

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION
AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur

Filière : Génie industriel

Spécialité : Management industriel et logistique

Présenté par :

Yasmina SALAH
Kenza BAADOUD

Thème

**L'optimisation des flux de marchandises
avec l'internet physique**

Soutenu publiquement, le 29 /09/2020, devant le jury composé de :

Dr Hocine KAHOUADJI	MCB	UNIV-Tlemcen	Président
M. Fouad MALIKI	MCB	ESSA-Tlemcen	Directeur de mémoire
Dr Mohammed BENEKROUF	MCB	ESSA-Tlemcen	Examineur 1
Dr Amine GUEZZEN	MCB	UNIV-Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire : 2019 /2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Table de matière

Table de matière	
Dédicace I	
Dédicace II	
Remerciements	
Abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale	
1 Chapitre I : la logistique et l'internet physique	14
1.1 Introduction	14
1.2 La logistique et le transport	14
1.2.1 La logistique et la supply chain	14
1.2.2 En amont et en aval	15
1.2.3 La logistique de distribution	15
1.2.4 L'importance du transport dans la chaîne logistique	16
1.3 L'internet physique	16
1.3.1 Contexte et motivation	16
1.3.2 Définition d'IP	17
1.3.3 Historique	18
1.3.4 Les éléments de l'IP	18
1.3.5 Le concept de l'internet physique	23
1.3.6 L'internet physique (IP) et l'internet digital (ID)	23
1.4 Conclusion	26
2 Chapitre II : Le transport et la logistique en Algérie	28
2.1 Introduction	28
2.2 Investissements et ambitions	28
2.3 Caractéristiques des principaux modes de transport	28
2.3.1 Réseau routier	29
2.3.2 Réseau maritime	30
2.3.3 Réseau ferroviaire :	32
2.4 Analyse SWOT du secteur logistique algérien	35
2.5 Conclusion	36
3 Chapitre III : Généralités sur le transport de marchandises	38
3.1 Introduction	38

3.2 Généralités sur le transport de marchandises	38
3.2.1 La marchandise.....	38
3.2.2 Le transport de marchandises	38
3.3 Les entreprises prestataires de transport en Algérie	46
3.3.1 Description	46
3.3.2 Air Algérie cargo.....	46
3.3.3 NUMILOG	48
3.3.4 Bejaia logistique	50
3.4 Conclusion	52
4 Chapitre IV : Problème d'optimisation des coûts de Transport de marchandises	55
4.1 Introduction	55
4.2 Définition du problème.....	55
4.3 Méthodes de résolution utilisées.....	56
4.3.1 Le programme linéaire	56
4.3.2 CPLEX studio.....	56
4.4 Le programme linéaire.....	57
4.4.1 La reformulation du problème.....	57
4.4.2 Le modèle mathématique	58
4.5 La simulation sous CPLEX	61
4.5.1 Définition du réseau de distribution	61
4.5.2 L'introduction des données	62
4.5.3 Les résultats de l'exécution	65
4.5.4 Interprétation des résultats.....	71
4.6 Les algorithmes génétiques	72
4.6.1 Le codage	72
4.6.2 La fonction d'adaptation (fitness).....	73
4.6.3 La sélection.....	73
4.6.4 L'opérateur de croisement.....	73
4.6.5 L'opérateur de mutation.....	74
4.6.6 L'élitisme.....	74
4.6.7 Résultat de l'exécution	75
4.6.8 Interprétation des résultats.....	77
4.7 Conclusion	77

Dédicace I

Je dédie ce modeste travail accompagné d'une sincère reconnaissance :

À celui qui m'a toujours supporté, dirigé, encouragé et qui a déployé beaucoup de sacrifices pour mon éducation et ma formation . . . mon père, que ma réussite soit le meilleur cadeau que je puisse l'offrir,

À la source d'amour et d'espoir, celle qui m'a béni par ses prières . . . ma mère, que ce travail soit l'accomplissement de tes vœux tant attendus,

À ma très chère sœur Bahia et mon très cher frère Ibrahim,

À mes adorables nièces : Amina, Zineb et Soumia,

À mes oncles, mes tantes et mes chers cousins et cousines pour tous le soutien et l'amour qu'ils m'offrent,

À ma chère Kenza, pour tout son aide et sa patience,

À mes amies Nabila, Imen, Hayet, Sabrina et Keltoum, pour tous les bons et inoubliables moments que nous avons vécu ensemble,

Je vous aime . . .

Yasmina

Dédicace II

À mes très chers parents Bakhta et Abdelkader,

Vous êtes le secret de ma force, la source de ma joie, je vous remercie pour votre soutien, amour, courage, vos sacrifices, tout au long de ma vie, que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, Que dieu tout puissant vous accorder santé, bonheur et longue vie...

À mes chères sœurs Amina, Safia, Ikram et mon cher frère Ali, Je vous remercie pour leurs soutiens moraux et matériels tout au long de mes études. Et aussi à mes petits amours : Riham, Djinane et Moayad, Que dieu les protèges.

À M. Fouad Maliki, Mon directeur de mémoire, Je vous remercie pour tout votre aide, encouragement, votre grande disponibilité, et vos précieux conseils durant la rédaction de notre mémoire.

À ma chère binôme Yasmina et toute votre famille SALAH, Sans votre aide, vos conseils et encouragements ce travail n'aurait pas vu le jour. Je vous remercie infiniment ainsi que votre famille pour votre accueil chaleureux, je vous souhaite beaucoup de succès pour l'avenir

À mes meilleures amies Racha et Selma, Je leurs souhaite un avenir plein de bonheur, de réussite et de santé.

À toute ma famille,

Mes amis,

Et mes enseignants,

Je vous dédie ce travail. . .

Kenza

Remerciements

Ce modeste travail fut le fruit de beaucoup d'efforts et de nombreux sacrifices. Pour cela, nous remercions, dans un premier temps, Dieu le créateur de l'univers, qui nous a maintenues en force, en courage et en santé pour mener à bien ce mémoire de fin d'étude.

Nous adressons tous nos remerciements et notre sincère gratitude à M. Fouad Maliki, en tant que directeur de ce mémoire, pour tout son aide, sa patience, le temps qui nous a consacré, la confiance qui nous a accordé et surtout pour ses judicieux conseils. Nous leur remercions ainsi, en tant que chef de filière génie industriel, pour tout ce qu'il nous a appris et partagé tout au long de nos trois ans de spécialité. L'encouragement et le soutien moral qui nous a fourni nous ont permis de fructifier des expériences professionnelles et personnelles marquantes.

Nous tenons ainsi à remercier les corps professoral et administratif de l'école supérieure en sciences appliquées de Tlemcen, pour leurs efforts fournis durant notre parcours au sein de l'école.

Nos sincères remerciements vont aux membres de jury qui nous ont fait l'honneur de bien vouloir examiner ce travail :

M. Hocine KAKOUADJ

M. Mohammed BENEKROUF

M. Amine GHEZZEN

Et enfin, nous remercions du fond du cœur toute personne ayant contribué à ce travail

Abréviations

BIP : Produit Intérieur Brut.

CNAN :Compagnie Nationale Algérienne de Navigation.

RO-RO :Roll-On/Roll-Off (Type de navire, signifiant littéralement « rentrer en roulant, sortir en roulant»).

SNTF : La Société Nationale des Transports Ferroviaires.

IP : Internet physique

ID : internet digital

BL : Bejaia Logistique

TM : Transport de marchandises

TRM : Transport routier de marchandises

EVP: Equivalent pied

HC: High Cube

AG : Algorithmes génétiques

Liste des tableaux

Tableau 1.1: les points de différenciation entre la logistique et l'IP	17
Tableau 1.2: les points de différenciation entre l'IP et l>ID	25
Tableau 2.1: L'analyse SWOT du secteur logistique algérien	35
Tableau 3.1: Tableau récapitulant les différents types de transport.....	40
Tableau 3.2: Les avantages et les inconvénients de chaque mode de transport	41
Tableau 3.3: tableau résumant les infrastructures associées à chaque mode de transport	43
Tableau 3.4: les capacités de transport offertes par AIR ALGERIE Cargo	47
Tableau 3.5: l'organisation de transport de marchandise par AIR ALGERIE Cargo.....	48
Tableau 4.1: les 6 positions possibles du placement d'un article dans un conteneur.....	58
Tableau 4.2 : tableau résumant les indices, ensembles et paramètres du modèle mathématique	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 4.3: les caractéristiques des articles.....	63
Tableau 4.4: les demandes des CLR's	63
Tableau 4.5: la distance entre la plateforme logistique et chaque CLR.....	63
Tableau 4.6: les dimensions des conteneurs utilisés	64
Tableau 4.7: tableau résumant les résultats du 1er cas donnés pas CPLEX	67
Tableau 4.8: tableau résumant les résultats du 2 ^{ème} cas donnés pas CPLEX.....	68
Tableau 4.9: tableau résumant les résultats du 3 ^{ème} cas donnés pas CPLEX.....	70
Tableau 4.10: les caractéristiques des articles	75
Tableau 4.11: les résultats obtenus avec les AG.....	75

Liste des figures

Figure 1.1: illustration d'une chaîne logistique	15
Figure 1.2: PI-conteneur.....	20
Figure 1.3: exemple d'un PI-hub Bimodal rail-route de l'Internet Physique	21
Figure 1.4: les 7 couches du modèle OLI	22
Figure 1.5: la similarité dans la structure du réseau.....	24
Figure 2.1: Situation du réseau autoroutier algérien-Mai 2015.....	29
Figure 2.2: Configuration du réseau autoroutier algérien à l'horizon 2025	30
Figure 2.3: La localisation des ports algériens en 2015	32
Figure 2.4: Réseau ferré de la partie Nord d'Algérie.....	33
Figure 2.5: Le réseau ferré algérien et ses perspectives de développement.....	34
Figure 3.1: structure en couches des systèmes de transport.....	42
Figure 3.2 Le réseau de distribution de l'entreprise NUMILOG:.....	50
Figure 4.1: schématisation de notre réseau de distribution	62
Figure 4.2: schématisation de notre réseau de distribution	62
Figure 4.3: notre programme sous CPLEX.....	65
Figure 4.4: la valeur de la fonction objectif donnée par CPLEX pour le 1 ^{er} cas	66
Figure 4.5: les conteneurs sélectionnés pour le 1 ^{er} cas	66
Figure 4.6: l'affectation des conteneurs sélectionnés pour le 1 ^{er} cas.....	66
Figure 4.7: la valeur de la fonction objectif donnée par CPLEX pour le 2 ^{ème} cas	67
Figure 4.8: les conteneurs sélectionnés pour le 2 ^{ème} cas	68
Figure 4.9: l'affectation des conteneurs sélectionnés pour le 2 ^{ème} cas.....	68
Figure 4.10: la valeur de la fonction objectif donnée par CPLEX pour le 3 ^{ème} cas	69
Figure 4.11: les conteneurs sélectionnés pour le 3 ^{ème} cas	69
Figure 4.12: l'affectation des conteneurs sélectionnés pour le 3 ^{ème} cas	70
Figure 4.13: un exemple d'une solution	73
Figure 4.14: illustration de l'opération de croisement sur l'exemple.....	74

Introduction générale

Gérer les flux physiques et informatiques, mettre à disposition les ressources nécessaires à l'atteinte des objectifs, maîtriser les coûts, optimiser les délais, favoriser la qualité, sont autant de critères à respecter pour réussir sa stratégie logistique.

La logistique regroupe plusieurs services qui composent la chaîne logistique, notamment le transport. Ces deux activités sont intimement liées et partagent des enjeux en commun, telle que la satisfaction des clients, ainsi que la réduction des coûts.

Au fil des années, la fonction logistique n'a cessé d'évoluer apportant à l'économie mondiale un grand essor. Cependant, avec l'ampleur de la mondialisation, le marché devient de plus en plus concurrentiel et saturé et la clientèle s'avère encore plus exigeante en matière de qualité, coût et délai. Face à ces mutations, le système logistique actuel s'avère insuffisant.

Mais suite aux recherches élaborées par les experts du domaine, un nouveau concept est apparu comme solution pour les problèmes des limites de la logistique actuelle, ce concept est nommé actuellement : l'internet physique.

Le présent mémoire a pour objectif l'utilisation de l'internet physique pour l'optimisation des flux de marchandises. Pour cela, nous aborderons quatre chapitres.

Le premier chapitre traitera, dans la première partie, la logistique et l'importance du transport dans la chaîne logistique. Dans la deuxième partie, le concept de l'internet physique sera introduit.

Le deuxième chapitre est consacré pour le secteur du transport et de la logistique en Algérie. Nous parlerons de ses grands investissements et ses ambitions. Puis nous citerons les caractéristiques principales des différents modes de transport. Et nous finirons par une analyse SWOT du secteur.

Dans le troisième chapitre, nous traiterons les problèmes actuels du transport de marchandises. Nous commençons d'abord par des généralités sur le transport de marchandises et les moyens rattachés au TM. Puis nous citerons des exemples d'entreprises prestataires de transport et de logistique en Algérie.

Le quatrième et dernier chapitre sera consacré à la définition et la résolution de notre problème d'optimisation. Ce dernier est modélisé par un programme linéaire avant d'être résolu en utilisant le solveur CPLEX et un algorithme génétique, pour différents scénarios de distribution.

CHAPITRE I

La logistique et l'internet physique

1 Chapitre I : la logistique et l'internet physique

1.1 Introduction

Pour assurer leurs parts dans un marché qui devient de plus en plus concurrentiel et exigeant en matière de qualité, coût et délai, les entreprises sont invitées à adopter une politique logistique. Cette dernière, cherchant à optimiser la gestion des moyens et à maîtriser les flux physiques d'une entité, débute depuis l'approvisionnement en matière première jusqu'à la livraison du produit fini au client, tout en gérant le stockage et le transport.

Dans ce chapitre, nous allons parler des systèmes de transport et de logistique actuels d'une façon générale, puis de l'insuffisance de cette logistique non durable qui a emmené les chercheurs à penser à une solution durable et plus efficace qui est l'internet physique (IP). Une présentation de cette dernière sera introduite.

1.2 La logistique et le transport

1.2.1 La logistique et la supplychain

Le CSCMP¹ définit la logistique comme un processus de planification, d'exécution et de contrôle des procédures de transport et de stockage des biens (et des services) efficace et efficient, et des informations associées, du point d'origine au point de consommation dans le but de répondre aux besoins du client.

Le même organisme définit le concept de la supply Chain ou la chaîne logistique comme étant un réseau d'organisations (fournisseurs, usines, distributeurs, clients, prestataires logistiques...) qui participent à la fabrication, la livraison et la vente d'un produit à un client.

Pratiquement, les chaînes logistiques sont composées d'un réseau complexes d'organisations dont la figure 1 reste une illustration simplifiée.

¹ Council of supply chain management professionals

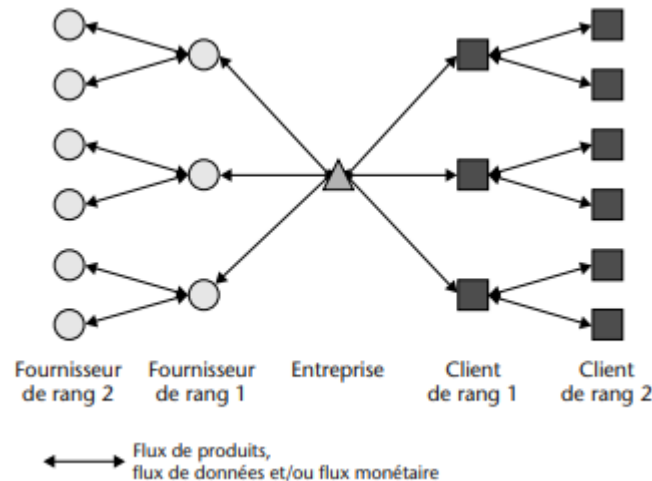


Figure 1.1: illustration d'une chaîne logistique²

1.2.2 En amont et en aval

Dans une chaîne logistique qui débute de l'approvisionnement jusqu'au stockage des produits finis, deux parties peuvent être considérées lors de sa décomposition : la chaîne logistique en amont et en aval. La chaîne logistique en amont domine les approvisionnements en matière première, la gestion de stockage, l'optimisation des flux, l'analyse de la qualité, la gestion du transport et de la manutention.

La chaîne logistique en aval couvre toutes les phases qui suivent le stockage des produits finis ainsi que la distribution aux clients finaux.

1.2.3 La logistique de distribution

Pouvoir assurer la disponibilité des produits jusqu'au client final plus loin, plus vite et à moindre coût n'est maintenue qu'à travers une maîtrise de la logistique de distribution. Cette dernière est l'ensemble des méthodes de la logistique traditionnelle, appliquées afin d'optimiser les flux des commandes clients du fournisseur jusqu'au point de livraison final.

La logistique de distribution inclut non seulement la gestion des flux physiques, mais aussi celle des infrastructures composantes le réseau de distribution. Les trois principales activités qui influencent la maîtrise de la logistique de distribution sont : la définition des réseaux de distribution, la gestion des flux de transport et la gestion des stocks. Cette notion est confrontée à 6 défis qu'elle doit relever quotidiennement :

- La multiplicité des intervenants.

²Supply chain management, Répy Le Moigne, 2^e édition :

<https://www.dunod.com/sites/default/files/atoms/files/9782100759972/Feuilletage.pdf>

- La multi-modalité des opérations de transport.
- Le respect des cahiers des charges clients.
- La maîtrise des coûts logistiques.
- La maîtrise des risques liés à l'acheminement.
- La logistique des retours.

1.2.4 L'importance du transport dans la chaîne logistique

De nos jours, avec l'ampleur de la mondialisation et l'évolution de la logistique dans plusieurs domaines, le transport devient de plus en plus un facteur qui joue un rôle primordial dans la chaîne logistique. Etant un élément de la chaîne logistique qui influence les 3 principales contraintes à respecter pour la satisfaction des clients : le coût, le délai et la qualité, le transport est considéré comme étant un maillon fondamental de la chaîne. La fonction de transport au niveau d'un réseau de distribution consiste à préciser les destinations de distribution d'un entrepôt central vers un ensemble de clients tout en minimisant le coût et la durée de distribution en tenant compte de la qualité du transport.

1.3 L'internet physique

1.3.1 Contexte et motivation

Les opérations logistiques, dont le transport de la marchandise, constituent l'un des appuis les plus importants de l'économie mondiale. Cependant, le monde est confronté à une insuffisance du système logistique actuel due aux limites et aux lacunes accusées par ce dernier. Cette insuffisance est vue de différents points de vue résumés comme suit :

- Point de vue économique : les opérations de la logistique actuelle génère des dépenses colossales telles que les coûts liés à la logistique dépassent 20% du coût d'un produit³.
- Point de vue environnemental : le transport de marchandises tel qu'il est fait actuellement engendre une grande consommation d'énergie ainsi qu'un taux d'émissions de gaz à effet de serre qui ne cesse d'augmenter progressivement.
- Point de vue sociétal : la fatigue des conducteurs par exemple peut représenter une menace pour la sécurité de transport et donc entrainer le non-respect de la durée et de la qualité de transport ou plus gravement l'endommagement de la marchandise.

