

Table des matières

Table de matières	4
Table des figures	6
Liste des tableaux	7
Remerciements	8
Introduction générale	11
1 La logistique actuelle	13
1.1 Introduction	14
1.2 Logistique	14
1.2.1 Historique	14
1.2.2 Définitions	14
1.2.3 Les objectifs	15
1.3 La chaine logistique	15
1.3.1 Définition	15
1.4 Les éléments de la chaine logistique	16
1.4.1 Sources d'approvisionnement	16
1.4.2 Les usines	16
1.4.3 Les entrepôts	16
1.4.4 Segment produits/marché	17
1.5 Décomposition de la chaine logistique	17
1.5.1 Chaîne logistique en amont	17
1.5.2 Chaîne logistique en aval	18
1.6 Les flux de la logistique	22
1.7 Les limites de la logistique actuelle	23
1.7.1 Symptômes de l'inefficience de la logistique actuelle	24
1.7.2 L'impact de l'insoutenabilité de la logistique actuelle	26
1.8 conclusion	29
2 l'Internet digital	31
2.1 introduction	32
2.2 L'état de l'art de l'Internet digital	32
2.2.1 origines	32
2.2.2 définition	32
2.3 Les principes de fonctionnement	33
2.3.1 Le routeur	33
2.3.2 Connexion à Internet	34
2.3.3 Communication sur Internet	34

2.3.4	Exemple	35
2.3.5	Codification de l'information	35
2.3.6	Switch et Hub	35
2.4	Le modèle OSI	36
2.4.1	La couche physique	37
2.4.2	La couche liaison	37
2.4.3	La couche réseau	37
2.4.4	La couche transport	38
2.4.5	La couche session	38
2.4.6	La couche présentation	38
2.4.7	La couche application	38
2.5	Le modèle TCP/IP	40
2.5.1	La couche accès réseau	40
2.5.2	La couche Internet	40
2.5.3	La couche transport	40
2.5.4	La couche application	40
2.6	Les protocoles basés sur le modèle OSI	41
2.6.1	Définition protocole	41
2.6.2	Protocole TCP	41
2.6.3	Protocole IP	42
2.6.4	Protocole HTTP	42
2.6.5	Protocole FTP	42
2.6.6	Protocole TelNet	42
2.6.7	Protocole SMTP	42
2.7	conclusion	43
3	L'Internet physique	44
3.1	Introduction	45
3.2	L'état de l'art de l'Internet physique	46
3.2.1	Définition	46
3.2.2	Les élément de l'IP	46
3.3	Les pi-hubs et le transport multimodal	49
3.3.1	Pi-hub rail-route	50
3.4	les principes d'IP	51
3.4.1	Les principes fondamentaux	51
3.4.2	Principes d'organisation	52
3.5	La différence entre la logistique et l'Internet physique	53
3.5.1	Envoi	54
3.5.2	Réseau	54
3.5.3	Trajet	54
3.5.4	Système d'information	55
3.5.5	Standard	55
3.5.6	Stockage	55
3.5.7	Gestion de capacités	55
3.6	Le modèle OLI	56
3.6.1	La couche physique	56

3.6.2	La couche liaison	56
3.6.3	La couche réseau	56
3.6.4	La couche routage	56
3.6.5	La couche expédition	57
3.6.6	La couche encapsulation	57
3.6.7	La couche web logistique	57
3.7	Problématique	59
3.8	Conclusion	61
4	La proposition d'un protocole de transport	62
4.1	Introduction	63
4.2	Le protocole existant	63
4.3	Le protocole proposé	65
4.3.1	Les phases du protocole proposé	67
4.4	Traçabilité	79
4.4.1	Puces RFID	80
4.5	Le routage	82
4.5.1	L'adressage	87
4.6	Les cas critiques	89
4.7	Les avantages du protocole proposé	90
4.8	Les limites du protocole proposé	91
4.9	Conclusion	92
	Conclusion générale	93
	Perspectives	95
	Bibliographie	96

Table des figures

1.1	chaîne logistique	16
1.2	décomposition de la chaîne logistique	17
1.3	chaîne logistique à distribution linéaire	19
1.4	chaîne logistique à distribution divergente	19
1.5	chaîne logistique à distribution convergente	20
1.6	le transport multimodal	20
1.7	flux de la chaîne logistique	22
1.8	l'augmentation des émissions en CO2	27
1.9	réseau logistique de la première entreprise	28
1.10	réseau logistique de la deuxième entreprise	28
1.11	superposition des deux réseaux logistiques	29
1.12	la superposition approximative des chaînes logistiques en Algérie	29
2.1	connexion à Internet	33
2.2	optimisation des chemins sur Internet par les routeurs	33
2.3	l'identification sur Internet	34
2.4	la différence entre le hub et le switch	36
2.5	les 7 couches du modèle OSI	37
3.1	le pi-conteneur	47
3.2	le cross-dock	48
3.3	le fonctionnement du pi-hub	50
3.4	les deux parties du pi-hub	51
3.5	les sept couches du modèle OLI	58
3.6	la livraison dans l'Internet physique	59
3.7	le transport multimodal dans l'Internet physique	60
3.8	optimisation des chemins dans l'Internet physique	60
4.1	le protocole général de l'Internet physique	63
4.2	le protocole proposé	66
4.3	schéma descriptif de la 1ère phase	69
4.4	partie du scénario 1	70
4.5	partie du scénario 2	70
4.6	étape de la mise en place des RFIDs	72
4.7	partie du scénario 3	72
4.8	schéma descriptif de la 2ème phase	73
4.9	partie du scénario 4	74
4.10	partie du scénario 5	74

4.11	partie du scénario 6	74
4.12	partie du scénario 7	75
4.13	partie du scénario 8	75
4.14	partie du scénario 9	76
4.15	schéma descriptif de la 3eme phase	78
4.16	remaniement des conteneurs	78
4.17	une zone pour le regroupement des conteneurs	79
4.18	les étages d'extraction des conteneurs	79
4.19	composition d'une puce RFID	80
4.20	les systèmes autonomes et le protocole BGP	83
4.21	deux systèmes autonomes	85
4.22	les chemins possibles entre les SA	85
4.23	les chemins optimaux entre les deux SA	86
4.24	l'adresse IP sur Internet et l'adresse IP local	87
4.25	exemple d'adressage	89

Liste des tableaux

2.1	les 7 couches du modèle OSI	39
2.2	ressemblance entre le modèle OSI et le modèle TCP/IP	41
3.1	ressemblance entre le routeur et le pi-hub	49
3.2	différence entre la logistique et l'Internet physique	54
4.1	projection de l'Internet digital sur l'Internet physique	64
4.2	classification des produits	68
4.3	la différence entre les SA digitaux et les SA physique	84
4.4	proposition d'une représentation numérique des régions	88

Remerciement

chère parents, nos papas, nos mamans.

Merci, du fond de nos cœurs, nous vous remercions.

Vous ne nous avez pas seulement donné tout ce dont nous avons eu besoin de réussir nos dix-huit années d'études, mais vous nous avez préparé pour ce moment, vous nous avez donné de la grâce, de l'équilibre, de la confiance, du soutien, des conseils, une épaule pour s'appuyer sur dans nos pires moments, et surtout, vous nous avez donné un amour inconditionnel.

Nos papas, vous êtes nos premiers héros, vous êtes la première personnes que nous voudrions partager avec les bonnes nouvelles et la dernière personnes que nous voudrions partager avec les mauvaises nouvelles, peu importe ce que nous faisons, vous êtes toujours présents et surtout avec vos regards de 'je te l'avais dit', Merci.

Nos mamans, vous êtes les personnes qui veillent sur nous et sur notre bonheur, vous étiez toujours très attentionnées, notre premier mot, notre premier pas, notre première dent, notre première chute, vous vous souvenez de tous nos premiers, quoique nous vous disions, ce n'est jamais assez à vous remercier, Merci énormément.

Merci pour nous accorder la chance de vous rendre fière et de vous dire que vos petites filles ont grandi et vous aiment pour toujours et à jamais.

Merci.

En préambule à ce mémoire nous remercions ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères à Monsieur BENSMAINE Abderrahmane qui, en tant que directeur de ce mémoire, nous a apporté son aide, Nous voudrions également lui témoigner notre gratitude pour sa patience et son soutien qui nous a été précieux afin de mener notre travail à bon port.

Nous tenons à remercier sincèrement Madame SARI Lamia, qui s'est toujours montrée à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer.

Nous remercions bien vivement Monsieur BENNEKROUF Mohammed, président de jury qui mène avec tant de soins et de patience les résultats de ce travail.

Nous remercions également Monsieur MALIKI Fouad qui nous fait l'honneur de participer au Jury de soutenance ; nous lui en remercions profondément.

Nous tenons à remercier Monsieur BELKAID Fayçal qui nous fait l'honneur de participer au Jury de soutenance ; nous lui adressons nos profonds remerciements.

Ces remerciements vont aussi au corps professoral et administratif de la Faculté Abou Bekr Belkaid - Tlemcen- des Sciences et Technologie, pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

*Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.
Merci à tous et à toutes.*

*à nos parents,
à nos frères,
à nos sœurs,
à nos amis,
à tous ceux qui nous sont chers*

Introduction générale

Le contexte économique actuel, caractérisé notamment par La mondialisation et la globalisation poussent les entreprises à externaliser leurs activités, et s'affirmer tant sur le plan national qu'international.

De plus, l'internationalisation des échanges des biens et des services et la concurrence de plus en plus rude ont entraîné les entreprises à rechercher de nouvelles voies pour améliorer leur performance et leurs productivité, et répondre au mieux aux attentes et exigences de leurs clients.

Dans ce contexte, les entreprises actuelles tentent d'assurer la coordination des processus productifs entre les acteurs d'une chaîne logistique dès l'approvisionnement de la matière première jusqu'à son expédition sur le marché en vue de réaliser des bénéfices. dans ce cadre une problématique qui a intéressée plusieurs chercheurs est la fonction du transport qui nécessite une bonne maîtrise de son aspect logistique, et environnementale toute en réduisant l'aspect financier.

Face à ces enjeux, la logistique actuelle est encore mal exploitée. De plus le transport de marchandises est inévitablement concerné par la problématique du développement durable car il génère des externalités environnementales (pollution, émissions CO2, congestion).

pour palier à ces contraintes un nouveau concept de l'Internet physique a été proposé comme un instrument pour relever le grand défis mondial de la logistique durable, il vise à interconnecter tous les réseaux logistiques mondiales à travers des plateformes de stockage temporaire et intermédiaire et d'expédition, comme l'Internet Digital a fait avec les réseaux informatiques qui permet la transmission des données sous forme de paquets aux formats standardisés à travers des équipements hétérogènes. Dans le domaine de la logistique, ces réseaux existent déjà car chaque entreprise a son propre réseau mais ils sont loin d'être interconnectables, l'idée de l'Internet physique est de rendre ces réseaux compatibles et plus ouverts.

De manière implicite, l'Internet physique reste encore une notion générale dont les composantes nécessitent plus de détail et de développement. De ce point de vue, Ce travail donne l'opportunité de proposer un protocole de transport de marchandises. inspiré de l'internet digital, ce protocole sera basé sur plusieurs niveaux de conteneurisation, le routage, le choix du moyen de transport tout en garantissant la traçabilité et l'optimisation des trajets depuis la réception de la marchandise jusqu'à

son déchargement au point final.

ce document est constitué de quatre chapitres dont le premier nous allons exposer les notions de base de la logistique actuelles et de définir ses éléments et ses limites. Ensuite nous parlons sur le transport qui représente un amont indispensable de la chaîne logistique.

Le deuxième chapitre est consacré au fonctionnement de l'Internet digital ; nous allons détailler son comportement (routeur, switch, hub..) et ses protocoles (tcp, ip, smtp..).

Le chapitre trois présente le cadre général de notre travail. dans cette partie nous allons donner une description détaillée du concept de l'Internet physique, ses éléments clés. ainsi la différenciation par rapport aux concepts de la logistique et l'Internet numérique. plus nous allons donner un petit aperçu des travaux similaires dans le domaine qui reste minime vu la nouveauté du concept.

Le quatrième chapitre représente le cœur de notre travail qui est la proposition d'un protocole de transport, qui permet de mieux consolider les flux et ainsi d'améliorer les performances d'expédition de la marchandise. puis nous suggérons des cas critiques afin de juger les caractéristiques potentielles de notre protocole proposé. la dernière partie de ce chapitre résume les limites de notre protocole.

Finalisons ce document par une conclusion générale et de nouvelles perspectives de recherche dans le cadre de l'interconnexion des réseaux logistiques.

