étape.

Les conséquences engendrées par ces causes racines : On peut diviser les conséquences engendrées par ces causes racines en deux catégories : les conséquences directes et les conséquences indirectes.

- **Les conséquences directe :**

1. **Lost time (Temps perdu) :** Réfère au temps non utilisé de manière productive, souvent dû à des retards, des attentes non planifiées.

- **Les conséquences indirecte :**

1. **Des coûts de transport élevés :** En l'absence de visibilité en temps réel sur l'état des camions et de planification adéquate, la flotte de camions n'est pas optimisée, et souvent la logistique domestique est obligée de passer par les call out pour satisfaire la demande du client, ce qui génère des coûts élevés.
2. **un taux d'émission de carbone élevé :** Une quantité significative de gaz à effet de serre est émise lors des opérations de transport en raison de la mauvaise planification des opérations, entraînant des mouvements inutiles (allers-retours entre la base du fournisseur et la base opérationnelle) et des retours à vide.
3. **La perte des opportunités :** Cela se produit lorsque des occasions importantes sont manquées, que ce soit en raison d'un manque de moyens de transport (à cause de l'absence de visibilité en temps réel sur l'état des camions) ou d'une mauvaise planification, ce qui peut affecter négativement la croissance ou la réputation de l'entreprise.

on peut résumer ça dans le tableau ci-dessous :

Causes racines	Conséquences directes	Conséquences indirectes
Absence de planification des exécutions	Temps perdu	Le temps perdu engendre : des coûts de transport élevés, un taux d'émission de carbone élevé
Absence d'un système de contrôle en temps réel	Temps perdu	Le temps perdu engendre : des coûts de Transport élevés, Perdre des opportunités

FIGURE 1.18 – Les conséquences directes et indirectes des causes racines

En comprenant ces conséquences directes et indirectes, il devient clair qu'une amélioration de la planification, de la gestion en temps réel et de la visibilité des opérations est cruciale pour optimiser la logistique domestique, réduire les inefficacités et renforcer la position concurrentielle de l'entreprise.

Impact de temps perdu (conséquence directe) en point de vue de la logistique domestique :

L'utilisation du temps n'est pas vraiment couverte de manière à permettre une utilisation complète de la capacité de la flotte en raison de nombreux facteurs :

- Absence de planification des exécutions
- Absence d'un système de contrôle en temps réel

Maintenant, nous allons évaluer le temps perdu dans le processus de la logistique domestique et son impact. Il est essentiel de noter que cette évaluation et estimation se basent uniquement sur la flotte de location (rental).

Pour ce faire, nous devons :

- Calculer le coût associé à une perte de 1 heure.
- Calculer le nombre total de jours ouvrables perdus par mois.
- Évaluer la perte d'efficacité de la logistique domestique.
- Calculer le pourcentage du budget mensuel de la DL perdu.

La figure 1.19 illustre l'évaluation des ressources procédée.

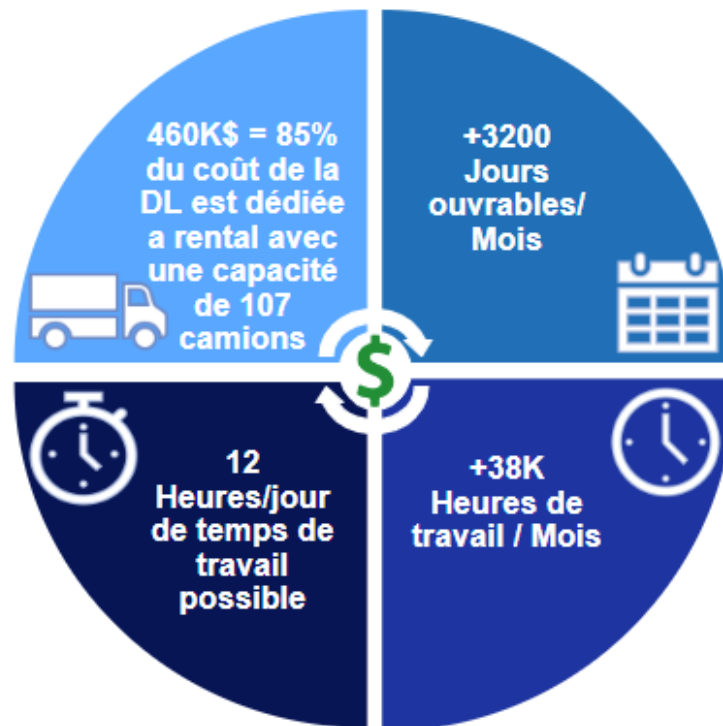


FIGURE 1.19 – L'évaluation des ressources procédée

Calcul de UOM 1 Heure :

$$\text{UOM 1 Heure} = \frac{460000}{107 \times 12 \times 30} = 11.94 \$$$

Calcul du nombre de jours ouvrables de temps perdu total par mois :

$$\text{Nombre de jours ouvrables de temps perdu total par mois} = \frac{107 \times 30}{24} = 134$$

Calcul de la perte d'efficacité de DL :

$$\% \text{ de perte d'efficacité de DL} = \frac{134}{3200} = 4\%$$

% du budget mensuel de DL perdu :

$$\% \text{ du budget mensuel de DL perdu} = \frac{107 \times 11.94 \times 30}{\left(\frac{460000 \times 100}{85}\right)} = 7\%$$

- **Interprétation :**

Une perte d'une heure due à une mauvaise planification ou à l'absence de visibilité en raison du manque d'un système de contrôle en temps réel est interprétée :

- **En terme d'impact financier :**

Les inefficacités ont un impact financier significatif, représentant environ 7 % du budget mensuel de l'entreprise potentiellement perdu, ce qui est considérable.

Cette perte directe de ressources financières souligne l'impératif urgent :

1. D'optimiser l'allocation des ressources et de réduire les coûts opérationnels afin de minimiser la perte de temps.
2. Réinvestir les fonds ainsi économisés dans des initiatives stratégiques visant à améliorer la productivité et la rentabilité de l'entreprise.

- **En terme de nombre de jours ouvrables de temps perdu total par mois :**

Une perte d'une seule heure révèle qu'environ 134 jours ouvrables sont perdus chaque mois.

Cette réalité souligne l'impératif urgent :

1. D'une gestion efficace du temps de la flotte, en éliminant les retards, les attentes non planifiées et en optimisant l'utilisation des véhicules.

- **En terme d'efficacité de la logistique domestique :**

Une perte d'une seule heure révèle que plus de 4 % de l'efficacité de la logistique domestique est perdue.

Cette réalité souligne l'impératif urgent :

1. D'une gestion efficace du temps de la flotte, en éliminant les retards, les attentes non planifiées et en optimisant l'utilisation des véhicules.

Conclusion

Ces impacts soulignent l'importance critique d'améliorer la planification des opérations pour réduire les pertes de temps inutiles, ainsi que d'établir un système de contrôle en temps réel pour accroître la capacité de l'entreprise à surveiller et à ajuster efficacement les opérations en cours. Cela permettrait une gestion proactive des retards et des imprévus, contribuant ainsi à réduire le nombre de jours ouvrables perdus chaque mois, à optimiser les itinéraires et à minimiser les périodes d'inactivité des véhicules. Cela favoriserait une utilisation plus efficace des ressources et une réduction des coûts opérationnels à long terme.

1.4.2 Formulation de la problématique

La logistique domestique de SLB consiste à transporter des produits et des équipements via des camions, sous forme de Shipments (SH), dans le but d'effectuer un service demandé par ses clients (principalement les Segments). Ces services ont pour destination plusieurs zones réparties sur le territoire national.

La fiabilité des services de SLB est liée à la performance du processus de distribution des camions. En effet, une bonne gestion du transport implique une meilleure réactivité vis-à-vis de la satisfaction du client d'une part, et une maîtrise des coûts d'autre part.

Et afin de garantir cela, il est indispensable d'avoir un contrôle sur les temps d'utilisation de la flotte logistique. Une utilisation efficace des ressources (une gestion efficace permet de réduire le nombre de camions et donc les coûts d'exploitation), minimiser les délais et retards (et donc éviter les coûts de retard et renforcer les relations clients) sont donc des objectifs de haute priorité pour la logistique domestique.

De plus, la visibilité de l'utilisation des camions dans le transport est nécessaire. Pouvoir assurer une visibilité totale de l'utilisation de la flotte est un enjeu majeur pour l'entreprise. Cela lui permettra, d'une part, d'augmenter sa rentabilité en favorisant la consolidation entre les segments, et d'autre part, de garantir la disponibilité des camions et d'éviter d'avoir recours aux camions call out. Notre investigation nous a donc conduit à identifier la visibilité de la flotte et le contrôle du temps comme clés de performance en logistique domestique. Nous avons ensuite identifié plusieurs chantiers sur lesquels nous pourrions travailler.

D'abord, afin de garantir un meilleur contrôle du temps, nous avons suivi le parcours des camions de la logistique domestique pour identifier les goulots d'étranglement. Nous avons remarqué qu'à travers les trois étapes du trajet des camions (de la base fournisseur à la base SLB, chargement/déchargement à la base SLB, trajet vers et depuis le client), la partie la plus influente dans le processus et sur laquelle SLB a le plus de contrôle est le chargement/déchargement à la base. Une optimisation de cette partie est donc nécessaire.

Ensuite, afin d'améliorer la visibilité de la logistique domestique sur la flotte, nous nous sommes immergés dans le travail quotidien de la DL. Cette démarche nous a permis de constater que les informations sont éparpillées entre plusieurs sources de données : sites télématiques des clients, tableaux Excel réalisés par les membres de l'équipe DL, des demandes de déplacement (TR) sur SAP, etc. Cette diversité de sources rend la recherche d'informations difficile et désordonnée. Il est donc indispensable de centraliser les différentes ressources de données en un seul lieu.

Cependant, en raison de la nature imprévisible du secteur pétrolier et gazier, le premier objectif reste plus prioritaire que le deuxième : il est plus important de garantir l'efficacité de la flotte dans ses opérations que d'identifier des opportunités potentielles d'optimisation qui seraient rares sans une flotte efficace en premier lieu.

La question principale à se poser est donc :

Comment pourrait-on améliorer l'efficacité du processus de chargement/déchargement et suivre son évolution ?

Grâce à ce chapitre, nous avons pu mettre en évidence les besoins de l'organisme d'accueil. Nous avons débuté par retracer l'évolution de la gestion de l'entreprise, suivi d'une description détaillée de ses pratiques et processus de gestion, ce qui nous a permis de contextualiser sa gestion actuelle. Ensuite, nous avons adopté une approche d'analyse utilisant divers outils tels que le diagramme de Pareto et la méthode des "5 Pourquoi", ce qui nous a non seulement permis d'identifier les principaux problèmes et les pistes d'amélioration pour atteindre l'excellence opérationnelle, mais également de déterminer les causes profondes des dysfonctionnements. Cette analyse nous a également permis de formuler clairement notre problématique.

Le chapitre suivant se concentrera sur la présentation des concepts et des notions théoriques relatifs aux axes d'amélioration retenus. De plus, nous effectuerons une revue de la littérature concernant les systèmes de contrôle en temps réel et la planification, enrichissant ainsi notre compréhension et notre analyse des solutions possibles.

Chapitre 2

Etat de l'art

Dans ce chapitre, nous aborderons des concepts théoriques essentiels pour appréhender les solutions proposées par notre étude. Nous explorerons deux titres clés qui nous fourniront des connaissances sur plusieurs concepts, de la chaîne d'approvisionnement, des systèmes d'information et des systèmes numériques pour la gestion logistique, ainsi que des outils d'analyse de perte de temps et d'identification d'actions correctives. Enfin, nous aborderons des outils quantitatifs d'optimisation et de simulation, notamment les métaheuristiques et la simulation Monte Carlo.

Avant d'entamer les activités de chargement/déchargement commençons d'abord par définir la Supply Chain et le Supply Chain management

Une chaîne logistique représente un ensemble d'acteurs, où chacun est à la fois le client de l'acteur amont et le fournisseur de l'acteur aval, qui interagissent et enchaînent un certain nombre de processus de façon cohérente.[12]. Ainsi, la chaîne logistique est un ensemble d'acteurs où chacun est à la fois fournisseur de l'aval et client de l'acteur de la phase amont qui le précède.

Lambert (2008) définit la SC comme étant l'intégration des processus d'affaires clés depuis les derniers utilisateurs jusqu'aux premiers fournisseurs, ce qui permet de fournir des produits, des services et des informations qui rajoutent de la valeur aux clients et autres parties prenantes[12]. Pour Chopra et Meindl (2012), le SCM implique la gestion des actifs de la supply chain, ses flux de produits, d'informations et financiers afin de permettre la maximisation de sa rentabilité globale. [12]

2.1 Les activités de chargement et déchargement dans le contexte de l'industrie O&G

Douglas M. Lambert (2008) définit la logistique comme suit : "La logistique est le processus de planification, de mise en œuvre et de contrôle du flux et du stockage efficaces et efficients des biens, des services et des informations associées, depuis le point d'origine jusqu'au point de consommation, dans le but de répondre aux exigences des clients"[12].

Selon Mombeni et al. (2017), les activités logistiques englobent la planification, l'exécution et la gestion du mouvement et du stockage des marchandises ainsi que des informations associées, depuis leur origine jusqu'aux points de consommation. Le processus vise à répondre efficacement et efficacement aux exigences des clients. Plus précisément, le déchargement et le chargement sont des composants essentiels de ces activités, impliquant le transfert de marchandises vers et depuis les véhicules de transport tels que les navires, les camions et les trains. Ces

opérations sont cruciales pour assurer des flux continus et réguliers de la chaîne d'approvisionnement et ont des implications significatives en termes d'efficacité opérationnelle et d'impact environnemental[12].

Ces principes sont particulièrement pertinents pour aborder les problèmes logistiques majeurs dans le secteur du pétrole et du gaz :

Contraintes d'Infrastructure : Une infrastructure limitée, telle que des ports et des routes inadéquats, entrave le transport et la distribution efficaces des produits pétroliers et gaziers. La Banque mondiale (2020) rapporte que les contraintes infrastructurelles constituent un obstacle majeur pour la logistique dans les régions en développement, y compris en Afrique du Nord[12].

Préoccupations Environnementales et de Sécurité : Assurer la sécurité environnementale et respecter les réglementations en matière de santé et sécurité lors du transport et du stockage est crucial mais difficile. Les recherches de Fink (2013) soulignent l'importance des protocoles environnementaux et de sécurité dans la logistique des matières dangereuses comme le pétrole et le gaz[12].

Gestion des Coûts : Les coûts opérationnels élevés, notamment les coûts de carburant, de maintenance et de main-d'œuvre, peuvent affecter considérablement la rentabilité des opérations logistiques. Une étude de Rodrigue (2012) discute des aspects financiers de la logistique dans le secteur pétrolier et gazier, en mettant l'accent sur les stratégies de gestion des coûts[12].

Problèmes de Suivi et de Visibilité : Les inefficiences dans le suivi en temps réel des actifs et des stocks entraînent des retards et des coûts opérationnels accrus. Une étude de Mohammadi et Saidi (2018) met en lumière les défis de la visibilité de la chaîne d'approvisionnement dans le secteur du pétrole et du gaz, soulignant le besoin de technologies de suivi avancées[12].

Efficacité du Chargement et du Déchargement : Les processus inefficaces de chargement et de déchargement dans les ports et les installations de stockage peuvent causer des retards significatifs et des coûts accrus. Selon Al-Mudimigh et al. (2011), améliorer l'efficacité de ces processus peut réduire le temps d'arrêt et les dépenses opérationnelles[12].

Ces deux dernières dimensions sont d'ailleurs au cœur de notre problématique, notamment l'efficacité du chargement et du déchargement.

2.1.1 Particularités des opérations de chargement et déchargement

Les opérations de chargement et déchargement font référence aux processus impliqués dans le chargement de marchandises, d'équipements ou de matériaux à bord d'un véhicule de transport (comme des navires, des camions ou des trains) et dans leur déchargement à destination. Ces opérations sont cruciales dans la logistique, assurant le mouvement efficace des marchandises à travers la chaîne d'approvisionnement.

Plus particulièrement, et dans le contexte du secteur pétrolier et gazier, les opérations de chargement et déchargement aux bases de l'entreprise (par opposition aux sites de fournisseurs ou de clients) présentent plusieurs spécificités et défis.

Manipulation d'Équipements Spécialisés : Les bases pétrolières et gazières traitent souvent des équipements lourds et spécialisés, tels que des plateformes de forage, des tuyaux et autres machines industrielles[13].

Gestion du stockage et de l'inventaire : Une gestion efficace du stockage et de l'inventaire est cruciale pour éviter les retards et assurer la disponibilité opportune des matériaux[14].

Protocoles de Santé, Sécurité et Environnement (HSE) : Le respect strict des protocoles HSE est essentiel pour prévenir les accidents et assurer la sécurité du personnel et de l'environnement. Cet élément, comme vu dans la première partie (État des lieux), présente un élément crucial dans la politique SLB[15].

Coordination et Communication : Une coordination et une communication efficaces entre différents départements (logistique, opérations, maintenance) sont essentielles pour rationaliser les processus de chargement et déchargement[16].

Mesures de sécurité : Des mesures de sécurité renforcées sont souvent nécessaires pour protéger les équipements et matériaux précieux contre le vol ou le sabotage[17].

Personnalisation et Adaptabilité : Les opérations de chargement et déchargement aux bases de l'entreprise peuvent nécessiter une personnalisation en fonction des exigences spécifiques des projets en cours[18].

Ces types d'opérations font face à divers défis en matière de suivi et d'efficacité. Des problèmes qui nécessitent souvent des solutions numériques et une surveillance en temps réel pour améliorer l'efficacité opérationnelle et minimiser les retards[19].

2.1.2 Optimisation et Efficacité des Opérations de Chargement/Déchargement

Les opérations de chargement et de déchargement sont des composants critiques de la gestion de la logistique et de la chaîne d'approvisionnement. Ces processus impliquent le transfert de marchandises d'un mode de transport à un autre, et leur efficacité impacte directement la productivité globale et la rentabilité de la chaîne logistique. L'optimisation de ces opérations est essentielle pour répondre aux demandes croissantes du commerce mondial et pour maintenir des avantages concurrentiels dans l'industrie de la logistique. Nous fournissons dans cette partie une revue approfondie de la littérature scientifique sur l'optimisation et l'efficacité des opérations de chargement et de déchargement, en examinant l'analyse et l'atténuation des pertes de temps, les raisons courantes des pertes de temps, l'impact sur l'efficacité et la productivité, ainsi que les stratégies et technologies pour réduire les pertes de temps.

I. Analyse et Atténuation des Pertes de Temps

Raisons Courantes des Pertes de Temps en Logistique

Les pertes de temps dans les opérations de chargement et de déchargement peuvent provenir de diverses sources. Identifier ces sources est crucial pour développer des stratégies visant à atténuer leur impact.

Planification et Programmation Inadéquates

Une mauvaise planification et une programmation inadéquate sont les principales causes d'inefficacités dans les opérations de chargement et de déchargement. Cela peut inclure un manque de coordination entre les partenaires de la chaîne d'approvisionnement, une prévision insuffisante de la demande et une allocation inadéquate des ressources. Rodrigue (2012) discute de la manière dont une planification inadéquate peut créer des goulets d'étranglement, entraînant des retards et des coûts accrus[20].

Pannes d'Équipement et Temps d'Arrêt

Les pannes mécaniques et les problèmes de maintenance des équipements de chargement, tels que les grues, les chariots élévateurs et les convoyeurs, peuvent causer des perturbations significatives. Fink (2013) note que les temps d'arrêt dus aux pannes d'équipement impactent directement l'efficacité des opérations de chargement et de déchargement, entraînant des coûts opérationnels accrus et des retards[21].

Formation Insuffisante de la Main-d'Œuvre

L'efficacité des opérations de chargement et de déchargement dépend fortement des compétences et de l'expertise de la main-d'œuvre. Un personnel non formé ou mal formé peut ralentir les processus, augmenter le risque d'erreurs et compromettre la sécurité. Al-Mudimigh et al. (2011) soulignent l'importance de la formation continue de la main-d'œuvre pour maintenir une haute efficacité et minimiser les pertes de temps[22].

Documentation et Processus Administratifs Complexes

L'industrie de la logistique repose souvent sur une documentation et des procédures administratives extensives, ce qui peut ralentir les opérations. Mohammadi et Saidi (2018) mettent en évidence que les documents complexes et les processus bureaucratiques peuvent créer des retards dans la chaîne logistique, en particulier dans le transport international où la documentation douanière est impliquée[23].

Congestion et Retards de Circulation

La congestion du trafic dans les ports, les entrepôts et les centres de distribution peut causer des retards significatifs dans les opérations de chargement et de déchargement. Rodrigue (2012) discute de la manière dont la congestion, particulièrement dans les zones urbaines, affecte le timing et l'efficacité des opérations logistiques[20].

Facteurs Météorologiques et Environnementaux

Les conditions météorologiques défavorables, telles que les tempêtes, les fortes pluies et les températures extrêmes, peuvent perturber les opérations de chargement et de déchargement. Fink (2013) note que les perturbations liées aux conditions météorologiques sont une cause courante de perte de temps, surtout dans le transport maritime et aérien[21].

II. Impact sur l'Efficacité et la Productivité

La perte de temps dans les opérations de chargement et de déchargement a un impact profond sur l'efficacité et la productivité globales des activités logistiques. Les conséquences des inefficacités dans ces opérations vont au-delà des retards immédiats, affectant divers aspects de la chaîne d'approvisionnement.

Coûts Opérationnels Accrus

La perte de temps se traduit directement par des coûts opérationnels plus élevés. Les heures de travail prolongées, la consommation accrue de carburant et les coûts de maintenance plus élevés sont quelques-unes des dépenses associées aux inefficacités dans les opérations de chargement et de déchargement. Lambert (2008) discute de la manière dont les coûts accrus dus aux retards peuvent affecter significativement la rentabilité des opérations logistiques[24].

Satisfaction Client Réduite

La livraison ponctuelle des marchandises est un élément essentiel de la satisfaction client. Les retards dans les opérations de chargement et de déchargement peuvent entraîner des délais de livraison manqués, résultant en des clients insatisfaits et une perte potentielle de business. Mombeni et al. (2017) soulignent l'importance de la fiabilité et de la ponctualité pour maintenir la confiance et la fidélité des clients[25].

Réduction du Rendement

Les opérations de chargement et de déchargement inefficaces réduisent le rendement des marchandises, ce qui signifie que moins d'expéditions peuvent être traitées dans un laps de temps donné. Cette réduction du rendement affecte la productivité globale et la capacité des opérations logistiques. Rodrigue (2012) note que la réduction du rendement peut entraîner des goulets d'étranglement et d'autres retards dans la chaîne d'approvisionnement[20].

Risque Accru de Dommages et Pertes

La pression temporelle et les opérations précipitées peuvent augmenter le risque de dommages aux marchandises et aux équipements. Une mauvaise manipulation lors du chargement et du déchargement peut entraîner des dommages aux produits, ce qui non seulement entraîne des coûts directs, mais affecte également la satisfaction des clients et la réputation de l'entreprise. Fink (2013) discute de l'importance de la manipulation soignée et de l'allocation de temps adéquate pour minimiser le risque de dommages[21].

Impact Environnemental

Les opérations logistiques inefficaces peuvent avoir un impact environnemental significatif. La consommation accrue de carburant due aux retards contribue à des émissions de gaz à effet de serre plus élevées, tandis que le ralenti prolongé des véhicules aux quais de chargement entraîne une pollution inutile. Mohammadi et Saidi (2018) soulignent la nécessité de pratiques logistiques durables sur le plan environnemental pour atténuer ces impacts[23].

2.1.3 Stratégies et Technologies pour Réduire la Perte de Temps

Pour relever les défis associés à la perte de temps dans les opérations de chargement et de déchargement, diverses stratégies et technologies ont été développées et mises en œuvre dans l'industrie logistique. Ces approches visent à améliorer l'efficacité, à réduire les coûts et à améliorer les performances opérationnelles globales.

Systèmes de Planification et de Programmation Avancés

Les systèmes de planification et de programmation avancés, tels que les systèmes de gestion du transport (TMS) et les systèmes de gestion d'entrepôt (WMS), fournissent des données et des analyses en temps réel pour améliorer la prise de décision et l'allocation des ressources. Mombeni et al. (2017) discutent de la manière dont ces systèmes aident à optimiser la coordination des activités logistiques, à réduire les goulets d'étranglement et à améliorer l'efficacité globale[25].

Équipements Automatisés et Semi-Automatisés

La mise en œuvre d'équipements de chargement et de déchargement automatisés et semi-automatisés, tels que les véhicules guidés automatisés (AGV), les bras robotiques et les systèmes de convoyeurs, peut réduire significativement le temps requis pour ces opérations. L'automatisation minimise les erreurs humaines, améliore la vitesse et la précision, et améliore l'efficacité globale. Fink (2013) souligne le rôle de l'automatisation dans la logistique moderne et son impact sur l'efficacité opérationnelle[21].

Formation et Développement de la Main-d'Œuvre

Les programmes de formation et de développement continus pour la main-d'œuvre sont essentiels pour maintenir des niveaux élevés d'efficacité dans les opérations de chargement et de déchargement. Al-Mudimigh et al. (2011) soulignent l'importance d'investir dans la formation de la main-d'œuvre pour s'assurer que le personnel est compétent dans l'utilisation des équipements, l'adhésion aux protocoles de sécurité et la gestion efficace des processus logistiques[22].

Solutions de Documentation et Administratives Numériques

La numérisation des processus de documentation et administratifs par l'échange de données informatisé (EDI) et la technologie blockchain peut rationaliser les procédures et réduire les retards. Ces solutions améliorent la transparence, la traçabilité et la sécurité au sein de la chaîne d'approvisionnement. Mohammadi et Saidi (2018) discutent de la manière dont les solutions numériques peuvent atténuer l'impact des documents complexes et des processus bureaucratiques sur les opérations logistiques[23].

Suivi et Surveillance en Temps Réel

Les systèmes de suivi et de surveillance en temps réel, activés par les dispositifs de l'Internet des objets (IoT) et la technologie GPS, fournissent une visibilité sur l'état des expéditions et des équipements. Ces systèmes aident à identifier les problèmes potentiels avant qu'ils ne causent des retards significatifs, permettant une gestion proactive et des interventions en temps opportun. Rodrigue (2012) souligne l'importance du suivi en temps réel pour améliorer la visibilité et l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement[20].