Au-delà des conséquences de cette insuffisance, la non-durabilité de la logistique actuelle est exprimée à travers des symptômes indiquant son inefficience :

³ ADDA BENNYA, Imen, Optimizing management of n-countainers for physical Internet, june 2019, p°07.
Disponible sur <http://dspace.univ-tlemcen.dz/handle/112/14813>

- Faible taux de chargement des véhicules.
- Le voyage à vide.
- Instabilité de la vie personnelle et sociale des transporteurs.
- Le stockage inutile et la non disponibilité des produits au moment et à l'endroit voulus.
- Le déplacement inutile.
- L'insécurité et la fragilité des réseaux logistiques.
- Manque de normes et de protocoles.

Dans le but de surmonter les limites de la logistique dont fait face le monde actuellement et d'atteindre les exigences du bon fonctionnement du système logistique, à savoir la sécurité, la sûreté, la durabilité et l'efficacité, un nouveau concept est apparu : il s'agit de l'internet physique.

Le tableau suivant représente les différents points de différenciation entre la logistique actuelle et l'internet physique :

Tableau 1.1: les points de différenciation entre la logistique et l'IP

La fonction	La logistique	L'internet physique
L'envoi	Les marchandises	Les conteneurs
Le réseau	Prestation spécifique	Réseau de réseaux ouverts et partagés
Le trajet	Schéma logistique	Routage dynamique
Le système d'information	Propriétaire	Internet des objets, plateformes de services dans le nuage (Cloud)
Le standard	Foisonnement des standards	Accord sur les interfaces, l'identification et les protocoles
Le stockage	Ponctuel (centralisé)	Logistique de déploiement
La gestion des capacités	Privé	Publication

1.3.2 Définition d'IP

La définition donnée à l'internet physique par ses promoteurs est ainsi : « l'Internet Physique est un système logistique global tirant profit de l'interconnexion des réseaux d'approvisionnement par un ensemble standardisé de protocoles de collaborations, de

conteneurs modulaires et d'interfaces intelligentes pour une efficacité et une durabilité accrues »⁴.

D'après la définition, l'idée de l'internet physique consiste à encapsuler toutes les marchandises dans des conteneurs modulaires standardisés, dont le but est de minimiser les taux de vide et de passer d'un système de transport point à point à un système de transport distribué intermodal⁵.

1.3.3 Historique

Apparue pour la première fois en 2006, le terme « Internet Physique » a été introduit dans le magazine *The Economist*⁶ (Markillie, 2006), où le numéro présentait une enquête sur les pratiques logistiques. Le professeur Benoit Montreuil⁷ fut le premier qui s'est intéressé à la recherche de la signification et l'importance potentielles de ce nouveau terme.

Les professeurs Éric Ballot⁸ et Russell Meller⁹ ont été les premiers à rejoindre le professeur Benoit Montreuil en 2009 pour créer une équipe de recherche sur l'IP en menant des projets de recherche à fort impact. En 2014, l'équipe formée a publié un livre pour diffuser les connaissances sur l'IP.

1.3.4 Les éléments de l'IP

Le concept d'internet physique pourrait se mettre en place progressivement. Sa mise en œuvre requiert les quatre éléments caractérisant un réseau logistique ouvert et interconnecté¹⁰.

1.3.4.1 La conteneurisation modulaire des marchandises

Comme nous l'avons déjà mentionné, l'IP repose sur l'encapsulation des marchandises dans des conteneurs modulaires standardisés ; il s'agit des π -conteneurs.

⁴Patrice Desmedt, l'internet physique atout de la supplychain, usine nouvelle [en ligne], 17/03/2016. Disponible sur <https://www.usinenouvelle.com/article/l-internet-physique-atout-de-la-supply-chain.N383723>

⁵ Hubert Guillaud, l'internet physique : appliquer les principes de l'internet à la logistique, internetactu.net [en ligne], 03/02/2012. Disponible sur <http://www.internetactu.net/2012/04/04/linternet-physique-appliquer-les-principes-dinternet-a-la-logistique/>

⁶The Economist : un magazine d'actualité hebdomadaire britannique

⁷ Benoit Montreuil : professeur titulaire de la chaire de recherche de Canada en Ingénierie de l'entreprise.

⁸Eric BALLOT : Professeur à Mines ParisTech, PSL ResearchUniversity, Directeur du Centre de Gestion Scientifique.

⁹ Russell Meller : Professeur en génie industriel, Université de l'Arkansas.

¹⁰ Rapport de la simulation de l'internet physique, juin 2012, sous la direction de Eric Ballot. Disponible sur <http://isidoredd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/document.xsp?id=Temis-0078977>

1.3.4.2 Définition des π -conteneurs

Les π -conteneurs constituent un élément clé de l'IP. En pratique ces conteneurs sont des unités de manutention logistique actives au sens où ils sont capables de faire circuler toutes les informations nécessaires à la traçabilité et à la gestion dynamique des produits concernés¹¹.

1.3.4.2.1 Caractéristiques

Un π –conteneur doit être modulaire, standardisé, réutilisable ou recyclable et sécurisé. Ainsi il possède un identifiant unique. Ce dernier peut être représenté sous la forme d'une étiquette intelligente attachée à chaque π –conteneur et contribuant à assurer l'identification, l'intégrité, le routage, les exigences de conditionnement, la surveillance, la traçabilité et la sécurité du π –conteneur par l'intermédiaire de l'IP

1.3.4.2.2 Catégories

Trois catégories de π -conteneurs peuvent être distinguées ¹²:

- Les T-conteneurs ou conteneurs de transport : semblables à ceux que nous connaissons actuellement, ils sont conçus pour être facilement transportés et empilés ils peuvent directement contenir des marchandises physiques et/ou des π -conteneurs de plus petite taille
- Les H-conteneurs ou conteneurs de manutention : sont, eux, destinés à la manutention directe. Ils sont conçus pour être facilement manipulés. Leur taille est modulaire et leur permet de tenir dans un T-conteneur.
- Les P-conteneurs ou conteneurs d'emballage : utilisés pour contenir directement les biens physiques, ils sont dimensionnés pour s'adapter de façon modulaire aux H-conteneurs.

¹¹Agilea, PI-countainer : science-fiction ou réalité ?, Agilea BLOG [en ligne], 27/04/2017. Disponible sur <http://blog.agilea.fr/pi-container-science-fiction-realite/>

¹²PATRICK CHARPENTIER, NICOLAS KROMMENACKER, YVES SALLEZ, Virtualisation des PI-conteneurs et premières applications dans un contexte d'Internet Physique, octobre 2015, p°02

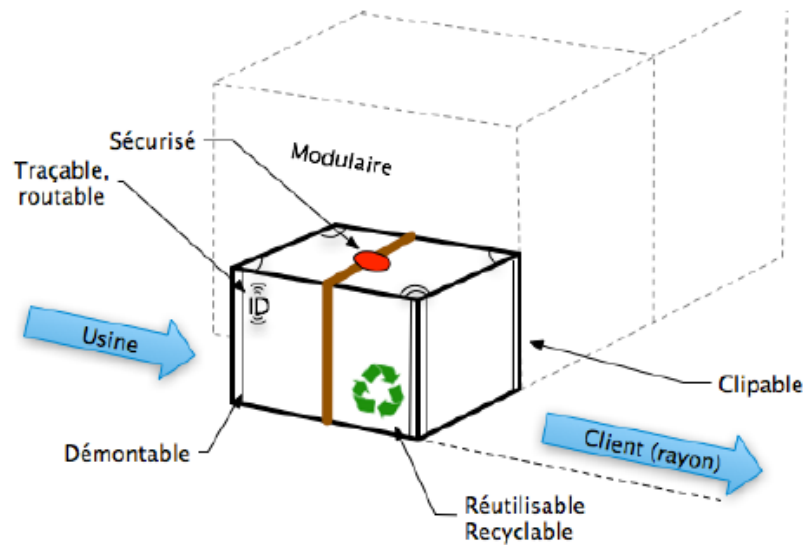


Figure 1.2: PI-conteneur

1.3.4.3 Interconnexion et normalisation des réseaux de prestations logistiques

L'interconnexion est un ensemble de règles ou protocoles permettant l'accès à des services logistiques, des installations et des systèmes fournis par des tiers. Cette démarche facilite les différentes actions à mener pour réussir la mise en œuvre de l'IP sans la nécessité de signer d'ententes collaboratives entre les acteurs. L'objectif de cette inter-connectivité est bien de pouvoir transporter n'importe quel π -conteneur entre les différents centres logistiques tout en respectant les objectifs propres de l'IP.

1.3.4.4 Un nouveau réseau de hubs ouverts et partagés

L'Internet Physique vise à généraliser l'usage des centres logistiques et des systèmes de tri à haute performance rendant plus acceptable l'interconnexion des réseaux physiques, et ceci via les π -hubs. Un π -hub remplace le cross dock de la logistique actuelle, ce dernier est un système de transbordement, de dispatching et de transit rapide entre des flux de marchandises entrant vers des flux de marchandises sortant.

Différents types de π -hubs sont considérés. Un π -hub multimodal utilise au moins deux types de moyen de transport : un type pour faire entrer les π -conteneurs pour subir les opérations de déchargement et de décomposition et un autre type pour faire sortir les π -conteneurs.

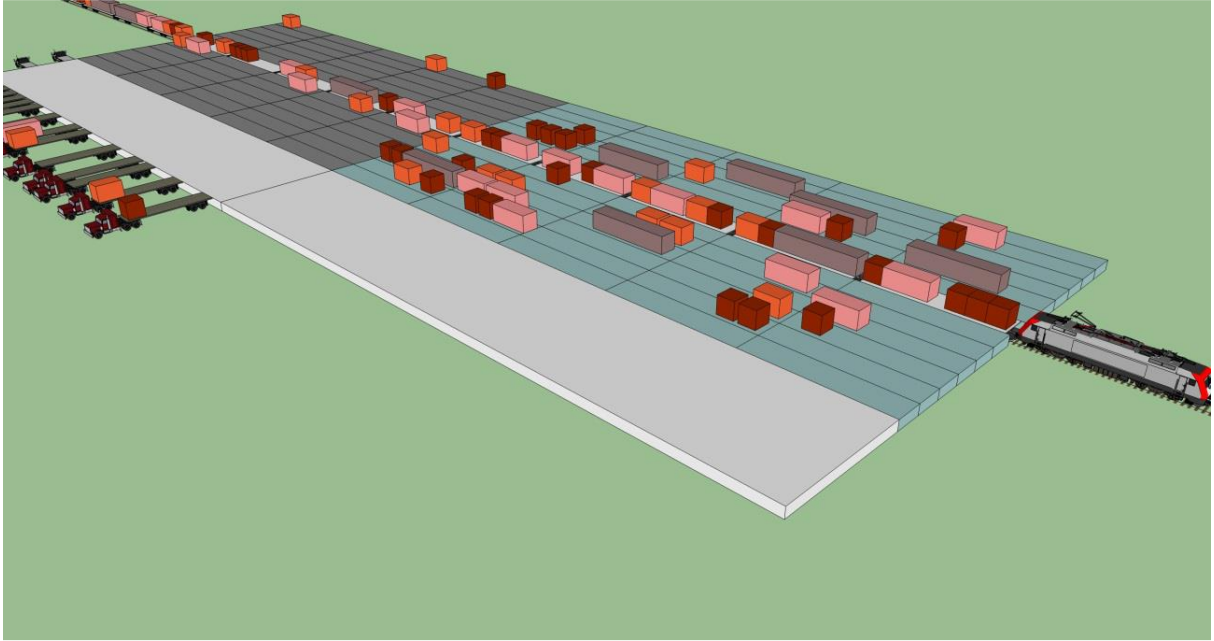


Figure 1.3: exemple d'un PI-hub Bimodal rail-route de l'Internet Physique

1.3.4.5 Définition des protocoles

Un élément très important pour la mise en œuvre de l'internet physique, c'est bien le routage dynamique des flux. Comme l'IP est inspirée de l'ID, la définition d'un protocole d'interconnexion logistique ouverte de l'IP (appelé le modèle OLI), a été aussi insinuée du protocole TCP/IP de l'ID (modèle OSI).

Le modèle OLI se compose de sept couches, dont chacune a un rôle spécifique.

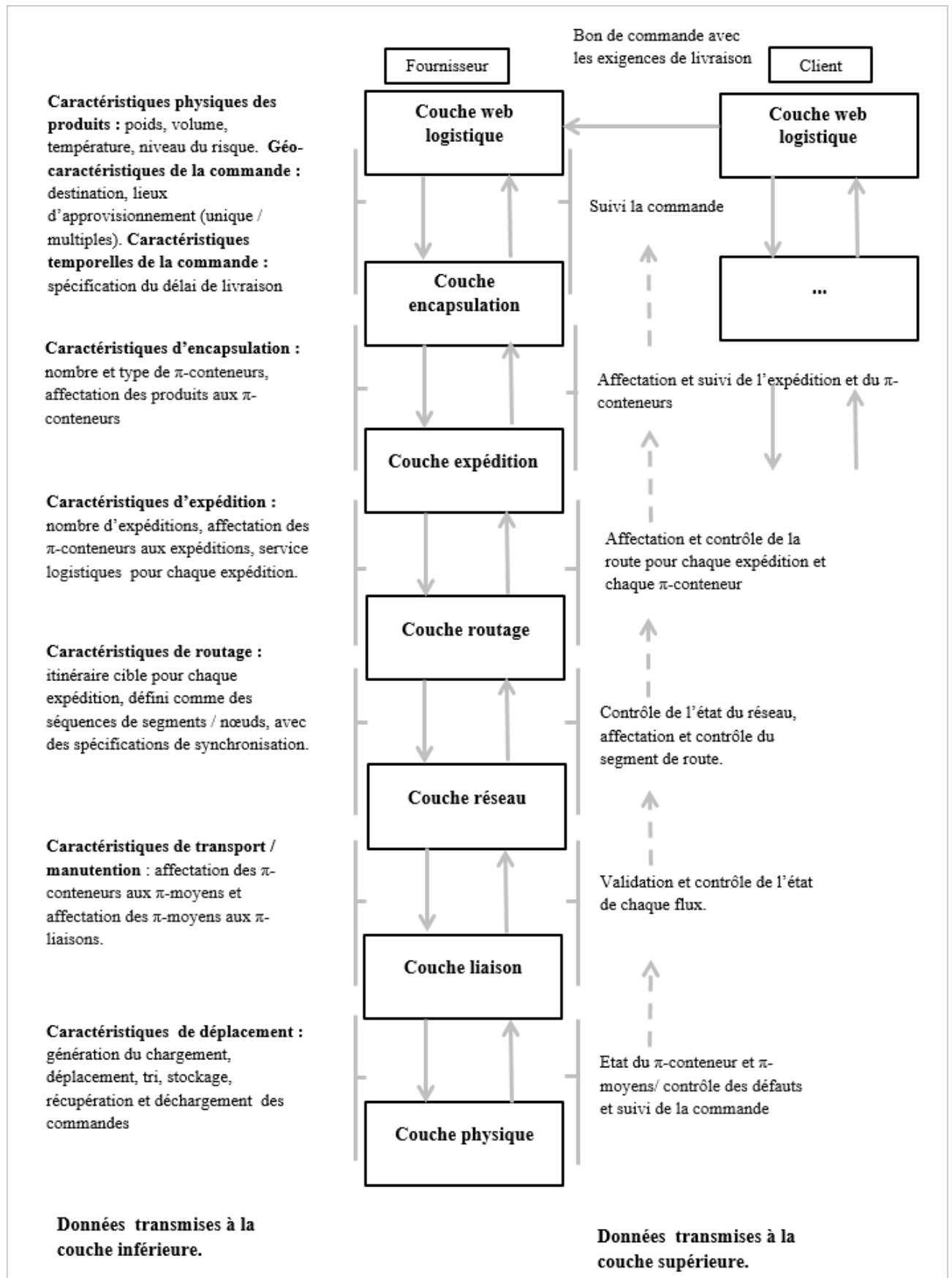


Figure 1.4: les 7 couches du modèle OLI

1.3.5 Le concept de l'internet physique

Le concept de l'internet physique a été introduit par le professeur Benoit Montreuil de l'Université Laval (Québec, Canada). Il s'agit d'appliquer à la logistique les principes d'internetdigital.

Cependant, le but de l'internet physique n'est pas de copier le concept de l'internet digital, mais d'exploiter la façon dont les paquets d'information numériques sont distribués pour développer une vision d'internet physique et transformer globalement la manière dont les objets physiques sont manipulés, déplacés, entreposés, réalisés, fournis et utilisés. D'une autre façon, l'idée est d'essayer d'appliquer à la logistique ce qui se passe dans les réseaux de données et les réseaux informatiques en utilisant l'ensemble des protocoles pour le transfert des données sur internet, les réseaux informatiques étaient hétérogènes entre eux mais la suite TCP/IP a permis de les interconnecter. Dans la logistique, ces réseaux existent déjà mais ils sont loin d'être interconnectables c.à.d. chaque entreprise a son maillage. L'idée de l'internet physique est d'utiliser un ensemble de protocoles collaboratifs et d'interfaces intelligentes standardisées, pour faire voyager non pas des « paquets » d'information comme le fait internet, mais des biens physiques contenus dans des modules standards pour rendre les réseaux logistiques plus ouverts, performants et durables afin qu'ils soient compatibles les uns envers les autres et partagés par l'ensemble des acteurs de la chaîne logistique¹³.

1.3.6 L'internet physique (IP) et l'internet digital (ID)

1.3.6.1 L'internet digital

1.3.6.1.1 Définition

L'internet est le réseau informatique mondial accessible au public. Il est composé de millions des réseaux aussi bien publics que privés, universitaires, commerciaux et gouvernementaux. L'information est transmise par l'internet grâce à un ensemble standardisé de protocoles de transfert de données qui permet l'élaboration des applications variées comme le courrier électronique, la messagerie instantanée, etc. l'accès à internet peut être obtenu grâce à un fournisseur d'accès via divers moyens de communication électronique comme : ADSL, fibre optique, par satellite, etc.¹⁴

¹³ Qu'est ce que le concept de l'internet physique : <http://www.cip.mines-paristech.fr/concept-de-linternet-physique/>

¹⁴Internet : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Internet>

1.3.6.2 La similarité et la différence entre l'internet physique et l'internet digital

1.3.6.2.1 La similarité

Bien qu'il existe des différences fondamentales entre le monde physique et le monde informatique, l'initiative de l'internet physique a pour but d'exploiter la métaphore de l'internet digital. La principale similitude est que les deux représentent un réseau de réseaux c.à.d. l'internet digital est l'interconnexion universelle des réseaux de routeurs tandis que l'internet physique est l'interconnexion des réseaux de conteneurs. Ainsi que le rôle des routeurs dans le cas de l'internet digital est de faire transiter des paquets d'une interface réseau vers une autre, selon un ensemble de règles, alors que dans le cas de l'internet physique, les conteneurs regroupent et transportent les marchandises¹⁵.