Chapitre 1

La logistique actuelle

*The line between disorder
and order lies in logistics.
Sun Tzu*

1.1 Introduction

Dans le monde industriel actuel qui s'avère très concurrentiel et très exigeant plusieurs entreprises tentent de proposer le meilleur produit et les meilleurs services de bonne qualité dans les plus brefs délais avec des prix compétitifs. Dans ce cadre, la majorité des entreprises adoptent la fonction de la logistique au sein de leurs entreprises qui permet d'organiser et de Contrôler les différentes étapes d'un produit depuis l'approvisionnement en matière première jusqu'à sa livraison au client final. Dans nos jours, il est primordial de maîtriser les atouts de la logistique afin d'assurer l'échange entre les différentes parties et répondre aux besoins des clients.

Dans ce chapitre, nous allons aborder les notions de la logistique en précisant ses fonctionnalités, ses composants et son employabilité. Et les défis que doit la logistique actuelle relevée, bien évidemment lorsqu'on évoque la notion de logistique, on fait appel aux chaines logistiques et réseaux de distribution qu'on détaillera par la suite.

1.2 Logistique

1.2.1 Historique

La logistique existe depuis la nuit des temps sauf qu'elle n'a pas connu les mêmes usages, elle a une origine militaire, elle est né lors des prévisions d'une bataille, pour mettre à disposition les moyens de transport, de ravitaillement et de logement de troupes, Alexandre la grand fus le premier a expliqué que la guerre nécessite avant tout une préparation importante pour pouvoir mener campagne dans les meilleurs conditions envisageable. En effet une guerre se prépare de façon très rigoureuse et c'est cette dernière qui peut déterminer l'issue d'une bataille.[10]

1.2.2 Définitions

Définition 1

L'ASLOG¹ le domaine de la logistique recouvre toutes les actions de planification, de mise en œuvre et de contrôle qui concernent l'ensemble des flux physiques de marchandises et des flux d'informations qui s'y rapportent.[3]

Définition 2

Le CSCMP² définit la logistique étant la partie de processus de la supply chain qui planifie, met en œuvre et contrôle l'efficacité et le bon fonctionnement des flux et stockage de produits, et des informations qui leur sont liées depuis le point d'origine du produit jusqu'à son point de consommation en vue d'une satisfaction complète et maîtrisée des besoins des client.[5]

1. association française de la supply chain et la logistique
2. council of supply chain management professionals

Définition 3

En 1996, D. TIXIER, H. MATHE, et J. colin ont proposé une définition complémentaire en ajoutant que la logistique agit en interne et en externe, en aval et en amont.[3]

1.2.3 Les objectifs

La logistique est l'outil qui gère tous ce qui concerne le transport et le stockage des produits finis, les encours, ou les produits qui servent de matières premières pour l'entreprise, en effet elle optimise la circulation entre les entrepôts, les fournisseurs et les détaillant ainsi la manutention, elle gère aussi le compromis entre les couts et les délais.

L'objectif primordial de la logistique dans l'entreprise est d'assurer la coordination des produits en circulation pour diminuer les délais (circulation en continue) de livraison et diminuer les couts (regroupement des produits) notamment les couts d'approvisionnement, les couts de production, les couts de stockage et les couts d'acheminement, et tous cela se fait grâce aux systèmes d'informations, qui doivent être claires, précis, instantanés et identique pour chaque fonction dans l'entreprise. La gestion de la chaine logistique évite la rupture (qui cause à son tour une augmentation de délais de livraison et parfois la perte de clientèle) en stock ou le sur-stockage (qui cause une insuffisance de surface), et les deux cas endommagent l'économie de l'entreprise.

Elle peut présenter un avantage concurrentiel car elle agit sur le court terme (optimiser les flux quotidiens physiques) ainsi le moyen et le long terme (l'allocation des ressources de production ou de stockage).

1.3 La chaine logistique

1.3.1 Définition

Définition 1

La supply chain ou la chaine logistique c'est un système d'organisation, des ressources humaines, d'activités, et des ressources impliquées dans le déplacement d'un produit ou d'un service d'un fournisseur à un consommateur, les activités de la chaine logistique comprennent la transformation des matières premières, des matériaux bruts , et composantes à un produit fini qui est expédié au client final.[9]

Définition 2

Le CSCMP explique le concept de la Supply Chain par le management de la logistique correspond à une partie de la gestion de la chaîne d'approvisionnement qui prévoit, met en place et le contrôle les flux amont et aval de façon efficace et efficiente, le stockage, les services ainsi que les informations échangées entre les

acteurs de la chaîne de leur point de départ et jusqu'au lieu de consommation, pour satisfaire les exigences des clients.[5]

1.4 Les éléments de la chaîne logistique

Le réseau logistique d'une entreprise comprend toutes les installations d'approvisionnement, de production, de distribution et de vente. Telle qu'il est représenté par La figure 1.1

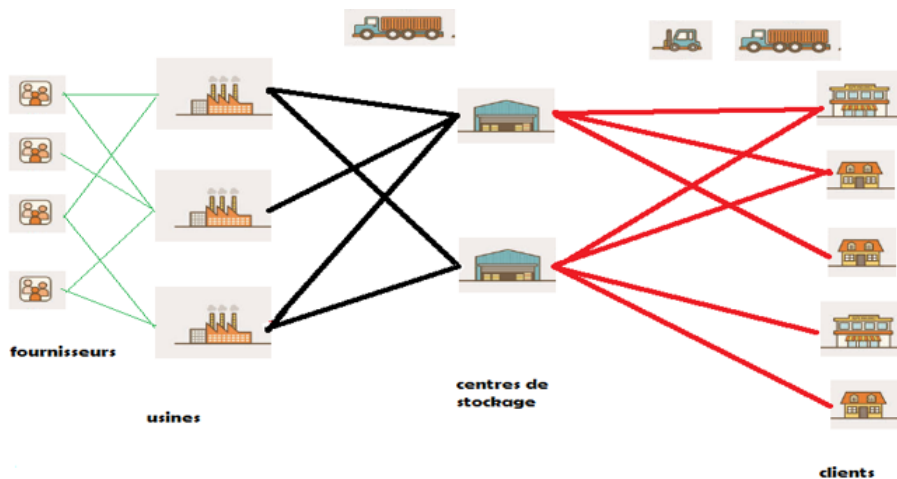


FIGURE 1.1 – chaîne logistique

1.4.1 Sources d'approvisionnement

C'est les fournisseurs des matières premières, des produits semi finis et des produits d'emballage ou n'importe quel produit nécessaire pour la production d'un article dans l'entreprise et dont elle est n'est pas apte à le faire de manière autonome.

1.4.2 Les usines

C'est la partie la plus importante dans une entreprise car c'est à ce niveau-là qui s'effectue fait la transformation de la matière en produit semi fini ou produit fini prêt à la consommation en utilisant des ressources matérielles telle que les machines, les moyens de manutention, et des moyens humains. C'est la partie où le produit subit une valeur ajoutée avant d'être eux zones d'emballage et de stockage.

1.4.3 Les entrepôts

C'est des endroits appropriés pour le stockage des produits prêt à la vente et la livraison. Cette partie sert d'intermédiaire entre les unités de production et les clients finaux. Dans ce cas, on peut distinguer deux configurations différentes, des

entrepôts centralisés ou des entrepôts décentralisés.

Dans le cas de l'entrepôt centralisé, la marchandise se livre directement aux détaillants tandis que dans l'entrepôt décentralisé la livraison de la marchandise s'effectue pas des plateformes (entrepôts) intermédiaires qui alimentent les grossistes et les revendeurs.

Il y a des cas où la livraison se fait directement depuis l'usine vers le client, donc le coût de stockage n'est pas calculé dans cette situation.

1.4.4 Segment produits/marché

Le client qui est l'utilisateur (consommateur) du produit fini. Ce maillon représente l'élément final de la chaîne logistique.

1.5 Décomposition de la chaîne logistique

La succession des maillons dans une chaîne logistique peut être séparée en deux axes, le premier comporte les fournisseurs, l'unité de production, et les systèmes de stockage définis par la partie en amont et un deuxième axe qui comporte l'entrepôt principale (qui se situe à l'entreprise), les centres de distribution (entrepôts intermédiaires) les détaillants et les clients finaux qui représente la partie aval de la chaîne. D'une manière générale, l'amont représente la partie transformation du produit et la partie aval assure la distribution de celui-ci. Schématisé par la figure 1.2 suivante :

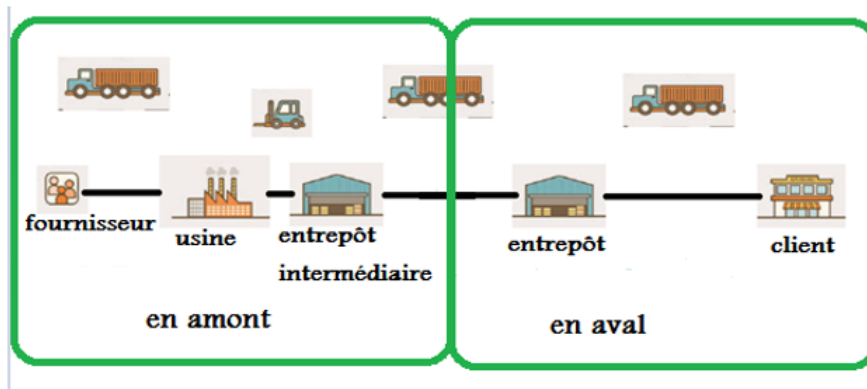


FIGURE 1.2 – décomposition de la chaîne logistique

1.5.1 Chaîne logistique en amont

En amont, c'est-à-dire toutes les phases ou tout processus mis en place avant d'être en situation actuelle qui est dans ce cas le produit final, Cette partie de la chaîne implique trois principales fonctions : l'approvisionnement, la production et

le stockage du produit fini dans l'entreprise. En plus de la manutention qui est une fonction tangible.

L'approvisionnement

C'est le fait d'amener ou d'acheter les matières premières ou les composants nécessaires à la production d'un produit fabriqué en entreprise. C'est le bloc qui exprime ses besoins sous formes de commande et assure la réception du flux matériel du fournisseur à l'entreprise.

La production

La production est un ensemble d'opération de transformation des inputs en outputs à l'aide des ressources matérielles (des machines), des ressources humaines (des employés), et des ressources énergétiques (électricité par exemple).

Stockage

Après l'obtention d'un produit fini, avant la distribution, il est stocké dans les aires de stockage (dépôts) dans l'entreprise.

La manutention

C'est le déplacement des produits à l'intérieur de l'entreprise (courte distance) à l'aide des transpalettes, des chariots, etc.

1.5.2 Chaîne logistique en aval

En aval, c'est-à-dire, toutes les phases qui suivront la situation actuelle, après avoir posé le produit fini dans les zones spécifique au stockage, une distribution est nécessaire, cette partie en aval comprend les réseaux de distribution, ou l'acheminement des produits finis au client final à l'aide des moyens de transport (longue distance).

Structure des réseaux de distribution

Un réseau de distribution contient le fournisseur (l'usine), le client (détaillant, grossiste ou client final) et centres d'entreposage (les entrepôts), Les réseaux de distribution peuvent être représentés en trois manière, un réseau de distribution linéaire, convergent ou divergent :

1. Configuration de distribution linéaire

La marchandise dans ce type de distribution est acheminée du fournisseur au client directement sans passer par des centres d'entreposage (comme le montre la figure 1.3), généralement un type de transport est utilisé dans ce cas. La gestion de ce réseau est simple, sa fonction principale est d'optimiser la distance entre les deux acteurs (fournisseur et client) ainsi que le cout de transport.

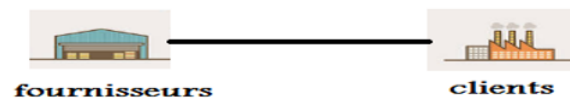


FIGURE 1.3 – chaîne logistique à distribution linéaire

2. Réseau de distribution divergent

En structure divergente, la marchandise ou les produits finis sont déplacés d'un fournisseur à plusieurs clients (voir figure 1.4), c'est le cas d'une usine vers les entrepôts ou d'un entrepôt vers les détaillants, plusieurs type de transports peuvent être utilisés, pour optimiser le cout de transport, donc la gestion de ce réseau implique aussi la gestion des moyens de transport.