Plateformes de Logistique Collaborative

Les plateformes de logistique collaborative facilitent le partage d'informations et la coordination entre les différents acteurs de la chaîne d'approvisionnement. Ces plateformes permettent une meilleure planification, une allocation des ressources et une prise de décision plus efficace, réduisant ainsi la probabilité de retards et d'inefficacités. Mombeni et al. (2017) discutent des avantages des plateformes de logistique collaborative pour améliorer la coordination et la communication entre les partenaires de la chaîne d'approvisionnement[25].

Pratiques Logistiques Lean

Les pratiques logistiques lean se concentrent sur l'élimination des déchets et l'optimisation des processus pour améliorer l'efficacité. Des techniques telles que la livraison juste-à-temps (JIT), le cross-docking et les initiatives d'amélioration continue aident à réduire la perte de temps et à améliorer la performance opérationnelle. Fink (2013) met en avant l'application des principes lean dans la logistique et leur impact sur la réduction des inefficacités[21].

Analyse Prédictive et Apprentissage Automatique

Les algorithmes d'analyse prédictive et d'apprentissage automatique peuvent être utilisés pour prévoir la demande, identifier les goulets d'étranglement potentiels et optimiser l'allocation des ressources. Ces technologies permettent aux prestataires logistiques de prendre des décisions basées sur les données, améliorant ainsi l'efficacité et l'efficacité des opérations de chargement et de déchargement. Mohammadi et Saidi (2018) discutent du rôle de l'analyse prédictive dans l'amélioration des performances de la chaîne d'approvisionnement[23].

Optimiser les opérations de chargement et de déchargement est crucial pour améliorer l'efficacité et la productivité des activités logistiques. Comprendre les raisons courantes de la perte de temps et leur impact sur la performance opérationnelle est essentiel pour mettre en œuvre des stratégies d'atténuation efficaces. Les systèmes de planification avancés, les équipements automatisés, la formation de la main-d'œuvre, les solutions numériques, le suivi en temps réel, les plateformes collaboratives, les pratiques de logistique lean et l'analyse prédictive sont parmi les principales stratégies et technologies qui peuvent réduire significativement la perte de temps et améliorer l'efficacité globale des opérations de chargement et de déchargement. La recherche et l'innovation continues dans ces domaines amélioreront encore les capacités des prestataires logistiques, assurant le mouvement fluide et efficace des marchandises à travers la chaîne d'approvisionnement[26].

2.1.4 Actions Correctives, Mise en Œuvre et Évaluation

Les actions correctives sont des interventions essentielles prises pour rectifier les problèmes, prévenir leur récurrence et garantir que les processus respectent les normes établies. Des actions correctives efficaces contribuent de manière significative à l'efficacité opérationnelle et à la conformité au sein des organisations. Cette section aborde l'identification, l'évaluation et la mise en œuvre des actions correctives, en mettant l'accent sur les méthodes traditionnelles et contemporaines, y compris le Processus de Hiérarchie Analytique (AHP) et la Technique pour l'Ordre de Préférence par Similarité à la Solution Idéale (TOPSIS).

I. Identification des Actions Correctives Efficaces

Les méthodes traditionnelles d'identification des actions correctives comprennent :

Analyse des Causes Racines (RCA) :

La RCA est un processus systématique d'identification de la cause profonde des problèmes ou des incidents. Les techniques courantes incluent les "5 Pourquoi" et les diagrammes en arête de poisson (Ishikawa) [27]. La RCA aide à identifier les problèmes sous-jacents qui mènent aux non-conformités, permettant des actions correctives ciblées.

Analyse des Modes de Défaillance et de Leurs Effets (FMEA) :

La FMEA est une approche structurée pour identifier les modes de défaillance potentiels, leurs causes et leurs effets sur la performance du système. Cela implique de noter la gravité, la fréquence et la détection de chaque mode de défaillance pour prioriser les actions correctives[28]. En se concentrant sur les modes de défaillance prioritaires, les organisations peuvent allouer efficacement les ressources pour atténuer les risques.

Apprentissage Automatique et Analyse des Données :

Ces méthodes exploitent les algorithmes et les grands ensembles de données pour identifier les schémas et prédire les problèmes potentiels. La maintenance prédictive, la détection des anomalies et l'analyse des tendances sont des applications courantes[26]. Les modèles d'apprentissage automatique peuvent fournir des informations proactives, permettant des actions correctives préventives.

Lean Six Sigma :

Une méthodologie qui combine les techniques de fabrication lean avec Six Sigma pour améliorer la qualité et éliminer les déchets. Des outils tels que DMAIC (Définir, Mesurer, Analyser, Améliorer, Contrôler) guident l'identification des actions correctives[29]. Les projets Lean Six Sigma aboutissent généralement à des améliorations significatives des processus et des réductions de coûts.

II. Méthodes pour Évaluer les Actions Correctives

Les méthodes d'évaluation souvent enseignées dans les contextes académiques incluent :

Analyse Coût-Bénéfice (CBA) :

La CBA évalue la faisabilité économique des actions correctives en comparant les coûts de mise en œuvre avec les bénéfices attendus. Quantifier les coûts et les bénéfices en termes

monétaires pour calculer la valeur actuelle nette (VAN) ou le retour sur investissement (ROI) [30]. La CBA aide à prioriser les actions correctives qui offrent la plus grande valeur économique.

Évaluation des Risques :

Évaluer les risques potentiels associés à la mise en œuvre des actions correctives. Utilisation de matrices de risque pour évaluer la probabilité et l'impact des risques[31]. Les évaluations des risques garantissent que les actions correctives n'introduisent pas de nouvelles vulnérabilités.

Analyse de Décision Multicritère (MCDA) :

La MCDA évalue les actions correctives en fonction de plusieurs critères pour fournir une évaluation équilibrée. Les méthodes comme le Modèle de Somme Pondérée (WSM) et le Modèle de Produit Pondéré (WPM) sont couramment utilisées[32]. La MCDA aide à prendre des décisions qui s'alignent avec les priorités organisationnelles et les valeurs des parties prenantes.

Modélisation par Simulation :

La modélisation par simulation utilise des simulations informatiques pour prédire les résultats des actions correctives dans différents scénarios. Créer des modèles qui imitent les processus du monde réel et tester diverses actions correctives[33]. Les simulations fournissent des insights sur les impacts potentiels et la faisabilité des actions correctives avant leur mise en œuvre.

III. AHP et TOPSIS pour l'Évaluation des Actions Correctives

Processus de Hiérarchie Analytique (AHP)

L'AHP est une technique structurée pour organiser et analyser des décisions complexes basées sur les mathématiques et la psychologie[34]. Le processus implique :

- **Définir le Problème et Déterminer l'Objectif** : Énoncer clairement le problème à résoudre et le résultat souhaité.
- **Structurer la Hiérarchie** : Décomposer le problème en une hiérarchie de sous-problèmes, chacun pouvant être analysé indépendamment.
- **Comparaisons Par Paires et Établissement des Priorités** : Comparer les éléments à chaque niveau de la hiérarchie par paires en termes de leur impact sur un élément au-dessus d'eux.
- **Synthétiser les Résultats** : Agréger les comparaisons par paires pour déterminer les priorités globales.

L'AHP facilite la prise de décision en quantifiant les jugements subjectifs des décideurs[35].

Technique de Préférence par Similarité à la Solution Idéale (TOPSIS)

TOPSIS est une méthode de prise de décision qui classe les alternatives en fonction de leur distance par rapport à une solution idéale[36]. Le processus implique :

- **Construire la Matrice de Décision** : Lister les alternatives et les critères dans un format matriciel.
- **Normaliser la Matrice de Décision** : Transformer les différentes échelles de critères en une échelle comparable.

- **Déterminer les Solutions Idéale et Négative-Idéale** : Identifier les meilleures (idéales) et les pires (négative-idéales) valeurs pour chaque critère.
- **Calculer les Mesures de Séparation** : Déterminer la distance de chaque alternative par rapport aux solutions idéale et négative-idéale.
- **Calculer la Proximité Relative** : Calculer la proximité relative de chaque alternative par rapport à la solution idéale.
- **Classer les Alternatives** : Classer les alternatives en fonction de leur proximité relative.

TOPSIS est préféré pour sa simplicité et sa capacité à gérer efficacement de grands ensembles de données[37].

IV. Préparation de Mise en Œuvre des Actions Correctives

La mise en œuvre des actions correctives nécessite une planification et une préparation minutieuses, incluant :

- **Allocation des Ressources** :
 - o Déterminer les ressources nécessaires, y compris le personnel, le budget et l'équipement.
 - o Prioriser les actions en fonction de la disponibilité des ressources et de la criticité.
- **Calendrier et Jalons** :
 - o Développer un calendrier avec des jalons clairs pour suivre les progrès.
 - o Assure une mise en œuvre en temps voulu et aide à la surveillance.
- **Engagement des Parties Prenantes** :
 - o Engager les parties prenantes pour obtenir leur soutien et répondre à leurs préoccupations.
 - o Communication régulière et implication dans les processus de prise de décision.

2.2 Evolution et Tendances de la Logistique Numérique

L'évolution de la logistique numérique a transformé les opérations de suivi et de gestion des chaînes d'approvisionnement dans divers secteurs, y compris celui de l'industrie pétrolière et gazière. Le développement historique des systèmes de suivi numériques a commencé avec l'introduction de technologies comme le code-barres et les systèmes de gestion d'entrepôt (WMS). Ces technologies ont permis une meilleure traçabilité et gestion des stocks, réduisant les erreurs humaines et améliorant l'efficacité opérationnelle[38].

Au fil du temps, ces systèmes ont évolué pour inclure des technologies plus avancées, telles que la RFID (Radio Frequency Identification) et les systèmes GPS. Ces innovations ont permis un suivi en temps réel des actifs, offrant une visibilité accrue sur la localisation et l'état des équipements et des matériaux tout au long de la chaîne d'approvisionnement[39].

- **RFID et GPS** : Ces technologies permettent de localiser précisément les actifs et de suivre leurs mouvements en temps réel. Cela réduit les risques de perte et de vol, et améliore la gestion des ressources[40].

- **Systèmes de gestion intégrée** : L'intégration de ces systèmes avec des logiciels de gestion d'entrepôt et de transport permet une coordination plus fluide des opérations logistiques[41].

Tendances Actuelles et Innovations dans la Gestion Logistique

Les tendances actuelles et innovations dans la gestion logistique incluent l'intégration de l'Internet des Objets (IoT) et l'analyse de données.

- **IoT** : Permet une collecte de données en temps réel à partir de capteurs installés sur les équipements et les stocks. Ces données fournissent des informations précises et instantanées sur les conditions des stocks et des équipements[42].
- **Analyse de données avancée et IA** : Utilisées pour la prédiction de la demande, l'optimisation des itinéraires, et la maintenance prédictive[43].
 - o **Prédiction de la demande** : En analysant les tendances passées, les systèmes peuvent prévoir les besoins futurs et ajuster les niveaux de stocks en conséquence[44].
 - o **Optimisation des itinéraires** : Les algorithmes peuvent déterminer les itinéraires de transport les plus efficaces, réduisant ainsi les coûts et les délais de livraison[45].
 - o **Maintenance prédictive** : En surveillant l'état des équipements, les systèmes peuvent prévoir les défaillances potentielles et planifier la maintenance de manière proactive, évitant les interruptions non planifiées[46].

Des études de cas de mise en œuvre réussie montrent comment ces technologies peuvent transformer les opérations logistiques. Par exemple, l'intégration de plateformes de communication intégrées a permis une meilleure coordination entre les départements logistique, opération et maintenance, améliorant ainsi l'efficacité opérationnelle. Mohammadi et Saidi (2018) mettent en avant l'importance de ces systèmes de communication intégrés pour améliorer la coordination inter-départementale et l'efficacité globale des opérations[17].

- **Réduire les pertes et vols** : La visibilité en temps réel a diminué les incidents de perte et de vol d'équipements[47].
- **Améliorer la gestion des stocks** : La capacité à surveiller les niveaux de stocks en temps réel a permis de maintenir des niveaux optimaux et d'éviter les ruptures de stock[48].
- **Optimiser les opérations de maintenance** : La maintenance prédictive basée sur les données collectées a réduit les temps d'arrêt et amélioré la fiabilité des équipements[49].

Ces innovations et études de cas illustrent comment la logistique numérique continue d'évoluer, apportant des améliorations significatives en termes d'efficacité, de sécurité et de gestion des ressources dans l'industrie pétrolière et gazière.

2.2.1 Technologies de Suivi en Temps Réel

Les technologies habilitantes qui soutiennent les exigences logistiques en temps réel comprennent la communication mobile, le système de positionnement global (GPS), le système d'information géographique (SIG), l'identification par radiofréquence (RFID) et les technologies de conception et de mise en œuvre de systèmes embarqués en temps réel[50]. Il existe deux principaux types d'utilisation de ces technologies : les systèmes télématiques pour véhicules et la RFID en pratique. Le premier intègre principalement le GPS, le SIG et les systèmes basés sur le Web,

et est principalement utilisé pour le suivi des remorques, des tracteurs et des conteneurs. Le second utilise des systèmes d'étiquettes, de lecteurs et de bases de données, et peut être utilisé pour le suivi des produits individuels ainsi que pour le suivi des conteneurs[51].

Les systèmes télématiques

Le système télématique des véhicules est l'utilisation intégrée des télécommunications et de l'informatique dans les véhicules routiers. Les principales applications pratiques du système télématique des véhicules comprennent :

- Données sur les véhicules et les conducteurs
- Suivi des véhicules
- Suivi des remorques
- Messagerie texte
- Manifestes sans papier et preuve de livraison
- Informations sur le trafic
- Navigation embarquée

Le suivi des véhicules est l'application de suivi la plus populaire dans la gestion du transport routier de fret. C'est un moyen de surveiller la localisation, les mouvements, le statut et les comportements d'un véhicule ou d'une flotte de véhicules. Cela est réalisé grâce à l'utilisation d'une unité de localisation de véhicule (parfois appelée kit télématique) installée dans le véhicule et d'une méthode de retour des données de position à l'utilisateur, via un réseau de communication mobile, pour une utilisation via un logiciel sur PC ou Web[52]. Le suivi des remorques est moins courant et est principalement utilisé pour la gestion du trafic de la cour, la planification des chargements et déchargements, et la gestion des actifs.

Il existe deux types de suivi des véhicules :

- **Localisation automatique des véhicules (A.V.L)** : Habituellement, l'A.V.L est utilisé dans les solutions de gestion de flotte ou de conducteurs, et transmet automatiquement sa localisation à un intervalle de temps défini, par exemple toutes les cinq minutes. L'unité est activée lorsque l'allumage est allumé ou éteint[53].
- **Système de suivi activé par événements (E.A.T.S)** : L'E.A.T.S est principalement utilisé en relation avec les solutions de sécurité des véhicules ou des conducteurs. Un exemple pourrait être : un voleur s'introduit dans une cour d'usine, charge un équipement sur un camion stationné sur place, puis s'éloigne. Cela déclenche alors le système de suivi où l'unité d'immobilisation ou le capteur de mouvement est activé[54].

Un système télématique de véhicule comprend trois composants majeurs :

1. **Matériel** : ordinateur de bord, récepteur GPS et module de communication
2. **Transfert de données** :
 - Réseau de données sans fil, déterminé par
 - Sensibilité temporelle des données
 - Quantité de données à transmettre
 - Fréquence des transmissions de données
 - Type de connexion : permanente (toujours activée) ou occasionnelle

3. Logiciel : cartographie et reporting[55]

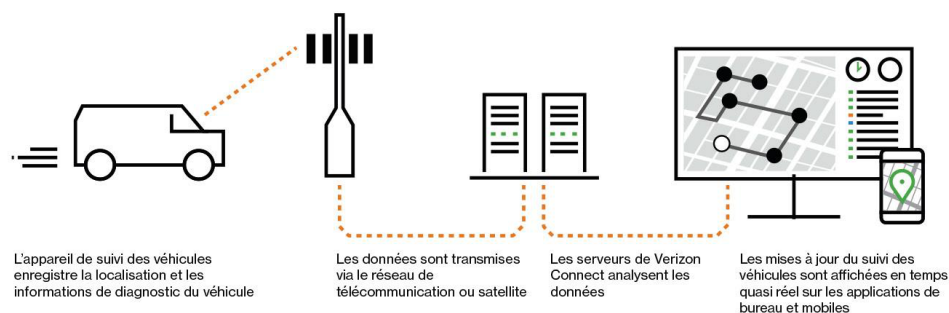


FIGURE 2.1 – Composantes d'un système télématique

Avantages et coûts

L'utilisation des systèmes de suivi en temps réel apporte de nombreux avantages aux organisations. L'un des principaux bénéfices est une meilleure visibilité pour les transporteurs et les expéditeurs, ce qui conduit à une gestion plus proactive des livraisons. Les retards sont détectés plus tôt, ce qui permet d'éviter des réactions en mode "pompiers"[56]. Cette meilleure visibilité contribue également à améliorer la gestion des stocks et des véhicules, réduisant les erreurs de livraison et les litiges grâce à une précision accrue des informations. En conséquence, les clients bénéficient d'un meilleur service[57].

L'automatisation accrue des systèmes de suivi en temps réel conduit à des délais de traitement des commandes plus courts et à une meilleure communication et efficacité des transactions. Par exemple, les erreurs de paiement aux transporteurs sont presque éliminées, car les détails sur les chargements sont plus précis[58]. Un autre avantage notable est la modification de la structure de la chaîne d'approvisionnement. Contrairement aux systèmes de suivi d'une seule entreprise, ces systèmes regroupent plusieurs expéditeurs et transporteurs via une interface unique, simplifiant ainsi le suivi des expéditions et réduisant les duplications de travail[59].

Cependant, ces avantages ont leurs inconvénients. Les transporteurs doivent souvent faire face à des investissements initiaux élevés, ce qui peut entraîner un sentiment de pression et de surveillance. Bien que les expéditeurs offrent des incitations, telles que l'ajustement des taux de transport pour compenser l'investissement des transporteurs, ces derniers se sentent souvent poussés plutôt que tirés vers ces systèmes[60].

Alternatives

Les transporteurs reconnaissent que la capacité à fournir des informations de suivi en temps réel leur offre un avantage concurrentiel sur le marché. Cependant, ces inconvénients poussent certains d'entre eux à utiliser des méthodes alternatives. On retrouve d'une part des technologies moins coûteuses qui répondent à des besoins spécifiques :

Codes à Barres Améliorés

Selon une étude du Journal of Manufacturing Systems (2021), les codes à barres 2D et les codes QR améliorés offrent une alternative économique au RFID pour le suivi précis des actifs et des produits tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Bien que moins automatisés que le RFID, ils peuvent être efficaces pour les applications où une granularité moindre est acceptable[61].

Technologies de Localisation en Intérieur (ILS)

Les systèmes de localisation en intérieur, comme ceux basés sur les signaux Wi-Fi et les ultrasons, offrent une alternative à l'IoT pour la surveillance en temps réel des actifs à l'intérieur des bâtiments. Une recherche de IEEE Transactions on Industrial Informatics (2020) souligne leur potentiel pour des applications spécifiques où une précision élevée est requise dans des environnements clos[62].

Capteurs Spécialisés

Des capteurs spécialisés pour des applications spécifiques, tels que les capteurs de gaz, les capteurs de vibrations, et les capteurs acoustiques, sont explorés dans Sensors and Actuators A : Physical (2022) comme alternatives aux capteurs IoT pour surveiller des paramètres environnementaux critiques avec une précision élevée et une faible latence[63].

D'autre part, un deuxième type de technologies permettant un tracking en temps réel repose sur l'implication directe des utilisateurs à travers des applications mobiles et d'autres plateformes interactives, minimisant ainsi les coûts d'investissement.

Applications Mobiles pour la Collecte de Données

Les applications mobiles permettent aux utilisateurs de saisir des données en temps réel sur site, augmentant ainsi la précision et la rapidité de la collecte d'informations[64].

Plateformes de Crowdsourcing

Le crowdsourcing via des plateformes en ligne permet à un large groupe de personnes de contribuer à la collecte de données en temps réel. Des recherches publiées dans Computers in Human Behavior (2020) indiquent que le crowdsourcing peut être efficace pour recueillir des informations géospatiales et contextuelles dans divers domaines tels que la gestion des catastrophes et la cartographie participative[65].

Portails Digitaux

Les portails digitaux permettent une entrée rapide et intuitive des données collectées. Grâce à des interfaces conviviales et personnalisables, ils offrent une vue d'ensemble des opérations en temps réel, facilitant la prise de décisions et la gestion des performances[66].

Notre étude, caractérisée par la difficulté d'obtenir les causes des pertes de temps sans intervention humaine (en raison du fait que les raisons des arrêts diffèrent de cas en cas, et que la majorité de l'opération se déroule sur le terrain, minimisant ainsi l'espace d'intervention des systèmes numériques), nous a amenés à concentrer nos efforts sur la facilitation de l'entrée des données plutôt que de proposer un système de capture automatique que nous jugions, à travers nos plans initiaux, incompatible avec la nature de l'activité. De plus, le coût énorme de ce système ne s'aligne pas avec les intentions du département, qui vise à minimiser ses dépenses à court terme. Nous avons donc décidé d'explorer des solutions reposant sur les applications mobiles et portails digitaux.

2.2.2 Applications Mobiles et Portails Numériques dans le Contexte de l'Industrie O&G

Développement et Fonctionnalités des Applications Mobiles pour la Logistique

Les applications mobiles transforment la logistique dans l'industrie du pétrole et du gaz (O&G) en introduisant des outils sophistiqués qui améliorent la gestion des chaînes d'approvisionnement. La mobilité permet une coordination en temps réel, une gestion plus précise et une réactivité accrue. Selon Venkatesh et Davis (2000), les technologies mobiles optimisent les flux lo-

gistiques en permettant une communication continue entre les différentes parties prenantes[67].

Fonctionnalités Clés :

- **Suivi en Temps Réel** : Les applications mobiles permettent le suivi en temps réel des expéditions, fournissant des informations précises sur la localisation et l'état des marchandises. Cette fonctionnalité réduit les risques de perte et de retard, améliore la traçabilité et permet une gestion proactive des problèmes. Rao et al. (2019) notent que cette visibilité accrue dans la chaîne d'approvisionnement est cruciale pour maintenir des opérations fluides[68].
- **Gestion des Stocks** : La gestion des stocks est facilitée par les mises à jour instantanées sur les niveaux de stock, évitant ainsi les ruptures et les surstocks. Zhang et Zhao (2017) soulignent que cette fonctionnalité est essentielle pour maintenir une chaîne d'approvisionnement réactive et efficace, en s'assurant que les matériaux nécessaires sont disponibles au bon moment[69].
- **Planification des Itinéraires** : Les algorithmes avancés utilisés dans les applications mobiles optimisent la planification des itinéraires, réduisant ainsi le temps de transit et les coûts de transport. Pourhejazy et Kwon (2016) montrent que l'optimisation des itinéraires conduit à une meilleure utilisation des ressources, à une réduction des émissions de carbone et à des économies de coûts significatives[70].
- **Notifications et Alertes** : Les applications mobiles peuvent envoyer des notifications et des alertes pour informer les gestionnaires de tout changement ou problème potentiel. Ces notifications proactives permettent de prendre des mesures correctives rapides[71].
- **Intégration des Données** : Les applications permettent une intégration fluide avec d'autres systèmes logistiques et ERP, fournissant une vue d'ensemble cohérente des opérations. Davenport et Prusak (1998) insistent sur l'importance de l'intégration des données pour améliorer la précision et la fiabilité des informations disponibles pour la prise de décision[72].

Expérience Utilisateur et Conception de l'Interface

La conception de l'interface utilisateur (UI) et l'expérience utilisateur (UX) sont cruciales pour garantir l'adoption et l'efficacité des applications mobiles. Une interface bien conçue augmente la satisfaction des utilisateurs et l'efficacité opérationnelle. Nielsen (1994) souligne que des interfaces intuitives et faciles à utiliser sont essentielles pour une adoption réussie des technologies[73].

Principes de Conception :

- **Simplicité** : Les interfaces doivent être simples et intuitives, permettant aux utilisateurs de naviguer facilement et de trouver les informations dont ils ont besoin rapidement. Hassenzahl (2010) indique qu'une interface simple améliore l'efficacité et réduit le temps de formation nécessaire, ce qui est crucial dans un environnement logistique où le temps est une ressource précieuse[74].
- **Personnalisation** : Les applications doivent offrir des options de personnalisation pour répondre aux besoins spécifiques des utilisateurs et des opérations logistiques. Marcus (2016) montre que la personnalisation des interfaces améliore l'engagement et la satisfaction des utilisateurs en permettant une adaptation aux préférences individuelles et aux exigences spécifiques des tâches[75].
- **Accessibilité** : Les applications doivent être accessibles sur différents appareils et plateformes, garantissant une utilisation fluide et cohérente. Norman (2013) souligne que

l'accessibilité est un facteur clé pour augmenter l'adoption et l'utilisation des technologies mobiles, surtout dans des environnements de travail diversifiés[76].

- **Feedback Immédiat** : Fournir un feedback immédiat aux utilisateurs sur leurs actions aide à prévenir les erreurs et améliore l'efficacité des processus logistiques. Un bon feedback utilisateur est essentiel pour maintenir la fluidité des opérations.[77].
- **Sécurité** : Les applications doivent assurer la sécurité des données et des transactions, un aspect particulièrement critique dans l'industrie O&G. Les protocoles de sécurité doivent être intégrés pour protéger les informations sensibles et les opérations critiques contre les cybermenaces[78].

Portails Numériques pour le Suivi et le Contrôle des Progrès

Les portails numériques offrent une plateforme centrale pour le suivi et le contrôle des opérations logistiques, fournissant des outils pour la gestion des données, la surveillance en temps réel et l'analyse des performances. Ces portails améliorent la visibilité et la gestion des chaînes d'approvisionnement, rendant les opérations plus transparentes et efficaces.