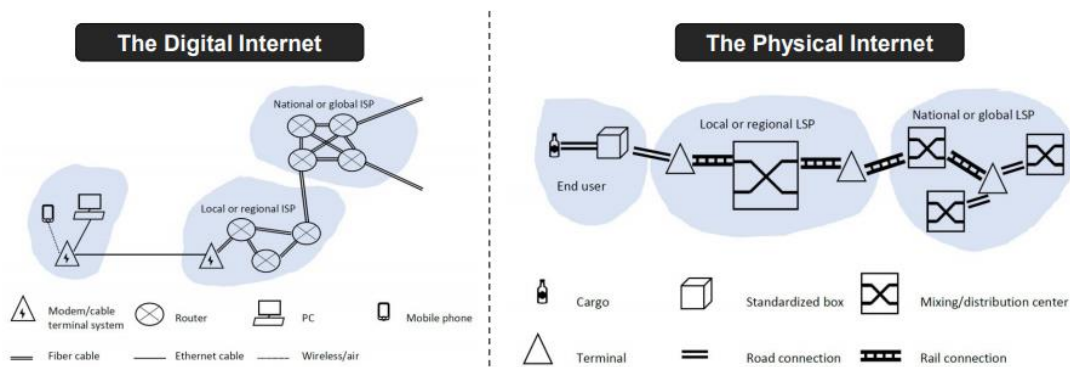


Figure 1.5: la similarité dans la structure du réseau.

1.3.6.2.2 La différence

Bien que l'internet physique soit considérée comme un analogue de l'internet digital, mais l'application de ces deux concepts est complètement différente. En fait, la complexité de l'internet physique est plus grande que celle de l'internet digital, parce que lors du partage des informations numériques, il est facile de sauvegarder, doubler et envoyer des milliers d'exemplaires, mais lors du transport de marchandises, les coûts doivent être payés à chaque fois.

D'autre part, l'internet physique doit résoudre le problème d'accessibilité qui existe dans l'internet digital, c.à.d. l'acheminement de marchandises d'un point A vers un autre point B et aussi faire face au problème d'optimisation des mesures logistiques et environnementales telles que les coûts et le temps de transport, les émissions CO₂, etc.

Le tableau ci-dessous résume les principales différences entre l'internet physique et l'internet digital :

¹⁵<https://www.pi.events/IPIC2018/sites/default/files/downloads/IPIC2018-2.pdf>

Tableau 1.2: les points de différenciation entre l'IP et l'ID¹⁶

	L'internet physique	L'internet digital
Le flux d'information	Objets physiques (marchandises) dans des conteneurs normalisés	Signaux numériques (0/1) en paquets normalisés (datagrammes)
La vitesse	Délai de livraison dépend des modes de transport, la disponibilité de la main-d'œuvre, le temps de livraison dans les entrepôts, etc.	Très grande vitesse de transmission des données.
Le coût	Coûts variables importants liés aux modes de transport, à l'emballage, au chargement et au déchargement dans les centres de distribution, etc.	Coût variable ordinaire lié à la consommation d'électricité.
Les problèmes dans les réseaux de distributions	problème de l'accessibilité : comment expédier de A à B. Le problème d'optimisation : comment optimiser les coûts, les délais, etc.	Le problème d'accessibilité : comment transmettre de A à B.

¹⁶https://www.ortlgrandest.fr/wpcontent/uploads/2018/11/Diaporama_commun_colloque_IP_27-11-2014.pdf

1.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons parlé de la logistique d'une façon générale et de l'importance de transport dans la chaîne logistique. Nous avons ensuite présenté les limites et les lacunes du système logistique actuel, la cause qui a emmené les chercheurs à introduire un nouveau concept pour surmonter cette non-durabilité. Il s'agit de l'internet physique, que nous avons consacré la deuxième partie du chapitre pour la définir et citer ses éléments et son concept.

CHAPITRE II

Le transport et la logistique en Algérie

2 Chapitre II : Le transport et la logistique en Algérie

2.1 Introduction

Avec une superficie de 2.381.471 km², l'Algérie est à la fois le plus grand pays d'Afrique, du monde arabe et du bassin méditerranéen. Ayant une position centrale au cœur du Maghreb, le pays représente une véritable façade méditerranéenne du Maghreb et Sub-Sahara avec un littoral de 1.200 km.

Dans ce chapitre, un aperçu du secteur transport et logistique algérien sera présenté, ainsi ses différents investissements dans les infrastructures du transport. Nous allons ensuite détailler les caractéristiques des réseaux de transport en Algérie.

2.2 Investissements et ambitions

Grace à l'étendue de la superficie, le transport de marchandises en Algérie est diversifié. Le pays a investi environ 40 milliards de dollars depuis 1999 dans les infrastructures routières, ferroviaires, portuaires et aéroportuaires¹⁷. Cependant, le pays fait face à beaucoup d'insuffisances en matière de logistique de transport. Le classement effectué par la banque mondiale¹⁸ en 2018 selon l'indice de performance logistique, a placé l'Algérie au rang 117 sur 160 pays. Le manque d'infrastructures et de compétences en logistique représente une des causes de ce retard. A ce propos, un grand nombre de projets ont été réalisés ou sont en phase de réalisation pour faire du secteur de transport un véritable contributeur au développement économique du pays. L'ambition de l'Etat d'ici 2025 est de faire diminuer le coût de la logistique de transport des marchandises représentant 35% du prix d'un produit (en 2018) à environ 15%¹⁹.

2.3 Caractéristiques des principaux modes de transport

¹⁷Projets Structurants du Secteur des Travaux Publics et des Transports : Stratégie et Etat d'Exécution, Comptendu de la Conférence du Jeudi 15 Février 2018, disponible sur : <http://www.ena.dz/pdf/Conf%20TP.pdf>

¹⁸Une des principales sources de financement et de savoir pour les pays en développement, disponible sur : <https://www.banquemondiale.org/>

¹⁹Projets Structurants du Secteur des Travaux Publics et des Transports : Stratégie et Etat d'Exécution, Comptendu de la Conférence du Jeudi 15 Février 2018, disponible sur : <http://www.ena.dz/pdf/Conf%20TP.pdf>

2.3.1 Réseau routier

Dense dans la partie Nord du pays, assez étendu sur les hauts plateaux et réduit à quelques axes dans le sud, le réseau routier algérien est l'un des plus denses dans le continent africain. Il totalise un linéaire de 133.741 km qui comprend un linéaire total des routes estimé à 129.126 km et un linéaire des voies rapides de 4.545 km dont l'autoroute Est-Ouest avec une distance de 1.145 km²⁰.



Figure 2.1: Situation du réseau autoroutier algérien-Mai 2015²¹

Une deuxième autoroute des hauts plateaux d'une distance de 1.030 Km, reliant les frontières algéro-marocaines au niveau de la commune d'El-Aricha (Tlemcen) aux frontières algéro-tunisiennes au niveau de la commune de Bir El Ater (Tébessa), est en voie de réalisation. Sa connexion avec l'autoroute Est-Ouest se fera via 12 routes dans le but de faciliter les différents échanges commerciaux et de rapprocher les Hauts Plateaux des régions côtières²².

Un projet de route transsaharienne d'une longueur de 4.500 km, qui va traverser le pays du Nord au Sud et qui relie Alger à Lagos (Nigeria), est promue par l'Etat pour accroître le commerce entre les six pays traversés par la transsaharienne : Algérie, Mali, Niger, Nigeria, Tchad et Tunisie²³. En avril 2018, l'Algérie a achevé la construction de 1.600 km²⁴.

²⁰Réseau routier et autoroutier en Algérie, 18.09.2017, disponible sur : http://www.mtp.gov.dz/files/Reseau_routier_Algerie.pdf

²¹Liste des autoroutes en Algérie : https://fr.wikipedia.org/wiki/Transport_en_Alg%C3%A9rie,

²²12 voies pour relier l'autoroute Est-Ouest au projet de l'autoroute des hauts plateaux, 25.01.2019, <http://www.aps.dz/regions/68926-12-voies-pour-relier-l-autoroute-est-ouest-au-projet-de-l-autoroute-des-hauts-plateaux>,

²³Arezki Benali, Route transsaharienne : la partie algérienne achevée en 2019, ALGERIE ECO, 15.07.2017, <https://www.algerie-eco.com/2017/07/15/route-transsaharienne-partie-algerienne-achevee-2019/>

²⁴Route transsaharienne : réalisation de 1600 km par l'Algérie, 23.04.2018, <http://www.aps.dz/economie/73021-route-transsaharienne-realisation-de-1-600-km-par-l-algerie>,



Figure 2.2: Configuration du réseau autoroutier algérien à l'horizon 2025²⁵

Le principal acteur du secteur de transport est l'Etat. Cependant, le transport routier de marchandises en Algérie a connu ces dernières années un essor important tant en terme d'opérateurs que de moyens de transport et des marchandises transportées. De nombreuses entreprises de transport et de logistique ont vu le jour et ont garanti leur part du marché.

En Algérie, le transport routier est le mode de transport dominant, autant pour les voyageurs que pour les marchandises. A l'intérieur du pays, 95% d'échanges de marchandises par mode terrestre se fait par voie routière²⁶.

2.3.2 Réseau maritime

- L'Algérie possède une façade maritime ouverte sur la mer méditerranée de 1.200 km²⁷.
- 95 % du commerce extérieur de l'Algérie s'effectue par le biais de la voie maritime.
- L'Algérie dispose de 48 ports : trente-cinq (35) ports et abris de pêche et treize (13) ports de commerce dont :
 - Huit (08) ports d'Alger, Oran, Annaba, Mostaganem, Djendjen, Ténès, Dellys et Ghazaouet sont réservés aux marchandises générales.

²⁵Réseau routier et autoroutier en Algérie, 18.09.2017, disponible sur : http://www.mtp.gov.dz/files/Reseau_routier_Algerie.pdf

²⁶Réseau routier et autoroutier en Algérie, 18.09.2017, disponible sur : http://www.mtp.gov.dz/files/Reseau_routier_Algerie.pdf

²⁷Agenda Item 3a. Challenges faced by developing countries in competition and regulation in the maritime transport sector ,13 juin 2018

- Trois (03) ports mixtes de Bejaia, Skikda (ancien port) et Arzew qui traitent les marchandises générales et les hydrocarbures.
- Deux (2) ports de Bethioua et de Skikda (nouveau port) qui sont spécialisés dans les hydrocarbures.
- Le trafic maritime se caractérise au niveau des exportations par la part dominante des hydrocarbures ainsi que par un déséquilibre entre les importations et les exportations.
- En 2016, l'Algérie a importé 26 millions de tonnes répartis entre les produits agro-alimentaires, les produits industriels et les produits manufactures, contre 75 millions de tonnes d'exportations exclusivement en hydrocarbures.
- L'annuaire statistique du Ministère des transports Algérien indique que la quantité globale des échanges commerciaux ayant transités par les ports est de 125.357.248 tonnes en 2016.
- Pour la même année, les échanges internationaux entre l'Algérie et les pays de l'Union Européenne ont atteint 26.820.864 tonnes en entrées et 37.909.617 tonnes en sorties.
- La flotte maritime algérienne est classée 75^{ème} sur 163 pays à travers le monde, la 8^{ème} sur le continent africain et la 1^{ère} parmi les pays du Maghreb en 2017.
- La flotte nationale est composée de 16 unités réparties en 8 vraquiers, 4 navires Multipurpose, 2 navires RORO, appartenant à la CNAN et un RORO et un vraquier appartenant à NOLIS, une filiale du groupe CEVITAL²⁸.
- Le secteur maritime participe de 30% du PIB du pays, avec une grande contribution de ce secteur au développement économique de l'Algérie²⁹.

²⁸Le transport maritime contrôlé par les étrangers, 2015, www.liberte-algerie.com/

²⁹ Impact du transport maritime sur la croissance économique en Algérie, 2017, <http://www.univ-bejaia.dz/>



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
 REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
 وزارة الأشغال العمومية
 MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS



مديرية الهياكل الأساسية البحرية
 Direction Des Infrastructures Maritimes

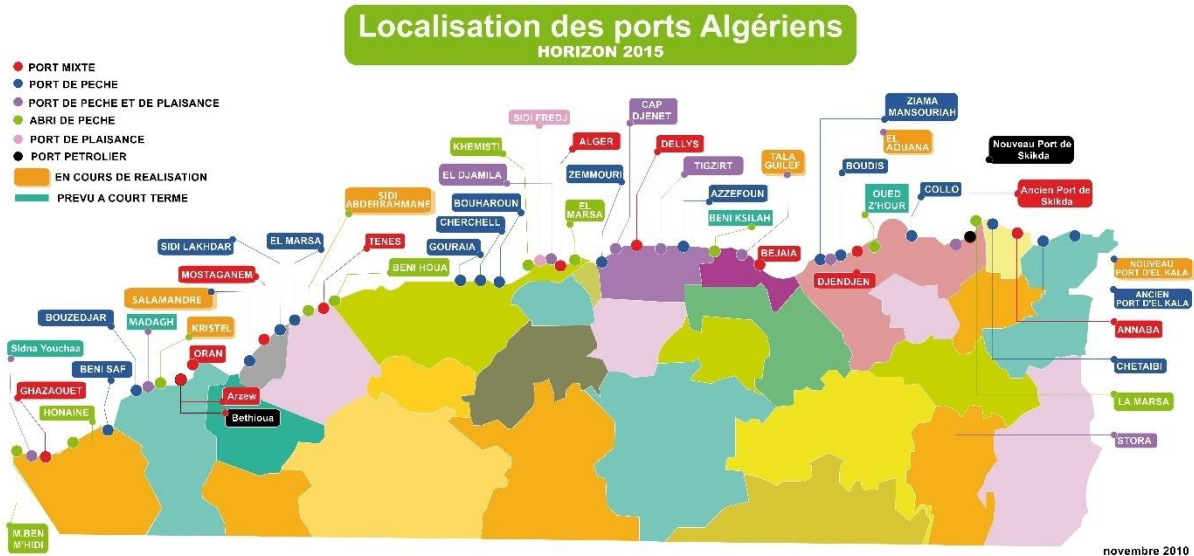


Figure 2.3: La localisation des ports algériens en 2015³⁰

2.3.3 Réseau ferroviaire :

- Dans le secteur ferroviaire, l'Algérie dispose d'un réseau de 4769 kilomètres³¹.
- En Algérie, La SNTF est l'unique opérateur ferroviaire, elle détient le monopole de l'exploitation du chemin de fer sur tout le territoire national³².
- La SNTF assure 5 % du marché de transport terrestre des marchandises en Algérie. Son objectif est d'atteindre 17 %, avec les grands projets industriels de Bellara et la transformation du phosphate³³.
- La SNTF a réalisé un chiffre d'affaire de 1,8 milliard DA pour le transport de 3,5 millions de tonnes de marchandises en 2016³⁴.
- En 2018, la SNTF a mis à la disposition des clients plus de 11 000 wagons très variés, appropriés aux différentes exigences de transport et à des prix compétitifs³⁵.

³⁰Ministre des travaux publics, la direction des infrastructures maritimes en 2015

³¹Révolution dans les chemins de fer, 26.01.2019, disponible sur : <https://tribune-diplomatique-internationale.com/>

³²Algérie presse service ,26.12.2013, disponible sur : <https://www.djazairss.com/>

³³ALGERIE ECO : 13.02.2018, disponible sur : <https://www.algerie-eco.com/2018/02/13/sntf-detient-3-fret-national/>

³⁴La SNTF dotée de plus de matériel dans les années à venir ,04.02.2017, disponible sur : <https://www.algerie-focus.com/>

³⁵Trains marchandises ,18.02.2018, disponible sur : <https://www.sntf.dz/index.php/component/spssimpleportfolio/item/4-trains-marchandises>

- La SNTF a acquis un nouveau matériel ferroviaire constitué de locomotives, de trains modernes, de wagons pour le transport de voyageurs et de marchandises (blés et des silos de stockage) et de gravats pour les chantiers de chemins de fer.
- Pour la même année, la SNTF a transporté plus de cinq millions de tonne de marchandises de toutes natures. Les principales marchandises transportées sont :
 - Produits minéraliers (Minerai de fer, phosphate, Pouzzolane).
 - Produits Energétiques (Carburant, Lubrifiant, Produits Spéciaux).
 - Produits Céréaliers (Blé, Orge, Semoule, Farine).
 - Marchandises Conteneurisées.
 - Produits Divers (Engrais, Ciment, Produits Sidérurgiques, Rail, Ballast, Sable, etc.).



Figure 2.4: Réseau ferré de la partie Nord d'Algérie³⁶

³⁶ Site officiel de la SNTF : <https://www.sntf.dz/index.php/le-groupe-sntf>

Réseau Ferré National

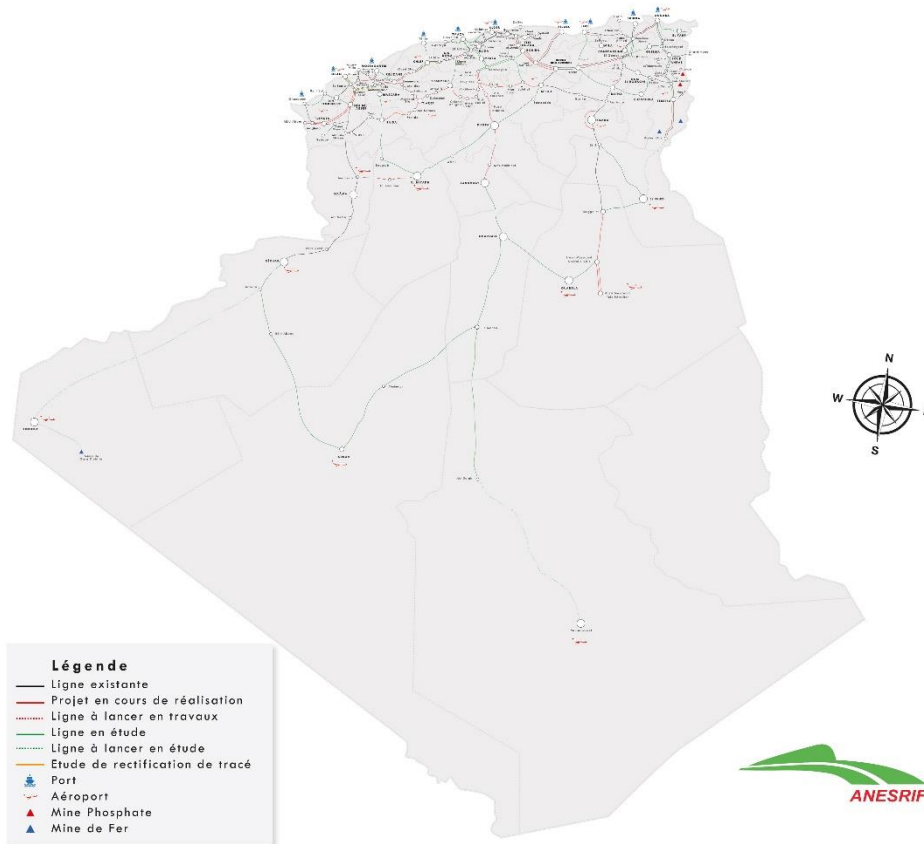


Figure 2.5: Le réseau ferré algérien et ses perspectives de développement³⁷

³⁷ Site officiel de la SNTF : <https://www.sntf.dz/index.php/le-groupe-sntf>

2.4 Analyse SWOT du secteur logistique algérien

Tableau 2.1: L'analyse SWOT du secteur logistique algérien

<p style="text-align: center;">Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ La diversification du transport du pays vu l'étendue de la superficie. ✓ Le réseau routier est amélioré grâce au programme de modernisation des autoroutes. ✓ De nombreuses entreprises de transport et de logistique ont vu le jour en Algérie ces dernières années. ✓ La longueur du réseau ferroviaire a passé de 1.769 km en 2008 à 4.769 km en 2019. 	<p style="text-align: center;">Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Le coût logistique de transport des marchandises en Algérie représente encore 35% du prix d'un produit. ✓ L'Algérie accuse un retard flagrant en matière de transport ferroviaire de marchandises. ✓ Les opérateurs ont de la difficulté à assurer le suivi des expéditions : manque de moyens technologiques. ✓ Le secteur de transport routier de marchandises est une source importante des émissions de CO2.
<p style="text-align: center;">Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ L'Algérie a pour ambition d'éviter 193 millions de tonne de CO2 à l'horizon 2030. ✓ Le cout de la logistique de transport des marchandises devrait représenter 15% du prix d'un produit à l'horizon 2025. ✓ La SNTF a pour objectif d'assurer 17% du marché du transport terrestre avec les grands projets industriels de Bellara et la transformation du Phosphate. ✓ La Banque mondiale prévoit une croissance de l'économie algérienne de 1,9% durant 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Le trafic portuaire est caractérisé par un déséquilibre entre les importations et les exportations ainsi qu'entre trafics de natures différentes. ✓ le coût de transport d'un conteneur entre l'Asie et l'Algérie est de 3000 dollars, alors qu'il est de 500 dollars entre l'Asie et l'Europe³⁸. ✓ L'absence de la formation des opérateurs de transport et de leur personnel dans leur domaine d'activité

³⁸Fatima Zohra Mohamed-Cherif, les liaisons maritimes de l'Algérie dans l'espace euro-méditerranéen : réalité et perspectives, Disponibles sur : <https://journals.openedition.org/tem/1907#authors>

<p>l'année 2020, en hausse de 0,2 point par rapport à ses dernières prévisions.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ en 2018, L'Algérie a préparé une stratégie nationale de la logistique avec l'appui technique de la Banque mondiale (BM) afin de faciliter le commerce extérieur du pays. ✓ L'Algérie a décidé de lancer un projet de réalisation d'un méga- port commercial du centre du pays pour accueillir des navires de gros tonnage³⁹. 	<p style="text-align: center;">Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ La situation politique actuelle du pays a entraîné un ralentissement dans divers secteurs dont le secteur de transport et de la logistique. ✓ Les investissements humains et financiers en recherche et développement sont très limités : seulement 0.53% du PIB en Algérie est destiné à la R&D contre 2.19% en France (2017)⁴⁰. ✓ La SNTF détient le monopole en ce qui concerne l'exploitation du chemin de fer sur l'ensemble du territoire national. Ce manque d'opérateurs cooccurrents influence le développement du réseau.
--	--

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le secteur de transport et logistique en Algérie. Ce secteur qui a connu beaucoup de mutations et d'améliorations afin de pouvoir contribuer au développement économique du pays. Cependant, son activité connaît toujours un retard en matière de moyens logistiques qui ralentissent sa progression. Donc, une analyse SWOT était établie pour pouvoir évaluer son positionnement stratégique et orienter la démarche du progrès.

