

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique d'Alger



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Schlumberger

Département Génie Industriel

Schlumberger NAF

Mémoire de Projet de Fin d'Études

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

Intitulé

Optimisation de la supply chain internationale des services
pétroliers à travers le déploiement d'une stratégie de
consolidation des commandes
- Application au sein de Schlumberger NAF -

Présenté par :

AITIZEMHani Arezki (M. Industriel)

HANNACHI EI Mahdi (M. Innovation)

Sous la direction de :

M. ZOUAGHI Iskander (ENP)

M. OUAFI Kheireddine (SLB)

Présenté et soutenu publiquement le 10/07/2021

Composition du jury

Présidente	Mme. BOUCHAFAA Bahia	MCA	ENP
Examinatrice	Mme. BOUKADOUM Nadjwa	MAA	ENP
Promoteur	M. ZOUAGHI Iskander	MCB	ENP
Promoteur	M. OUAFI Kheireddine	Procurement specialist	SLB

ENP 2021

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique d'Alger



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Schlumberger

Département Génie Industriel

Schlumberger NAF

Mémoire de Projet de Fin d'Études

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

Intitulé

Optimisation de la supply chain internationale des services
pétroliers à travers le déploiement d'une stratégie de
consolidation des commandes

- Application au sein de Schlumberger NAF -

Présenté par :

AITIZEM Hani Arezki (M. Industriel)

HANNACHI El Mahdi (M. Innovation)

Sous la direction de :

M. ZOUAGHI Iskander (ENP)

M. OUAFI Kheireddine (SLB)

Présenté et soutenu publiquement le 10/07/2021

Composition du jury

Présidente	Mme. BOUCHAFAA Bahia	MCA	ENP
Examinatrice	Mme. BOUKADOUM Nadjwa	MAA	ENP
Promoteur	M. ZOUAGHI Iskander	MCB	ENP
Promoteur	M. OUAFI Kheireddine	Procurement specialist	SLB

DÉDICACES

Je dédie cet humble travail :

A mon défunt père Dr. HANNACHI Abderrahmane

Que dieu l'ait en sa sainte miséricorde.

Qui, j'espère aurait été fier de moi

A ma très chère maman

Tes prières m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ma profonde gratitude et mon profond amour pour toi.

A la mémoire de Nana, ma grand-mère maternelle, ma très chère tante Ouardia et mes oncles paternels Karim, Mustapha, Mahdi et Mohand Cherif

Que dieu les ait en sa sainte miséricorde

A mes très chères sœurs Nawel, Salma et Amina

Je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de

Fraternité et d'amour.

A mes neveux Ferial et Amine

A mon beau-frère Mohammed

A tous les membres de ma famille maternelle et paternelle, petits et grands, particulièrement Djedi El Hadj.

Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection la plus sincère.

A mes amis du quartier Amine, Yacine, Youcef, Malik, Nonor, Abdellah, Mahdi, Khaled et à tous les habitants du quartier Marché Couvert.

A mon très cher binôme Hani et à toute la team COLLO : Merwan, Raouf, Zerdi, Nazim, Mohamed, Redouane, Ouadoud, Bentalha, khaled.

A tous mes ami(e)s de l'ENP spécialement Oussama, Belhadj, Djazia, Ghizlene et Nadia.

A tous mes ami(e) s des clubs CAP et IEC.

En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous souhaite une vie pleine de santé.

HANNACHI El Mahdi

Dédicaces :

A la femme qui m'a soutenu, qui a toujours été à mes côtés, qui m'a orienté, à celle qui a joué le rôle d'un frère, d'une sœur, d'un père.... A la meilleure maman au monde

A ma petite famille mon père, mes frères Mouatez et Akram et mes petites sœurs Rofeida et Ibtihal vous êtes le bonheur de ma vie.

A ma grande Famille, mes oncles, mes grands-parents et mes cousins pour tous vos sacrifices, votre dévouement, et votre soutien tout au long de mes études.

Aux cadets de la nation, merci beaucoup pour les années que nous avons passées ensemble à Oran.

A mes amis de l'enfance, de Polytech , de la spécialité spécialement, Belhadj, Djazia, Ghezlène, Nadia, Oussama, Chahinez, Mahiou, Yasser et Rostane qui m'ont aidé et qui ont été toujours présents pour moi.

A ma petite famille Collo : Merwan, Raouf, Zerdi, Nazim, Mohamed, Redouane, Ouadoud, Bentalha, khaled pour les souvenirs et la solidarité, vous restez toujours gravé dans ma tête

A toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.

A mon meilleur binôme El Mahdi Hannachi pour ton implication et ta contribution pour la réussite de ce travail, tu es le meilleur 3azizi.

Enfin aux clubs estudiantins CAP, VIC et spécialement ' IEC ' pour l'opportunité que m'a offert de rencontrer des étudiants brillants avec un potentiel énorme.

Aitizem Hani Arezki

Remerciements

Avant tous, nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de mener à terme ce présent travail.

En préambule à ce mémoire, nous souhaiterions adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce projet.

Notre reconnaissance se destine à M. Iskander ZOUAGHI, pour son aide et ses précieux conseils au cours de la réalisation de ce mémoire et l'intérêt qu'il a toujours témoigné à l'égard de notre travail, qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude.

Nous remercions sincèrement notre promoteur au niveau de l'entreprise, M. OUAFI Khiereddine, pour sa confiance, son aide, sa bienveillance, et sa disponibilité sans limite.

Merci d'avoir mis à notre disposition l'ensemble des informations nécessaires à la bonne réalisation de ce projet, et ce malgré les circonstances exceptionnelles par lesquelles nous sommes passés.

Nous sommes reconnaissants envers toute l'équipe de SCHLUMBERGER pour leur chaleureux accueil et leur aide, spécialement M. Cherif El Mehdi RAHMOUNE, M. Nouredine HADDADI, M.Said SI ABEDERRAHMANE et toute l'équipe du département ressources humaines.

Enfin, nous tenons à remercier toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, spécialement M.Moundhir CHAALAL.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو المساهمة في تحسين أداء سلسلة التوريد الدولية لشركة Schlumberger NAF من خلال المساهمة في التنفيذ الناجح لاستراتيجية توحيد الطلبات. نشأت فكرة اعتماد هذه الاستراتيجية بعد الكشف عن بعض الإخفاقات من حيث التكاليف والمهل الزمنية. لجعل استراتيجية التوحيد حقيقة واقعة ، تم تطبيق الحلول التالية: أولاً ، تم إجراء محاكاة بين النهج القديم والجديد لتوضيح تأثير الدمج من حيث التكاليف والمهلة الزمنية. ثم تم عمل دراسة لتحديد الموقع المثالي لمركز الدمج. ثم تم بناء أداة لدعم القرار على شكل نموذج رياضي ، بهدف تحسين عملية دمج الطلبات. وأخيراً تم أتمتة الأداة باستخدام برنامج Python.

الكلمات المفتاحية: سلسلة التوريد الدولية، توزيع البضائع ، التوحيد ، التوريد

Abstract

The objective of this work is to contribute to the improvement of the performance of the international Supply Chain of the company Schlumberger NAF by contributing to the good implementation of the strategy of consolidation of orders. The idea of adopting this strategy was born after the detection of some failures in the costs and lead time.

To concretize the consolidation strategy, the following solutions were applied:

First, a simulation between the old and the new approach was performed to demonstrate the impact of the consolidation in terms of costs and lead time. Then a study was done to select the ideal location for the consolidation center.

Then a decision support tool in the form of a mathematical model was built, with the objective of optimizing the order consolidation process. Finally, an implementation of the mathematical model using the Python software was proposed.

Key words : International Supply Chain, Cross-Docking, Consolidation, oilfield services.

Résumé

L'objectif de ce travail est de contribuer à l'amélioration de la performance de la Supply Chain internationale de l'entreprise Schlumberger NAF en contribuant à la bonne mise en œuvre de la stratégie de consolidation des commandes. L'idée d'adopter cette stratégie a germé après détection de certaines fails au niveau des coûts et des lead time.

Pour concrétiser la stratégie de consolidation, les solutions suivantes ont été appliquées :

D'abord une simulation entre l'ancienne et la nouvelle approche a été effectuée pour démontrer l'impact de la consolidation en termes de coûts et de lead time. Ensuite une étude de sélection de l'emplacement idéal du centre de consolidation a été établie.

Puis un outil d'aide à la décision sous forme d'un modèle mathématique a été construit, pour objectif d'optimiser le processus de consolidation des commandes. Finalement une implémentation du modèle mathématique à l'aide du programme Python. a été proposée.

Mots clés : Supply Chain international, Cross-Docking, Consolidation, services pétroliers.

Sommaire

Tables des Figures

Liste des tableaux

Abréviations

Introduction générale	13
Chapitre 1 : Étude de l'existant	16
Introduction	16
I.1 Présentation du secteur « Oil and Gas »	16
I.2 Présentation de Schlumberger	18
I.2.1 Activités de Schlumberger	18
I.2.2 Cartographie du processus global de Schlumberger Ltd	19
I.2.3 Organisation de Schlumberger	20
I.3 Schlumberger North Africa	21
I.4 Gestion de la Supply Chain chez Schlumberger NAF	22
I.4.1 Modèles et réseaux logistiques internationaux	23
I.4.2 Modes de transport utilisés	25
I.4.3 Gestion des prestataires de services logistiques	27
I.4.4 Conformités douanières	27
I.4.5 Processus End to End de la supply Chain internationale	28
I.4.6 Systèmes d'informations	29
I.5 Dysfonctionnements liées à la supply chain internationale de l'entreprise	29
I.5.1 Matériel	30
I.5.2 Méthode	31
I.5.3 Personnel	32
I.5.4 Environnement	32
I.6 Présentation de la Problématique	33
Conclusion	33
Chapitre 2 : L'état de L'art	34
Introduction	34
II.1 Supply Chain et logistique management	34
II.1.1 Supply Chain Global	36
II.1.2 Supply Chain des services pétroliers	38
II.2 Consolidation	39
II.3 Cross Docking	40

II.4	What-If Scenario Analysis	42
II.5	Sélection du meilleur emplacement à travers l'approche d'aide à la décision multicritères floue (AMDF)	43
II.5.1	Concept de la logique floue	44
II.5.2	Démarche de résolution	46
II.6	Problème d'Optimisation	51
II.6.1	Définition d'un problème d'optimisation	51
II.6.2	Optimisation du processus de consolidation et sélection du mode de transport optimal	51
	Conclusion	55
	Chapitre 3 : Conception de la solution	56
III.1	Définition du nouveau modèle logistique	56
III.2	Simulation du nouveau modèle logistique	57
III.2.1	Coûts de transport et de manutention	57
III.2.2	Lead time	63
III.3	Choix de la localisation optimale du centre de consolidation	65
III.3.1	Etape 1 : Identifier les potentiels emplacements et les critères de sélection.	65
III.3.2	ETAPE 2 : Calculer les poids des critères subjectifs à l'aide de la méthode FAHP	67
III.3.3	Etape 3 : Application de la méthode FTOPSIS pour évaluation des critères	71
	Conclusion :	78
III.4	Modélisation mathématique d'optimisation du processus de consolidation des commandes	79
III.4.1	Logique du modèle mathématique	79
III.4.2	Enoncé du modèle	81
III.5	Implémentation du modèle mathématique	87
III.5.1	Logique de déroulement Algorithmique	87
III.5.2	Résultats informatiques	90
	Conclusion	95
	Conclusion générale	96
	Bibliographie	98
	Annexes	101

Tables des Figures

Figure 1 Répartition des activités de Schlumberger sur les Divisions et Business Lines (Schlumberger, 2021)	19
Figure 2 Cartographie de Processus de Schlumberger	19
Figure 3 La carte des Bassins et des GeoUnits (Source Slb 2020)	20
Figure 4 Organigramme de Schlumberger Ltd North Africa (Schlumberger, 2021)	21
Figure 5 Les jobs de la Supply Chain de Schlumberger au niveau de la GeoUnit NAF (Schlumberger, 2021)	23
Figure 6 Localisation des Hubs Dans le monde (Schlumberger, 2020)	24
Figure 7 Modèle logistique hub and spoke	24
Figure 8 Répartition des LCT dans le monde (Schlumberger, 2020).....	25
Figure 9 Process End to End de la supply chain internationale de Schlumberger (Schlumberger, 2020)	28
Figure 10 Diagramme Causes et effets	29
Figure 11 Flux de transport entre les différents hubs et les pays du NAF	30
Figure 12 taux d'utilisation des moyens de transport.....	30
Figure 13 Le Lead Time de Supply Chain pour chaque GeoUnit	31
Figure 14 Nombre de commandes par expédition des six derniers trimestres (Schlumberger 2021).....	32
Figure 15 Le nombre de commandes (PO) par expédition en Aout 2019 (Schlumberger 2019)	32
Figure 16 Les différentes relations entre les fonctions de la logistique internationale (DENG, 2013, page 3).....	37
Figure 17 schéma explicatif du processus de consolidation (source :(Uday Venkatadri, Kasinadhuni Shyama Krishna, and M. Ali Ülkü, 2016)).....	39
Figure 18 Représentation schématique du cross docking (source :Castelluci 2015, page 24).....	40
Figure 19 Représentation du mode de fonctionnement du cross docking (source : Castelluci 2015, page 29).....	41
Figure 20 Les étapes à suivre pour sélectionner la localisation idéale (Karmaker and Saha, 2015)	44
Figure 21 fonction d'appartenance d'un nombre flou triangulaire (Mme RIHAB KHEMIRI, 2017)	45
Figure 22 Les critères de sélection de l'entrepôt (Dey et al., 2016).....	46
Figure 23 Schéma illustratif du nouveau modèle logistique.....	56
Figure 24 Comparaison de LT entre la nouvelle et l'ancienne approche	64
Figure 25 Map des villes stratégiques sélectionnées	65
Figure 26 Résultat du classement des villes.....	78
Figure 27 Logique de déroulement du processus de consolidation sur toute la chaîne logistique.....	87
Figure 28 Logique de détermination du moyen et mode de transport	89
Figure 29 Organigramme Global de Schlumberger Ltd	101
Figure 30 Partie du code qui détermine la date de départ de HUB	111
Figure 31 Partie du code Python qui calcule le coût total engendré (coûts de transport et de manutention).....	111
Figure 32 Partie du code python qui filtre les commandes de types M&S non urgent.....	111
Figure 33 Partie du code Python qui minimise le nombre de palettes et de conteneurs utilisés.....	112
Figure 34 la fonction qui détermine la date d'arrivée au CC	112
Figure 35 Partie du code qui désigne le mode de transport optimal (Partie en amont)	112
Figure 36 Partie du code Python qui permet de lire et d'extraire les inputs d'un fichier excel.....	113
Figure 37 Partie du code qui calcule les coûts de manutention dans un intervalle d'une semaine.....	113

Figure 38 Partie du code qui classifie les commandes selon la catégorie des produits et le type d'exonération....	113
Figure 39 Partie du code qui exporte les résultats obtenus sur un fichier excel .	114

Liste des tableaux

Tableau 1 La localisation des bases dans la région de NAF (Schlumberger, 2020).....	21
Tableau 2 Les degrés de préférences selon l'échelle de SAATY	50
Tableau 3 les poids des différents types de commande expédiées (cas de Dubai)	58
Tableau 4 les Coûts de transport en amont de Dubaï vers le centre de distribution.....	60
Tableau 5 le nombre de palettes et conteneurs utilisés en amont et en aval au niveau de centre de distribution....	61
Tableau 6 Coûts de manutention au niveau de centre de consolidation	61
Tableau 7 le poids des types de produits reçus et le prix total de transport au niveau (cas de l'Algérie)	62
Tableau 8 tableau comparatif des Coûts de transport entre l'ancien modèle logistique et le nouveau modèle logistique	63
Tableau 9 le lead time entre Dubaï et les Pays de NAF de l'ancienne approche logistique	64
Tableau 10 le lead time entre Dubaï et les pays du NAF suivant la nouvelle approche logistique	64
Tableau 11 Les critères de sélection de l'emplacement optimal.....	66
Tableau 12 la matrice utilisée pour la détermination de poids des critères subjectifs.....	67
Tableau 13 Les degrés de préférences selon l'échelle de SAATY	67
Tableau 14 l'évaluation des critères par les décideurs	68
Tableau 15 la fuzzification des réponses (poids des critères)	69
Tableau 16 Pair-wise Matrix	70
Tableau 17 fuzzy geometric mean value	70
Tableau 18 le poids des critères.....	70
Tableau 19 Matrice utilisée pour l'évaluation des alternatives.....	71
Tableau 20 Echelle de l'évaluation des alternatives	71
Tableau 21 Réponse des décideurs par rapport à l'évaluation des alternatives	72
Tableau 22 Fuzzification des évaluations des alternatives.....	72
Tableau 23 Matrice de décision combinée	72
Tableau 24 La matrice de décision floue normalisée 1	73
Tableau 25 la matrice de décision floue normalisée 2.....	73
Tableau 26 La matrice de décision floue normalisée et pondérée.....	74
Tableau 27 Résultats de la solution idéale FPIS et FNIS	74
Tableau 28 distances de chaque alternative par rapport FPIS.....	75
Tableau 29 Distances de chaque alternative par rapport FNIS	75
Tableau 30 Coefficients de proximité	76
Tableau 31 Calcule le SFMi.....	76
Tableau 32 Résultats du calcul du OFMi.....	77
Tableau 33 Classement des alternatives.....	78
Tableau 34 exemple d'inputs de simulation (exemple).....	90
Tableau 35 Les Coûts standards et les lead time (transport en amont).....	91
Tableau 36 Les Coûts standards et les lead time (transport en aval).....	91
Tableau 37 Résultats de l'affectation des expéditions au modes de transport optimal (transport en amont)	92

Tableau 38 Résultats des coûts optimaux (transport en amont).....	92
Tableau 39 résultats des dates de départ et d'arrivé (transport en amont).....	92
Tableau 40 Résultats de l'affectation des expéditions aux modes de transport optimal et les coûts engendrés (transport en aval)	93
Tableau 41 Résultats des dates de départ et d'arrivé (transport en aval)	94
Tableau 42 La quantité transportée de Rotterdam vers le centre de consolidation " aout 2019 ".....	101
Tableau 43 Les Coûts de transport de Rotterdam vers le centre de consolidation.....	103
Tableau 44 la quantité transportée de Houston vers le centre de consolidation " aout 2019 "	103
Tableau 45 les Coûts de transport de Houston vers le centre de distribution " aout 2019 "	105
Tableau 46 les Coûts de transport entre le centre de consolidation et les pays de NAF	105
Tableau 47 Lead Time entre Rotterdam,Houston et les Pays de NAF avec l'ancienne approche.....	109
Tableau 48 Lead Time entre Rotterdam,Houston et les Pays de NAF avec la nouvelle approche.....	109
Tableau 49 la distances entre les Hubs et les alternatives (villes).....	110
Tableau 50 La distance entre les villes (alternatives) et les pays de NAF	110

Abréviations

3PL: Third Party Logistics

DOC : Delivery Order Consolidation

E to E : End to End

FAT : Fixed asset Transfer

FCL - Full Container Load

FLSA: Field Logistics Service Agreement Document.

FMT : Fixed Material Transfer

FMT: Fixed Material Transfer

GM I/E : GeoMarket Import/Export Team

GR Good Reception.

LCL: Less than Container Load.

LCT : Logistic control tower

LCT : Logistics Control Tower

MCDM : Multiple-criteria decision Making

MENA : Middle East and North Africa

MLIP : mixed linear integer programming

MOT : Mode of transport

NAF : North Africa

OFMi : Objective Factor Mesure Indice

OFSC : Oilfield services companies

P&SC : Planning And Supply Chain

PO : Purchase Order

PSD : Product service Distribution

RDD : Required Delivery Date

SCS : Supply Chain Services

SFMI : Subjective Factor Mesure Indice

Slb Ltd : Schlumberger Ltd

TLM : Technology Lifecycle Management

TLT : Total Lead Time

TT : Transit Time

WLS : Warehouse Location Selection.

Introduction générale

Les entreprises du secteur du pétrole et du gaz font face à différents défis et principalement durant l'actuelle crise sanitaire, on cite : transition énergétique, volatilité croissante des prix du pétrole, concurrence internationale exacerbée, avènement des technologies disruptives et durcissement des réglementations publiques. Ces éléments renforcent la complexité et les risques même pour les entreprises les mieux gérées. Face à cela les entreprises doivent réorganiser leur stratégie de gestion de la Supply Chain pour s'adapter aux environnements externes en intégrant les ressources, les données et les activités de l'organisation de manière à ce qu'elles puissent s'adapter aux changements et afin de conserver des avantages concurrentiels.

Principalement Liée à l'industrie du pétrole et du gaz, L'industrie des services pétroliers est l'un des réseaux commerciaux les plus complexes au monde et est étroitement liée à presque toutes les branches de la Supply Chain.

Du fait qu'elle opère à travers une Supply Chain mondiale, l'industrie des services pétroliers est sujet de rigidité de son réseau logistique En effet, le contrôle des coûts et les délais de livraison, la visibilité, la mondialisation, les risques, la logistique des technologies de l'information et la gestion des connaissances représentent les principaux défis de la Supply Chain des services pétroliers.

Dans le cadre de leurs démarches d'amélioration de leurs Supply chain internationale, les entreprises de ce secteur essaient constamment de trouver des solutions innovantes, efficaces et durables pour but ultime de satisfaire les besoins de leurs clients à un prix optimal et en un temps minimal ; parmi ces solutions on cite une pratique industrielle qui a vu le jour à la fin du 20ème siècle appelée : La Consolidation. Innovante et importante qu'elle soit, permet de pousser les flux des marchandises à un point déterminé (point de consolidation) pour qu'ils puissent être dispatché après aux points de demande, ce qui aboutit à des économies considérables sur les coûts et les délais de transport. L'implémentation de cette stratégie est suivie de nombreux défis ce qui confronte les entreprises à une problématique complexe : **Comment mettre en place une stratégie de consolidation des commandes à l'internationale dans le cas des entreprises du secteur des services pétroliers ?**

Acteur principal du secteur des services pétroliers **Schlumberger Ltd NAF**, envisage d'élaborer cette stratégie pour but ultime de garder sa position de leader du marché des services pétroliers.

C'est dans ce cadre-là que s'inscrit notre travail, Pour ce faire, un diagnostic de la Supply Chain actuelle et les dysfonctionnements liés au lead time et les coûts ont été établi. Après cela un réajustement de la logistique internationale de l'entreprise serait décrit, et qui se résume à inclure dans le réseau logistique international de l'entreprise un centre de consolidation et ensuite mettre en valeur la rentabilité de cette initiative, puis une étude de l'éventuel emplacement optimal du centre de consolidation a été établi puis nous avons développé un modèle mathématique qui aura pour but de tirer bénéfice du processus de consolidation des commandes en optimisant les coûts de transport, pour conclure un programme informatisé est présenté.

La première partie intitulée « étude de l'existant » décrit l'organisation globale de l'entreprises Schlumberger et permet d'expliquer au mieux le processus de la Supply Chain globale pour éventuellement cibler les dysfonctionnements et les pistes d'améliorations.

La deuxième partie intitulée « état de l'art » permet de clarifier selon la littérature les notions utilisées lors de notre démarche de résolution de la problématique, qui sont : what if analysis, l'approche d'aide à la décision multicritères floue (AMDF), modèle d'optimisation linéaire et l'implémentation de ce dernier sur un programme informatique

La troisième partie définit notre solution, qui est divisée en 4 principales étapes, la première consiste à élaborer un comparatif entre l'approche logistique traditionnelle et la nouvelle et cela en utilisant une méthode appelée "What if analysis". Puis nous entamons un modèle d'analyse multicritère de décision pour traiter un problème de "Warehouse location selection" pour décider de l'emplacement stratégique du centre de consolidation en utilisant l'approche d'aide à la décision multicritère floue ou (FMCDM : fuzzy multicriteria decision making) en prenant en compte plusieurs critères décisionnels (objectifs et subjectifs), Ensuite nous avons formalisé le travail à travers la modélisation mathématique du processus de consolidation afin d'optimiser les modes d'expéditions internationaux dans le réseau mondial d'une manière rentable, Finalement nous avons conçu un outils décisionnel informatisé en utilisant le langage Python.

Étude de l'existant

Chapitre 1 : Étude de l'existant

Introduction

Ce premier chapitre abordera l'état des lieux de notre étude, qui est scindée en quatre parties. La première partie est une présentation du marché pétrolier (Oil & Gas) globale puis celui de l'Afrique du nord. Nous aborderons ensuite ses spécificités et ses enjeux. La deuxième partie est consacrée à la présentation de l'entreprise Schlumberger Ltd, pour mieux appréhender l'environnement dans lequel elle évolue. Quant à la troisième partie, elle aura comme contenu de détecter les dysfonctionnements de la Supply Chain pour éventuellement détecter les axes d'améliorations. Pour conclure ce chapitre, nous avons abordé les problématiques et les questions de recherche.

I.1 Présentation du secteur « Oil and Gas »

L'industrie O&G est toujours le principal contributeur au PIB de nombreux pays. Il occupe une position encourageante dans l'économie mondiale en raison de sa croissance et du volume de ses investissements dans les infrastructures. L'investissement est généralement lié à de nombreuses zones vieillissantes ou nouvellement découvertes. L'industrie peut être divisée en trois parties principales comme suit :

- **L'amont (Up-Stream)** couvre la première étape des activités du cycle de vie de la production pétrolière. Cette étape comprend le forage, la tête de puits, le tubage, l'extraction, la séparation et le stockage.
- **L'intermédiaire (mid-stream)** : implique la deuxième étape du cycle de vie de la production pétrolière. Cette étape comprend la mise en place d'usines de gaz naturel, la production de gaz naturel liquéfié (GNL) et la mise en place de pipelines pour le transport du pétrole.
- **L'aval (Down-Stream)**, il s'agit de la dernière étape des activités de production pétrolière. Cette étape implique principalement plusieurs processus, tels que le raffinage, la vente et la distribution de pétrole brut et de produits connexes.

L'industrie des services pétroliers située en amont de la chaîne des hydrocarbures (l'industrie parapétrolière) a connu une importante vague de consolidation depuis le début des années 1990. En effet, nombreuses ont été les entreprises de ce secteur à avoir eu recours à une politique de croissance externe afin de se renforcer sur leurs activités de base, d'élargir la gamme des services fournis, ou encore, de modifier intégralement leurs activités. Aujourd'hui, le secteur parapétrolier est caractérisé par l'existence d'un oligopole formé de trois entreprises parapétrolières : **Baker Hughes, Haliburton et Schlumberger** et d'une frange concurrentielle composée de nombreux acteurs de taille plus modeste (**weatherford, Petrofac**) .

Selon des statistiques établies par « Mordor intelligence », le marché des services pétroliers devrait croître à un taux de croissance annuel composé de plus de 3%, au cours de la période de prévision 2020-2025. La demande croissante de technologies, d'outils et d'équipements de pointe pour améliorer l'efficacité des activités d'exploration et de production dans les zones onshore et offshore devrait stimuler le développement du marché des services pétroliers. Les services de forage devraient dominer le marché des services pour les champs pétrolifères, en raison de l'augmentation des activités d'exploration et du développement massif des gisements de schiste ces dernières années. Les puits étant forés s'éloignant de la terre et dans la mer et étant forés plus profondément qu'avant, les services pétroliers du marché devraient croître au cours de la période de prévision.

L'augmentation de la part de marché des énergies renouvelables, qui semble une menace pour l'industrie pétrolière et gazière, est en fait une opportunité de prolonger la durée de vie de l'entreprise en réduisant la charge sur les réserves de pétrole finies.

Cependant, les récentes fluctuations des prix du pétrole, affectées par l'écart entre l'offre et la demande, la géopolitique et d'autres facteurs, ont limité la croissance de la demande sur le marché des services pétroliers.

Au cours des dix dernières années, les sociétés de services pétroliers s'efforcent de répondre aux besoins de services des clients mondiaux (sociétés pétrolières). La réduction des dépenses sans perdre la concurrence est donc un problème de gestion, en particulier dans l'environnement commercial international hautement concurrentiel. Le défi est de trouver des domaines où des économies de coûts peuvent être réalisées sans investissement significatif, tout en maintenant le niveau de qualité du service client.

La région MENA est dotée d'énormes ressources en pétrole et en gaz, ce qui en fait la région la plus riche du monde à cet égard.

Faisant partie du MENA, la région de l'Afrique du Nord (NAF) joue un rôle important dans l'agenda mondial du pétrole et du gaz. Ses ressources en pétrole et en gaz naturel sont très importantes, tout comme ses problèmes et ses défis. La région est stratégiquement centrée entre l'Europe, l'Asie et l'Afrique centrale. Sa dotation géologique diffère d'un pays à l'autre, mais tous les pays de la région ont bénéficié de la richesse pétrolière et gazière à des degrés divers. Les défis sont la sécurité, nationale et régionale, durabilité et utilisation judicieuse des richesses pétrolières et gazières.

Le marché des services de champs pétrolifères en Afrique du nord devrait croître à un TCAC¹ de plus de 2% au cours de la période de prévision 2020-2025. Des facteurs tels que l'augmentation des activités d'exploration et de production en raison de l'augmentation de la demande de pétrole brut et de gaz naturel sont susceptibles de stimuler les services des champs pétrolifères en Afrique. Marché au cours de la période de prévision. Cependant, la volatilité des prix du pétrole et du gaz conduit à l'incertitude parmi les opérateurs pétroliers et gaziers, ce qui est susceptible de freiner la croissance du marché des services pétroliers en Afrique du nord dans les années à venir.

¹ : Taux de croissance annuel composé.

I.2 Présentation de Schlumberger

Schlumberger Ltd a été créé en 1912, lorsque deux frères Alsaciens Marcel et Conrad Schlumberger font des essais en laboratoire sur la résistivité électrique de la « roche à huile » basés sur les formules géophysiques afin de déterminer la lithologie des différents types de sous-sol. Quinze années plus tard (1927), ils vont appliquer les résultats de leur recherche dans un réel puits pétrolier pour le compte de 'Pechelbronn Oil Company'.

Schlumberger Ltd est une compagnie de services pétroliers (Oilfield), présente dans plus de 120 pays et îles dans le monde entier et emploie plus de 105.000 personnes issues de 160 nationalités différentes, elle siège principalement à Houston (Usa), Paris (France) et La Haye (Pays-Bas).

Slb Ltd est une société anonyme avec appel public à l'épargne privés, cotée à la bourse de New-York (NYSE) et à la bourse européenne (Euronext) avec 32 917 millions \$ de chiffre d'affaires et 10 137 millions \$ de résultats Net ; ce qui la classe leader mondiale des compagnies de services pétroliers devant son concurrent direct HALLIBURTON (HAL).

I.2.1 Activités de Schlumberger

En général, elle offre la gamme de services la plus complète, de la sismique de surface au forage, en passant par l'évaluation des formations, la complétion de puits et les services de stimulation, l'optimisation de la production, les études de réservoir, la construction de puits et la gestion de projet. Ils fournissent à ses clients les technologies avancées et l'expertise nécessaires pour identifier, développer et gérer efficacement les hydrocarbures.

Avant la fin 2020 Schlumberger avait géré ses activités par le biais de quatre (04) groupes, qui sont : **Reservoir Characterization Group, Reservoir Drilling Group, Reservoir Production Group** et **Cameron**.

Actuellement l'entreprise s'est orienté vers une nouvelle répartition divisée sur des divisions (4) : **Digital & Integration, Reservoir Performance, Production Systems, Well Construction** ; Ces dernières regroupent plusieurs business lines et Product Lines (segments).