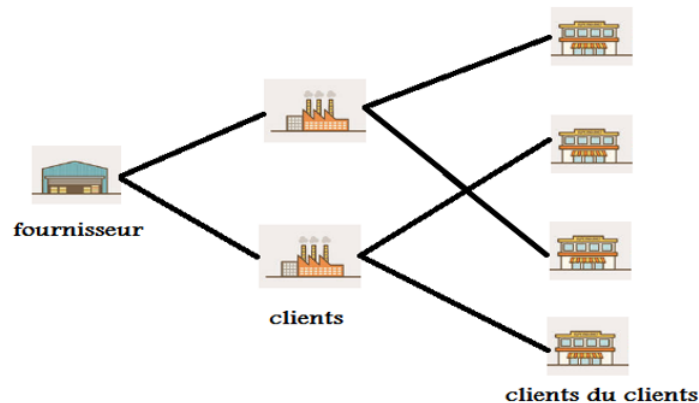


FIGURE 1.4 – chaîne logistique à ditribution divergente

3. Réseau de distribution convergent

Dans ce type de structure, le client reçoit sa demande en marchandise ou produits finis de plusieurs fournisseurs (comme le montre la figure 1.5), par exemple une usine de recyclage de plastique a plusieurs entreprises de sous-traitance en matière de collecte de plastique usé, notamment pour ce type de réseau, plusieurs types de transport peuvent être utilisés. La gestion du réseau de distribution en structure convergente remonte à gérer les moyens de transport, l'optimisation des distances à parcourir et les couts de transport.

Le transport

Le transport est le fait de déplacer un objet, des marchandises, des humains d'un endroit à un autre. En logistique, il est une activité réglementée au niveau national et international.

Le transport apparaît donc comme un maillon indispensable de la chaîne logistique qui assure la liaison entre les différents éléments du système logistique. Ce transport peut se faire suivant différents modes : Aérien, Maritime, terrestre, ferroviaire... Le choix d'un ou plusieurs modes est une problématique qui doit intégrer

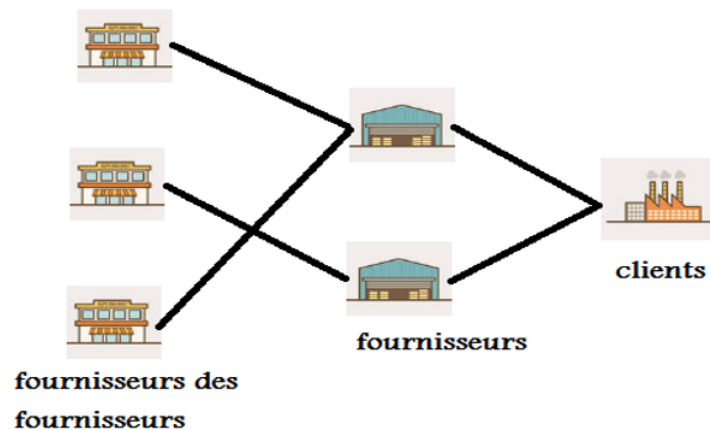


FIGURE 1.5 – chaîne logistique à distribution convergente

les caractéristiques du produit ou du service attendu et du parcours à réaliser. Et pour cela, on distingue deux formes de transport :

1. *transport multimodal*

Le transport multimodal (figure 1.6) est la combinaison d'au moins deux modes de transport au sein d'une même chaîne. Il n'intervient aucune rupture de charge de la marchandise. Seul le contenant (caisse mobile, semi-remorque) est transbordé d'un mode de transport à l'autre. La plus grande partie du trajet doit s'accomplir par voie ferrée, navigable ou maritime. Le trajet par la route étant le plus court possible.

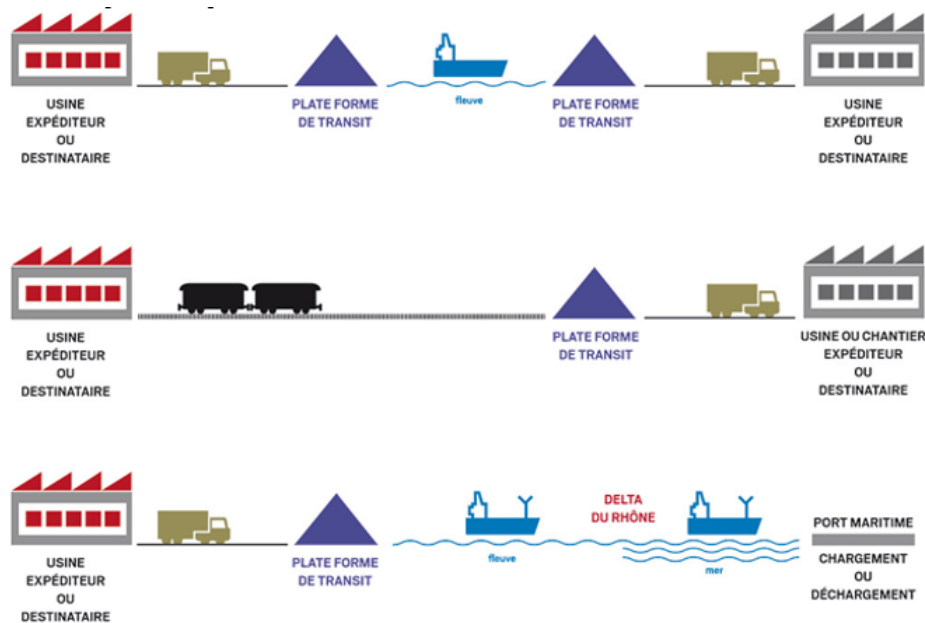


FIGURE 1.6 – le transport multimodal

— *Le transport aérien*

Le transport aérien est toujours considéré pour longtemps comme revêtant un rôle intrinsèquement stratégique. Le transport aérien est un moyen qui favorise le commerce à l'échelle nationale comme à l'échelle internationale. Il est rapide et sécurisé mais le coût du fret est élevé par rapport à une capacité limitée en sachant que certains produits sont interdits.

— *Le transport maritime*

La croissance des échanges commerciaux dans le monde a été facilitée par les possibilités de massification offerte par le transport maritime. C'est un moyen de transport adapté aux matières pondéreuses transportées sur de longues distances par de gros navires.

Le transport maritime offre des avantages de sûreté, de moindre pollution et de fiabilité. En fait, il a le niveau d'insécurité le plus faible par rapport aux autres modes de transport au regard des accidents aux personnes et il offre des garanties de sûreté maximale pour les chargements et déchargements des marchandises.

La composition de la flotte maritime mondiale reflète les exigences des échanges maritimes de divers produits de base, notamment des vrac secs et liquides et des produits manufacturés. En raison de la conteneurisation croissante des produits manufacturés, la part de la flotte de porte-conteneurs dans la flotte mondiale est passée de 1,6% en 1980 à plus de 13% en 2011. Cette progression s'est faite au détriment des navires de charge classiques, dont la part dans la flotte mondiale a été ramenée de 17% à 7,8% au cours de la même période[15].

Le trafic maritime mondial a continué d'être dominé par les matières premières, pour ses frets avantageux par rapport à une quantité élevée et son aptitude à livrer dans le monde entier mais il est long et la marchandise en port est en insécurité en plus d'encombrement de la zone portuaire.

— *Le transport ferroviaire*

Dans le secteur du transport international de marchandises, les volumes transportés par route et par rail sont encore très faibles par rapport aux volumes acheminés par mer, en particulier lorsqu'il s'agit de déplacer des produits entre deux régions économiquement différentes. Malgré ses frets avantageux, la sécurité qu'il offre et son aptitude à transporter des tonnages et des volumes importants, le transport ferroviaire a un réseau limité comme il est inadapté aux courtes distances avec l'obligation de remplir tous les wagons.

— *Le transport routier*

Le transport routier est une activité essentielle et multiforme dont la souplesse inimitable, le faible coût de revient, la capacité d'adaptation sont indispensables à l'économie. Le transport routier assure une livraison point à point en un délai relativement court mais le risque d'accident est élevé et il est inapte pour les longues distances.

2. *Le transport multi-moyens*

Contrairement au transport multimodal, le transport multi moyens est l'utilisation de plusieurs types de moyen de transport en même mode, par exemple l'utilisation des camions, des camionnettes et voitures pour le transport d'un produit fini d'un endroit à un autre via la voie routière. En transport multi moyen une rupture de charge est possible, et il est souvent le cas dans le transport routier.

1.6 Les flux de la logistique

La chaîne logistique ne repose pas sur une conception fragmentée mais une conception inter-fonctionnelle, elle coordonne entre les différents services de l'entreprise et pour cela les ressources de nature matérielle, financière et informationnelle (figure 1.7) sont prises en considération, et sur ce, on distingue :

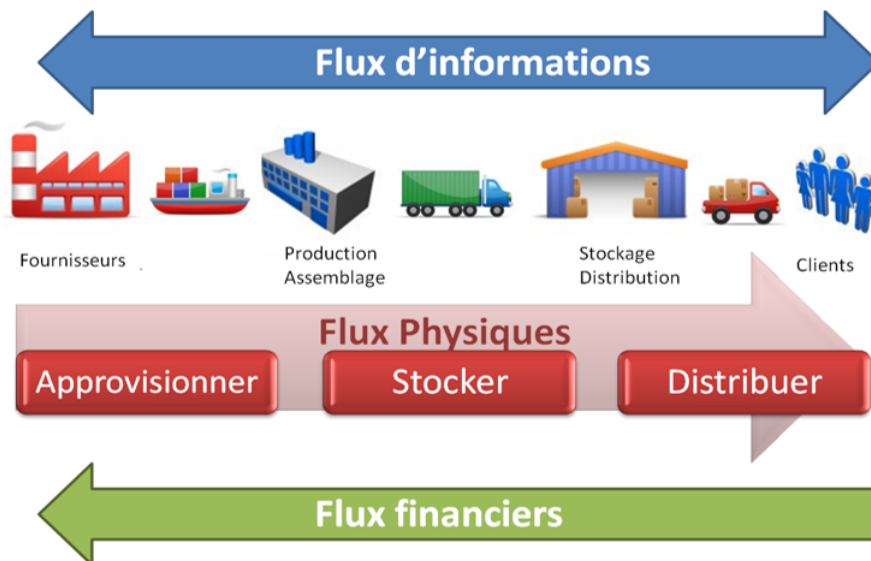


FIGURE 1.7 – flux de la chaîne logistique

1. *Flux de matière*

C'est la circulation des matières premières, des consommables, des produits finis et les encours toute au long de la chaîne. Cette circulation est du fournisseur au client.

2. *Flux financier*

L'entreprise est financée par la vente de ce qu'elle produit, le flux financier est le flux de revenu, depuis le client jusqu'à l'entreprise.

3. *Flux informationnel*

L'information est l'élément essentiel dans n'importe quel organisation, entre le système de pilotage et le système d'exécution il faut qu'il ait un bon système d'information pour assurer la réussite du plan stratégique, tactique ou opérationnel, l'information doit être bidirectionnelle entre n'importe quel deux éléments de la chaîne logistique.

— Flux de matière

En effet, à partir de la manière d'approvisionner on distingue d'autres formes de flux, cette classification est globale, et elle considère la chaîne logistique du fournisseur jusqu'au client :

1. *Flux poussé*

Un flux est dit poussé lorsqu'un ordre de fabrication est lancé selon la disponibilité des matières premières ou consommable en amont (dans le stock de l'entreprise), les produits fabriqués sont stockés en attente d'une demande de livraison.

2. *Flux tiré*

Un flux est dit tiré lorsque l'ordre de fabrication est lancé après avoir reçu une demande d'un client, ce flux élimine le stock dans la chaîne. Cette politique repose sur la théorie du juste-à-temps et zéro stock.

3. *Flux tendu*

C'est un flux hybride des deux flux précédents, l'ordre de fabrication n'est lancé qu'à après avoir reçu une demande client, mais dans la chaîne, un stock de sécurité des produits finis ou des encours est toujours disponible, autrement dit, l'entreprise réserve toujours un stock de sécurité.

4. *Flux synchrone*

Un flux est dit synchrone, si l'approvisionnement des matières premières ou consommables se fait selon leur ordre d'entrée dans le processus de fabrication, cette méthode ou ce flux permet de diminuer le stock et les coûts qui y sont liés. Par exemple l'approvisionnement des cartons d'emballage ne se fait qu'après avoir obtenu des produits finis.

1.7 Les limites de la logistique actuelle

A travers le temps, la logistique a progressé, avec l'évolution et l'augmentation des besoins, avec des pas remarquables par rapport à un concept qui paraît simple et consiste à bouger un article d'un point à un autre, le manipuler, le regrouper avec d'autres, le séparer des autres ou le stocker, et ceci autant dans la chaîne de distribution, qu'au tant dans politiques de stockage et particulièrement dans le transport de marchandises. Le système logistique actuel permet d'échanger des flux de marchandises à travers le monde entier dans un court délai tout en garantissant une bonne qualité de service à des prix attractifs, cet avantage est plus touchable lors de

l'utilisation de l'e-commerce, en effet il s'agit de livrer fréquemment à des individus des colis de tailles variables en provenance des sites variables.