En analysant la partie opportunités de l'analyse SWOT de secteur de transport et logistique en Algérie, nous déduisons que l'internet physique, à travers ses objectifs, peut être la solution et le chemin vers l'atteinte des ambitions de ce secteur.

³⁹Kheireddine BATACHE, le projet du port de CHERCHEL sera bientôt relancé selon un député FLN, 21 Janvier, 2020, disponible sur : <https://maghrebemergent.info/le-projet-du-port-de-cherchell-sera-bientot-relance-selon-un-depute-fln/>

⁴⁰ La banque mondiale

CHAPITRE III

Généralité sur le transport de marchandises

3 Chapitre III : Généralités sur le transport de marchandises

3.1 Introduction

La concurrence mondiale et l'internationalisation font du transport de marchandises un secteur qui ne cesse d'évoluer apportant à l'économie mondiale une grande impulsion. Le transport de marchandises est l'un des moyens d'optimisation qui apporte un gain considérable pour les acteurs industriels. Dans un monde interconnecté où le commerce mondiale devient de plus en plus dynamique, le transport de marchandises doit satisfaire les attentes des autres acteurs de l'économie et sur différents aspects qui sont souvent contradictoires ; la fonction transport doit être efficace en terme de temps, de coût, de fiabilité, de traçabilité et d'efficacité économique et environnementale.

Dans ce chapitre, nous allons présenter des généralités sur le transport de marchandises et traiter ses différents problèmes actuels. Nous mettons ensuite l'accent sur trois entreprises prestataires de transport et logistique en Algérie à savoir Air Algérie cargo, NUMILOG et Bejaia logistique.

3.2 Généralités sur le transport de marchandises

Pour traiter le sujet du transport de marchandises, nous aurons à définir quelques notions :

3.2.1 La marchandise

Le CNRTL⁴¹ français définit la marchandise tel que : c'est tout produit (denrées, matières premières, objets manufacturés) susceptible d'être acheté ou vendu, en gros ou au détail.

L'ensemble de marchandises transporté est appelé « cargaison » ou « fret ». Cependant, on compte plusieurs types de marchandise (exceptionnelle, sèche, conditionnée, conventionnelle, dangereuse, en vrac ... etc.) et dont le transport dépend fortement de son type.

3.2.2 Le transport de marchandises

3.2.2.1 Définition

Le transport de marchandises est une activité économique réglementée aux niveaux national et international. C'est le déplacement de fret d'une zone à une autre en utilisant divers modes de transport et un ensemble complexe d'infrastructure.

⁴¹ Le centre national de ressources textuelles et lexicales

CHAPITRE III:Généralité sur le transport de marchandises

Selon l'INSEE ⁴² français, Le transport de marchandises comprend tout mouvement de marchandises à bord d'un mode de transport quel qu'il soit : ferroviaire, routier, fluvial, maritime, aérien ... Il se mesure en tonnes-kilomètres ou, sur un trajet donné en tonnes.

3.2.2.2 Types de marchandise

On peut classier le transport de marchandises par types et selon plusieurs approches :

a. Selon l'appartenance des moyens de transport, on distingue deux types de transport de marchandises ⁴³:

a.1. Transport public : les transports effectués à titre onéreux pour le compte du tiers par des personnes physiques ou morales autorisées à cet effet.

a.2. Transport pour propre compte : les transports effectués par des personnes physiques ou morales pour leurs besoins exclusifs à l'aide de véhicules leurs appartenant.

b. Selon le mode de transport utilisé : le transport de marchandises peut être unimodal effectué par voie maritime, aérienne, routière, ferroviaire ou fluvial. Ou encore par la combinaison de deux modes de transport ou plus.

Les différents types de transport de marchandises sont récapitulés dans le tableau suivant :

⁴² L'institut national de la statique et des études économiques

⁴³ Cadre institutionnel et réglementaire du transport routier de marchandises en Algérie

CHAPITRE III:Généralité sur le transport de marchandises

Tableau 3.1: Tableau récapitulant les différents types de transport⁴⁴

Type de TM	Explication
Transport accompagné	Transport d'un ensemble routier complet par un autre mode de transport (par exemple: ferry ou train) accompagné de son conducteur (dans ou en dehors de son camion).
Transport non accompagné	Transport de véhicules routiers ou de parties de véhicules par un autre mode de transport (par exemple, par ferry ou par train) sans présence du conducteur.
Transport combiné	un transport intermodal dont les parcours principaux s'effectuent par rail, voies navigables ou mer et dont les parcours initiaux et / ou terminaux se font par route. On a donc recours à plusieurs modes de transport entre un lieu d'origine et la destination finale, mais selon des régimes juridiques différents.
Transport conventionnel	Le transport routier est conventionnel quand il est effectué dans des conditions de poids et de dimensions de manière conforme aux prescriptions du Code de la Route.
Transport exceptionnel	Transport de marchandises, ou une circulation de véhicules, présentant un caractère exceptionnel en raison de ses dimensions ou de sa masse, lesquelles dépassent ou ne respectent pas les limites réglementaires du code de la route.
Transport homogène	Les transports sont "homogènes" lorsque tous les transporteurs pour une même opération, sont soumis à un même régime juridique (même titre de transport).
Transport intermodal	Acheminement d'une marchandise en utilisant deux modes de transport ou plus mais dans la même unité de chargement (ex : conteneur) ou le même véhicule routier, et sans transbordement des marchandises (pas de rupture de charge = pas d'empotage ni dépotage) entre un lieu d'origine et la destination finale.
Transport mixte	Acheminement de personnes et d'animaux et/ou de marchandises dans le même véhicule de transport. Le transport mixte a pour vocation de relier les zones rurales aux pôles urbains.
Transport mixte empilé	Les transports sont "mixtes superposés" lorsqu'un moyen de transport est chargé sur un autre moyen de transport.
Transport multimodal	Acheminement de marchandises par au moins deux modes de transport différents entre un lieu d'origine et la destination finale, mais avec des étapes de transbordement des marchandises (chargement, déchargement, empotage, dépotage...)
Transport unimodal	Acheminement de marchandises par un seul mode de transport entre un lieu d'origine et la destination finale.

3.2.2.3 Le contrat de transport de marchandises

D'un point de vue administratif, le transport de marchandises est réglementé par un contrat commercial appelé le contrat de transport de marchandises. Ce dernier est un document dénommé selon le mode de transport adopté et indique les caractéristiques de la cargaison tels que le poids, le volume, la nature et la dangerosité, ainsi que les lieux de chargement et de

⁴⁴ Type de transport de marchandises : <http://www.logistiqueconseil.org/Articles/Transport-routier/Type-transport-marchandises.htm>

CHAPITRE III:Généralité sur le transport de marchandises

déchargement, les sommes à encaisser, les instructions particulières de livraison, les International commercial terms ...

Le contrat de transport de marchandises est nommé « lettre de voiture » pour le transport de marchandises par voie routière ou ferroviaire, « lettre de transport aérien » pour le transport aérien et « connaissance maritime » pour le transport maritime.

3.2.2.4 Le choix du mode de transport

Chaque mode de transport a ses avantages et ses inconvénients. Aucun des modes n'est parfait et optimal, donc une combinaison de plusieurs modes peut être plus efficace (ce qu'on appelle le transport multimodal). Cependant, le transport par voie routière reste un des fondements de la logistique. Dans ce qui suit, nous présentons les avantages et les inconvénients de chaque mode :

Tableau 3.2: Les avantages et les inconvénients de chaque mode de transport⁴⁵

Le mode de transport	Avantages	Inconvénients
Voie routière	<ul style="list-style-type: none">• Facilité de chargement,• Permet de réaliser le « porte à porte »• Capacité de chargement moyenne,• Souplesse d'adaptation,• Délai relativement court,• Rapport vitesse/prix avantageux	<ul style="list-style-type: none">• Faible fiabilité (accidents, embouteillages..),• Restriction des temps de conduite,• Très polluant,• Non recommandé pour les longues distances
Voie ferroviaire	<ul style="list-style-type: none">• Plus rapide que le réseau routier,• Grande capacité de chargement,• Peu polluant	<ul style="list-style-type: none">• Pas de transport total d'un point à un autre• Pannes et retard occasionnels
Voie maritime	<ul style="list-style-type: none">• Peu coûteux,• Grande capacité de chargement,• Longues distances	<ul style="list-style-type: none">• Longs délais,• Nécessite un deuxième mode de transport,• Polluant
Voie aérienne	<ul style="list-style-type: none">• Courts délais• Moyenne capacité de chargement,	<ul style="list-style-type: none">• Coûteux,• Le plus polluant,

⁴⁵ Détermination des moyens de transport, Logistique Conseil, <http://www.logistiqueconseil.org/Articles/Logistique/Reseau-transport.htm>

CHAPITRE III:Généralité sur le transport de marchandises

-
- Longues distances,
 - Nécessite un deuxième mode de transport,
 - fiable
-

Le choix du mode de transport dépend de plusieurs points à satisfaire. L'entreprise ou la personne qui désire transporter sa cargaison aura à prendre en considération le type de marchandises, le délai à respecter, la destination à livrer, le coût généré et encore la limite d'émission de CO₂ à ne pas dépasser.

D'autres critères entrent en jeu aussi, telle la fiabilité du mode de transport, la flexibilité du transporteur et la sécurité. Donc le choix du mode de transport dépend fortement de la cargaison transportée et des conditions et contraintes imposées.

3.2.2.5 Les moyens rattachés au transport de marchandises

Bien qu'il soit un moyen d'acheminement de marchandise et une activité économique, le transport est tout un système composé d'éléments distincts mais complémentaires, qui forment une structure bien délimitée. L'interaction entre ces éléments formant la structure justifie le choix du mode de transport désiré pour faire déplacer la marchandise.

Une meilleure visualisation de ce système revient à classifier ses éléments en couches interdépendantes. Les 4 principaux éléments qui forment les couches et donne à la structure de ce système une signification aussi claire et nette sont bien l'infrastructure, le véhicule, la cargaison et les sites de départ et de destination.

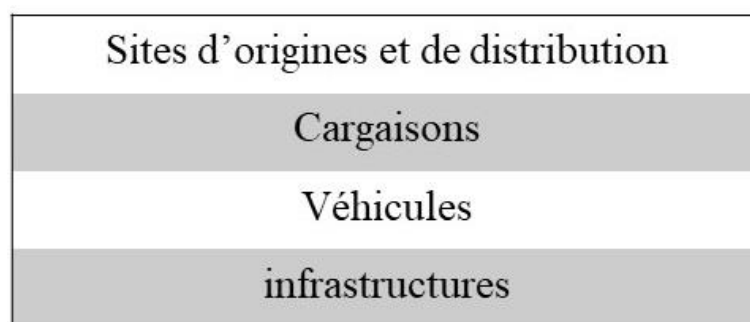


Figure 3.1: structure en couches des systèmes de transport⁴⁶

3.2.2.5.1 Infrastructure

Les infrastructures de transport sont l'ensemble des installations fixes qui permettent le fonctionnement des systèmes de transport. Elles sont généralement spécifiques pour chaque

⁴⁶Michel Savy, Le transport de marchandises, page 56

CHAPITRE III:Généralité sur le transport de marchandises

mode de transport et organisées en réseaux comportant des nœuds et des liens. Les nœuds importants, comme les gares, les ports et les aéroports, sont aussi le point de contact et d'échange entre deux ou plusieurs modes de transport. Ces infrastructures sont indispensables pour la fonction transport et permettent une meilleure organisation, une meilleure productivité, une meilleure qualité de service et une importante réduction de coût lorsqu'elles sont bien étudiées et installées.

Les différentes infrastructures de chaque mode de transport sont résumées dans le tableau ci-dessus.

Tableau 3.3: tableau résumant les infrastructures associées à chaque mode de transport

Les modes de transport	Les infrastructures associées
Voie routière	Routes, autoroutes, ponts, tunnels
Voie ferroviaire	rails
Voie maritime/fluvial	Ports, phares, canaux
Voie aérienne	Aéroports, radars, tours de contrôle

3.2.2.5.2 Le véhicule

Le véhicule est le moyen qui permet de déplacer la marchandise d'un lieu à un autre. Ils sont divers et variés. Ce moyen de transport joue un rôle primordial dans la performance du système de transport.

Comme le choix du mode de transport dépend de plusieurs facteurs, le choix du moyen de transport l'est aussi. Ce choix a une influence cruciale sur la qualité de l'opération et sur les coûts engendrés.

Il existe une forte relation entre l'infrastructure et le moyen de transport choisi. Ce dernier influe le choix des infrastructures.

3.2.2.5.3 La cargaison

Comme nous l'avons déjà défini, la cargaison est l'ensemble de la marchandise transportée. La relation entre le véhicule et la cargaison se manifeste à travers ce qu'exigent la nature et le volume de la marchandise. Une fois les caractéristiques connues, on peut déterminer le type de conditionnement et le moyen de transport adéquat.

3.2.2.5.4 L'origine et la destination de transport

Cette couche sur schéma de transport est à l'origine du choix du véhicule puis des infrastructures. Le transport est bien le déplacement de marchandise d'un point de départ vers

CHAPITRE III:Généralité sur le transport de marchandises

un point d'arrivée. La distance entre ces deux sites, leur branchement sur un tel réseau d'infrastructure et leurs équipements en engins de manutention, toutes ces contraintes conduisent à choisir un moyen de transport qui convient le plus.

3.2.2.6 Les problèmes de transport de marchandises

Le transport de marchandise représente l'une des plus importantes activités économiques du pays. Au fil des temps, la fonction de transport et de distribution a beaucoup évolué grâce au développement de l'aviation, celui du camionnage et des autoroutes et l'invention du conteneur et de la palette de manutention.

Cependant, l'opération de transport connaît encore des problèmes qui menacent sa performance. Ces problèmes de transport de marchandises peuvent être classifiés par type comme suit :

3.2.2.6.1 Les problèmes liés à la cargaison elle-même

Comme nous l'avons déjà mentionnée plusieurs fois, l'opération transport, dont le choix du mode et du moyen de transport, dépend fortement de la cargaison transportée, de son poids, son volume et sa nature. Ces paramètres sont souvent la cause de beaucoup de problèmes. Lors du chargement, par exemple, si un poids est estimé incorrectement, cela peut invalider tout un plan d'expédition. Ou si la cargaison est de nature dangereuse est qu'elle est transportée tant qu'une marchandise normale, cela peut aussi engendrer des conséquences terribles.

3.2.2.6.2 Les problèmes liés aux infrastructures et aux véhicules

L'insuffisance des infrastructures est une plaie pour beaucoup de réseau de transport. Un déficit au niveau des installations et des véhicules de transport peut poser de sérieux problèmes qui vont jusqu'à freiner certains plans d'expédition. Un choix mal étudié d'une certaine infrastructure ou d'un tel véhicule de transport influence la qualité de service présenté par l'entreprise prestataire ou la personne transporteuse, peut engendrer des surcouts de transport et peut aller jusqu'à l'endommagement de la cargaison.

3.2.2.6.3 Problèmes liés à l'arrimage

Chaque année, de nombreux accidents résultent d'un chargement mal arrimé ou non sécurisé. Et beaucoup d'entre eux ont des conséquences graves.

L'arrimage est le positionnement et la fixation le plus judicieux possible des charges contre le plateau ou les parois du véhicule par tous les moyens appropriés. Une opération de chargement et de l'arrimage bien faite assure la sécurité des conducteurs lors du transport de

CHAPITRE III:Généralité sur le transport de marchandises

marchandises, et permet de garantir le bon état de la cargaison livrée ainsi que la longévité du véhicule.

3.2.2.6.4 Problèmes liés aux coûts

Les coûts de transport représentent la dépense nécessaire pour acheminer un bien de son lieu d'expédition à son lieu de destination. Ils sont classifiés en quatre catégories : des coûts variables, fixes, directs et indirects.

Cinq facteurs de coûts de transport sont distingués⁴⁷ :

1. **Les coûts de roulage** : c'est ce qui est payé au transporteur pour qu'il achemine une marchandise d'un point à un autre. Il dépend principalement de deux catégories de facteurs :

- Les facteurs physiques : Les forces de frottement et la spécificité des marchandises.
- Les facteurs économiques : L'allure de la courbe des coûts de roulage, le fait que le transport est un service et les formes des marchés de transports et leurs conséquences.

2. **Les coûts de manutention** : ce sont les coûts qui découlent du chargement des marchandises sur les supports des moyens de transport, et de leur déchargement.

3. **Les coûts de détérioration** : Ce sont les coûts dus aux pertes ou aux vols intervenant pendant le transport. On y intégrera les coûts des moyens de protection destinés à réduire les pertes ou les vols.