Première division : Digital & Integration : Elle intervient dans la récolte, l'étude et l'analyse des données sismiques et géologiques

Deuxième division : Reservoir Performance : La division évalue la performance du réservoir, en étudiant : la productivité, les propriétés des fluides, la composition, le débit, la pression, la température et la capacité ; pour but de permettre au client de réserver des réserves plus précises et maximiser la récupération d'hydrocarbures.

Troisième division : Production Systems : Après l'évaluation du puits, vient la production consiste à vivre un puits et à le conserver le plus longtemps possible. Cela nécessite une technologie soigneusement planifiée et exécutée, ainsi que l'utilisation d'équipements sophistiqués pour empêcher le pétrole et le gaz de s'échapper des roches qui attendent obstinément depuis des millions d'années, c'est là qu'intervient l'expertise, les systèmes et les outils de production de Schlumberger.

Quatrième division : Well Construction : Cette division intègre des activités, d processus et de la technologie de forage intelligent qui maximisent la précision, l'efficacité et la valeur, et minimisent les risques, tout en assurant des changements dynamiques. Elle développe un plan numérique pour une exécution de forage intelligent qui permet un transfert efficace à une équipe de complétion informée numériquement pour une livraison optimale du matériel et des fluides afin de préparer le puits de forage et le réservoir pour la production.

La figure n°.1 illustre la répartition des divisions (cases oranges) en Business Lines (cases en bleu).

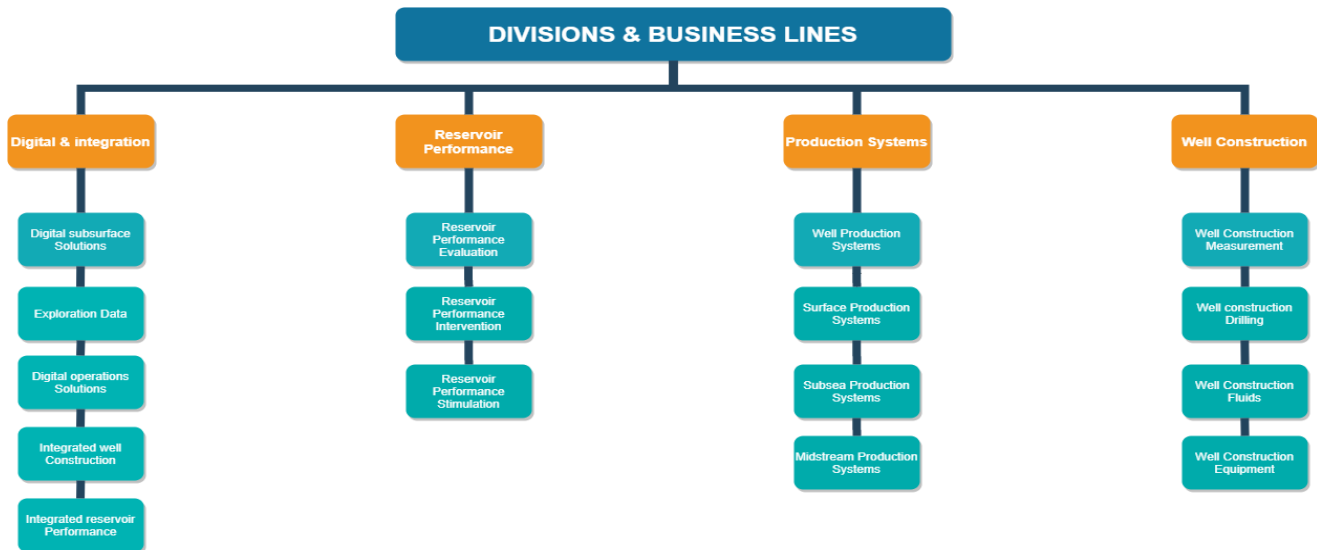


Figure 1 Répartition des activités de Schlumberger sur les Divisions et Business Lines (Schlumberger, 2021)

I.2.2 Cartographie du processus global de Schlumberger Ltd

En s'appuyant sur l'organigramme globale de Slb Ltd (voir annexe N° 1), nous avons pu cartographier les 3 principaux processus : processus de management, Processus opérationnel et Processus de support. Comme le montre la figure n°.2

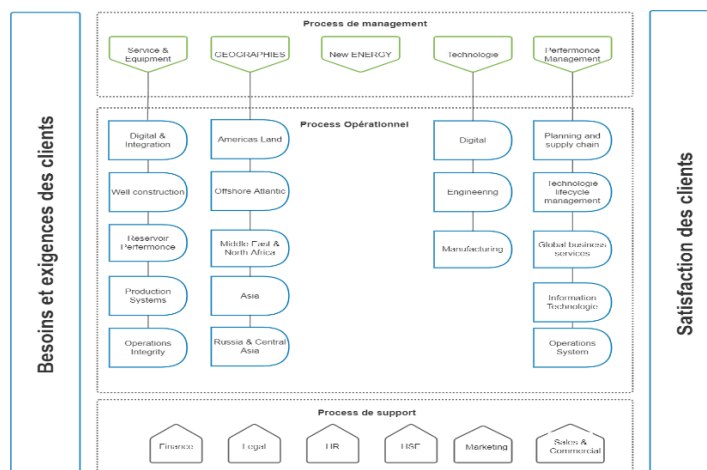


Figure 2 Cartographie de Processus de Schlumberger

Stratégiquement, l'entreprise s'appuie principalement sur sa performance managériale qui englobe le P&SC ², Les opérations, et l'IT, ainsi que sa répartition géographique et ses différentes gammes de services. Ajoute à cela le fait que l'entreprise accorde une réelle importance aux énergies renouvelables et les dernières technologiques. Ajoute à cela des entités de support tels que les ressources humaines, les finances et le HSE.

I.2.3 Organisation de Schlumberger

Schlumberger a été structurée auparavant en deux hémisphères, chacun d'eux comporte des Géo-marchés (Geomarket) : représentant un ensemble de régions dans une zone géographique donnée.

Eastern Hemisphere: Eastern Middle East (EME), Far East Asia and Australia (FEA), North Africa (NAF), Northern Middle East (NME), Norway and Denmark (SCA), Russia and Central Asia (RCA), Saudi Arabia and Bahrain (KSA), Sub-Sahara Africa (SSA), South and East Africa (SEA), United Kingdom and Continental Europe (EUR)

Western Hemisphere: Latin America North (LAN), Latin America South (LAS), Mexico and Central America (MCA), North America Land (NAL), North America Offshore (NAO), Venezuela (VEN)

En 2020, l'entreprise a entrepris une restructuration majeure pour se préparer à un nouvel avenir industriel dans un environnement mondial sans précédent. L'objectif est une organisation plus légère, simplifiée et plus réactive qui continue à donner la priorité à ces clients. Cette démarche s'inscrit dans le cadre de leur stratégie d'entreprise et de leur ambition de devenir leur partenaire de choix en matière de performance.

La nouvelle organisation se compose donc de cinq **Bassins** composés de 30 **GeoUnits** (unités géographiques). Une GeoUnit est un pays ou un groupe de pays géré au sein de l'un des cinq Bassins suivants : Amériques terrestres, Atlantique offshore, Russie et Asie centrale, Asie, et Moyen-Orient et Afrique du Nord. La figure n°.3 illustre cette répartition géographique.

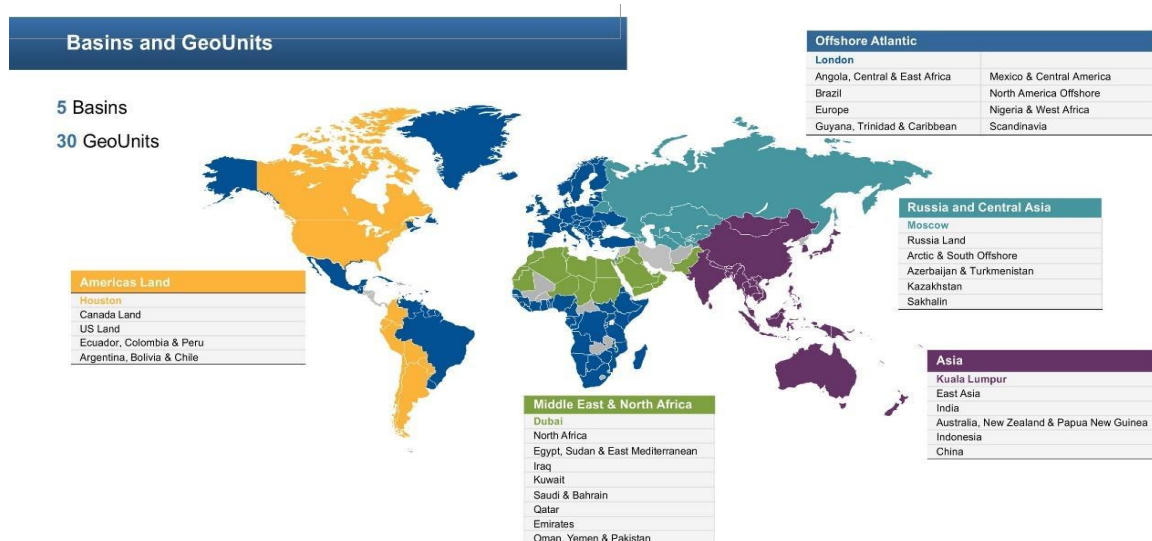


Figure 3 La carte des Bassins et des GeoUnits (Source Sib 2020)

² : acronyme de Planning and supply Chain,

I.3 Schlumberger North Africa

Le siège social de Schlumberger NAF se situe à Alger, à la zone d'activités d'Amara de Cheraga, route d'Ouled-Fayet. Sa structure est montrée dans la figure n°.4 :

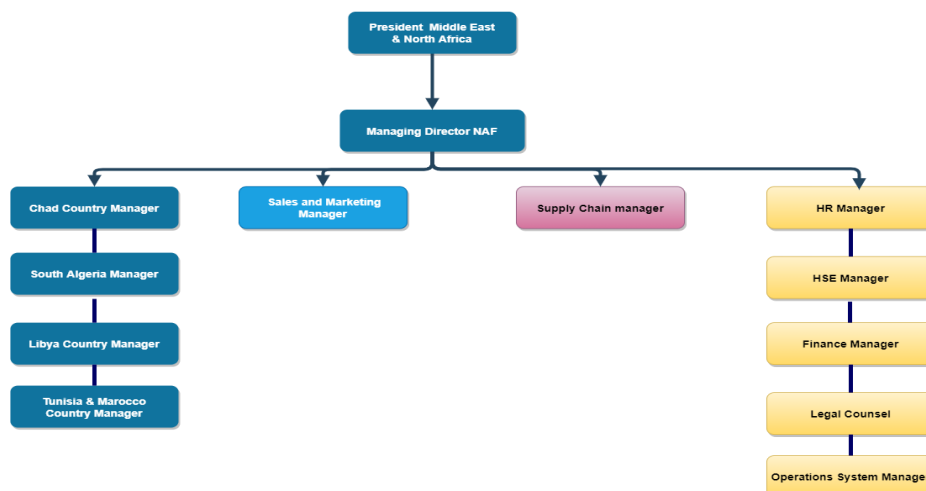


Figure 4 Organigramme de Schlumberger Ltd North Africa (Schlumberger, 2021)

Schlumberger Ltd fait son entrée sur le marché nord-africain sous l'appellation « Schlumberger North Africa géomarket (NAF) », regroupant ainsi les cinq (5) pays de cette région : Algérie, Maroc, Tunisie, Libye et Chad. La région représente pour l'entreprise une réelle source de revenu en vue des multitudes sites pétroliers qu'abrite cette région principalement le Sahara Algérien et le désert Libyque. Elle possède des clients phares dans chacun des pays de la GeoUnit à l'instar de SONATRACH, National Oil Corporation (NOC), Société de recherches et d'exploration des pétroles en Tunisie (SEREPT), British Petroleum (BP), TOTAL, ainsi que d'autres.

Quant à ses départements opérationnels, ils s'étalent dans le sud de chaque pays, comme le montre le tableau n°.1 :

Tableau 1 La localisation des bases dans la région de NAF (Schlumberger, 2020)

Pays	Algérie	Libye	Tunisie	Maroc	Tchad
Bases	Hassi Messaoud (MD1, MD2, MD3, MD5, MI Base Cameron) Ain Amenas Hasi Berkine Ain Salah	Benghazi Tripoli	Golf de Gabes	Ain Hamra	Kome

I.4 Gestion de la Supply Chain chez Schlumberger NAF

Schlumberger NAF Ltd, à travers sa hiérarchisation complexe, accorde une importance particulière à la gestion de leur Supply Chain qui est gérée par l'entité Planning & Supply Chain (P&SC). En termes de Supply Chain de Slb Ltd gère les activités d'approvisionnement indirect et les achats (directs et indirects) de la GeoUnit

Elle est aussi responsable de la logistique nationale et des importations /exportations, ainsi que la gestion des entrepôts partagés et des installations.

Parmi les principales entités de la Supply Chain NAF, on cite :

Supplier Management : Il gère la relation entre SLB et les 3PL au nom de l'ensemble de l'entreprise. Ils se concentrent sur la performance, les risques et les coûts des fournisseurs afin de garantir que l'entreprise tire le maximum de valeur de cette relation.

Procurement : Responsable des initiatives d'approvisionnement dans la GeoUnit qui sont liées à la Division, y compris les exigences en matière d'approvisionnement et la gestion de l'optimisation des coûts de P&L lines.

Logistique domestique : pour l'optimisation du transport national et plus particulièrement le transfert des équipements et produits du segment aux chantiers où se déroulent ses opérations.

Import/ Export : S'occupe de la gestion et le suivi des opérations d'importation et d'exportation d'équipements et produits nécessaires à l'activité y compris les procédures de dédouanement.

Sourcing : Le département s'assure que les activités d'approvisionnement dans l'ensemble de l'entreprise ont un impact financier maximal en diminuant les risques et augmentant les performances de la base d'approvisionnement. Elle garantit aussi l'efficacité et l'alignement avec les objectifs globaux de l'entreprise et les pratiques de pointe du secteur.

Material Management : Responsable des activités de gestion des équipements de la GeoUnit y compris la gestion des flux, la gestion des entrepôts, l'exactitude des stocks et l'élimination des pertes.

La classification des différents équipements est établie de la manière suivante:

- Les Assets : représentent les équipements qui fournissent un service pour le compte du client (Une technologie propre à Schlumberger) .
- Les M&S (Material and Supplies) : les pièces de rechange dédiées à la maintenance.
- Inventaires : Ils représentent les usines de vrac, les consommables, les explosifs et les produits chimiques.

Ces trois derniers sont classés en 4 catégories

- Surface Equipment & Services.
- Drilling & Evaluation.
- Chemicals & Logistics.
- Infrastructure.

Les jobs reliés à ce département, au niveau du GeoMarket, sont représentés à travers l'organigramme illustré sur la figure n°.5

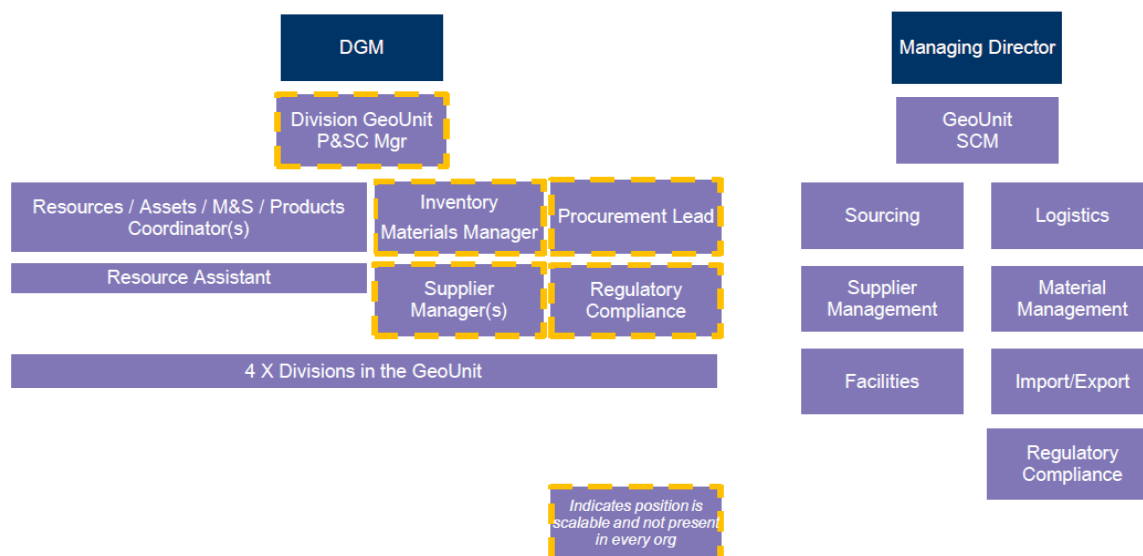


Figure 5 Les jobs de la Supply Chain de Schlumberger au niveau de la GeoUnit NAF (Schlumberger, 2021)

I.4.1 Modèles et réseaux logistiques internationaux

Il existe une variété de conceptions de réseaux de transport avec des objectifs de service différents. L'objectif principal de la plupart des réseaux est d'optimiser les coûts et le temps en optimisant l'intégration et en trouvant le meilleur itinéraire qui correspond au plan d'opération.

Schlumberger exploite trois modèles logistiques internationaux : Distribution Service Center (DSC), LCT (Logistics Control Tower) et la vente directe (DS).

a) Distribution Service center (DSC)

Le modèle de hub GOLD a été mis en place en 1999 sous la forme d'un cross dock avec hub de consolidation et a évolué vers le modèle DSC actuel. Ce dernier est une organisation logistique chargée d'organiser, de coordonner et de contrôler les opérations de logistique et de distribution de tous les équipements et de tous les matériels nécessaires aux entités OFS (Country Logistics Center and Technology Centers)

Son rôle consiste à:

- La consolidation des commandes d'expédition conformément à l'accord du service logistique.
- Le transfert de la commande en utilisant le mode de transport le plus efficace à moindre coût, en tenant compte du type de commande (standard/ urgent).
- L'achat auprès des fournisseurs (internes/externes) et la vente aux entités de Schlumberger à travers le monde.
- Le stockage des équipements fréquemment commandés ou critiques.

Schlumberger compte quatre principaux hubs et cinq hubs satellites. Quatre des hubs satellites sont situés dans des centres de fabrication clés ayant pour but de répondre aux besoins des différentes entités de Schlumberger dans les délais qui conviennent. Comme la figure n°.6

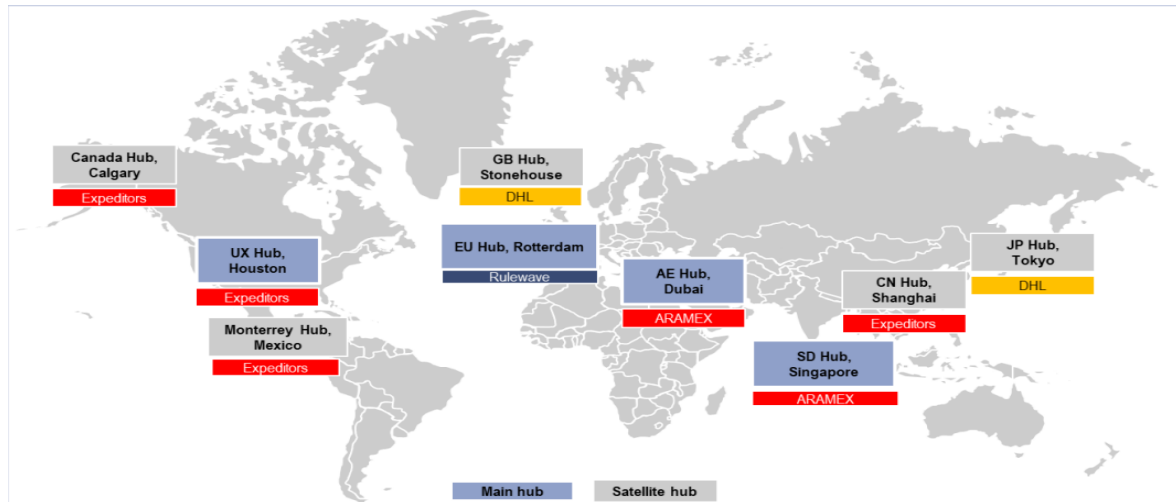


Figure 6 Localisation des Hubs Dans le monde (Schlumberger, 2020)

La figure n°.7 montre Le réseau logistique adopté qui est un modèle "hub- and-spoke" (en étoile) facilitant à la fois les mouvements du hub directement vers le terrain. Les fournisseurs sont liés géographiquement au hub le plus proche.

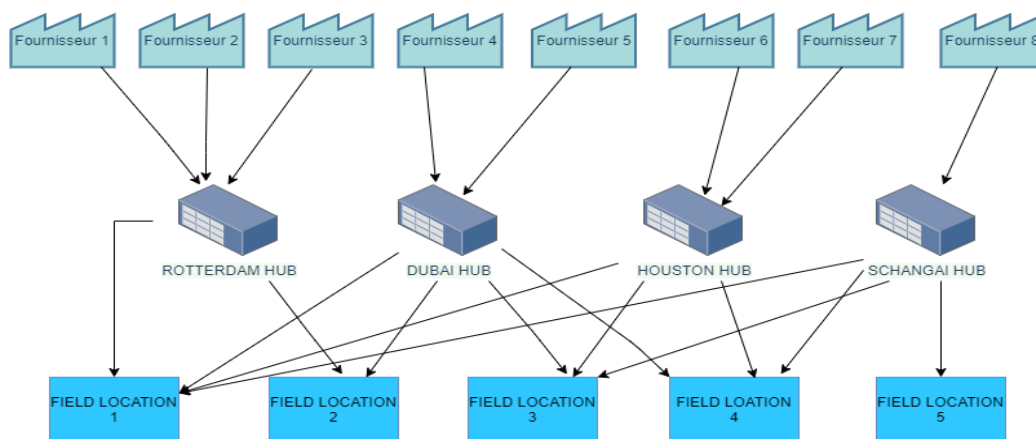


Figure 7 Modèle logistique hub and spoke

L'avantage de ce modèle est la consolidation optimale des expéditions avant l'envoi vers le site final. La fréquence et la taille de la consolidation pour chaque pays sont définies dans un FLSA (il sera défini ci-dessous) que chaque hub suit. Le même document FLSA garantit également le respect de toutes les réglementations applicables jusqu'à la livraison de l'envoi sur le site.

b) Logistic Control Tower (LCT) :

Le LCT est chargé de gérer les mouvements internationaux de porte à porte, depuis la demande d'expédition jusqu'à la réception à la base dans le lieu de réception, à partir d'un modèle opérationnel défini et normalisé dans toutes les régions du monde. Le LCT vise à fournir une visibilité et une traçabilité de bout en bout des expéditions.

Les LCT sont mis en place par région géographique et traitent les expéditions de la demande initiale à la livraison finale à destination. Cela se traduit par deux types de réseaux : les livraisons directes entre les field location ou milk runs³ pour les déplacements fréquents intra-régionaux . Les LCT sont répartis géographiquement comme le montre la figure n°.8.



Figure 8 Répartition des LCT dans le monde (Schlumberger, 2020)

I.4.2 Modes de transport utilisés

Schlumberger Ltd NAF à travers sa large gamme de produits importés depuis les différents HUB, nécessite une sélection précise du mode de transport et de transitaires suivant plusieurs critères.

Sélection du mode de transport

En règle générale, deux paramètres essentiels sont pris en compte lors du choix du mode de transport : Le poids et la date d'expédition exigée, en plus d'autres paramètres comme : le coût, la fiabilité, la capacité et la sécurité.

- a) Selon le poids de l'expédition : la consolidation entière sera configurée pour être déplacé par voie maritime si son poids total est supérieur à 300 livres. Tout ce qui est inférieur à 300 lb sera réglé pour le fret aérien, à moins que le pays n'ait une règle de réduction de poids supplémentaire pour le courrier.
- b) Selon la date de livraison requise : En fonction de la date de livraison requise communiquée par le client, le spécialiste en logistique détermine le meilleur

³ Une méthode de livraison qui garantit que la distance minimale est parcourue et que la demande maximale est transportée dans le camion pour répondre à la fois à la demande et à un transport efficace au moindre coût.

MOT applicable. Dans les cas où cette date est révisée, le MOT doit également être révisé pour garantir un service rapide au client.

Sélection des transporteurs

Le contrat entre Schlumberger et le transitaire détaille les exigences de sélection des transporteurs. L'équipe logistique doit s'assurer que Schlumberger ne s'engage qu'avec des transitaires agréés pour la gestion des risques et la couverture d'assurance. Une attention particulière doit être accordée à la sélection des transporteurs pour les envois critiques et / ou lorsque l'envoi est effectué sur un navire / avion affrété.

a) Transport aérien :

Le fret aérien est bien adapté aux marchandises qui ont un rapport valeur / poids élevé ou qui sont périssables, rapidement obsolètes, requis à court préavis ou coûteux à manipuler ou à stocker. Il existe trois (03) types de transport aérien, à savoir le transport « Express », le transport « Air consolidé » et le transport « Air direct ».

Le transport « Express » couvre généralement les marchandises pesant moins de 50 kg et livrées porte à porte par des entreprises telles que DHL Express, FedEx, TNT, etc. Le service express, comme son nom l'indique, repose sur un petit volume et une livraison rapide.

Le transport « Air consolidé » (Standard) le fret se déplace certains jours de la semaine, ce qui peut être une ou plusieurs fois par semaine. Cette option permet la meilleure optimisation des coûts car les tarifs sont généralement convenus sur une base contractuelle.

Le transport « Air direct » où les marchandises sont transportées dans une expédition personnelle sans consolidation. Ce type de service est le plus adapté aux marchandises dont la date de livraison est plus importante que le coût (cas des urgences).

b) Transport Maritime

Ce mode de transport est généralement utilisé lors des expéditions en provenance de Dubaï et de Houston. Les types de services sont déterminés par les types de navires et de marchandises. Deux types de services sont fournis par ces navires, le LCL et le FCL.

Less Container Load (LCL) : où le volume d'expédition n'est pas suffisant pour utiliser pleinement le conteneur maritime. Dans ce cas Le transitaire consolide l'envoi avec la cargaison des autres expéditeurs.

Full Container Load (FCL) : l'expéditeur paie le plein tarif pour un conteneur standard de 20 ou 40 pieds (selon le volume de la cargaison). Il est possible que le volume de fret de l'expéditeur soit inférieur à celui du conteneur, mais l'expéditeur accepte de payer les taux FCL pour s'assurer que l'envoi part plus rapidement en contournant la consolidation

c) Transport Terrestre

Le camionnage international est adopté lors des expéditions du hub de Rotterdam. Il est connu comme étant une méthode très compliquée en raison des différences entre les pays en ce qui concerne :

- Exigences techniques pour les camions : équipement obligatoire, nombre d'essieux, formations de conduite obligatoires
- État de l'infrastructure : limites de charge, limites de hauteur, limites de vitesse.

I.4.3 Gestion des prestataires de services logistiques

Parmi les prestataires de services logistiques, nous comptons :

- a) Les sociétés 3PL : qui assurent le service du DSC, dont le champ d'action principal consiste à fournir des activités d'entreposage et de manutention, de gestion des stocks, d'expédition de fret, de dédouanement, de négociation des frais de transport, et de consolidation du fret. Les principaux 3PLs de SLB sont : Aramex, Pentagon, Agilité et Rulwave.
- b) Les freight Forwarder (également appelés 4PL) : qui supervisent uniquement les expéditions à partir de la plate-forme et leur livraison au site final.
- c) Les transitaires : Société qui transporte des marchandises et / ou des personnes par voie aérienne, terrestre ou maritime, dans ses propres navires ou équipements affrétés, et est désignée comme transporteur dans le contrat de transport.
- d) Agents de dédouanement : fournissent des services de dédouanement.

La sélection et la gestion de ces prestataires de services est un exercice conjoint entre les équipes de Procurement & sourcing (P&S) et de distribution. P&S est principalement responsable de toutes les négociations de prix et du contrat, tandis que la distribution aide à l'évaluation des capacités et des performances.

I.4.4 Conformités douanières

Chaque déménagement international implique au moins deux événements de dédouanement, à savoir l'exportation et l'importation. Le processus de dédouanement qui est régi par les douanes varie d'un pays à l'autre. Le bureau gouvernemental est chargé de collecter les taxes sur les importations et d'appliquer un certain nombre de règles et de réglementations concernant ce qui peut et ne peut pas être admis dans le pays. Comme pour toute autre activité dirigée par un pays, il est obligatoire que Schlumberger se conforme à toutes les règles et réglementations. Étant donné que cette activité est régie par des réglementations locales susceptibles de changer au fil du temps, Schlumberger a sélectionné un ou plusieurs agents de dédouanement chargés de traiter l'envoi conformément aux exigences douanières du pays. Les spécialistes en import-export supervisent l'activité des Customer Compliance Agent (CCA). Ils sont également responsables d'avaliser la facture d'expédition.

La documentation requise par toute autorité douanière peut être importante. Au minimum, trois documents sont nécessaires pour le dédouanement.

1. Un formulaire désigné pour l'entrée (déclaration en douane ou permis d'importation)
2. Une facture commerciale avec suffisamment d'informations pour déterminer la valeur et la classification (description de l'article, ECCN code, code SH, pays d'origine, incoterms, coût des marchandises et frais d'expédition et de manutention)

3. Un document de fret: connaissance (B / L) pour le transport maritime, lettre de transport aérien (AWB⁴) pour le transport aérien, « Convention Marchandise Routiere », CMR pour le camionnage.

I.4.5 Processus End to End de la supply Chain internationale

La consécration des ressources logistiques citées plus haut a pour but d'assurer le bon acheminement des commandes à l'international qui passe par différentes étapes commençons par le lancement de la commande jusqu'à la réception de cette dernière au niveau de la base. Ces étapes sont résumées dans la figure n°.9 et expliquées ci-dessous.

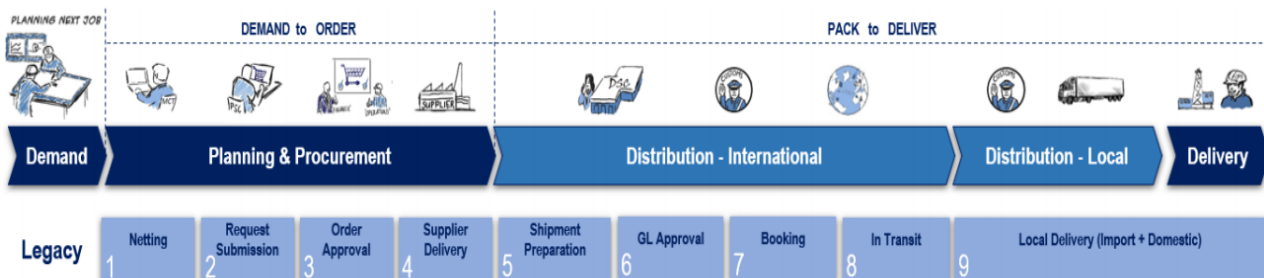


Figure 9 Process End to End de la supply chain internationale de Schlumberger (Schlumberger, 2020)

Netting : Expression du besoin à travers l'ERP « SAP ».

Request submission : après cette étape le LCT opéra pour le mode de lancement de la commande, soit via un bon de commande 'PO' soit elle vérifie disponibilité de la commande dans une autre location Schlumberger pour un éventuel transfert via FMT.

Order approval : Avant le lancement des commandes, ces dernières doivent être approuvées par plusieurs parties prenantes de l'entreprise.

Supplier delivery : Après l'approbation de la commande, le fournisseur reçoit cette dernière pour ensuite la préparer.

Shipment preparation : lorsque la commande est prête chez le fournisseur, le HUB le plus proche du fournisseur géographiquement collecte et consolide les commandes

GL approval : le DSC contacte la base pour confirmer l'envoi des commandes. Le chargé de l'import / export va donner le feu vert si toutes les conditions préalables sont réunies pour importer les outils dans le pays récepteur.