Fonctionnalités Clés

- **Tableaux de Bord Personnalisables** : Les portails numériques offrent des tableaux de bord personnalisables qui fournissent des informations en temps réel sur les performances logistiques. Kaplan et Norton (1996) montrent que ces tableaux de bord aident les gestionnaires à identifier rapidement les problèmes et à prendre des mesures correctives, ce qui améliore la réactivité et l'efficacité des opérations[79].
- **Intégration des Données** : Les portails permettent l'intégration des données provenant de diverses sources, assurant une vue d'ensemble complète et cohérente des opérations. Davenport et Prusak (1998) soulignent que l'intégration des données est cruciale pour améliorer la précision et la fiabilité des informations disponibles pour la prise de décision[72].
- **Rapports et Analyses** : Les portails numériques offrent des outils de génération de rapports et d'analyse qui aident à évaluer les performances logistiques et à identifier les tendances et les opportunités d'amélioration. Chen et al. (2012) indiquent que ces fonctionnalités sont essentielles pour une gestion proactive et stratégique de la chaîne d'approvisionnement, permettant une planification à long terme et une optimisation continue des processus[80].
- **Collaborations et Communication** : Les portails permettent une communication et une collaboration efficaces entre les différentes parties prenantes de la chaîne d'approvisionnement. Ces fonctionnalités renforcent la coordination et facilitent la résolution des problèmes en temps réel[81].
- **Sécurité des Données** : Les portails doivent garantir la sécurité des données en utilisant des protocoles avancés de cryptage et de protection contre les cybermenaces. Cela est particulièrement important dans l'industrie O&G, où les données sensibles doivent être protégées contre les accès non autorisés et les cyberattaques[78].
- **Automatisation des Processus** : Les portails numériques peuvent automatiser certaines tâches logistiques, réduisant ainsi les erreurs humaines et augmentant l'efficacité. L'automatisation permet de libérer du temps pour les employés, qui peuvent se concentrer sur des tâches plus stratégiques[82].
- **Suivi des KPI** : Les portails offrent des outils pour le suivi des indicateurs de performance clés (KPI), aidant les gestionnaires à surveiller l'efficacité des opérations logistiques et à identifier les domaines nécessitant des améliorations. Le suivi des KPI est crucial pour maintenir des standards élevés de performance et d'efficacité[83].

Implémentation

Dans le cadre de l'implémentation des technologies mobiles et des tableaux de bord numériques dans la logistique, plusieurs approches peuvent être adoptées. Voici un aperçu des principaux types d'implémentation et des étapes associées pour chaque méthode.

Implémentation Progressive : Ce type d'implémentation, recommandé par Pahl et Voeth (2018), consiste à introduire les technologies mobiles et les tableaux de bord numériques par phases. L'avantage de cette approche est qu'elle permet aux entreprises d'ajuster les outils et les processus en fonction des retours des utilisateurs à chaque étape. Les étapes typiques comprennent une phase pilote dans une section limitée de l'opération, suivie d'évaluations et d'ajustements avant un déploiement plus large. Cette méthode réduit les risques et permet une adoption plus contrôlée et mesurée[84].

Implémentation Complète : Cette approche, bien que plus risquée, vise à déployer les technologies mobiles et les tableaux de bord numériques simultanément à travers l'ensemble des opérations logistiques. Les recherches de Chen et al. (2012) montrent que cette méthode peut offrir des bénéfices rapides en termes de visibilité et de performance globale. Cependant, elle nécessite une préparation rigoureuse, y compris une formation exhaustive des utilisateurs et une assurance de compatibilité avec les systèmes existants. Le soutien fort de la direction et une gestion proactive du changement sont essentiels pour surmonter les défis associés[85].

Implémentation Parallèle : Wang et al. (2016) décrivent cette méthode comme une approche où les nouvelles technologies sont introduites en parallèle avec les systèmes existants. Cela permet aux entreprises de comparer directement les performances des anciennes et nouvelles technologies, facilitant ainsi une transition en douceur. Cette approche permet également de minimiser les interruptions de service et de tester la robustesse des nouvelles solutions avant de les adopter pleinement. L'intégration des systèmes, la personnalisation des solutions, et le support continu sont des éléments clés de cette méthode[86].

Implémentation Spécifique : Dans certaines situations, les entreprises choisissent de mettre en œuvre des applications mobiles et des tableaux de bord numériques uniquement dans des segments spécifiques de leurs opérations logistiques. El-Gazzar et al. (2019) suggèrent que cette approche est particulièrement utile pour les entreprises ayant des opérations diversifiées ou régionales. Elle permet de cibler les domaines où les gains d'efficacité et de visibilité sont les plus nécessaires, tout en limitant les ressources et le temps nécessaires pour l'implémentation. La personnalisation des solutions et la formation ciblée sont cruciales pour cette méthode[87].

2.3 Méthodes et Programmes Utilisés pour la Simulation et l'Optimisation des Événements Logistiques

Les simulations jouent un rôle crucial dans l'optimisation et la gestion des chaînes logistiques, permettant aux entreprises d'anticiper et de répondre efficacement aux défis logistiques. Diverses méthodes et programmes de simulation et d'optimisation ont été développés pour traiter des aspects variés de la logistique, incluant la planification des ressources, la gestion des stocks, le transport, et la distribution. Cette partie examine les méthodes et programmes les plus avancés utilisés dans la simulation et l'optimisation des événements logistiques.

2.3.1 Simulation et Optimisation

I. Méthodes de Simulation

Simulation par Événements Discrets (DES) : La simulation par événements discrets est largement utilisée pour modéliser des systèmes où les changements d'état se produisent à des moments discrets dans le temps [88]. Cette méthode est particulièrement efficace pour la gestion des flux de travail et des files d'attente. Des outils comme Arena, Simul8 et AnyLogic sont couramment utilisés dans ce domaine [89]. La DES permet de capturer la dynamique des systèmes complexes et de tester divers scénarios pour améliorer l'efficacité opérationnelle [90].

Simulation Continue : Contrairement à la DES, la simulation continue est utilisée pour modéliser des systèmes où les changements se produisent de manière continue au fil du temps [91]. Cette méthode est particulièrement adaptée à la modélisation des processus physiques et chimiques dans la chaîne logistique, comme la production de matières premières et la gestion énergétique. MATLAB et Simulink sont des exemples de logiciels utilisés pour la simulation continue [92].

Simulation Basée sur les Agents (ABS) : La simulation basée sur les agents modélise les interactions entre différents agents autonomes, chacun ayant ses propres règles et comportements [93]. Cette méthode est utile pour étudier les dynamiques de la chaîne logistique et les comportements émergents, tels que l'adaptation des fournisseurs et des distributeurs aux changements de la demande. AnyLogic est également utilisé pour ABS, ainsi que NetLogo et Repast [94].

Simulation Hybride : Les simulations hybrides combinent plusieurs méthodes de simulation pour tirer parti des avantages de chacune [95]. Par exemple, une simulation hybride peut intégrer DES pour la gestion des files d'attente et ABS pour la modélisation des interactions entre les acteurs de la chaîne logistique. Cette approche permet une modélisation plus complète et réaliste des systèmes logistiques [96].

II. Méthodes d'Optimisation

Optimisation Mathématique : L'optimisation mathématique utilise des modèles mathématiques pour trouver la meilleure solution possible à un problème logistique, souvent sous des contraintes spécifiques [97]. Les techniques courantes incluent la programmation linéaire, la programmation mixte en nombres entiers, et la programmation dynamique. Des outils comme CPLEX et Gurobi sont fréquemment utilisés pour résoudre ces problèmes complexes [98].

Algorithmes Heuristiques et Métaheuristiques : Les algorithmes heuristiques fournissent des solutions approximatives pour les problèmes d'optimisation lorsque des solutions exactes ne sont pas réalisables en temps opportun [99]. Les métaheuristiques, telles que les algorithmes génétiques, l'optimisation par essais particuliers et l'algorithme de colonies de fourmis, sont utilisées pour explorer de larges espaces de solutions et trouver des solutions optimales ou quasi-optimales [100]. Des logiciels comme MATLAB, HeuristicLab, et OptaPlanner facilitent l'application de ces algorithmes [101].

Optimisation Basée sur la Simulation : L'optimisation basée sur la simulation (SO) combine des techniques de simulation avec des méthodes d'optimisation pour trouver les meilleures configurations possibles des systèmes logistiques [102]. Cette approche est particulièrement utile lorsque les modèles mathématiques exacts sont difficiles à formuler, mais où les simula-

tions peuvent fournir des évaluations précises des performances des différentes configurations. AnyLogic et Simio sont souvent utilisés pour SO [103].

Intelligence Artificielle et Apprentissage Automatique : L'intelligence artificielle (IA) et l'apprentissage automatique (ML) sont de plus en plus utilisés pour l'optimisation logistique [104]. Ces techniques peuvent analyser de grandes quantités de données pour identifier des modèles et des tendances, permettant une optimisation proactive et adaptative des chaînes logistiques. Des outils comme TensorFlow et PyTorch facilitent le développement et la mise en œuvre de modèles IA et ML pour l'optimisation logistique [105].

III. Programmes de Simulation et d'Optimisation

AnyLogic : est un outil de simulation polyvalent qui supporte DES, ABS et la simulation continue. Il est largement utilisé dans les industries de la logistique pour sa flexibilité et sa capacité à modéliser des systèmes complexes [95]. AnyLogic permet également l'intégration avec d'autres logiciels et plateformes, facilitant ainsi l'analyse et l'optimisation des chaînes logistiques [106].

Arena : est un logiciel de simulation par événements discrets particulièrement populaire pour la modélisation des processus de production et de distribution [107]. Il offre une interface utilisateur intuitive et des fonctionnalités puissantes pour la visualisation et l'analyse des performances logistiques [108].

Simul8 : est un autre outil de simulation par événements discrets utilisé pour l'optimisation des processus opérationnels [109]. Il est apprécié pour sa rapidité de simulation et sa capacité à gérer de grands modèles complexes. Simul8 est couramment utilisé dans les secteurs de la fabrication, de la santé et de la logistique [110].

MATLAB et Simulink : sont des outils de simulation continue largement utilisés dans l'ingénierie et les sciences physiques [92]. Ils sont particulièrement efficaces pour modéliser les dynamiques continues des systèmes logistiques, comme les flux de matières et l'optimisation énergétique [111].

FlexSim : est un outil de simulation 3D par événements discrets utilisé pour l'analyse et l'optimisation des systèmes logistiques [112]. Il permet une visualisation détaillée des processus et des scénarios "what-if" pour améliorer la prise de décision [113].

Gurobi et CPLEX : sont des solveurs d'optimisation mathématique très puissants utilisés pour résoudre des problèmes complexes de programmation linéaire et mixte en nombres entiers [114]. Ils sont largement utilisés dans la planification de la production, la gestion des stocks et l'optimisation des réseaux de distribution [115].

TensorFlow et PyTorch : sont des cadres de travail pour l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle, utilisés pour développer des modèles prédictifs et des algorithmes d'optimisation avancés [105]. Ces outils permettent d'analyser des données massives et de créer des solutions d'optimisation adaptatives pour les chaînes logistiques [116].

La simulation et l'optimisation des événements logistiques sont essentielles pour l'optimisation des chaînes logistiques et la prise de décision stratégique. Les méthodes et programmes de simulation et d'optimisation, tels que la DES, ABS, les algorithmes heuristiques, et les outils comme AnyLogic, Arena, et Gurobi, offrent des capacités puissantes pour modéliser, analyser et optimiser les systèmes logistiques complexes. La sélection de la méthode et du programme appropriés dépend des spécificités du système logistique et des objectifs de l'analyse. En combinant ces

outils de manière stratégique, les entreprises peuvent améliorer leur efficacité opérationnelle et leur résilience face aux perturbations.

2.3.2 Utilisation des Métaheuristiques en optimisation

L'intégration des algorithmes métaheuristiques avec les méthodes de Monte Carlo a émergé comme une approche puissante pour résoudre des problèmes d'optimisation complexes caractérisés par une grande incertitude et variabilité [117]. Nous examinons les fondements de ces techniques, leur synergie et les applications notables dans divers domaines, en se basant sur les travaux de Tan et al. et Ma et al. [118] [119].

Métaheuristiques

Définition et Aperçu

Les métaheuristiques sont des algorithmes d'optimisation généraux conçus pour trouver des solutions quasi-optimales à des problèmes complexes où les méthodes exactes sont impraticables ou inefficaces [120]. Ces algorithmes s'inspirent souvent de processus naturels, biologiques ou sociaux, et visent à explorer efficacement de vastes espaces de solutions pour éviter les pièges des optima locaux. Ils sont particulièrement utiles dans les situations où les solutions doivent être trouvées en temps limité, et où une solution optimale absolue n'est pas nécessaire [121].

Exemples de Métaheuristiques

Algorithmes Génétiques : Inspirés par le processus de sélection naturelle, les algorithmes génétiques (AG) utilisent des opérations de croisement, de mutation et de sélection pour évoluer vers des solutions meilleures [122]. Chaque solution potentielle, appelée individu, est représentée sous forme de chaîne (ou chromosome) et les solutions évoluent sur plusieurs générations pour optimiser une fonction objectif [123].

Algorithmes de Colonies de Fourmis : Ces algorithmes sont basés sur le comportement collectif des colonies de fourmis à la recherche de nourriture [124]. Les fourmis déposent des phéromones sur les chemins qu'elles parcourent, et les autres fourmis sont plus susceptibles de suivre des chemins avec des concentrations élevées de phéromones, conduisant à l'émergence de solutions optimales pour des problèmes comme le voyageur de commerce [125].

Recuit Simulé : Le recuit simulé est inspiré du processus de refroidissement des métaux [126]. Il explore l'espace des solutions en acceptant parfois des solutions moins bonnes pour échapper aux optima locaux, avec une probabilité d'acceptation qui diminue au fil du temps. Cela permet une exploration initiale large suivie d'un affinage plus précis des solutions [127].

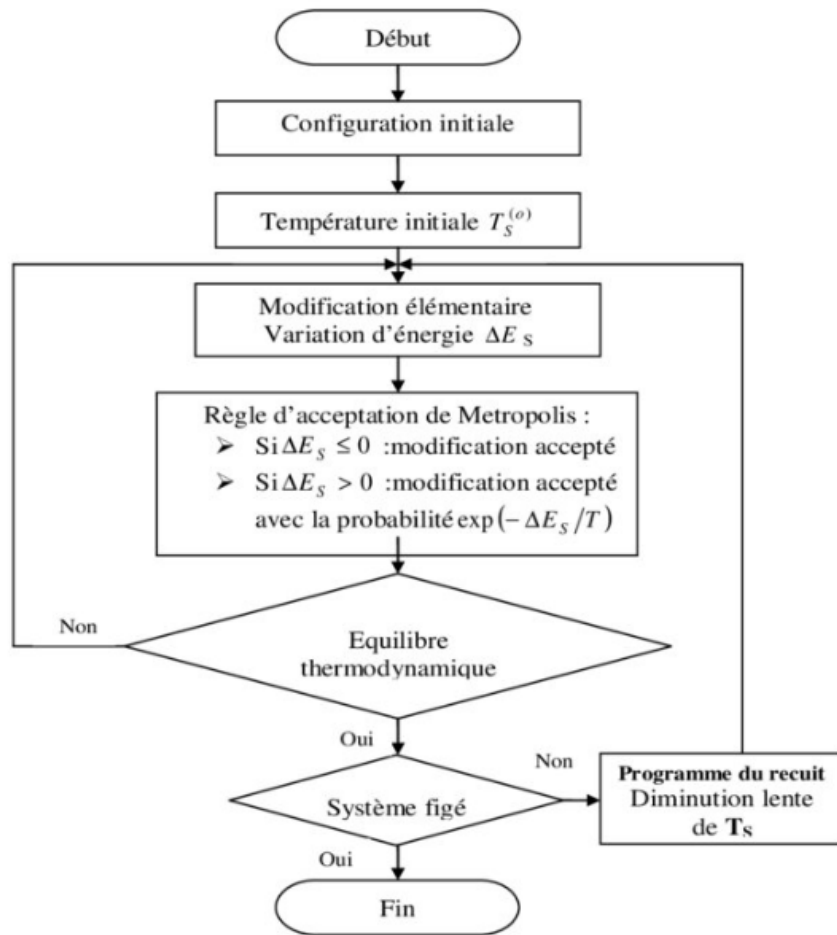


FIGURE 2.2 – Diagramme des étapes du Recuit Simulé

Recherche Tabou : La recherche tabou est une méthode métaheuristique puissante pour surmonter les limitations des méthodes de recherche locale en utilisant une structure de mémoire pour éviter de revisiter des solutions déjà explorées [128]. Développée par Fred Glover dans les années 1980, elle permet une exploration plus large et plus efficace de l'espace de recherche [129].

Fonctionnement de la Recherche Tabou : Elle fonctionne selon les étapes suivantes [130] :

Algorithm 1 Recherche Tabou

```

Initialiser une solution initiale  $S$ 
Initialiser la liste tabou  $L$ 
while le critère d'arrêt n'est pas satisfait do
  Générer un ensemble de solutions voisines  $V$  de  $S$ 
  Choisir la meilleure solution  $S'$  dans  $V$  qui n'est pas dans  $L$  ou qui améliore  $S$  malgré son statut tabou
  if  $S'$  améliore la meilleure solution trouvée jusqu'à présent then
    Mettre à jour la meilleure solution trouvée
  end if
  Ajouter le mouvement effectué pour obtenir  $S'$  à la liste tabou  $L$ 
  if  $S'$  répond au critère d'aspiration then
    Accepter  $S'$  malgré son statut tabou
  end if
  Mettre à jour la solution actuelle  $S$  avec  $S'$ 
end while
Retourner la meilleure solution trouvée

```

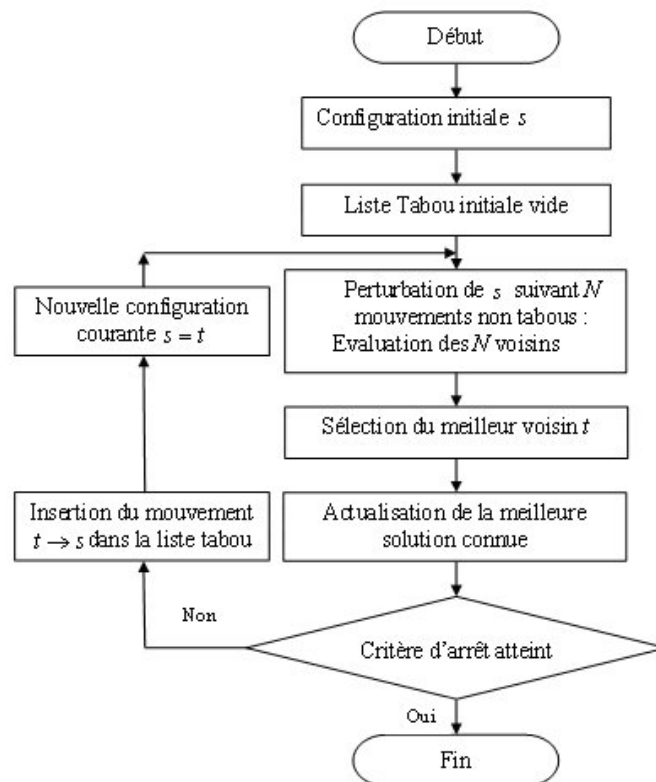


FIGURE 2.3 – Fonctionnement de la Recherche Tabou

***Création de Fonctions Voisines**

La création de fonctions voisines est essentielle pour l'efficacité de la recherche tabou. Ces fonctions définissent comment générer de nouvelles solutions à partir de la solution actuelle en apportant de petites modifications. La qualité des fonctions voisines influence directement la capacité de l'algorithme à explorer efficacement l'espace de recherche.

Exemples de Fonctions Voisines

- **Problème de Routage de Véhicules** : Échanger deux villes dans une tournée.

- **Problème de l'Attribution de Tâches** : Changer l'attribution d'une tâche d'une ressource à une autre.
- **Problème de Planification** : Modifier les créneaux horaires de certaines activités.

Une fonction voisine doit être capable de générer une variété de nouvelles solutions, tout en garantissant que ces solutions restent valides par rapport aux contraintes du problème [131].

Avantages de la Recherche Tabou

- **Exploration Globale** : La mémoire tabou permet d'éviter les boucles et de pousser l'exploration au-delà des optima locaux [132].
- **Flexibilité** : Applicable à une large gamme de problèmes d'optimisation, de la planification à la logistique [133].
- **Robustesse** : Capable de trouver des solutions de haute qualité dans des espaces de solutions complexes et multifacettes [134].

2.3.3 Méthodes de Monte Carlo

Définition et Aperçu

Les méthodes de Monte Carlo sont des techniques de simulation utilisées pour évaluer des modèles mathématiques en générant un grand nombre de scénarios possibles par échantillonnage aléatoire. Elles sont particulièrement utiles pour les problèmes où des incertitudes et des variabilités significatives existent, permettant d'estimer les distributions de probabilité, les risques et les performances moyennes des systèmes complexes [135].

Principe de la méthode

Le principe de fonctionnement des méthodes de Monte Carlo repose sur l'échantillonnage aléatoire et la modélisation statistique pour imiter le comportement de systèmes complexes [136]. Supposons que l'on souhaite connaître la valeur d'une certaine quantité δ . La première étape de la méthode consiste à écrire le problème sous la forme d'une espérance :

$$\delta = \mathbb{E}[f(X)], \quad (2.1)$$

Avec :

- f : fonction donnée.
- X : variable aléatoire dont la distribution est connue.

La méthode de Monte Carlo nous dit donc de remplacer l'espérance par une moyenne empirique sur un grand nombre d'échantillons aléatoires :

$$\delta \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(X_i) \quad (2.2)$$

où :

- X_1, X_2, \dots, X_N : échantillons aléatoires indépendants de X .

L'exactitude de l'estimation dépend du nombre d'échantillons N utilisés. En règle générale, plus N est élevé, plus l'estimation sera précise. Cependant, il est important de noter que le coût de la simulation augmente également proportionnellement à N , ce qui peut restreindre la taille des problèmes pouvant être traités par la méthode de Monte Carlo. Par conséquent, il est essentiel de trouver un compromis entre la précision de l'estimation et les contraintes de coût lors de l'application de cette méthode dans des problèmes réels.

Convergence de la méthode

La convergence de la méthode Monte Carlo est assurée par la *Loi forte des grands nombres*[136] :

Théorème 1.1

Soit $(X_n)_{n \geq 0}$ une suite de variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées, à valeurs dans \mathbb{R}^d ($d \in \mathbb{N}^*$). On suppose que $\mathbb{E}[|X_1|] < +\infty$. Alors

$$\frac{X_1 + \dots + X_n}{n} \xrightarrow[n \rightarrow +\infty]{} \mathbb{E}(X) \quad (2.3)$$

Cette loi exprime le fait que les caractéristiques d'un échantillon aléatoire se rapprochent des caractéristiques statistiques de la population (ensemble d'individus ou d'éléments) lorsque la taille de l'échantillon augmente à l'infini.

Si les méthodes déterministes sont efficaces pour les problèmes réguliers de très petites dimensions, les méthodes de Monte Carlo les surpassent et sont très compétitives pour les problèmes non-réguliers en grande dimension[136].

Fonctionnement des Méthodes de Monte Carlo

- **Définition du Modèle** : Formuler un modèle mathématique représentant le problème à résoudre.
- **Génération des Échantillons** : Utiliser des générateurs de nombres aléatoires pour créer des échantillons de variables d'entrée selon leurs distributions probables.
- **Simulation** : Calculer les résultats pour chaque échantillon en fonction du modèle.
- **Analyse Statistique** : Agréger les résultats pour obtenir des estimations statistiques des paramètres d'intérêt, comme la moyenne, la variance et les quantiles [137].

Test de Kolmogorov-Smirnov

Le test de Kolmogorov-Smirnov (K-S) est un test statistique non paramétrique qui permet de comparer une distribution empirique avec une distribution théorique ou de comparer deux distributions empiriques. Il est basé sur la distance maximale entre les fonctions de distribution cumulée (CDF) de deux distributions.

Soit $F(x)$ la fonction de distribution cumulée de la distribution théorique (ou de la première distribution empirique) et $F_n(x)$ la fonction de distribution cumulée de l'échantillon empirique (ou de la deuxième distribution empirique), le test de Kolmogorov-Smirnov est défini par la statistique suivante :

$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F(x)| \quad (2.4)$$

où D_n est la distance maximale entre les deux CDF et \sup_x représente le supremum sur l'ensemble des valeurs de x .

Utilité du test de K-S

Le test de Kolmogorov-Smirnov est particulièrement utile dans les cas suivants :

- **Comparer une distribution empirique avec une distribution théorique** : Il permet de tester si un échantillon suit une distribution spécifique, comme la loi normale, exponentielle, ou autre.

- **Comparer deux distributions empiriques** : Il permet de vérifier si deux échantillons proviennent de la même distribution, ce qui est utile pour les comparaisons entre différents groupes ou conditions expérimentales.
- **Test non paramétrique** : Étant donné qu'il ne repose pas sur des hypothèses paramétriques concernant la forme des distributions, il est largement applicable même lorsque la forme des distributions est inconnue ou non normale.
- **Analyse de conformité** : Il est utilisé pour vérifier la conformité d'un processus ou d'un système à une distribution théorique attendue, par exemple dans le contrôle de qualité ou les essais de conformité.

Applications des Méthodes de Monte Carlo

Les méthodes de Monte Carlo sont largement utilisées dans des domaines tels que la finance pour la valorisation des options, l'ingénierie pour l'évaluation de la fiabilité des systèmes, et la gestion des stocks pour la prévision de la demande et l'optimisation des niveaux de stock [138].

Synergie entre Métaheuristiques et Méthodes de Monte Carlo

L'intégration des métaheuristiques avec les méthodes de Monte Carlo offre une approche robuste pour aborder les problèmes d'optimisation sous incertitude. Les métaheuristiques fournissent une exploration efficace de l'espace de recherche, tandis que les méthodes de Monte Carlo apportent une évaluation précise des scénarios stochastiques [139]. Cette synergie est illustrée par deux études de cas significatives :

Gestion des Stocks sous Demande Stochastique : Tan et al. (2001) ont développé un algorithme métaheuristique pour l'optimisation et la gestion des stocks sous demande stochastique. Leur approche combine un algorithme génétique avec des simulations de Monte Carlo pour évaluer l'impact des variations de la demande sur les niveaux de stock et les coûts associés. Les résultats montrent que cette combinaison permet de minimiser les coûts tout en maintenant des niveaux de service élevés, démontrant l'efficacité de l'approche dans des environnements incertains [140].

Optimisation Conjointe de la Production et de la Maintenance : Ma et al. (2017) ont étudié l'optimisation conjointe de la production et de la maintenance en utilisant une méthode de Monte Carlo couplée avec des algorithmes métaheuristiques. Leur modèle intègre des variables stochastiques pour la demande de production et les pannes de maintenance, permettant une planification plus réaliste et robuste. Les résultats indiquent que cette approche améliore la performance globale du système en réduisant les temps d'arrêt et les coûts de maintenance, tout en répondant efficacement aux fluctuations de la demande [141].

Avantages et Défis

L'utilisation conjointe des métaheuristiques et des méthodes de Monte Carlo présente plusieurs avantages, notamment la capacité à traiter des problèmes complexes avec des incertitudes multiples et la flexibilité d'adaptation à différents contextes et contraintes [142]. Cependant, cette intégration pose également des défis, tels que la nécessité de définir des critères de convergence appropriés et la gestion des compromis entre précision et temps de calcul [143].