Ces progrès sont liés, d'une part, aux évolutions technologiques des moyens de transport (camion, navire porte-conteneur, avion, etc.) et ceux du conditionnement et de la manutention (palettes, conteneurs, chariot élévateur, portiques à conteneurs, etc.), et d'autre part, à des Progrès d'organisation. Mais ces performances cachent encore des inefficacités tout au long des chaînes logistiques et particulièrement dans le transport de marchandises. En effet, cette composante à plus d'importance aujourd'hui du fait de ses délais, du probable hausse du prix du pétrole, des taxes et des externalités négatives qui en résultent (CO₂, particules fines, ...)[14].

1.7.1 Symptômes de l'inefficience de la logistique actuelle

D'après ce qu'a présenté Professeur Benoit.M³ les symptômes de l'inefficience de la logistique actuelle sont :

— ***Emballage vide***

D'après les statistiques présentés par benoit. M (janvier 2011)[13] l'utilisation moyenne d'emballage est estimée à 56.8%, le volume attribué pour l'emballage est beaucoup plus grand que le produit lui-même, par exemple l'emballage utilisé pour les téléviseurs équivaut à peu près 2 fois l'épaisseur du téléviseur. Ceci conduit au gaspillage d'espace.

— ***Voyage à vide***

De manière générale la distribution actuelle opère en un mode commun pour la livraison et la distribution, le transport récupère la marchandise du point de départ (dépôt, unité de production) pour arriver à une destination finale (clients) puis il retourne majoritairement à vide à son point d'origine, dans certains cas il fait de longs détours pour trouver des chargements de retour.

— ***Situation des transporteurs***

En générale, Les travailleurs logistiques (transporteur et manutentionnaires) qui sont souvent sur la route sont confrontés à plusieurs risques précaire notamment les risques d'accidents de routes, perte de marchandises en cas de vol ou d'agression, ou même les risques de tomber en panne dans des endroits isolés.

— ***Mal gestion de disponibilité de produit et frais supplémentaires par produits stockés***

Pour optimiser la fonction de transport, les gestionnaires de celui-ci préfèrent approvisionner en grande quantité, ceci-dit, cet approvisionnement massif peut engendrer des couts supplémentaires et dans le cas d'absence de produits, les temps de réponse aux utilisateurs locaux sont contraignants et risqués.

3. Benoit Montreuil : professeur dans Université Laval, Québec, Canada

- ***Mal utilisation des centres de production et d'entreposage***
Des grandes installations (productives ou logistiques) sont souvent sous-utilisées à cause de la faible demande dans certaines régions et qui entraînent une multitude de voyages inutiles alors qu'il fallait les installer des plateformes dans des zones stratégiques pour desservir le maximum des clients.
- ***Les produits n'arrivent pas chez ceux qui en ont vraiment besoin***
C'est le cas dans les pays sous-développés (par exemple manque de ressources matérielles pour alimenter les régions souffrant de la famine) ou les zones exposés aux catastrophes naturelles (comme lors d'un tsunami)
- ***Déplacement inutile***
La fabrication ou l'assemblage de certains produits auraient été bénéfiques s'il se faisait plus près de leur lieu d'utilisation au lieu de parcourir des longues distances sans aucun intérêt.
- ***La non-utilisation du transport intermodal***
Même si le transport intermodal est très efficace en termes de coûts et des délais, par exemple, dans les cas d'acheminer la marchandise depuis les ports jusqu'à point final, il reste moins utilisé parce que les interfaces sont mal conçues.
- ***La congestion dans les villes***
Contrairement aux zones industrielles, les villes ne sont ni conçues ni équipées d'infrastructure facilitant le transport, la manutention et l'entreposage de marchandises.
- ***Insécurité et fragilité des réseaux logistiques***
Certains réseaux logistiques sont fragiles faces aux actes humains de vol ou d'agression ou par manque de précaution par exemple le déclenchement d'incendie. Il y a extrême concentration d'opérations dans un nombre restreint d'installations de production et de distribution centralisées, avec mouvements le long d'un espace étroit de routes à fort trafic Cela rend les chaînes d'approvisionnement et les réseaux logistiques de plusieurs entreprises non sécurisées contre les actes de vol et de terrorisme, et fragiles face aux catastrophes naturelles et aux crises de demande.
- ***L'automatisation et les technologies intelligentes sont difficiles à justifier***
Les véhicules, les systèmes de manutentions et les installations opérationnelles doivent s'adapter à une grande variété de matériaux, de formes et de charges unitaires.
- ***Manque de normes et de protocoles***
Le manque de normes et de protocoles génériques, de transparence, de modularité et d'une infrastructure systémique ouverte est un criant goulot d'étranglement

de l'innovation.

1.7.2 L'impact de l'insoutenabilité de la logistique actuelle

D'après les symptômes présentés dans le paragraphe précédent, l'inefficience de la logistique actuelle influence trois grands axes dont le plus grand impact réside sur le plan environnemental :

— *Économique*

Le PIB⁴ est un indicateur économique reflétant la richesse d'un pays, en effet c'est le cumul d'exportations de celui-ci, plus les entreprises produisent et vendent plus le PIB est important, quoique le fardeau logistique représente lui seul de 5 à 15% du PIB et il croît plus vite que le commerce mondial[12].

— *Social*

L'accessibilité et la mobilité des biens physique reste un point critique car elle n'est pas assez rapide ou fiable ni abordable dans certaines régions et donc un manque de besoins pour certaines populations à travers le monde. En outre, les conditions de travaux en domaine logistique sont souvent précaires en exposant les transporteurs ou les manutentionnaires à des situations dangereuse.

— *Environnemental*

Malgré les progrès réalisés en matière d'efficacité énergétique et l'amélioration continue des moyens de transport, la logistique actuelle reste mal exploitée puisque dans la plus part des cas le transport revient à son point d'origine vide, Les produits se déplacent inutilement, les systèmes de stockages sont plus souvent sous-utilisés ou mal utilisés, L'utilisation des moyens de transport elle-même n'est pas satisfaisante ainsi que les services logistiques induisent une nette croissance des émissions de CO₂, c'est pourquoi les lois de protection d'environnement poussent cette dernière à restructurer ses élément et ses méthodes de fonctionnement, en autre terme elle est obligé à s'adapter aux nouveaux contraintes, majoritairement la contrainte d'hausse des émissions de CO₂.

Pour illustrer ces propos, analysons l'historique des émissions en CO₂ dues au transport de marchandises. Par exemple Le transport routier représente à lui seul 25%, au niveau mondial[14]. La courbe suivante (figure 1.8) [1] nous montre l'augmentation des émissions de CO₂ à l'échelle mondiale attribuable au transport indépendamment du type de transport ou le secteur de son utilisation.

4. Produit Intérieur Brut

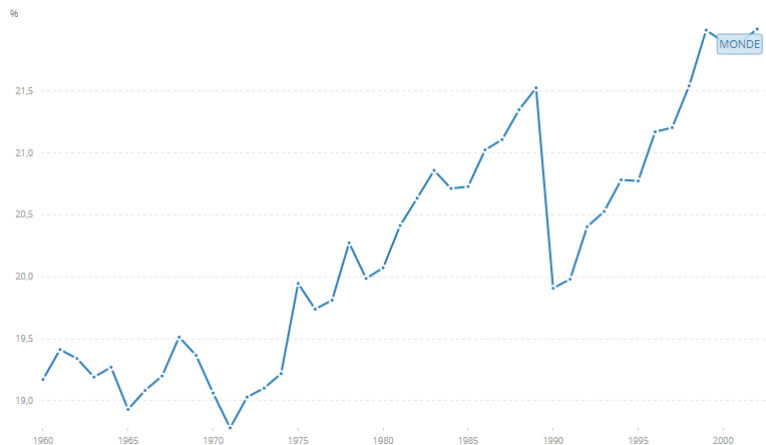


FIGURE 1.8 – l’augmentation des émissions en CO2

Le Forum International des Transports affirme qu’à l’horizon de 2050 les émissions de CO2 du au transport de marchandises doubleront.

Dont La part du transport routier dans les émissions de CO2 devrait passer d’environ 50% à 56 % au cours de cette période. En effet, le fret international revêt un caractère intermodal aux points d’origine et de destination (entre les ports et les lieux de consommation), où les marchandises sont généralement acheminées par camions. Le fret intérieur associé aux échanges internationaux représente environ 10% du trafic de fret mondial mais 30% des émissions de CO2 correspondantes. Dans ce cadre La question environnementale semble être au centre des problématiques futures.

De ce fait, il apparaît comme nécessaire de développer un système logistique plus efficient, capable de répondre à l’augmentation prévue des flux transportés, d’optimiser les ressources et ainsi la réduction des émissions en CO2. Donc quel sera le nouveau système qui sert à l’amélioration les performances logistique actuel et qui répond aux attentes futures ?

Dans ce cadre un groupe de recherche international a décidé de réfléchir autrement, avec un objectif à la fois économique (permettre à tous les acteurs de la chaîne de faire des économies), environnemental (réduire la consommation d’énergie, les émissions de CO2 ainsi que le gaspillage de matières induites par la logistique) et social (augmenter la qualité de vie des travailleurs de la logistique et améliorer la distribution des produits). Les chercheurs ont décidé d’exploiter une métaphore pour proposer un écosystème logistique efficace.

Considérons deux entreprises ayant des usines, des entrepôts, et des clients, ces deux entreprises sont répandues dans la même région :

Pour la première entreprise (figure 1.9), Chaque usine doit livrer des produits à ses entrepôts et l’entrepôt à son tour livre à ses clients.

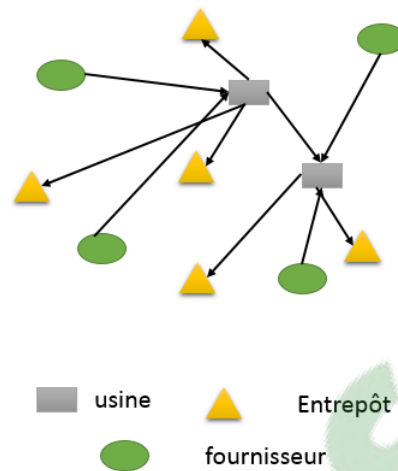


FIGURE 1.9 – réseau logistique de la première entreprise

La même chose se passe pour la deuxième entreprise, automatiquement, on aura deux réseaux logistiques qui ont la même structure (figure 1.10).

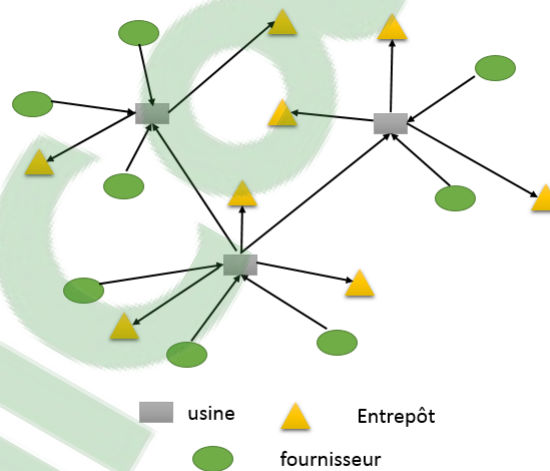


FIGURE 1.10 – réseau logistique de le deuxième entreprise

Souvent, suite aux exigences relatives aux délais de livraison, les camions ne sont remplis qu'à leurs moitié ou quart de leurs capacité de chargement Si on superpose les deux réseaux, on obtiendra un réseau dense (figure 1.11), chaque moyen de transport utilise pratiquement le même trajet que celui de l'autre entreprise, ce qui entraine double émission de CO2 et congestion.

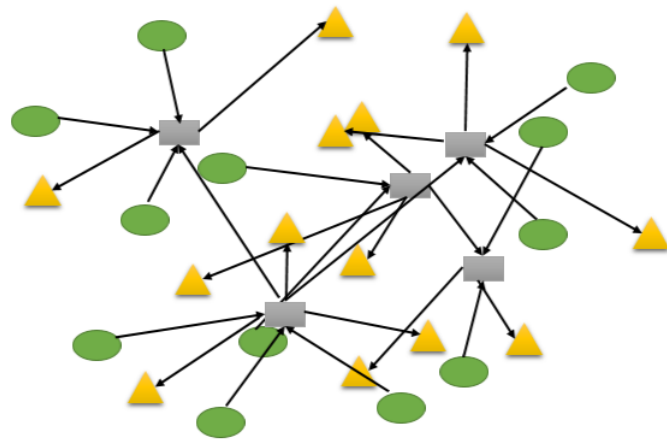


FIGURE 1.11 – superposition des deux réseaux logistique

Imaginons maintenant le cas pour toutes les entreprises existantes, et tous les réseaux logistiques existants, leur superposition donnera un réseau très dense comme l'illustre la figure 1.12 ci-dessous pour l'Algérie approximation.