Booking : LE HUB prépare ensuite les documents des marchandises et les consolider dans des DOCs qui contiennent plusieurs commandes et qui seront ensuite affectés au mode de transport adéquat.

In Transit : Elle concerne la phase de transport depuis le Hub vers l'un des ports ou aéroports des pays du NAF

Local delivery : Cette partie concerne le dédouanement des Docs reçus dans les ports ou les aéroports, le transport domestique jusqu'à la base et la vérification des marchandises (ce qui est communiqué et ce qu'est livré)

⁴ Lettre de transport aérien

I.4.6 Systèmes d'informations

Pour optimiser la gestion des différents articles et répondre aux besoins des segments, un réseau de systèmes d'information a été mis en place pour assurer une meilleure vision et un bon suivi des commandes. A cet effet Schlumberger NAG dispose de quatre principaux systèmes :

- a) SRT (Schlumberger Stock Replenishment Tool) : Est un outil utilisé par le service Material Management, il leur permet d'avoir une visibilité sur la quantité optimale des High Runners (Articles à grande consommation) à commander, donne des estimations sur les futurs niveaux de stock et identifie les possibilités de commander des articles qui sont en excès dans les autres pays par des FMT (Transfer de matériel). Ces quantités sont calculés sur la base de :
 - Quantity On Hand (QOH) : la quantité qui se trouve en stock.
 - Quantity On Order (QOO) la quantité déjà commandée mais pas reçue.
 - L'historique de la consommation.
 - Date Stock On Hand (DSOH) : qui représente le nombre de jours pendant lesquels on peut garder l'article en stock.
- b) SWPS (Schlumberger Web based Procurement System) : Est un système utilisé seulement dans le cas d'approvisionnement pour les segments, il contient la liste des articles et les fournisseurs associés.
- c) OFS Stores : Dédié à la gestion des entrepôts, les commandes sont lancées à partir de ce système et passent ensuite automatiquement au SWPS. Il constitue une interface entre l'entrepôt et les segments.

I.5 Dysfonctionnements liées à la supply chain internationale de l'entreprise

L'inefficacité de la Supply Chain a des causes profondes associées. Ces causes été étudiées à l'aide de l'outil de contrôle de la qualité de cause à effet. La figure n°.10 montre le diagramme en arête de poisson avec la relation de cause à effet.

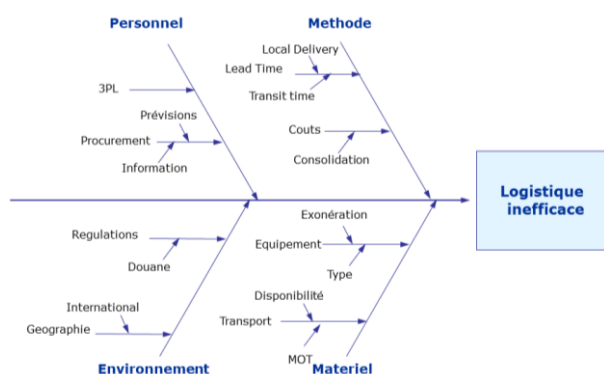


Figure 10 Diagramme Causes et effets

Les causes de cette performance sont divisées en quatre catégories : Matériel, personnel (Man), Environnement (Milieu) et Méthodes. Les matériels sont les

ressources utilisées, les méthodes qui seront utilisées pour calculer l'efficacité de la logistique internationale, l'environnement dans lequel le réseau fonctionne et le personnel qui est impliqué dans la logistique internationale.

I.5.1 Matériel :

Représente les moyens qui rentrent en jeu : Le transport et les équipements.

a) Transport :

Après consultation des itinéraires parcourus par les différentes expéditions destinées à la GeoUnit et en provenance des 3 Hubs ; nous avons constaté une absence des flux directs entre ces derniers. En effet la majorité des expéditions passent par un des ports stratégiques de la méditerranée servant comme point d'escale des marchandises à l'instar de : Fos sur mer, Malta Freeport, Port autonome de Pirée, Port de Valence, ou autres. Rajoutant à cela une fréquence de transport irrégulière et indisponible entre les hubs et les pays du NAF. (Figure n°.11)



Figure 11 Flux de transport entre les différents hubs et les pays du NAF

La non planification des projets et aussi la non organisation des clients de Schlumberger pousse cette dernière à envoyer la marchandise par la voie aérienne pour une meilleure réactivité aux demandes, comme nous le remarquons à travers ce graphique circulaire (figure n°.12)

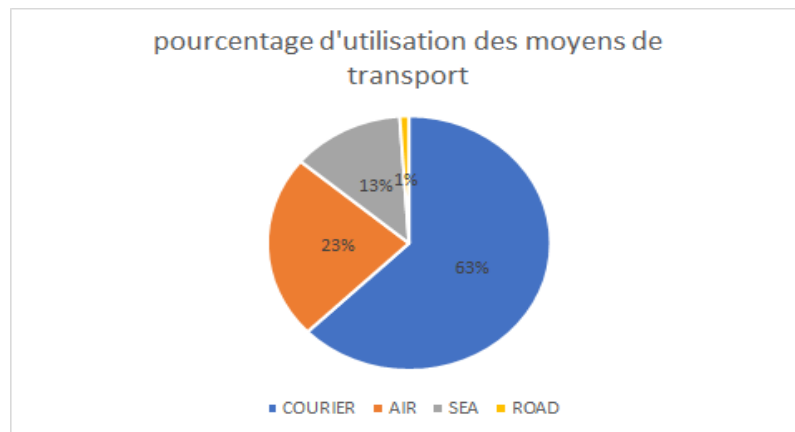


Figure 12 taux d'utilisation des moyens de transport

b) Équipements :

Comme nous l'avons abordé plus haut, Sib Ltd fournit à ses bases d'activités des produits de maintenances appelés M&S et des produits chimiques. Ces deux types d'équipements sont transportés séparément vu la sensibilité des produits chimiques.

Durant notre diagnostic nous nous sommes confrontés à un terme utilisé dans la procédure douanière qui est « l'exemption⁵ », ce qui signifie dispense d'une obligation fiscale, les équipements qui sont classés en M&S et produits chimiques qui chacun des deux types est partagé en produits exemptés et non exemptés.

I.5.2 Méthode

a) Lead time

Comme le montre la figure n°.13, la région de l'Afrique de Nord souffre d'un Lead Time total très conséquent (274 jours) comparé aux autres GeoUnit.

Nous pouvons constater que le problème du lead time réside principalement dans la partie local delivery (expédition locale) qui dans la plupart des cas avoisine les 50 jours, Ceci est dû aux restrictions douanières imposées par les pays de cette région et essentiellement l'Algérie.

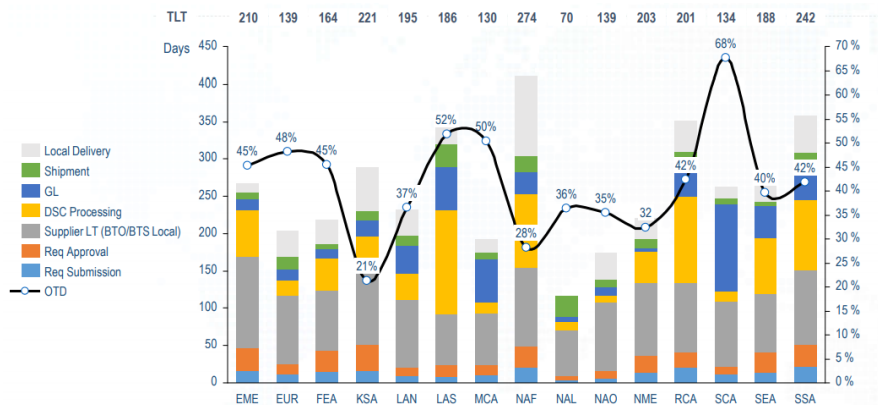


Figure 13 Le Lead Time de Supply Chain pour chaque GeoUnit

b) Coût

La majorité des expéditions regroupent très peu de commandes, chose qui va à l'encontre de l'optimisation des coûts en Supply Chain. La consolidation se fait donc d'une manière aléatoire sans avoir recours à une stratégie de consolidation proactive optimale.

⁵ Synonyme d'exonéré, exprime le fait d'être épargné par les droits de douanes et de TVA.

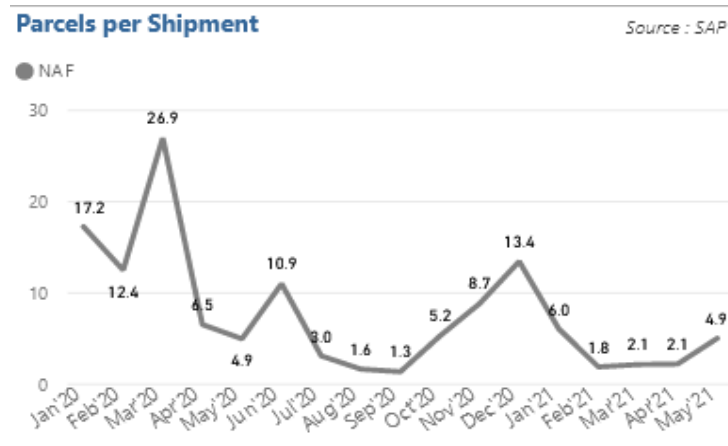


Figure 14 Nombre de commandes par expédition des six derniers trimestres (Schlumberger 2021)

Shipment Number	Dubai DSC	Total
CCDFV267	2	2
CCDFV527	1	1
CCDGD419	1	1
CCDGD444	1	1
CCDGD445	1	1
CCDGK917	1	1
CCDGL525	1	1
CCDGM250	1	1
CCDGM697	1	1
CCDGO401	2	2
CCDGP980	1	1
CCDGO039	1	1
CCDGO181	1	1
CCDGO183	1	1
CCDGO281	1	1
CCDGO633	1	1
Total	280	280

Nombre de PO Number
322

Figure 15 Le nombre de commandes (PO) par expédition en Aout 2019 (Schlumberger 2019)

Après avoir effectué une analyse du processus de consolidation à travers le logiciel Power Bi. Après avoir établi des filtres sur ce dernier sur la période, le hub et le nombre de PO, nous avons remarqué que 280 expéditions ont été expédié avec moins de 10 commandes sur un total de 322 expéditions effectuées le mois d'Aout 2019 à partir du hub de Dubai, comme le montre la figure n°15. La figure n° 14 illustre aussi le très faible taux de consolidation de ces 6 derniers trimestres.

I.5.3 Personnel :

Comme la logistique du transport internationale de l'entreprise est externalisée vers les 3PL, c'est eux donc qui s'occupent du choix du mode de transport adéquat. D'après témoignage des collaborateurs du service procurement, un manque de prise de décision est remarqué principalement au niveau du choix des modes de transport.

I.5.4 Environnement :

L'environnement international dans lequel l'entreprise évolue est parfois handicapant. D'une part, les réglementations douanières dans les pays du NAF qui sont relativement

strictes (principalement en Algérie), et d'une autre part, les contraintes de transport face auxquelles Slb Ltd est confrontée à l'instar des retards d'expédition.

I.6 Présentation de la Problématique

L'analyse des dysfonctionnements nous a emmené à réfléchir sur une alternative qui permettrait de résoudre le problème de lead time conséquent et les coûts de transport excessifs.

Après concertation avec l'équipe de logistique de Slb Ltd NAF, nous avons donc pensé à une restructuration de la Supply Chain internationale, qui consiste à élaborer une stratégie de consolidation des commandes lancées par les pays du NAF. Ces commandes seront donc regroupées dans une même expédition qui seront éventuellement dispatchés au niveau d'un hub intermédiaire appelé « centre de consolidation »

A partir de cette initiative, découle une problématique complexe sur **les études à effectuer pour une implémentation efficace de cette stratégie**. A partir de cette dernière, nous avons déduit les problématiques subordonnées suivantes :

- La stratégie proposée est-elle rentable en termes de coûts et lead time ? Si c'est le cas, quelle est donc cette rentabilité ?
- L'introduction d'un centre de consolidation dans le réseau logistique, nécessite une étude approfondie sur le choix de l'emplacement optimal de ce centre, quelle est donc étude qui permet de désigner la localisation adéquate ?
- Quels sont les outils les plus adéquats pour optimiser le processus de consolidation et éventuellement pour l'implémenter dans un programme informatique ?

C'est dans le cadre de cette problématique que s'inscrit notre travail, qui consiste donc à contribuer à l'amélioration de la supply chain internationale de l'entreprise grâce à la mise en pratique de cette stratégie, et cela en adoptant une démarche scientifique étudiée durant notre cursus universitaire.

Pour répondre à ces questions, il sera donc en premier temps, question de traiter le sujet de gain en coûts et lead time de cette restructuration. Puis dans un second temps, traiter le problème de localisation du centre de consolidation. Et pour finir nous aurons à exposer un outil d'optimisation du processus de consolidation des commandes pour une meilleure gestion de cette dernière.

Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes tout d'abord familiarisés avec les spécificités du marché des services pétroliers y compris ces opportunités et défis. Puis, après avoir mieux compris le contexte dans lequel évolue l'entreprise d'accueil, nous l'avons présenté et étudié sa structure globale et la structure de sa Supply Chain. Ensuite, nous avons détecté à l'aide du diagramme causes à effets les dysfonctionnements de la Supply Chain internationale avant de conclure avec l'énoncé de la problématique retenue dans le cadre de notre projet.

Chapitre 2 : L'état de L'art

Introduction

Dans ce chapitre, les aspects théoriques de base liés à notre travail sont introduits. Ses quatre parties sont conçues pour se familiariser avec les différents concepts et la terminologie utilisée pour favoriser la compréhension de la solution suggérée.

Nous avons donc abordé des notions et principes conceptuels à l'instar de la Supply Chain, Supply Chain global, Supply Chain des services pétroliers, la consolidation, le Cross-docking et enfin le What if analysis. Puis nous avons énoncé des notions quantitatives : la sélection de l'emplacement optimal d'un entrepôt logistique à l'aide Le FMCDM ' fuzzy multicriteria decision making ' ainsi que le problème d'optimisation du processus de consolidation, et finalement les pistes envisageables pour une éventuelle implémentation du problème d'optimisation sur un programme informatique.

II.1 Supply Chain et logistique management

C'est un concept relativement récent. Le terme « Supply Chain » est dérivé de l'anglais et se traduit littéralement « chaîne d'approvisionnement ». La diversité des définitions montre l'intérêt des chercheurs pour l'étude des supply chaine.

On définit assez souvent la Supply Chain comme « La suite des étapes de production et de distribution d'un produit depuis les fournisseurs des fournisseurs des producteurs, jusqu'aux clients de ses clients » (Supply Chain Council, 2012). (Christopher, 2011) définit la Supply chaine comme étant « le réseau d'entreprises qui participent, en amont et en aval, aux différents processus et activités qui créent de la valeur sous forme de produits et de services apportés au consommateur final. En d'autres termes, une chaîne logistique est composée de plusieurs entreprises, en amont (fourniture de matières et composants) et en aval (distribution), et du client final ». (Maia and Cerra, 2009) ont quant à eux, cité une définition connue de Lummus et Al : « le réseau d'entités par lequel le flux matériel passe. Ces entités incluent fournisseurs, transporteurs, sites d'assemblages, centres de distribution, détaillants et clients ». Une définition plus générale est celle proposée par Poirier et Reiter en 2001 : « Une Supply Chain est le système grâce auquel les entreprises amènent leurs produits et leurs services jusqu'à leurs clients » (Hassen Gharbi, 2013) La Supply Chain implique donc la rationalisation active des activités d'une entreprise du côté de l'offre afin de maximiser la valeur pour le client et d'obtenir un avantage concurrentiel sur le marché.

Un article écrit par David Anderson, Frank Britt and Donavon Favre et publié dans le Supply Chain Management Review en 1997, met en avant une étude menée auprès de plus de 100 fabricants, distributeurs et détaillant, et qui met en évidence certaines stratégies et initiatives largement utilisées en matière de supply chain, Ces idées et pratiques ont été ramenées à sept principes et présentées dans cet article considéré comme étant un classique du domaine :

Principe 1 : segmenter les clients en fonction des besoins en services de groupes distincts et adapter la chaîne d'approvisionnement pour servir ces segments de manière rentable.

Principe 2 : Adapter le réseau logistique aux exigences de service et à la rentabilité des segments de clientèle.

Principe 3 : Écouter les signaux du marché et aligner la planification de la demande en conséquence à travers la chaîne d'approvisionnement, en assurant des prévisions cohérentes et une allocation optimale des ressources.

Principe 4 : Différencier le produit au plus près du client et accélérer la conversation à travers la chaîne d'approvisionnement.

Principe 5 : Gérer les sources d'approvisionnement de manière stratégique afin de réduire le coût total de possession des matériaux et des services.

Principe 6 : Développez une stratégie technologique à l'échelle de la chaîne d'approvisionnement qui prend en charge plusieurs niveaux de prise de décision et donne une vision claire du flux de produits, de services et d'informations.

Principe 7 : Adopter des mesures de performance à l'échelle de la chaîne pour évaluer le succès collectif à atteindre l'utilisateur final de manière efficace et efficiente. (Supply chain247.com, Septembre 2016)

Selon (Aida KADDOUSSI, 2013) la prise de décisions dans n'importe quel type de Supply Chain est divisée en trois niveaux : stratégique, tactique et opérationnel, correspondant respectivement à des horizons à long, moyen et court terme. **Le niveau stratégique**, regroupe toutes les décisions stratégiques. Ces décisions sont des directives et des lignes d'actions sur le long terme (de 6 mois à plusieurs années), comme, par exemple, la recherche de nouveaux partenaires industriels, la sélection des fournisseurs et sous-traitants, mais aussi les décisions d'implantation, l'affectation d'une nouvelle zone d'approvisionnement à un centre de distribution (entrepôt), ainsi que la configuration de la Supply Chain, son mode de fonctionnement. **Le niveau tactique** quant à lui s'intéresse aux décisions à moyen terme (de quelques semaines à quelques mois) qui devront être exécutées pour déployer la stratégie décidée par l'entreprise. Et finalement, le **niveau opérationnel**, où les décisions tactiques génèrent un plan détaillé de production ou d'ordonnancement, applicable au niveau d'un atelier ou d'une zone logistique.

D'autre part, la logistique est définie comme le processus de mouvement efficace des marchandises. C'est donc : " Le processus de planification, de mise en œuvre et de contrôle des procédures pour le transport et le stockage efficaces et efficients des biens, y compris les services, et des informations connexes, du point d'origine au point de consommation dans le but de se conformer aux exigences des clients. Cette définition inclut les mouvements entrants, sortants, internes et externes " ((CSCMP, 2013), page 117).

Selon un article publié par (Handfield et al., 2020), Les organisations qui composent la chaîne d'approvisionnement sont reliées entre elles par des flux physiques et des flux d'informations. Les **Flux physiques** impliquent la transformation, le déplacement et le stockage de biens et de matériaux. Ils constituent la partie la plus visible de la supply chain. Tandis que Les **flux d'information** permettent aux différents partenaires de la chaîne d'approvisionnement de coordonner leurs plans à long terme et de

contrôler le flux quotidien de biens et de matériaux en amont et en aval de la supply chain.

II.1.1 Supply Chain Global

Avec le développement rapide du système de transport mondial et la croissance rapide du commerce international, de nombreuses entreprises s'internationalisent. Elles possèdent des fournisseurs, des usines de fabrication, des entrepôts et des clients dans plusieurs pays différents. En établissant des usines de fabrication à l'étranger et en adoptant des achats à l'étranger dans des pays à faible coût, les entreprises peuvent accroître leur avantage concurrentiel et réaliser plus de bénéfices grâce à des marchés étrangers plus vastes et à des ressources en main-d'œuvre et en matériaux moins chères.

Cependant, l'internationalisation n'apporte pas seulement des opportunités, mais aussi des défis. Dans le réseau international, les matières premières, les pièces et les semi-produits sont déplacés entre les fournisseurs, les usines de fabrication et les centres de distribution dans différents pays du monde, ce qui augmente considérablement le coût d'une supply chain. Ces coûts sont déterminés par de multiples facteurs. Le déplacement sur de longues distances d'un flux de marchandises en utilisant plusieurs modes de transport augmente le coût du transport. La fluctuation du prix du carburant qui souvent est à la hausse est un autre facteur essentiel de la hausse des coûts logistiques. (Deng, 2013)

En outre, les coûts de manutention augmentent car les flux de marchandises sont transférés plusieurs fois entre plusieurs transporteurs, autorités portuaires et groupements de l'origine à la destination. En outre, la variabilité et l'incertitude d'une chaîne d'approvisionnement plus longue, telles que des expéditions retardées ou incomplètes, entraînent une augmentation des achats de stocks et des frais d'expédition de fret.

Tous ces facteurs entraînent une augmentation des coûts logistiques, ce qui constitue un obstacle à la hausse des revenus. Selon l'enquête Industry-Week Value-Chain Survey 2005 d'IBM (Vinas, 2005), la moitié des professionnels interrogés déclarent que leurs coûts logistiques représentent 10 % ou plus du chiffre d'affaires.

Les Supply chain mondiales auxquelles la plupart des entreprises ont affaire aujourd'hui sont plus difficiles à gérer que les modèles nationaux (Meixell and Gargeya, 2005). De nombreuses activités décisionnelles complexes sont impliquées dans chaque fonction d'une supply chain, comme l'approvisionnement, le réapprovisionnement, la politique de stock, la production, la distribution et la planification du transport. Toutes ces fonctions sont étroitement liées les unes aux autres et toute mauvaise décision prise dans l'une d'entre elles influencera les performances de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement (mesurées par le coût total). En outre, deux caractéristiques critiques d'une chaîne d'approvisionnement internationale, telles que les **longs délais de livraison** et les **coûts élevés de transport** transocéanique, doivent être prises en compte pour toute décision stratégique, tactique et opérationnelle.

Une décision sur l'externalisation outre-mer, en particulier, possède une série d'impacts sur d'autres fonctions de la supply chain, telles que l'inventaire, le transport, le chargement des marchandises, l'emballage, et la performance globale de la supply

chain. La figure n° 16 et les descriptions suivantes illustrent les relations de ces fonctions.

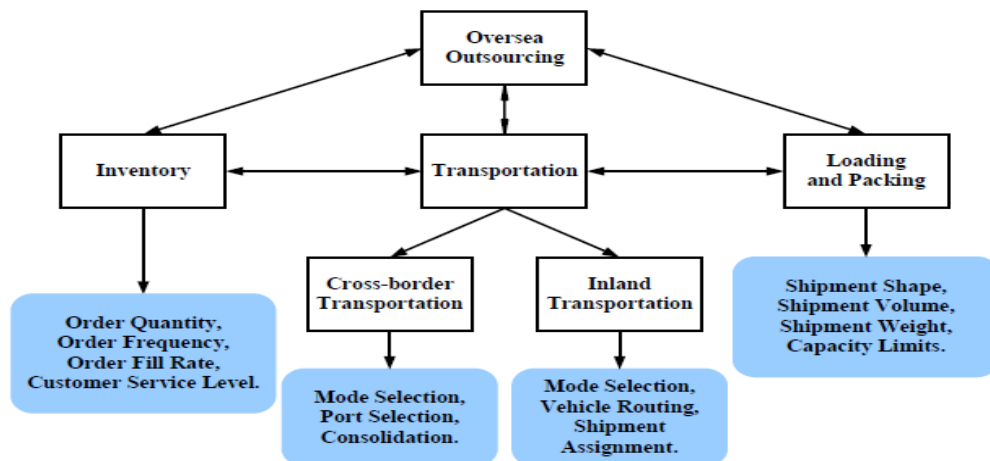


Figure 16 Les différentes relations entre les fonctions de la logistique internationale (DENG, 2013, page 3)

Une politique de stock est importante pour l'externalisation à l'étranger. Une politique d'inventaire consiste en une quantité et une fréquence de commande. Dans la pratique, une stratégie de commande de conteneurs complets entraînera un niveau de stock élevé et un temps de cycle long, mais des coûts de commande et de transport transocéanique moindres. Une stratégie d'achat de petits volumes entraînera un inventaire moins important et un temps de cycle plus court, mais des commandes plus fréquentes et des coûts de transport transocéanique plus élevés. Par conséquent, toute décision sur la politique de commande affecte le coût du stock et le coût du transport.

Pour les expéditions internationales, au moins deux modes de transport sont nécessaires d'une origine à une destination. En ce qui concerne le transport transfrontalier, l'avion et le bateau sont deux modes couramment utilisés. Le transport maritime a un long temps de transit avec un coût faible. Le transport aérien est rapide, mais son coût est plus élevé que le précédent. Ainsi, si l'on choisit le transport maritime, il faut prévoir un stock tampon élevé pour assurer un bon service à la clientèle en raison du long délai d'exécution, ce qui entraîne un coût de stock élevé. Le mode de transport terrestre est déterminé par la quantité et les caractéristiques de la commande. Pour les envois lourds et de grande taille, le transport par camion complet est plus économique que le transport par camion partiel. Dans le cas contraire, le transport en lots partiels est plus avantageux. En outre, d'autres décisions opérationnelles relatives au transport terrestre, telles que l'acheminement des véhicules, l'affectation des expéditions aux véhicules, doivent également être prises en compte pour réduire les coûts.

Les problèmes, tels que les formes géométriques des colis, les limites de capacité des conteneurs et les modèles de chargement, doivent être pris en compte lors de la planification du chargement et de l'emballage des marchandises. Les bonnes techniques de chargement permettent non seulement de maximiser l'utilisation des conteneurs, mais aussi d'économiser les coûts ultérieurs de distribution. (NA DENG,2013)

Au vu des exemples ci-dessus, il est clair que la gestion de la Supply Chain globale implique une ingénierie de systèmes complexes. Sa performance globale est influencée par de nombreuses décisions interdépendantes. En effet, Des services logistiques médiocres tels qu'une coordination limitée entre les pays sur les procédures aux frontières; l'inefficacité du processus de dédouanement dans les ports; la fragmentation et la mauvaise qualité des infrastructures liées aux transports; expédition coûteuse et peu fréquente (avec des routes d'expédition longues et indirectes); retards dans le suivi et la traçabilité des envois; les retards dans la manutention au terminal et le dédouanement des marchandises; entre autres; peut entraver considérablement les échanges internationaux.. Les forces de la libéralisation des échanges continueront de pousser les pays du monde entier à participer davantage et à récolter les fruits de la mondialisation qui offre des débouchés commerciaux croissants.

II.1.2 Supply Chain des services pétroliers :

Les entreprises de services pétroliers fournissent des services tels que l'exploration et le développement des champs pétrolifères aux sociétés pétrolières et gazières. Leur taille et leur champ d'action varient d'un service unique s à de grandes entreprises mondiales capables de fournir des services de bout en bout dans la chaîne d'approvisionnement des services pétroliers.

Les entreprises leaders de l'OFS⁶ évoluent dans un environnement économique international, turbulent, incertain, exposé à des phénomènes de crise plus ou moins attendus. Le secteur est donc impliqué dans une Supply Chain mondiale qui comprend le transport national et international, la visibilité et le contrôle des commandes et des stocks, la manutention des matériaux, la facilitation des importations/exportations et les technologies de l'information. La nature complexe de la Supply Chain des champs pétrolifères et les environnements commerciaux contemporains comportent des niveaux élevés d'incertitude et de complexité en termes de méthodes et d'équilibre des pratiques à envisager pour contrôler et gérer ces Supply Chain internationales.

les OFSC⁷ sont diversifiés géographiquement, principalement dans les anciens courtiers URSS, au Moyen-Orient, en Afrique de l'Ouest, en Amérique du Sud (golfe du Mexique, Venezuela, Mexique, Brésil) et en Amérique du Nord. Ce qui constitue un défi de taille si l'on tient compte du fait que les hautes technologies sont principalement situées aux États-Unis et en l'Europe.

Etant donné que Les OFSC ont un large éventail d'activités de gestion couvrant la logistique d'approvisionnement avec un accent particulier sur la coopération avec les 3PL qui utilisent pour leurs opérations logistiques plusieurs systèmes avancés d'achat d'espace et de prix auprès des compagnies aériennes, des armateurs et des compagnies terrestres. Afin de pouvoir réaliser une Supply Chain fonctionnant parfaitement, il est nécessaire de coopérer avec ces opérateurs logistiques et de trouver des bénéfices communs et des méthodes de leur distribution équitable et mutuelle entre tous les participants de la chaîne logistique (Rutowicz, 2020).

En raison de l'ambiguïté des données, il est extrêmement difficile d'estimer la contribution aux revenus que la Supply Chain peut apporter au fonctionnement général

⁶ Oilfield services (services petroliers)

⁷ Oilfield services companies (compagnies des services petroliers)

des OFSC. Il s'agit là d'un domaine de recherche indispensable qui devrait permettre une cartographie encore meilleure des processus logistiques.

Les chercheurs du domaine de la Supply chain de manière générale et de la logistique internationale plus précisément, ont développé des concepts innovants permettant aux professionnels de ce domaine de faire face aux défis logistiques connus. Parmi ces concepts on cite la Consolidation .

II.2 Consolidation

La définition large de la consolidation est qu'il s'agit d'une pratique industrielle appliquée depuis plus de trente (30) ans qui consiste à accumuler plusieurs petites commandes et de les regrouper dans des véhicules tels que des camions, des avions, des navires ou des trains, ou dans des conteneurs tels que des palettes, des camions, des boîtes ou des conteneurs, provenant des entrepôts ou des centres de distribution. HALL résume cela en mentionnant que "La consolidation est le processus qui consiste à combiner différents articles, produits et utilisés à différents endroits et à différentes époques, en un seul chargement de véhicule". (Rochdi Sarraj, 2013), comme le montre la figure n° 17.

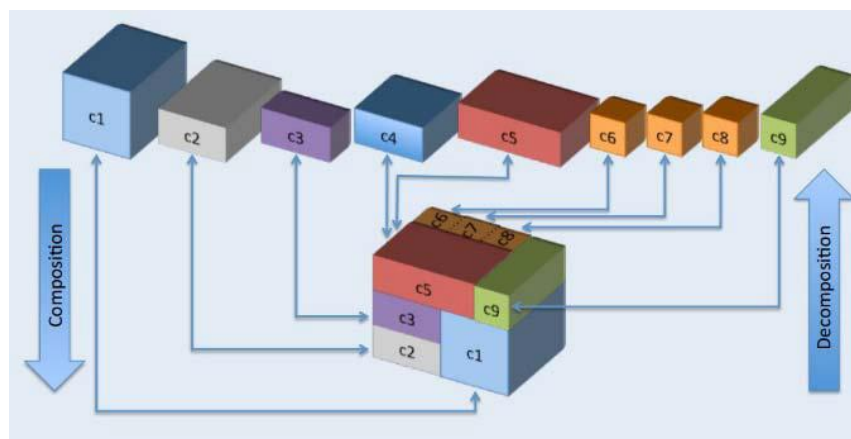


Figure 17 schéma explicatif du processus de consolidation (source : (Uday Venkatadri, Kasinadhuni Shyama Krishna, and M. Ali Ülku, 2016))

Dans une enquête de Jackson effectuée en 1985, 100 % des entreprises ont indiqué que le groupage de fret est un outil concurrentiel important (16 %) ou très important (84 %) en termes de coût, tandis que 77 % des entreprises interrogées ont indiqué que le groupage de fret est un outil concurrentiel important en termes de service. (DENG, 2013)

En ce qui concerne le coût, La consolidation, en tant que pratique industrielle innovante et importante, peut permettre de réaliser des économies considérables sur les coûts de transport en tirant parti des économies d'échelle dans le domaine du transport. En comparant les structures tarifaires des envois en groupage (Less Container Load - LCL) avec les envois en conteneur (Container Load - CL), et les envois en groupage (Less Truck load - LTL) avec les envois en camion (Truck Load - TL), les résultats indiquent que le taux de fret unitaire diminue à mesure que la taille de l'envoi augmente. Si les envois vers la même destination peuvent remplir un seul conteneur ou camion, il est plus économique de les regrouper en CL ou TL au lieu de plusieurs LCL ou LTL séparés. Bowersox, a en effet mentionné « ... en règle générale, plus les

expéditions sont importantes, plus le taux de fret par quintal est bas. » (DENG , 2013, page7)

. D'autres avantages de la consolidation est la réduction des dommages causés aux expéditions dû au fait que Les expéditions de petites tailles représentent un risque plus élevé de dommages en raison de la multiplication des manipulations (chargement et déchargement) entre l'origine et la destination. Rajoute à cela la fiabilité du temps de transit de CL et TL qui est moins variant que celui de LCL et LTL.