Perspectives Futures

Les perspectives futures pour la recherche et l'application des métaheuristiques couplées aux méthodes de Monte Carlo sont prometteuses. Des domaines tels que la logistique, la gestion des ressources et les systèmes de production intégrés peuvent bénéficier de ces approches pour améliorer leur résilience et leur efficacité face à l'incertitude [144]. De plus, le développement de

techniques hybrides et l'amélioration des capacités de calcul ouvrent de nouvelles possibilités pour des applications encore plus complexes et dynamiques [145].

En conclusion, l'intégration des algorithmes métaheuristiques avec les méthodes de Monte Carlo constitue une avancée significative dans le domaine de l'optimisation sous incertitude. Les études de cas de Tan et al. et Ma et al. démontrent les avantages de cette approche pour la gestion des stocks et l'optimisation de la production et de la maintenance. Malgré les défis, les perspectives futures indiquent un potentiel considérable pour l'application de ces techniques dans divers domaines industriels et de recherche [146].

Ce chapitre a permis de présenter les concepts théoriques fondamentaux qui sont essentiels pour appréhender la problématique de notre étude. Nous avons exploré en détail trois sections clés, à savoir une mise en contexte des opérations chargement/déchargement et leurs améliorations, les tendances des systèmes digitaux, ainsi que les techniques d'optimisation et simulation en logistique. Ces sections ont jeté les bases nécessaires à notre compréhension approfondie du sujet et nous ont fourni les outils conceptuels indispensables pour mener à bien notre recherche. En intégrant ces concepts clés, nous serons en mesure d'apporter une analyse approfondie et des solutions pertinentes à notre problématique

Chapitre 3

Contribution

Comme début de notre étude, nous avons décidé de commencer par analyser le processus de chargement/déchargement, afin de déterminer les causes racines du temps perdu, pour ensuite proposer des améliorations au processus, ainsi que des outils digitales permettant de tracker l'efficacité de ces améliorations ainsi qu'offrir à l'équipe DL une visibilité sur leur flotte logistique.

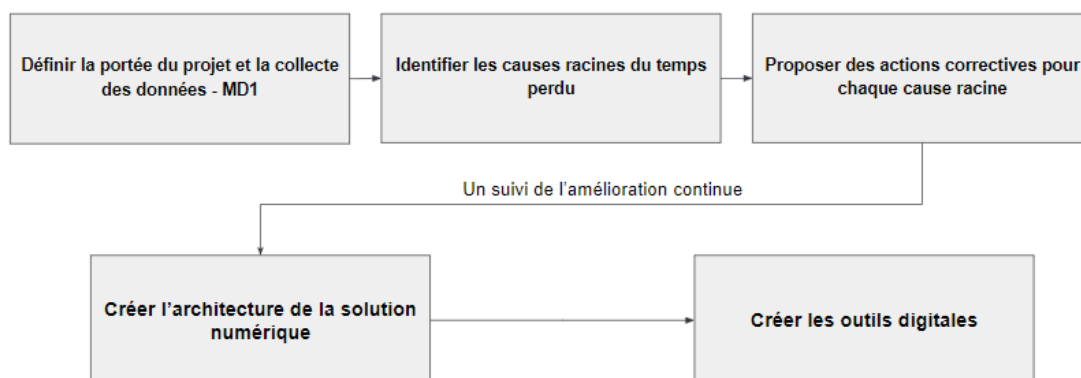


FIGURE 3.1 – Méthodologie de travail

Portée du projet et collecte des données :

Nous avons d'abord commencé par une visite des différentes bases Schlumberger à Hassi Messaoud, nous avons décidé d'éliminer les mouvements des bases hors de Hassi Messaoud car :

- Ils dépendent de l'existence d'un chantier à ce moment-là.
- Ils sont significativement moins importants en termes de volume que ceux des bases de Hassi Messaoud.
- De plus, une fois qu'un camion est sur un chantier, il est facturé à la Business Line à laquelle il est assigné

Et donc, les pertes de temps dans ces bases ne représentent pas une perte de budget pour l'équipe de Domestic Logistics (il reste cependant nécessaire de les suivre, car une meilleure visibilité des camions dans les bases et les chantiers nous permettra d'identifier les opportunités d'optimisation des trajets et de minimiser les callouts).

Après notre visite aux bases SLB à Hassi Messaoud, nous avons constaté les observations suivantes :

- **Base MD2 :**

- Les opérations de chargement/déchargement ne présentent pas de pertes de temps, car l'opération se résume à l'attachement/détachement d'un compartiment au camion.
- La base est assez spacieuse, ce qui permet à un grand nombre de camions d'effectuer les opérations en même temps.
- Le travail suit un rythme régulier, car les Business Lines présentes à MD2 travaillent sur des projets de longue durée avec une charge assez constante.

- **Base MD3 :**

- Les opérations sont minimales à MD3 ; il s'agit de transfert de matières chimiques, des opérations qui se font une ou deux fois par semaine seulement. L'équipe a donc assez de temps pour préparer les nécessités de l'opération.
- Les matières chimiques sont utilisées pour remplir les réservoirs sur les chantiers et sont donc planifiées à l'avance, ce qui élimine le risque de subir des coûts de retard par les clients.

- **Base Westerngeco :**

- Les démarches de sécurité au sein de la base sont très rigoureuses, ce qui rend l'accès difficile. De plus, les standards HSE au sein de cette base sont différents de ceux des autres (Westerngeco a été achetée par SLB), ce qui la rendait un peu à la limite de nos interventions.
- Les opérations de chargement/déchargement dans cette base sont significativement inférieures à celles des autres bases.

- **Base MD1 :**

- MD1 comporte le plus grand nombre d'opérations de chargement/déchargement et est la base des Business Lines avec le plus grand chiffre d'affaires (WL TST).
- Les opérations de chargement au sein de la base varient en termes de zone, de type et de nombre de matériel selon la Business Line.
- Ainsi que d'autres observations que nous explorerons avec plus de détails dans les parties suivantes.

Et donc, suite à ces observations, nous avons décidé de concentrer notre étude sur la base MD1.

3.1 Étude des pertes de temps à MD1 :

L'étude a été menée sur la base MD1 et est divisée en deux sections :

- La première est une étude sur les données des entrées et sorties (in-out) des véhicules de la base pendant plus d'un (1) mois. L'objectif est de calculer la fréquence des flux in-out ainsi que la distribution des temps et des durées d'entrée-sortie. Cette collecte a été réalisée par les agents de la porte qui ont noté chaque entrée/sortie des véhicules.

- La deuxième est une étude sur le processus de chargement/déchargement. Nous avons analysé plus de 60 opérations afin d'identifier les raisons de la perte de temps, la quantité, la fréquence ainsi que leur criticité dans la base MD1.

Étant donné que nous avons collecté plus de 30 instances (33) de flux journalier, cela nous permet de généraliser les résultats trouvés en période d'étude sur des périodes de demande similaire (et donc la journée moyenne à MD1). De plus, le choix des opérations à étudier a été fait de manière aléatoire (nous avons aléatoirement choisi les demi-journées d'étude) afin de simuler un échantillonnage. Ainsi, avec 62 opérations (55 % du volume total d'opérations pendant la période d'étude de 14 jours), nous pouvons généraliser les résultats trouvés dans cette analyse à l'ensemble des opérations à MD1 via le théorème central limite.

Note : La période d'étude des opérations est inférieure à celle des flux d'entrée-sortie car nous avons dû attendre de suivre des formations NEST afin de pouvoir porter les EPI et nous déplacer dans les zones opérationnelles de la base (et donc de chargement/déchargement...).

3.1.1 Définitions des événements de l'opération

Après plusieurs observations et consultations avec l'équipe DL, nous avons divisé la perte de temps pendant l'opération (chargement/déchargement) en plusieurs parties (que nous appelons événements) :

- **Manœuvre sur la base :** cela inclut tout le temps passé pendant que le camion manœuvre sur la base, y compris le temps passé depuis le passage de la porte jusqu'au stationnement à son emplacement, incluant les pertes de temps si une route est bloquée.
- **Temps de chargement/déchargement :** c'est le temps passé depuis le début du travail des véhicules de manutention (chariot élévateur/grue) sur le véhicule jusqu'à sa fin, sans inclure le temps de chaînage/déchaînage.
- **Sécurisation de la charge (chaînage/déchaînage) :** le temps utilisé par le conducteur pour chaîner/déchaîner entièrement le matériel sur le véhicule.
- **Attente des outils :** perte de temps due à l'attente que l'équipement soit prêt (cela signifie que le véhicule doit être prêt à recevoir l'équipement donné).
- **Attente de la grue :** perte de temps due à l'attente que la grue soit prête à manipuler l'équipement (ainsi qu'à la mise en place des exigences HSE)
- **Temps d'attente du chariot élévateur :** perte de temps due à l'attente que le chariot élévateur soit prêt à manipuler l'équipement.
- **Papiers administratifs et autorisations :** toutes les pertes de temps dues à l'absence d'un document ou à des procédures administratives empêchant le véhicule d'entrer/sortir, par exemple un retard dans la préparation du document de mouvement d'équipement, ne pas prendre les photos nécessaires pour partir, etc.
- **Retards de planification du service :** toutes les pertes de temps dues à un manque de planification de la part du segment, par exemple en demandant au véhicule d'attendre si un autre équipement sera expédié, ou si le véhicule part avec le mauvais équipement (mauvaise attribution d'outil) ou est rappelé pour ajouter plus d'équipement...
- **Coordination Segment-Driver :** toutes les pertes de temps dues à un manque de communication entre le segment et les conducteurs, par exemple, le fait que le conducteur se gare dans la mauvaise zone et doit ensuite manœuvrer à nouveau, perte de temps parce que le conducteur n'a pas été informé de la nature de l'équipement qui sera déplacé et n'a donc pas apporté le matériel de verrouillage approprié...

- **Autres facteurs** : tout autre facteur non présent ici, ceux-ci sont très rares (environ 4 %) et sont dus à des facteurs extérieurs au processus (prendre le temps de dîner, le conducteur attendant que quelqu'un lui remette un paquet, se sentant fatigué et prenant un peu de temps avant de partir, etc.).

3.1.2 L'analyse

Analyse des flux :

À partir des données collectées par les gardiens, nous obtenons les résultats suivants : **Le temps moyen passé** dans la base par véhicule (ce temps ne représente pas la moyenne du temps d'une opération car certains camions entrent dans la base mais ne réalisent pas d'opération de chargement/déchargement pour diverses raisons telles que le matériel non prêt, les engorgements...) est de **1 heure et 5 minutes** (celui du temps moyen d'opération est de 1h15mins). **Le nombre moyen de véhicules** par jour est de **8,07**.

Voici la distribution du nombre de camions par heure d'entrée :

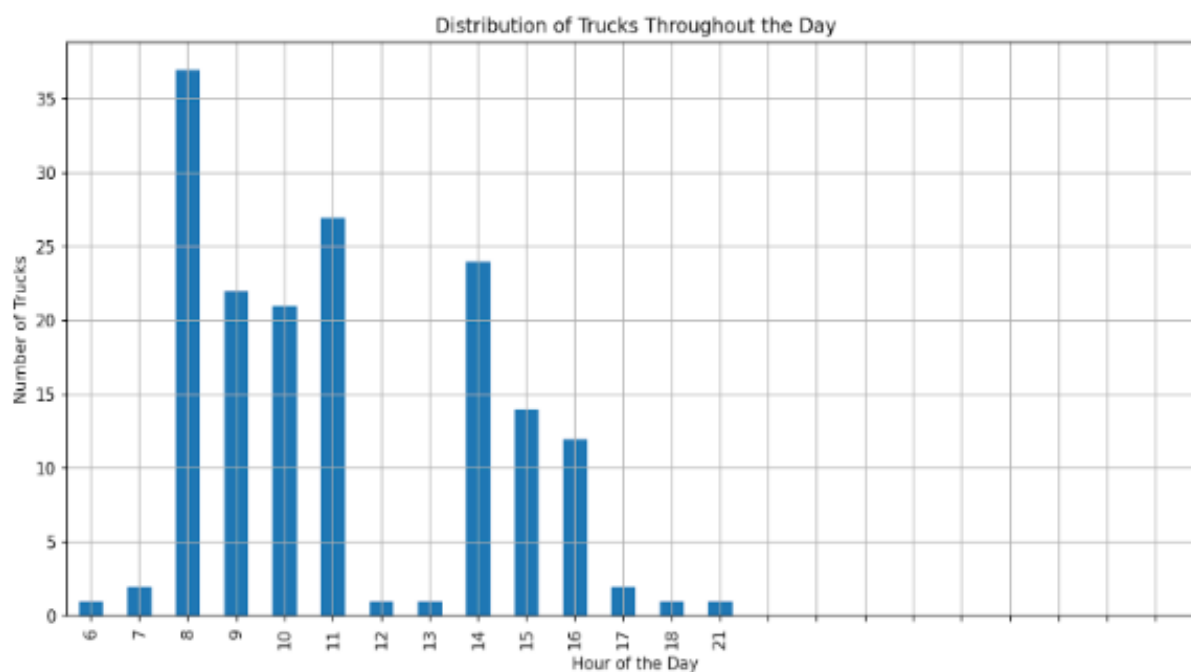


FIGURE 3.2 – Distribution horaire des camions

Analyse d'Événements :

Nous commençons par définir les métriques suivantes avant de présenter leurs valeurs pour chaque événement :

- **Criticité** La criticité d'un événement est définie comme la moyenne du pourcentage de l'événement dans chaque opération lorsqu'il se produit. Cela nous permet d'observer l'effet global de chaque événement sur l'opération.
- **Distribution** : Représentation graphique de la répartition des durées des événements tout au long de l'étude.

- **Fréquence** : La fréquence des occurrences de l'événement.
- **Temps moyen** : Présente le temps moyen passé lorsque l'événement se produit.

Nous présenterons d'abord nos conclusions générales et notre analyse de ces métriques, puis nous examinerons chacune d'elles individuellement pour présenter une analyse des causes racines ainsi que des moyens d'amélioration.

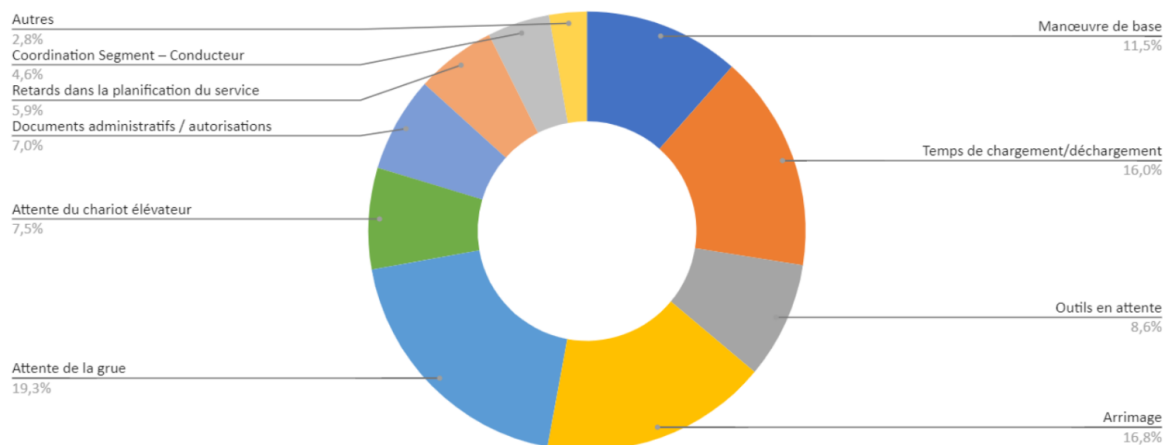


FIGURE 3.3 – Analyse des Causes de Perte de Temps

La figure 3.3 présente un diagramme circulaire des raisons de perte de temps. Il est utile pour présenter une vue d'ensemble des différents phénomènes et de leurs effets, mais il n'est pas suffisant pour effectuer une analyse approfondie.

On présente alors le tableau contenant les différents indicateurs développés :

TABLE 3.1 – Distribution des événements logistiques

Événement	Fréquence	Criticité	Temps moyen
Manœuvre de base	67%*	18%	00 :08 :37
Temps de chargement/déchargement	50%**	24%	00 :11 :55
Outils en attente	22%	34%	00 :29 :11
Arrimage	86%***	22%	00 :12 :33
Attente de la grue	14%	51%	01 :43 :00
Attente du chariot élévateur	24%	37%	00 :23 :13
Documents administratifs / autorisations	28%	27%	00 :18 :45
Retards dans la planification du service	12%	34%	00 :36 :51
Coordination Segment - Conducteur	9%	59%	00 :38 :12
Autres	9%	30%	00 :23 :12

Remarques - Cas particuliers :

* - La fréquence indiquée pour le temps de manœuvre dans la base est la fréquence à laquelle l'événement prend plus de 10 % de l'opération.

** - La fréquence indiquée pour le temps de chargement /déchargement est la fréquence à laquelle l'événement prend plus de 20 % de l'opération.

*** - La fréquence indiquée pour l'arrimage des charges est la fréquence à laquelle l'événement prend plus de 10 % de l'opération.

Distributions

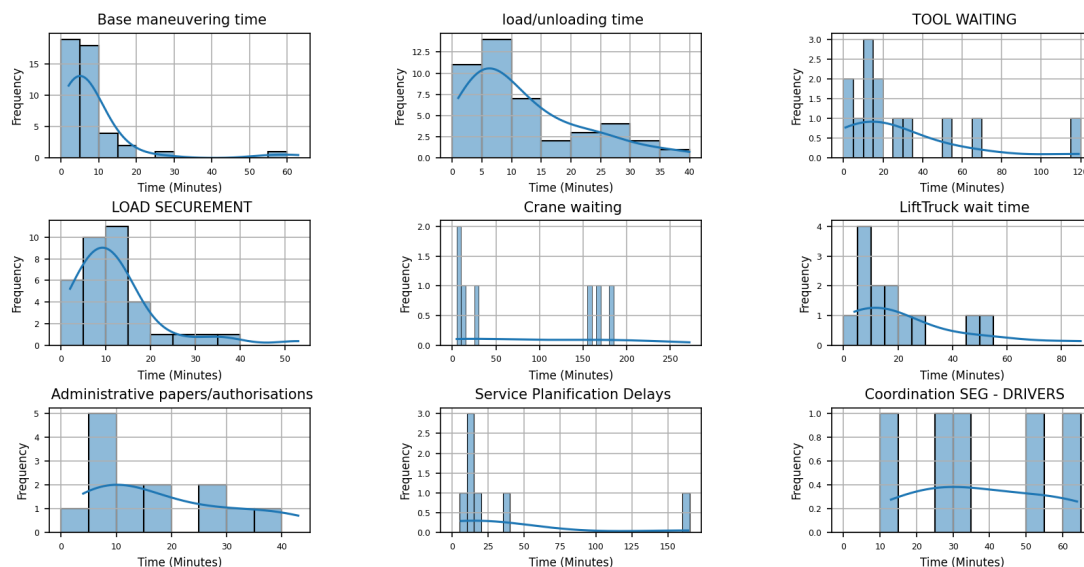


FIGURE 3.4 – Diagrammes de distribution de la fréquence des événements

Analyse préliminaire :

- Principales phases :

- La fréquence moyenne du temps de manœuvre dans la base est d'environ 18 %, ce qui est très élevé. En fait, cette valeur est supérieure à 10 % dans 67 % des cas, ce qui montre l'effet actuel de la conception de la base.
- Dans plus de 50 % des cas, 80 % du temps d'opération est en fait passé en dehors de l'opération de déchargement et de chargement.
- L'arrimage de la charge dure en moyenne 12 minutes, ce qui est principalement dû au fait que le conducteur le fait tout seul.

- Raisons des pertes :

- Les trois raisons les plus fréquentes de perte de temps sont les documents administratifs, l'attente des outils et l'attente du chariot élévateur ; cette dernière étant la plus critique, prenant 37 % du temps d'opération en moyenne, suivie des deux autres à égalité à 34 %.
- La deuxième catégorie de raisons de perte de temps est l'attente du chariot élévateur et les retards liés à la planification du service. Le chariot élévateur est cependant très critique quand il se produit, prenant en moyenne 51 % du temps des opérations.

- La troisième catégorie de raisons de perte de temps est la coordination entre le segment et les conducteurs ainsi que d'autres raisons, la coordination affectant fortement l'opération, prenant environ 59 % de son temps.

Cependant, en ce qui concerne le temps moyen de chaque événement, nous remarquons que l'attente de la grue est dans une classe à part, avec 1h40 de temps d'attente moyen, suivie de la coordination entre les segments et les conducteurs avec 38 minutes, les retards de planification du service avec 36 minutes, puis d'une troisième classe d'attente d'outils, d'attente de chariots élévateurs et enfin de retards administratifs, prenant environ entre 20 et 30 minutes.

La distribution pour chaque événement est indiquée dans la figure 3.4.

Observations et Analyses :

En guise d'analyse approfondie, nous examinerons chaque événement séparément, en présentant une analyse des causes racines pour chaque événement ainsi que des solutions recommandées, qui seraient discutées plus en détail dans la section suivante.

- Manœuvre sur la base :

Au cours de notre étude, nous avons constaté que la manœuvre sur la base représente environ 18 % du temps total des opérations, principalement en raison des facteurs suivants :

- La conception de la base est sous-optimale, avec de nombreuses opérations entrant en contact les unes avec les autres, que ce soit de différents segments (par exemple, Testing et Wireline dans la zone de chargement principale, ou leurs camions devant passer par la zone D&M pour manœuvrer à nouveau) ou de différentes opérations au sein du même segment (par exemple, le chargement et la maintenance de l'équipement utilisent les mêmes véhicules de manutention, ce qui entraîne des retards).
- La distribution du matériel à l'intérieur de la base est un autre facteur contribuant à la durée prolongée des manœuvres. Plusieurs services ont leur équipement dispersé entre plusieurs zones, et donc, le chargement de plusieurs types d'équipements entraîne plusieurs mini-trajets et blocages.
- La conception de la base présente également des limitations en termes du nombre de camions pouvant être chargés/déchargés simultanément.
- Il n'y a pas d'emplacement permettant le chargement/déchargement à l'aide de la grue. En d'autres termes, lorsque la grue est utilisée pour le chargement/déchargement d'équipements ou de matériaux, le mouvement au sein de la base est presque impossible, que ce soit pour les camions ou les chariots élévateurs, non seulement à cause du stationnement de la grue, mais aussi à cause de la zone rouge.
- **Note - Effets sur les émissions de gaz et la durabilité environnementale :**
 - Les manœuvres sur la base lors des entrées et sorties → **1675 tonnes** d'émissions CO₂ par an.
 - Les blocages → un supplément de **784 tonnes**.

Cela a été calculé en multipliant le temps moyen des manœuvres de conduite par le nombre moyen de camions par jour, puis par la vitesse moyenne du camion, supposée être entre 5-7 km/h ; ce qui, multiplié par le taux de consommation de CO₂ par km du camion, nous donne le nombre total.

- Chargement/Déchargement :

Les zones de chargement sont divisées en 4 parties :



FIGURE 3.5 – Zones de chargement - MD1

- **Zone 1 :** C'est la zone la plus utilisée, partagée entre WL (Wireline) et TST. La plupart des opérations sont effectuées ici, ce qui pose plusieurs problèmes en raison du chevauchement des opérations.
 - **Maintenance :**

La maintenance du matériel TST est effectuée dans la zone en dessous, en utilisant les mêmes véhicules de manutention que pour les opérations de chargement/déchargement. Cela crée des retards soit lorsque les camions attendent la disponibilité du chariot élévateur, soit lorsque le chariot élévateur jongle entre le chargement/déchargement des véhicules et le transport de l'équipement vers les zones de maintenance.



FIGURE 3.6 – Circuit de maintenance - MD1

o **Blocages de la grue :**

Chaque fois que la grue est utilisée dans cette zone, des mesures HSE doivent être prises, et donc toute la zone est bloquée, ce qui empêche les véhicules de se déplacer (entrée/sortie) ou d'être opérés, entraînant une perte de temps majeure pour les autres segments également (zone 2).



FIGURE 3.7 – Zone grue - MD1

o **Mancœuvres de matériel :**

L'équipement de la base est stocké dans plusieurs endroits, un segment peut avoir son équipement dans 2 ou plusieurs zones. Un exemple en est TST, ayant de l'équipement dans les zones 1, 2 et 4. Cela rend le processus de chargement plus long et plus compliqué pour deux raisons principales :

1. Les véhicules de manutention d'équipement mettent plus de temps à obtenir l'équipement nécessaire.
2. Un véhicule peut devoir charger depuis plusieurs endroits, ce qui augmente le temps de manœuvre.

De plus, l'équipement est principalement organisé par taille et type (et non pas par commande), de sorte que les véhicules de manutention d'équipement effectuent plusieurs manœuvres pour sortir l'équipement nécessaire et le remettre en place.

Toutes les zones bleues sur la figure 3.8 sont du matériel TST.



FIGURE 3.8 – zones du matériel TST - MD1

o **Engorgement de la base :**

Avoir une seule entrée/sortie principale pour toute la base est sous-optimal. Lorsque plus de 4 véhicules sont présents dans la base en même temps (ce qui arrive 40 % du temps), l'entrée et la sortie deviennent très compliquées, les véhicules se bloquent mutuellement.

De plus, chaque véhicule doit passer par la zone 2 pour faire un détour avant de se garer en zone 1. Ainsi, si un véhicule est en cours de chargement/déchargement en zone 2, les véhicules de la zone 1 doivent attendre qu'il termine l'opération.

- **Attente de la grue :**

Deux types distincts de problèmes peuvent rendre la grue indisponible :

- **Emplacement de la grue :** La grue peut être située dans une autre base, ce qui nécessite un temps significatif pour la relocalisation. Cela peut avoir un impact important sur le processus global de chargement et de déchargement.
- **Congestion de la grue :** Même si la grue est à la base et opérationnelle, l'arrivée simultanée de plusieurs camions peut entraîner une congestion. Cela retarde le processus de chargement pour les autres camions, aggravant encore le problème en raison de la longueur du processus de chargement avec la grue.