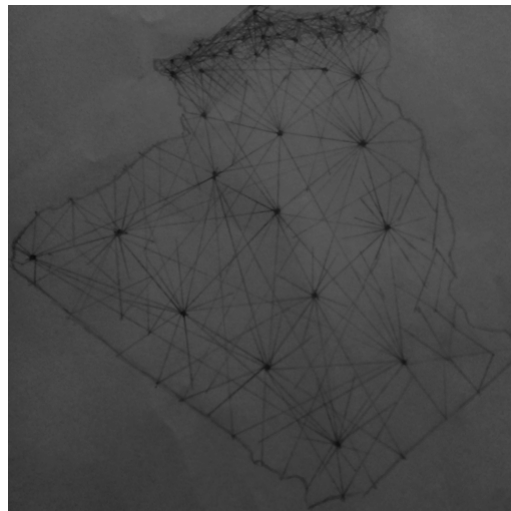


FIGURE 1.12 – la superposition approximative des chaines logistiques en Algérie

1.8 conclusion

D'après les limites de la logistique et leurs impacts dans les niveaux social, économique et environnementale, le problème qui se pose c'est comment restructurer les réseaux logistiques de manière à ce que tous les moyens de transport seront à 100% remplis en volume en en poids, en optimisant leurs nombre effectivement circulant et donc la minimisation des transporteurs, en bénéficiant de l'hétérogénéité

des modes de transport, et en incluant la mutualisation⁵.

Et pour cela, le système de fonctionnement d'Internet, malgré l'hétérogénéité qui existe, paraît performant car il permet d'envoyer différents types d'information de n'importe quel point du globe vers un autre, en utilisant un routage spécifique optimisé pour chaque occurrence d'envoi, comment tirer profit de cette notion ? Comment l'adopter ? Quelle serait la nouvelle structure en se basant sur Internet ? Mais avant de répondre à ces questions, il faut d'abord comprendre le fonctionnement de l'Internet digital ; l'objectif du chapitre suivant est d'éclaircir l'état de l'art de ce dernier.

5. c'est le fait de se partager le même moyen de transport par plusieurs utilisateurs

Chapitre 2

l'Internet digital

*We are all now connected by the
internet, like neurons in a giant brain.
Stephen Hawking*

2.1 introduction

Les limites de la logistique lui affectent négativement sur l'axe social, économique et surtout environnemental. De ce point de vu, l'Internet physique est le projet de l'ère dans le domaine logistique, il vise à interconnecter tous les réseaux logistiques mondiales, ses principes sont inspirés de l'Internet digital, vu que ceci permet un transport efficace de données entre des utilisateurs indépendants géographiquement à travers le globe, en plus, sur l'Internet digital il y a très peu de contraintes sur le point d'accès au réseau, l'utilisateur peut se connecter de n'importe quel point et peut envoyer vers n'importe quel point.

Vu ce succès indiscutable, les principes de l'Internet physique sont conçus pour simuler au comportement de celui du digital, cependant la manipulation est cette fois pour des biens physiques. Pour pouvoir introduire toutes les définitions relatives à l'Internet physique, il est judicieux de présenter dans un premier temps les définitions de base concernant l'Internet digital tout en appuyant sur l'insoutenableté environnementale qui a l'impact plus important.

2.2 L'état de l'art de l'Internet digital

2.2.1 origines

L'idée de création d'un réseau Internet revient à la période de la guerre froide lorsque le service militaire américain avait besoin de rester en contact via un réseau même si une maille de ce réseau se déconnecte, ou certaines liaisons se coupent.

2.2.2 définition

L'Internet est le réseau qui relie toute architecture industrielle distribuée, par des langages informatiques multiple et sert aussi d'un point de convergence des pratique intellectuelles et cognitives (activité économique, sociales, associative, politique, etc.). C'est un univers principalement informationnel, son centre est partout, car on ne privilège aucune position sur le réseau pour envelopper en représentation le spectre infini des variations actuelles[11].

De manière plus simple, Internet c'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 Internet grâce à un ensemble standardisé de protocoles de transfert de données, qui permet l'élaboration d'applications et de services variés comme le courrier électronique, la messagerie instantanée, le pair-à-pair et le World Wide Web. L'accès à Internet peut être obtenu grâce à un fournisseur d'accès à Internet via divers moyens de communication électronique : soit filaire (réseau téléphonique commuté (bas débit), ADSL, fibre optique, soit sans fil (WiMax, par satellite, 3G, 4G,...) (figure 2.1).

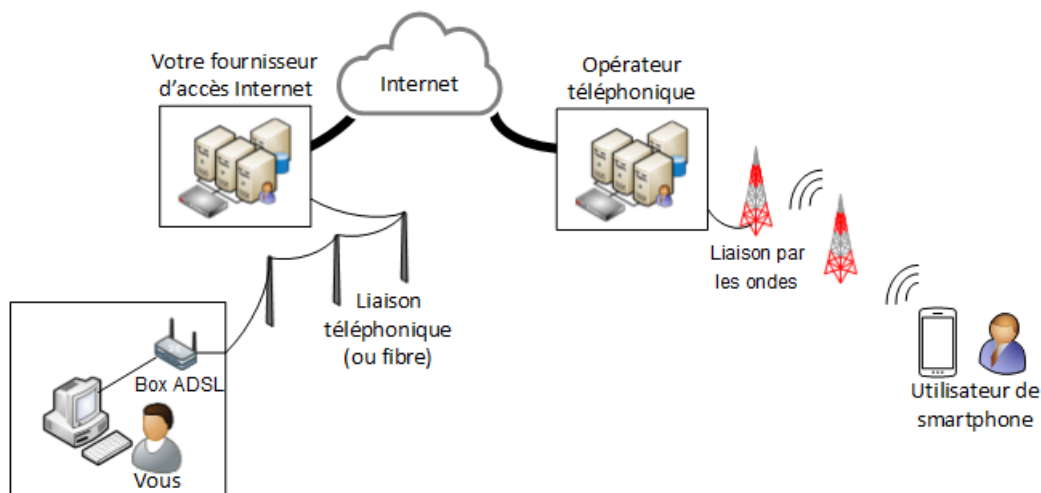


FIGURE 2.1 – connexion à Internet

2.3 Les principes de fonctionnement

L'Internet est l'ensemble de réseaux informatiques reliés les uns aux autres à travers des routeurs, ces routeurs permettent d'acheminer les données qui doivent être transmises à d'autres réseaux, qu'est-ce qu'un routeur ?

2.3.1 Le routeur

Un routeur est un équipement qui relie plusieurs réseaux locaux à travers un réseau de communication pour transmission de données, en effectuant et en conservant des fonctions de routage de l'information. Sur la figure 2.2 les cercles en bleu avec les quatre flèches symbolisent les routeurs. Et on voit clairement que se sont eux qui choisissent (optimisent) le meilleur chemin pour transmettre l'information.

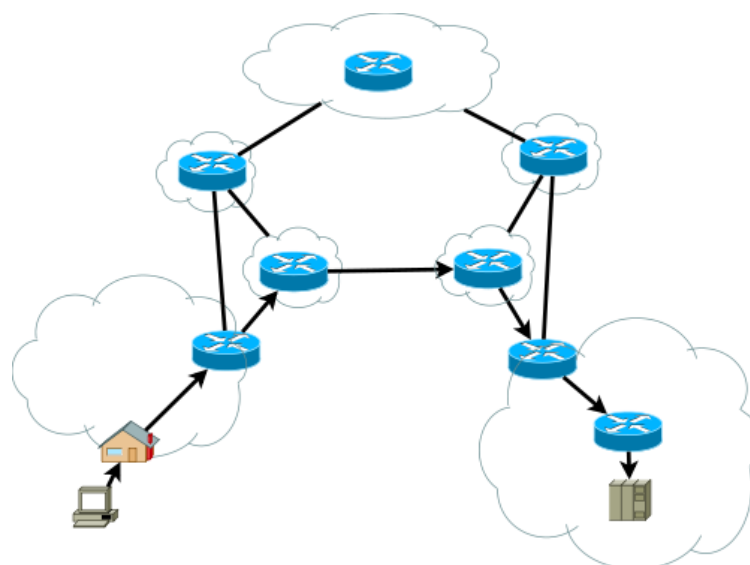


FIGURE 2.2 – optimisation des chemins sur Internet par les routeurs

2.3.2 Connexion à Internet

L'internaute (l'utilisateur d'Internet) se connecte au réseau par l'entremise d'un ordinateur, d'un modem et d'un logiciel de communication, son réseau téléphonique lui relie jusqu'au point d'accès ménagés par son fournisseur Internet, ce dernier loue des accès Internet aux particuliers ayant un abonnement, le routeur gère des zones d'Internet à l'échelle national ou internationale et vend ses services aux fournisseurs d'accès, institutionnels ou privés des réseaux à très grande vitesse acheminent les données d'un continent ou d'un pays à un autre, les supports du réseaux sont les serveurs dispersés à travers le territoire mondial, ils offrent aux internautes l'accès à toute sorte d'information.

2.3.3 Communication sur Internet

Lorsqu'un utilisateur se connecte à Internet, on lui attribue une adresse IP (détaillé par suite), cette adresse sera son identifiant sur la toile, les sites sur Internet ont aussi une adresse IP mais pour faciliter la recherche et le surf, un protocole DNS en mis en place, son rôle est de convertir les adresses littérales en adresse IP et les adresses IP en adresse littérales (l'utilisateur ne peut pas apprendre toutes les adresses des sites web existants). Comme le montre la figure 2.3.

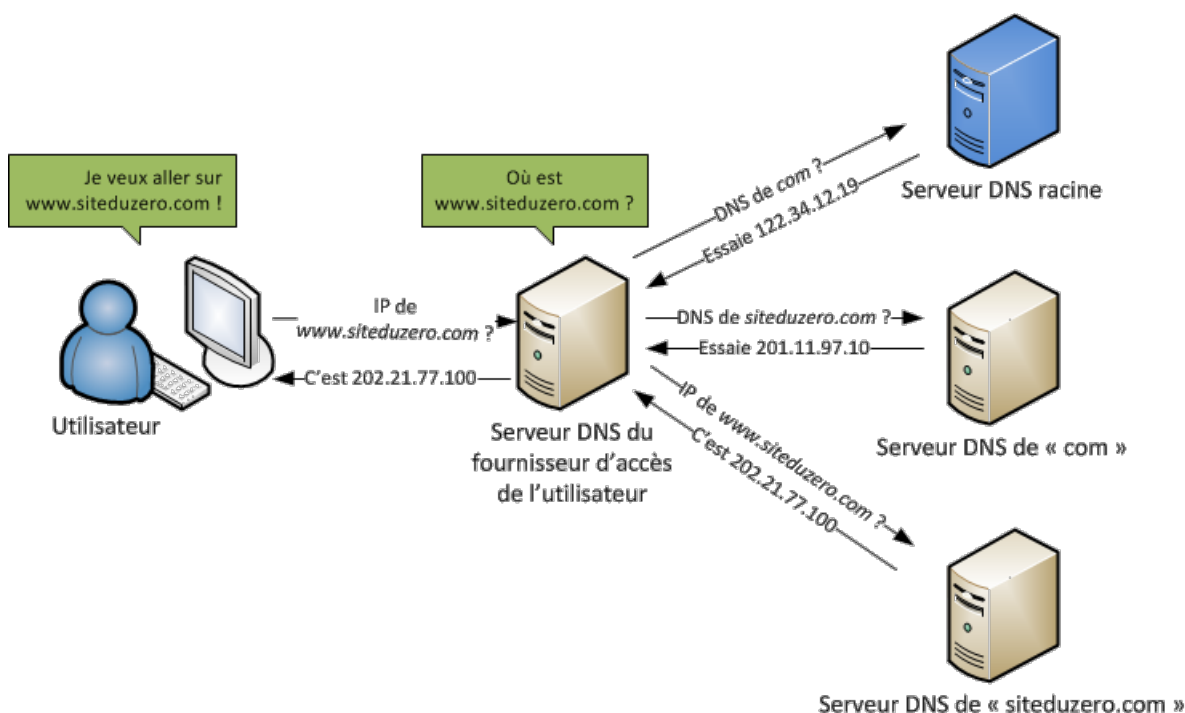


FIGURE 2.3 – l'identification sur Internet

Une fois l'utilisateur est connecté à Internet, Son poste de travail envoie la requête au routeur le plus proche, c'est-à-dire à la passerelle par défaut du réseau sur lequel il se trouve. Ce routeur va ainsi déterminer la prochaine machine à laquelle les données vont être acheminées de manière à ce que le chemin choisi soit le meilleur.

Il pourra envoyer et recevoir des informations de différents formats, ces informations suivent un routage spécifique défini par des protocoles, et ces grâce à ces protocoles que l'information arrive au destinataire même si un poste ou un serveur n'est pas connecté sur la toile.