. Jackson en 1981 présente trois aspects importants au développement d'une stratégie de consolidation, l'aspect temporel (fenêtre de temps pour consolider les produits), l'aspect spatial (lieu(x) de consolidation(s)) et l'aspect quantité (volume ou poids qui peuvent être combinés dans un contenant de livraison). (Martin, 2010)

La principale motivation derrière les études menées sur ce sujet-là est d'atteindre des économies d'échelle dans le transport en combinant plusieurs petites expéditions en un seul chargement. Cette politique permet d'expédier d'une manière optimale, par exemple, en déterminant la quantité et le calendrier d'expédition optimaux, dans des paramètres déterministes et stochastiques.

Généralement La mise en place de la stratégie de consolidation fait appel à un autre concept appelé « Cross-Docking », pour permettre de dispatcher les commandes préalablement consolidées.

II.3 Cross Docking

L'approche du cross-docking est reconnue comme l'une des stratégies de distribution de base qui diffère de celle des Hubs par le fait qu'il s'agit d'un centre de transit n'assurant pas la fonction de stockage, comme peut l'être un Hub (Pooley et al. 1992, Swaminathan et al. 1998), il fait référence à un processus dans lequel les produits provenant de différents fournisseurs sont collectés et reçus dans un terminal de cross-Docking, consolidés avec d'autres produits expédiés vers la même destination sans stockage permanent et enfin livrés aux destinations finales.

La figure n°18 schématise le processus de Cross-docking

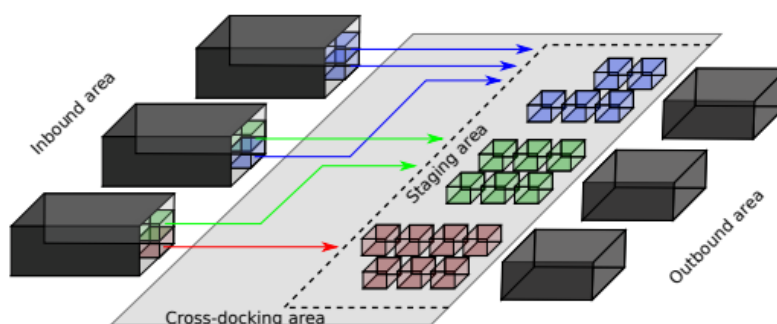


Figure 18 Représentation schématique du cross docking (source :Castelluci 2015, page 24)

L'approche de la distribution par cross-docking affecte la performance du réseau logistique. En effet elle possède de nombreux avantages, notamment la réduction des stocks et des activités liées au stockage des produits, la réduction des coûts de transport et enfin un flux de produits plus rapide dans le réseau, ce qui permet de réduire les délais de livraison et d'améliorer le service à la clientèle. Malgré ses

avantages, l'utilisation de cette approche doit être soigneusement évaluée car il est parfois préférable d'acheminer directement les clients comme le cas des urgences (Cóccola et al., 2015).

Les problèmes de décision dans la stratégie de cross-docking peuvent être divisés en plusieurs catégories en ce qui concerne le niveau de prise de décision, à savoir niveau de prise de décision, c'est-à-dire stratégique, tactique ou opérationnel (Buijs et al., 2014). Le niveau stratégique de la prise de décision comprend l'emplacement du cross-docking et sa disposition. Au niveau tactique, le problème de la conception du réseau de cross-docking est considéré. Les principales décisions au niveau opérationnel sont l'acheminement et l'ordonnancement des véhicules, l'affectation des portes de quai au niveau du cross-dock (Dondo and Cerdá, 2015).

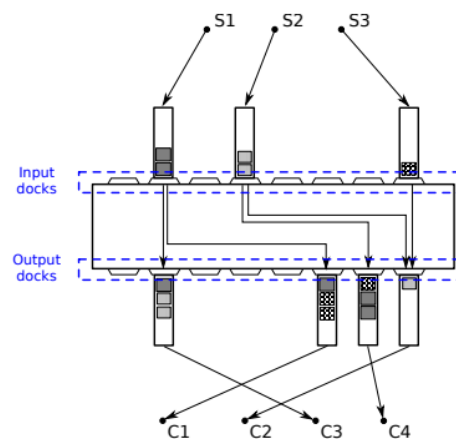


Figure 19 Représentation du mode de fonctionnement du cross docking (source : Castellucci 2015, page 29)

Mode de fonctionnement : La figure n° 19 montre un exemple simple d'installation de cross-dock. Les marchandises des consommateurs C1, C2, C3 et C4 sont envoyées par les fournisseurs S1, S2 et S3 à la plateforme logistique, où ils sont déchargés. Ensuite, les marchandises sont triées, regroupées puis consolidées en fonction de la demande de chaque consommateur et sont livrées par les camions de sortie. Certaines installations disposent d'une zone d'attente pour stocker temporairement les marchandises avant le début du processus de chargement. D'autres opérations de manutention, telles que le pesage, le calibrage, l'emballage, la tarification et l'étiquetage des produits, peuvent également être effectuées sur les expéditions. (Pedro Belin Castellucci, 2019)

Ce mode de fonctionnement bien que d'apparence simple nécessite la mise en place préalable (tant en amont qu'en aval de la plate-forme) d'une organisation parfaitement coordonnée :

- Fournisseurs aptes à réaliser les préparations et les conditionnements nécessaires.
- Convergence coordonnée des flux d'approvisionnement vers la plate-forme.
- Ordonnancement précis prévu des plannings et tâches de réception et d'expédition.

- Codage et/ou repérage permettant une identification rapide et sans faille des colis manutentionnés.
- Dans la plupart des cas, cela nécessite un système d'information apte à gérer ces fonctionnalités et à assurer la traçabilité - si possible en temps réel - de chaque colis tout au long du processus.

Plusieurs paramètres découlent de ces concepts; notamment les conséquences qui résultent de la mise en place de la stratégie de consolidation, le choix de l'emplacement optimal du centre de consolidation et l'optimisation du processus de consolidation. Par conséquent, Il est essentiel d'étudier et de concevoir des outils décisionnels efficaces visant à aider les entreprises à mieux entreprendre les concepts vus précédemment. C'est ce que nous allons aborder lors des 3 prochains points.

II.4 What-If Scenario Analysis

What-if analysis est utilisée pour explorer et comparer diverses alternatives de plan et de calendrier en fonction de l'évolution des conditions. Elle peut être appliquée dans les phases primaires du projet pour appliquer des scénarios et vérifier des hypothèses. Pendant l'exécution, c'est un outil important pour prévoir les conséquences de tout événement (retard de livraison, etc.).

Si nous pouvons simuler avec précision notre supply chain réelle, il sera alors possible d'essayer différentes stratégies de scénarios sur notre supply chain virtuelle avant de les implémenter dans le monde réel. Cette technique est parfois appelée " digital twin", car elle imite le fonctionnement de la supply chain réelle, ce qui vous permet d'évaluer l'effet de différentes entrées et de scénarios de simulation.

Les avantages d'une stratégie de simulation de la supply chain sont les suivants :

- La possibilité d'examiner l'interaction des différents composants de la supply chain.
- Mesurer l'impact des changements proposés
- L'évaluation de différents scénarios

En outre, l'avantage le plus important de la simulation de la chaîne d'approvisionnement est la possibilité de planifier des scénarios basés sur l'optimisation. En d'autres termes, il s'agit de déterminer spécifiquement comment optimiser des paramètres clés :

- Coût
- Délai
- Risque
- Efficacité
- Inventaire

II.5 Sélection du meilleur emplacement à travers l'approche d'aide à la décision multicritères floue (AMDF)

AMD ou Le MCDM est une approche permettant de classer et de sélectionner la meilleure solution parmi un ensemble d'alternatives réalisables. Le MCDM peut être classé dans les approches MADM (Multi-Attribute Decision Making) ou MODM (Multi-Objective Decision Making). L'objectif du MADM est fini et implicite, tandis que l'objectif de l'approche MODM est infini et explicite. Le principal avantage des modèles MADM est leur capacité à prendre en compte un grand nombre de critères de sélection (Dey et al., 2016)

L'approche MCDM peut également être divisée en deux catégories, à savoir le MCDM classique et le MCDM flou. Les décisions du MCDM classique sont prises avec certitude sur la base de critères objectifs (quantitatifs). Tandis que la prise de décision dans l'incertitude sur la base des critères subjectifs (qualitatifs) mérite l'application de la FMCDM.

Les problèmes de MCDM sont résolus par diverses techniques ou outils tels que : la méthode de la somme totale (TS) ; la méthode de la pondération additive simple (SAW) ; le processus de hiérarchie analytique (AHP) ; la méthode d'optimisation multi-objectifs sur la base de l'analyse des ratios (MOORA); l'analyse de l'enveloppement des données (DEA) ; les approches de surclassement (élimination et choix traduisant la réalité [ELECTRE] et la méthode d'organisation du classement des préférences pour l'évaluation de l'enrichissement [PROMETHEE]) ; et les approches de compromis (technique de classement des préférences par similitude avec les critères d'évaluation de l'enrichissement).

Pour garantir une évaluation correcte du poids de tout emplacement alternatif, les approches subjective et objective doivent être intégrées dans une comparaison correcte. Le modèle d'emplacement de Brown et Gibson est un outil simple et efficace pour évaluer des emplacements alternatifs en utilisant certains critères objectifs et subjectifs. Ce modèle peut être exprimé comme suit :

$$WLSli = [\alpha \times OFMi \oplus (1 - \alpha) \times SFMi] ,$$

Où WLSli est l'indice de sélection de l'emplacement pour la nième alternative Les facteurs critiques ont pour effet d'éliminer l'emplacement alternatif de la considération en soi, indépendamment des autres conditions qui pourraient exister. SFMi est la mesure du facteur subjectif de la nième alternative et sa valeur se situe dans l'intervalle $0 \leq SFMi \leq 1$. OFMi est la mesure objective du facteur de la ième alternative, et sa valeur se situe dans la fourchette suivante.

$0 \leq OFMi \leq 1$. α est le poids de décision ou le coefficient d'attitude du facteur objectif ayant une valeur dans l'intervalle $0 \leq \alpha \leq 1$. La valeur de α dépend de l'attitude du décideur vis-à-vis les critères objectifs. Ce facteur détermine également l'importance relative des critères subjectifs et objectifs dans l'évaluation globale et la sélection de toute alternative. Des valeurs plus élevées de α indiquent la dominance de la OFMi. La valeur la plus préférable de α est 0,33.(Dey et al., 2016)

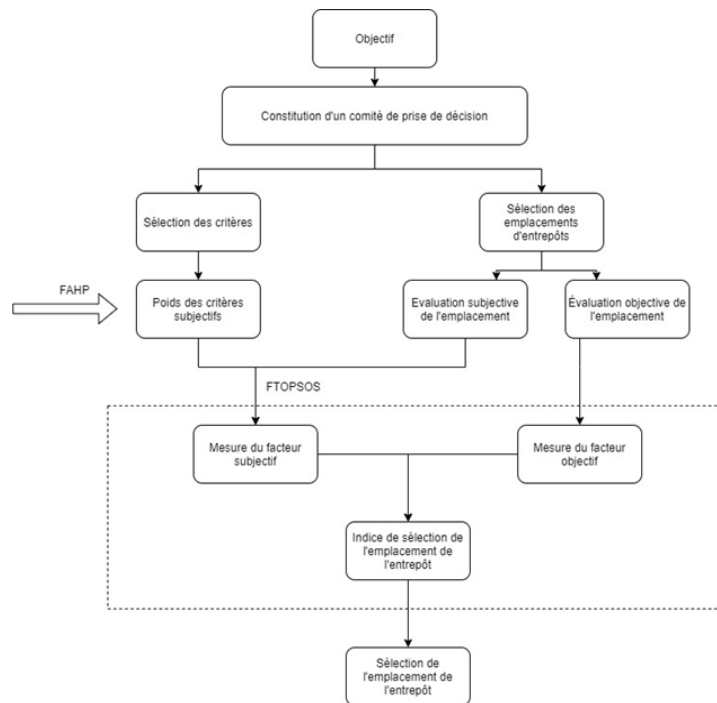


Figure 20 Les étapes à suivre pour sélectionner la localisation idéale (Karmaker and Saha, 2015)

Prise de décision multicritères avec la logique floue nous nous aidera à l'évaluation et la sélection de l'emplacement d'un entrepôt en prenant en compte les facteurs subjectifs et objectifs.

Le concept de la théorie des ensembles flous est intégré à la technique TOPSIS pour utiliser des étendues de prise de décision multicritères floues capables de traiter des facteurs subjectifs et objectifs pour l'évaluation et la sélection de l'emplacement d'un entrepôt.

II.5.1 Concept de la logique floue :

(Mme RIHAB KHEMIRI, 2017) a montré que dans le cadre de la logique classique, les propositions sont binaires : soit vraies, soit fausses. Ce cadre peut être insuffisant pour modéliser des connaissances subjectives ou des jugements énoncés par les êtres humains. Bellman et ont été les premiers à proposer des techniques de prise de décision dans un environnement flou. Le concept de la théorie des ensembles flous, lorsqu'il est appliqué à un environnement de prise de décision à critères multiples, est appelé l'approche FMCDM (Fuzzy Multi-Criteria Decision Making). L'approche FMCDM peut aider les décideurs à évaluer, à classer et à sélectionner la meilleure alternative dans un environnement flou. Les êtres humains préfèrent l'évaluation subjective des données vagues, ambiguës et imprécises. Dans de nombreux problèmes de la vie réelle où les facteurs objectifs et les ensembles clairs sont insuffisants et inadéquats, l'évaluation subjective ainsi que les ensembles flous sont utilisées pour l'évaluation des alternatives. Cela implique l'application de la théorie des ensembles flous (FST) pour saisir l'importance des critères et évaluer la performance des alternatives.

Dans le cadre de la théorie des sous-ensembles flous, l'appartenance d'un élément à un ensemble n'est plus binaire mais une question de degré. La logique floue s'appuie sur la théorie des sous-ensembles flous, qui permettra de modéliser une proposition

(par exemple : « la commande est urgente ») sur la base d'un ensemble flou dont la fonction d'appartenance est décrite à partir d'un attribut valué (par exemple : un degré d'urgence évalué entre 0 et 10)

Mathématiquement, un sous-ensemble flou \tilde{Z} appartenant à un ensemble classique X est caractérisé par une fonction d'appartenance $\mu_{\tilde{Z}}$ telle que : $\mu_{\tilde{Z}} : X \rightarrow [0,1]$ et $\mu_{\tilde{Z}}(x) \in [0,1]$ (3.1) La fonction d'appartenance $\mu_{\tilde{Z}}$ donne le degré d'appartenance de chaque élément x au sous ensemble flou \tilde{Z} . Plus la valeur de $\mu_{\tilde{Z}}(x)$ est grande, plus x appartient au sous ensemble \tilde{Z} .

Nombre flou triangulaire :

Un nombre flou triangulaire est représenté par un triplet (a, b, c) donnant respectivement la borne inférieure, la valeur modale et la borne supérieure de l'ensemble flou, tel qu'illustré dans la Figure n°21.

$$\mu_{\tilde{z}} = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ \frac{x-c}{b-c}, & b < x < c \\ 0, & x > c \end{cases}$$

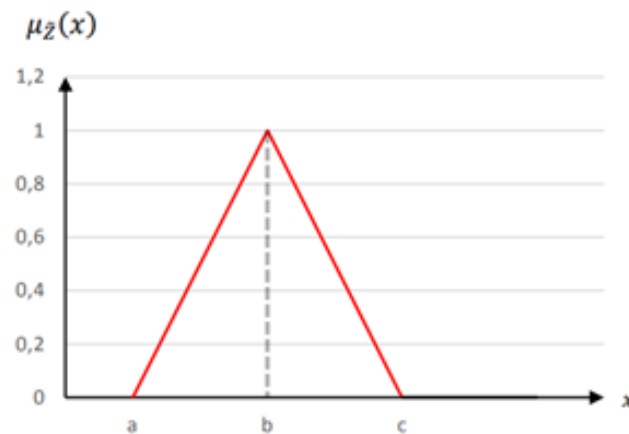


Figure 21 fonction d'appartenance d'un nombre flou triangulaire (Mme RIHAB KHEMIRI, 2017)

Les opérations arithmétiques

Pour les nombres flous triangulaires positifs, nous considérons les définitions données par Zimmermann en 2011, qui présentent les opérations arithmétiques applicables sur deux nombres flous triangulaires $\tilde{Z}_1 = (a_1, b_1, c_1)$ et $\tilde{Z}_2 = (a_2, b_2, c_2)$ comme suit :

$$\tilde{Z}_1 \oplus \tilde{Z}_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2)$$

$$\tilde{Z}_1 \ominus \tilde{Z}_2 = (a_1 - a_2, b_1 - b_2, c_1 - c_2)$$

$$\tilde{Z}_1 \otimes \tilde{Z}_2 = (a_1 * a_2, b_1 * b_2, c_1 * c_2)$$

$$\tilde{Z}_1 \otimes \alpha = (a_1 * \alpha, b_1 * \alpha, c_1 * \alpha), \text{ pour } \alpha \in \mathbb{R}.$$

II.5.2 Démarche de résolution :

Afin de sélectionner l'emplacement le plus approprié avec le minimum de risque. Les poids des critères sont calculés en utilisant la théorie des ensembles flous et l'AHP. TOPSIS est appliquée pour déterminer le niveau de classement final des alternatives en fonction de leur coefficient de proximité.

Les étapes de résolution sont :

II.5.2.1 Étape 1 : Identifier les emplacements potentiels et les critères de sélection

Cette étape comme son nom l'indique, consiste à sélectionner les potentiels emplacements d'un entrepôt, puis leurs accorder des critères de sélection comme le montre la figure n° 22.

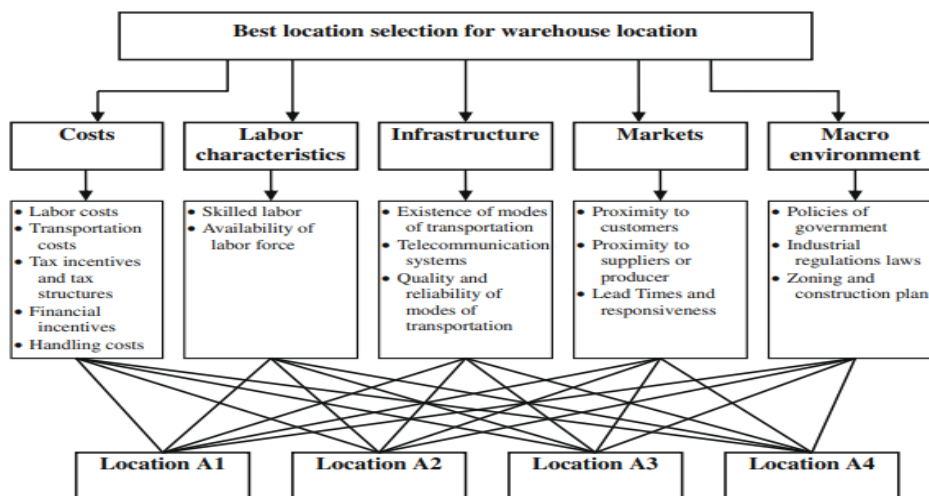


Figure 22 Les critères de sélection de l'entrepôt (Dey et al., 2016)

II.5.2.2 Etape 2 : Calculer les poids des critères subjectifs à l'aide de la méthode FAHP.

Le processus de hiérarchie analytique (AHP) est un outil de prise de décision à critères multiples pour organiser et analyser des décisions complexes, Bien que l'AHP vise à capturer la connaissance de l'expert, en raison de l'incertitude dans les jugements des participants, l'approche croustillante de l'AHP ne peut être utilisée.

Par conséquent, l'AHP conventionnel semble inadéquat pour capturer les exigences des décideurs de manière explicite. Comme certains critères d'évaluation sont subjectifs et de nature subjectifs et qualitatifs, le processus hiérarchique analytique flou (FAHP) est développé comme une alternative pour pallier les déficiences de l'AHP classique.

II.5.2.3 Etape 3 : Réalisez la méthode FTOPSIS pour obtenir les résultats du classement final

La méthode TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) est une méthode de classement bien connue dans le domaine de la gestion de la chaîne d'approvisionnement, est une méthode pratique qui correspond à la pensée humaine dans un environnement réel.

Cette méthode se concentre sur le classement et la sélection parmi un ensemble d'alternatives en attribuant l'importance relative des attributs en utilisant des nombres flous au lieu de nombres précis. C'est pourquoi cette méthode semble convenir à la prise de décision en groupe dans un environnement flou. Dans la méthode TOPSIS floue, les scores linguistiques que chaque alternative reçoit pour tous les critères sont utilisés dans la formation d'une liste de critères qui sont utilisés dans la formation d'une matrice de décision floue et d'une matrice de décision floue normalisée. En prenant en compte les taux de tous les attributs, des solutions idéales positives et négatives sont trouvées. En comparant le coefficient de distance de chaque alternative, l'ordre de préférence des alternatives est déterminé. (Karmaker and Saha, 2015)

L'algorithme de la méthode TOPSIS floue comporte principalement 10 étapes, comme indiqué ci-après :

Étape 1 : Attribution de notes aux critères et aux alternatives

Supposons qu'il y ait m alternatives possibles A_i ($i=1, \dots, m$) qui doivent être évaluées en fonction de n critères C_i ($i=1, \dots, n$). Les poids d'importance sont indiqués par w_i ($i=1, 2, \dots, n$). Les évaluations floues et le poids d'importance du k e décideur D_k ($k=1, 2, \dots, K$) pour chaque alternative A_j ($j=1, 2, \dots, n$) en ce qui concerne les critères C_i ($i=1, 2, \dots, m$) sont représentés par $\check{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ et $w_j^k = (w_{j1}^k, w_{j2}^k, w_{j3}^k)$ avec $\{i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, K\}$ avec une fonction d'appartenance $\mu_{RK}(x)$.

Étape 2 : Calculer les évaluations floues agrégées pour les alternatives.

Les notes floues agrégées x_{ij} des alternatives (i) par rapport à chaque critère (j) sont données par $\check{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ Sachant que

$$a_{ij} = \min_k \{a_{ij}^k\}; b_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^K b_{ij}^k; c_{ij} = \max_k \{c_{ij}^k\} \quad (2.1)$$

Les poids flous agrégés (w_i) de chaque critère sont calculés comme suit :

$$w_{j1} = \min_k \{w_{j1}^k\}; w_{j2} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^K w_{j2}^k; w_{j3} = \max_k \{w_{j3}^k\} \quad (2.2)$$

Étape 3 : Construction de la matrice de décision floue et du vecteur du poids

Soit m alternatives A_i ($i=1, \dots, m$) évaluées en utilisant n critères C_j ($j=1, \dots, n$). L'évaluation de ces alternatives par rapport aux différents critères peut être représentée par la matrice floue.

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ A_1 & \check{x}_{11} & \check{x}_{12} & \dots & \check{x}_{1n} \\ A_2 & \check{x}_{21} & \check{x}_{22} & & \check{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & & \dots \\ A_m & \check{x}_{m1} & \check{x}_{m2} & \dots & \check{x}_{mn} \end{matrix} \quad (2.3)$$

Rappelons qu'une matrice est qualifiée de "floue" si elle comprend au moins une entrée floue [Buckley, 1985].

Avec \check{x}_{ij} un nombre flou représentant l'évaluation de l'alternative A_i par rapport au critère C_j . Les poids des différents critères peuvent être modélisés sous la forme d'un vecteur comme suit : $\tilde{W} = [\check{w}_1, \check{w}_2, \dots, \check{w}_n]$

$$W = [\check{w}_1, \check{w}_2, \dots, \check{w}_n]$$

\check{w}_j est une valeur linguistique qui représente le poids du critère C_j

Étape 4 : Construction de la matrice de décision floue normalisée

La matrice de décision est normalisée afin de ramener les différentes unités de mesures à une échelle commune. Ainsi, les valeurs normalisées seront incluses dans l'intervalle $[0, 1]$. L'ensemble des critères peut être divisé selon leurs natures en « critères de type coût » (Co) (à minimiser) et « critères de type gain / bénéfice » (B) (à maximiser). La matrice de décision floue normalisée est définie comme suit :

$$R = [\check{r}_{ij}]_{m \times n}, i = 1, 2, \dots, m ; j = 1, 2, \dots, n$$

Dans le cas où les évaluations des alternatives dans la matrice \tilde{D} sont données sous la forme des nombres flous triangulaires $\check{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$, les valeurs normalisées seront calculées de la manière suivante :

$$\check{r}_{ij} = (\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+}) , \text{ si le critère } C_j \text{ est de type bénéfice } (C_j \in B) \quad (2.4)$$

$$\check{r}_{ij} = (\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}}) , \text{ si le critère } C_j \text{ est de type coût } (C_j \in Co). \quad (2.5)$$

Avec $c_j^+ = \max_i c_{ij}$ et $a_j^- = \min_i a_{ij}$

Étape 5 : Construction de la matrice de décision floue pondérée

La matrice floue pondérée est calculée en multipliant les valeurs de la matrice de décision floue normalisée par les poids des critères d'évaluation comme suit :

$$V = [\check{v}_{ij}]_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m ; j = 1, 2, \dots, n$$

$$\check{v}_{ij} = \check{r}_{ij} \otimes \check{w}_j \quad (2.6)$$

Étape 6 : Détermination de la solution idéale FPIS et la solution anti-idéale FNIS

La solution idéale positive floue FPIS (Fuzzy Positive Ideal Solution) notée A^+ et la solution idéale négative floue FNIS (Fuzzy Negative Ideal Solution) notée A^- sont données par :

$$A^+ = (\check{v}_1^+, \check{v}_2^+, \dots, \check{v}_n^+) \quad (2.7)$$

$$A^- = (\check{v}_1^-, \check{v}_2^-, \dots, \check{v}_n^-) \quad (2.8)$$

Pour des nombres flous triangulaires : $\check{v}_j^+ = \max_i \check{v}_{ij3}$ et $\check{v}_j^- = \min_i \check{v}_{ij1}$, $i = 1, 2, \dots, m$ et $j = 1, 2, \dots, n$

Étape 7 : Détermination des distances de chaque alternative par rapport FPIS et FNIS

La distance de chaque alternative A_i par rapport à FPIS et à FNIS est donnée par :

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d_v(\check{v}_{ij}, \check{v}_j^*) \quad i = 1, 2, \dots, m ; j = 1, 2, \dots, n \quad (2.9)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\check{v}_{ij}, \check{v}_j^-) \quad i = 1, 2, \dots, m ; j = 1, 2, \dots, n \quad (2.10)$$

La distance euclidienne entre deux nombres flous est calculée en utilisant l'équation suivante :

$$d(\check{x}_1, \check{x}_2) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\mu_{\check{x}_1}(x) - \mu_{\check{x}_2}(x))^2} \quad (2.11)$$

Étape 8 : Calcul des coefficients de proximité et rangement des alternatives

Cette étape consiste à associer à chaque alternative A_i un coefficient de proximité, ou coefficient de rapprochement au profil idéal (« Closeness Coefficient » : CCi), calculé en se basant sur les distances d_i^- et d_i^* comme suit :

$$CCi = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.12)$$

Les alternatives sont ensuite rangées en fonction des valeurs décroissantes des CCi . L'alternative ayant le plus grand coefficient de proximité sera le meilleur choix.

le coefficients de proximité est appelé (SFM' : The normalized Subjective Factor Measure).

Étape 9 : The normalized Subjective Factor Measure (SFM) pour la ième alternative

$$SFM_i = \frac{SFM'_i}{\sum_{i=1}^m (SFM'_i)} \quad (2.13)$$

Où $i = 1, 2, \dots, m$ et $\sum_{i=1}^m SFM'_i = 1$

Étape 10 : Calculer ' the Objective Factor Measure ' (OFM).

L'OFM de l'alternative au sens de la catégorie de prestations est calculé par une technique de normalisation classique :

$$OFM_i = [OFC_i * (\sum_{i=1}^m OFC_i^{-1})]^{-1} \quad (2.14)$$

Où OFC_i (the Objective Factor Cost) est le coût objectif factoriel (coût total) pour la i ème alternative et OFM_i est la mesure objective factorielle pour la i ème alternative, où $i = 1, 2, m$.

Etape 11 : Évaluer l'indice global de sélection de l'emplacement de l'entrepôt en intégrant à la fois le SFM et le OFM en utilisant l'équation

$$WLSli = [\alpha \times OFMi \oplus (1 - \alpha) \times SFMi] \quad (2.15)$$

Où la valeur de α dépend de l'attitude du décideur vis-à-vis des critères objectifs. Cette attitude de décision objective peut traiter efficacement les problèmes de décision où les poids des critères objectifs ne sont pas disponibles.

Sélectionner la meilleure solution associée à l'indice de sélection de l'emplacement de l'entrepôt ($WLSli$) le plus élevé.

Tableau 2 Les degrés de préférences selon l'échelle de SAATY

Désignation	Valeur	Fuzzification
Egal	1	(1,1,1)
Marginalement fort	3	(2,3,4)
Fort	5	(4,5,6)
Très fort	7	(6,7,8)
Extrêmement fort	9	(9,9,9)
Valeur intermédiaire	2	(1,2,3)
	4	(3,4,5)
	6	(5,6,7)
	8	(7,8,9)

Valeur Désignation 1 Égal 3 Marginalement fort 5 Fort 7 Très fort 9 Extrêmement fort
2, 4, 6, 8 Valeur intermédiaire

II.6 Problème d'Optimisation

Dans le domaine de gestion de la supply chain, nous cherchons toujours à maximiser les bénéfices et minimiser les coûts de transport. Ces objectifs à atteindre s'inscrivent dans le cadre des problèmes d'optimisation. Plusieurs méthodes sont développées afin d'aider à atteindre l'optimalité relativement aux décisions que les logisticiens doivent prendre (méthodes exactes, heuristiques et méta heuristiques)

II.6.1 Définition d'un problème d'optimisation

Un problème d'optimisation concerne l'exécution de méthodes spécifiques en quête d'un optimum. Ce dernier peut être une valeur maximisant ou minimisant une fonction f , dite fonction objectif ou fonction de coût ; elle est encore appelée critère d'optimisation (Sghaier, 2011). Il s'agit donc de trouver parmi l'ensemble des variables de décision, l'élément qui optimise ce critère. (Ejday, 2011) définit le concept d'optimisation comme comprenant deux phases principales : la modélisation et la résolution du problème. La phase de modélisation est elle-même divisée en trois étapes :

- L'identification des paramètres sur lesquels l'utilisateur va agir pour faire évoluer le système, appelés variables de décisions, que nous pouvons désigner par un vecteur \vec{u}

- La définition de la fonction coût ou fonction objectif qui va permettre d'évaluer l'état du système.

- La modélisation des contraintes auxquelles sont soumises les variables de décision.