- **Attente du chariot élévateur :**

Assurer la disponibilité des chariots élévateurs est crucial pour des opérations fluides, car différentes situations peuvent entraîner des temps d'arrêt et perturber le processus de chargement/déchargement :

- **Capacité limitée** : Les chariots élévateurs ne peuvent manipuler qu'un camion à la fois. Lorsque plusieurs camions arrivent simultanément, des files d'attente peuvent se former, entraînant des temps d'attente importants pour les camions. Un défi majeur survient lorsque le chargement se produit dans la Zone 3. Le chariot élévateur doit soit sortir de la base et réintégrer par une autre porte pour accéder au camion, soit abandonner le processus en cours dans la Zone 1. Ces deux options créent des inefficacités.
- **Priorités concurrentes** : Les chariots élévateurs peuvent être détournés de leurs tâches de chargement ou de déchargement pour effectuer d'autres missions, telles que la relocation d'équipements ou la livraison d'outils pour la maintenance. Cela peut perturber le processus de chargement/déchargement et augmenter les temps de cycle globaux.
- **Difficultés d'accessibilité des matériaux** : Accéder à l'équipement à charger ou à décharger n'est pas toujours simple. Les chariots élévateurs peuvent devoir déplacer d'autres équipements pour atteindre l'emplacement cible. Cela peut prolonger encore les temps de chargement/déchargement.

- Papiers administratifs et autorisations :

Ce problème survient généralement pendant les opérations de chargement et peut être subdivisé en deux principales sous-catégories :

- **Papiers administratifs** : Dans certains cas, les camions peuvent avoir terminé le chargement mais doivent attendre que le mouvement de l'équipement ou les ordres de mission soient finalisés. Ce retard administratif peut entraîner des temps d'arrêt inutiles et entraver l'efficacité globale.
- **Délais d'autorisation** : Les camions peuvent également être retardés en attendant que les responsables prennent des photos des matériaux chargés. Ce processus d'autorisation peut introduire des temps d'attente supplémentaires et perturber le déroulement fluide des opérations.

- Retards de planification du service :

Des retards significatifs peuvent survenir lors de la phase de planification du service en raison de plusieurs facteurs :

- **Confirmation en attente du segment** : Dans certains cas, les camions peuvent terminer le chargement mais sont retenus en raison de la possibilité d'ajout d'équipements supplémentaires. Cette attente de confirmation du segment peut entraîner des temps d'arrêt inutiles et perturber le planning prévu.
- **Changements de trajet de dernière minute** : Les camions peuvent être en route vers un site lorsque le segment leur demande de retourner à la base. Cela peut être dû à la nécessité de retirer des équipements qui ne sont plus nécessaires à la destination ou d'ajouter des matériaux supplémentaires. Ces changements de trajet de dernière minute peuvent causer d'importantes perturbations et des retards.

- Coordination Segment-Conducteurs :

Les écarts de communication entre les segments et les conducteurs contribuent à des pertes de temps et à des inefficacités. Ces lacunes peuvent se manifester dans deux domaines principaux :

- **Affectation incorrecte des zones** : Les conducteurs peuvent être dirigés vers la mauvaise zone de chargement (par exemple, entrer dans la Zone 1 puis recevoir l'instruction de se déplacer vers la Zone 3). Cette manœuvre inutile gaspille un temps précieux et perturbe le flux global de chargement.
- **Manque de préparation pour le chargement/déchargement** : Les conducteurs peuvent ne pas recevoir suffisamment d'informations sur la nature de l'équipement qu'ils doivent transporter. Cela peut entraîner l'absence des mécanismes de verrouillage nécessaires. Lorsque cela se produit, les conducteurs ont deux options :

1. **Retour à la base** : Ils peuvent retourner à leur base pour récupérer les outils de verrouillage appropriés, ce qui entraîne des retards importants.

2. **Emprunter à un autre conducteur :** Ils peuvent essayer d'emprunter les outils nécessaires à un autre conducteur du même fournisseur, mais cela n'est possible que si ce dernier n'utilise pas ces outils.

3.1.3 Causes racines et actions correctives

Nous passons maintenant à la détection des causes racines en utilisant une cartographie (illustrée en figure 3.9) des causes à partir de l'analyse précédente pour identifier les causes racines de chaque événement.

Note : Nous avons défini les causes racines comme étant le plus bas niveau d'analyse sur lequel on peut agir.

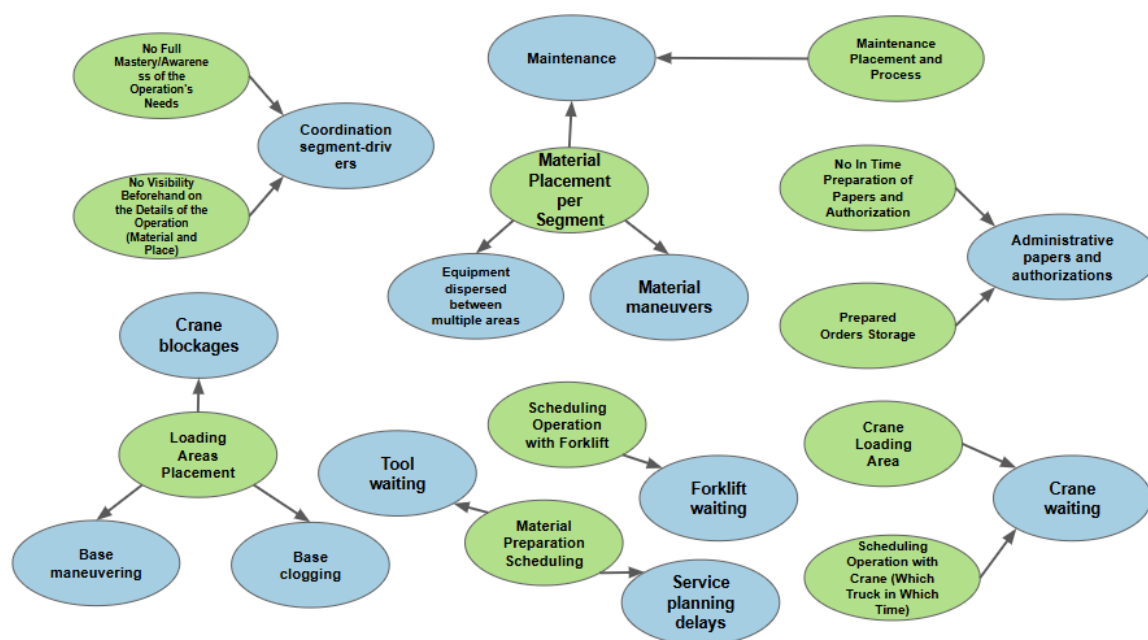


FIGURE 3.9 – Les causes racines de chaque événement

Voici les causes racines trouvées :

- Placement des zones de chargement
- Placement du matériel par segment
- Zone de chargement de la grue
- Stockage des commandes préparées
- Programmation de la préparation du matériel
- Placement et processus de maintenance
- Programmation des opérations avec la grue (quel camion à quel moment)
- Programmation des opérations avec le chariot élévateur
- Absence de préparation en temps voulu des documents et autorisations
- Absence de maîtrise complète/connaissance des besoins opérationnels (aux puits)
- Absence de visibilité préalable sur les détails de l'opération (matériel et emplacement)

Actions correctives et arbitrage :

TABLE 3.2 – Actions correctives et suggestions d'implémentation

Cause racine	Action corrective	Détails/suggestions d'implémentation
<ul style="list-style-type: none"> - Placement des zones de chargement 	<ul style="list-style-type: none"> - Zoner les segments par espace zone - Un zonage par segment permettant de faciliter les opérations multi-segments 	<ul style="list-style-type: none"> - Inverser l'emplacement de l'opération de TST et DNM permet une meilleure organisation du flux de travail et une optimisation de l'espace. - Relocaliser TST en dehors de Md1 car il interfère avec toutes les autres activités, avec son occupation importante et le matériel dispersé. - Modifier l'emplacement de chargement et de déchargement de DNM facilite le chargement et le déchargement des matériaux. - Déplacer l'emplacement de stockage des tubes de DNM réduit le temps de déplacement et améliore l'efficacité.
<ul style="list-style-type: none"> - Placement du matériel par segment - Stockage des commandes préparées 	<ul style="list-style-type: none"> - Créer une carte bien définie spécifiant les zones de matériel de chaque segment. - Le matériel doit être stocké selon sa fréquence d'utilisation et tout le matériel de grue doit être dans une seule zone. - Le matériel prêt à être expédié doit être organisé par commande et non par type. 	<ul style="list-style-type: none"> - Stocker tout le matériel des segments dans une seule localisation centralisée. - Prioriser le stockage des articles fréquemment utilisés.

<ul style="list-style-type: none"> - Zone de chargement de la grue - Planification des opérations avec la grue (quel camion à quel moment) 	<ul style="list-style-type: none"> - La zone de chargement de la grue doit être différente de la zone de chargement principale, avec tout le matériel pouvant être chargé dans cette zone (pouvons-nous regrouper tout le travail de grue dans une seule base?). - Il peut être utile de créer un créneau horaire spécial pour l'utilisation de la grue, car elle prend beaucoup de temps à être configurée. Ainsi, nous pouvons tirer parti du chargement multiple pour minimiser le temps global. (emploi du temps hebdomadaire spécifiant quel jour à quelle base) 	<ul style="list-style-type: none"> - Les opérations de levage par grue doivent être positionnées à l'écart des autres activités pour minimiser l'impact négatif de la "zone rouge" sur les autres processus. Deux solutions peuvent résoudre ce problème : déplacer le chargement des grues vers SDS ou retirer TST de MD1. - Regrouper toutes les opérations de levage par grue dans un seul emplacement pour éliminer les déplacements inutiles entre les trois sites. (MD3 semble être l'option la plus appropriée pour cette consolidation). - Associer la planification des grues avec TR pour garantir que les informations sur les besoins en grues pour chaque opération soient facilement accessibles. - Les réservations de grue ne peuvent pas être faites pour deux jours consécutifs sans justification valide du TR.
<ul style="list-style-type: none"> - Planification de la préparation du matériel 	<ul style="list-style-type: none"> - Il doit y avoir un calendrier pour la préparation du matériel 	<ul style="list-style-type: none"> - Par exemple dédier les 2 dernières heures pour la préparation des commandes du lendemain.
<ul style="list-style-type: none"> - Placement et processus de maintenance 	<ul style="list-style-type: none"> - Spécifier un horaire pour les transports de maintenance (sans intersection avec le chargement/déchargement) 	<ul style="list-style-type: none"> - Allouer du temps dédié pour les tâches de maintenance impliquant le déplacement d'équipements. - Planifier les opérations de maintenance avant l'arrivée des camions : Programmer les activités de maintenance pour l'équipement qui est prévu d'être chargé par les camions entrants.

<p>- Planification des opérations avec chariot élévateur</p>	<p>- La planification du chariot élévateur doit clairement définir ses tâches avant l'arrivée des camions. Cela inclut déterminer s'il sera utilisé pour :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1- Tenir les matériaux pour l'équipe de maintenance 2- Préparer les commandes pour l'expédition 3-Décharger les camions entrants ou charger les camions sortants 	
<p>- Non préparation en temps voulu des papiers et autorisations</p>	<p>- La préparation des documents administratifs doit être effectuée en parallèle avec les activités du conducteur, sans attendre que le conducteur ait terminé de sécuriser la charge. Les formalités administratives et les autorisations peuvent être complétées simultanément.</p>	<p>- Notifier le contremaître par l'application comme rappel.</p>
<p>- Manque de maîtrise/conscience complète des besoins opérationnels (aux puits)</p>	<p>- Intégration du concept de description exhaustive et de partage de tous les besoins dans les puits. Ces besoins doivent être communiqués par l'équipe de segment au segment et attachés au TR (Transport Request).</p>	

<p>- Aucune visibilité préalable sur les détails de l'opération (matériel et lieu)</p>	<p>- Le conducteur doit être contacté avant de quitter la base du fournisseur, avec toutes les informations nécessaires :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1- L'emplacement exact 2- L'heure exacte 3- Le type de matériaux à charger 	<p>- Ajouter comme informations à afficher sur les applications mobiles SLB.</p>
--	--	--

Évaluation des actions correctives :

Cependant, étant donné que les actions présentées nécessitent une collaboration avec les différents segments ainsi que de multiples audits sur les différentes bases SLB pour pouvoir juger de leur faisabilité et de leur pertinence, ce qui ne peut être réalisé durant la période relativement courte restante de notre stage, nous avons décidé de présenter ces suggestions seulement et de laisser les décideurs et les parties prenantes les évaluer.

Après des entretiens où nous avons expliqué les différentes suggestions suivies d'un formulaire pour noter la complexité de la solution ainsi que son rapport coût-bénéfice, nous avons réalisé une étude TOPSIS pour évaluer ces actions et choisir laquelle prioriser.

- Méthode TOPSIS :

- **Calcul des poids :**

Pour accéder au code, cliquez sur le lien suivant : [GitHub](#).

Pour calculer le poids de chaque événement, nous devons d'abord comprendre les propriétés de nos données. Il existe de nombreuses méthodes disponibles dans la littérature pour ce calcul (par exemple, Entropie, CRITIC, AHP (Processus d'Analyse Hiérarchique), etc.).

Cependant, une bonne compréhension des données permet une utilisation appropriée de ces méthodes, ce qui conduit à une précision améliorée. Voici les étapes que nous avons suivies pour identifier les poids :

1. **Représentation de chaque événement :**

Nous constatons que la plupart des événements présentent une déviation considérable.

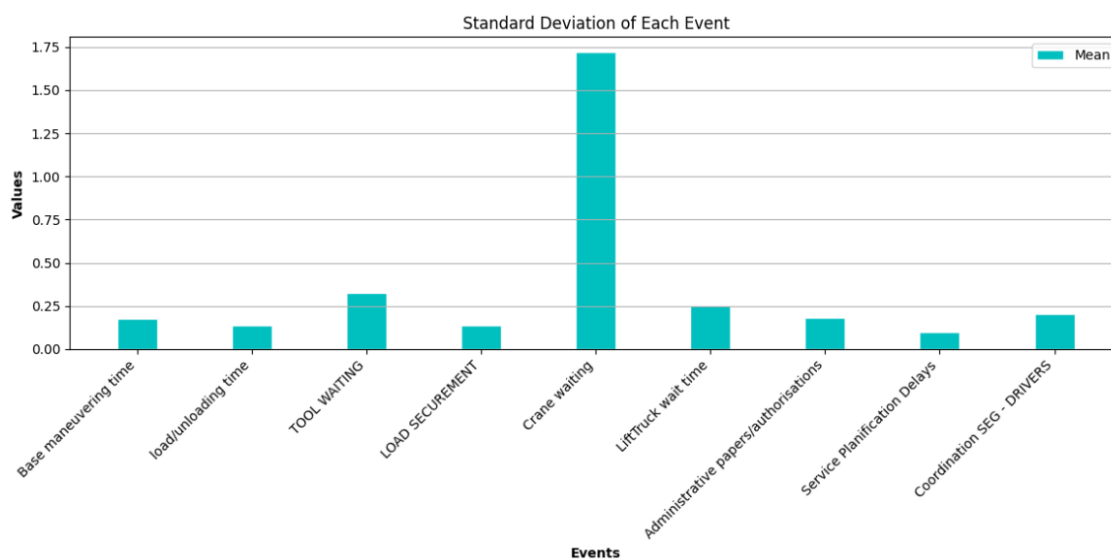


FIGURE 3.10 – L'écart type de chaque événement

- En visualisant la moyenne avec l'écart type, nous pouvons voir si les données sont regroupées étroitement autour de la moyenne (faible écart-type) ou plus dispersées (écart-type élevé).

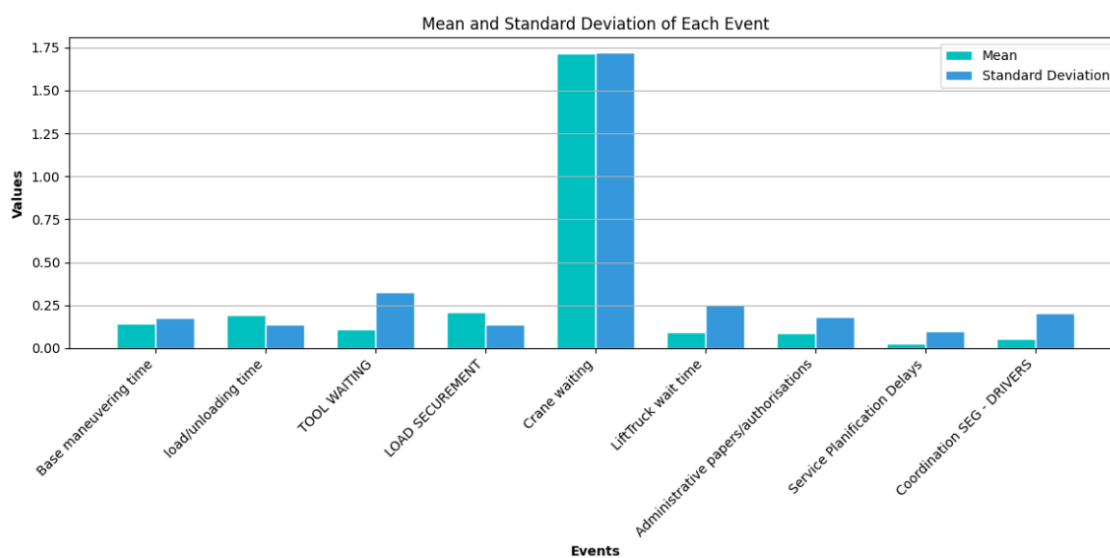


FIGURE 3.11 – Représentation de la moyenne et de l'écart type de chaque événement

2. Tester la corrélation entre les événements :



FIGURE 3.12 – La matrice de corrélation

- Nous remarquons qu’il existe une corrélation significative et modérée entre les papiers administratifs et les autorisations, la sécurisation du chargement et le temps de chargement/déchargement.

- Choix des méthodes :

Les méthodes les plus efficaces pour calculer les poids sont l’Entropie et CRITIC. L’Entropie est une mesure de l’incertitude ou du hasard dans les données, couramment utilisée lorsque l’on traite d’événements indépendants ou de variables qui ne présentent pas de corrélations. Elle évalue l’importance relative des différentes options en fonction de leur distribution. D’autre part, CRITIC (Criteria Importance Through Inter Criteria Correlation) évalue les critères en fonction à la fois de leur écart par rapport à une valeur idéale et de leurs interdépendances. Elle est particulièrement utile lorsque les critères présentent non seulement des écarts individuels mais aussi des corrélations significatives entre eux.

En combinant l’Entropie et CRITIC, nous tirons parti des forces de chaque méthode pour fournir une évaluation complète des poids des critères. Cette approche assure un processus décisionnel plus nuancé et précis, en tenant compte à la fois de l’indépendance et des corrélations des données.

- Résultats :

Pour accéder au code, cliquez sur le lien suivant : [GitHub](#).

Voici les résultats de notre analyse :

- Weights using Entropy method : [0.03 0.017 0.145 0.012 0.182 0.135 0.111 0.18 0.188]
- Weights using CRITIC method : [0.105 0.117 0.103 0.088 0.12 0.112 0.151 0.09 0.114]

- New weights : [0.03 0.05 0.14 0.04 0.18 0.13 0.06 0.18 0.19]

- **Critères d'évaluation :**

Nous avons choisi les critères suivants :

- Complexité de la solution
- Coût-bénéfice
- Fréquence de l'événement résolu par cette action corrective
- Criticité de l'événement résolu par cette action corrective
- Poids de chaque événement
- Temps moyen de l'événement résolu par cette action corrective

Pour les critères d'évaluation, il faut les diviser en deux catégories : les critères bénéfiques et les critères non bénéfiques. Nous allons les classer comme suit :

- Critères bénéfiques : Coût-bénéfices
- Critères non bénéfiques : Complexité de la solution, fréquence de l'événement résolu par cette action corrective, criticité de l'événement résolu par cette action corrective, poids de chaque événement, temps moyen de l'événement résolu par cette action corrective

TABLE 3.3 – Description des différentes étapes logistiques

	Solution's complexity	Cost-Benefit	Frequency	Criticality	Weight	Average time
Emplacement des zones de chargement	[8 - 9]	[70 - 90]	0.67	0.18	0.03	00 :08 :37
Placement des matériaux par segment	[4 - 5]	[10 - 30]	0.22	0.34	0.14	00 :29 :11
Stockage des commandes préparées	[7 - 9]	[80 - 95]	0.14	0.51	0.18	01 :43 :00
Zone de chargement pour la grue	[3 - 4]	[10 - 30]	0.22	0.34	0.14	00 :29 :11
Planification de l'opération avec la grue (quel camion à quelle heure)	[4 - 5]	[10 - 30]	0.24	0.37	0.13	00 :23 :13
Emplacement et processus de maintenance	[2 - 3]	[10 - 30]	0.28	0.27	0.06	00 :18 :45
Planification de l'opération avec le chariot élévateur	[5 - 7]	[20 - 30]	0.12	0.34	0.18	00 :36 :51
Absence de préparation en temps opportun des documents et autorisations	[2 - 3]	[20 - 30]	0.09	0.59	0.19	00 :38 :12

- **Scores :**

Nous obtenons les scores suivants :

Le score de Topsis :

Pour accéder au code, cliquez sur le lien suivant : [GitHub](#).

- **Emplacement des zones de chargement**
 - Scores : Min : 0.5671, Max : 0.5677, Mean : 0.5675
- **Placement des matériaux par segment**
 - Scores : Min : 0.5414, Max : 0.5950, Mean : 0.5703
- **Stockage des commandes préparées**
 - Scores : Min : 0.4809, Max : 0.4442, Mean : 0.4600
- **Zone de chargement pour la grue**
 - Scores : Min : 0.5524, Max : 0.6034, Mean : 0.5799
- **Planification de l'opération avec la grue (quel camion à quelle heure)**
 - Scores : Min : 0.5474, Max : 0.6021, Mean : 0.5769
- **Emplacement et processus de maintenance**
 - Scores : Min : 0.6000, Max : 0.6601, Mean : 0.6318
- **Planification de l'opération avec le chariot élévateur**
 - Scores : Min : 0.5464, Max : 0.5629, Mean : 0.5546
- **Absence de préparation en temps opportun des documents et autorisations**
 - Scores : Min : 0.5451, Max : 0.5551, Mean : 0.5500

Pour restreindre le champ des actions correctives prioritaires, nous devons adopter une approche différente car, dans notre cas, la méthode TOPSIS ne donne pas un seul candidat. Cela est dû à la présence d'intervalles dans certains critères, ce qui rend impossible l'utilisation des méthodes usuelles de moyenne, du maximum ou du minimum, car cela pourrait fausser les résultats.

Pour remédier à ce problème, nous utilisons une approche simple : nous comparons le minimum d'une action au maximum des autres. Si le minimum de l'alternative 1 est supérieur au maximum de l'alternative 2, alors l'alternative 2 est éliminée. Nous répétons cette comparaison pour toutes les alternatives disponibles.

Nous présentons maintenant les résultats obtenus : Pour accéder au code, cliquez sur le lien suivant : [GitHub](#).

- **Les alternatives prioritaires :**
 - Zone de chargement pour la grue
 - Planification de l'opération avec la grue (quel camion à quelle heure)
 - Emplacement et processus de maintenance
- **Les alternatives à éliminer :**
 - Emplacement des zones de chargement
 - Placement des matériaux par segment
 - Stockage des commandes préparées
 - Planification de l'opération avec le chariot élévateur
 - Absence de préparation en temps opportun des documents et autorisations

3.2 Conception de la Solution Numérique

Motivations :

Pour suivre efficacement l'évolution du cycle temporel ainsi que l'effet des actions correctives, il est nécessaire de trouver une méthode fiable pour calculer précisément les pertes de temps pour chaque facteur par opération, une tâche difficile en raison de multiples facteurs :

- Il est difficile de marquer chaque raison de perte de temps et de suivre sa durée au milieu de l'opération. De nombreux intervenants sont impliqués. Qui devrait être responsable de la collecte et du suivi des données ?
- Le calcul des pertes de temps sera-t-il effectué manuellement ou automatiquement, c'est-à-dire à l'aide d'une application ? Si c'est le cas, comment cela peut-il être intégré à l'architecture existante de SLB et éviter toute redondance ou surcharge du système ?

Ainsi, en tenant compte de tous ces facteurs, nous avons décidé que la solution la plus optimale serait une extension à l'une des applications de conduite actuelles de SLB (Green Road / Blue Hall, le choix entre les deux se fera en fonction de la maturité et du pourcentage d'intégration de Blue Hall).

Cette application sera liée à un portail digital qui permettra de visualiser les données extraites de l'application ainsi que plusieurs autres fonctionnalités que nous explorerons en détail dans les prochains chapitres.

On trouve que c'est la meilleure option pour les raisons suivantes :

1. Premièrement, cela permet au conducteur, acteur impliqué dans chaque phase de l'opération de (dé)chargement, de saisir chaque phase.
2. Deuxièmement, cela minimise les biais et les imprécisions, car le conducteur, un employé tiers, est le mieux placé pour saisir les raisons de perte de temps spécifiques aux différentes parties SLB.

Pour assurer la transparence et éviter les données erronées, le contremaître (foreman) aura également la capacité d'entrer les pertes de temps spécifiques attribuées aux fournisseurs / vérifier celles entrées par le chauffeur et signaler une incohérence.

De plus, en incluant les données de l'application dans le calcul de la performance des fournisseurs et les négociations de contrats, cela incitera les conducteurs à participer au processus.

3. Troisièmement, cela permet de calculer facilement les pertes de temps par rapport aux autres alternatives. Le conducteur n'aurait qu'à saisir la raison de la perte de temps et l'heure serait enregistrée automatiquement.
4. Quatrièmement, cela faciliterait l'intégration des données collectées dans les portails SLB.

Note : Par abus de langage, nous nous référerons à cette extension comme une application, même si ce sont des fonctionnalités que nous aimerions annexer à une autre application déjà existante.

3.2.1 Application mobile

Fonctionnalités et design de l'application :

Pour l'architecture de l'application, nous avons opté pour un design simple et intuitif afin de faciliter la formation des utilisateurs (chauffeurs).

Le principe est le suivant :

- Le chauffeur, dès son arrivée en base SLB, pourra commencer une opération de chargement/déchargement en cliquant sur un bouton. Cela lancera un compteur de temps et fera entrer le véhicule en phase de "base maneuvering" automatiquement.
- À chaque fois que l'état change (par exemple, en attente d'un outil, ou en cours de chargement...), le chauffeur n'aura qu'à cliquer sur le bouton "changer de statut" et sélectionner le nouvel état (illustré avec des images pour faciliter la reconnaissance) pour que l'état change.
- En arrière-plan, l'application enregistrera le temps de changement et calculera le temps nécessaire pour chaque phase.
- Une fois terminé, le chauffeur clique sur le bouton de fin d'opération.
- Il peut également mettre en pause une opération pour y revenir (dans le cas où il est entré en base et qu'on lui demande de sortir et revenir plus tard, un événement très récurrent).