4. **Les coûts d'inventaire** : D'une part la valeur de la marchandise transportée est immobilisée, d'autre part le transport est une opération discontinue alors que celle de production ou de consommation est le plus souvent continue. Il faudra donc constituer un stock pour alimenter la production ou la consommation en palliant à cette discontinuité.

5. **Les coûts de défaillance** : Ils sont liés au fait qu'une marchandise peut être un bien de production ou un bien de consommation intermédiaire, ainsi qu'un goulot d'étranglement pour la production. Nous parlons ici des coûts de l'improductivité et des coûts de rupture de stock.

Le coût de transport dépend fortement de la distance parcourue et des infrastructures et véhicules utilisés. Ce coût n'a cessé d'évoluer avec le temps grâce à une meilleure gestion des facteurs provoquant les frais supplémentaires. Cependant, ce coût représente toujours des problèmes pour beaucoup d'entreprises prestataires qui n'arrivent souvent pas à gérer le rapport qualité/prix.

⁴⁷ STEPIEN, Bernard « problème de transport » mémoire D.E.S, université de Montpellier, [<http://www.site.uottawa.ca/~bernard/mémoireD.E.S.probleme de transportv2.pdf>].

CHAPITRE III:Généralité sur le transport de marchandises

3.2.2.6.5 Problèmes d'espace perdu

Ces problèmes se manifestent dans les vides laissés lors du chargement des conteneurs. Ce volume perdu représente un coût significatif et un impact environnemental important.

Selon une étude faite par DS Smith⁴⁸, l'espace vide dans un conteneur EVP voyageant dans les cargos a atteint 24% du volume. Si ce pourcentage est appliqué à tout ce qui est transporté entre l'Asie, l'Europe et l'Amérique, il représente l'équivalent de 61 millions de conteneurs qui voyageaient à vide chaque année provoquant 122 millions de tonnes de CO₂ émises dans l'atmosphère inutilement. Ces chiffres sont valorisés à 46 milliards de dollars qui peuvent être économisés chaque année dans le monde si cet espace perdu est mieux géré.

3.3 Les entreprises prestataires de transport en Algérie

3.3.1 Description

La plupart des entreprises (de production de bien) ont besoin de faire distribuer leurs produits. Maitriser les coûts et les délais de livraison n'est pas aussi simple et facile. Ces entreprises font souvent appel à la sous-traitance de la fonction distribution par des entreprises prestataires de transport et logistique. Ces dernières jouent un rôle très important dans l'économie des entreprises de production.

Une entreprise de transport et logistique est une firme qui prend en charge la gestion complète des opérations relatives au transport : l'emballage, le chargement, le déplacement et la livraison.

En Algérie, plusieurs opérateurs économiques activant dans le domaine du transport et logistique ont vu le jour cette dernière décennie. Nous citons par exemple : Air Algérie Cargo (dans le transport maritime de marchandise), Numilog et Béjaia logistique (dans le transport routier de marchandise), Nolis filiale du groupe cevital (dans le transport maritime de marchandise). Nous détaillons en ce qui suit quelques entreprises prestataires de transport de marchandises algériennes.

3.3.2 Air Algérie cargo

3.3.2.1 Présentation générale d'Air Algérie cargo

La filiale AIR ALGERIE Cargo est née de la restructuration de la compagnie AIR ALGERIE en 2016. Elle est chargée de son activité de fret. Elle a pour objectif la dynamisation

⁴⁸ DS Smith est un grand acteur européen de l'emballage (32 000 employés présents dans 37 pays).

CHAPITRE III:Généralité sur le transport de marchandises

de l'activité de transport fret par des moyens nécessaires au plan : organisation, matériel, humain, et méthodologique.

Air Algérie Cargo compte plusieurs centres de fret dans les wilayas d'Alger, Oran, Constantine, Annaba, Hassi Messaoud, El Oued et Biskra, servant dans l'exportation vers l'étranger.

En 2018. AIR ALGERIE Cargo possédait quatre (04) avions dont deux (2) avions sont modulaires de type Boeing 737-700 QC et un avion de type Boeing 737-800 BCF et le dernier de type Lockheed L-100-30 Hercules.

Le tableau ci-dessous résume les capacités de transport offertes par la filiale AIR ALGERIE Cargo :

***Tableau 3.4:** les capacités de transport offertes par AIR ALGERIE Cargo*

Type	Total	Capacité
Lockheed L-100-30 Hercules	1	20 tonnes
Boeing 737-700 QC	2	17 tonnes
Boeing 737-800	1	15 tonnes

1.1.1.1 L'activité fret aérien en Algérie offerte par AIR ALGERIE cargo

- AIR ALGERIE cargo a réalisé environ 16 000 tonnes de fret en 2016 comparativement aux autres compagnies qui totalisent environ 9 000 tonnes avec 64% de part de marché et 36% pour les autres compagnies.

- La part des importations est largement dominante sur les exportations, soit respectivement 70 % et 30%, avec une amélioration et une évolution de 5% à l'export pour l'année 2016.

- Les opérations de fret aérien effectuées par Air Algérie Cargo ont connu une croissance considérable en 2018 par rapport à 2017, en passant de plus de 300 000 tonnes transportées en 2017 à plus de 800 000 tonnes en 2018.

- Durant le premier semestre de 2019, la compagnie a transporté un total de 8990 tonnes de marchandise, contre 19 028 tonnes durant la même période de 2018.

- La compagnie Air Algérie Cargo compte élargir ses activités à l'horizon 2025 et transporter davantage de produits algériens hors hydrocarbures vers l'étranger.

CHAPITRE III:Généralité sur le transport de marchandises

3.3.2.2 Les destinations et les programmes de transport de fret par AIR

ALGERIE Cargo

AIR ALGERIE cargo a offert un important réseau de transport sous forme de lignes directes couvrant: Le Maghreb, le Sénégal et la Côte d'Ivoire, le Mali, le Niger et le Burkina Faso et à court terme le Moyen-Orient, l'Europe, la Chine, le Canada, et l'Afrique de l'ouest.

AIR ALGERIE cargo a organisé le transport de marchandises dans un réseau de marchés fret identifié comme suit :

Tableau 3.5: l'organisation de transport de marchandise par AIR ALGERIE Cargo

Le marché européen	<p>Le programme cargo est articulé autour de 7 lignes cargo de 7000 tonnes :</p> <p>Paris : 3 vols / semaine de 17 tonnes.</p> <p>Lyon et Marseille : 1 vol / semaine de 17 tonnes.</p> <p>Bruxelles : 1 vol /semaine de 17 tonnes.</p> <p>Madrid : 2 vols / hebdomadaire réguliers 17 tonnes.</p> <p>Milan : 1 vol / hebdomadaire réguliers.</p> <p>Frankfurt.</p>
Le marché Africain	<p>- Le programme cargo est articulé autour de plusieurs lignes cargo qui peuvent être mise en place à la demande.</p>
Le marché Asie Orient	<p>- Dubaï avec des vols de capacité de 10 tonnes.</p> <p>- La chine avec 3 vols / semaine et avec un potentiel fret aérien recensé de plus de 3000 tonnes importées.</p>
Le marché Américain	<p>Le programme cargo est articulé autour d'une seule ligne cargo de canada avec 3 vols hebdomadaires sur la ligne de Montréal.</p>

3.3.3 NUMILOG

3.3.3.1 Présentation générale de NUMILOG

En 2007, NUMILOG est fondée par le groupe Cevital afin d'accompagner le développement de ses activités et d'assurer son support logistique.Elle offre une prestation complète allant du stockage jusqu'à la distribution des produits à travers le territoire national. Elle se place comme un acteur incontournable de la chaîne logistique qui accompagne les

CHAPITRE III:Généralité sur le transport de marchandises

industriels de différents secteurs dans la consolidation de leurs flux marchandises et l'optimisation de leurs activités, offrant des solutions adaptées en matière de Supply Chain, grâce aux infrastructures et outils modernes.

En 2019 , NUMILOG compte un effectif global de plus de 1350 collaborateurs, de 119 managers, avec une flotte de plus de 800 camions qui permettent 500 livraisons quotidiennes pour les grossistes, distributeurs, Centres commerciaux et relais auto routier et une capacité de stockage qui atteint 150 000 palettes dont 35 000 sous température dirigée.

NUMILOG est une entreprise de transport qui s'occupe principalement de la distribution physique des marchandises par route au niveau national, pour :

- Le client principal qui concerne les produit de SPA cevital.
- Les clients externes : Danone, Tchou-lait, Candia, Rouiba, abc PEPSI, fruital COCACOLA, Uniliver, SGT, numidis , LAFARGE, Saida, Brandt, Grupo puma Algerie, HAYAT, Lactalis, MFG, OXXO, bel, BASF, metalsider, MDM.

3.3.3.2 Le réseau de distribution

Le réseau de distribution de NUMILOG est composé de 3 Plateformes logistiques implémentées à Oran, Constantine et Bouira pour couvrir le maximum du territoire national, soit une surface totale de stockage d'environ 100 000 m² et 3 Agences de Transport à Bouira, Bejaia et Oran, et qui sont indépendantes de la direction des plateformes.

Un réseau de distribution de 35 CLR dont 06 mutualisés (plusieurs clients dans le même entrepôt) pour activité principale de prestation de manutention (Réception — Stockage — Expédition), réparti sur le territoire national.

NUMILOG possède quatre (04) plateformes logistiques situées à Bouira., Oran (HassiAmeur), Constantine (El Khroub) et à Sétif avec un total de surface de plus de 190 000 M² de stockage dont 45 000 M² de stockage sous températures dirigées. Au sein de ses plateformes, elle garantit le maintien de la qualité des produits et assure leur traçabilité à travers le WMS (Warehouse Management System).

L'implantation des plateformes, agences de transport et CLR est représenté dans la figure suivante :

- Plate-forme logistique.
- Agence transport.
- CLR (centre logistique régional).

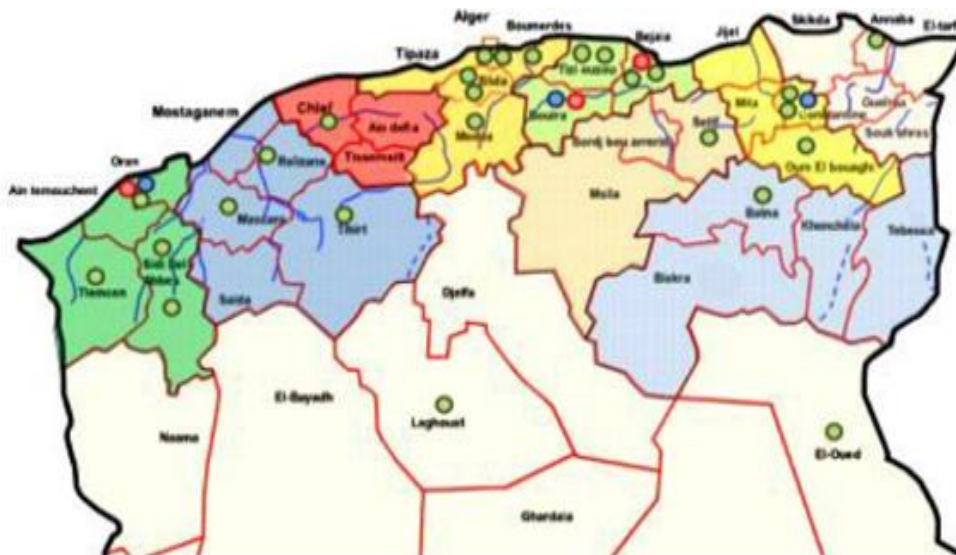


Figure 3.2 Le réseau de distribution de l'entreprise NUMILOG:

3.3.3.3 Les activités de NUMILOG

3.3.3.3.1 L'activité de logistique

Elle consiste en une gestion rigoureuse des flux de marchandises (Stockage, préparation de commandes, logistique du froid) avec une traçabilité complète des flux. Elle vise notamment une gestion optimale des stocks de manière à assurer la disponibilité permanente des produits. Elle permet par ailleurs un accompagnement sur mesure pour chaque secteur d'activités.

3.3.3.3.2 L'activité de transport

Elle assure une distribution répondant aux besoins et aux exigences des clients en matière de délais et de services. Elle offre des solutions performantes pour une optimisation des schémas de transport et des moyens suffisants et géo-localisés pour absorber les variations importantes d'activités. Elle vise notamment une distribution en flux tendu sur l'ensemble du territoire national.

3.3.4 Bejaia logistique

3.3.4.1 Présentation de l'entreprise

Bejaïa logistique « BL » est une entreprise prestataire de transport et logistique créée en 2008 en vue de servir l'expansion croissante du marché du transport et de la logistique en Algérie. Elle est implantée dans la zone industrielle AhrikIghzer Amokrane, située dans la commune d'Ouzellaguen., Wilaya de Bejaia. Elle s'est spécialisée en premier temps dans le segment du transport routier de marchandises. Son domaine d'activité s'est ensuite étendu dans la location d'engins et matériels pour bâtiment, travaux publics et manutention, location de véhicules avec ou sans chauffeur et dans le transport des produits pétroliers.

CHAPITRE III:Généralité sur le transport de marchandises

Avant d'être une SARL entreprise, Bejaia logistique était un service « parc et transport », depuis 2002, assurant le transport de marchandises produites par la SARL IBRAHIM ET FILS « IFRI » qui font la production des eaux minérales et boissons diverses.

Faire face aux problèmes de distribution des produits tout en gérant la production et en améliorant son activité principale n'est pas aussi évident. De peur que sa gamme se rabaisse sur le marché face à ses concurrents qui sont très nombreux, la SARL « IFRI » décida de décentraliser son service « Parc et transport » et de l'externaliser pour alléger la charge sur leurs ressources humaines et se focaliser sur sa production. Par conséquent, la SARL Bejaia Logistique est née en octobre 2008.

3.3.4.2 Missions de l'entreprise

La mission principale de BL est le transport routier de marchandise. Cependant, l'entreprise veille à la réalisation de diverses activités quotidiennes telles :

- Assurer l'arrivée en bon état des marchandises transportées ;
- Mettre en place des programme d'investissement ;
- Fidéliser ses clients et essayer d'en acquérir d'autres ;
- Améliorer son système de distribution ;
- Une meilleure gestion et développement des RH et leurs moyens matériels nécessaires au bon fonctionnement de l'entreprise ;
- Assurer une représentativité nationale et faire face aux concurrents ; Tenter d'élargir le réseau d'activités à l'extérieur du pays.
- La bonne gestion de conduite, exploitation ; maintenance et développement de ses réseaux.
- Et enfin, Assurer la sécurité pour toute personne morale ou physique se trouvant à l'intérieur de BL ou en rapport avec l'activité de distribution des marchandises.

3.3.4.3 Indicateurs de performance et de qualité de l'entreprise

3.3.4.3.1 Flotte importante

- ✓ Plus de 340 camions (bâchés, plateaux, porteurs, portes conteneurs...).
- ✓ Capacité de chargement de 30 à 40 tonnes / 92 m3 de volume.
- ✓ Matériel récent à la pointe de l'innovation ; une pensée pour l'environnement qui s'implique dans la réduction des émissions de CO2.

CHAPITRE III:Généralité sur le transport de marchandises

3.3.4.3.2 Matériels sur et performants

- ✓ Atelier mobile équipé d'une assistante technique 7j/7.
- ✓ Atelier intégré doté d'un équipement de maintenance performant issu d'une technologie de pointe soutenu par un magasin de pièces de rechange d'une superficie de plus de 550 m².
- ✓ Station à carburant intégrée d'une capacité de stockage de 200 000 litres.
- ✓ Portique lavage opérationnelle 24h/24 ; flotte prête et propre à chaque instant.

3.3.4.3.3 Personnel qualifié

- ✓ Personnel qualifié ; plus de 135 professionnels spécialisés dans l'entretien, la maintenance et la gestion afin de mieux répondre aux attentes les plus exigeantes de la clientèle.
- ✓ Chauffeurs expérimentés ; avec des cycles de recyclage et de mise à niveau continuellement.

3.3.4.3.4 Flotte géo-localisée

- ✓ Localisation des véhicules à temps réel avec une assistance commerciale 24h/24 ; suivi instantané des commandes et des livraisons avec une traçabilité de la marchandise.
- ✓ Autonomie du client de suivre lui-même l'évolution d'une livraison à temps réel.

3.3.4.3.5 Commandes en ligne

- ✓ Portail web dédiés aux clients pour la passation des commandes.
- ✓ Messagerie automatique d'information des ressources planifiées (chauffeur, camion...).

3.4 Conclusion

Le transport de marchandises est une activité économique qui représente un maillon fondamental de la chaîne logistique. Cette fonction n'a cessé de s'évoluer avec le temps en passant par plusieurs moyens de transport depuis le portage humain jusqu'au différents moyens existants actuellement.

La naissance des moyens techniques tels que la roue, les embarcations, les chemins de fer et la machine à vapeur, ont permis la découverte de 4 types de transport : terrestre (routier, ferroviaire et pipeline), aérien, maritime et fluviale.

Malgré toutes les inventions qui ont révolutionnées le secteur de transport, la fonction transport n'achève d'être compliquée de plus en plus. Ceci est dû à la concurrence mondiale et l'internationalisation qui exigent une mission transport optimale en termes de coût, délai,

CHAPITRE III:Généralité sur le transport de marchandises

qualité, performance et efficacité économique et environnementale. Beaucoup de problèmes en résultent de cette insuffisance exprimée par les opérateurs de transport et logistique.

Donc la logistique de transport actuelle s'avère dépourvu des solutions innovantes qui écharpent les problèmes dont nous avons abordés dans ce chapitre. Cette non durabilité de la logistique actuelle était bien le chemin vers une nouvelle reconfiguration du réseau de transport qui passe par l'utilisation du concept de l'internet physique.

CHAPITRE IV

Problèmes d'optimisation des coûts de transport de marchandises

4 Chapitre IV : Problème d'optimisation des coûts de Transport de marchandises

4.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation de notre problématique qui consiste à se servir du concept de l'IP pour l'optimisation des flux de marchandises en mutualisant les moyens de transport et par conséquent optimiser les coûts engendrés par l'expédition des produits.

L'idée de l'internet physique consiste à encapsuler toutes les marchandises dans des conteneurs modulaires standardisés dont le but est de minimiser les taux de vide. Donc, notre travail consiste à minimiser l'espace perdu dans les conteneurs lors du chargement des produits ; en conséquence, minimiser le nombre de conteneurs sélectionnés, et donc minimiser les coûts générés par le transport de marchandises.

Un choix optimal du nombre de conteneurs utilisés nous emmène vers une gestion de livraison optimale en terme de nombre d'itérations des opérations d'expédition et donc une distance parcourue totale minimisée.

Le concept de l'IP peut être appliqué sur les différents modes de transport. Dans notre cas, nous allons travailler sur un réseau routier.

4.2 Définition du problème

Notre problème est défini comme suit :

Soit un ensemble de « n » articles de différentes tailles. Chaque article est emballé en afin de le protéger contre toute dégradation lors des opérations de chargement, déchargement ou de déplacement. De cet emballage en résulte 6 positions possibles pour le placement de l'article dans le conteneur selon ses 6 faces. Chaque article emballé possède une longueur (LA), une largeur (WA), une hauteur (HA), un poids (PA) et un volume (VA).

Ces n articles doivent être chargé dans un nombre limité et optimal de conteneurs appartenant à un ensemble de « l » conteneurs. Ces derniers sont caractérisés par une longueur (LC), une largeur (WC), une hauteur (HC), un volume (VC) et une capacité maximale (Cap).