La deuxième phase de résolution consiste à rechercher la valeur optimisant la fonction coût en appliquant l'algorithme d'optimisation choisi à cet effet. Le problème d'optimisation consiste alors à déterminer les variables de décision conduisant aux meilleures conditions de fonctionnement du système.

Un problème d'optimisation s'écrit de la manière suivante :

$$\min f(\vec{u}), \text{ sous la contrainte } \vec{u} \in U \text{ ou } U \text{ est un sous ensemble de } R^n$$

II.6.2 Optimisation du processus de consolidation et sélection du mode de transport optimal :

Le problème de consolidation et d'optimisation du processus de Cross-Docking sont des problématiques qui ne cessent de susciter l'intention de nombreux chercheurs du domaine de la logistique de manière générale.

(NA DENG, 2013) a étudié lors de sa thèse de doctorat un problème de consolidation intégrée dans la Supply Chain internationale, où une entreprise de fabrication américaine s'approvisionne plusieurs articles de Chine. Une stratégie proactive de consolidation des commandes est proposée pour améliorer la performance de la Supply Chain. Son approche consolide les articles au stade précoce en Chine en considérant le transport intérieur vers les destinations finales aux Etats-Unis. Cette stratégie est modélisée pour minimiser les coûts totaux en chargeant efficacement les articles dans un conteneur maritime en tenant compte des coûts de transport terrestre ultérieurs et des coûts de manutention, compte tenu de la capacité du conteneur et

des contraintes d'emballage. Deux problèmes d'optimisation combinatoire difficiles, tels qu'un problème de sélection de mode de transport (TL et LTL) et un problème d'emballage de bacs tridimensionnels, sont combinés dans le modèle. Plusieurs méthodologies de solution sont développées et évaluées pour résoudre les problèmes à grande échelle. Les résultats numériques montrent que les méthodes proposées permettent de réaliser jusqu'à 30 % d'économies par rapport aux pratiques actuelles d'expédition.

(Sarraj et al., 2014) a fourni dans son article publié en 2013 une première démonstration, par le biais d'une expérience de simulation, que les avantages prévus en termes d'efficacité du changement des schémas logistiques peuvent être confirmés lorsque les contraintes et la dynamique opérationnelles sont prises en compte. Pour étudier ce potentiel, une substitution de l'organisation logistique réelle par l'internet physique (IP) est mise en œuvre dans un modèle de simulation. Les protocoles proposés, basés sur des algorithmes, se concentrent respectivement sur le chargement des conteneurs modulaires à partir de commandes, la recherche des meilleurs chemins pour ces conteneurs depuis leur origine jusqu'à leur destination dans le réseau PI, et la consolidation efficace des conteneurs pour remplir les moyens de transport à chaque hub vers la destination.

(Yu et al., 2016) présentent un problème de distribution de cross-docking multi-période qui inclut des fabricants, des cross-docks et des clients. Le modèle est formulé pour prendre en compte plusieurs types de produits, la consolidation des commandes des clients et les fenêtres de temps qui se produisent dans chaque période. Le coût total de la distribution, qui comprend le coût de transport, le coût d'inventaire et le coût de pénalité, est minimisé.

(Kargari Esfand Abad et al., 2018) ont fourni un modèle intégré pour la coordination entre les décisions liées à la collecte de la cargaison chez les fournisseurs, l'acheminement des véhicules des fournisseurs vers le cross-dock, l'affectation des véhicules entrants au cross-dock, l'intégration et la consolidation de la cargaison dans le cross-dock, l'affectation de la cargaison triée aux véhicules sortants et l'acheminement des véhicules du cross-dock vers les clients. Le modèle de programmation mathématique fourni dans cette recherche a deux objectifs. Premièrement, il vise à minimiser le coût total du système et deuxièmement, il vise à la réduction des gaz à effet de serre. Il lui a permis d'obtenir des estimations plus précises de la date finale de livraison des produits aux clients. En outre, les considérations ci-dessus réduisent les coûts du système et, par conséquent, permettent de réaliser des économies.

(Agustina et al., 2014) présentent une analyse détaillée des plateformes cross-dock de Renault appelées ILN (International Logistics Networks), de leur processus de planification et de leurs flux physiques. Un modèle de programmation linéaire en nombres entiers est développé pour planifier conjointement les opérations de distribution et d'atelier dans une plateforme cross-dock de Renault. L'objectif est de minimiser le coût total composé du coût de transport (entrant et sortant), du coût des ressources internes et du coût de stockage. Des tests numériques hors ligne du modèle avec CPLEX, basés sur des données réelles pour un certain nombre de périodes passées, ont montré une réduction de 13% du coût total. Ces tests encourageants confirment à la fois la capacité de l'approche proposée à traiter des instances de taille réelle et les gains potentiels que l'on peut obtenir en prenant en compte le coût total.

(Agustina et al., 2014) ont étudié les opérations de cross docking pour s'assurer que les aliments peuvent être livrés juste à temps et avec un coût de livraison minimum y compris les coûts de stockage et de transport, et les coûts de pénalité pour les livraisons anticipées ou tardives. Cette recherche est la première à inclure toutes les opérations effectuées dans un entrepôt cross-dock à travers un modèle unique et complet, en incluant des contraintes pratiques pour les zones de livraison des clients et les fenêtres de livraison. La nouveauté réside dans la modélisation de l'efficacité de la distribution alimentaire et dans l'aide apporté aux distributeurs alimentaires pour fournir un meilleur service de livraison aux consommateurs pour les articles sensibles au facteur temps au coût logistique le plus bas.

L'objectif deuxième de ce processus est de remplir aux mieux les moyens de transport et de minimiser les flux. A chaque intervalle de temps, hormis la destination finale, les commandes sont positionnées dans une file d'attente les commandes seront ensuite sélectionnées de manière à remplir au mieux les moyens de transport (nous prenons l'hypothèse que l'on peut disposer autant de moyens dont on a besoin). Ce problème d'affectation des commandes à des moyens de transport de façon à en utiliser un minimum est un problème bien connu appelé : problème de bin-packing.

Une fois les conteneurs regroupés par destinations, ils sont associés à des moyens de transport. Cela crée un besoin d'optimiser le taux de remplissage de chaque moyen, afin de minimiser le nombre de moyens utilisés. Cela peut être modélisé comme suit : étant donné un ensemble d'objets, chacun avec sa propre priorité, taille et poids, ainsi qu'un ensemble de bacs avec leurs capacités individuelles, trouver le nombre minimum de bacs afin que chaque conteneur soit affecté à un moyen de transport. Le problème du bin-packing a été abordé depuis les années 50 par de nombreux chercheurs en recherche opérationnelle et en optimisation combinatoire, comme le classique (Gilmore and Gomory, 1963).

Le problème de chargement minimisant le nombre de moyens chargés peut être formulé mathématiquement comme le problème de bin-packing bidimensionnel suivant :

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^{J^c} y_j \quad (1)$$

y_j : utilisation du moyen de transport j (1 si le moyen j est utilisé sinon 0)

x_j^i : affectation de la commande i au moyen de transport j

c_i : Taille de la commande i et C la taille du moyen de transport

w_i : poids de la commande et W la capacité du moyen de transport

$$\sum_{i \in I} x_j^i c_i < C y_j \quad j \in \{1, \dots, k\} \quad 2$$

$$\sum_{i \in I} x_j^i w_i < W y_j \quad j \in \{1, \dots, k\} \quad 3$$

$$\sum_{j=1}^{J^c} x_j^i = 1, \quad i \in \{1, \dots, k\} \quad 4$$

$$x_j^i \in \{0,1\}, \quad i \in \{1, \dots, k\} \quad j \in \{1, \dots, k\}$$

$$y_j \in \{0,1\}, \quad j \in \{1, \dots, k\}$$

La fonction objectif consiste à minimiser le nombre de moyens utilisés (équation (1)). Trois contraintes existent, respectivement pour s'assurer de ne pas dépasser le volume moyen (longueur) et la capacité de poids (Équation (2), Équation (3)), et que chaque commande est affectée à un et un seul moyen (équation (4)).

Ce problème combinatoire est connu pour être NP-difficile. La difficulté de trouver la solution optimale croît de façon exponentielle avec le nombre de conteneurs PI. Un algorithme Branch-and-Bound basé sur une relaxation de programmation linéaire pourrait fournir une solution optimale. Pourtant, les performances d'une telle méthodologie limitent son utilisation aux problèmes à petite échelle lorsqu'un temps de résolution rapide est critique. Pour les problèmes à grande échelle, des approches heuristiques sont utilisées dans le but de générer des solutions quasi optimales en peu de temps.

First Fit (FF) : Initialement, un seul bac est considéré, et les objets sont chargés dans le bac en fonction de leur ordre d'arrivée. Lorsqu'il n'y a pas assez d'espace dans le premier bac pour un objet donné, il est chargé dans le deuxième bac sans fermer le premier. Ensuite, l'objet suivant est tenté d'entrer dans le premier bac avant le second, à moins que le premier ne soit plein et donc fermé, et ainsi de suite.

First Fit Decreasing (FFD) : Sachant que le critère de tri selon crucial pour la qualité de la solution (Maia and Cerra, 2009), la méthode FFD consiste à trier les objets par ordre décroissant de leur taille puis à les charger dans les bacs par commande, en utilisant la méthodologie First Fit.

Best Fit (BF) : Comme dans l'heuristique FF, les objets sont triés par arrivée. La différence est que dans BF, un objet est essayé en premier dans le bac le plus plein parmi tous les bacs ouverts, et s'il n'y a pas assez de place, il est essayé dans le deuxième bac le plus plein, et ainsi de suite.

Meilleur ajustement décroissant (BFD) : L'heuristique BFD diffère de l'heuristique BF en triant d'abord les objets par ordre de taille décroissante. En général, le FFD et le BFD donnent de meilleures solutions que les autres ((Maia and Cerra, 2009) ; Simchi-Levi 1994).

L'expérience de (Rochdi Saradj, 2013) Nous a emmené à déduire que le FFD est beaucoup plus précis et nécessite moins de temps de calcul car il ne nécessite pas de trier les bacs en fonction de leur taux de remplissage.

III. 7 Implémentation sur logiciel

Il existe actuellement plusieurs logiciels commerciaux permettant de résoudre des modèles de programmation mixte en nombres entiers, tels que CPLEX, Gurobi et LINGO. CPLEX utilise l'algorithme branch_and-cut avec certaines techniques de pré-resolution, des plans de coupe, des stratégies de recherche et des techniques heuristiques pour résoudre des modèles de programmation linéaire en nombres entiers (PLNE). Gurobi est un progiciel d'optimisation haute performance pour la programmation linéaire, la programmation quadratique et la programmation en nombres entiers mixtes. Il utilise des processeurs multi-cœur et le traitement parallèle, et peut résoudre rapidement des problèmes difficiles. Gurobi Optimizer utilise des plans de coupe et des algorithmes heuristiques pour résoudre les PLNE. LINGO utilise l'algorithme branch and bound pour trouver des solutions pour MIP. En général, il faut

beaucoup plus de temps pour trouver des solutions que CPLEX et Gurobi. Selon les tests de référence de Mittelman sur différents solveurs PLNE, y compris Gurobi, CPLEX et d'autres solveurs commerciaux et non commerciaux, Gurobi est le solveur le plus rapide. Cependant, quelques modèles PNE ne peuvent pas être résolus par des progiciels commerciaux. De plus, leurs temps de calcul dépendent des caractéristiques spécifiques des modèles. (DENG, 2013)

Conclusion

Le but de ce chapitre était d'introduire les concepts utilisés dans ce projet. Pour cela, nous avons d'abord défini quelques notions clés abordées dans notre étude et qui tournent autour de la Supply chain incluant ainsi le concept de la supply chain globale et la supply chain du secteur des services pétroliers. Puis nous avons présenté deux concepts innovants relatifs à notre problématique comme la consolidation et le Cross-Docking. Puis finalement, une revue de la littérature sur les différents aspects de la sélection de l'emplacement idéale à travers l'approche d'aide à la décision multicritères floue ainsi qu'une présentation des différents problèmes d'optimisation liés aux processus de consolidation y compris le Bin Packing., et enfin les possibilités d'implémentation d'un problème d'optimisation dans un solveur.

Chapitre 3 : Conception de la solution

Dans ce chapitre nous allons passer par 4 principales étapes, en premier lieu nous avons effectué une simulation comparative entre de l'état Avant/Après la mise en place du processus de consolidation et montrer par la suite le gain engendré par ce dernier en prenant les deux critères les plus déterminants qui sont le lead time total et les coûts logistiques. Après cela nous avons abordé le sujet de sélection de la location la plus adéquate parmi cinq (05) suivant des critères objectifs et subjectifs en utilisant la méthode MCDM. Nous avons ensuite modélisé mathématiquement le processus de consolidation des commandes à travers une optimisation linéaire pour but de tirer gain après la concrétisation de cette stratégie. Et pour finir nous avons automatisé l'approche de consolidation optimale en implémentant le modèle mathématique grâce au programme Python.

III.1 Définition du nouveau modèle logistique

Après détection des dysfonctionnements dans le chapitre 1 et après concertation avec l'équipe logistique de Schlumberger, nous avons élaboré une stratégie de consolidation des commandes de tous les pays du NAF. Pour ce faire, un centre de consolidation (plateforme logistique) serait inclus dans le modèle logistique international. Cette dernière adaptera une stratégie de Cross-Docking (vu dans le chapitre 2), en ayant pour fonction de réceptionner les commandes reçues à partir des 3 hubs, elles seront ensuite consolidées, et triés par destination finale et par type de produit (M&S et produits chimiques), pour finalement être expédiées aux pays du NAF. Le centre de consolidation inclura aussi certaines fonctions de manutentions (chargement et déchargement) et de documentation pour la procédure import/export.

La figure n°23 schématise la nouvelle logistique.

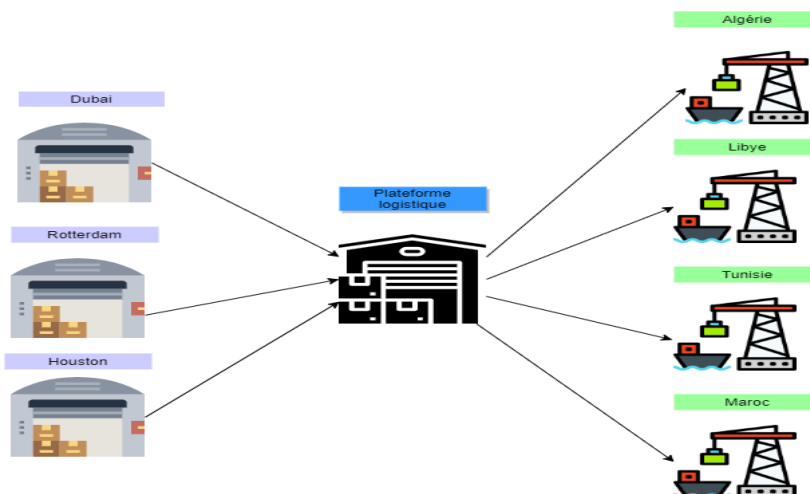


Figure 23 Schéma illustratif du nouveau modèle logistique.

III.2 Simulation du nouveau modèle logistique

Pour une meilleure fiabilité des résultats nous avons pris comme référence le mois d'Août de l'année 2019, période pendant laquelle l'activité était au pic durant ces trois dernières années.

Comme exemple illustratif nous avons sélectionné le hub de Dubaï comme point de départ des commandes et l'Algérie comme point de réception tandis que l'application de cette démarche sur les autres hubs et les autres pays du NAF seront présentés en annexe n°.2,3,4,5,6.

Nous avons sélectionné la ville de **Marseille** comme ville référentielle ou le centre de distribution sera placée et cela vu que la majorité des expéditions (80 %) passent par cette ville avant de prendre la cargaison vers les pays du NAF (ce choix d'emplacement sera justifié dans la partie suivante).

Nous allons comparer le modèle actuel avec le nouveau modèle et voir le gain en termes de Lead Time et coût de transport et de manutention.

III.2.1 Coûts de transport et de manutention

La simulation des coûts engendrés par la nouvelle approche logistique prendra en compte les frais de transport depuis les différents hubs vers le CC⁸, les coûts de manutention dépensé au niveau du CC ainsi que les coûts de transport depuis le CC vers chacun des pays du NAF. Ces résultats seront ensuite comparés aux coûts engendrés par l'ancienne approche.

III.2.1.1 Coûts de transport à partir des Hubs vers le Centre de consolidation :

Une succession d'étapes a été déroulée pour simuler les coûts engendrés dans le cas ou la consolidation des commandes serait appliquée.

ÉTAPE 1 :

Calculer les poids (en Kg) en multipliant le nombre d'expéditions (par mois) par la médiane de chaque catégorie de poids suivantes :

- 0-45 KG (médiane : 22,5kg)
- 45-70 KG (médiane : 60Kg)
- 70-100 KG (médiane : 85 Kg)
- 100-200 KG (médiane : 150 Kg)
- 200-300 KG (médiane : 250Kg)
- Heavy (>300 Kg) : 300 KG

Les résultats de cette étape sont regroupés dans le tableau n°.3 :

⁸ Centre de consolidation

Tableau 3 les poids des différents types de commande expédiées (cas de Dubai)

Catégories	Nombre d'expéditions par mois	Poids en KG par mois
Chemicals & Logistics	14	
0-45KG	6	132
70-100KG	1	85
Heavy	7	2100
Drilling & Evaluation	255	
0-45KG	147	3234
100-200KG	3	450
200-300KG	5	1250
45-70KG	3	180
Heavy	97	29100
Surface Equipment & Services	1379	
0-45KG	504	11088
100-200KG	38	5700
200-300KG	8	2000
45-70KG	53	3180

70-100KG	33	2805
Heavy	743	222900
Infrastructure	436	
0-45KG	159	3498
100-200KG	13	1950
200-300KG	8	2000
45-70KG	13	780
70-100KG	10	850
Heavy	233	69900

ÉTAPE 2 :

Classer les produits selon deux types :

- Produits chimiques : Chemicals and logistics
- M&S : elle regroupe les équipements suivants : Drilling & Evaluation, surface equipment & Services et infrastructure.

Cette classification est établie car les M&S et les produits chimiques ne peuvent pas être transportés dans le même convoi.

ÉTAPE 3 :

Calculer Le poids totale (en tonnes) de chaque type, puis affecter le poids total des produits chimiques au mode de transport maritime (car les produits chimiques ne peuvent être transporté que par voie maritime), tant dis que le poids total des produits M&S seront affecté à 50 % au mode de transport aérien, et à 50 % au mode de transport maritime (Cette répartition a été établie suivant l'historique des expéditions du mois d'Aout 2019)

ÉTAPE 4 :

Fractionner les poids affectés à chaque mode de transport avec une démarche de quatre (04) expéditions par semaine par voie maritime (vu que la fréquence de transport à partir de Dubaï vers Marseille par transport maritime est d'une fois par semaine) et une démarche de quinze (15) expéditions par voie aérienne (vu que la fréquence de transport à partir de Dubaï vers Marseille par transport aérien est d'une fois par 2 jours).

ETAPE 5 :

Déduire le nombre de palettes et conteneurs potentiellement utilisés pour chaque mode de transport, sachant que chaque conteneur 20 pieds (20') a une capacité de 21 tonnes et la capacité massique d'une palette est de 2300 kg.

Nous aurons donc comme résultat : (2 conteneurs 20 std chaque semaine et 5 palettes chaque 2 jours) des M&S et 1 palette des produits chimiques chaque semaine.

ETAPE 6 :

Calculer le Coût total de transport par mois en prenant en compte les prix extraits d'un devis fourni par un transitaire (freight forwarder) :

_Prix unitaire de transport d'un conteneur 20 pieds (20') : 2331 €

_Coût de transport aérien par kilogramme : 0.2 €

_Coût de transport maritime d'une palette : 350 €

Le coût total serait donc de donc de : **58930 \$**

Les résultats des étapes 2,3,4,5,6 sont résumés dans le tableau n°.4 :

Tableau 4 les Coûts de transport en amont de Dubaï vers le centre de distribution

	Poids total par mois (en tonnes)	Mode de transport	Poids en tonnes par semaine ' sea '	Poids en tonnes par 2 jours ' pour air '	Nbre de conteneur ou palettes utilisés 20'std	Coût de transport par semaine	Coût de transport par mois	Coût total par mois
Chimiques	2,32	Maritime	0,58	/	1 palettes	350	1 400,00	58930 €
M&S	360,89	Maritime	45,11	/	2 cntnrs et 2 palettes	5361,00	21444,01	
		Aérien	/	12,03	/	/	36086,50	

III.2.1.2 Coûts de manutention au niveau du centre de consolidation :

Calculer le nombre d'expéditions arrivés des trois hubs vers le centre de consolidation (en amont) et le nombre d'expéditions livrées aux pays du NAF (En aval) comme le montre le tableau n°.5

Tableau 5 le nombre de palettes et conteneurs utilisés en amont et en aval au niveau de centre de distribution

	Chaque 2 jours	Chaque semaine
Nombre de conteneur en amont	/	5
Nombre de conteneur en aval	/	5
Nombre de palette en amont	5	/

Vu que la démarche de Cross-Docking est adapté au niveau du centre de consolidation, les coûts de stockage ne seront pas comptabilisés

Nous comptabilisons donc uniquement les coûts de manutention suivants : chargement, déchargement des conteneurs, déchargement des palettes, préparation des documents et aussi le prix de transport de conteneurs du port vers le centre de distribution et du centre de distribution vers le port. Comme le montre le tableau n°.6

Tableau 6 Coûts de manutention au niveau de centre de consolidation

	Coût unitaire	Par 2 jours	Par semaine	Par mois
Coût de documentation (par expédition)	17 €	85 €	206,22 €	2099,88 €
Déchargement d'un conteneur 20'	350 €	/	1750 €	7000 €
Chargement d'un conteneur 20'	350 €	/	1 750 €	7000 €
Déchargement des palettes (air)	70 €	350 €	/	5250 €
Coût de transport d'un conteneur du port vers l'entrepôt	320 €	/	3 200 €	12 800 €
Coût total				34 149,88 €

Le coût de manutention au mois d'Aout 2019 est de : **34 149,88 €**

III.2.1.3 Coûts de transport du centre de consolidation vers les pays du NAF:

Après réception des commandes des différents pays du NAF, elles seront dispatchées suivant la destination de chaque commande, Les coûts de transport depuis le CC vers l'Algérie sont présentés dans le tableau n°.7

Tableau 7 le poids des types de produits reçus et le prix total de transport au niveau (cas de l'Algérie)

Produit	Poids des expéditions par mois	Poids des expéditions par semaine	Poids en kg	Poids en tonnes	Coût de transport
Chemicals & Logistics	161	40,25			2 991,85 €
0-45KG	32	8,00	176	3,8	
Heavy	29	7,25	3625		
Drilling & Evaluation	143	35,75			
0-45KG	37	9,25	203,5	103,35	
100-200KG	5	1,25	187,5		
200-300KG	5	1,25	312,5		
Heavy	92	23,00	6900		
Surface Equipment & Services	1116	279,00			
0-45KG	249	62,25	1556,25		
100-200KG	22	5,50	825		
200-300KG	14	3,50	875		
45-70KG	21	5,25	315		
70-100KG	15	3,75	337,5		
Heavy	795	198,75	59625		
Infrastructure	633	158,25			
0-45KG	188	47,00	0		
100-200KG	14	3,50	525		
200-300KG	3	0,75	187,5		
Heavy	420	105,00	31500		

Coût total de transport du centre de consolidation vers l'Algérie est de : **2 991,85 €**

III.2.1.4 Comparatif du Coût global entre la nouvelle et l'ancienne approche :

La Sommation des trois (03) coûts calculés plus haut nous donne un résultat :

Coûts de transports des hubs vers le centre de consolidation + Coûts de manutention au niveau du centre de consolidation + Coûts de transport du centre de consolidation vers les pays du NAF = **138 287,80 €**

Le Coût totale de transport du modèle traditionnel (sans cross-Docking) est de:

416 575,618 €

Bénéfice = 416575.618 € – 138287,80 € = 278 288,82 (66,8 %)

Les calculs effectués sont résumés dans le tableau n°.8 :

Tableau 8 tableau comparatif des Coûts de transport entre l'ancien modèle logistique et le nouveau modèle logistique

Ancien modèle logistique	Nouveau modèle logistique			Gain
Les coûts de transport et manutention	Les coûts de transport en amont	Les coûts de transport en Aval	Les coûts de manutention	278 288,82 (66,8 %)
416 575,618 €	82 925,82 €	21 212,00 €	34 149,48 €	

On peut déduire que la stratégie de consolidation diminue les coûts logistiques, et ceci revient essentiellement à la réduction du nombre d'expéditions.

III.2.2 Lead time

Nous allons intervenir lors du comparatif du Lead time entre l'approche traditionnelle et la nouvelle approche uniquement à partir de la préparation des commandes au niveau des hubs jusqu'à la réception de ces dernières dans chaque base. Le transit Time⁹ et le local delivery time¹⁰ (les deux dernières étapes du process E to E) seront donc les deux seuls lead times qui seront comptabilisés.

III.2.2.1 Approche traditionnelle (ancien modèle logistique):

les données du tableau n°.9 ont été récolté depuis une base de données des expéditions effectué le mois d'Aout 2019.

⁹ Temps de transport

¹⁰ Temps d'expédition locale.

Tableau 9 le lead time entre Dubaï et les Pays de NAF de l'ancienne approche logistique

HUB	Destination	Transit time (jours)	Local Delivery time (jours)	Total lead Time
Dubaï	Algérie	40	50	90
	Tunisie	32	45	77
	Libye	31	45	76
	Morocco	45	40	85

III.2.2.2 Nouvelle approche (nouveau modèle logistique) :

Le local delivery de chaque pays a été estimé par les chargés d'import/export de l'entreprise tandis que le transit time de chaque connexion (HUB – CC et CC – pays NAF) a été récolté des sites web de CMA-CGM et ARAMEX. Tableau n°.10

Tableau 10 le lead time entre Dubaï et les pays du NAF suivant la nouvelle approche logistique

Hub	Transit time du Hub au centre de consolidation (jours)	Cross dock Time (jours)	Destination	Lead time transport (jours)	Local delivery Time (jours)	Total Lead time (jours)
Dubaï	32	7	Algérie	3	7-15	57
			Libye	4	15	58
			Tunisie	2	15	56
			Morocco	3	10	52

Le graph de la figure n°24 résume le gain en termes de Lead Time entre les deux approches :

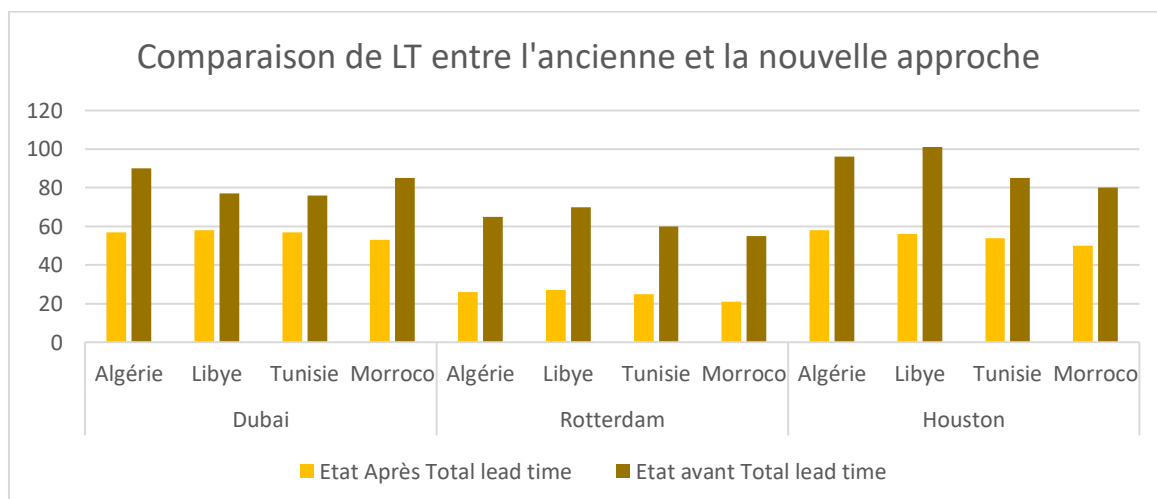


Figure 24 Comparaison de LT entre la nouvelle et l'ancienne approche

Comme illustré dans les tableaux et le graphe ci-dessus, le lead time total a considérablement diminué principalement au niveau du local Delivery, et ceci revient aux avantages de la consolidation qui permet de faciliter le processus de dédouanement, et cela en réduisant le nombre d'expéditions

III.3 Choix de la localisation optimale du centre de consolidation

Ce point est la 2ème partie de notre solution. Après avoir confirmé et évalué la rentabilité du processus de consolidation. Nous allons effectuer une sélection de l'emplacement adéquat du centre de consolidation où le processus de Cross-Docking sera établi.

Cet emplacement sera sélectionné parmi d'autres emplacements. Pour ce faire nous appliquerons la méthodologie d'aide multicritères à la décision floue (AMDF)

III.3.1 Etape 1 : Identifier les potentiels emplacements et les critères de sélection.

Après concertation avec l'équipe logistique de l'entreprise, nous avons décidé de sélectionner cinq (05) localisations¹¹ qui seront sujet de notre analyse :

- Barcelone (Espagne)
- Marseille (France)
- Malte
- Tanger (Maroc)
- Zarzis (Tunisie)



Figure 25 Map des villes stratégiques sélectionnées

Plusieurs aspects rentrent en jeu pour déterminer l'emplacement adéquat, ils concernent tous les critères qui peuvent éventuellement influencer le choix de l'emplacement. Nous avons donc sélectionné certains de ces critères qui sont résumé dans le tableau n°11 :

¹¹ Le choix s'est fait d'une manière partiellement intuitive, aussi par le fait que la majorité des expéditions internationales à destination des pays du NAF ont eu comme point d'escale ces 5 villes.

Tableau 11 Les critères de sélection de l'emplacement optimal

Critères subjectifs	C1	Caractéristiques humaines	"Main d'œuvre qualifiée (LC Disponibilité de la mains d'œuvre "
	C2	Infrastructures	"Existence des modes de transport System de communication Qualité et disponibilité des modes de transport Existence des d'infrastructures logistiques "
	C3	Macro environnement	"Politique du gouvernement Réglementations industrielles, lois Plan et urbanisation "
Critères objectifs	C4	Coûts	Coûts de main d'œuvre Coûts de transport Mesures et structures des taxes Subventions financières Coûts de manutention
	C5	Marché	Proximité aux pays du NAF (M1) Proximité aux hubs (M2)

De manière plus détaillée ces critères signifient respectivement :

C1 : Caractéristiques humaines :

Une main d'œuvre disponible et qualifiée en terme de gestion des processus de Cross Docking et d'entreposage, est nécessaire pour assurer le bon déroulement du processus d'approvisionnement.

C2 : Infrastructures :

La disponibilité des infrastructure logistiques (entrepôts, plateformes logistiques, ports ...) et des moyens de transport (terrestre, aérien et maritime) rapides permettent d'assurer l'approvisionnement en temps voulu des clients en produits finis.

C3 : Macro environnement :

Stabilité des décisions politiques ou des changements politiques dans cette région qui garantissent l'aide et les subventions gouvernementales et des politiques industrielles favorables qui influencent de manière vitale le choix du lieu d'implantation.

C4 : Coûts :

Ils peuvent être exprimés en unités monétaires. Les coûts peuvent être estimés pour différentes alternatives de localisation en utilisant une analyse économique standard.

La direction a pour objectif de minimiser les coûts pertinents combinés. Cette partie inclus les coûts de manutentions, de documentation et de transport local.

C5 : Marché :

Les distances géographiques entre chaque hubs et chacune des cinq (05) villes sélectionnées ci-dessus ainsi que les distances entre ces dernières et chacun des pays du NAF.