Un snippet du code darts est en annexe qui illustre un développement initial de l'application .

Voici quelques photos pour illustrer le fonctionnement de l'application :



FIGURE 3.13 – Captures illustrantes le fonctionnement de l'application

3.2.2 Le Portail digitale

Design et utilité

De plus, l'application est couplée avec un portail digital qui servira de centre de données pour le DL Center, avec les fonctionnalités suivantes :

- **Analyse et suivi des pertes de temps :**

Afin de pouvoir évaluer l'efficacité des actions correctives, le portail pourra montrer les progrès actuels et l'évolution des calculs du temps d'opération et des différentes phases, leurs distributions de données ainsi que différents indicateurs.

-

- **Suivi géographique de la flotte :**

Exploiter les données provenant de MixedTelematics en utilisant les APIs (MiX Integrate API) permettra de rassembler toutes les informations sur la flotte en un seul endroit au lieu de les vérifier individuellement pour chaque camion et chaque fournisseur. Cela affichera la localisation et l'affectation des camions ainsi que leur état (si disponible). La visibilité sur ces éléments faciliterait les opérations quotidiennes du DL.

Cette partie est motivée par le fait que SLB encourage ses partenaires fournisseurs à passer à MixedTelematics pour le suivi géographique de leurs véhicules et donc, une fois la transition complète, l'ensemble de la flotte SLB s'afficherait sur cette fenêtre.

-

- **Ordonnancement des opérations et estimation de trajets :**

Dans ce volet, le portail permettra à l'utilisateur de tester des scénarios de trajets, à partir d'un point X vers un point Y en effectuant une opération à la base. Les résultats de ces scénarios permettront à l'équipe DL d'identifier les opportunités d'optimisation ainsi que convaincre les segments de leur libérer les camions non utilisés (dédiés ou non).

De plus, le portail permettra de créer un ordonnancement des opérations du jour suivant, que ce soit via TR ou par entrée manuelle des opérations à réaliser le lendemain. Le portail créera ensuite un ordonnancement convenable minimisant les temps de chargement/déchargement.

Cette partie est motivée par le fait que les principales raisons de pertes de temps sont toutes liées (directement ou indirectement) au fait que la base ne supporte pas un grand nombre de véhicules à la fois. Nous développerons donc un modèle qui permet d'ordonner les opérations en base en prenant en compte l'état actuel de l'opération (et donc des pertes de temps et leurs raisons).

3.2.3 Création du programme d'ordonnancement

On a donc deux missions à satisfaire :

Mission 1 :

D'abord, une estimation du temps nécessaire pour un camion à l'emplacement X pour décharger et/ou charger à la base puis se rendre à l'emplacement Y (X et Y ne sont pas nécessairement distincts).

Cela fournirait une estimation de l'état actuel de la base et de sa capacité. De plus, cela pourrait aider les segments à argumenter pour emprunter un camion à un autre segment, ou aider l'équipe DL à convaincre un segment de leur prêter un camion inutilisé.

Appelons cette mission Niveau 1.

Mission 2 :

Ensuite, et en généralisant la fonction précédente : Avoir un ensemble de camions à opérer un jour T et simuler le temps nécessaire pour compléter toutes les opérations de ce jour en suivant une configuration F_i . Cela permettrait à l'équipe DL (ou aux coordinateurs de segments) de trouver le meilleur ordre des camions pour éviter l'engorgement de la base et la perte de temps.

Cela pourrait se faire automatiquement chaque jour mais ça nécessite que tous les segments soumettent leurs TRs à temps (au moins 24 h avant l'opération), une maturité qui n'est pas encore atteinte. Une deuxième option est une entrée manuelle des opérations à réaliser.

La méthode de calcul du temps en base pourrait alors être intégrée comme une fonction objective dans une métaheuristique (par exemple, la Recherche Tabou ou le Recuit Simulé), pour trouver automatiquement le meilleur ordre possible. Appelons cette mission Niveau 2.

Approche :

Nous utiliserons les données collectées des distributions des pertes de temps afin de simuler via des méthodes Monte Carlo le processus de chargement/déchargement, pour le niveau 2, nous allons utiliser une métaheuristique avec cette simulation comme fonction objective afin d'évaluer les différents ordonnancements possibles.

Pourquoi une simulation Monte Carlo ?

Les simulations Monte Carlo présentent plusieurs avantages :

- **Regroupement de phénomènes statistiques :** Elles permettent de regrouper plusieurs phénomènes statistiques (nos événements) en une seule distribution via les simulations.
- **Traitement de l'incertitude et analyse de la variabilité :** Étant donné que nous avons déjà collecté (et envisageons de continuer à collecter) des données sur les distributions des différents événements d'une opération de chargement/déchargement, il est facile d'implémenter des simulations Monte Carlo et de garantir leur précision. En fait, plus nous collectons de données, plus les simulations seront précises, car nous disposerons de davantage d'informations sur les distributions des phénomènes.
- **Simplicité et optimisation des ressources :** Les simulations Monte Carlo sont très rapides comparées à d'autres formes de simulation et sont donc idéales pour être utilisées comme fonction objective pour une métaheuristique. Contrairement à d'autres méthodes qui pourraient prendre énormément de temps (si un autre type de simulation prend le double du temps de Monte Carlo, alors la métaheuristique prendra $2 * \text{le nombre d'itérations}$ – un nombre souvent dans les milliers).
- **Intégration en code :** De plus, les simulations Monte Carlo peuvent être faites via tout langage de programmation, ce qui facilite leur intégration dans des programmes de métaheuristicques.

Procédons aux calculs des modèles statistiques qui serviront de base pour les simulations Monte Carlo

- Calcul du modèle statistique de chargement/déchargement :

Comme notre étude était limitée dans le temps, nous n'avons pas pu atteindre 30 observations pour toutes les raisons de perte de temps et, par conséquent, nous ne pouvons pas assumer une distribution normale pour celles-ci. Ainsi, pour identifier la loi statistique que chaque graphique suit et ses paramètres, nous avons décidé d'ajuster différentes dis-

tributions aux données et de sélectionner celle qui s'adapte le mieux. Nous avons choisi un ensemble de 6 distributions courantes : normale, exponentielle, log-normale, gamma, Weibull et Poisson. Pour évaluer la qualité de l'ajustement et déterminer la distribution la mieux adaptée, nous avons utilisé le test de Kolmogorov-Smirnov (K-S).

Voici les résultats :

```

Average time for Base maneuvering time:00:08:36, Best fit:
  lognorm, Parameters: 0.77, 0.00, 5.76

Average time for load/unloading time: 00:11:54, Best fit:
  expon, Parameters: 1.00, 10.91

Average time for TOOL WAITING: 00:29:11, Best fit:
  weibull\_min, Parameters: 0.94, 0.00, 28.28

Average time for LOAD SECUREMENT: 00:12:33, Best fit:
  lognorm, Parameters: 0.71, 0.00, 9.73

Average time for Crane waiting: 01:43:00, Best fit:
  weibull\_min, Parameters: 0.79, 0.00, 91.62

Average time for LiftTruck wait time: 00:23:12, Best fit:
  lognorm, Parameters: 0.94, 0.00, 14.81

Average time for Administrative papers/authorisations:
00:18:45, Best fit: weibull\_min, Parameters: 1.51, 0.00,
  20.89

Average time for Service Planification Delays:
00:36:51, Best fit: lognorm, Parameters: 1.03, 0.00, 18.83

Average time for Coordination SEG - DRIVERS:
00:38:12, Best fit: lognorm, Parameters: 0.56, 0.00, 33.21

Average time for other delays:
00:38:12, Best fit: weibull\_min, Parameters: 1.82, 0.00,
  26.23

```

- Simulation des opérations de chargement/déchargement :

Pour cela, nous devons simuler ce qui suit :

- **La probabilité d'occurrence de chaque événement** : Cela se fait en générant un nombre aléatoire dans l'intervalle $[0, 1]$. Si le nombre généré est inférieur à la probabilité d'occurrence de l'événement, l'événement se produit ; sinon, il ne se produit pas.
- **La durée de chaque événement** : Pour simuler cela, nous utilisons nos conclusions de la partie précédente et simulons chaque événement en utilisant son modèle statistique.

- Test du modèle de chargement/déchargement :

Pour évaluer l'exactitude de notre modèle Monte Carlo, nous réaliserons une simulation à sec et comparerons les paramètres du modèle avec ceux identifiés dans notre étude.

Après avoir effectué 10 000 simulations, voici les résultats obtenus comparés avec les données de notre étude :

TABLE 3.4 – Comparaison des résultats entre l'étude et la simulation Monte Carlo

Valeur	Étude (min)	Monte Carlo (min)
Moyenne de temps total	75.57	74.09
Médiane de temps total	58.00	53.79
Écart type en temps total	60.29	76.11

Exemple de distribution :

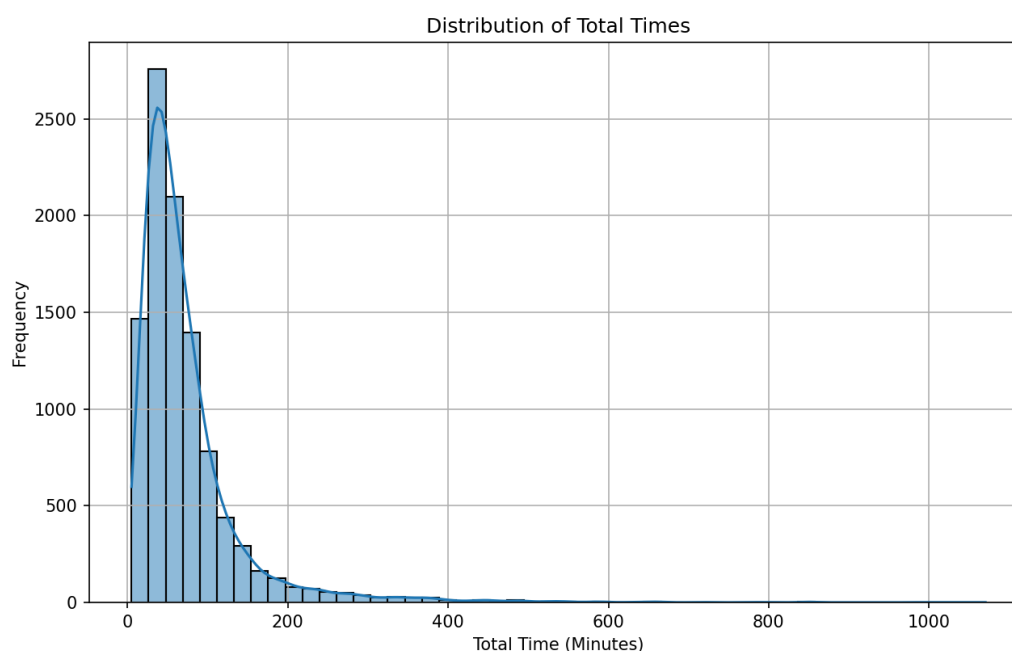


FIGURE 3.14 – Graphe de distribution des simulations d'opérations

Comme nous pouvons le voir, les valeurs sont proches entre les deux ; nous concluons que la méthode Monte Carlo simule le phénomène.

Les différences peuvent s'expliquer par le fait que nos distributions pour certains événements ne sont pas encore très proches de la distribution réelle, mais elles restent de bonnes estimations.

Algorithme final pour le niveau 1 simplifié :

Maintenant, en combinant ce modèle avec le modèle de transport, nous obtenons une simulation qui englobe les deux aspects.

L'algorithme général est le suivant :

Affiner les distributions :

Pour aller plus loin, nous pouvons modifier les distributions de nos événements pour prendre en compte certaines spécificités, comme décrit ci-dessous :

Algorithm 2 General Algorithm

- 1: Obtention des distances des trajets de l'utilisateur
- 2: Calcul du temps d'arrivée à la base
- 3: Calcul du temps de chargement/déchargement
- 4: Calcul du temps de sortie
- 5: Calcul du temps d'arrivée à destination
- 6: Obtention des données sur la portée (90%) et des indicateurs du temps du trajet

TABLE 3.5 – Distribution des événements logistiques

Événements	Distribution for Niveau 1	Distribution for Niveau 2
Manceuvres à la base	Distribution usuelle	Distribution usuelle
Chargement/Déchargement	Distribution usuelle	Distribution usuelle
Attente d'outils	Distribution usuelle mais par segment	Distribution usuelle mais par segment
Sécurisation de la charge	Distribution usuelle	Distribution usuelle
Attente de grue	Distribution usuelle	Distribution usuelle
Attente de chariot élévateur	Distribution normale (sauf si le nombre de camions en chargement/déchargement à la base > 2 , alors 0 jusqu'à N, puis retour à 0/1)	Distribution normale (sauf si le nombre de camions en chargement/déchargement à la base est supérieur à 2, auquel cas 0 jusqu'à N, puis retour à 0/1)
Papiers administratifs et autorisations	Distribution usuelle	Distribution usuelle
Retards de planification de service	Distribution usuelle	Distribution usuelle
Coordination segments - conducteurs	Distribution usuelle	Distribution usuelle
Autres retards	Distribution usuelle	Distribution usuelle

Note : Pour notre cas, il est préférable d'utiliser le modèle plus simple dans nos calculs, car nous n'avons pas suffisamment d'échantillons pour représenter avec précision les différentes distributions par segment et par heure... **Cependant**, nous avons décidé de présenter la méthode de leur génération ici pour servir de guide une fois suffisamment d'échantillons collectés via l'application mobile de chargement et déchargement.

Approche :

- **Base Maneuvering :** Comme cela est corrélé au nombre de camions à la base, nous le traitons en conséquence.
- **Attente d'outils :** Nous divisons nos données par segment puis procédons à notre procédure standard.
- **Attente de chariot élévateur :** Cela dépend du nombre de camions déjà à la base, étant donné que le chariot élévateur ne peut opérer que sur un véhicule à la fois par segment. Nous commençons par générer le nombre de véhicules nécessitant un chariot élévateur pour le chargement, calculons la somme de leur temps de chargement, puis ajoutons le

temps de chargement de notre véhicule.

- **Calcul des modèles par segment** : Nous créons un nouveau fichier CSV en filtrant par segments et relançons les codes.
- **Nombre de véhicules par segment par heure et à la base par heure** : Nous utilisons l'algorithme suivant, qui peut ne pas être le plus efficace, mais qui est le plus simple (la vitesse d'exécution ne présente pas une priorité vu que c'est des programmes de paramétrage).

Algorithm 3 Processing Data for Each Date

- 1: Créer un dictionnaire (nommé A) de dimensions 4*24, où les 4 correspondent à un pour tous les segments, puis un pour chaque valeur de segment.
 - 2: Créer un nouveau dictionnaire de dimensions nombre de jours * 24 pour chaque segment (et un pour tous les segments).
 - 3: **for** chaque date **do**
 - 4: **for** chaque heure **do**
 - 5: **if** un véhicule a été à l'intérieur de la base à une certaine heure d'un jour donné **then**
 - 6: Ajouter 1 à la cellule du dictionnaire correspondant à cette heure ce jour-là.
 - 7: **end if**
 - 8: **end for**
 - 9: **end for**
 - 10: Utiliser ce dictionnaire pour calculer les moyennes à mettre ensuite dans le dictionnaire A.
 - 11: Imprimer les informations sur les moyennes, l'écart type et la médiane.
-

Note : Comme nous avons plus de 30 jours dans notre base de données (BDD), nous pouvons utiliser le théorème central limite (CLT) pour approximer directement la distribution des camions par une distribution normale.

Les résultats obtenus sont en annexe.

-

- **Attente des outils par segment** : Nous utilisons une approche similaire à la création du modèle d'attente des outils, mais cette fois-ci, nous filtrons par segments. Voici les résultats obtenus .

```

Segment: DNM
Best Fit Distribution: gamma
Parameters: (0.5977109521431982, 0.049999999999999996,
            0.5773308373433002)
KS Statistic: 0.2552541153236322

Segment: TST
Best Fit Distribution: gamma
Parameters: (352.5445673845105, -5.454764347679985,
            0.016895623963204286)
KS Statistic: 0.23271294590891994

Segment: WL
Best Fit Distribution: expon
Parameters: (0.016666666666666666, 0.353333333333333333)
KS Statistic: 0.2278183438413497

```

Manœuvres à la base en fonction du nombre de camions à la base :

Pour cette partie, nous utilisons le dictionnaire contenant le nombre horaire de véhicules (obtenu lors du travail sur les moyennes du nombre de camions à la base) en plus des données que nous avons collectées.

Nous obtenons :

```
Parameters for 0-2 trucks:
  Log-normal: shape=0.77, loc=0.0, scale=4.253023255813953
  Normal: mean=381, std_dev=4.253023255813953
Parameters for 2-4 trucks:
  Log-normal: shape=0.77, loc=0.0, scale=5.927441860465116
  Normal: mean=531, std_dev=5.927441860465116
Parameters for 4-6 trucks:
  Log-normal: shape=0.77, loc=0.0, scale=7.166511627906976
  Normal: mean=642, std_dev=7.166511627906976
Parameters for 6+ trucks:
  Log-normal: shape=0.77, loc=0.0, scale=8.606511627906976
  Normal: mean=771, std_dev=8.606511627906976
```

Nous disposons maintenant de tous les nouveaux modèles nécessaires, il est temps de présenter la version finale du code : voir Annexe.

Exemple d'exécution :

```
Enter distance from original location to MD1 (in km): 22
Enter distance from MD1 to base (in km): 11
Enter the mission's segment (DNM, TST, WL): TST
Enter the start date (YYYY-MM-DD): 2020-11-11
Enter the time of departure (HH:MM): 07:00
90% confidence interval for arrival time: 2020-11-11 07:48:14.226293 to 2020-11-11 10:26:28.041162
Average arrival time: 2020-11-11 08:18:55.775529
Mean total time: 1.64 hours
Median total time: 1.32 hours
Standard deviation of total time: 1.24 hours
Mean travel time to base: 0.27 hours
Mean time at base: 1.09 hours
Mean travel time back: 0.14 hours
Mean total mission time: 1.64 hours
```

FIGURE 3.15 – Captures d'écran de l'exécution du programme - Terminale

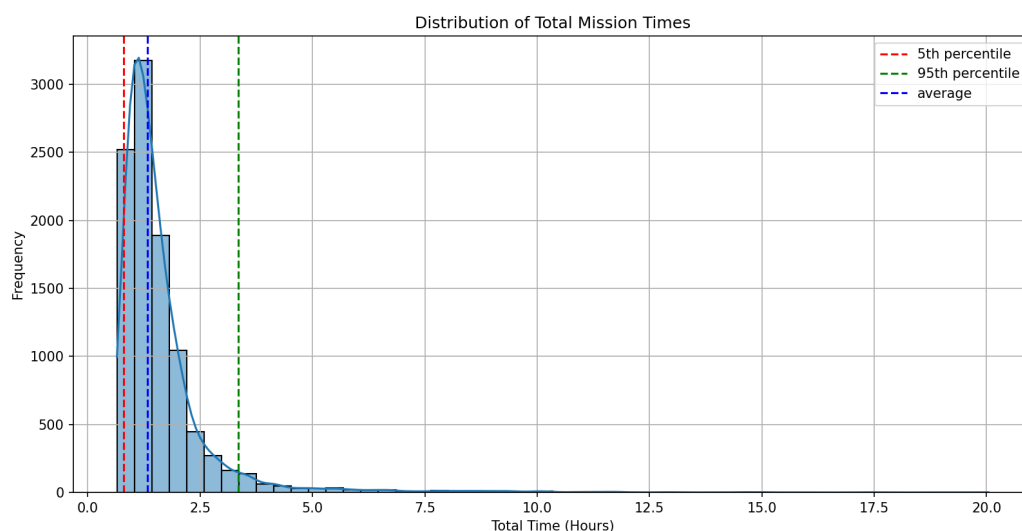


FIGURE 3.16 – Captures d'écran de l'exécution du programme - Graph

Vers le Niveau 2 :

Maintenant, pour le deuxième niveau, nous suivons la démarche suivante :

- **Choix de la métaheuristique** : Dans la partie suivante, nous utiliserons la méthode de recherche tabou. Nous l'avons choisie pour les raisons qui suivent :
 - Sa simplicité, afin de minimiser le temps de calcul (ce qui est crucial dans notre cas, car à la fois les simulations Monte Carlo et les heuristiques consomment beaucoup de temps)
 - Sa bonne adaptation aux problèmes d'ordonnement
 - Le désir d'éviter les minimums locaux qui se forment facilement en raison de la petite superficie de la base, rendant la transition d'un planning optimal à un autre très difficile **Note** : Il est à noter que nous prévoyons de simuler d'autres métaheuristiques (ce qui est facile une fois qu'une est implémentée, puisque seule la fonction principale de l'heuristique change). Cependant, faute de temps court, nous exposons nos résultats uniquement pour la recherche tabou.

Pseudo-code :

- Segments temporels

Nous commençons par définir des segments temporels (pour éviter toute confusion, nous désignons les segments métier comme des business lines BL). Pour des raisons de simplicité, nous divisons la journée en segments de 30 minutes, entre 8h et 17h. Chaque camion se voit attribuer un segment temporel pour commencer l'opération de chargement/déchargement.

- **Fonction objective** La fonction objectif calcule le temps nécessaire ainsi que la dernière zone horaire à remplir de la manière suivante : Nous commençons par vérifier l'horaire pour le nombre initial de camions dans chaque segment temporel et le sauvegardons dans un tableau. Ensuite, nous parcourons les segments temporels dans l'ordre chronologique, en simulant le temps nécessaire pour décharger/charger en suivant une fonction similaire à celle du niveau un, mais en utilisant cette fois-ci le nombre de camions à la base provenant du tableau mentionné. Une fois le temps d'exécution calculé, le nombre de camions à la base est mis à jour en fonction du temps d'exécution. Pour simplifier, nous supposons que si un camion passe un temps $t > 0$ dans un segment temporel, le nombre de camions dans ce segment augmentera d'un pour toute la période. Une fois tous les camions passés en revue, la somme des temps de chargement est alors calculée, ainsi que l'heure de la dernière opération.

- Fonction de voisinage

La fonction modifie de manière aléatoire l'heure planifiée du chargement/déchargement d'un camion vers un autre segment temporel.

- **Fonction de recherche tabou** La fonction de recherche tabou suit un programme simple : une solution initiale est créée en attribuant à chaque camion un segment temporel aléatoire. À chaque itération, un voisin est créé et son temps d'exécution est vérifié ; s'il est supérieur au meilleur actuel, il est échangé. Sinon, s'il est égal, on vérifie l'heure de la dernière exécution pour choisir le plus petit. Si elle est inférieure au meilleur actuel, on la rejette et on l'ajoute à la liste tabou. Une fois toutes les itérations terminées, les informations sur le meilleur planning sont imprimées à l'utilisateur.

Analyse de complexité temporelle et spatiale du programme :

TABLE 3.6 – Table de complexité

Function	Complexité Temporelle	Complexité Spatiale
minutes_to_hhmm	$O(1)$	$O(1)$
read_csv	$O(n)$	$O(n)$
convert_to_minutes	$O(1)$	$O(1)$
create_time_segments	$O(1)$	$O(1)$
solution_zero	$O(n)$	$O(n)$
objective_function	$O(n + m)$	$O(m)$
generate_neighbor	$O(1)$	$O(n)$
tabu_search	$O(\max_iterations \cdot n \cdot \log(n))$	$O(n \cdot \text{tabu_tenure})$
MontecarloSim	$O(n_simulations)$	$O(n_simulations)$
Overall Algorithm	$O(\max_iterations \cdot n \cdot \log(n))$	$O(n \cdot \text{tabu_tenure})$

Cela peut être amélioré pour avoir une complexité temporelle de $O(\max_iterations * n)$ et une complexité spatiale de $O(n)$, en utilisant les méthodes suivantes :

- Structures de données optimisées (structure de graphe par exemple)
- Traitement parallèle
- Mémoïsation à l'aide de fonctions supplémentaires

Pour nos simulations, nous avons utilisé 1000 itérations, une tenure tabou de 50, et 10 000 simulations Monte Carlo par camion. L'algorithme est en appendix 4.

Évaluation de l'efficacité de la méthode :

En appliquant la méthode précédente à nos opérations de camion sur 30 jours, nous avons constaté **une diminution du temps moyen de chargement/déchargement de 24 %** ainsi qu'**une réduction de 2 heures du temps moyen de fin d'opération**. Bien que cela ne soit pas une évaluation directe de l'algorithme, ce qui n'est malheureusement pas possible en raison de nos contraintes de temps qui ne permettent pas une analyse plus rigoureuse par implémentation, cela met néanmoins en valeur la puissance de l'algorithme. Le **nombre moyen de camions à la base non nul par heure est passé de 2,7 à 1,3**.

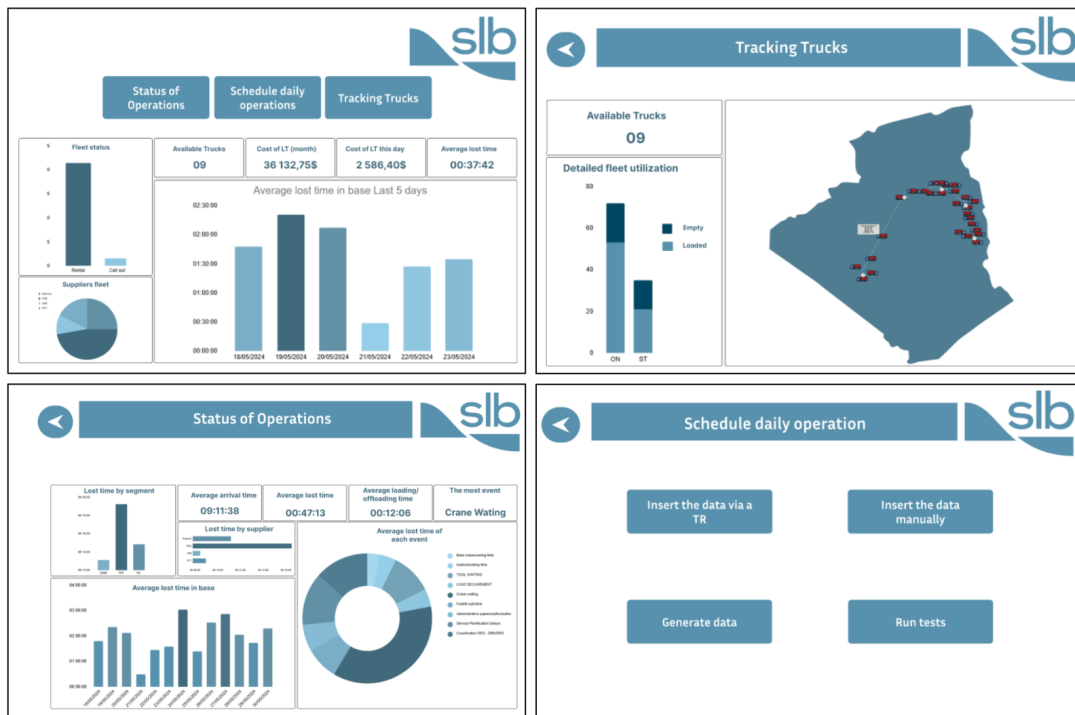
Perspectives futures et conclusion :

Bien que la solution actuelle soit performante, quelques améliorations peuvent être suggérées :

- Une meilleure modélisation en étudiant les raisons de perte de temps par business line BL.
- Une meilleure modélisation en incluant les zones concernées par l'opération de chargement/déchargement.
- De meilleurs résultats pourraient être obtenus en minimisant la taille des segments temporels.
- Nous pouvons aussi généraliser cette réflexion sur les autres bases SLB.
- Cette approche peut également être généralisée pour des périodes plus longues qu'une journée, mais cela nécessiterait une meilleure visibilité, ce qui n'est pas toujours possible dans le secteur pétrolier et gazier, surtout en Algérie.
- Il serait intéressant d'intégrer le projet sur SLB monde, surtout dans les pays à flux importants ou ceux à grande maturité TR, cela leur permettrait de minimiser plusieurs coûts liés à la logistique d'ordonnancement.