2.3.4 Exemple

Lorsqu'un internaute A veut envoyer une image à un internaute B, A se connecte par modem au point d'accès le plus proche de chez lui, pour le temps de la connexion, il se voit attribuer une adresse IP, le fournisseur de A dispose deux points d'accès reliés à son serveur principale, lorsqu'A tape l'adresse URL de B, cette adresse sera convertis en adresse IP par un ordinateur spécifique appelé serveur de noms (DNS), et grâce au routeur et aux IPs qu'une connexion est établie entre A et B, et pour que B reçoive l'image de A, l'image sera découpé en petits paquets numérotés avant l'expédition, chaque paquet reçoit l'adresse IP de l'émetteur de du récepteur, lorsqu'un routeur reçoit un paquet, il renvoie un message de confirmation au routeur précédant et ainsi de suite, et quand la ligne est très saturée, et les paquets sont temporairement bloqués sur un routeur avant de pouvoir continuer leurs chemin, le serveur expédie les paquets suivants par un autre chemin, si les paquets parviennent dans le désordre, l'ordinateur de B les mémorise en attendant l'arrivée des paquets manquants, de temps en temps, les paquets se perdent, comme l'accusé de réception est incomplet, le routeur d'expédition renvoie le paquet manquant.

2.3.5 Codification de l'information

L'information est codée en binaire, pour qu'elle puisse circuler sur les câbles reliant chaque maille du réseau, parce que, Internet c'est aussi des 0 et des 1 qui existent sur les serveurs, les postes, les câbles, ou n'importe quel dispositif pouvant être utilisé sur la toile, donc l'information sera représentée en binaire une fois sur le routeur du destinataire, et puis elle se décodera en arrivant au destinataire, pour être affichée en forme voulue sur son interface (écran).

2.3.6 Switch et Hub

Un commutateur ou switch en anglais est un appareil qui permet l'interconnexion entre appareils communicants, machines, serveurs ou périphérique à un même réseau local, un switch construit une table d'adresse MAC pour garder une trace des différentes adresses matérielles et des ports associés à cette adresse alors que le hub est un commutateur sans table d'adresses, il envoie les trames à tous les ports connectés.

Supposons qu'il existe trois dispositifs connectés à un Switch. Appelons ces dispositifs DA, DB et DC. Maintenant, lors de l'allumage du Switch, si DA envoie un message à DB, le Switch se comportera comme un Hub et va envoyer le message à chaque port. Mais, il va aussi stocker l'adresse matérielle et le port correspondant dans sa table. Cela signifie que lorsqu'un autre dispositif enverra un paquet destiné

à DA, le Switch réagira intelligemment et va envoyer le paquet directement vers le port correct et non à tous les ports. Illustré en figure 2.4.

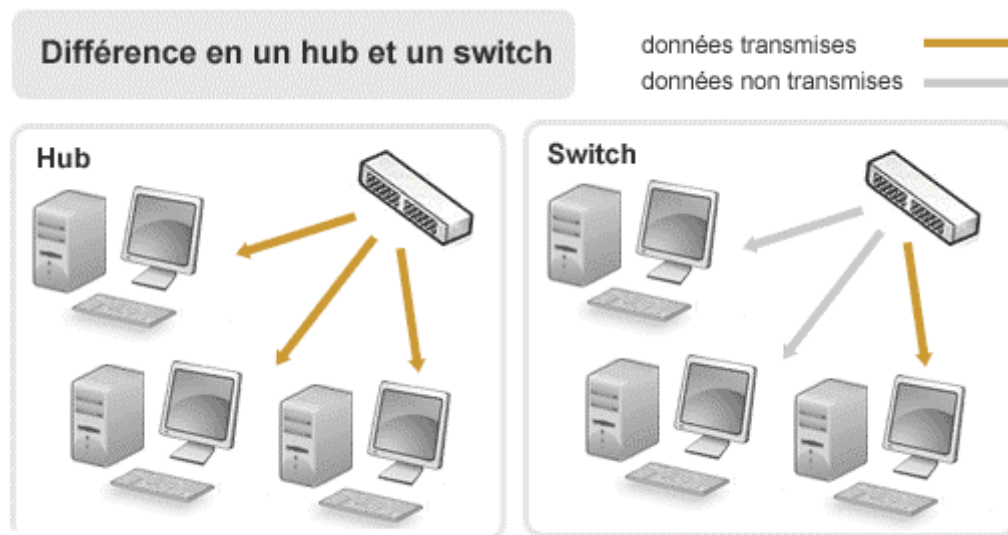


FIGURE 2.4 – la différence entre le hub et le switch

Les Switchs, contrairement aux Hubs, permettent le transfert de données en mode duplex pour chaque appareil connecté.

2.4 Le modèle OSI

Le modèle OSI acronyme de Open Source Interconnexion, né en 1984, est un standard de communication, en réseau, de tous les systèmes informatiques. C'est un modèle de communication entre ordinateurs proposé par l'ISO qui décrit les fonctionnalités nécessaires à la communication et l'organisation de ces fonction. Son objectif est de normaliser les communications pour garantir un maximum d'évolutivité et d'interopérabilité entre les ordinateurs.

Le modèle OSI est un modèle en couches, les couches sont des morceaux découpés, et chacune à un rôle défini et précis comme le montre la figure 2.5, il contient 7 couches, et donc l'ensemble de ces couches permet la communication entre ordinateurs.

Les couches (1, 2, 3,4) acheminent les informations entre les extrémités concernées et dépends du support physique, ils sont appelées les couches basses. Par ailleurs, les couches hautes (5, 6, 7) traitent les informations relative à la gestion des échanges entre système informatiques. Les couches de 1 à 3 interviennent entre machines voisines, et non entre les machines d'extrémités qui peuvent être séparés par les plusieurs routeurs. Les couches de 4 à 7 sont au contraire des couches qui n'interviennent qu'entre hôtes distants.

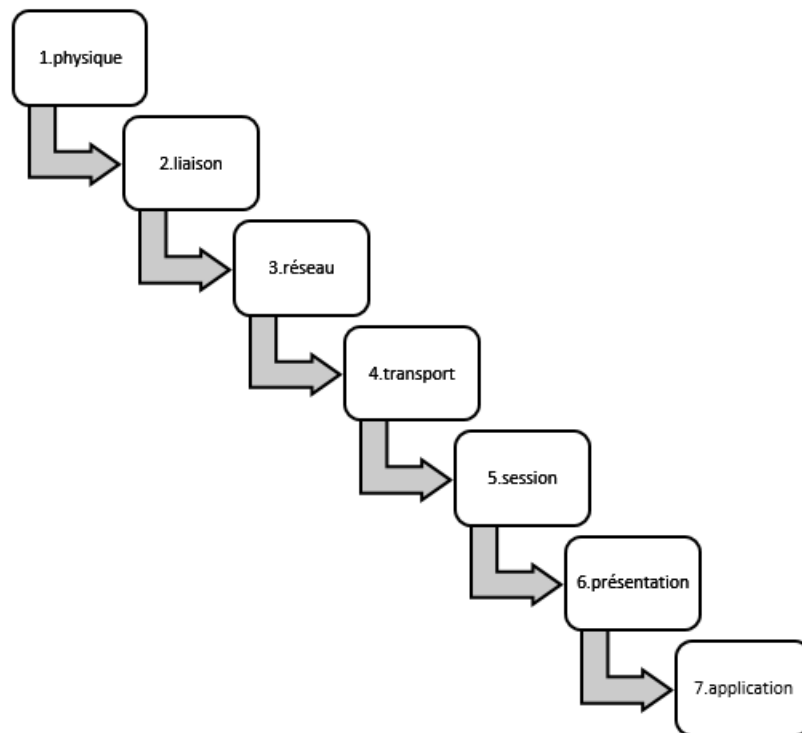


FIGURE 2.5 – les 7 couche du modèle OSI

2.4.1 La couche physique

C'est la couche de support physique, son rôle est de transmettre les informations sous forme de bits (0,1) par des fils de cuivre, la fibre optique ou les ondes hertziennes, il est directement connecté au hub ou concentrateur.

2.4.2 La couche liaison

C'est la couche qui connecte les machines entre elles sur un réseau local, connecté au switch ou commutateur, les données sont fractionnées en trames sur cette couches, la trame est composée de quelque centaines à quelque milliers d'octets maximum, la couche liaison transmet les trames en séquences et puisque les données sur la couche physique n'ont aucune signification (c'est des 0 et des 1) la couche liaison doit être capable de reconnaître les frontières des trames et les renvoyer en cas de problème sur la ligne de transmission, un autre rôle de cette couche est de détecter et corriger les erreurs.

2.4.3 La couche réseau

Le rôle principal de cette couche est l'interconnexion des réseaux, connecté au routeur, les données sont représentées par des paquets qui seront acheminés à travers tous le réseau et c'est la couche qui gère les routages.

2.4.4 La couche transport

La couche transport prend les messages de la couche session, les découpe en unités plus petite et les passe à la couche réseau, C'est elle qui est chargée de préparer les données à être transportées. Elle gère entre autres le contrôle de flux (en indiquant à la machine distante qu'elle doit ralentir ses émissions), la correction d'erreurs, la détection des pertes et des duplications, la récupération des informations correctes, pour offrir si nécessaire, un service fiable à la couche supérieure. La division des données des applications en segments de taille adaptée aux couches inférieures.

2.4.5 La couche session

Le rôle de la couche session est de fournir aux entités de présentation, les moyens nécessaires pour organiser et synchroniser leur dialogue. Pour arriver à ce but, la couche session doit fournir les services nécessaires à l'établissement d'une connexion, son maintien et sa libération, elle permet aussi d'insérer des points de reprise dans le flot de données de manière à pouvoir reprendre le dialogue après une panne.

2.4.6 La couche présentation

Cette couche peut convertir les données, les reformater, les crypter et les compresser, elle s'intéresse à la syntaxe et à la sémantique des données transmises.

2.4.7 La couche application

Cette couche est le point de contact entre l'utilisateur et le réseau, elle ne contient pas les applications (interface entre le réseau et les logiciels), mais des processus pour faciliter la communication entre les applications réparties comme le transfert de fichiers, transfert de messages, terminaux virtuels. Le tableau 2.1 ci-dessous résume le modèle OSI en expliquant brièvement la fonction de chaque couche et le type de donnée correspondant ainsi le dispositif adéquat.

	type de donnée	couche	fonction	appareil/ protocole
couche hautes	données	7.application	Point d'accès aux services réseaux.	
	données	6.présentation	Gérer le chiffrement et le déchiffrement des données, convertir les données machines en données exploitables par n'importe quelle autre machine.	
	données	5.session	Communication inter host, gérer les sessions entre les différentes applications.	
couche matérielle /basses	segments	4.transport	Connexion bout à bout, connectabilité et contrôle de flux, intervient la notion de port.	protocole TCP
	paquets	3.réseau	Déterminer le parcours des données et l'adressage logique (IP).	routeur
	trames	2.liaison	Adressage physique MAC.	switch, carte réseau..
	bits	1.physique	Transmission des signaux sous forme binaire.	câblage, hub..

TABLE 2.1 – les 7 couches du modèle OSI

2.5 Le modèle TCP/IP

C'est le modèle (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) qui représente l'ensemble des règles de communication sur Internet et se base sur la notion d'adressage IP, le modèle TCP/IP s'applique à n'importe quelle machine et il est indépendant du système d'exploitation, ce modèle est inspiré du modèle OSI mais il ne contient que quatre couches, chacune à une tâche précise, vu qu'il ne s'applique qu'au cas de machines distantes (OSI est valable pour tous type de réseaux) :

2.5.1 La couche accès réseau

Elle définit la formes sous laquelle les données vont être acheminées sans prenant en considération le type de réseau utilisé.

2.5.2 La couche Internet

Elle est chargée de fournir les données fragmentées en paquets numérotés autrement dit les datagrammes.

2.5.3 La couche transport

Elle achemine les données, et vérifie les mécanismes d'une transmission (détection d'erreur, correction, routage...).

2.5.4 La couche application

Elle englobe les applications standards du réseau (Telnet, SMTP, FTP...).

Le tableau 2.2 suivant résume la différence entre le modèle TCP/IP et ses protocoles et le modèle OSI :

niveau	modèle TCP/IP	modèle OSI	protocole TCP/IP
4	application	7.application 6.présentation 5.session	Telnet, SMTP, FTP...
3	Transport (TCP)	4.transport	TCP ou UDP
2	Internet (IP)	3.réseau	IP, ARP, RARP
1	accès réseau	2.liaison 1.physique	FTS, FDDI, PPP, Ethernet

TABLE 2.2 – ressemblance entre le modèle OSI et le modèle TCP/IP

2.6 Les protocoles basés sur le modèle OSI

2.6.1 Définition protocole

Un protocole est une méthode standard qui permet la communication entre des processus (s'exécutant éventuellement sur différentes machines), c'est-à-dire un ensemble de règles et de procédures à respecter pour émettre et recevoir des données sur un réseau[8].