III.3.2 ETAPE 2 : Calculer les poids des critères subjectifs à l'aide de la méthode FAHP

Pour évaluer les trois (03) critères subjectifs, nous avons déployé la méthode FUZZY AHP. Pour se faire 4 managers (décideurs) ont remplis le tableau n° 12 suivant en s'appuyant sur un barème appelé degrés de préférences comme le montre le tableau n° 13.

Tableau 12 la matrice utilisée pour la détermination de poids des critères subjectifs

	C1	C2	C3
C1	1		
C2		1	
C3			1

Tableau 13 Les degrés de préférences selon l'échelle de SAATY

Désignation	Valeur	Fuzzification
Egal	1	(1,1,1)
Marginalement fort	3	(2,3,4)
Fort	5	(4,5,6)
Très fort	7	(6,7,8)
Extrêmement fort	9	(9,9,9)
Valeur intermédiaire	2	(1,2,3)
	4	(3,4,5)
	6	(5,6,7)

	8	(7,8,9)
--	---	---------

Les 4 décideurs qui ont évalué le poids des critères sont :

Mourad BELHOUSSE : Manager TLM

Pawel PAWLAK : Manager PSD

Sofiane AMEUR : Manager Sales

Rami SARKIS : Manager P&S

a) Résultats de l'évaluation des critères par les managers :

Exemple de remplissage de la matrice : Le manger TLM juge que le critère C2 est marginalement fort par rapport à C1 donc l'intersection des deux cases C2-C1 portera le nombre 9, même principe sera appliqué aux autres colonnes. Les autres résultats sont mentionnés dans le tableau n° 14

Tableau 14 l'évaluation des critères par les décideurs

TLM			
	C1	C2	C3
C1	1	1/9	1
C2	9	1	5
C3	1	1/5	1
Sales manager			
	C1	C2	C3
C1	1	1/9	1
C2	9	1	9
C3	1	1/9	1

PSD			
	C1	C2	C3
C1	1	1/9	1
C2	9	1	5
C3	1	1/5	1
P&SC			
	C1	C2	C3
C1	1	1/9	1/5
C2	9	1	5
C3	5	1/5	1

b) La fuzzification des réponses :

En utilisant l'échelle de SATY nous aurons les résultats regroupés dans le tableau n° 15

Tableau 15 la fuzzification des réponses (poids des critères)

TLM				PSD			
	C1	C2	C3		C1	C2	C3
C1	(1,1,1)	(1/9,1/9,1/9)	(1,1,1)	C1	(1,1,1)	(1/9,1/9,1/9)	(1,1,1)
C2	(9,9,9)	(1,1,1)	(4,5,6)	C2	(9,9,9)	(1,1,1)	(4,5,6)
C3	(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	C3	(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)
Sales manager				P&SC			
	C1	C2	C3		C1	C2	C3
C1	(1,1,1)	(1/9,1/9,1/9)	(1,1,1)	C1	(1,1,1)	(1/9,1/9,1/9)	(1/6,1/5,1/4)
C2	(9,9,9)	(1,1,1)	(9,9,9)	C2	(9,9,9)	(1,1,1)	(4,5,6)
C3	(1,1,1)	(1/9,1/9,1/9)	(1,1,1)	C3	(4,5,6)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)

c) Calculer le Pair-wise Matrix

Nous utilisons la formule (2.2) citée dans le chapitre 2 pour obtenir le Pair-wise Matrix du tableau n°16

Tableau 16 Pair-wise Matrix

Total	C1	C2	C3
C1	(1,1,1)	(1/9,1/9,1/9)	(1/6,0.8,1)
C2	(9,9,9)	(1,1,1)	(4,6,9)
C3	(1,2,6)	(1/9,0.178,1/4)	(1,1,1)

$$a_{12} = \min_k \{a_{12}^k\} = \min_k \left\{ \frac{1}{9}; \frac{1}{9}; \frac{1}{9}; \frac{1}{9} \right\} = \frac{1}{9}$$

$$b_{12} = \frac{1}{4} \sum_{k=1}^4 b_{12}^k = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} \right) = \frac{1}{9}$$

$$c_{12} = \max_k \{c_{12}^k\} = \max_k \left\{ \frac{1}{9}; \frac{1}{9}; \frac{1}{9}; \frac{1}{9} \right\} = \frac{1}{9}$$

d) Calculer le fuzzy geometric mean value \check{r}_i

Tableau 17 fuzzy geometric mean value

Total	C1	C2	C3	\check{r}_i
C1	(1,1,1)	(1/9,1/9,1/9)	(1/6,0.8,1)	(0,2645 ; 0,446 ; 0,481)
C2	(9,9,9)	(1,1,1)	(4,6,9)	(3,301 ; 3,78 ; 4,327)
C3	(1,2,6)	(1/9,0.178,1/4)	(1,1,1)	(0,48 ; 0,708 ; 1,144)

$$r1 = \left(\left(1 * \frac{1}{9} * \frac{1}{6} \right)^{\frac{1}{3}} ; \left(1 * \frac{1}{9} * 0,8 \right)^{\frac{1}{3}} ; \left(1 * 1 * \frac{1}{9} \right)^{\frac{1}{3}} \right)$$

$$= (0,2645 ; 0,446 ; 0,481)$$

e) Calcule de fuzzy weight w_i :

$$w_i = r_i * (r_1 + r_2 + r_3)^{-1}$$

Tableau 18 le poids des critères

	r_i	w_i
C1	(0,2645 ; 0,446 ; 0,481)	(0,04 ; 0,09 ; 0,12)
C2	(3,301 ; 3,78 ; 4,327)	(0,55 ; 0,77 ; 1,07)
C3	(0,48 ; 0,708 ; 1,144)	(0,08 ; 0,144 ; 0,283)

$$w_1 = r_1 * (r_1 + r_2 + r_3)^{-1}$$

$$= (0,2645 ; 0,446 ; 0,481) * \left(\frac{1}{5,952} + \frac{1}{4,934} + \frac{1}{4,0455} \right)$$

$$= (0,04 ; 0,09 ; 0,12)$$

III.3.3 Etape 3 : Application de la méthode FTOPSIS pour évaluation des critères

Après la détermination de poids de chaque critère, nous allons entamer la phase de l'évaluation des alternatives.

Pour cela, nous utiliserons la méthode Fuzzy Topsis, qui est basée sur la recherche de l'alternative la plus proche de la solution idéale (c.-à-d. L'alternative qui maximise les critères de nature « gain » et qui minimise les critères de nature « coût ») et la plus lointaine de la solution anti-idéale (c.-à-d. l'alternative qui minimise les critères de nature « gain » et qui maximise les critères de nature « coût »). Dans notre cas toutes les alternatives sont de nature « gain ».

Pour cela, les décideurs suivants : Mahmoud Cherchali, Dorra BESBASI et Andreas MILITARO respectivement P&SC manager de l'Algérie, Tunisie et Libye, ont évalué chaque ville en remplissant le tableau n° 19 :

Tableau 19 Matrice utilisée pour l'évaluation des alternatives

	C1	C2	C3
Marseille			
Barcelone			
Malte			
Tanger			
Zarzis			

L'échelle d'évaluation des alternatives est donnée suivant le tableau n°20 :

Tableau 20 Echelle de l'évaluation des alternatives

Le terme	Nombre flou
Très faible	(1 ; 1 ; 3)
Faible	(1 ; 3 ; 5)
Moyenne	(3 ; 5 ; 7)
Élevé	(5 ; 7 ; 9)
Très élevé	(7 ; 9 ; 9)

a) L'évaluation des alternatives par les décideurs

Le remplissage du tableau 19 par chaque manager a donné les résultats du tableau n° 21 :

Tableau 21 Réponse des décideurs par rapport à l'évaluation des alternatives

	C1			C2			C3		
	P&SC dz	P&SC LY	P&SC Tn	P&SC dz	P&SC LY	P&SC Tn	P&SC dz	P&SC LY	P&SC Tn
Marseille	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé
Barcelone	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Malte	Élevé	Élevé	Élevé	Moyenne	Moyenne	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé
Tanger	Élevé	Élevé	Élevé	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Zarzis	Élevé	Élevé	Élevé	Moyenne	Élevé	Moyenne	Élevé	Élevé	Élevé

b) La fuzzification des réponses

En utilisant le tableau n° 20 de l'échelle de l'évaluation des alternatives, nous obtenons les résultats du tableau n° 22.

Tableau 22 Fuzzification des évaluations des alternatives

	C1			C2			C3		
	P&SC dz	P&SC LY	P&SC Tn	P&SC dz	P&SC LY	P&SC Tn	P&SC dz	P&SC LY	P&SC Tn
Marseille	(7 ; 9 ; 9)	(7 ; 9 ; 9)	(7 ; 9 ; 9)	(7 ; 9 ; 9)	(7 ; 9 ; 9)	(7 ; 9 ; 9)	(7 ; 9 ; 9)	(7 ; 9 ; 9)	(7 ; 9 ; 9)
Barcelone	(5 ; 7 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)	(3 ; 5 ; 7)	(3 ; 5 ; 7)	(3 ; 5 ; 7)
Malte	(5 ; 7 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)	(3 ; 5 ; 7)	(3 ; 5 ; 7)	(5 ; 7 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)
Tanger	(5 ; 7 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)	(3 ; 5 ; 7)	(3 ; 5 ; 7)	(3 ; 5 ; 7)	(3 ; 5 ; 7)	(3 ; 5 ; 7)	(3 ; 5 ; 7)
Zarzis	(5 ; 7 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)	(3 ; 5 ; 7)	(5 ; 7 ; 9)	(3 ; 5 ; 7)	(5 ; 7 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)

c) Construire la matrice de décision combinée :

En utilisant la formule (2.1), nous aurons comme résultat la matrice de décision combinée :

Tableau 23 Matrice de décision combinée

	C1	C2	C3
Marseille	(7 ; 9 ; 9)	(7 ; 9 ; 9)	(7 ; 9 ; 9)
Barcelone	(5 ; 7 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)	(3 ; 5 ; 7)
Malte	(5 ; 7 ; 9)	(3 ; 5.67 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)
Tanjer	(5 ; 7 ; 9)	(3 ; 5 ; 7)	(3 ; 5 ; 7)
Zarzis	(5 ; 7 ; 9)	(3 ; 5.67 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)

$$a_{13} = \min_k \{a_{13}^k\} = \min\{7; 7; 7\} = 7$$

$$b_{13} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 b_{13}^k = \frac{1}{3}(9 + 9 + 9) = 9$$

$$c_{13} = \max_k \{c_{13}^k\} = \max\{9; 9; 9\} = 9$$

d) Calcul de la matrice de décision floue normalisée :

Lors de ce calcul nous allons utiliser les formule (2.4) et (2.5) et comme les critères subjectifs utilisés sont tous de type bénéfique, nous aurons donc à utiliser uniquement la formule (2.4) : Les résultats sont mentionnées dans les tableau n°24 et 25.

Tableau 24 La matrice de décision floue normalisée 1

Poids de critères	(0,04 ; 0,09 ; 0,12)	(0,55 ; 0,77 ; 1,07)	(0,08 ; 0,144 ; 0,283)
Marseille	(7 ; 9 ; 9)	(7 ; 9 ; 9)	(7 ; 9 ; 9)
Barcelone	(5 ; 7 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)	(3 ; 5 ; 7)
Malte	(5 ; 7 ; 9)	(3 ; 5,67 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)
Tanger	(5 ; 7 ; 9)	(3 ; 5 ; 7)	(3 ; 5 ; 7)
Zarzis	(5 ; 7 ; 9)	(3 ; 5,67 ; 9)	(5 ; 7 ; 9)
Cj+	9	9	9

$$c_3^+ = \max c_{i3} = \max\{9; 7; 9; 7; 9\}$$

Tableau 25 la matrice de décision floue normalisée 2

	C1	C2	C3
Marseille	(0,78 ; 1,00 ; 1,00)	(0,78 ; 1,00 ; 1,00)	(0,78 ; 1,00 ; 1,00)
Barcelone	(0,56 ; 0,78 ; 1,00)	(0,56 ; 0,78 ; 1,00)	(0,33 ; 0,56 ; 0,78)
Malte	(0,56 ; 0,78 ; 1,00)	(0,33 ; 0,63 ; 1,00)	(0,56 ; 0,78 ; 1,00)
Tanger	(0,56 ; 0,78 ; 1,00)	(0,33 ; 0,56 ; 0,78)	(0,33 ; 0,56 ; 0,78)
Zarzis	(0,56 ; 0,78 ; 1,00)	(0,33 ; 0,63 ; 1,00)	(0,56 ; 0,78 ; 1,00)

$$\begin{aligned} \check{r}_{13} &= \left(\frac{a_{13}}{c_3^+}, \frac{b_{13}}{c_3^+}, \frac{c_{13}}{c_3^+} \right) = \left(\frac{a_{13}}{c_3^+}, \frac{b_{13}}{c_3^+}, \frac{c_{13}}{c_3^+} \right) \\ &= \left(\frac{7}{9}, \frac{9}{9}, \frac{9}{9} \right) = (0,78 ; 1 ; 1) \end{aligned}$$

e) Calcul de la matrice de décision floue normalisée et pondérée :

En utilisant la formule (2.6), nous obtenons les résultats du tableau n° 26

Tableau 26 La matrice de décision floue normalisée et pondérée

	C1	C2	C3
Marseille	(0,03 ; 0,09 ; 0,12)	(0,43 ; 0,77 ; 1,07)	(0,06 ; 0,14 ; 0,28)
Barcelone	(0,02 ; 0,07 ; 0,12)	(0,31 ; 0,60 ; 1,07)	(0,03 ; 0,08 ; 0,22)
Malte	(0,02 ; 0,07 ; 0,12)	(0,18 ; 0,49 ; 1,07)	(0,04 ; 0,11 ; 0,28)
Tanger	(0,02 ; 0,07 ; 0,12)	(0,18 ; 0,43 ; 0,83)	(0,03 ; 0,08 ; 0,22)
Zarzis	(0,02 ; 0,07 ; 0,12)	(0,18 ; 0,49 ; 1,07)	(0,04 ; 0,11 ; 0,28)

$$\begin{aligned} \check{v}_{13} &= \check{r}_{13} \otimes \check{w}_3 = \\ &= (0,78 ; 1 ; 1) \otimes (0,08 ; 0,144 ; 0,283) \\ &= (0,06 ; 0,14 ; 0,28) \end{aligned}$$

f) Détermination de la solution positive idéal FPIS et négative FNIS :

En utilisant les formules (2.7) et (2.8)

Tableau 27 Résultats de la solution idéale FPIS et FNIS

	C1	C2	C3
Marseille	(0,03 ; 0,09 ; 0,12)	(0,43 ; 0,77 ; 1,07)	(0,06 ; 0,14 ; 0,28)
Barcelone	(0,02 ; 0,07 ; 0,12)	(0,31 ; 0,60 ; 1,07)	(0,03 ; 0,08 ; 0,22)
Malte	(0,02 ; 0,07 ; 0,12)	(0,18 ; 0,49 ; 1,07)	(0,04 ; 0,11 ; 0,28)
Tanger	(0,02 ; 0,07 ; 0,12)	(0,18 ; 0,43 ; 0,83)	(0,03 ; 0,08 ; 0,22)
A^+	(0,03 ; 0,09 ; 0,12)	(0,43 ; 0,77 ; 1,07)	(0,06 ; 0,14 ; 0,28)
A^-	(0,02 ; 0,07 ; 0,12)	(0,18 ; 0,43 ; 0,83)	(0,03 ; 0,08 ; 0,22)

$$\begin{aligned} A^+_3 &= (\check{v}_1^+, \check{v}_2^+, \check{v}_3^+) \\ &= (\max \check{v}_{i13} ; \max \check{v}_{i23} ; \max \check{v}_{i33}) \\ &= (0,06 ; 0,14 ; 0,28) \end{aligned}$$

g) Détermination des distances de chaque alternative par rapport FPIS et FNIS :

En utilisant les formules : (2.9) et (2.10)

Distance par rapport FPIS :

Tableau 28 distances de chaque alternative par rapport FPIS

				d_i^*
Marseille	0,00	0,00	0,00	0,00
Barcelone	0,01	0,12	0,06	0,19
Malte	0,01	0,22	0,02	0,25
Tanger	0,01	0,28	0,06	0,35
Zarzis	0,01	0,22	0,02	0,25

$$d_2^* = 0,01 + 0,12 + 0,06$$

$$d(\check{v}_{33}, A^+_3) = \sqrt{\frac{1}{3}((0,03 - 0,06)^2 + (0,08 - 0,14)^2 + (0,22 - 0,28)^2)}$$

Distance par rapport FNIS :

Tableau 29 Distances de chaque alternative par rapport FNIS

				d_i^-
Marseille	0,01	0,28	0,06	0,35
Barcelone	0,00	0,18	0,00	0,18
Malte	0,00	0,14	0,04	0,18
Tanger	0,00	0,00	0,00	0,00
Zarzis	0,00	0,14	0,04	0,18

h) Calcul de coefficients de proximité CC_i :

En utilisant la formule (2.12)

Tableau 30 Coefficients de proximité

	d_i^*	d_i^-	CC_i
Marseille	0,00	0,35	1,00
Barcelone	0,19	0,18	0,49
Malte	0,25	0,18	0,42
Tanger	0,35	0,00	0,00
Zarzis	0,25	0,18	0,42

$$CC_1 = \frac{d_1^-}{d_1^* + d_1^-} = \frac{0,35}{0,35 + 0} = 1$$

i) Après nous calculons le SFMi

Tableau 31 Calcule le SFMi

	CC_i	SFM'	SFM _i
Marseille	1,00	1,00	0,43
Barcelone	0,49	0,49	0,21
Malte	0,42	0,42	0,18
Tanjah	0,00	0,00	0
Zarzis	0,42	0,42	0,18

$$SFM_1 = \frac{SFM'}{\sum_{i=1}^5 (SFM')} = \frac{1}{1 + 0,49 + 0,42 + 0 + 0,42} = 0,43$$

j) Calculer le OFMi

Pour ce qui est des critères objectifs nous avons supposé que les coûts sont identiques pour l'ensemble des cinq (5) emplacements sélectionnés. Nous avons donc uniquement calculé les distances géographiques (critère 5)

Pour calculer le OFMi, nous utilisons la formule (2.14)

Tableau 32 Résultats du calcul du OFMi

	Distance des producteurs	Distance des clients	Distance total	labor cost	OFC	OFM
Marseille	14714	4642	19356	/	19356	0,26
Barcelone	15115	4204	19319	/	19319	0,26
Malte	16460	3899	20359	/	20359	0,25
Tanger	16579	5711	22290	/	22290	0,23
Zarsis	16038	7277	23315	/	23315	0,24

$$\begin{aligned}
 OFM_1 &= [OFC_1 * (\sum_{i=1}^5 OFC^{-1})]^{-1} \\
 &= \left[19356 * \left(\frac{1}{\frac{1}{19356} + \frac{1}{19319} + \frac{1}{20359} + \frac{1}{22290} + \frac{1}{23315}} \right) \right] = 0.26
 \end{aligned}$$

k) Choisir l'emplacement idéal par le calcul de « WLSi »:

Après le calcul de OFMi et le SFMi de chaque ville. Nous calculerons le WLSi en simulant plusieurs α en utilisant la formule :

$$WLSi = [\alpha \times OFMi \oplus (1 - \alpha) \times SFMi]$$

Tableau 33 Classement des alternatives

α	WLSi				Classement
	0,3	0,5	0,7	0,8	
Marseille	0,378148935	0,34488071	0,31161249	0,294978379	1
Barcelone	0,225870253	0,23625343	0,246636615	0,251828205	2
Malte	0,201223685	0,21482173	0,228419766	0,235218786	3
Tanjah	0,06817849	0,11363082	0,159083142	0,181809306	5
Zarzis	0,198677438	0,21057798	0,222478523	0,228428794	4

Les résultats sont présentés dans le graphe suivant :

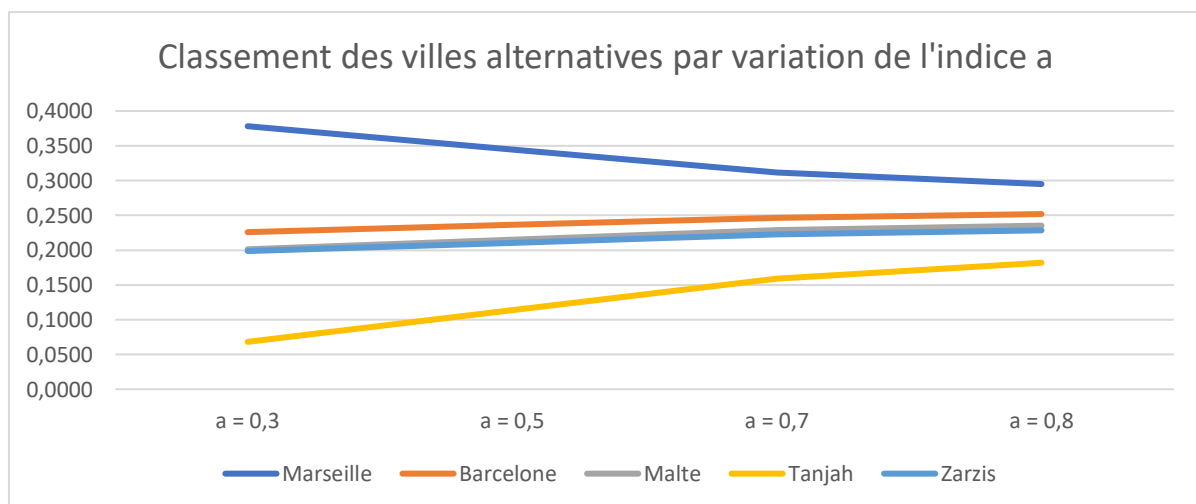


Figure 26 Résultat du classement des villes

On remarque que la courbe représentant la ville de Marseille est au-dessus des autres courbes malgré la variation du coefficient α .

Conclusion :

A partir des résultats obtenus de la méthode FTOPSIS comme le montrent la figure n° 26 et le tableau n°32, nous pouvons déduire que **la ville de Marseille est l'emplacement idéal pour positionner le centre de consolidation.**

Après désignation de l'emplacement adéquat du centre de consolidation, la mise en place de ce dernier nécessite une optimisation du processus de consolidation des commandes dans la partie en amont (des hubs vers le CC) et la partie en aval (Du CC vers les pays du NAF). C'est ce que nous allons aborder dans la partie suivante.

III.4 Modélisation mathématique d'optimisation du processus de consolidation des commandes

La méthode proposée dans cette partie du chapitre 3 est une stratégie de consolidation proactive, qui prévoit la planification de la consolidation au tout début de la Supply Chain. Cela économise le temps de transit et assure une livraison rapide vers les destinations finales. De plus, il élimine les coûts de stockage et des pénalités de retard de réception au niveau des ports des pays du NAF, qui pourraient être considérablement élevés. Si les expéditions sont chargées au hasard sans processus de consolidation, de planification, de manutention et de tri dans les différents hubs, les coûts de transport seront plus élevés.

Elaborer différentes options pour gérer la consolidation de commandes facilite le design final de la Supply Chain. En effet, cela permet d'avoir une vue d'ensemble des avenues que l'entreprise peut prendre lors d'une réingénierie de ses processus. La nouvelle pratique est en fait une évolution du processus actuel. Les options présentées ici sont établies en fonction des étapes du flux décisionnel.

Dans cette section, une formulation mathématique du problème est présentée. L'objectif de notre approche est de développer une méthode de consolidation rentable pour transporter les envois internationaux dans le réseau mondial. Et cela en ayant comme but de minimiser les coûts totaux impliqués dans la Supply chain internationale. Ce modèle d'optimisation servira donc de système d'aide à la décision jumelé aux TIC de l'entreprise qui faciliterait le travail de combinaison des commandes et d'affectation au mode de transport optimal. Le système pourrait aussi permettre au logisticien d'avoir une visibilité sur la date de départ du hub, la date d'arrivée au centre de consolidation ainsi qu'une date d'arrivée à l'un des pays du NAF.

Pour une meilleure prise de décision, nous avons inclus dans notre modèle d'optimisation linéaire un module de consolidation contenant l'algorithme de Bin Packing.

III.4.1 Logique du modèle mathématique :

Lorsqu'une commande est prête, l'approvisionneur vérifie dans le système si d'autres commandes sont dues pour la même semaine que celle-ci et commandées à partir de la région du NAF, pour les combiner avec celle-ci. Si elle n'est pas combinée avec d'autres commandes, la commande sera expédiée via le mode de transport adéquat. Ainsi, l'approvisionneur a la tâche de combiner les commandes ensemble.

Les commandes destinées aux pays du NAF sont efficacement regroupées par catégorie de produit puis chargées dans le mode de transport approprié pour leur expédition à Marseille. Par conséquent, une fois que les commandes arrivent au centre de consolidation de Marseille, les commandes déjà regroupées dans chaque hub

seront déconsolidées, triées par catégorie et type d'exonération puis reconsolidées dans des expéditions pour une livraison finale.

Ce modèle mathématique se déroulera donc sur deux principales phases indépendantes et distinguées par la notion de temps. La première appelée « **Amont** » se déroule à partir de l'envoi des commandes du hub jusqu'à la réception de ces dernières au centre de consolidation. La deuxième appelée « **Aval** » se déroule à partir de l'envoi des commandes du centre de consolidation jusqu'à la réception de ces dernières au niveau du pays k . La démarche des deux phases est quasiment identique, hormis le fait que la deuxième phase inclut la notion de l'exonération et certains coûts supplémentaires de dédouanement.

a) Période de consolidation

Pour des questions de qualité de service, Schlumberger impose une fenêtre de temps maximale durant laquelle les produits peuvent attendre au niveau de chaque hub et avant d'être combinés avec d'autres commandes pour être expédiés. Lors de notre étude nous avons choisi d'appliquer le processus de consolidation sur des fenêtres de temps fixes. La période de consolidation dépend donc de la fréquence de transport entre deux lieux qui dépend à son tour du mode de transport utilisé (le transport aérien est beaucoup plus fréquent que le transport maritime). Pour faciliter le travail de modélisation et après collecte des informations à travers le site web de CMA CGM nous avons donc choisi de fixer l'ensemble de la période τ sur 7 jours.

Ce qui veut dire que la consolidation se déroulera au niveau de chaque hub h et à chaque période de temps $T_h = [D_h ; D_h + \tau]$ sachant que D_h est la date de départ du hub h vers Marseille. Tandis qu'au niveau du centre de consolidation, la consolidation se déroulera à chaque intervalle de temps $T_k = [D_k ; D_k + \tau]$ sachant que D_k est la date de départ de Marseille vers le pays k .

b) Affectation au mode de transport :

Lors du processus de consolidation des commandes. Suivant le modèle d'optimisation « Bin Packing » les commandes seront affectées au fur et à mesure en premier lieu à une palette, une fois la palette remplie elle sera affectée à un conteneur. La même logique sera déroulée jusqu'à la fin de la période de consolidation. Une fois ce processus clôturé (dû à la fenêtre de temps imposé) un des 3 modes de transport suivant serait sélectionné.

Mode 1 (MOT 1) : Les commandes consolidées sont transportées sous forme d'un colis qui est transporté avec d'autres colis externes dans une palette avec le moyen de transport aérien. Ce cas est applicable lors des expéditions à poids et volume réduits.

Mode 2 (MOT 2): Les commandes consolidées affectées à des palettes sont transportées en LTL dans un conteneur 20 pieds.

Mode 3 (MOT 3): Les commandes consolidées affectées à des palettes sont transportées en TL dans un ou plusieurs conteneurs 20 pieds. Il est souvent préférable si les envois vers la même destination sont lourds, volumineux ou bien dangereux (cas des produits chimiques).

Les commandes urgentes sont directement affectées au mode de transport 1 vu le fait qu'elles nécessitent une expédition rapide.

En outre, les contraintes de capacité des palettes et des conteneurs et les contraintes d'emballage des expéditions sont prises en compte.

c) Coûts :

Transport : Les coûts de chaque mode de transport est abordé lors de cette modélisation. D'une part, les tarifications du mode 1 est très compliquée dans la pratique. D'une manière générale, le tarif du mode 1 dépend de la distance de livraison, de la région géographique, du poids et volume de l'envoi, et de la classe déterminée en fonction de la densité. D'une autre part, la tarification des modes 2 et 3 sont relativement simples car son taux est généralement donné en tant que coût au kilomètre en fonction de régions géographiques données d'origine et de destination.

Par conséquent, dans notre cas de figure, le mode 1 dépendra du poids et volume du colis. Le coût unitaire du mode 2 est le prix d'une seule palette (LTL) et le prix unitaire du mode 3 est le prix d'un conteneur 20 pieds (TL).

La même logique des coûts de transport est adaptée au niveau des 2 parties amont et aval.

Manutention : La partie Amont inclut les Coûts de transport depuis le port vers le centre de consolidation (drayage to port), ainsi que les coûts de déchargement des expéditions au CC. Quant à la partie en aval, elle inclut les coûts de chargement, les coûts de transport depuis le centre de consolidation vers le port et ainsi les coûts de documentations relatifs à la procédure de dédouanement. Les coûts variables de stockage des commandes sont dans notre cas nulles.

III.4.2 Enoncé du modèle

ENSEMBLES

- T Ensemble de temps $t \in T$
- K Ensemble des destinations (NAF) $k \in K$
- H Ensemble des hubs $h \in H$
- T_h Ensemble des départs de chaque hub $h \in H$ vers MRS (Dates)
- T_k Ensemble des départs de MRS vers chaque pays du NAF $k \in K$
- C Ensemble des catégories d'équipement $c \in C$ (chemicals & Mns)
- Ex Ensemble des catégories d'exonération $ex \in Ex$
- I Ensemble des commandes $i \in I$
- I_c Ensemble de commandes appartenant à la catégorie $c \in C$, $i \in I_c$
- I_{ex} Ensemble des commandes appartenant au type d'exonération $ex \in Ex$, $i \in I_{ex}$
- J Ensemble des palettes disponibles $j \in J$

J_c Ensemble de palettes disponibles de la catégorie $c \in C$, $j \in J_c$

J^* Ensemble des conteneurs 20' disponibles $J \in J^*$

R Ensemble des moyens de transport $r \in R$

PARAMETRES

e_i : Volume de la commande $i \in I$

f_i : poids de la commande $i \in I$

E_j : La capacité volumique d'une palette universelle $j \in J_c$

F_j : La capacité massique d'une palette universelle $j \in J_c$

$d_{ik} = 1$; Si la destination de la commande $i \in I$ est $k \in K$
 0 ; Sinon

$s_{iht} = 1$; Si la commande $i \in I$ est prête à être expédiée au niveau du hub $h \in H$ à la date $t \in T$
 0 ; Sinon

$s'_{it} = 1$; Si la commande $i \in I$ est prête au niveau du centre de consolidation à la date $t \in T$
 0 ; Sinon

$em_i = 1$; Si la commande $i \in I$ est commandé en urgence depuis $k \in K$ pour $h \in H$ à une date $t \in T$
 0 ; Sinon

q_{itk} : Niveau de Stock de la commande $i \in I$ dans le pays $k \in K$ à la date $t \in T$

C_{hr}^{Tr*} : prix unitaire de transport d'un conteneur 20' (mode 3) depuis le hub $h \in H$ vers MRS, $c \in C$, $r \in R$ (TL).

C_{kr}^{Tr*} : prix unitaire de transport d'un conteneur 20' (MOT 3) depuis MRS vers le pays $k \in K$, $c \in C$, $r \in R$ (TL).