Vue finale du portail digital :

Voici le portail ainsi que ses différentes pages :



En conclusion, ce chapitre présente notre approche de résolution des deux volets de notre problématique. D'une part, l'efficacité du processus de chargement et déchargement en identifiant les causes racines des pertes de temps et en proposant des actions correctives appropriées. D'autre part, un suivi du processus de chargement et déchargement ainsi qu'une meilleure visibilité sur la flotte logistique grâce à la conception d'outils digitaux.

Conclusion générale

SLB (Schlumberger Limited) est une entreprise leader dans le secteur des services pétroliers et gaziers. Face aux défis actuels de l'industrie, marqués par la transition vers des énergies plus vertes et l'adoption croissante d'outils numériques, il est impératif d'optimiser l'exploitation des ressources. Cette optimisation passe par une meilleure gestion des processus et une visibilité accrue sur les ressources disponibles.

Dans ce contexte, la digitalisation et l'optimisation des processus opérationnels sont devenues des enjeux cruciaux pour maintenir la compétitivité et l'efficacité des opérations. L'intégration de technologies avancées permet non seulement d'améliorer la précision et la réactivité des outils de gestion, mais aussi de réduire les pertes de temps et d'accroître la productivité.

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous avons entrepris l'identification des différentes raisons de perte de temps lors des processus de chargement et déchargement chez SLB. Par la suite, nous avons développé une application destinée à suivre ces pertes de temps, et conçu un portail digital permettant non seulement d'obtenir une visibilité sur la flotte, mais aussi de surveiller l'état des opérations sur la base et d'évaluer l'impact des actions correctives. En complément, nous avons implémenté un programme d'ordonnancement basé sur une méta-heuristique et des simulations de Monte Carlo, une approche qui demeure innovante dans ce secteur et type d'applications, bien qu'elle ait quelques instances d'utilisation dans la gestion des entrepôts et la maintenance.

Ces solutions sont encore à leurs débuts. Avec le temps, leur efficacité augmentera à mesure que l'application et les tableaux de bord gagneront en maturité et seront mieux intégrés aux systèmes existants. L'optimisation continue des processus et l'accumulation de données permettront d'améliorer la précision et la réactivité des outils déployés. Cependant, et malgré les résultats concluants atteints, ce travail demeure un petit effort qui peut être étendu à de nombreuses améliorations en réflexion et en application. Une première piste d'amélioration concerne la partie d'observation et collecte des données. Nous avons commencé par étudier les opérations sur les bases SLB pour notre projet de fin d'étude (et donc la partie centrale du processus logistique de la flotte). Plusieurs opportunités d'amélioration figurent dans l'exploration des différentes autres parties de ce processus, que ce soit la partie amont, et donc fournisseur, en analysant les pertes engendrées par ces derniers (que ce soit sur ses bases où en déplacement vers les bases SLB) ainsi que les opportunités d'optimisation. De la même manière, une analyse sur la partie aval est aussi intéressante, que ce soit le comportement des chauffeurs en route ou bien une fois arrivés aux chantiers. Cela permettra de bien comprendre les différentes stratégies et tactiques que les segments utilisent pour camoufler et simuler une utilisation des camions d'une part, et des pratiques à améliorer d'autre part. Nous pourrions aussi étendre l'étude vers d'autres types de véhicules, par exemple les grues, les chariots élévateurs et les 4x4 pour généraliser les conclusions.

Il serait également intéressant d'explorer la possibilité de collaboration avec les fournisseurs, que ce soit via des contrats avantageux ou des investissements sous formes de prêts pour les

pousser à upgrader leurs équipements et offrir plus de réactivité ou de types d'offres. Une idée intéressante serait des contrats à durée moyenne (entre le monthly et le callout), offrant une troisième option avec des rentals plus chers que les monthlies mais pas au point des callouts, ce type de contrats permettrait de mieux gérer les périodes de demande intense pour SLB et garantit un plus grand revenu au fournisseur qui présente ce type d'offre par rapport à ses concurrents...

Ensuite, et dans la partie de détection de causes racines et suggestion d'actions correctives, notre réflexion nous a conduits vers la sélection du design de la base comme action prioritaire, après une analyse TOPSIS. Cependant, les estimations de l'étude se sont faites via des formulaires, il serait très intéressant de revoir cette partie et de faire une analyse plus approfondie, avec un audit poussé et en impliquant davantage de parties prenantes, en particulier les segments et les directeurs de base. De la même manière, nous pouvons aussi généraliser la réflexion faite à MD1 sur l'ensemble des bases SLB.

De plus, vu le fait que SLB explore la possibilité d'acquisition d'une nouvelle base à la nouvelle ville de Hassi Messaoud, une étude sur le design de la base (que ce soit un redesign pour les anciennes bases ou un tout nouveau plan) apporterait de la valeur à l'entreprise. Une des approches à tester est l'utilisation d'algorithmes génétiques allouant des espaces en base (pixel par pixel par exemple) à une des utilités principales : administration, routes, espaces verts... Ensuite, tester l'efficacité de ces designs créés via des scénarios : opérations usuelles, feux, déplacements en base...

Sur le volet de l'application digitale, il serait intéressant de combiner l'implémentation du projet avec celui du PFE de BOUCHAFA et LARBI (2023), qui se focalise sur l'utilisation de technologie IoT ainsi que les différentes plateformes SLB pour l'invoicing et le billing, calculer les différents indicateurs environnementaux et recevoir des updates sur le statut de la flotte. Ce projet a été interrompu à cause de son budget relativement supérieur aux capacités de la DL team, d'où notre approche qui essaient de minimiser les coûts. Cependant, une combinaison entre les deux pourrait être possible, au moins avec des adaptations sur le volet de la durabilité environnementale et des consommations de ressources.

Notre conception d'application et de portail digital reste encore à ses débuts, plusieurs autres fonctionnalités apparaîtront avec le temps, et il sera bon de consulter des spécialistes en architecture d'applications pour utiliser les meilleures pratiques de l'industrie lors de l'implémentation de nouvelles fonctionnalités. Une exploration des solutions du marché a noté que, bien que les solutions disponibles soient pauvres, avec un bon guidage, un outil plus général et polyvalent peut être créé.

Enfin, une autre voie d'amélioration réside dans le déploiement du logiciel d'ordonnancement à l'échelle mondiale chez SLB. En effet, ce logiciel, une fois mature, pourrait apporter une valeur ajoutée lorsqu'il est utilisé sur des centaines de véhicules et sur de longues périodes, exploitant à juste titre sa capacité à optimiser les opérations et à réduire les pertes de temps à grande échelle. Cela, bien sûr, en tenant compte des différentes exigences selon les pays ou les opérations offshore et onshore. Il n'est pas nécessaire que ce soit spécifique à une base ; avec une bonne étude de la complexité de la programmation, cela peut être généralisé pour réguler l'ensemble des opérations dans plusieurs bases, en fournissant des ordres dynamiques à un niveau élevé.

Bibliographie

- [1] Trading Economics. United states crude oil production, 2024. Consulté le 6 juillet 2024.
- [2] Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEC). Bulletin statistique annuel 2023, 2023.
- [3] Mordor Intelligence. Oilfield services market - ofs - size, companies share, 2024.
- [4] Trading Economics. Brent crude oil, 2024. Accessed : 2024-07-05.
- [5] SLB. *Introduction to Planning Supply Chains*. 2017.
- [6] International Energy Agency (IEA). Oil in the 21st century : Challenges and opportunities, 2023.
- [7] Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC). The world oil market in 2023, 2023.
- [8] GlobalData. Oil and gas market report 2024, 2024.
- [9] Allied Market Research. Oilfield services market : Trends, opportunities, and forecasts (2023-2028), 2023.
- [10] Research and Markets. Oil and gas services industry outlook to 2028 : Market assessment, growth, and key trends, 2024.
- [11] Gawdat Bahgat. L'émergence d'un nouveau paysage énergétique : Union européenne et Afrique du nord. *MÉCANISME d'intégration et coopération régionale*, page 57.
- [12] P. Dupont. *La chaîne logistique*. Editions XYZ, Paris, 2003.
- [13] A. Mombeni et al. Logistics and supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 38(4) :238–259, 2017.
- [14] Banque mondiale. *Rapport sur les infrastructures en Afrique du Nord*. Banque mondiale, Washington, DC, 2020.
- [15] A. Fink. Environmental and safety protocols in hazardous material logistics. *Journal of Environmental Management*, 127 :190–197, 2013.
- [16] J. P. Rodrigue. *The Geography of Transport Systems*. Routledge, New York, 2012.
- [17] M. Mohammadi and M. Saidi. Challenges in supply chain visibility for the oil and gas sector. *International Journal of Logistics Management*, 29(2) :312–335, 2018.
- [18] A. Al-Mudimigh et al. Efficiency in loading and unloading operations. *International Journal of Operations & Production Management*, 31(3) :456–477, 2011.
- [19] R. Dubey, A. Gunasekaran, and S. J. Childe. The impact of big data on supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 165 :234–248, 2015.
- [20] Jean-Paul Rodrigue. Bottlenecks in the logistics chain. *Journal of Transport Geography*, 2012.
- [21] Arlene Fink. Equipment downtime and logistics efficiency. *International Journal of Logistics Management*, 2013.
- [22] Abdullah Al-Mudimigh, Mohamed Zairi, and Majed Al-Mashari. Workforce training in logistics operations. *Journal of Business Logistics*, 2011.
- [23] Mehrdad Mohammadi and Mehdi Saidi. Administrative processes in logistics. *Journal of Supply Chain Management*, 2018.

-
- [24] Douglas M Lambert. Increased operational costs due to delays. *Journal of Business Logistics*, 2008.
- [25] Amir Mombeni, Reza Rahim, and Hossein Zandi. Customer satisfaction in logistics. *International Journal of Supply Chain Management*, 2017.
- [26] Nhat Nguyen, Thang Le, and Tuan Pham. Machine learning applications in logistics. *Journal of Technology in Logistics*, 2020.
- [27] Kaoru Ishikawa. *Guide to quality control*. Asian Productivity Organization, 1982.
- [28] Dean H Stamatis. *Failure mode and effect analysis : FMEA from theory to execution*. ASQ Quality Press, 2003.
- [29] Michael L George, David Rowlands, Malcolm Price, and Malcolm Maxey. *The lean six sigma pocket toolbox*. McGraw-Hill Education, 2004.
- [30] Anthony E Boardman, David H Greenberg, Aidan R Vining, and David L Weimer. *Cost-benefit analysis : concepts and practice*. Cambridge University Press, 2017.
- [31] Louis Anthony Cox Jr. *Risk analysis of complex and uncertain systems*. Springer, 2008.
- [32] Valerie Belton and Theodor J Stewart. *Multiple criteria decision analysis : an integrated approach*. Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [33] Jerry Banks, John S Carson, Barry L Nelson, and David M Nicol. *Discrete-event system simulation*. Prentice Hall, 2005.
- [34] Thomas L Saaty. *The analytic hierarchy process : planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill, 1980.
- [35] Omkarprasad S Vaidya and Sushil Kumar. Analytic hierarchy process : An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1) :1–29, 2006.
- [36] Ching-Lai Hwang and Kwangsun Yoon. *Multiple attribute decision making : methods and applications*. Springer, 1981.
- [37] Hsu-Shih Shih, Huan-Jyh Shyur, and Edmundo Stanley Lee. An extension of topsis for group decision making. *Mathematical and Computer Modelling*, 45(7-8) :801–813, 2007.
- [38] R. Garcia and D. Brunt. The development of digital logistics : Rfid and gps. *Journal of Business Logistics*, 24(1) :67–89, 2003.
- [39] Y. Wang and Y. Zeng. Advancements in real-time tracking in logistics. *Logistics Journal*, 12(3) :102–118, 2016.
- [40] H. L. Lee and O. Ozer. Unlocking the value of rfid. *Production and Operations Management*, 16(1) :40–64, 2007.
- [41] Y. Zhao and J. Xie. Integrated warehouse management systems. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(5) :509–521, 2002.
- [42] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito. The internet of things : A survey. *Computer Networks*, 54(15) :2787–2805, 2010.
- [43] T. H. Davenport and J. G. Harris. *Competing on Analytics : The New Science of Winning*. Harvard Business Review Press, 2007.
- [44] H. Chen, R. H. L. Chiang, and V. C. Storey. Business intelligence and analytics : From big data to big impact. *MIS Quarterly*, 36(4) :1165–1188, 2012.
- [45] S. L. Ting, Y. K. Tse, and G. T. S. Ho. Value of optimizing transportation routes. *International Journal of Production Economics*, 131(1) :137–145, 2011.
- [46] Y. Peng et al. Maintenance decision support systems (mdss) : An integrated approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 95(7) :698–706, 2010.
- [47] C. Batini and M. Scannapieco. *Data and Information Quality : Dimensions, Principles and Techniques*. Springer, 2016.
- [48] M. Christopher. *Logistics & Supply Chain Management*. Pearson Education, 2011.

- [49] P. R. C. Gopal and J. Thakkar. Analysis of supply chain performance metrics for indian manufacturing using sem. *International Journal of Production Research*, 50(18) :5101–5117, 2012.
- [50] L. Ruiz-Garcia, G. Steinberger, and M. Rothmund. A model and prototype implementation for tracking and tracing agricultural batch products along the food chain. *Food Control*, 21(2) :112–121, 2010.
- [51] A. Sarac, N. Absi, and S. Dauzère-Pérès. A literature review on the impact of rfid technologies on supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 128(1) :77–95, 2010.
- [52] M. Ghosh et al. Telematics and informatics in fleet management. *Journal of Transportation Research*, 35(3) :279–288, 2009.
- [53] H. Jula et al. Vehicle tracking and fleet management systems : A review. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 3(3) :456–462, 2009.
- [54] E. Dennis. Advances in vehicle telematics for security and safety. *Journal of Transportation Security*, 4(2) :133–144, 2012.
- [55] A. Morris and R. Buerger. Implementation and benefits of telematics in fleet management. *Transportation Research Part C : Emerging Technologies*, 20(3) :295–310, 2011.
- [56] B. Schmid and U. Lindemann. Real-time supply chain event management : The future of logistics. *International Journal of Production Research*, 52(7) :2132–2146, 2014.
- [57] H. Lee and Ö. Özer. Unlocking the value of rfid. *Production and Operations Management*, 16(1) :40–64, 2007.
- [58] M. Barratt and A. Oke. Antecedents of supply chain visibility in retail supply chains : A resource-based theory perspective. *Journal of Operations Management*, 25(6) :1217–1233, 2007.
- [59] H. Zhou, W. C. Benton, D. A. Schilling, and G. W. Milligan. Supply chain integration and logistics performance : An empirical study of chinese firms. *Journal of Operations Management*, 29(3) :143–162, 2011.
- [60] J. Kembro and D. Näslund. Information sharing in supply chains, myth or reality? a critical analysis of empirical literature. *International Journal of Physical Distribution Logistics Management*, 44(3) :179–200, 2014.
- [61] S. Kumar and K. K. Boyer. Barcode technology : Its impact on the retail supply chain. *Journal of Manufacturing Systems*, 59 :273–284, 2021.
- [62] L. Zhang and X. Zhu. Indoor localization based on wireless networks : A review. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(4) :2683–2692, 2020.
- [63] Y. S. Suh and H. Kim. High-precision sensing for industrial applications. *Sensors and Actuators A : Physical*, 345 :113731, 2022.
- [64] D. H. Shih, B. Lin, and D. C. Yen. Use of mobile devices in logistics : What are the benefits? *Journal of Enterprise Information Management*, 31(1) :10–24, 2018.
- [65] J. Garcia and E. Hernandez. Crowdsourcing for real-time data collection : A review. *Computers in Human Behavior*, 106 :106216, 2020.
- [66] S. Pedersen. Digital portals in logistics management. *International Journal of Logistics Management*, 32(2) :418–439, 2021.
- [67] V. Venkatesh and F. D. Davis. A theoretical extension of the technology acceptance model : Four longitudinal field studies. *Management Science*, 46(2) :186–204, 2000.
- [68] S. Rao, S. E. Griffis, and T. J. Goldsby. The impact of supply chain visibility on supply chain performance : Evidence from the oil and gas industry. *Journal of Business Logistics*, 40(1) :30–44, 2019.

-
- [69] X. Zhang and Y. Zhao. The role of real-time data in supply chain management : Lessons from the oil and gas industry. *International Journal of Production Research*, 55(18) :5411–5426, 2017.
- [70] P. Pourhejazy and O. K. Kwon. Optimization of route planning in logistics : A case study from the petroleum industry. *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, 48 :395–407, 2016.
- [71] V. Venkatesh and H. Bala. Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. *Decision Sciences*, 39(2) :273–315, 2008.
- [72] T. H. Davenport and L. Prusak. *Working Knowledge : How Organizations Manage What They Know*. Harvard Business Review Press, 1998.
- [73] J. Nielsen. *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann, 1994.
- [74] M. Hassenzahl. Experience design : Technology for all the right reasons. *Synthesis Lectures on Human-Centered Informatics*, 3(1) :1–95, 2010.
- [75] A. Marcus. *Design, User Experience, and Usability : User Experience Design for Diverse Interaction Platforms and Environments*. Springer, 2016.
- [76] D. A. Norman. *The Design of Everyday Things : Revised and Expanded Edition*. Basic Books, 2013.
- [77] B. Shneiderman. *Designing the User Interface : Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley, 1997.
- [78] S. Kowalski and E. Felten. Cybersecurity in the oil and gas industry : A risk management approach. *Journal of Petroleum Technology*, 70(1) :80–91, 2018.
- [79] R. S. Kaplan and D. P. Norton. *The Balanced Scorecard : Translating Strategy into Action*. Harvard Business Review Press, 1996.
- [80] D. Q. Chen, D. S. Preston, and M. Swink. Aligning supply chain strategies with product uncertainties : A portfolio approach. *International Journal of Physical Distribution Logistics Management*, 42(8/9) :710–727, 2012.
- [81] J. T. Mentzer et al. Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 22(2) :1–25, 2001.
- [82] Tung-Ting Chuang, Kazuo Nakatani, and Dongming Zhou. An exploratory study of the extent of information technology adoption in smes : An application of upper echelon theory. *Journal of Business Logistics*, 30(1) :37–54, 2009.
- [83] Angappa Gunasekaran and Eric WT Ngai. Information systems in supply chain integration and management. *European Journal of Operational Research*, 159(2) :269–295, 2004.
- [84] Nadine Pahl and Markus Voeth. *Successful Marketing Strategies for High-Tech Firms*. Springer, 2018.
- [85] Daniel Q Chen, David S Preston, and Morgan Swink. Aligning supply chain strategies with product uncertainties : A portfolio approach. *International Journal of Physical Distribution Logistics Management*, 42(8/9) :710–727, 2012.
- [86] Hui Wang, Jian Wang, and Qian Tang. The impact of information technology capabilities on firm performance : Evidence from china. *Journal of Business Research*, 69(10) :4704–4710, 2016.
- [87] Rania El-Gazzar, Eli Hustad, and Dag H Olsen. Understanding the adoption and diffusion of a cloud computing innovation in the oil and gas industry. *Journal of Business Research*, 104 :259–274, 2019.
- [88] Averill M Law. *Simulation modeling and analysis*. McGraw-Hill, 2007.
- [89] W David Kelton, Randall P Sadowski, and Nancy B Swets. *Simulation with Arena*. McGraw-Hill, 2010.

-
- [90] Jerry Banks, John S Carson, Barry L Nelson, and David M Nicol. *Discrete-event system simulation*. Prentice Hall, 2005.
- [91] Katsuhiko Ogata. *System dynamics*. Pearson, 2004.
- [92] MathWorks. *MATLAB and Simulink for Technical Computing*. MathWorks, 2021.
- [93] Charles M Macal and Michael J North. Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 4(3) :151–162, 2010.
- [94] Steven F Railsback and Volker Grimm. *Agent-based and individual-based modeling : a practical introduction*. Princeton university press, 2011.
- [95] Andrei Borshchev. *The big book of simulation modeling : multimethod modeling with AnyLogic 6*. AnyLogic North America, 2013.
- [96] Stewart Robinson. Discrete-event simulation : from the pioneers to the present, what next? *Journal of the Operational Research Society*, 56(6) :619–629, 2004.
- [97] Frederick S Hillier and Gerald J Lieberman. *Introduction to operations research*. McGraw-Hill, 2012.
- [98] Dimitris Bertsimas and John N Tsitsiklis. *Introduction to linear optimization*. Athena Scientific, 1997.
- [99] El-Ghazali Talbi. *Metaheuristics : from design to implementation*. John Wiley Sons, 2009.
- [100] Marco Dorigo and Thomas Stutzle. *Ant colony optimization*. MIT press, 2004.
- [101] Sean Luke. *Essentials of metaheuristics*. Lulu.com, 2013.
- [102] Michael C Fu. Optimization for simulation : Theory vs. practice. *INFORMS Journal on Computing*, 14(3) :192–215, 2002.
- [103] Averill M Law. *Simulation modeling and analysis*. McGraw-Hill Education, 2015.
- [104] Stuart Russell and Peter Norvig. *Artificial intelligence : a modern approach*. Pearson Education Limited, 2016.
- [105] Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville. *Deep learning*. MIT press, 2016.
- [106] AnyLogic Company. Anylogic : Simulation modeling software. <https://www.anylogic.com>, 2021.
- [107] W David Kelton, Randall P Sadowski, and Nancy B Swets. *Simulation with Arena*. McGraw-Hill, 2010.
- [108] Rockwell Automation. Arena simulation software. <https://www.arenasimulation.com>, 2020.
- [109] Charles R Harrell and Kenneth Tumay. *Simulation made easy : a manager's guide to using Simul8*. Industrial Press Inc., 1997.
- [110] Simul8 Corporation. Simul8 : Simulation software for business process improvement. <https://www.simul8.com>, 2021.
- [111] Cleve Moler. *Numerical computing with MATLAB*. SIAM, 2004.
- [112] Inc. FlexSim Software Products. Flexsim : 3d simulation modeling and analysis software. <https://www.flexsim.com>, 2021.
- [113] David T Sturrock. *Simulation with FlexSim*. Simulation Concepts, 2013.
- [114] Dimitris Bertsimas and John N Tsitsiklis. *Introduction to linear optimization*. Athena Scientific, 1997.
- [115] IBM. Ibm ilog cplex optimization studio. <https://www.ibm.com/products/ilog-cplex-optimization-studio>, 2020.
- [116] TensorFlow Team. Tensorflow : An end-to-end open source machine learning platform. <https://www.tensorflow.org>, 2021.
- [117] Nicholas Metropolis and Stanislaw Ulam. The monte carlo method. *Journal of the American Statistical Association*, 44(247) :335–341, 1949.

-
- [118] Kay Chen Tan, Loo Hay Lee, and Khor Ou. Evolutionary algorithms for multi-objective optimization : Performance assessments and comparisons. *Artificial Intelligence Review*, 15(4) :253–290, 2001.
- [119] Hao Ma and Hao Wang. A survey on the use of monte carlo methods in the modern world. *Applied Mathematics and Computation*, 310 :102–112, 2017.
- [120] Fred Glover and Gary A Kochenberger. *Handbook of Metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [121] Christian Blum and Andrea Roli. Metaheuristics in combinatorial optimization : Overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys*, 35(3) :268–308, 2003.
- [122] David E Goldberg. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley, 1989.
- [123] John H Holland. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, 1975.
- [124] Marco Dorigo and Luca M Gambardella. Ant colonies for the traveling salesman problem. *BioSystems*, 43(2) :73–81, 1997.
- [125] Marco Dorigo and Thomas Stutzle. *Ant Colony Optimization*. MIT Press, 2004.
- [126] Scott Kirkpatrick, C Daniel Gelatt, and Mario P Vecchi. Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(4598) :671–680, 1983.
- [127] Peter JM Van Laarhoven and Emile HL Aarts. *Simulated Annealing : Theory and Applications*. Kluwer Academic Publishers, 1987.
- [128] Fred Glover. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Computers Operations Research*, 13(5) :533–549, 1986.
- [129] Fred Glover and Manuel Laguna. *Tabu Search*. Springer, 1997.
- [130] Alain Hertz and Dominique de Werra. The tabu search metaheuristic : How we used it. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 1(1-4) :111–121, 1991.
- [131] David S Johnson and Lyle A McGeoch. The traveling salesman problem : A case study in local optimization. In Emile HL Aarts and Jan Karel Lenstra, editors, *Local Search in Combinatorial Optimization*. John Wiley Sons, 1997.
- [132] Fred Glover. Tabu search : A tutorial. *Interfaces*, 20(4) :74–94, 1990.
- [133] Colin R Reeves. *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*. John Wiley Sons, 1993.
- [134] Eric D Taillard. Robust taboo search for the quadratic assignment problem. *Parallel Computing*, 17(4-5) :443–455, 1991.
- [135] George S Fishman. *Monte Carlo : Concepts, Algorithms, and Applications*. Springer, 1996.
- [136] Christian P. Robert and George Casella. *Introducing Monte Carlo Methods with R*. Springer, 2010.
- [137] Reuven Y Rubinstein and Dirk P Kroese. *Simulation and the Monte Carlo Method*. John Wiley Sons, 2016.
- [138] Paul Glasserman. *Monte Carlo Methods in Financial Engineering*. Springer, 2004.
- [139] Michel Gendreau and Jean-Yves Potvin, editors. *Handbook of Metaheuristics*. Springer, 2010.
- [140] Kay Chen Tan, Loo Hay Lee, and Khor Ou. Evolutionary algorithms for multi-objective optimization : Performance assessments and comparisons. *Artificial Intelligence Review*, 15(4) :253–290, 2001.
- [141] Hao Ma and Hao Wang. A survey on the use of monte carlo methods in the modern world. *Applied Mathematics and Computation*, 310 :102–112, 2017.
- [142] Antonino Lagana and Alessandra Riganelli. Monte carlo methods and metaheuristics : An overview. *Monte Carlo Methods and Applications*, 17(4) :327–350, 2011.