Nous avons aussi un ensemble de « m » clients, où chacun possède une demande d'article bien déterminée que nous devons satisfaire. Ces clients sont partagés en un ensemble de p zones.

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

Une gestion optimale des demandes clients est notre objectif principal. Cet objectif passe par la minimisation des coûts de transport, qui impliquent les coûts engendrés par les espaces perdus dans les conteneurs sélectionnés ainsi que les coûts générés par les expéditions des demandes clients. Tout en satisfaisant les demandes clients et en respectant les capacités des conteneurs sélectionnés.

Ce problème d'optimisation est de classe des problèmes NP-difficile. Ces derniers n'ont pas d'algorithme permettant de les résoudre de manière optimale pour les instances de grande taille dans un temps de calcul raisonnable.

Pour la résolution de ce problème, nous utilisons un programme linéaire que nous résolvons en utilisant le solveur CPLEX pour un scénario de petite taille. Nous proposons aussi un algorithme génétique (AG) permettant de résoudre le problème pour les instances de taille importante.

4.3 Méthodes de résolution utilisées

4.3.1 Le programme linéaire

Le programme linéaire est adapté pour résoudre les problèmes mathématiques qui consistent à optimiser (maximiser ou minimiser) une fonction linéaire de plusieurs variables qui sont reliées par des relations linéaires appelées contraintes.

Pour notre problème, nous présentons en ce qui suit un modèle mathématique avec une fonction objectif et des contraintes. La résolution de ce problème se fera par le solveur CPLEX pour un scénario d'expédition de deux articles par clients et en utilisant un AG pour un scénario d'expédition de six articles.

4.3.2 CPLEX studio

CPLEX est un outil informatique d'optimisation commercialisé par IBM. Son nom fait référence au langage C et à l'algorithme du simplexe.

CPLEX studio permet de créer des fichiers selon le langage OPL. Ce dernier signifie Optimization Programming Language. Il s'agit d'un langage de modélisation qui permet d'écrire facilement des programmes linéaires (ou quadratiques) grâce à une syntaxe proche de la formulation mathématique. Par ailleurs OPL offre à l'utilisateur la possibilité de séparer le modèle des données, de ce fait un même modèle peut être facilement testé avec différents jeux de données⁴⁹.

⁴⁹ Hélène Toussaint, IBM ILOG CPLEX Optimization Studio : une introduction à OPL et CPLEX Studio IDE : <http://fc.isima.fr/~toussain/doc/introOPL.pdf>

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

Les fichiers créés par CPLEX studio permettent d'exprimer des problèmes :

- ✓ d'optimisation linéaire continue,
- ✓ d'optimisation linéaire en nombres entiers ou mixtes,
- ✓ de programmation par contraintes.

Par contre, Notons que CPLEX ne permet pas d'exprimer des problèmes de programmation non-linéaire.

4.3.2.1 Structure d'un projet OPL

Un projet OPL est constitué de 5 types de fichiers :

- ✓ Un fichier projet (.project)
- ✓ Un ou plusieurs fichiers de modèles (.mod)
- ✓ Un ou plusieurs fichiers facultatifs de données (.dat)
- ✓ Un ou plusieurs fichiers facultatifs de paramètres (.ops)
- ✓ Un ou plusieurs fichiers de configuration d'exécution (.oplproject)

4.4 Le programme linéaire

4.4.1 La formulation du problème

Etant donné :

- A un ensemble de n articles (i) de formes parallélépipédiques différentes ayant chacun les caractéristiques suivantes : une longueur $LA(i)$, une largeur $WA(i)$, une hauteur $HA(i)$, un volume $VA(i)$ et un poids $PA(i)$.
- C un ensemble de m conteneurs (j) ayant chacun les caractéristiques suivantes : une longueur $LC(j)$, une largeur $WC(j)$, une hauteur $HC(j)$, un volume $VC(j)$ et une capacité maximale $Cap(j)$.
- L un ensemble de l clients (k) ayant chacun une demande $D(i,k,z)$ et une distance $dist(k,z)$ qui le sépare de la plateforme logistique.
- P un ensemble de positions (n) tel que n varie de 1 à 6.
- B un ensemble de p zones.

Notre objectif est de minimiser les coûts de transport qui implique les coûts engendrés par les espaces perdus dans les conteneurs, ainsi que les coûts engendrés par les expéditions des articles commandés tout en satisfaisant les demandes clients et en respectant les capacités de chargement des conteneurs.

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

La minimisation des coûts d'expédition et des coûts engendrés par les espaces perdus dans les conteneurs revient à minimiser les distances parcourues et à maximiser le taux de remplissage pour l'obtention d'un nombre optimal de conteneurs sélectionnés. Ceci a une relation avec la façon de chargement des articles. Chacun de ses derniers peut être placé selon l'une des six positions possibles qui sont relatives au parallélisme par rapport aux axes dimensionnels du conteneur (longueur $LC(j)$, largeur $WC(j)$, hauteur $HC(j)$) comme l'indique le tableau suivant :

Tableau 4.1: les 6 positions possibles du placement d'un article dans un conteneur

Positions	Axes parallèles à LC_j	Axes parallèles à WC_j	Axes parallèles à HC_j
1	Longueur L_{Ai}	Largeur W_{Ai}	Hauteur H_{Ai}
2	Largeur W_{Ai}	Longueur L_{Ai}	Hauteur H_{Ai}
3	Largeur W_{Ai}	Hauteur H_{Ai}	Longueur L_{Ai}
4	Longueur L_{Ai}	Hauteur H_{Ai}	Largeur W_{Ai}
5	Hauteur H_{Ai}	Largeur W_{Ai}	Longueur L_{Ai}
6	Hauteur H_{Ai}	Longueur L_{Ai}	Largeur W_{Ai}

4.4.2 Le modèle mathématique

- Les ensembles, les paramètres ainsi que les indices sont résumés dans le tableau suivant :

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

Indices	Ensembles	Paramètres
i : articles	A : articles	LA_i : longueur de l'article i
j : conteneurs	C : conteneurs	WA_i : largeur de l'article i
k : clients	L : clients	HA_i : hauteur de l'article i
n : position	P : positions	VA_i : volume de l'article i
z : zone	B : zones	PA_i : poids de l'article i
		LC_j : longueur du conteneur j
		WC_j : largeur du conteneur j
		HC_j : hauteur du conteneur j
		VC_j : volume du conteneur j
		Cap_j : capacité du conteneur j
		Dik_z : demande de l'article i du client k de la zone z
		Dist_{k,z} : la distance totale de la plateforme au client k de la zone z
		Cep : cout de l'espace perdu /m ³
		Cexp : coût d'expédition /km

Tableau 4.2: les indices, les ensembles et les paramètres du modèle

➤ Les variables de décision :

- $X_{j,z}$: variable binaire égale à 1 si le conteneur j est réservé pour la zone z, 0 si non.
- $Q_{j,k,z}$: variable binaire égale à 1 si le conteneur j est réservé pour le client k de la zone z, 0 si non.
- $Y_{i,j,n,k,z}$: variable binaire égale à 1 si l'article i du client k de la zone z est chargé dans le conteneur j avec la position n, 0 si non.
- $W_{i,j,n,k,z}$: variable entière indiquant la quantité d'article i du client k de la zone z chargée dans le conteneur j avec la position n.

➤ La fonction objectif:

$$\text{Min } \sum_{z=1}^p \sum_{j=1}^m ((VC_j * X_{jz}) - \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^n \sum_{n=1}^6 (VA_i * W_{i,j,n,k,z})) * Cep + S * Cexp) \dots (4.1)$$

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

$$S = \left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^l dist_{k,z} * Q_{j,k,z} + \sum_{y=1}^{\frac{l-1}{2}} \sum_{t=1}^{l-2*y} dist_{t,z} * Q_{j,t,z} * \prod_{a=1}^{2*y} \sum_{b=t+a}^{l-2*y-a} Q_{j,b,z} - \\ \sum_{y=0}^{\frac{l-3}{2}} \sum_{t=1}^{l-(2*y+1)} dist_{t,z} * Q_{j,t,z} * \prod_{a=1}^{2*y+1} \sum_{b=t+a}^{l-(2*y+1-a)} Q_{j,b,z} \dots \text{ si } l \text{ est pair} \\ \\ \sum_{k=1}^l dist_{k,z} * Q_{j,k,z} + \sum_{y=1}^{\frac{l-1}{2}} \sum_{t=1}^{l-2*y} dist_{t,z} * Q_{j,t,z} * \prod_{a=1}^{2*y} \sum_{b=t+a}^{l-2*y-a} Q_{j,b,z} - \\ \sum_{y=0}^{\frac{l-1}{2}} \sum_{t=1}^{l-(2*y+2)} dist_{t,z} * Q_{j,t,z} * \prod_{a=1}^{2*y+1} \sum_{b=t+a}^{l-(2*y+1-a)} Q_{j,b,z} \dots \text{ si } l \text{ est impair} \end{array} \right.$$

➤ Contraintes :

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l LA_i * Y_{i,j,1,k,z} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l LA_i * Y_{i,j,4,k,z} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l WA_i * Y_{i,j,2,k,z} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l WA_i * Y_{i,j,3,k,z} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l HA_i * Y_{i,j,5,k,z} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l HA_i * Y_{i,j,6,k,z} \leq LC_j * X_{j,z} \dots \forall j \in C, \forall z \in B \dots \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l LA_i * Y_{i,j,2,k,z} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l LA_i * Y_{i,j,6,k,z} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l WA_i * Y_{i,j,1,k,z} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l WA_i * Y_{i,j,5,k,z} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l HA_i * Y_{i,j,3,k,z} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l HA_i * Y_{i,j,4,k,z} \leq WC_j * X_{j,z} \dots \forall j \in C, \forall z \in B \dots \quad (4.3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l LA_i * Y_{i,j,3,k,z} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l LA_i * Y_{i,j,5,k,z} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l WA_i * Y_{i,j,4,k,z} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l WA_i * Y_{i,j,6,k,z} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l HA_i * Y_{i,j,1,k,z} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l HA_i * Y_{i,j,2,k,z} \leq HC_j * X_{j,z} \dots \forall j \in C, \forall z \in B \dots \quad (4.4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{n=1}^6 \sum_{k=1}^l PA_i * W_{i,j,n,k,z} \leq Cap_j * X_{j,z} \dots \dots \dots \forall j \in C, \forall z \in B \dots (4.5)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{n=1}^6 \sum_{k=1}^l VA_i * W_{i,j,n,k,z} \leq VC_j * X_{j,z} \dots \dots \dots \forall j \in C, \forall z \in B \dots (4.6)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{n=1}^6 W_{i,j,n,k,z} \geq D_{i,k,z} \dots \dots \dots \forall i \in A, k \in L, z \in B \dots (4.7)$$

$$\sum_{j=1}^m Q_{j,k,z} = 1 \dots \dots \dots \forall k \in L, \forall z \in B \dots (4.8)$$

$$\sum_{z=1}^p X_{j,z} \leq 1 \dots \dots \dots \forall j \in C \dots (4.9)$$

$$Y_{i,j,n,k,z} \leq X_{j,z} \dots \dots \dots \forall i \in A, j \in C, k \in L, n \in P, z \in B \dots (4.10)$$

$$W_{i,j,n,k,z} \leq 1000 * Y_{i,j,n,k,z} \dots \dots \dots \forall i \in A, j \in C, k \in L, n \in P, z \in B \dots (4.11)$$

$$Q_{j,k,z} \leq X_{j,z} \dots \dots \dots \forall j \in C, k \in L, z \in B \dots (4.12)$$

$$X_{j,z} \in \{0,1\} \dots \dots \dots \forall j \in C, \forall z \in B \dots (4.13)$$

$$Q_{j,k,z} \in \{0,1\} \dots \dots \dots \forall j \in C, \forall k \in L, \forall z \in B \dots (4.14)$$

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

$$Y_{i,j,n,k,z} \in \{0,1\} \dots \dots \dots \forall i \in A, j \in C, k \in L, n \in P, z \in B \dots (4.15)$$

$$W_{i,j,n,k,z} \in \mathbb{N} \dots (4.16)$$

➤ Explication des contraintes :

- L'équation (4.1) représente la fonction objectif qui sert à minimiser les coûts engendrés par les espaces perdus et les expéditions des articles commandés.

- Les contraintes (4.2), (4.3) et (4.4) permettent de vérifier le chargement des articles dans les conteneurs pour ne pas dépasser sa longueur, sa largeur et sa hauteur.

- Les contraintes (4.5) et (4.6) permettent de ne pas dépasser la capacité et le volume respectivement des conteneurs lors du chargement.

- La contrainte (4.7) a pour objectif la satisfaction des demandes clients.

- La contrainte (4.8) exige que la demande d'un client doive être chargée dans le même conteneur.

- La contrainte (4.9) permet qu'un conteneur sélectionné soit réservé pour une seule zone.

- Les contraintes (4.10), (4.11) et (4.12) représentent les liens entre les variables X et Y, W et Y, X et Q respectivement.

- Les contraintes (4.13), (4.14) et (4.15) définissent les variables binaires du modèle.

- La contrainte (4.16) définit la variable entière du modèle.

4.5 La simulation sous CPLEX

Nous avons implémenté le modèle mathématique précédent sur le solveur CPLEX.

4.5.1 Définition du réseau de distribution

Afin de tester notre programme, nous nous sommes inspirées de l'entreprise NUMILOG pour la réalisation d'un scénario de distribution.

Notre réseau de distribution couvre l'ouest de l'Algérie et se compose d'une plateforme logistique qui se situe à Oran et alimente huit centres de livraison régionaux (Tlemcen, Ain Temouchent, Relizene, Mostaganem, Saida, Sidi Belabbes, Tiaret et Mascara). Ces derniers sont considérés comme des π -hubs, d'où commence un deuxième scénario de distribution des articles vers les clients. Dans notre travail, nous nous intéressons à l'expédition des articles de la plateforme logistiques vers les π -hubs (les CLR).

Afin de minimiser les distances parcourues, nous avons décomposé notre réseau de distribution en quatre zones.

Notre réseau de distribution est ainsi schématisé dans les figures 4.1 et 4.2 :

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

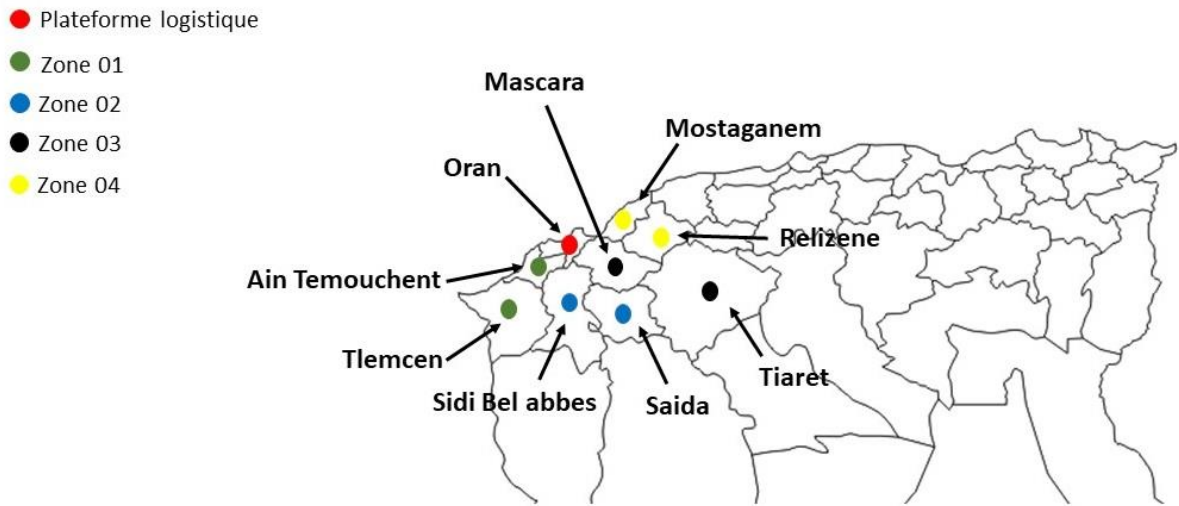


Figure 4.1: schématisation de notre réseau de distribution

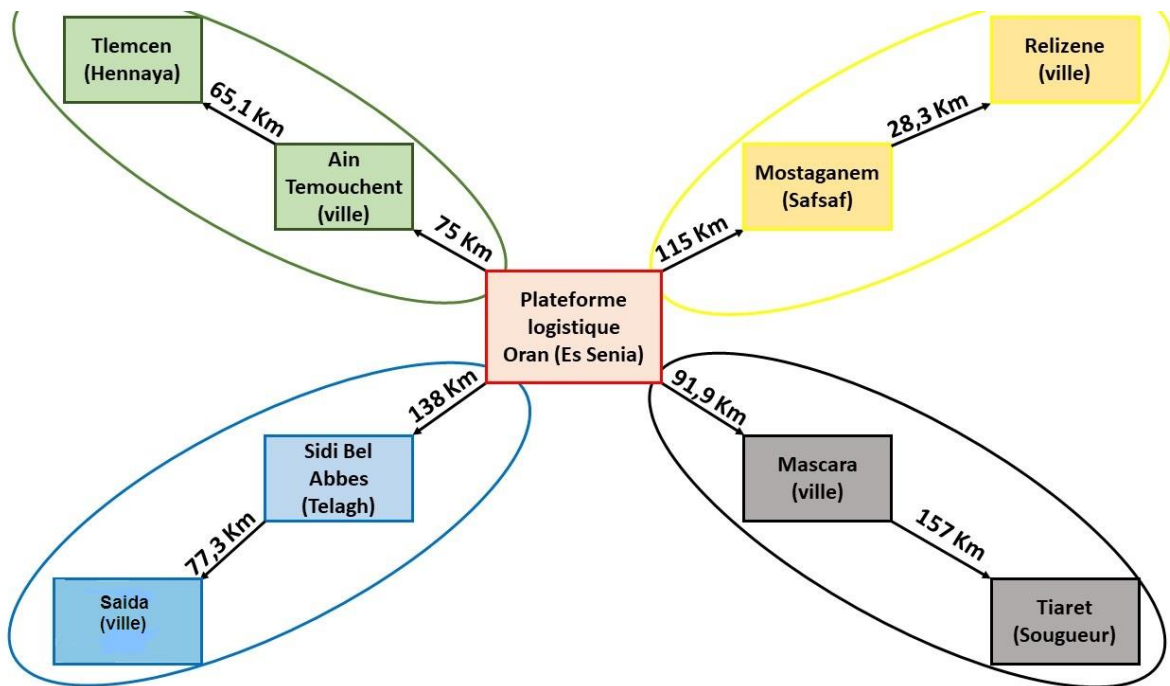


Figure 4.2: schématisation de notre réseau de distribution

4.5.2 L'introduction des données

Nous considérons deux types d'articles à expédier dont la longueur, la largeur, la hauteur, le volume et le poids de chacun sont mentionnés dans le tableau suivant :

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

Tableau 4.3: les caractéristiques des articles

Article caractéristique	Article	
	Article 01	Article 02
LA (m)	1	0.8
WA (m)	0.5	0.6
HA (m)	0.6	0.6
VA (m ³)	0.3	0.288
PA (Tonnes)	0.015	0.02

Les demandes des CLR's sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 4.4: les demandes des CLR's

Zones	Clients (CLR's)	Demande de l'article 01	Demande de l'article 02
Zone 01	C1 : Ain Temouchent	35	70
	C2 : Tlemcen	57	86
Zone 02	C1 : Sidi Bel Abbes	30	25
	C2 : Saida	20	35
Zone 03	C1 : Mascara	25	35
	C2 : Tiaret	20	22
Zone 04	C1 : Mostaganem	60	55
	C2 : Relizene	65	50

Les distances totales parcourues de la plateforme aux clients sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 4.5: la distance entre la plateforme logistique et chaque CLR

Zones	Zone 01		Zone 02		Zone 03		Zone 04	
Clients	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Distances (km)	75	140.1	138	215.3	91.9	157	115	143.3

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

Nous avons aussi considéré un coût d'espace perdu estimé à 20 DZD/m³ et un coût d'expédition estimé à 45 DZD/km.