C_{hkr}^{Tr2} Prix unitaire de transport d'une palette (MOT 2) depuis $h \in H$ vers $k \in K$ $r \in R$, $c \in C$

C_{hr}^{Tr2} : Prix unitaire de transport d'une palette (MOT 2) depuis $h \in H$ vers MRS $r \in R$, $c \in C$

C_{kr}^{Tr2} : Prix unitaire de transport d'une palette (MOT 2) depuis MRS vers $k \in K$ $r \in R$, $c \in C$

$C_{hkr}^{Tr1}(v; w)$: Coûts de transport par volume et poids (MOT 1) depuis $h \in H$ vers $k \in K$ par $r \in R$, $c \in C$

$C_{hr}^{Tr1}(v; w)$: Coûts de transport par volume et poids (MOT1) depuis $h \in H$ vers MRS par $r \in R$, $c \in C$

$C_{kr}^{Tr1}(v; w)$: Coûts de transport par volume et poids de MRS vers $k \in K$ par $r \in R$, $c \in C$

C^{loa} : Coûts de chargement d'un conteneur au niveau du centre de consolidation,

C^{unl} : Coûts de déchargement d'un conteneur au niveau du centre de consolidation

C^{dr} : Coûts de transport d'un conteneur du port vers le centre de consolidation (20') in MRS,

$C_c^f(w)$: Coûts fixes par poids, $c \in C$

C^{doc} : Coûts de documentation par équipement $i \in I$

$C_{hki}^{cl}(v; w)$: Coûts de dédouanement par volume et poids.

M : Un grand nombre arbitraire.

Variables de décision:

$\left[\begin{array}{l} x_{hijt} = 1 ; \text{ Si la commande } i \in I \text{ est chargée dans la palette } j \in J_c, t \in T_h = [D_h; D_h + \tau] \\ 0 ; \text{ Sinon} \end{array} \right.$

$\left[\begin{array}{l} y_{hjt} = 1 ; \text{ Si la palette } j \in J \text{ est utilisée au niveau du hub } h \text{ à l'instant } t \in T_h \text{ (MOT 2)} \\ 0 ; \text{ Sinon} \end{array} \right.$

$\left[\begin{array}{l} x_{hj^*t} = 1 ; \text{ Si la palette } j \in J_c \text{ est chargée dans le conteneur } j^* \in J^* \text{ à } h \in H \text{ à } t \in T_h \\ 0 ; \text{ Sinon} \end{array} \right.$

$\left[\begin{array}{l} y_{hj^*t} = 1 ; \text{ Si le conteneur } 20' j^* \in J^* \text{ est utilisée au niveau du hub } h \in H \text{ à } t \in T_h \text{ (MOT 3)} \\ 0 ; \text{ Sinon} \end{array} \right.$

$\left[\begin{array}{l} x_{kijt} = 1 ; \text{ Si la commande } i \in I \text{ est chargée dans la palette } j \in J_c, t \in T_k = [D_k; D_k + \tau] \\ 0 ; \text{ Sinon} \end{array} \right.$

$\left[\begin{array}{l} y_{kjt} = 1 ; \text{ Si la palette } j \in J \text{ à destination de } k \in K \text{ est utilisée à } t \in T_k \text{ (MOT 2)} \\ 0 ; \text{ Sinon} \end{array} \right.$

$\left[\begin{array}{l} x_{kj^*t} = 1 ; \text{ Si la palette } j \in J_c \text{ est chargée dans le conteneur } j^* \in J^* \text{ au hub } h \in H \text{ à } t \in T_k \\ 0 ; \text{ Sinon} \end{array} \right.$

$\left[\begin{array}{l} y_{kj^*t} = 1 ; \text{ Si le conteneur } j^* \in J^* \text{ est utilisée pour être transporté à } k \in K \text{ à } t \in T_k \text{ (MOT 3)} \\ 0 ; \text{ Sinon} \end{array} \right.$

v_{jht} : Volume total des commandes $i \in I$ expédiées dans la palette $j \in J$ depuis le hub $h \in H$ $t \in T_h$ qui seront transportés par le MOT 1

w_{jht} : poids total des commandes expédiées dans la palette $j \in J$ depuis le hub $h \in H$ à la date $t \in T_h$ qui seront transportés par le MOT 1

v_{jkt} : Volume total des commandes expédiées dans la palette $j \in J$ depuis MRS vers $k \in K$ à la date $t \in T_k$ qui seront transportées par le MOT 1

w_{jkt} : poids total des commandes expédiées dans la palette $j \in J$ depuis MRS vers $k \in K$ à la date $t \in T_k$ qui seront transportées par le MOT 1.

Fonctions objectifs:

PARTIE AMONT :

$$\text{Min } Z = C_{\text{trans.hub}} + C_{\text{hand1}}$$

$$\begin{aligned} C_{\text{trans.hub}} &= \sum_{t=D_h}^{t=D_h+\tau} \sum_{j \in J_c} C_{hrc}^{tr1} (v_{jht} + \sum_{i \in I} em_i * e_i ; w_{jht} + \sum_{i \in I} em_i * f_i) \\ &+ \sum_{t=D_h}^{t=D_h+\tau} \sum_{j \in J_c} y_{hjt} C_{hrc}^{tr2} + \sum_{t=D_h}^{t=D_h+\tau} \sum_{j^* \in J^*} y_{j^*ht} C_{hrc}^{tr*} + C^f * \sum_{t=D_h}^{t=D_h+\tau} \sum_{j \in J_c} w_{jht} \\ &+ (C^{un*} + C^{dr}) * \sum_{t=D_h}^{t=D_h+\tau} \sum_{j^* \in J^*} y_{hj^*t} \quad h \in H, c \in C, r \in R \quad (3.I) \end{aligned}$$

PARTIE AVALE:

$$\text{Min } Z' = C_{\text{trans.pays}} + C_{\text{hand2}}$$

$$\begin{aligned} C_{\text{trans.pays}} &= \sum_{j \in J_c} \sum_{t=D_k}^{t=D_k+\tau} C_{krc}^{tr1} (v_{jkt} ; w_{jkt}) + \sum_{j \in J_c} \sum_{t=D_k}^{t=D_k+\tau} y_{jkt} C_{krc}^{tr2} + \sum_{j^* \in J^*} \sum_{t=D_k}^{t=D_k+\tau} y_{j^*kt} C_{krc}^{tr*} \\ &+ C^f * \sum_{j \in J_c} \sum_{t=D_k}^{t=D_k+\tau} w_{jkt} + (C^{loa*} + C^{dr}) * \sum_{j^* \in J^*} \sum_{t=D_k}^{t=D_k+\tau} y_{j^*kt} \\ &+ C^{doc} * \left(\sum_{j^* \in J^*} \sum_{D_k}^{D_k+\tau} y_{kj^*t} + \sum_{j \in J} \sum_{D_k}^{D_k+\tau} y_{kjt} + \sum_{j \in J} \sum_{D_k}^{D_k+\tau} w_{kjt} \right) \quad k \in K, h \in H, r \in R \quad (3.II) \end{aligned}$$

Contraintes :

$$\sum_{i \in I_c} x_{hijt} = 1 \quad j \in J_c, h \in H, t \in T_h \quad (1)$$

$$\sum_{i \in (I_c \cap I_{ex})} x_{kijt} = 1 \quad j \in J_c, k \in K, t \in T_k \quad (2)$$

$$x_{hijt} \leq y_{hjt} \quad i \in I_c, j \in J_c, h \in H, t \in T_h \quad (3)$$

$$x_{kijt} \leq y_{kjt} \quad i \in (I_c \cap I_{ex}), j \in J_c, k \in K, t \in T_k \quad (4)$$

$$x_{hijt} \leq s_{iht} \quad i \in I_c, j \in J_c, h \in H, t \in T_h. \quad (5)$$

$$x_{kijt} \leq s'_{it} * d_{ik} \quad i \in (I_c \cap I_{ex}), j \in J_c, t \in T_k, k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I_c} x_{hijt} f_i \leq F_j \quad j \in J_c, h \in H, t \in T_h \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I_c} x_{hijt} e_i \leq E_j \quad j \in J_c, h \in H, t \in T_h \quad (8)$$

$$\sum_{i \in (I_c \cap I_{ex})} x_{kijt} f_i \leq F_j \quad j \in J_c, k \in K, t \in T_k \quad (9)$$

$$\sum_{i \in (I_c \cap I_{ex})} x_{kijt} e_i \leq E_j \quad j \in J_c, k \in K, t \in T_k \quad (10)$$

$$\sum_{j^*=1}^{J^*} x_{hj^*t} = 1 \quad h \in H, j^* \in J^*, t \in T_h \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^{J_c} x_{kj^*t} = 1 \quad j^* \in J^*, k \in K, t \in T_k \quad (12)$$

$$x_{hj^*t} \leq y_{j^*ht} \quad j \in J_c, j^* \in J^*, h \in H, t \in T_h \quad (13)$$

$$x_{kj^*t} \leq y_{kj^*t} \quad j \in J_c, j^* \in J^*, k \in K, t \in T_k, \quad (14)$$

$$\sum_{j \in J_c} x_{hj^*t} \leq 9 \quad j^* \in J^*, h \in H, t \in T_h \quad (15)$$

$$\sum_{j \in J_c} y_{kj^*t} \leq 9 \quad j^* \in J^*, k \in K, t \in T_h, \quad (16)$$

$$My_{hjt} + v_{jht} \geq \sum_{i \in I_c} x_{hijt} * e_i \quad j \in J_c, h \in H, t \in T_h \quad (17)$$

$$My_{hjt} + w_{jht} \geq \sum_{i \in I_c} x_{hijt} * f_i \quad j \in J_c, h \in H, t \in T_h \quad (18)$$

$$My_{kjt} + v_{jkt} \geq \sum_{i \in (I_c \cap I_{ex})} x_{kijt} * e_i \quad j \in J_c, k \in K, t \in T_k \quad (19)$$

$$My_{kjt} + w_{jkt} \geq \sum_{i \in (I_c \cap I_{ex})} x_{kijt} * f_i \quad j \in J_c, k \in K, t \in T_k \quad (20)$$

$$My_{hj^*t} + \sum_{j \in J_c} y_{hjt} \geq \sum_{j \in J_c} x_{hj^*t} \quad j^* \in J^*, t \in T_h, h \in H \quad (21)$$

$$My_{kj^*t} + \sum_{j \in J_c} y_{kjt} \geq \sum_{j \in J_c} x_{kj^*t} \quad j^* \in J^*, t \in T_k, k \in K \quad (22)$$

$$x_{hijt}, y_{hjt}, x_{kijt}, y_{kjt}, x_{hj^*t}, y_{hj^*t}, x_{kj^*t}, y_{kj^*t} \in \{0,1\} \quad (23)$$

$$v_{jht}, w_{jht}, v_{jkt}, w_{jkt} \geq 0 \quad (24)$$

Dans cette formulation, les deux fonctions objectifs minimisent les coûts totaux qui comprennent les coûts d'expédition et les coûts de manutention.

La première fonction objectif est concernée par la partie en amont du nouveau modèle logistique. La fonction inclut les coûts de transport des 3 modes de transport ainsi que les coûts de déchargement des expéditions. Les 3 premiers termes de la fonction objectif représentent respectivement les coûts engendrés par les 3 modes de transport. Nous avons inclus dans le premier terme la notion de l'urgence, car si une commande est urgente, elle est obligatoirement expédiée par le mode 1. Les deux autres termes de la fonction objectif désignent les coûts engendrés par le transport des expéditions depuis le port (ou aéroport) de Marseille vers le CC, ainsi que les coûts de déchargement des expéditions au niveau du CC.

La deuxième fonction objectif quant à elle, traite la partie en aval du nouveau modèle logistique. Les 3 premiers termes sont relatifs aux coûts de transports qui sont similaires à ceux de la première fonction objectif, tandis que les coûts de manutention résident dans les coûts de chargement, les coûts de transport du CC au port de Marseille ainsi que les coûts relatifs à la documentation douanière.

Contraintes (1) et (2) assurent que chaque commande i prête est affecté à une et une seule palette j . Les contraintes (3) et (4) assurent que la commande i ne peut pas être affectée à une palette j à moins qu'elle soit utilisée. Les contraintes (5) et (6) stipulent que pour qu'une commande soit affecté à une palette, elle doit d'abord être prête dans le hub / centre de consolidation. Les contraintes (7), (8), (9) et (10) assurent que les volumes et poids des commandes affectées à une palette ne doivent pas dépasser la capacité massique et volumique de cette dernière.

Les contraintes (11) et (12) stipulent que chaque palette utilisée j est affectée à un seul conteneur j^* . Les contraintes (13) et (14) assurent que pour qu'une palette soit affectée à un conteneur, ce dernier doit être utilisé. Les contraintes (15) et (16) précisent que la somme des palettes affectées à un seul conteneur ne doit pas dépasser sa capacité qui est de 9 palettes.

Les contraintes (17), (18), (19), (20), permettent de sélectionner le mode de transport, entre le mode 1 et le mode 2. Ces deux modes de transport s'excluent mutuellement pour des expéditions données dans une palette j . Si le mode 2 est sélectionné (c'est-à-dire $y_{hjt} = 1 / y_{kjt} = 1$), les variables de volume et de poids (v_{hjt} et w_{hjt}) deviennent nulles pour minimiser le coût total. D'autre part, si le mode 1 est sélectionné, v_{jht} et w_{jht} représentent le volume et le poids appropriés, respectivement, des expéditions dans la palette j .

Les contraintes (21) et (22) permettent de sélectionner le mode de transport, entre le mode 2 et le mode 3. Ces deux modes de transport s'excluent mutuellement pour des expéditions données dans un conteneur j^* . Si le mode 3 est sélectionné (c'est-à-dire $y_{hj^*t} = 1 / y_{kj^*t} = 1$), les variables du mode 2 deviennent nulles pour minimiser le coût total. D'autre part, si le mode 2 est sélectionné, $\sum_{j \in J_c} y_{hjt}$ représente le nombre de palettes appropriées affectées au conteneur j^* en LTL. Les contraintes (23) et (24) précisent les types de variables de décisions.

La différence entre la partie en amont et en aval, c'est que dans cette dernière les commandes sont regroupées non seulement par type de produit, mais aussi par type d'exonération d'où l'inclusion de l'ensemble $(I_c \cap I_{ex})$ dans la deuxième partie.

III.5 Implémentation du modèle mathématique

Dans cette partie du chapitre nous allons mettre en application le modèle mathématique d'optimisation effectué plus haut grâce à un outils informatique. Cette démarche aura pour but d'automatiser le processus de consolidation et d'affectation au mode de transport suivant les coûts optimaux.

Rajoutant à cela le fait que la solution digitale va permettre d'avoir une visibilité sur les dates de réception finale de chaque commande.

III.5.1 Logique de déroulement Algorithmique

La figure n° 27 récapitule le déroulement de l'algorithme global des deux phases en amont et en aval.

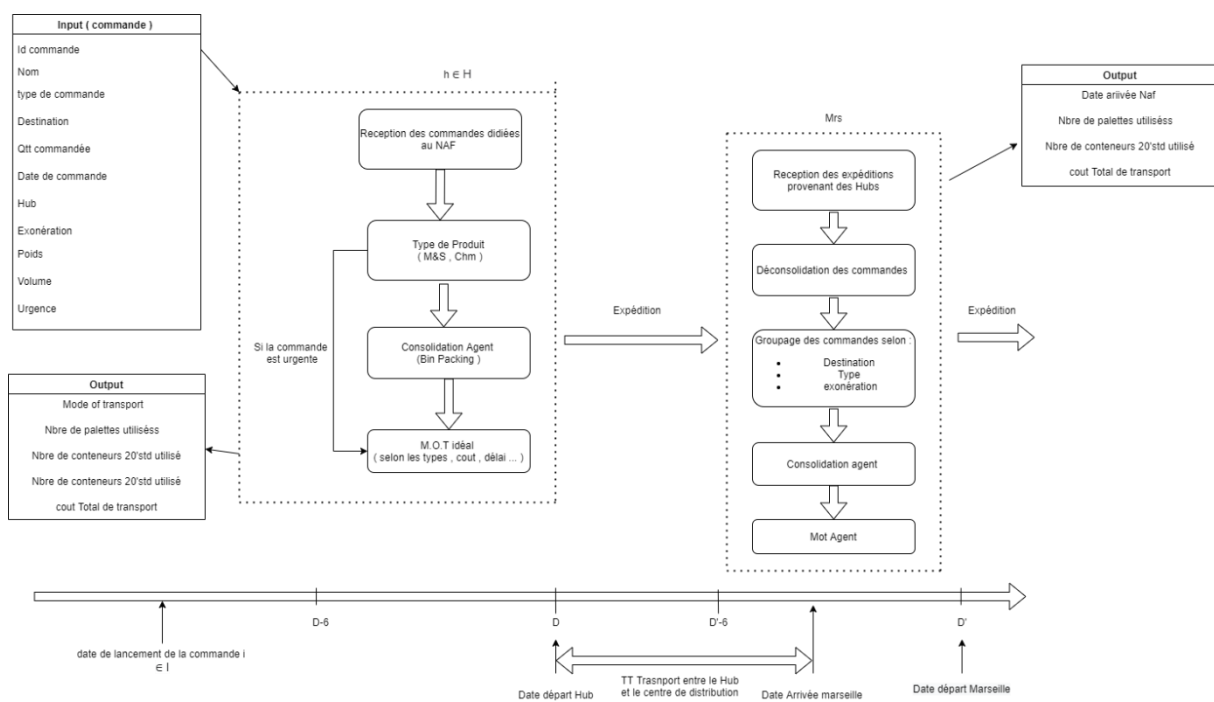


Figure 27 Logique de déroulement du processus de consolidation sur toute la chaîne logistique

III.5.1.1 Partie en amont :

$h = \text{nulle}$; $r = \text{nulle}$, $c = \text{nulle}$, $S_i = 0$

Pour chaque $t \in Th$

Réception des commandes i

Si $h = \text{Rotterdam}$

S_{it}

$r = \text{terrestre}$

- Affecter les commandes grâce au Bin Packing. (nbr de palettes et nbr de conteneur)
- Choisir le mode de transport optimal selon le modèle mathématique.
- Calculer la date d'arrivée au centre de consolida

Sinon

Pour chaque $h \in \{\text{Dubai, Houston}\}$

Si $c = \text{Chem}$

$r = \text{sea}$

- Appliquer Bin Packing
- Affecter les commandes au mode de transport optimal selon le modèle mathématique
- Calculer la date d'arrivé au centre de consolidation

Sinon

Si commande = urgente

$r = \text{air}$

- Affecter les commandes au mode de transport 1.
- Calculer la date d'arrivé au centre de consolidation

Sinon

- Affecter les commandes grâce au Bin Packing.
- Affecter les commandes au mode de transport
- Calculer la date d'arrivé au centre de consolidation

Fin

Fin

Fin

Explication : Pour chaque intervalle de temps, le processus de consolidation se déroulera dans chaque hub. Le moyen de transport (maritime terrestre et aérien) pourrait être sélectionné dans certains cas selon la catégorie de la commande et l'urgence de la commande (Annexe n° 13) . C'est le cas des commandes lancées en urgence qui seront automatiquement affectées au transport aérien, ou bien les produits chimiques qui seront automatiquement affectées au transport terrestre si c'est au niveau de Rotterdam ou bien au transport maritime, si c'est au niveau du hub du Dubai. La figure n°28 illustre cette explication.

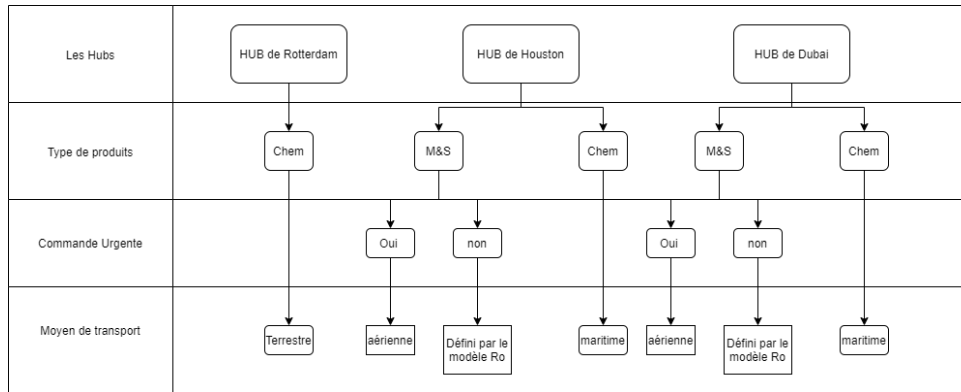


Figure 28 Logique de détermination du moyen et mode de transport

Puis l'affectation aux palettes et conteneurs serait établie grâce au problème Bin Packing en prenant en compte les poids et volume (Annexe n°14). Ensuite le mode de transport (MOT1, MOT2, MOT3) selon les coûts totaux minimal serait détecté après déroulement du modèle mathématique et cela en ayant comme Output le poids (W_{jht}) et volume (V_{jht}) si le MOT 1 est désigné, le nombre de palettes $\sum_j y_{jht}$ si le MOT 2 est désigné et finalement le nombre de conteneurs $\sum_j y_{j*ht}$ si le MOT 3 est préférable.

En dernier le calcul de la date d'arrivé au CC sera calculé comme suit :

$$\begin{aligned} \text{Date à laquelle la commande sera prête au hub} \\ = \text{Date lancement de la commande} + \text{durée de préparation} \end{aligned}$$

$$\text{Date de départ du hub} = \text{Le jeudi qui suit la date précédente}$$

$$\text{Date d'arrivé au CC} = \text{Date de départ du hub} + tt \text{ hr}$$

Le T_{tr} signifie le transit time entre le hub h vers Marseille par moyen de transport r,

III.5.1.2. Partie Aval :

Pour chaque $t \in T$

Réception des commandes i

Pour chaque destination $k \in K$

Pour chaque $c \in C$

Pour chaque type d'exonération

$$S_{it} = 1$$

- Appliquer le modèle Bin Packing
- Affecter aux commandes le mode de transport selon le Coût optimal
- Calculer la date d'arrivé à la base du pays k

Explication : Après réception des marchandises au niveau du CC les commandes seront donc prêtes à être expédiées aux pays du NAF, les commandes seront

regroupées d'abord selon la destination, puis par catégorie de commandes et finalement par type d'exonération.

Le modèle mathématique serait ensuite déroulé de la même manière que la partie en amont.

Et finalement la date d'arrivé à la base du pays serait calculée comme suit :

$$\begin{aligned} \text{Date de départ du CC} &= \text{le jeudi qui suit la date d'arrivé au CC} \\ \text{la Date d'arrivée au port pays } k &= \text{Date de départ du CC} + T_{tkr} \end{aligned}$$

(Le $T_{tk,r}$ signifie le transit time entre le le port de Marseille et le pays k par moyen de transport r)

$$\text{Date d'arrivée à la base} = \text{Date d'arrivé au port du pays } k + T_{ex}$$

(T_{ex} Le temps de dédouanement par type d'exonération des commandes que contient l'expédition)

III.5.2 Résultats informatiques

Les deux algorithmes proposés ont été codés en PYTHON à travers le notebook de calcul JUPYTER et exécutés sur un ordinateur équipé d'un processeur Intel(R) Core(TM) i3-5005U CPU et 4GB RAM 2.00 GHz sous Windows 10. Le solveur d'optimisation intégré dans les algorithmes est Gurobi V9.1

Nous avons simulé 150 commandes en important un fichier Excel (Annexe n°17), idem pour les résultats qui seront automatiquement affichés sur une feuille excel liée au programme Python (Annexe n°20).

Un exemple de 6 commandes d'inputs est présenté dans les tableau n°34, 35 et 36.

Tableau 34 exemple d'inputs de simulation (exemple)

Id_commande	1	2	3	4	5	6
Nom	P001	P002	P003	P004	P005	P006
type_de_commande	M&S	CHEM	CHEM	M&S	M&S	Chem
Destination	Algérie	Tunisie	Libye	Algérie	Maroc	Tunisie
Date de lancement de la commande	06/04/2021	05/04/2021	04/04/2021	11/04/2021	22/05/2021	10/05/2021
Hub	Dubaï	Rotterdam	Rotterdam	Houston	Dubaï	Houston
Exonération (Booleén)	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Non

Durée de pr	54	53	58	49	10	18
Poids (kg)	25	20	20	109	222	49
Volume (m ³)	0,45	0,25	0,85	0,56	0,82	0,9
Urgence (Boolean)	Oui	Non	Non	NON	Non	Non

Tableau 35 Les Coûts standards et les lead time (transport en amont)

Transport Amont	Hub	TT (jours)	Coût Par Palette	Coût Par conteneur 20'std	Coût Par conteneur 40'std	Coût par kg	Mode de transport
1	Dubaï	32	350	2331	3147		sea
2	Dubaï	3	4600	/	/	2	air
3	Houston	32	350	2500	3300		sea
4	Houston	3	4600	/	/	2	air
5	Rotterdam	2	222	2000	2900	/	Terrestre

Tableau 36 Les Coûts standards et les lead time (transport en aval)

Transport Aval	Destination	Coût de transport d'une palette LTL	Coût de transport d'un conteneur 20'std	Coût de transport d'un conteneur 40'std	TT transport	TT dédouanement exonéré	TT dédouanement non exonéré
1	Algérie	172	550	900	3	20	7
2	Tunisie	184	600	950	4	10	10
3	Libye	184	650	1100	3	15	15
4	Maroc	190	650	950	3	15	15

Capacité d'une palette : 2300 kg

III.5.2.1 Partie 1 : Partie en amont

Étape 1 : Déterminer le mode de transport optimal

Le mode de transport serait établi pour chaque départ du hub comme le montre les tableaux n°37 et 38. Le code Python du choix du mode de transport optimal et les coûts affectés sont présentés respectivement dans l'annexe n° 16 et 12.

Tableau 37 Résultats de l'affectation des expéditions au modes de transport optimal (transport en amont)

ID_Hub	Hub nom	Poids Total expédié M&S sea	Poids Total expédié M&S air	Poids Total expédié Chemical sea	Poids Total expédié Chemical terrestre	Volume total expédié M&S sea	Volume total expédié M&S air	Volume total expédié Chemical sea	Volume Total expédié Chemical terrestre
1	Dubaï	43822	9876	15423		70,47	19,34	28	
2	Houston	35699	4991	26071		60	7,68	47,91	
3	Rotterdam				23941				22,65

Tableau 38 Résultats des coûts optimaux (transport en amont)

ID_Hub	Hub nom	Date de départ	Nbre de palette M&S total	Nbre de palette M&S libre	Nbre de palette CHEM total	Nbre de palette CHEM libre	Nbre de cntnr expédié M&S	Nbre de cntnr expédié CHEM	Coût Air	Coût Sea	Coût terrestre	Coût de manutention	Coût TOTAL
1	Dubaï	03 June, 2021	21	4	8	0	2	1	19752	8393		1445,288	29589,28
2	Houston	03 June, 2021	19	1	13	4	2	1	9982	9250		1309,658	20541,65
3	Rotterdam	03 June, 2021			9	0		1			2000	290	2290

Si nous prenons l'exemple du hub de Dubai, le programme a affiché un résultat de palettes utilisées pour les produits chimiques qui est de 8 palettes. Le modèle d'optimisation des coûts de transport et de manutention a donc déduit d'expédier les commandes dans le mode transport 3 (CL) à travers un conteneur, malgré que ce dernier n'a pas atteint sa capacité maximale qui est de 9 palettes.

Idem pour les cas des M&S, un résultat de 21 palettes a été affiché, 4 d'entre elles contiennent des commandes urgentes elles seront donc automatiquement transportées par la voie aérienne, les 17 autres autres palettes seront affectées au mode de transport 3 (CL) à travers 2 conteneurs.

Étape2 : Calcul des dates de départ et d'arrivé :

Après détermination des modes de transport de chaque catégorie de produit, le programme génère automatiquement les dates d'arrivé au centre de consolidation pour chaque commande, ayant pour but d'avoir une visibilité sur les dates d'arrivées et de départ comme le montre le Tableau n° 39. Les codes python relatifs à ces calculs sont présentés en annexe n° 11 et 15.

Tableau 39 résultats des dates de départ et d'arrivé (transport en amont)

Nom produit	C001	C002	C003	C004	C005	C006
Date à laquelle la commande sera prête dans le hub	06/04/2021	05/04/2021	04/04/2021	11/04/2021	22/05/2021	10/05/2021

Date_départ_hub	03/06/2021	03/06/2021	03/06/2021	03/06/2021	03/06/2021	03/06/2021
Arrivé_Mrs	06/06/2021	04/06/2021	05/07/2021	05/07/2021	05/07/2021	05/07/2021

Nous prenons comme exemple la commande C001 qui a été lancée le 06/04/2021

1_ la Date à laquelle la commande sera prête dans le hub est :

$$06/04/2021 + 54 = \mathbf{30/05/2021}$$

2_ La Date de départ du Hub est :

Le jeudi qui suit la date précédente = **03/06/2021**

3_ La Date d'arrivée au centre de consolidation :

Vu que la commande est classée comme étant urgente elle sera donc expédiée par voie aérienne la date d'arrivé à Marseille sera le :

$$03/06/2021 + T_{\text{air,dubai}} = 03/06/2021 + 1 = \mathbf{04/06/2021}$$

(Les Transit time entre chaque Hub et le centre de distribution sont présentés dans le - tableau 33 –)

III.5.2.1 Partie 2 : Partie en aval

- **Étape 1 : Déterminer le nombre de palettes ou conteneurs optimaux utilisés**

Après réception des commandes au niveau du centre de consolidation, ces dernières seront considérées prêtes à être expédiées pour la même destination après avoir été filtré selon la catégorie de produits et de type d'exonération. Le code Python relatif à cette démarche est présenté en annexe n°19.

Aussi nous allons utiliser le même modèle d'optimisation utilisé au niveau des Hubs pour calculer le nombre de palettes et conteneurs utilisés afin de minimiser les coûts de transport et de manutention, comme le montre le tableau n° 40.

Tableau 40 Résultats de l'affectation des expéditions aux modes de transport optimal et les coûts engendrés (transport en aval)

Pays_nom	Date de départ Marseille	Nbre de palette M&S exo	Nbre de palette M&S non exon	Nbre de palette CHEM exon	Nbre de palette CHEM non exon	Nbre de cntnr M&S exon	Nbre de cntnr M&S non exon	Nbre de cntnr CHEM exon	Nbre de cntnr CHEM non exon	Coût de manutention	Cout de transport	Cout total
Algérie	08 July, 2021	5	3	4	3	0	0	0	0	1500	1170	2670
Tunisie	08 July, 2021	5	4	1	2	0	0	0	0	1200	1116	2316
Maroc	08 July, 2021	1	3	0	1	0	0	0	0	500	465	965
Libye	08 July, 2021	10	11	4	7	1	1	0	1	1800	2622	4423

Étape 2 : Déterminer les dates de départ et d'arrivé de chaque commande aux pays du NAF

Tableau 41 Résultats des dates de départ et d'arrivé (transport en aval)

Nom produit	C001	C002	C003	C004	C005	C006
Date_départ_marseille	10/06/2021	10/06/2021	10/06/2021	10/06/2021	10/06/2021	10/06/2021
Date arrivée NAF	13/06/2021	14/06/2021	13/06/2021	13/06/2021	13/06/2021	14/06/2021
Date arrivé final NAF	02/07/2021	24/06/2021	28/06/2021	03/07/2021	28/06/2021	24/06/2021

Nous continuons avec l'exemple de la commande C001 qui est arrivée au CC le 04/06/2021

1_ **Date de départ du CC :**

$$06/04/2021 + 54 = \mathbf{30/05/2021}$$

2_ **Date de départ du CC :**

Le jeudi qui suit la date précédente = **10/06/2021**

3_ **Date d'arrivée au port du pays k:**

$$03/06/2021 + T_{\text{mar,alg}} = 10/06/2021 + 3 = \mathbf{13/06/2021}$$

4_ **Date d'arrivée à la base :**

$$04/06/2021 + TT_{\text{ex}} = 13/06/2021 + 20 = \mathbf{02 /07 /2021}$$

(Les Transit time entre centre de consolidation et et les destinations finales sont présentés dans le - tableau 34 -)

Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons exposé notre démarche de correction des dysfonctionnements cités dans le chapitre précédent en passant par quatre principales étapes :

- Exposer le nouveau modèle logistique de consolidation et confirmer sa rentabilité par une simulation.
- Effectuer un comparatif entre différentes localisations pour décider de l'emplacement idéal du centre de consolidation en s'appuyant sur des critères objectifs et subjectifs.
- Mettre en place un modèle mathématique d'optimisation qui aura pour but de minimiser les Coûts de transport et de manutention dans le nouveau modèle logistique, et éventuellement déduire le mode de transport adapté pour les expéditions internationales.
- Élaborer un outil informatique décisionnel par l'introduction du modèle d'optimisation du processus de consolidation dans le programme Python.