2.6.2 Protocole TCP

TCP (Transmission Control Protocol ou protocole de contrôle de transmission) est un protocole important dans la couche transport du modèle TCP/IP, il permet de gérer les données venant (ou allant) de la couche inférieure (couche Internet), c'est un protocole orienté connexion ; il permet à deux machines de se communiquer et il contrôle la qualité et l'état de la transmission entre eux.

Les caractéristiques principales de ce protocole sont les suivantes :

- Aptitude de remettre en ordre les datagrammes en provenance de la couche Internet.
- Vérification en continue des flots de données pour éviter la saturation du réseau.
- Segmentation de longueur variables les données afin de les remettre à la couche Internet.

- Multiplexage des données sur la même ligne.
- L'initialisation et la fin d'une communication.

2.6.3 Protocole IP

IP (Internet Protocol) est un protocole appartenant à la couche Internet du modèle TCP/IP, il traite les datagrammes indépendamment les uns des autres en définissant leur représentation, leur routage et leur expédition en ajoutant les IP de destinataire et de destinateur en en-tête, comme il est un protocole d'adressage, c'est-à-dire c'est lui qui définissent l'adresse d'internaute sur la toile.

L'adresse IP contient quatre numéros allant de 0 jusqu'à 255 séparés par des points, par exemple : 36.8.251.1

2.6.4 Protocole HTTP

HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) permet la communication entre le client (envoi des ordres) et le serveur (réponds à ces ordres) notamment pour le chargement des pages WEB, le navigateur effectue une requête quant au serveur, il traite la requête et envoie une réponse au navigateur par exemple l'erreur 404 qu'on voit souvent est une réponse HTTP qui veut dire NOT FOUND : le serveur ne trouve pas l'adresse spécifiée.

2.6.5 Protocole FTP

FTP (File Transfer Protocol) est un protocole de transfert de fichier, il définit la façon selon laquelle les données seront transférées efficacement sur le réseau TCP/IP, il permet le partage de fichiers entre machines distantes ainsi l'indépendance aux systèmes de fichiers des machines clients et serveurs.

2.6.6 Protocole TelNet

Telnet (Télécommunication Network) est un protocole réseau utilisé sur Internet ou les réseaux locaux pour fournir une interaction bidirectionnelle entre les éléments connectés au réseau en utilisant un terminal virtuel de connexion, il s'appuie sur le protocole TCP et il appartient à la couche application du modèle OSI ou du modèle TCP/IP.

2.6.7 Protocole SMTP

SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) est un protocole qui permet l'envoi des e-mails des e-mails clients aux serveurs des mails, par exemple l'adresse e-mail d'un individu X : individu.x@yahoo.fr utilise le serveur Yahoo pour l'envoi de ses e-mails, si X veut envoyer un mail à Y qui utilise le serveur des e-mails Gmail ; un paquet est envoyé portant l'adresse du destinateur et du destinataire ainsi l'e-mail, Yahoo SMTP reçoit le paquet, prend l'adresse individu.y@gmail.com et la divise en

deux partie individu.y et gmail.com, il envoie le paquet au serveur SMTP Gmail, en arrivant à ce dernier, il faut que Y se connecte à sa boîte e-mail pour qu'il le récupère.

2.7 conclusion

L'Internet est le réseau mondial qui assure l'envoi de tous types d'informations entre les éléments connectés en se désintéressant de leurs localisations géographiques ou la distance qui leurs séparent, grâce aux routeurs et au switchs qui orientent et facilitent la circulation des paquets jointes d'en-têtes sur le réseau Internet, et aux protocoles qui déterminent la manière, la procédure et le chemin que doit l'information respecter, et tous cela se fait instantanément (un temps négligeable).

Dû à la mise en place des serveurs, l'information arrive au destinataire même si celui-ci n'est pas connecté au moment de l'envoi de l'information, notamment le cas des e-mails.

Ces caractéristiques ont inspiré les chercheurs à s'orienter vers une structure logistique basé sur le principe d'Internet digital et de créer un réseau semblable appelé Internet physique. Le chapitre suivant définit l'état d'art de cette métaphore de l'Internet digital.

Chapitre 3

L'Internet physique

*Physical Internet (PI) proposes to exploit
the Internet metaphor, proposing the
progressive deployment of a new
logistics system paradigm for a networked economy.
Eric Ballot*

3.1 Introduction

L'amélioration des chaînes ou des réseaux logistiques et plus particulièrement le transport de marchandises peut se faire à différents niveaux et pas uniquement d'un point de vue logistique.

Nous nous appliquerons donc à formuler de nouvelles organisations logistiques qui tenteront à remédier aux défaillances du système actuel de transport de marchandises, C'est dans ce contexte que L'Internet physique (ou Physical Internet – Pi) se propose d'assurer l'efficacité et la durabilité des systèmes logistiques basant sur l'Internet digital.

Fondamentalement l'Internet est l'interconnexion entre réseaux informatiques d'une manière transparente pour l'utilisateur qui permet la transmission des données sous forme de paquets aux formats standardisés (datagrammes) à travers des équipements hétérogènes respectant les protocoles TCP/IP.

Le même principe s'applique avec l'Internet physique qui permet d'interconnecter les réseaux logistiques comme l'Internet Digital a fait avec les réseaux informatiques, cette façon d'expédier les paquets de données ressemble fortement à l'expédition des marchandises vu que ceci présente des similitudes (le transport de données, utilisateurs indépendants géographiquement dispersés, très peu de contraintes sur le point d'accès au réseau).

les caractéristiques clés de cette nouvelle proposition repose notamment sur le fait d'encapsuler toutes les marchandises ou l'approvisionnement dans des conteneurs modulaires standardisés pour minimiser la perte d'espace et passer d'un système de transport point à point à un système de transport distribué intermodal en minimisant les déplacements, en effet les produits sont conditionnés dans des modes différents (palettes, conteneurs etc..) puis chargés dans des modes de transport (camion, train..) qui achemineront vers des réseaux logistiques.

Le concept de l'IP qui a été proposé par le chercheur canadien Benoit Montreuil, a été rapidement adopté à l'international grâce à ses avantages qu'il a apporté dans le sens environnemental, économique et social de façon efficace et durable, ce concept qui est encouragé de développement par un ensemble des chercheurs qui ont montré des résultats très intéressants en faveur de l'IP par exemple une étude sur le territoire européen montre que l'utilisation de cette proposition peut améliorer :

- le taux de remplissage des camions qui passe à 80 % (contre seulement 60 % en moyenne actuellement).
- la réduction des gaz à effet de serre est de l'ordre de 60 %.
- une diminution de 35 % des coûts sur les postes de transport, de manutention et de stockage [Ballot, 2014].

De ce fait, l'IP se présente comme une révolution dans la logistique actuelle en permettant l'interconnexion et l'ouverture des réseaux logistiques.

3.2 L'état de l'art de l'Internet physique

3.2.1 Définition

Noté π , Benoit Montreuil, R.D Meller et E.Ballot définissent l'Internet physique en 2011 comme suit l'Internet physique est un système logistique global construit à partir de l'interconnexion des réseaux logistiques par un ensemble standardisé de protocole de collaboration, de conteneurs modulaires et d'interfaces intelligentes pour une efficacité et une durabilité accrues[4].

D'après la définition, la nouvelle structure de la logistique consiste à passer d'un réseau propriétaire à un réseau ouvert et pour se faire, il faut mettre en œuvre des conteneurs de marchandises de taille plus petite de dimension modulaire afin d'éviter le gaspillage d'espace extérieur et de garantir un espace privé et sécurisé par la standardisation de règles (appelés protocoles) et de suivi au niveau de chaque conteneur pour avoir une meilleure traçabilité.

3.2.2 Les éléments de l'IP

L'Internet physique, une notion récente s'appuie sur l'Internet digital pour définir ses nouveaux éléments, étant la nouvelle structure de la logistique, il conserve quelques éléments originaux mais il les modifie.

Les pi-conteneurs

Le conteneur est une grosse boîte destinée à faciliter la manutention et le transport de toutes sortes de marchandises qui doivent voyager sur de longues distances, et qui ne sont ni en vrac comme le charbon ni liquides comme les hydrocarbures[2].

En revanche, Le pi-conteneur est l'unité d'échange dans l'Internet physique (figure 3.1), il est de taille plus petite, modulaire, standardisé (pour une meilleure adaptation dans les modes de transport), réutilisable ou recyclable et sécurisé, il est conçu pour faciliter les opérations de transfert, de manutention, de stockage et d'autres dans les pi-nœuds.

La pi-conteneurisation assure :

- La traçabilité et l'échange d'information qui sont deux points très importants dans le domaine logistique.
- La facilité du transport et de la manutention.
- L'amélioration de la distribution.
- La minimisation des espaces et de coûts.

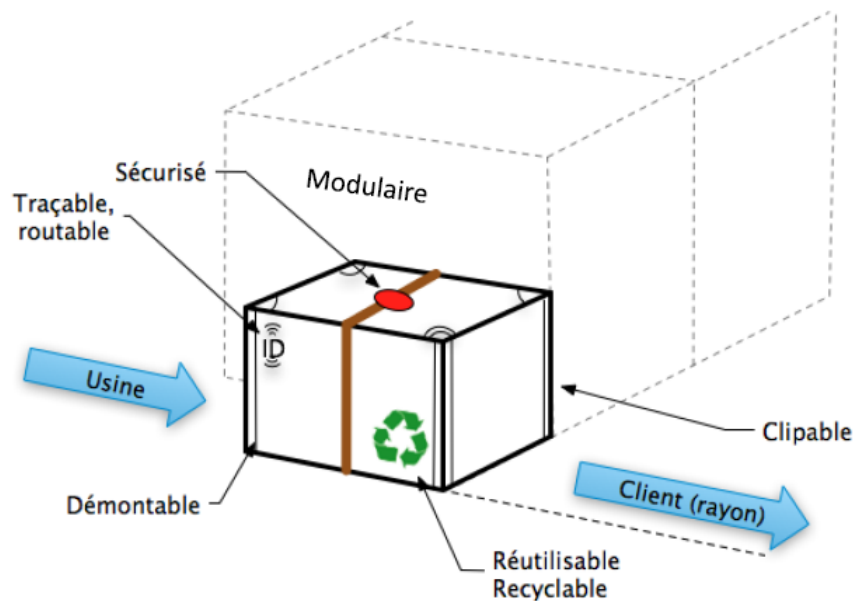


FIGURE 3.1 – le pi-conteneur

Les pi-nœuds

Les pi-nœuds sont, comme leur nom l'indique, les nœuds du réseau global, ils assurent les opérations effectués sur les conteneurs (les pi-conteneurs) comme le chargement et le déchargement, et ils assurent aussi leurs traçabilités.

1. *Les pi-transits*
C'est le nœud responsable d'exécution du transfert sécurisé, efficace et fiable du pi-porteur de leur pi-véhicule d'entrée vers les pi-véhicule de sortie.
2. *Les pi-commutateurs*
C'est le nœud qui permet le transfert de pi-conteneurs d'un transporteur entrant à un transporteur sortant utilisant le même mode de transport, exemple (camion-camion).
3. *Les pi-passerelles*
Ils assurent la même fonction que des pi-commutateurs sauf que dans les pi-passerelles les pi-conteneurs sont en provenance des deux modes de transport différents, exemple (train-camion).
4. *Les pi-composeurs*
C'est les nœuds responsables de composer un pi-conteneur composite à partir des pi-conteneurs unitaire, ou de décomposer un pi-conteneur composite en des pi-conteneurs unitaires ou des pi-conteneurs composites mais de taille plus réduite.
5. *Les pi-trieurs*

3.2. L'ÉTAT DE L'ART DE L'INTERNET PHYSIQUE

Un nœud permettant de recevoir des pi-conteneurs d'un ou de plusieurs points d'entrée et les trier en fonction de leurs points de sortie, en utilisant des pi-convoyeurs.

6. Les pi-magasins

Ils sont les lieux de stockage des pi-conteneurs pour des durées non déterminées.

Les pi-hubs

Les pi-hubs dans l'Internet physique adopte la fonction des routeurs de l'Internet digitale, et ils contiennent les pi-nœuds, c'est dans les pi-hubs qu'on charge/décharge, compose/décompose, trie les pi-conteneurs et ceux eux qui définissent aussi leurs routage.