Les dimensions des différents types de conteneurs utilisés sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau 4.6: les dimensions des conteneurs utilisés

	LC	WC	HC	VC	Cap
20 EVP	5.9	2.35	2.39	33.2	21.77
40 Standard EVP	12.04	2.35	2.39	67.8	26.7
40 High Cube EVP	12.04	2.35	2.7	76.4	26.51

Le programme sous CPLEX est capturé dans la figure suivante :

```
//sets
int i=...;
int j=...;
int n=...;
int k=...;
int z=...;

range article=1..i;
range conteneur=1..j;
range position=1..n;
range client=1..k;
range zone=1..z;

//data
float LA[article]=...;
float WA[article]=...;
float HA[article]=...;
float VA[article]=...;
float PA[article]=...;

float LC[conteneur]=...;
float WC[conteneur]=...;
float HC[conteneur]=...;
float VC[conteneur]=...;
float Cap[conteneur]=...;

float dist[client][zone]=...;
float D[article][client][zone]=...;

//variables de décision
dvar boolean X[conteneur][zone];
dvar boolean Q[conteneur][client][zone];
dvar boolean Y[article][conteneur][position][client][zone];
dvar int+ W[article][conteneur][position][client][zone];
```


CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

```
//fonction objectif
minimize(

sum(z in zone,j in conteneur) (
(VC[j]*X[j][z] - sum(i in article,n in position,k in client)VA[i]*W[i][j][n][k][z])*20
+sum(k in client) (dist[k][z]-sum(k in 1..k-1)dist[k][z]*Q[j][k][z])*Q[j][k][z]*45
)
);

//contraintes
subject to{

forall(i in article,k in client,z in zone)
  Contrainte_de_satisfaction_de_demande:
  sum(j in conteneur,n in position)W[i][j][n][k][z] == D[i][k][z];

forall(k in client,z in zone)
  Contrainte_sur_la_demande_client:
  sum(j in conteneur)Q[j][k][z]==1;

forall(j in conteneur,z in zone)
  Contrainte_de_verification_de_LC:
  (sum(i in article,k in client)LA[i]*Y[i][j][1][k][z]) + (sum(i in article,k in client)LA[i]*Y[i][j][2][k][z]) + (sum(i in article,k in client)LA[i]*Y[i][j][3][k][z]) <= VC[j]*X[j][z];

forall(j in conteneur,z in zone)
  Contrainte_de_verification_de_WC:
  (sum(i in article,k in client)LA[i]*Y[i][j][1][k][z]) + (sum(i in article,k in client)LA[i]*Y[i][j][2][k][z]) + (sum(i in article,k in client)LA[i]*Y[i][j][3][k][z]) <= VC[j]*X[j][z];

forall(j in conteneur,z in zone)
  Contrainte_de_verification_de_HC:
  (sum(i in article,k in client)LA[i]*Y[i][j][1][k][z]) + (sum(i in article,k in client)LA[i]*Y[i][j][2][k][z]) + (sum(i in article,k in client)LA[i]*Y[i][j][3][k][z]) <= VC[j]*X[j][z];

forall(j in conteneur,z in zone)
  Contrainte_sur_la_capacite:
  sum(i in article,n in position,k in client)PA[i]*W[i][j][n][k][z] <=Cap[j]*X[j][z];

forall(j in conteneur,z in zone)
  Contrainte_sur_la_volume:
  sum(i in article,n in position,k in client)VA[i]*W[i][j][n][k][z] <=VC[j]*X[j][z];

forall(j in conteneur)
  sum(z in zone) X[j][z]<=1;

forall(j in conteneur,k in client,z in zone)
  lien_entre_X_et_Q:
  Q[j][k][z]<=X[j][z];

forall(i in article,j in conteneur,n in position,k in client,z in zone)
  lien_entre_Q_et_Y:
  Y[i][j][n][k][z] <= Q[j][k][z];

forall(i in article,j in conteneur,n in position,k in client,z in zone)
  W[i][j][n][k][z]<=100*Y[i][j][n][k][z] ;

}
```

Figure 4.3: notre programme sous CPLEX

4.5.3 Les résultats de l'exécution

4.5.3.1 Premier cas

Dans la première configuration, nous allons considérer que la plateforme possède 10 conteneurs de même type (40 standard EVP).

CPLEX nous a donné les résultats suivants :

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

- La valeur de la fonction objectif : $z=42,119.22$ DZD

```
solution (optimal) with objective 42119.22
Quality Incumbent solution:
MIQP objective 4.2119220000e+004
```

Figure 4.4: la valeur de la fonction objectif donnée par CPLEX pour le 1^{er} cas

- Les conteneurs sélectionnés et leurs affectations :

```
x = [[0
      0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 1]
      [0 0 0 1]
      [1 0 0 0]
      [0 0 1 0]
      [0 1 0 0]
      [1 0 0 0]];
```

Figure 4.5: les conteneurs sélectionnés pour le 1^{er} cas

```
Q = [[[0 0 0 0]
       [0 0 0 0]]
      [[0 0 0 0]
       [0 0 0 0]]
      [[0 0 0 0]
       [0 0 0 0]]
      [[0 0 0 0]
       [0 0 0 0]]
      [[0 0 0 0]
       [0 0 0 0]]
      [[0 0 0 1]
       [0 0 0 0]]
      [[0 0 0 0]
       [0 0 0 1]]
      [[0 0 0 0]
       [1 0 0 0]]
      [[0 0 1 0]
       [0 0 1 0]]
      [[0 1 0 0]
       [0 1 0 0]]
      [[1 0 0 0]
       [0 0 0 0]]];
```

Figure 4.6: l'affectation des conteneurs sélectionnés pour le 1^{er} cas

Les résultats des conteneurs sélectionnés ainsi que leurs affectations sont détaillés dans les tableaux suivants :

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

Tableau 4.7: tableau résumant les résultats du 1er cas donnés par CPLEX

X(j,z)=1		Q(j,k,z)=1			Y(i,j,n,k,z)=1					W(i,j,n,k,z)					
j	z	j	k	z	i	j	n	k	z	i	j	n	k	z	=
5	4	5	1	4	1	5	1	1	4	1	5	1	1	4	60
6	4	6	2	4	1	6	3	2	4	1	6	3	2	4	65
7	1	7	2	1	1	7	4	2	1	1	7	4	2	1	57
8	3	8	1	3	1	8	1	2	3	1	8	1	2	3	20
9	2	8	2	3	1	8	4	1	3	1	8	4	1	3	25
10	1	9	1	2	1	9	1	1	2	1	9	1	1	2	30
		9	2	2	1	9	4	2	2	1	9	4	2	2	20
		10	1	1	1	10	1	1	1	1	10	1	1	1	35
					2	5	4	1	4	2	5	4	1	4	55
					2	6	4	2	4	2	6	4	2	4	50
					2	7	3	2	1	2	7	3	2	1	86
					2	8	1	1	3	2	8	1	1	3	35
					2	8	1	2	3	2	8	1	2	3	22
					2	9	4	1	2	2	9	4	1	2	25
					2	9	4	2	2	2	9	4	2	2	35
					2	10	2	1	1	2	10	2	1	1	70

4.5.3.2 Deuxième cas

Pour la deuxième configuration, nous considérons que la plateforme possède 10 conteneurs de type 40 HC EVP. Les résultats donnés par CPLEX sont les suivants :

- La fonction objectif : $z = 31,569.22$ DZD

```

// solution (optimal) with objective 31569.22
// Quality Incumbent solution:
// MIQP objective                               3.1569220000e+004
..
    
```

Figure 4.7: la valeur de la fonction objectif donnée par CPLEX pour le 2^{ème} cas

- Les conteneurs sélectionnés et leurs affectations :

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

```

x = [[0
      0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 1]
      [1 0 0 0]
      [0 1 0 0]
      [0 0 1 0]]];
    
```

Figure 4.8: les conteneurs sélectionnés pour le 2^{ème} cas

```

Q = [[[[0 0 0 0]
      [0 0 0 0]]
      [[0 0 0 0]
      [0 0 0 0]]
      [[0 0 0 0]
      [0 0 0 0]]
      [[0 0 0 0]
      [0 0 0 0]]
      [[0 0 0 0]
      [0 0 0 0]]
      [[0 0 0 0]
      [0 0 0 0]]
      [[0 0 0 0]
      [0 0 0 0]]
      [[0 0 0 0]
      [0 0 0 0]]
      [[0 0 0 0]
      [0 0 0 0]]
      [[0 0 0 1]
      [0 0 0 1]]
      [[1 0 0 0]
      [1 0 0 0]]
      [[0 1 0 0]
      [0 1 0 0]]
      [[0 0 1 0]
      [0 0 1 0]]];
    
```

Figure 4.9: l'affectation des conteneurs sélectionnés pour le 2^{ème} cas

Les résultats des conteneurs sélectionnés ainsi que leurs affectations sont détaillés dans les tableaux suivants :

Tableau 4.8: tableau résumant les résultats du 2^{ème} cas donnés pas CPLEX

X(j,z)=1		Q(j,k,z)=1			Y(i,j,n,k,z)=1					W(i,j,n,k,z)					
j	z	j	k	z	i	j	n	k	z	i	j	n	k	z	=
7	4	7	1	4	1	7	4	1	4	1	7	4	1	4	60
8	1	7	2	4	1	7	5	2	4	1	7	5	2	4	65
9	2	8	1	1	1	8	4	1	1	1	8	4	1	1	57
10	3	8	2	1	1	8	5	2	1	1	8	5	2	1	20
		9	1	2	1	9	4	1	2	1	9	4	1	2	25
		9	2	2	1	9	5	2	2	1	9	5	2	2	30
		10	1	3	1	10	1	1	3	1	10	1	1	3	20
		10	2	3	1	10	4	2	3	1	10	4	2	3	35
					2	7	1	1	4	2	7	1	1	4	55
					2	7	4	2	4	2	7	4	2	4	50

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

					2	8	1	1	1	2	8	1	1	1	86
					2	8	4	2	1	2	8	4	2	1	35
					2	9	4	1	2	2	9	4	1	2	22
					2	9	4	2	2	2	9	4	2	2	25
					2	10	3	1	3	2	10	3	1	3	35
					2	10	4	2	3	2	10	4	2	3	70

4.5.3.3 Troisième cas

Pour la troisième configuration, nous considérons que la plateforme possède six conteneurs de type 20 EVP, quatre conteneurs de type 40 EVP et cinq conteneurs de type 40 HC EVP. Les résultats donnés par CPLEX sont comme suit:

- La fonction objectif : $z = 29,669.22$ DZD

```
// solution (optimal) with objective 29669.2199999999
// Quality Incumbent solution:
// MIQP objective 2.9669220000e+004
```

Figure 4.10: la valeur de la fonction objectif donnée par CPLEX pour le 3^{ème} cas

- Les conteneurs sélectionnés et leurs affectations :

```
x = [[0
      0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [0 1 0 0]
      [0 0 1 0]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 1]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [1 0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 0]
      [0 0 0 0]];
```

Figure 4.11: les conteneurs sélectionnés pour le 3^{ème} cas

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

					2	4	1	1	2	2	4	1	1	2	55
					2	4	1	2	2	2	4	1	2	2	50
					2	5	1	1	3	2	5	1	1	3	86
					2	5	1	2	3	2	5	1	2	3	35
					2	8	1	1	4	2	8	1	1	4	22
					2	8	4	2	4	2	8	4	2	4	25
					2	12	1	1	1	2	12	1	1	1	35
					2	12	3	2	1	2	12	3	2	1	70

4.5.4 Interprétation des résultats

4.5.4.1 Premier cas

Pour une fonction objectif qui est égale à 42.119,22, CPLEX a sélectionné six conteneurs, dont deux conteneurs sont réservés pour chacune des zones 1 et 4 et un conteneur pour chacune des zones 2 et 3.

Commençons par l'analyse des résultats de la zone 02. Un seul conteneur (C9) a suffi pour la satisfaction des demandes des deux clients de la zone, car ni le poids total de la marchandise chargée, ni son volume total n'ont dépassé la capacité maximale et le volume du conteneur respectivement. Cependant, pour la zone 04, vue la demande élevée des clients de cette zone par rapport aux autres, deux conteneurs (5 et 6) lui ont été affectés.

4.5.4.2 Deuxième cas

Dans le deuxième cas, nous avons changé le type de conteneurs utilisés en conteneurs 40 HC EVP ayant un volume plus élevé que les conteneurs 40 standard EVP. Par conséquent, la valeur de la fonction objectif a diminué (31.569,22) par rapport au premier cas (42.119,22). Ceci dit que nous avons minimisé la distance totale parcourue et/ou l'espace perdu dans les conteneurs. Ceci est justifié au niveau du nombre de conteneurs sélectionnés, qui est passé de six conteneurs (1^{er} cas) à quatre conteneurs seulement (dans ce deuxième cas).

Les zones 1 et 4 nécessitaient deux conteneurs chacune pour la satisfaction de leurs demande (1^{er} cas), alors qu'un seul conteneur de type 40 HC EVP à suffit pour chacune d'elle.

4.5.4.3 Troisième cas

Pour la troisième configuration, nous avons opté pour trois types de conteneurs disponibles (20 EVP, 40 EVP et 40 HC EVP).

Nous remarquons dans les résultats obtenus, un changement au niveau des conteneurs sélectionnés.

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

Pour les zones 2 et 3, seulement un conteneur de type 20 EVP, à suffit pour chacune d'elle, pour charger tous les articles demandés. Un conteneur de type 40 EVP à aussi suffit pour la zone 4 au lieu d'un conteneur 40 HC EVP.

Cette nouvelle sélection des conteneurs a permis une minimisation de l'espace perdu dans les conteneurs, et donc la fonction objectif est minimisée avec une valeur de (29.669,22).

La résolution du problème avec le solveur CPLEX est limitée à deux types d'articles seulement. En dépassant cette borne, CPLEX ne donne plus de résultat. Pour pallier à ce problème d'incapacité nous avons opté pour la programmation d'un algorithme génétique avec le langage VBA.

4.6 Les algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques sont créés en 1975 par le chercheur américain Jonh Henry Holland. Ils font partis des algorithmes évolutionnaires et sont basés sur les processus naturels de reproduction animale.

Ces processus sont mieux connus grâce aux progrès des recherches effectuées sur les cellules animales, qui ont révélé l'existence de deux phénomènes remarquables qui se produisent au cours de la reproduction, à savoir : le croisement et la mutation. Pour implémenter l'algorithme génétique il faut déterminer les paramètres suivant :

4.6.1 Le codage

C'est une manière de représenter un individu de la population représentant une solution potentielle du problème étudié. Dans notre problème, nous avons procédé à un codage matriciel. La solution initial S est une matrice $[p * (6 * l * n * m)]$ tel que :

- p est le nombre de zones.
- l est le nombre de clients.
- n est le nombre d'articles.
- m est le nombre de conteneurs.

Nous utilisons un codage binaire, où chaque gène est égal à 1 si la position n dans le conteneur j est choisie pour l'article i du client k de la zone z , 0 sinon

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

Soit un exemple de deux zones, deux clients, deux articles et deux conteneurs. Le codage formé est une matrice $[2 * 48]$. La figure suivante schématise la représentation du codage d'un individu.

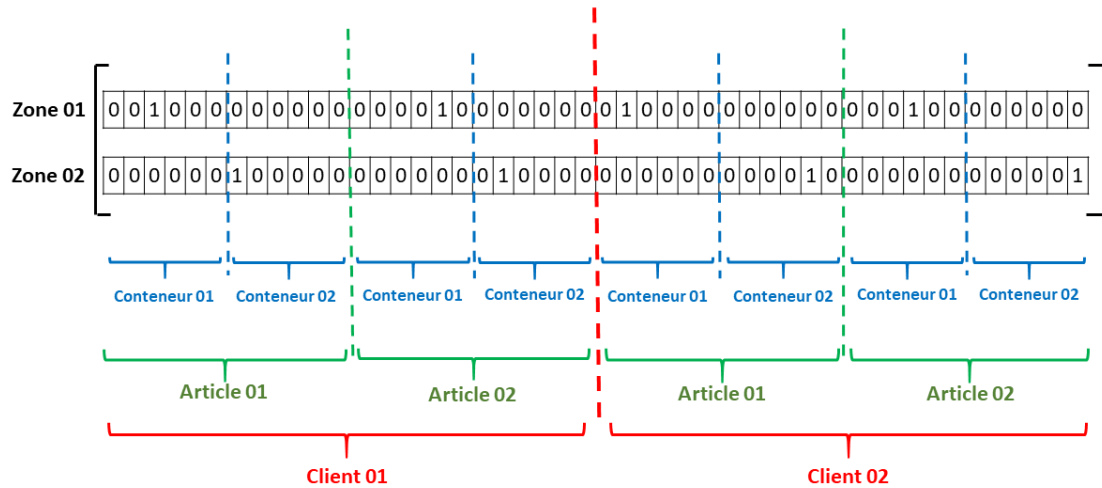


Figure 4.13: un exemple d'une solution

Le codage élaboré pour l'exemple cité affecte le conteneur 01 aux clients de la zone 1 et le conteneur 2 aux clients de la zone 2. Par exemple, la demande en article 1 du client 1 de la zone 1 est placée dans le conteneur 1 avec la position 3.

4.6.2 La fonction d'adaptation (fitness)

Après avoir généré la population initiale et l'avoir codé, nous devons calculer les fonctions objectives pour chaque solution. Ces fonctions sont utilisées pour sélectionner des individus à partir desquels la génération suivante sera créée.