Conclusion générale

La gestion de la supply chain est devenue un aspect essentiel qui engendre des répercussions sur la gestion efficace et efficiente des relations industrielles. Elle est également devenue un axe d'amélioration important pour les entreprises et les organisations afin d'obtenir un avantage concurrentiel.

Notre travail a d'abord consisté à établir un état des lieux global de l'entreprise pour mieux cerner l'environnement dans lequel l'entreprise évolue et assimiler le fonctionnement de la supply chain internationale et spécialement le service procurement de l'entreprise. Après analyse des données de l'entreprise, plusieurs failles ont été détectées notamment au niveau des lead time et des coûts de transport, ce qui nous a emmené en concertation avec l'équipe de Schlumberger à penser à une stratégie de consolidation pour remédier aux problèmes préalablement détectés. A partir de cette initiative nous avons fait ressortir notre problématique, qui consiste à élaborer une démarche ayant pour but de mettre en application cette stratégie de consolidation d'une manière correcte et adaptée aux processus de l'entreprise. Pour apporter une réponse à notre problématique et répondre aux exigences des managers de l'entreprise, nous avons divisé notre travail en plusieurs points.

Dans un premier temps, nous avons exposé les conséquences de la consolidation des commandes sur les lead time et les coûts de transport. Nous avons donc effectué une simulation de la nouvelle approche (avec consolidation) sur un mois représentatif puis nous l'avons comparé aux données du même mois de l'approche traditionnelle (sans consolidation), ce qui nous a permis de prouver le gain de la stratégie de consolidation qui est de 67% de bénéfice monétaire et une moyenne de 20 jours de gain en termes de lead time.

Dans un second temps, nous avons traité un problème connu qui est celui de la localisation, ayant pour but de déduire l'emplacement du centre de consolidation (plateforme de Cross-Docking) le plus efficient, en utilisant une méthode appelée FTOPSIS, qui s'appuie sur des critères objectifs et subjectifs. Grace à cette méthode nous avons pu sélectionner la ville de Marseille sur la base de 5 autres villes préalablement cités après concertation avec l'équipe logistique de Schlumberger.

Ensuite, pour mieux gérer le processus de consolidation lors de la nouvelle approche logistique, nous avons développé un outil d'aide à la décision sous forme d'un modèle mathématique d'optimisation linéaire en nombre entier. Ce modèle contribue à la détermination du mode de transport optimal suivant des contraintes et une fonction objectif qui minimisent les coûts de transport et de manutention. Ce modèle a été adapté aux deux phases de la chaîne logistique, à savoir : l'amont du centre de consolidation (des hubs vers le CC) et l'aval du centre de consolidation (du CC vers les pays du NAF).

Pour conclure notre travail, nous nous sommes orientés vers une solution informatisée en proposant un programme informatique utilisant le langage Python. Ce programme inclut le modèle mathématique élaborée dans la partie précédente et permet

d'automatiser le processus de consolidation et le choix du mode de transport des commandes sur des intervalles de temps fixes.

Les solutions proposées permettent à Schlumberger Ltd d'adopter la nouvelle approche logistique en incluant le centre de consolidation dans la chaîne logistique internationale, et d'entreprendre cette démarche d'une manière efficace en tirant maximum de gain.

D'un point de vue personnel, ce travail nous a permis de nous initier au monde des grandes entreprises multinationales d'une manière générale et de découvrir les différents défis et les contraintes face auxquels ces entreprises font face

Ce projet nous a aussi permis d'apprendre davantage sur le monde de la supply chain, et de mettre en avant notre base en mathématique, recherche opérationnelle et en informatique et aussi d'améliorer des soft skills comme la communication, le travail d'équipe et l'esprit d'initiative.

Ce travail est potentiellement améliorable sur le volet théorique à l'instar du modèle mathématique d'optimisation qui peut éventuellement être ajusté et affiné. D'un point de vue pratique Schlumberger Ltd est dans la mesure de confirmer les résultats obtenus et leurs faisabilités auprès de leurs experts, principalement lors de l'implémentation du programme Python dans le système de l'entreprise qui nécessite un travail minutieux et une mobilisation de toutes les équipes concernées.

Bibliographie

- Agustina, D., Lee, C.K.M., Piplani, R., 2014. Vehicle scheduling and routing at a cross docking center for food supply chains. *International Journal of Production Economics* 152, 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.01.002>
- Aida KADDOUSSI, 2013. Optimisation des flux logistiques: vers une gestion avancée de la situation de crise.
- Buijs, P., Vis, I.F.A., Carlo, H.J., 2014. Synchronization in cross-docking networks: A research classification and framework. *European Journal of Operational Research* 239, 593–608. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.03.012>
- Christopher, M., 2011. *Logistics & supply chain management*, 4. ed. ed. Financial Times, Prentice Hall, Harlow.
- Cóccola, M., Méndez, C.A., Dondo, R.G., 2015. A branch-and-price approach to evaluate the role of cross-docking operations in consolidated supply chains. *Computers & Chemical Engineering* 80, 15–29. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2015.04.039>
- CSCMP, 2013. TERMS and GLOSSARY SUPPLY CHAIN MANAGEMENT.
- Dey, B., Bairagi, B., Sarkar, B., Sanyal, S.K., 2016. Warehouse location selection by fuzzy multi-criteria decision making methodologies based on subjective and objective criteria. *International Journal of Management Science and Engineering Management* 11, 262–278. <https://doi.org/10.1080/17509653.2015.1086964>
- Dondo, R., Cerdá, J., 2015. The heterogeneous vehicle routing and truck scheduling problem in a multi-door cross-dock system. *Computers & Chemical Engineering* 76, 42–62. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2015.02.003>
- Gilmore, P.C., Gomory, R.E., 1963. A Linear Programming Approach to the Cutting Stock Problem—Part II. *Operations Research* 11, 863–888. <https://doi.org/10.1287/opre.11.6.863>
- Handfield, R., Finkenstadt, D.J., Schneller, E.S., Godfrey, A.B., Guinto, P., 2020. A Commons for a Supply Chain in the Post-COVID-19 Era: The Case for a Reformed Strategic National Stockpile. *The Milbank Quarterly* 98, 1058–1090. <https://doi.org/10.1111/1468-0009.12485>
- Hassen Gharbi, 2013. Planification réactive et robuste au sein d'une chaîne logistique.
- Jan Van Belle_, Paul Valckenaers_, Dirk Cattrysse_ Cross-docking: State of the art Katholieke Universiteit Leuven, Department of Mechanical Engineering, Celestijnenlaan 300B, B-3001 Heverlee (Leuven), Belgium
- Kargari Esfand Abad, H., Vahdani, B., Sharifi, M., Etebari, F., 2018. A bi-objective model for pickup and delivery pollution-routing problem with integration and consolidation shipments in cross-docking system. *Journal of Cleaner Production* 193, 784–801. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.046>

- Karmaker, C.L., Saha, M., 2015. Optimization of warehouse location through fuzzy multi-criteria decision making methods. 10.5267/j.dsl 315–334. <https://doi.org/10.5267/j.dsl.2015.4.005>
- Maia, J.L., Cerra, A.L., 2009. INTERRELATION BETWEEN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT AND LOGISTICS: A CASE STUDY IN THE BRAZILIAN PLANT OF A MULTINATIONAL AUTOMOTIVE COMPANY. *Revista GI* 5. <https://doi.org/10.3895/S1808-04482009000100004>
- MARTIN BÉLIVEAU, 2010 , CONSOLIDATION DES COMMANDES DANS LA GRANDE DISTRIBUTION
- Meixell, M.J., Gargeya, V.B., 2005. Global supply chain design: A literature review and critique. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 41, 531–550. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2005.06.003>
- Mme RIHAB KHEMIRI, 2017. Développement d'une approche floue multicritères pour une planification intégrée couplant la gestion de la performance et du risque.
- NA DENG, 2013. SHIPMENT CONSOLIDATION AND DISTRIBUTION MODELS IN THE INTERNATIONAL SUPPLY CHAIN.
- Pedro Belin Castellucci, 2019. Consolidation problems in freight transportation systems: mathematical models and algorithms.
- Rochdi Sarraj, 2013. Interconnexion des réseaux logistiques : éléments de définition et potentiel.
- Rutowicz, M., 2020. Supply Chains for the Oil and Gas Sector. Identification and Location of the Oilfield Service Operators in the Contemporary Geopolitical System. *TransNav* 14, 485–491. <https://doi.org/10.12716/1001.14.02.29>
- Sarraj, R., Ballot, E., Pan, S., Hakimi, D., Montreuil, B., 2014. Interconnected logistic networks and protocols: simulation-based efficiency assessment. *International Journal of Production Research* 52, 3185–3208. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.865853>
- Supply Chain Council, 2012. SCOR supply chain operations reference model. The Supply Chain Council, Place of publication not identified.
- Uday Venkatadri, Kasinadhuni Shyama Krishna, and M. Ali Ülkü, 2016. On Physical Internet Logistics: Modeling the Impact of Consolidation on Transportation and Inventory Costs.
- Yu, V.F., Jewpanya, P., Kachitvichyanukul, V., 2016. Particle swarm optimization for the multi-period cross-docking distribution problem with time windows. *International Journal of Production Research* 54, 509–525. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1037933>

<https://www.scmr.com/>

<https://scm.ncsu.edu/scm-articles/article/what-is-supply-chain-management-scm>

https://www.supplychain247.com/paper/the_7_principles_of_supply_chain_management

<https://www.cma-cgm.com/>

<https://www.marinetraffic.com/>

<https://www.mordorintelligence.com/>

<https://www.searates.com/>

Annexes

Annexe 1

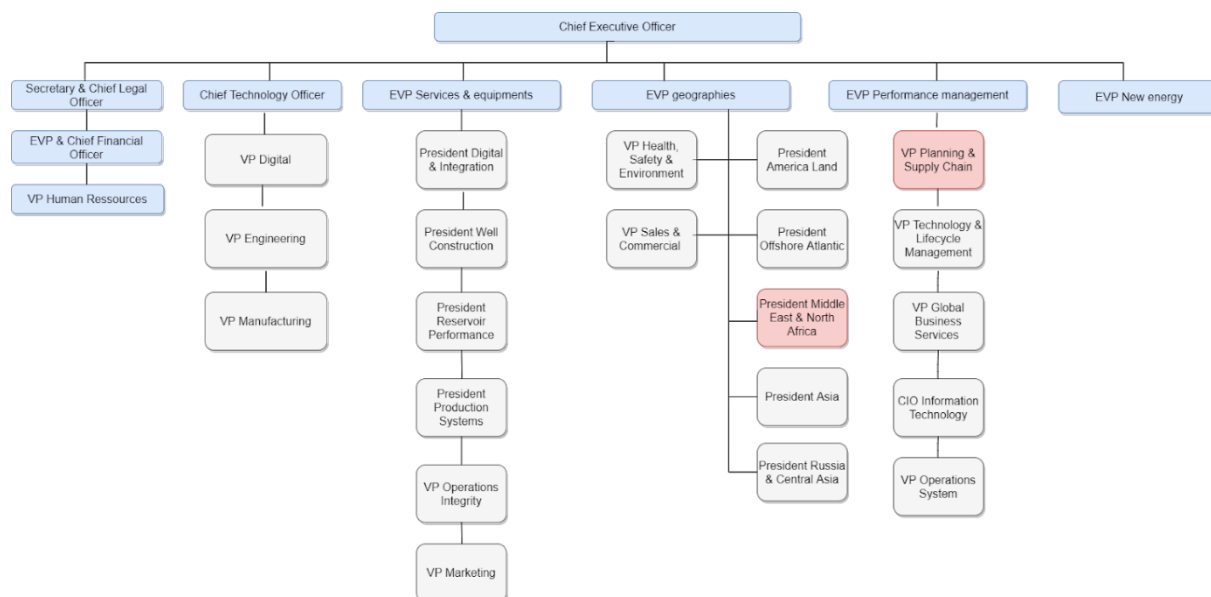


Figure 29 Organigramme Global de Schlumberger Ltd

Annexe 2

Tableau 42 La quantité transportée de Rotterdam vers le centre de consolidation " aout 2019 "

Produit	Nombre d'expéditions par mois	par	Nombre d'expéditions par semaine	Poids exacts en kg par semaine	Poids en tonnes par semaine
0-45KG	312		78		
Chemicals & Logistics	32		8	176	
Drilling & Evaluation	8		2	44	1,54
Surface Equipment & Services	59		15	325	
infrastructure	213		53	1172	
100-200KG	56		14		
Drilling & Evaluation	12		3	450	2,10

Surface Equipment & Services	44	11	1650	
infrastructure	0	0	0	
200-300KG	8	2		
Drilling & Evaluation	4	1	250	0,50
Surface Equipment & Services	4	1	250	
infrastructure		0	0	
45-70KG	9	2		
Drilling & Evaluation	3	1	60	0,18
Surface Equipment & Services	2	1	60	
infrastructure	4	1	60	
70-100KG	42	11		
Chemicals & Logistics	5	1	113	
Surface Equipment & Services	37	9	833	
infrastructure		0	0	1
Heavy	429	107		
Chemicals & Logistics	150	38	11250	
Drilling & Evaluation	10	3	750	20,925
Surface Equipment & Services	38	10	2850	
infrastructure	231	58	17325	

Annexe 3

Tableau 43 Les Coûts de transport de Rotterdam vers le centre de consolidation

Moyen de transport	Type de produits	Poids en Tonnes	Nbre de conteneurs 20 std et le prix
Terrestre	M&S	26,0775	2 conteneurs
			2 483,57 €
	Chemical	12	1
			2 000,00 €

Annexe 4

Tableau 44 la quantité transportée de Houston vers le centre de consolidation " aout 2019 "

poids	Nombre d'expéditions par mois	Nombre d'expéditions par semaine	Poids exacts en kg par semaine	Poids en tonnes par semaine
0-45KG	75	19		
Chemicals & Logistics	0	0	0	
Drilling & Evaluation	8	2	44	0,41
Surface Equipment & Services	34	9	187	
infrastructure	33	8	182	
100-200KG	11	3		
Drilling & Evaluation	4	1	150	0,41
Surface Equipment & Services	6	2	225	
infrastructure	1	0	38	

200-300KG	8	2		
Drilling & Evaluation	4	1	250	0,50
Surface Equipment & Services	4	1	250	
infrastructure		0	0	
45-70KG	27	7		
Drilling & Evaluation	3	1	60	0,18
Surface Equipment & Services	18	5	60	
infrastructure	6	2	60	
70-100KG		0		
Chemicals & Logistics		0	0	
Surface Equipment & Services		0	0	
infrastructure		0	0	0
Heavy	172	43		
Chemicals & Logistics		0	0	
Drilling & Evaluation	4	1	300	12,9
Surface Equipment & Services	64	16	4800	
infrastructure	104	26	7800	

Annexe 5

Tableau 45 les Coûts de transport de Houston vers le centre de distribution " aout 2019 "

Mode of transport		Somme de tonnes par semaine	20 std
seafright	M&S	14,405	1
			1 714,88 €
	Chem	0,4	(2 Palettes)
			154,38 €

Annexe 6

Tableau 46 les Coûts de transport entre le centre de consolidation et les pays de NAF

Transport Marseille	Quantité par mois	Quantité par semaine	Poids exacts en kg	Poids en tonnes	coût de transport	coût total
Algeria	2053	513,25				5 303,00 €
Chemicals & Logistics	161	40,25			2 991,8 €	
0-45KG	32	8,00	176	3,801		
Heavy	29	7,25	3625			
Drilling & Evaluation	143	35,75				
0-45KG	37	9,25	203,5	103,34975		
100-200KG	5	1,25	187,5			
200-300KG	5	1,25	312,5			

Heavy	92	23,00	6900		
Surface Equipment & Services	1116	279,00			
0-45KG	249	62,25	1556,25		
100-200KG	22	5,50	825		
200-300KG	14	3,50	875		
45-70KG	21	5,25	315		
70-100KG	15	3,75	337,5		
Heavy	795	198,75	59625		
Infrastructure	633	158,25			
0-45KG	188	47,00	0		
100-200KG	14	3,50	525		
200-300KG	3	0,75	187,5		
Heavy	420	105,00	31500		
Chad	115	28,75			
Chemicals & Logistics	1	0,25			
70-100KG	1	0,25	22,5	0,0225	
Drilling & Evaluation	12	3,00			1 100 €
0-45KG	12	3,00	75		
Surface Equipment & Services	86	21,50		2,55875	

0-45KG	67	16,75	418,75		
70-100KG	19	4,75	427,5		
infrastructure	64	16,00			
0-45KG	46	11,50	287,5		
Heavy	18	4,50	1350		
Libya	527	131,75			
Chemicals & Logistics	10	2,50			
Heavy	10	2,50	750	0,75	
Drilling & Evaluation	100	25,00			
0-45KG	96	24,00	600		
Heavy	5	1,25	375		
Surface Equipment & Services	288	72,00			
0-45KG	243	60,75	1518,75		655,95 €
100-200KG	44	11,00	1650		
45-70KG	35	8,75	525	18,6075	
70-100KG	15	3,75	1125		
infrastructure	345	86,25			
0-45KG	135	33,75	843,75		
100-200KG	50	12,50	3125		

200-300KG	6	1,50	375		
45-70KG	20	5,00	300		
70-100KG	32	8,00	520		
Heavy	102	25,50	7650		
Tunisia	149	37,25			
Drilling & Evaluation	29	7,25			
0-45KG	18	4,50	112,5		
45-70KG	11	2,75	165		
Heavy	14	3,50	35		
Surface Equipment & Services	75	18,75			
0-45KG	46	11,50	287,5		
45-70KG	13	3,25	195	5,4275	434,20 €
Heavy	31	7,75	2325		
Infrastructure	45	11,25			
0-45KG	38	9,50	237,5		
45-70KG	3	0,75	45		
Heavy	27	6,75	2025		
Chemicals & Logistics	22	5,50			
0-45KG	2	0,50	12,5	1,5125	121,00 €

Heavy	20	5,00	1500			
-------	----	------	------	--	--	--

Annexe 7

Tableau 47 Lead Time entre Rotterdam,Houston et les Pays de NAF avec l'ancienne approche

HUB	Destination	Lead time transport (jours) 'seafreight'	Lead time dédouanement	Total lead Time
Rotterdam	Algérie	15	50	65
	Tunisie	25	45	70
	Libye	15	45	60
	Morocco	15	40	55
Houston	Algérie	15	50	65
	Tunisie	25	45	70
	Libye	15	45	60
	Morocco	15	40	55

Annexe 8

Tableau 48 Lead Time entre Rotterdam,Houston et les Pays de NAF avec la nouvelle approche

Hub	Centre de consolidation	Transit Lead time	Cros dock LT	Destination	Lead time transport (days)	Local Delivery Lead Time	Total Lead time
Rotterdam	Marseille	1	7	Algérie	3	7-15	26
				Libye	4	15	27
				Tunisie	2	15	25
				Morocco	3	10	21
Houston		30	7	Algérie	3	7-15	58
				Libye	4	15	56
				Tunisie	2	15	54
				Morocco	3	10	50

Annexe 9

Tableau 49 la distances entre les Hubs et les alternatives (villes)

Hubs	Villes	Distance (km)
Dubai	Marseille	4922
	Barcelone	5165
	Malte	4062
	Tanger	5878
	Zarzis	4348
Rotterdam	Marseille	1213
	Barcelone	1502
	Malte	2731
	Tanger	2602
	Zarzis	2117
Houston	Marseille	8579
	Barcelone	8448
	Malte	9667
	Tanger	8099
	Zarzis	9573

Annexe 10

Tableau 50 La distance entre les villes (alternatives) et les pays de NAF

Villes	Pays de NAF	DISTANCE (km)
Marseille	Algérie	754
	Maroc	1271
	Tunisie	828
	Lybie	1789
Barcelone	Algérie	521
	Maroc	933
	Tunisie	856
	Lybie	1894
Malte	Algérie	1019
	Maroc	1816
	Tunisie	389
	Lybie	675
Tanger	Algérie	800
	Maroc	/
	Tunisie	1434
	Lybie	3477
Zarzis	Algérie	800
	Maroc	1566
	Tunisie	1434
	Lybie	3477

Annexe 11

```
Entrée [4]: #function that finds the next thursday for (depart hub)

import datetime
total_rows = Produit.shape[0]
x=Produit['Date_prêt_dans_le_hub']
y=Produit['date_départ_hub ( fixe jeudi )']

def next_jeu(a,b):
    #for i in range(1,total_rows+1):
    for i in a.index:
        if type(a[i])!='numpy.float64' and type(a[i])!=float:
            if a[i].dayofweek<3:
                b[i]=a[i]+pd.Timedelta(days=3-(a[i].dayofweek))
            else:
                b[i]=a[i]+pd.Timedelta(days=10-(a[i].dayofweek))

next_jeu(x,y)
```

Figure 30 Partie du code qui détermine la date de départ de HUB

Annexe 12

```
##### Calcule des couts de manetuntion #####
Marseille['cout de déchargement'][1]=295*(Marseille["Nbre de conteneurs en amont"][1])
+45*(Marseille["Nbre de palettes en amont"][1])
#####
#####
Marseille['cout de chargement'][1]=295*(Marseille["Nbre de conteneurs en aval"][1])+45*(Marseille["Nbre de palettes en aval"][1])
#####
#####
Marseille["cout de documentation"][1]=15*(Marseille["Nbre de conteneurs en amont"][1]+Marseille["Nbre de conteneurs en aval"][1]
+Marseille["Nbre de palettes en amont"][1]+Marseille["Nbre de palettes en aval"][1])
#####
#####
Marseille["cout de transport interne"][1]=290*(Marseille["Nbre de conteneurs en amont"][1]+Marseille["Nbre de conteneurs en aval"]
+40*(Marseille["Nbre de palettes en amont"][1]+Marseille["Nbre de palettes en aval"][1])
#####
#####
#cout total (manetuntion)
Marseille["cout total"][1]=Marseille['cout de déchargement'][1]+Marseille['cout de chargement'][1]+Marseille["cout de documentat:
```

Figure 31 Partie du code Python qui calcules le cout total engendré (coûts de transport et de manutention)

Annexe 13

Testing out

```
Entrée [10]: #On extract Les commandes avec date depart hub==03/06/2021
prod_new=Produit.loc[(Produit["type_de_produit"]=="M&S")&(Produit["Urgence_em"]=="non")&(Produit["date_départ_hub ( fixe jeudi )"]<="2021-06-03")]
prod_new
```

Out[10]:

	Nom	type_de_produit	destination_dik	date_de_commande	Hub	exonération_exik	durée_de_prod_plti	poids_kg_fi	volume_ei	Urgence_em	D
Id_Produit											
11	P011	M&S	Algérie	2021-05-22	Dubai	non	9	22	0.82	non	
12	P012	M&S	Algérie	2021-04-20	Dubai	non	44	103	0.48	non	
21	P021	M&S	Algérie	2021-05-15	Houston	oui	16	180	0.71	non	
28	P028	M&S	Algérie	2021-04-14	Dubai	non	50	148	0.84	non	
29	P029	M&S	Libye	2021-05-07	Houston	oui	22	379	0.50	non	

Figure 32 Partie du code python qui filtre les commandes de types M&S non urgent

Annexe 14

```
Entrée [14]: #MODEL ro
model=Model()
model.params.LogToConsole= True
model.params.TimeLimit=60 #seconds

x=model.addVars(n, UB, vtype=GRB.BINARY)
#z==model.addVars(n, UB, vtype=GRB.BINARY)
y=model.addVars(UB, vtype=GRB.BINARY)

model.setObjective(quicksum(400*y[j] for j in range(UB)) + quicksum(2*weight[i]*x[i,0] for i in range(n)), GRB.MINIMIZE)

model.addConstrs(quicksum(x[i,j] for j in range(UB)) ==1 for i in range(n) )

model.addConstrs(quicksum(weight[i] * x[i,j] for i in range(n)) <= 700 * y[j] for j in range(1,UB))

model.optimize()
```

Figure 33 Partie du code Python qui minimise le nombre de palettes et de conteneurs utilisés.

Annexe 15

```
Entrée [5]: #code that finds the arrival date in Marseille

y1=Produit['date_arrivé_Mrs ( non fixe )']
x1=Produit['date_départ_hub ( fixe jeudi )']
h1=Produit['Hub']
t1=Produit['type_de_produit']
u1=Produit['Urgence_em']
mode=Produit['mode de transport']
for i in range(1,total_rows+1):
    if t1[i]=="chem":
        transport=transport_amont.loc[(transport_amont["Hub"]==h1[i])&((transport_amont["Mode de transport"]=="sea"))(transport
        tt=transport['TT ( jours )'].item()
        tt
        y1[i]=x1[i]+pd.Timedelta(days=tt)

        mode[i]=transport['Mode de transport'].item()

    else:
        if u1[i]=="oui":
            transport=transport_amont.loc[(transport_amont["Hub"]==h1[i])&((transport_amont["Mode de transport"]=="air"))(trans
            tt=transport['TT ( jours )'].item()
            tt
            y1[i]=x1[i]+pd.Timedelta(days=tt)

            mode[i]=transport['Mode de transport'].item()

#y1[1]=x1[1]+pd.Timedelta(days=tt)
```

Figure 34 la fonction qui détermine la date d'arrivée au CC

Annexe 16

```
dubai_sea_cntr=0
dubai_sea_pal=0
for i in dubai_sea.index:
    dubai_sea_cntr=dubai_sea_cntr+dubai_sea["Nbre_de_cntnr_expédié_M&S"][i]+dubai_sea["Nbre_de_cntnr_expédié_CHEM"][i]
    dubai_sea_pal=dubai_sea_pal+dubai_sea["Nbre_de_palette_M&S_libre"][i]+dubai_sea["Nbre_de_palette_CHEM_libre"][i]

#dubai_sea_cntr,dubai_sea_pal

houston_sea_cntr=0
houston_sea_pal=0
for i in houston_sea.index:
    houston_sea_cntr=houston_sea_cntr+houston_sea["Nbre_de_cntnr_expédié_M&S"][i]+houston_sea["Nbre_de_cntnr_expédié_CHEM"][i]
    houston_sea_pal=houston_sea_pal+houston_sea["Nbre_de_palette_M&S_libre"][i]+houston_sea["Nbre_de_palette_CHEM_libre"][i]

#houston_sea_cntr,houston_sea_pal

rotterdam_terr_cntr=0
rotterdam_terr_pal=0
for i in rotterdam_terr.index:
    rotterdam_terr_cntr=rotterdam_terr_cntr+rotterdam_terr["Nbre_de_cntnr_expédié_CHEM"][i]
    rotterdam_terr_pal=rotterdam_terr_pal+rotterdam_terr["Nbre_de_palette_CHEM_libre"][i]

#rotterdam_terr_cntr, rotterdam_terr_pal
```

Figure 35 Partie du code qui désigne le mode de transport optimal (Partie en amont)

Annexe 17

```
In [201]: #Import all sheets with the 1st column as index column
Produit = pd.read_excel ('modèle.xlsx', 'Produit',index_col=0)
hub = pd.read_excel ('modèle.xlsx', 'HUB',index_col=0)
transport_amont = pd.read_excel ('modèle.xlsx', 'TRANSPORT_amont_Hub',index_col=0 )
transport_aval = pd.read_excel ('modèle.xlsx', 'TRANSPORT_aval_Marseille',index_col=0)
Palette = pd.read_excel ('modèle.xlsx', 'Palette',index_col=0)
Marseille = pd.read_excel ('modèle.xlsx', 'Marseille',index_col=0)
NAF = pd.read_excel ('modèle.xlsx', 'NAF',index_col=0)
```

Figure 36 Partie du code Python qui permet de lire et d'extraire les inputs d'un fichier excel

Annexe 18

```
##### Calcule des couts de manetuntion #####
Marseille['cout de déchargement'][1]=295*(Marseille["Nbre de conteneurs en amont"][1])
+45*(Marseille["Nbre de palettes en amont"][1])
#####
Marseille['cout de chargement'][1]=295*(Marseille["Nbre de conteneurs en aval"][1])+45*(Marseille["Nbre de palettes en aval"][1])
#####
Marseille['cout de documentation'][1]=15*(Marseille["Nbre de conteneurs en amont"][1]+Marseille["Nbre de conteneurs en aval"][1]
+Marseille["Nbre de palettes en amont"][1]+Marseille["Nbre de palettes en aval"][1])
#####
Marseille['cout de transport interne'][1]=290*(Marseille["Nbre de conteneurs en amont"][1]+Marseille["Nbre de conteneurs en aval"]
+40*(Marseille["Nbre de palettes en amont"][1]+Marseille["Nbre de palettes en aval"][1])
#####
#cout total (manetuntion)
Marseille["cout total"][1]=Marseille['cout de déchargement'][1]+Marseille['cout de chargement'][1]+Marseille["cout de documentat:
```

Figure 37 Partie du code qui calcule les coûts de manutention dans un intervalle d'une semaine.

Annexe 19

```
In [315]: #extraction des MS depuis le table
pays_ms_exo_poid=pays_ms_exo['poids_kg_fi']
pays_ms_exo_vol=pays_ms_exo['volume_ei']

pays_ms_noexo_poid=pays_ms_noexo['poids_kg_fi']
pays_ms_noexo_vol=pays_ms_noexo['volume_ei']
#extraction des CHEM depuis le table
pays_chem_exo_poid=pays_chem_exo['poids_kg_fi']
pays_chem_exo_vol=pays_chem_exo['volume_ei']

pays_chem_noexo_poid=pays_chem_noexo['poids_kg_fi']
pays_chem_noexo_vol=pays_chem_noexo['volume_ei']

#somme des (MS) poids et volume (exonoré et non exonoré)
pays_ms_exo_poid_total=pays_ms_exo_poid.sum()
pays_ms_exo_vol_total=pays_ms_exo_vol.sum()

pays_ms_noexo_poid_total=pays_ms_noexo_poid.sum()
pays_ms_noexo_vol_total=pays_ms_noexo_vol.sum()

#somme des (CHEM) poids et volume (exonoré et non exonoré)
pays_chem_exo_poid_total=pays_chem_exo_poid.sum()
pays_chem_exo_vol_total=pays_chem_exo_vol.sum()

pays_chem_noexo_poid_total=pays_chem_noexo_poid.sum()
pays_chem_noexo_vol_total=pays_chem_noexo_vol.sum()
```

Figure 38 Partie du code qui classe les commandes selon la catégorie des produits et le type d'exonération

Annexe 20

```
In [ ]: ##### Exportation des tableau au fichiers excel (output)
Produit.to_excel('produit.xlsx')
hub.to_excel('hub.xlsx')
NAF.to_excel('NAF.xlsx')
Marseille.to_excel('Marseille.xlsx')
#####
```

Figure 39 Partie du code qui exporte les résultats obtenus sur un fichier excel .