- [143] Rafael Mart'ı and Gerhard Reinelt. *The Linear Ordering Problem : Exact and Heuristic Methods in Combinatorial Optimization*. Springer, 2011.
- [144] Johann Dreo, Alain Petrowski, Patrick Siarry, and Eric Taillard. *Metaheuristics for Hard Optimization*. Springer, 2006.
- [145] Narayana Prasad Padhy and Debi Prasad Mohanta. *Optimization in Electrical Power Systems : Modeling and Algorithms*. Springer, 2016.
- [146] Sean Luke. *Essentials of Metaheuristics*. Lulu.com, 2013.

Annexe A

Depot GIT contenant l'ensemble des fichiers

Pour accéder au dépôt GitHub contenant l'ensemble des fichiers du projet, veuillez cliquer sur le lien suivant :

<https://github.com/haniemp/PFE>

Annexe B

Code Niveau 1

```
1     import numpy as np
2     import pandas as pd
3     import matplotlib.pyplot as plt
4     import seaborn as sns
5     from scipy.stats import lognorm, expon, weibull_min, norm
6     import datetime
7
8     # Define the distributions and their parameters
9     distributions = {
10         "Base maneuvering time": ("lognorm", (0.77, 0.00, 5.76)),
11         "load/unloading time": ("expon", (1.00, 10.91)),
12         "TOOL WAITING": ("weibull_min", (0.94, 0.00, 28.28)),
13         "LOAD SECUREMENT": ("lognorm", (0.71, 0.00, 9.73)),
14         "Crane waiting": ("weibull_min", (0.79, 0.00, 91.62)),
15         "LiftTruck wait time": ("lognorm", (0.94, 0.00, 14.81)),
16         "Administrative papers/authorisations": ("weibull_min", (1.51, 0.00, 20.89)),
17         "Service Planification Delays": ("lognorm", (1.03, 0.00, 18.83)),
18         "Coordination SEG - DRIVERS": ("lognorm", (0.56, 0.00, 33.21)),
19         "other delays": ("weibull_min", (1.82, 0.00, 26.23)),
20     }
21
22     # Function to sample base maneuvering time based on number of trucks
23     def sample_base_maneuvering_time(num_trucks):
24         if num_trucks < 2:
25             shape, loc, scale = 0.77, 0.0, 4.253023255813953
26         elif 2 <= num_trucks < 4:
27             shape, loc, scale = 0.77, 0.0, 5.927441860465116
28         elif 4 <= num_trucks < 6:
29             shape, loc, scale = 0.77, 0.0, 7.166511627906976
30         else:
31             shape, loc, scale = 0.77, 0.0, 8.606511627906976
32
33         # Convert shape and scale to mean and sigma for the normal distribution
34         mean = np.log(scale)
35         sigma = shape
36         return np.random.lognormal(mean, sigma)
37
38     # Tool waiting data
39     tool_waiting_data = pd.read_csv("ExportedToolWaitingPerSegPerHour.csv")
40
41     def sample_tool_waiting_time(hour, segment):
42         segment_data = tool_waiting_data[(tool_waiting_data["Hour"] == hour) & (tool_waiting_data["Segment"] == segment)]
43         if not segment_data.empty:
```

```

44     mean_waiting = segment_data.iloc[0]["Average"]
45     std_dev_waiting = segment_data.iloc[0]["StdDev"]
46     return np.random.normal(mean_waiting, std_dev_waiting)
47 else:
48     return 0
49
50 # Hardcoded probabilities for each event
51 probabilities = {
52     "Base maneuvering time": 1.00,
53     "load/unloading time": 1.00,
54     "TOOL WAITING": 0.22,
55     "LOAD SECUREMENT": 1.00,
56     "Crane waiting": 0.14,
57     "LiftTruck wait time": 0.24,
58     "Administrative papers/authorisations": 0.28,
59     "Service Planification Delays": 0.12,
60     "Coordination SEG - DRIVERS": 0.09,
61     "other delays": 0.09,
62 }
63
64 # Number of simulations
65 n_simulations = 10000
66
67 # Function to get random samples from a distribution
68 def get_samples(dist_name, params, size):
69     if dist_name == "lognorm":
70         s, loc, scale = params
71         return lognorm.rvs(s, loc, scale, size=size)
72     elif dist_name == "expon":
73         loc, scale = params
74         return expon.rvs(loc, scale, size=size)
75     elif dist_name == "weibull_min":
76         c, loc, scale = params
77         return weibull_min.rvs(c, loc, scale, size=size)
78     else:
79         raise ValueError("Unknown distribution")
80
81 # Calculate travel time
82 def calculate_travel_time(distance_km, speed_kph=80, pause_interval=2, pause_duration=15):
83     travel_time_hours = distance_km / speed_kph
84     num_pauses = int(travel_time_hours // pause_interval)
85     total_pause_time = num_pauses * (pause_duration / 60)
86     total_travel_time_hours = travel_time_hours + total_pause_time
87     return total_travel_time_hours
88
89 # Get user inputs
90 distance_to_md1 = float(input("Enter distance from original location to MD1 (in km): "))
91 distance_to_base = float(input("Enter distance from MD1 to base (in km): "))
92 segment = input("Enter the mission's segment (DNM, TST, WL): ")
93 while segment not in ["DNM", "TST", "WL"]:
94     segment = input("Invalid segment. Enter the mission's segment (DNM, TST, WL): ")
95 start_date_str = input("Enter the start date (YYYY-MM-DD): ")
96 departure_time_str = input("Enter the time of departure (HH:MM): ")
97 start_datetime_str = f"{start_date_str} {departure_time_str}"
98 start_datetime = datetime.datetime.strptime(start_datetime_str, "%Y-%m-%d %H:%M")
99
100 # Calculate travel time to the base
101 travel_time_to_md1 = calculate_travel_time(distance_to_md1)
102 travel_time_to_base = calculate_travel_time(distance_to_base)
103 total_travel_time_to_base = travel_time_to_md1
104

```

```

105 # Load the CSV data
106 data = pd.read_csv("ExportedTimePerSegPreHour.csv")
107 segment_data = data[data["Segment"] == "All"]
108
109 # Simulate the process
110 simulation_results = []
111 time_at_md1_list = []
112 time_at_base_list = []
113 time_to_base_list = []
114 time_back_list = []
115 total_mission_time_list = []
116
117 for _ in range(n_simulations):
118     # Calculate arrival time at the base
119     arrival_time_at_base = start_datetime + datetime.timedelta(hours=total_travel_time_to_base)
120     time_to_base_list.append(total_travel_time_to_base)
121
122     #add line for arrival time at base
123
124     # Generate the number of trucks at the base
125     arrival_hour = arrival_time_at_base.hour
126     hourly_param = segment_data[segment_data["Hour"] == arrival_hour].iloc[0]
127     average = hourly_param["Average"]
128     median = hourly_param["Median"]
129     std_dev = hourly_param["StdDev"]
130     num_trucks_at_base = np.random.normal(average, std_dev)
131     num_trucks_at_base = max(0, int(num_trucks_at_base)) # Ensure non-negative number of trucks
132
133     # Simulate the total time at the base for each event
134     total_time_at_base = 0
135
136     for name, (dist_name, params) in distributions.items():
137         prob = probabilities[name]
138         if np.random.rand() < prob:
139             if name == "Base maneuvering time":
140                 total_time_at_base += sample_base_maneuvering_time(num_trucks_at_base)
141             elif name == "TOOL WAITING" :
142                 tool_waiting_time = sample_tool_waiting_time(arrival_hour, segment)
143                 total_time_at_base += tool_waiting_time
144             else:
145                 total_time_at_base += get_samples(dist_name, params, 1)[0]
146
147
148
149
150     time_at_base_list.append(total_time_at_base / 60) # Convert to hours
151
152     # Calculate time to leave base and reach the second destination
153     total_mission_time = total_travel_time_to_base + (total_time_at_base / 60) + total_travel_time_to_2
154     end_time = start_datetime + datetime.timedelta(hours=total_mission_time)
155
156     # Calculate time back
157     time_back_list.append(travel_time_to_base)
158
159     if end_time.time() > datetime.time(23, 0):
160         # Continue the trip the next day
161         next_day_start = datetime.datetime.combine(arrival_time_at_base.date() + datetime.timedelta(days=1),
162             end_time = next_day_start + datetime.timedelta(hours=(end_time - datetime.datetime.combine(arrival_time_at_base.date(),
163
164     simulation_results.append(total_mission_time)
165     total_mission_time_list.append(total_mission_time)

```

```
166
167 # Convert results to array
168 simulation_results = np.array(simulation_results)
169
170 # Calculate the 90% confidence interval for total times
171 lower_bound = np.percentile(simulation_results, 5)
172 upper_bound = np.percentile(simulation_results, 95)
173 average_bound = np.percentile(simulation_results, 50)
174
175 # Convert bounds to datetime
176 arrival_time_lower_bound = start_datetime + datetime.timedelta(hours=lower_bound)
177 arrival_time_upper_bound = start_datetime + datetime.timedelta(hours=upper_bound)
178 arrival_time_average = start_datetime + datetime.timedelta(hours=average_bound)
179 print(f"90% confidence interval for arrival time: {arrival_time_lower_bound} to {arrival_time_upper_bound}")
180 print(f"Average arrival time: {arrival_time_average}")
181
182 # Print some summary statistics
183 print(f"Mean total time: {np.mean(simulation_results):.2f} hours")
184 print(f"Median total time: {np.median(simulation_results):.2f} hours")
185 print(f"Standard deviation of total time: {np.std(simulation_results):.2f} hours")
186
187 # Print phase-specific times
188 print(f"Mean travel time to base: {np.mean(time_to_base_list):.2f} hours")
189 print(f"Mean time at base: {np.mean(time_at_base_list):.2f} hours")
190 print(f"Mean travel time back: {np.mean(time_back_list):.2f} hours")
191 print(f"Mean total mission time: {np.mean(total_mission_time_list):.2f} hours")
192
193 # Plot the distribution of total times
194 plt.figure(figsize=(12, 8))
195 sns.histplot(simulation_results, bins=50, kde=True)
196 plt.axvline(lower_bound, color='r', linestyle='--', label='5th percentile')
197 plt.axvline(upper_bound, color='g', linestyle='--', label='95th percentile')
198 plt.axvline(average_bound, color='b', linestyle='--', label='average')
199
200 plt.title("Distribution of Total Mission Times")
201 plt.xlabel("Total Time (Hours)")
202 plt.ylabel("Frequency")
203 plt.legend()
204 plt.grid(True)
205 plt.show()
206
```

Annexe C

Code Niveau 2

Fonction Monte Carlo

```
1     import numpy as np
2     import pandas as pd
3     import matplotlib.pyplot as plt
4     import seaborn as sns
5     from scipy.stats import lognorm, expon, weibull_min, norm
6     import datetime
7
8     # Define the distributions and their parameters
9     distributions = {
10         "Base maneuvering time": ("lognorm", (0.77, 0.00, 5.76)),
11         "load/unloading time": ("expon", (1.00, 10.91)),
12         "TOOL WAITING": ("weibull_min", (0.94, 0.00, 28.28)),
13         "LOAD SECUREMENT": ("lognorm", (0.71, 0.00, 9.73)),
14         "Crane waiting": ("weibull_min", (0.79, 0.00, 91.62)),
15         "LiftTruck wait time": ("lognorm", (0.94, 0.00, 14.81)),
16         "Administrative papers/authorisations": ("weibull_min", (1.51, 0.00, 20.89)),
17         "Service Planification Delays": ("lognorm", (1.03, 0.00, 18.83)),
18         "Coordination SEG - DRIVERS": ("lognorm", (0.56, 0.00, 33.21)),
19         "other delays": ("weibull_min", (1.82, 0.00, 26.23)),
20     }
21
22     # Function to sample base maneuvering time based on number of trucks
23     def sample_base_maneuvering_time(num_trucks):
24         if num_trucks < 2:
25             shape, loc, scale = 0.77, 0.0, 4.253023255813953
26         elif 2 <= num_trucks < 4:
27             shape, loc, scale = 0.77, 0.0, 5.927441860465116
28         elif 4 <= num_trucks < 6:
29             shape, loc, scale = 0.77, 0.0, 7.166511627906976
30         else:
31             shape, loc, scale = 0.77, 0.0, 8.606511627906976
32
33         # Convert shape and scale to mean and sigma for the normal distribution
34         mean = np.log(scale)
35         sigma = shape
36         return np.random.lognormal(mean, sigma)
37
38     # Tool waiting data
39     tool_waiting_data = pd.read_csv("ExportedToolWaitingPerSegPerHour.csv")
40
41     def sample_tool_waiting_time(hour, segment):
```

```

42     segment_data = tool_waiting_data[(tool_waiting_data["Hour"] == hour) & (tool_waiting_data["Segment"]
43     if not segment_data.empty:
44         mean_waiting = segment_data.iloc[0]["Average"]
45         std_dev_waiting = segment_data.iloc[0]["StdDev"]
46         return np.random.normal(mean_waiting, std_dev_waiting)
47     else:
48         return 0
49
50 # Hardcoded probabilities for each event
51 probabilities = {
52     "Base maneuvering time": 1.00,
53     "load/unloading time": 1.00,
54     "TOOL WAITING": 0.22,
55     "LOAD SECUREMENT": 1.00,
56     "Crane waiting": 0.14,
57     "LiftTruck wait time": 0.24,
58     "Administrative papers/authorisations": 0.28,
59     "Service Planification Delays": 0.12,
60     "Coordination SEG - DRIVERS": 0.09,
61     "other delays": 0.09,
62 }
63
64 # Number of simulations
65 n_simulations = 10000
66
67 # Function to get random samples from a distribution
68 def get_samples(dist_name, params, size):
69     if dist_name == "lognorm":
70         s, loc, scale = params
71         return lognorm.rvs(s, loc, scale, size=size)
72     elif dist_name == "expon":
73         loc, scale = params
74         return expon.rvs(loc, scale, size=size)
75     elif dist_name == "weibull_min":
76         c, loc, scale = params
77         return weibull_min.rvs(c, loc, scale, size=size)
78     else:
79         raise ValueError("Unknown distribution")
80
81 # Calculate travel time
82 def calculate_travel_time(distance_km, speed_kph=80, pause_interval=2, pause_duration=15):
83     travel_time_hours = distance_km / speed_kph
84     num_pauses = int(travel_time_hours // pause_interval)
85     total_pause_time = num_pauses * (pause_duration / 60)
86     total_travel_time_hours = travel_time_hours + total_pause_time
87     return total_travel_time_hours
88
89 # Get user inputs
90
91
92
93
94 def MontecarloSim(arrival_time_at_base,num_trucks_at_base, segment ):
95
96
97
98     # Load the CSV data
99     data = pd.read_csv("ExportedTimePerSegPreHour.csv")
100     segment_data = data[data["Segment"] == "All"]
101
102     # Simulate the process

```

```

103     simulation_results = []
104
105     time_at_base_list = []
106
107
108
109     for _ in range(n_simulations):
110
111         arrival_hour = arrival_time_at_base.hour
112         hourly_param = segment_data[segment_data["Hour"] == arrival_hour].iloc[0]
113
114
115
116         # Simulate the total time at the base for each event
117         total_time_at_base = 0
118
119         for name, (dist_name, params) in distributions.items():
120             prob = probabilities[name]
121             if np.random.rand() < prob:
122                 if name == "Base maneuvering time":
123                     total_time_at_base += sample_base_maneuvering_time(num_trucks_at_base)
124                 elif name == "TOOL WAITING" :
125                     tool_waiting_time = sample_tool_waiting_time(arrival_hour, segment)
126                     total_time_at_base += tool_waiting_time
127                 else:
128                     total_time_at_base += get_samples(dist_name, params, 1)[0]
129
130
131
132
133         time_at_base_list.append(total_time_at_base / 60) # Convert to hours
134
135         # Calculate time to leave base and reach the second destination
136         total_mission_time = (total_time_at_base / 60)
137
138
139
140         simulation_results.append(total_mission_time)
141
142
143     # Convert results to array
144     simulation_results = np.array(simulation_results)
145
146     average = np.percentile(simulation_results, 50)
147     standard_dev = np.std(simulation_results)
148
149     return average, standard_dev
150
151

```

Code d'exécution :

```

1     import csv
2     import copy
3     import random
4     import pandas as pd
5     from collections import defaultdict
6     from datetime import datetime, timedelta
7

```



```

8 from level2Montefuction import MontecarloSim as monte_carlo_simulation
9
10
11 def minutes_to_hhmm(minutes):
12     base_time = datetime(1900, 1, 1, 0, 0)
13     time_delta = timedelta(minutes=minutes)
14     return base_time + time_delta
15
16 def read_csv(file_path):
17     trucks = []
18     with open(file_path, 'r') as file:
19         reader = csv.DictReader(file)
20         for row in reader:
21             trucks.append({
22                 'truck_id': row['truck_id'],
23                 'BL': row['BL'],
24             })
25     return trucks
26
27 def convert_to_minutes(time_str):
28     # Assumes time_str is in format 'HH:MM'
29     hours, minutes = map(int, time_str.split(':'))
30     return hours * 60 + minutes
31
32 def create_time_segments():
33     # Time segments between 8 AM and 4:30 PM, each 30 mins
34     segments = []
35     start_time = 8 * 60 # 8:00 AM in minutes
36     end_time = 16 * 60 + 30 # 4:30 PM in minutes
37     while start_time < end_time:
38         segments.append((start_time, start_time + 30))
39         start_time += 30
40     return segments
41
42 def solution_zero(trucks):
43     time_segments = create_time_segments()
44     S0_schedule = []
45     for truck in trucks:
46         random_time = random.choice(time_segments)
47         S0_schedule.append({
48             "truck_id": truck["truck_id"],
49             "BL": truck["BL"],
50             "Time Segment": random_time
51         })
52     return pd.DataFrame(S0_schedule)
53
54 def objective_function(schedule):
55     time_segments = create_time_segments()
56     trucks_per_time_segment = {time_segment: 0 for time_segment in time_segments}
57
58     for _, row in schedule.iterrows():
59         trucks_per_time_segment[row["Time Segment"]] += 1
60
61     simulation_time = 0
62     last_nonempty_time = 0 # Initialize the last_nonempty_time
63
64     for time_segment in time_segments:
65         num_trucks = trucks_per_time_segment[time_segment]
66         truck_list = schedule[schedule["Time Segment"] == time_segment]
67
68         for _, tr in truck_list.iterrows():

```

```

69         bl = tr["BL"]
70         processing_time, std_dev = monte_carlo_simulation(minutes_to_hhmm(time_segment[0]), num_trucks)
71         simulation_time += processing_time
72         for time_seg in time_segments:
73             if time_seg[0] <= (time_segment[0] + processing_time) and time_seg[0] > time_segment[0]:
74                 trucks_per_time_segment[time_seg] += 1
75         last_nonempty_time = time_segment
76
77     return simulation_time, last_nonempty_time
78
79 def generate_neighbor(schedule):
80     times = create_time_segments()
81     schedule_copy = schedule.copy()
82     random_index = random.randint(0, len(schedule_copy) - 1)
83     new_time_segment = random.choice(times)
84     schedule_copy.at[random_index, "Time Segment"] = new_time_segment
85     return schedule_copy
86
87 def tabu_search(trucks, max_iterations, tabu_tenure):
88     # Initial solution
89     best_solution = solution_zero(trucks) # Ensure it's a DataFrame
90     best_time, best_max_time = objective_function(best_solution)
91
92     # Tabu list
93     tabu_list = []
94
95     current_solution = copy.deepcopy(best_solution)
96     current_time, current_max_time = best_time, best_max_time
97
98     for iteration in range(max_iterations):
99         print(iteration)
100        print("starting to generate neighbors")
101        neighborhood = [generate_neighbor(current_solution) for _ in range(1)]
102        neighborhood = sorted(neighborhood, key=lambda x: objective_function(x)[0])
103        print("neighborhood ready")
104        for neighbor in neighborhood:
105            print("neighbor jdid")
106            if not any(neighbor.equals(tabu) for tabu in tabu_list):
107                current_solution = neighbor
108                current_time, current_max_time = objective_function(current_solution)
109                if current_time < best_time:
110                    best_solution = copy.deepcopy(current_solution)
111                    best_time = current_time
112                    best_max_time = current_max_time
113                elif current_time == best_time:
114                    if current_max_time < best_max_time:
115                        best_solution = copy.deepcopy(current_solution)
116                        best_time = current_time
117                        best_max_time = current_max_time
118                tabu_list.append(neighbor)
119                if len(tabu_list) > tabu_tenure:
120                    tabu_list.pop(0)
121            break
122
123     return best_solution, best_time, best_max_time
124
125 if __name__ == "__main__":
126     file_path = 'dailylist.csv'
127     trucks = read_csv(file_path)
128     time_segments = create_time_segments()
129

```

```
130     max_iterations = 1000
131     tabu_tenure = 50
132
133     best_schedule, best_time, best_max_time = tabu_search(trucks, max_iterations, tabu_tenure)
134     print("Best Schedule:", best_schedule)
135     print("Best Loading/Offloading Time:", best_time)
136     print("Best max Time:", minutes_to_hhmm(best_max_time[0])) # Convert minutes to HH:MM
137
```

Annexe D

Tableau des distributions

TABLE 4.1 – Metrics data by hour and category

Hour	Category	Moyenne	Mediane	Ecart type
0	All	0.0	0.0	0.0
1	All	0.0	0.0	0.0
2	All	0.0	0.0	0.0
3	All	0.0	0.0	0.0
4	All	0.0	0.0	0.0
5	All	0.0	0.0	0.0
6	All	0.0556	0.0	0.2291
7	All	0.1667	0.0	0.3727
8	All	2.1667	2.0	1.4240
9	All	3.0	2.5	2.0817
10	All	2.9444	3.0	1.8700
11	All	3.2778	3.0	2.2805
12	All	0.9444	1.0	0.7798
13	All	0.1111	0.0	0.3143
14	All	1.3889	1.0	1.5326
15	All	1.7778	1.0	1.9309
16	All	1.6667	1.0	1.8257
17	All	0.6667	0.0	0.8165
18	All	0.1667	0.0	0.3727
19	All	0.0556	0.0	0.2291
20	All	0.0	0.0	0.0
21	All	0.0556	0.0	0.2291
22	All	0.0	0.0	0.0
23	All	0.0	0.0	0.0
0	DNM	0.0	0.0	0.0

Suite sur la page suivante

Table 4.1 – Suite de la page précédente

Hour	Category	Moyenne	Mediane	Ecart type
1	DNM	0.0	0.0	0.0
2	DNM	0.0	0.0	0.0
3	DNM	0.0	0.0	0.0
4	DNM	0.0	0.0	0.0
5	DNM	0.0	0.0	0.0
6	DNM	0.0	0.0	0.0
7	DNM	0.0556	0.0	0.2291
8	DNM	0.6667	0.0	0.8165
9	DNM	1.0556	1.0	0.9702
10	DNM	1.0556	1.0	0.7798
11	DNM	0.7222	0.5	0.8032
12	DNM	0.1111	0.0	0.3143
13	DNM	0.0	0.0	0.0
14	DNM	0.1111	0.0	0.4581
15	DNM	0.2222	0.0	0.5329
16	DNM	0.1667	0.0	0.3727
17	DNM	0.1111	0.0	0.3143
18	DNM	0.1111	0.0	0.3143
19	DNM	0.0	0.0	0.0
20	DNM	0.0	0.0	0.0
21	DNM	0.0	0.0	0.0
22	DNM	0.0	0.0	0.0
23	DNM	0.0	0.0	0.0
0	TST	0.0	0.0	0.0
1	TST	0.0	0.0	0.0
2	TST	0.0	0.0	0.0
3	TST	0.0	0.0	0.0
4	TST	0.0	0.0	0.0
5	TST	0.0	0.0	0.0
6	TST	0.0	0.0	0.0
7	TST	0.0556	0.0	0.2291
8	TST	0.7778	1.0	0.7857
9	TST	1.1111	1.0	1.4098
10	TST	1.1667	1.0	1.3437
11	TST	1.3333	1.0	1.5635
12	TST	0.2222	0.0	0.4157
13	TST	0.0	0.0	0.0

Suite sur la page suivante

Table 4.1 – Suite de la page précédente

Hour	Category	Moyenne	Mediane	Ecart type
14	TST	0.7222	0.0	1.1928
15	TST	0.7222	0.0	1.0957
16	TST	0.5	0.0	1.0138
17	TST	0.1667	0.0	0.3727
18	TST	0.0	0.0	0.0
19	TST	0.0	0.0	0.0
20	TST	0.0	0.0	0.0
21	TST	0.0	0.0	0.0
22	TST	0.0	0.0	0.0
23	TST	0.0	0.0	0.0
0	WL	0.0	0.0	0.0
1	WL	0.0	0.0	0.0
2	WL	0.0	0.0	0.0
3	WL	0.0	0.0	0.0
4	WL	0.0	0.0	0.0
5	WL	0.0	0.0	0.0
6	WL	0.0556	0.0	0.2291
7	WL	0.0556	0.0	0.2291
8	WL	0.7222	1.0	0.7307
9	WL	0.8333	1.0	0.8333
10	WL	0.7222	1.0	0.7307
11	WL	1.2222	1.0	0.8535
12	WL	0.6111	0.5	0.6781
13	WL	0.1111	0.0	0.3143
14	WL	0.5556	0.0	0.8315
15	WL	0.8333	1.0	0.8975
16	WL	1.0	0.0	1.4142
17	WL	0.3889	0.0	0.5906
18	WL	0.0556	0.0	0.2291
19	WL	0.0556	0.0	0.2291
20	WL	0.0	0.0	0.0
21	WL	0.0556	0.0	0.2291
22	WL	0.0	0.0	0.0
23	WL	0.0	0.0	0.0