4.6.3 La sélection

L'opérateur de sélection est chargé de favoriser les meilleurs individus, c.à.d. il va générer à partir de la population courante une nouvelle population par copie des individus choisis de la population courante. La copie des chaînes s'effectue en fonction des valeurs de la fonction d'adaptation. Plusieurs stratégies sont possibles pour effectuer une telle sélection, nous avons utilisé la sélection binaire par tournoi

4.6.4 L'opérateur de croisement

Il sert à créer des descendants de la population initiale, il permet aussi aux anciennes générations de transmettre leurs caractères aux nouvelles générations. Nous avons choisi un croisement un point à condition qu'il se trouve toujours entre les clients et non pas entre les conteneurs, ni entre les articles, ni dans la séquence de positions. L'opération de croisement pour l'exemple cité est illustrée dans la figure suivante :

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

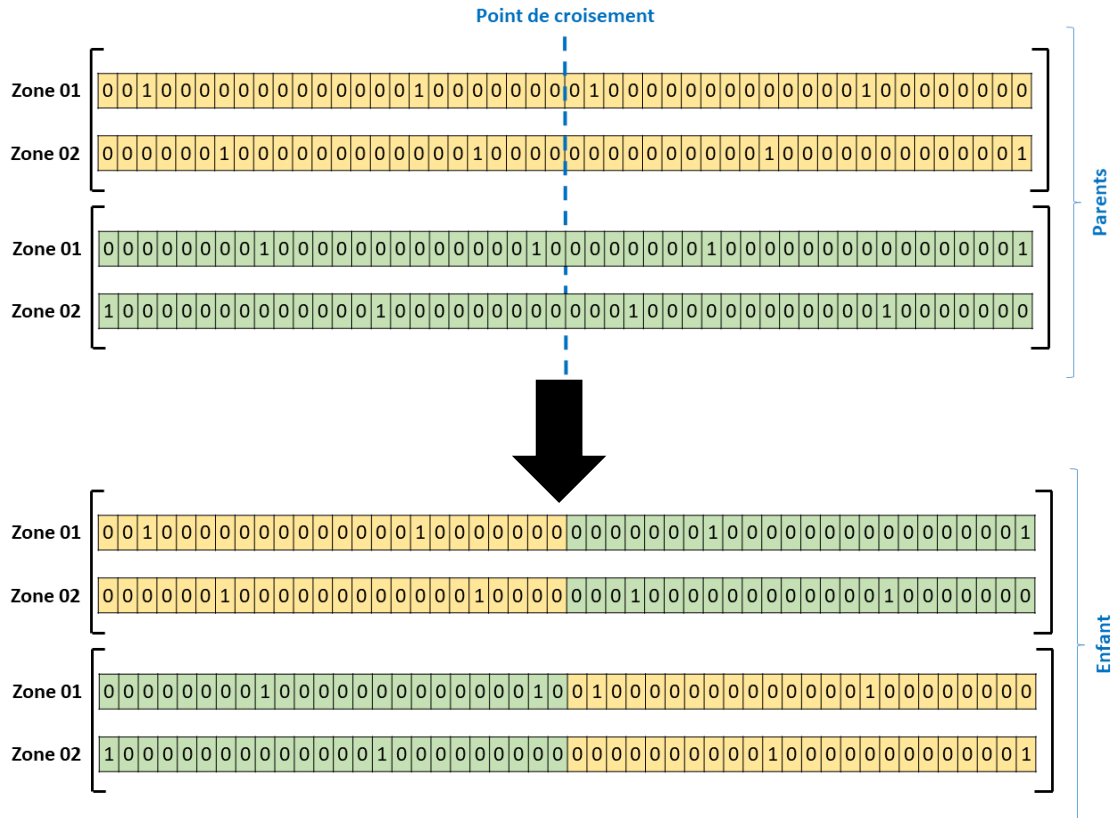


Figure 4.14: illustration de l'opération de croisement sur l'exemple

4.6.5 L'opérateur de mutation

Il effectue une légère perturbation sur un chromosome en altérant un ou plusieurs de ses gènes. Il permet de maintenir la diversité de la population, donc il peut éviter une convergence prématurée de l'algorithme génétique.

4.6.6 L'élitisme

Cette méthode de sélection permet de sauvegarder les meilleurs individus de la population.

La génération d'une nouvelle population, se base sur ces opérateurs évolutionnaires : la sélection, le croisement et la mutation et ce cycle de reproduction est répété jusqu'à la satisfaction d'une condition d'arrêt.

Nous avons travaillé sur le même réseau de distribution des articles, mais cette fois-ci, nous avons agrandi la taille de notre problème en dépassant la limite du solveur CPLEX en passant de deux à six articles. Les caractéristiques des articles à expédier sont mentionnées dans le tableau suivant :

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

Tableau 4.10: les caractéristiques des articles

Articles	LA (m)	WA (m)	HA (m)	VA (m)	PA (m)
1	1	0.5	0.6	0.3	0.015
2	0.8	0.6	0.6	0.288	0.02
3	2	1	1.5	3	0.04
4	1.5	0.9	1	1.35	0.03
5	0.8	0.5	1	0.4	0.02
6	0.9	0.6	0.6	0.324	0.01

4.6.7 Résultat obtenus

Nous avons considéré que la plateforme possède dix (10) conteneurs de même type (40 HC EVP). Le programme VBA nous a donné une valeur de la fonction objectif égale à : $Z=64.761,5DZD$

Les résultats obtenus concernant les conteneurs sélectionnés ainsi que leurs affectations pour chaque zone sont détaillées dans le tableau suivant :

Tableau 4.11: les résultats obtenus avec les AG

Zone	Article	Position	Client	Conteneur	Taux de remplissage
1	1	1	1	3	0.98
	2	2			
	3	6			
	4	1			
	5	2			
	6	3			
1	1	5	2	7	0.64
	2	5			
	3	2			
	4	1			
	5	6			
	6	3			
2	1	2	1	9	0.78
	2	5			

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

2	3	6	2	8	0.91	
	4	3				
	5	2				
	6	5				
	1	5				
	2	3				
	3	1				
	4	4				
	5	3				
	6	4				
3	1	1	1	10	0.86	
	2	3				
	3	1				
	4	5				
	5	2				
	6	5				
	2	1	4	2	6	0.84
		2	5			
		3	3			
		4	4			
		5	1			
		6	3			
4	1	6	1	1	0.95	
	2	1				
	3	4				
	4	3				
	5	3				
	2	6	5	2	5	0.92
		1	6			
		2	5			
		3	5			
		4	1			

CHAPITRE IV: Problèmes d'optimisation des coûts de TM

	5	1			
	6	4			

4.6.8 Interprétation des résultats

En considérant que les conteneurs ont expédiés des articles de six différentes tailles, nous avons obtenu une fonction objectif égale à 64.761,5DZD.

Etant donné le nombre d'articles considéré, cette valeur du coût obtenu est très satisfaisante surtout si on la compare à celle obtenue par CPLEX pour l'expédition de deux articles uniquement qui est de 31,569.22 DZD. Ceci justifie la grande efficacité de l'algorithme génétique proposé pour la résolution des problèmes de grande taille.

Le programme a sélectionné huit (08) conteneurs parmi les dix (10) potentiels, où un conteneur est affecté pour chaque client de chaque zone.

Le taux de remplissage s'élève à 80% pour la plupart des conteneurs. Ceci indique que le programme proposé est très performant pour l'atteinte de l'un des objectifs de l'internet physique qui est le remplissage des camions à 80%.

4.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes servis de l'IP pour l'optimisation des flux de marchandises. Nous avons établi un modèle mathématique en entiers mixtes dont la fonction objectif sert à minimiser les coûts engendrés par les espaces perdus dans les conteneurs et les expéditions des demandes clients ce qui mène à minimiser le nombre de conteneurs sélectionnés. Ce problème a été résolu en utilisant le solveur CPLEX pour des scénarios d'expédition de marchandises inspirés d'un cas réel.

La résolution du problème avec le solveur CPLEX est limitée à deux types d'articles seulement. En dépassant cette borne, CPLEX ne donne plus de résultat. Pour cela nous avons optés pour l'implémentation d'une métaheuristique basée sur les algorithmes génétiques avec le langage VBA afin de résoudre des problèmes de grande taille est obtenir des solutions satisfaisantes proches de l'optimum

Conclusion générale

Des systèmes de stockage surdimensionnés, des expéditions de beaucoup d'air et d'emballage, une mauvaise gestion des commandes clients, une livraison couteuse, des voyages à vide, beaucoup de pollution et un environnement en danger ... sont autant de problèmes dont souffre l'industrie de la logistique actuellement. Face à cet énorme déficit d'efficacité, le concept de l'internet physique est apparu comme solution global pour gérer les problèmes cités.

« Appliquer à la logistique les principes de l'internet » est la plus courte définition qu'on peut donner à l'internet physique. Cependant, sa mise en place n'est pas aussi évidente. Ce nouveau concept vise une meilleure optimisation des flux physiques. Cela peut être projeté sur trois axes : la rationalisation des systèmes, la standardisation des outils et la mutualisation des moyens.

Dans ce travail, nous avons adopté l'idée de l'IP, qui consiste à encapsuler toutes les marchandises dans des conteneurs modulaires standardisés dont le but est de minimiser les taux de vide et de passer d'un système de transport point à point à un système de transport distribué intermodal. Nous avons également travaillé sur deux points : la minimisation des coûts engendrés par les espaces perdus dans les conteneurs lors du chargement des produits et la minimisation des coûts engendrés par les opérations d'expédition des commandes clients. Ceci revient à la minimisation du nombre de conteneurs sélectionnés. Ces derniers ont un rôle très important dans la mise en place de l'IP. Nous avons ainsi testé notre programme d'optimisation sur un scénario d'expédition que nous avons élaboré et dans lequel nous avons considéré une livraison des commandes d'une plateforme logistique vers des CLR's qui sont représentés comme des π -hubs.

Le modèle d'optimisation accompli et implémenté sous CPLEX nous a donné de bons résultats. Cependant, il reste imparfait et ayant des limites. Une fois la taille du système devient plus grande ou que d'autres contraintes entrent en jeu, les choses se compliquent et CPLEX nous donnera plus de solution. Pour pallier à ce problème de taille, nous avons opté pour l'implémentation d'une métaheuristique où nous avons programmé un algorithme génétique avec le langage VBA.

Enfin pour conclure, l'internet physique est né d'un manque de moyens, de stratégie et d'une bonne gestion. Jusqu'à présent, il n'est qu'à ses débuts et il y a encore un long chemin à faire pour pouvoir le généraliser. Selon Éric Ballot, l'un des fondateurs de l'IP : « Quand un concept commence à échapper de ses créateurs, la partie est en bonne voie ». Et aujourd'hui des initiatives commencent à s'apparaitre petit à petit. Espérant un jour voir ce concept bouleverser les opérations logistiques.

Références

- [1] Council of supply chain management professionals
- [2] Supply chain management, Répy Le Moigne, 2^e édition :
<https://www.dunod.com/sites/default/files/atoms/files/9782100759972/Feuilletage.pdf>
- [3] ADDA BENNYA, Imen, Optimizing management of π -countainers for physical Internet, june 2019, p°07. Disponible sur <http://dspace.univ-tlemcen.dz/handle/112/14813>
- [4] Patrice Desmedt, l'internet physique atout de la supply chain, usine nouvelle [en ligne], 17/03/2016. Disponible sur <https://www.usinenouvelle.com/article/l-internet-physique-atout-de-la-supply-chain.N383723>
- [5] Hubert Guillaud, l'internet physique : appliquer les principes de l'internet à la logistique, internetactu.net [en ligne], 03/02/2012. Disponible sur <http://www.internetactu.net/2012/04/04/linternet-physique-appliquer-les-principes-dinternet-a-la-logistique/>
- [6] The Economist : un magazine d'actualité hebdomadaire britannique
- [7] Rapport de la simulation de l'internet physique, juin 2012, sous la direction de Eric Ballot. Disponible sur <http://isidoredd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/document.xsp?id=Temis-0078977>
- [8] Agilea, PI-countainer : science-fiction ou réalité ?, Agilea BLOG [en ligne], 27/04/2017. Disponible sur <http://blog.agilea.fr/pi-container-science-fiction-realite/>
- [9] PATRICK CHARPENTIER, NICOLAS KROMMENACKER, YVES SALLEZ, Virtualisation des PI-conteneurs et premières applications dans un contexte d'Internet Physique, octobre 2015, p°02
- [10] Qu'est ce que le concept de l'internet physique, disponible sur : <http://www.cip.mines-paristech.fr/concept-de-linternet-physique/>
- [11] Wikipedia : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Internet>
- [12] [Online] <https://www.pi.events/IPIC2018/sites/default/files/downloads/IPIC2018-2.pdf>
- [13] [Online] https://www.ortlgrandest.fr/wpcontent/uploads/2018/11/Diaporama_commun_colloque_IP_2_7-11-2014.pdf
- [14] Projets Structurants du Secteur des Travaux Publics et des Transports : Stratégie et Etat d'Exécution, Compte rendu de la Conférence du Jeudi 15 Février 2018, disponible sur : <http://www.ena.dz/pdf/Conf%20TP.pdf>

[15] Une des principales sources de financement et de savoir pour les pays en développement, disponible sur : <https://www.banquemondiale.org/>

[17] Réseau routier et autoroutier en Algérie, 18.09.2017, disponible sur : <http://www.mtp.gov.dz/files/ReseauroutierAlgerie.pdf>

[18] Liste des autoroutes en Algérie, disponible sur: https://fr.wikipedia.org/wiki/Transport_en_Alg%C3%A9rie,

[19] 12 voies pour relier l'autoroute Est-Ouest au projet de l'autoroute des hauts plateaux, 25.01.2019, disponible sur : <http://www.aps.dz/regions/68926-12-voies-pour-relier-l-autoroute-est-ouest-au-projet-de-l-autoroute-des-hauts-plateaux>

[20] Arezki Benali, Route transsaharienne : la partie algérienne achevée en 2019, ALGERIE ECO, 15.07.2017, disponible sur : <https://www.algerie-eco.com/2017/07/15/route-transsaharienne-partie-algerienne-achevee-2019/>

[21] Route transsaharienne : réalisation de 1600 km par l'Algérie, 23.04.2018, disponible sur : <http://www.aps.dz/economie/73021-route-transsaharienne-realisation-de-1-600-km-par-l-algerie>

[22] Agenda Item 3a. Challenges faced by developing countries in competition and regulation in the maritime transport sector ,13 juin 2018

[23] Le transport maritime contrôlé par les étrangers, 2015, disponible sur : www.liberte-algerie.com/

[24] Impact du transport maritime sur la croissance économique en Algérie, 2017, <http://www.univ-bejaia.dz/>

[25] Ministre des travaux publics, la direction des infrastructures maritimes en 2015

[26] La SNTF dotée de plus de matériel dans les années à venir ,04.02.2017, disponible sur : <https://www.algerie-focus.com/>

[27] Révolution dans les chemins de fer, 26.01.2019, disponible sur : <https://tribune-diplomatique-internationale.com/>

[28] Algérie presse service ,26.12.2013, disponible sur : <https://www.djazairess.com/>

[29] ALGERIE ECO : 13.02.2018, disponible sur: <https://www.algerie-eco.com/2018/02/13/sntf-detient-3-fret-national/>

[30] Trains marchandises ,18.02.2018, disponible sur : <https://www.sntf.dz/index.php/component/spsimpleportfolio/item/4-trains-marchandises>

[31] Site officiel de la SNTF : <https://www.sntf.dz/index.php/le-groupe-sntf>

[32] Fatima Zohra Mohamed-Cherif, les liaisons maritimes de l'Algérie dans l'espace euro-méditerranéen : réalité et perspectives, Disponibles sur : <https://journals.openedition.org/tem/1907#authors>

[33] Kheireddine BATACHE, le projet du port de CHERCHEL sera bientôt relancé selon un débuté FLN, 21 Janvier, 2020, disponible sur : <https://maghrebemergent.info/le-projet-du-port-de-cherchell-sera-bientot-relevance-selon-un-depute-fln/>

[34] La banque mondiale

[35] Le centre national de ressources textuelles et lexicales

[36] L'institut national de la statistique et des études économiques

[37] Type de transport de marchandises, disponible sur : <http://www.logistiqueconseil.org/Articles/Transport-routier/Type-transport-marchandises.htm>

[38] Détermination des moyens de transport, Logistique Conseil, <http://www.logistiqueconseil.org/Articles/Logistique/Reseau-transport.htm>

[39] Michel Savy, Le transport de marchandises, page 56

[40] STEPIEN, Bernard « problème de transport » mémoire D.E.S, université de Montpellier, disponible sur : <http://www.site.uottawa.ca/~bernard/memoireD.E.S.probleme de transportv2.pdf>.

[41] DS Smith est un grand acteur européen de l'emballage (32 000 employés présents dans 37 pays).

[42] Hélène Toussaint, IBM ILOG CPLEX Optimization Studio : une introduction à OPL et CPLEX Studio IDE : <http://fc.isima.fr/~toussain/doc/introOPL.pdf>

Résumé

Maitriser les coûts logistiques, optimiser les délais et favoriser la qualité sont parmi les critères à respecter pour réussir sa stratégie logistique. Cependant, le système logistique actuel souffre d'un sérieux déficit d'efficacité. Comme solution qui fait face à cette insuffisance logistique, l'internet physique est apparu. Ce travail consiste à utiliser les éléments de l'IP afin d'accélérer la vitesse d'expédition des flux de marchandises depuis la plateforme jusqu'aux centres de livraison régionaux. Un programme linéaire visant à optimiser les coûts engendrés par les espaces perdus dans les conteneurs et par les expéditions des commandes clients était développé et résolu avec le solveur CPLEX et les algorithmes génétiques.

Mots clés : l'internet physique (l'IP), la logistique, flux de marchandises, coûts logistiques

Abstract

Controlling logistics costs, optimizing delivery deadlines and improving quality are among the measures to be respected in order to succeed its logistics strategy. Yet, the current logistic system suffers from a serious deficit of efficiency. As a solution to this logistic deficiency, "the physical internet» has emerged. This work consists of using elements as "the physical internet" to accelerate the flows of goods from the platform of logistic services to the delivery regions. For that, a mathematical model has developed and aims to optimize the cost of lost container spaces and customer order shipments, then applying it on CPLEX and genetic algorithm.

Key words: physical Internet (PI), logistics, good flows, logistics costs.

ملخص

يُعَدُّ التَّحَكُّمُ فِي تَكَايُفِ اللُّوجِيسْتِيَّاتِ وَ الْعَمَلِ عَلَى إِخْتِرَامِ آجَالِ تَسْلِيمِ البِضَاعَةِ وَتَعْزِيزِ الجُودَةِ مِنْ بَيْنِ المَعَايِيرِ الَّتِي يَجِبُ إِخْتِرَامُهَا لِلنَّجَاحِ فِي الإِسْتِرَاتِيجِيَّةِ اللُّوجِيسْتِيَّةِ. إِلاَّ أَنَّ النِّظَامَ اللُّوجِيسْتِيَّ الحَالِيَّ يُعَانِي مِنْ عَجْزٍ كَبِيرٍ فِي الكَفَاءَةِ. كَجَلِّ لِهَذَا الفُصُورِ اللُّوجِيسْتِيَّيَّ ظَهَرَتِ الإِنْتَرْنِتِ المَادِيَّةِ.

يَقُومُ هَذَا الْعَمَلُ عَلَى إِسْتِخْدَامِ عَنَاصِرِ الإِنْتَرْنِتِ المَادِيَّةِ لِتَسْرِيعِ سُرْعَةِ شَحْنِ تَدْفُوقِ البِضَاعِ مِنَ المُنْصَةِ اللُّوجِيسْتِيَّةِ إِلَى مَرَاكِزِ التَّسْلِيمِ الإِقْلِيمِيَّةِ. تَمَّ تَطْوِيرُ نَمُودَجٍ رِيَاضِيٍّ يَهْدَفُ إِلَى تَحْسِينِ التَّكَايُفِ النَّاتِجَةِ عَنْ فُقْدَانِ المَسَاحَاتِ فِي الحَاوِيَّاتِ وَشَحْنَاتِ طَلَبَاتِ العُمَّلَاءِ وَحَلِّهَا بِإِسْتِخْدَامِ

الكلمات المفتاحية: الأنترنت المادية، اللوجيستية، تدفقات البضائع، التكاليف اللوجيستية