Le pi-hub est un élément central dans l'Internet physique, il remplace le cross dock de la logistique actuelle; le cross dock est un système de transbordement, de dispatching et de transit rapide entre des flux de marchandises entrant vers des flux de marchandises sortant, la figure 3.2 montre l'utilité du cross dock dans l'opération de distribution. Cependant, il n'est pas fiable pour l'Internet physique.

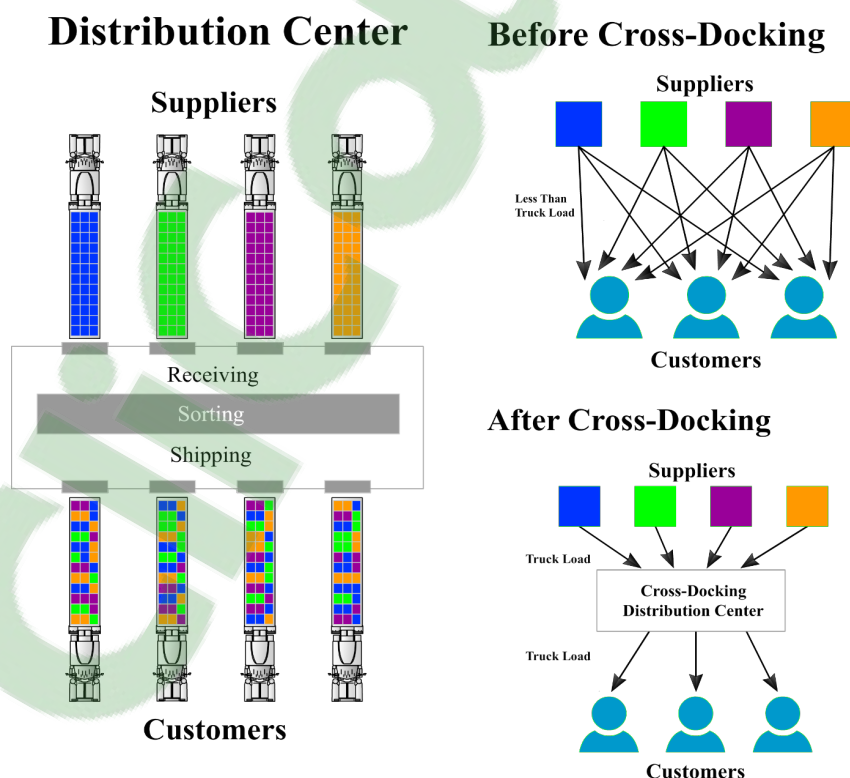


FIGURE 3.2 – le cross-dock

Il existe plusieurs points de différences entre le pi-hub et le cross dock, La différence majeure provient du principe de base d'ouverture /standardisation de l'Internet Physique. En effet, les cross docks classiques sont généralement restreints aux fournisseurs et/ou clients d'une entreprise spécifique et à ses partenaires/fournisseurs. Les pi-hubs sont eux destinés à être utilisés par toute une communauté d'utilisateurs accrédités (pi-certifiés) issus de différentes entreprises[16].

Puisque le pi-hub dans l'Internet physique est semblable au routeur dans l'Internet digital, il y a forcément des point de différenciation entre eux, notamment la notion d'encapsulation et de décapsulation, en effet les paquets des données sont encapsulés les uns dans les autres, partant d'une donnée à un datagramme à une trame, et ils subissent différentes opérations à chaque passage dans un routeur. Par superposition, la marchandise (données) est encapsulée sous forme des pi-conteneurs standardisés (datagrammes) emmenés dans des moyens de transport (trames), subissent les opérations des pi-nœuds (chargement, déchargement. . .) à chaque passage dans un pi-hub. Le tableau 3.1 [14] montre clairement la différence entre le pi-hub et le routeur.

fonction	routeur	pi-hub
réception	Détramage et tramage suivant les protocoles réseaux utilisés	Déchargement et ou décomposition de pi-conteneurs en entrée
routage	Acheminement suivant une table	Sélection de la prochaine destination
expédition	Mises en trame suivant le réseau sélectionné	Composition de pi-conteneurs et chargement sur moyen de transport

TABLE 3.1 – ressemblance entre le routeur et le pi-hub

3.3 Les pi-hubs et le transport multimodal

Dans les pi-hubs différents types de transport sont considérés, par exemple pi-hub-rail-route, pi-hub-rail-maritime etc. car l'un des principes de l'Internet physique est l'utilisation efficace de tous les moyens de transport en profitant de la mutualisation, un pi-hub multimodal utilise au moins deux type de moyen de transport, un type pour faire entrer les pi-conteneurs, à ce stade ils subissent principalement l'opération de déchargement et décomposition, et un autre type pour faire sortir les pi-conteneurs, à ce stade, ils subissent principalement l'opération de chargement et de composition.

Le transport ferroviaire présente des avantages concurrentiels par rapports aux autres modes, d'un point de vue économique ses frets ne sont pas chers ainsi d'un point de vue environnemental ses émissions en CO2 sont basse, l'Internet physique l'utilise pour construire les chemins principales, c'est pourquoi la forme la plus répandue des pi-hubs multimodal est le pi-hub-rail-route.

3.3.1 Pi-hub rail-route

Le pi -hub-rail-route vise à réaliser le transfert de pi-conteneurs entre les trains arrivant et les camions dans un minimum de temps. Il contient à la fois pi-hub-rail-route, pi-hub-route-rail, pi-hub-route-route, pi-hub-rail-rail, le train représente l'opportunité de réduire la congestion, les émissions comme il utilise l'énergie renouvelable, d'où la conception d'un pi-hub-rail-route est importante, il permet le transfert efficient et soutenable des pi-conteneurs d'un pi-train d'une ligne à un pi-train d'une autre ligne ou d'un et à un pi-camion, la figure 3.3 [6] montre le fonctionnement d'un pi-hub.

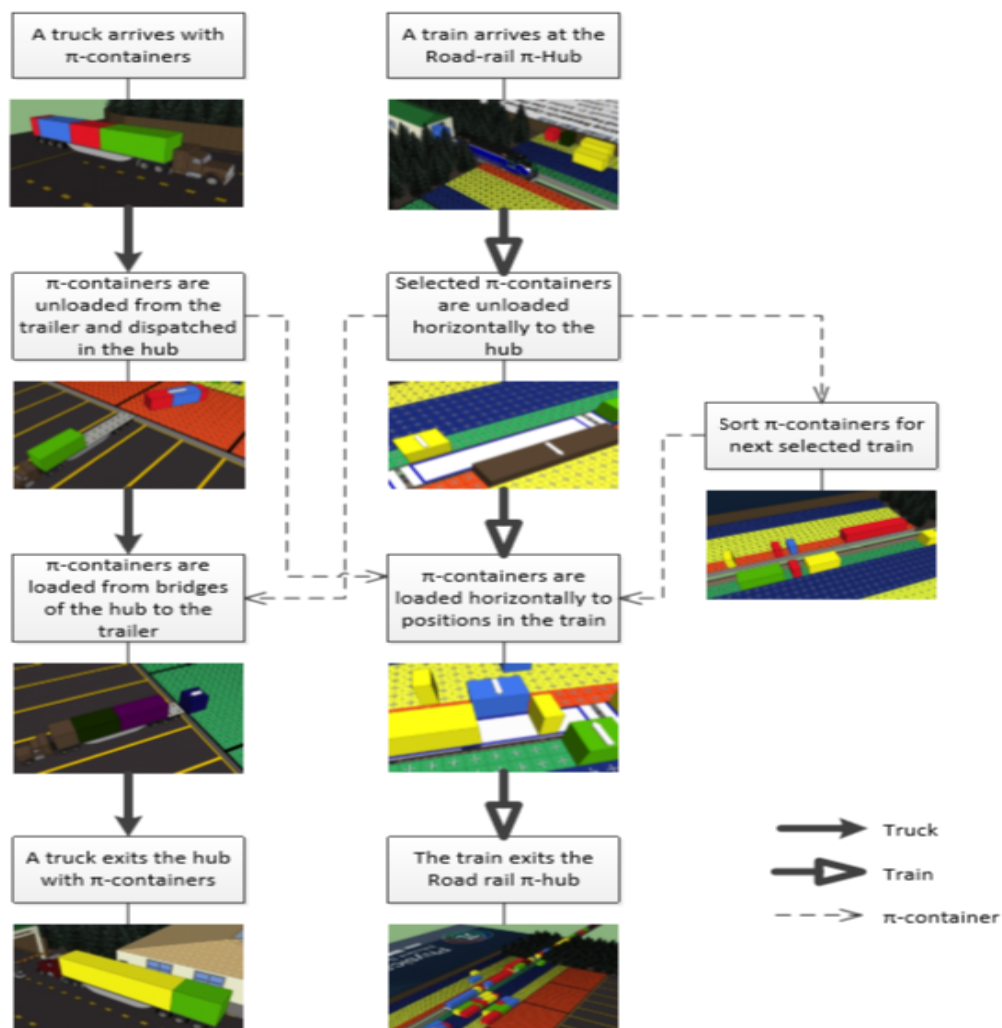


FIGURE 3.3 – le fonctionnement du pi-hub

Le pi-hub-rail-route se décompose en deux parties, une zone de trie et une zone de manœuvre, illustré dans la figure 3.4[16] La zone de trie, composée d'une matrice de pi-convoyeurs permet l'acheminement des pi-containers vers la zone de manœuvre en face des différentes portes où sont situés les camions. L'aire de manœuvre est équipée de moyens dédiés (exemples : stackers, gerbeurs) permettant de retourner les pi-containers et de les charger dans les camions.

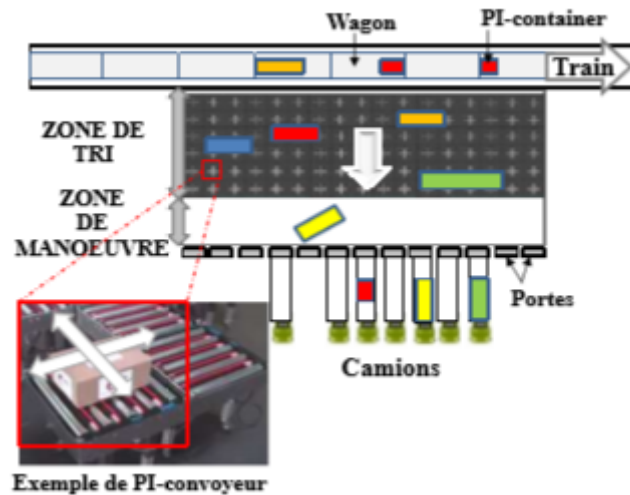


FIGURE 3.4 – les deux parties du pi-hub

3.4 les principes d'IP

D'après les fondateurs de l'IP (Éric ballot, benoit Montreuil, Rémy Glardon, Leon F. McGinnis), La proposition d'IP repose sur treize principes dont celles qui sont principes fondamentaux et d'autres qui sont des principes d'organisation :

3.4.1 Les principes fondamentaux

S'appuyant sur cinq principes qui guident la réalisation de l'IP :

Le principe d'instrumentalité

L'Internet physique est apparu comme un instrument ou un catalyseur qui permet de Concevoir un système pour stocker, manutentionner, entreposer, réaliser, fournir et utiliser des objets physiques dans le monde entier de façon efficace et soutenable.

Le principe de responsabilité

L'ensemble des exploitants et des utilisateurs de cette proposition doivent être conscient de leurs grandes responsabilités de s'engager leurs capacités et leurs perfor-

mances pour contribuer à l'amélioration durable de l'Internet physique en utilisant des méthodes et des infrastructures.

Le principe de cohérence

L'Internet physique est considéré comme un ensemble d'intégration des systèmes et des sous-systèmes qui interagissent entre eux, par exemple il doit englober un bien physique, des équipements, une installation, une entreprise etc.

Un système ouvert

L'Internet Physique est un système logistique global ouvert fondé sur l'interconnectivité physique, digitale et opérationnelle, c'est un système distribué car il permet une distribution ouvert et partagés aux Réseaux de transport.

Un système global

L'Internet physique est une vision globale et systémique, qui ne doit être pas pensé sur une région, ou un groupe d'entreprises mais elle touche toute la planète pour une amélioration durable.

3.4.2 Principes d'organisation

Pour guider l'ensemble des intervenants de l'IP en s'appuyant sur huit principes :

Principe d'interconnectivité

L'IP permet l'interconnexion de ses éléments que ça soit (les réseaux logistiques et l'ensemble des intervenants), elle permet aussi la mobilité et l'accessibilité des objets physique d'une façon efficace et durable.

Principe d'uniformité

Afin de faciliter la manière d'utilisation de cette proposition, l'IP est caractérisé par le principe d'uniformité de ses éléments, par exemple sur le plan conceptuelle, un réseau fondé sur une installation d'un site est équivalent à un réseau intercontinental ou un réseau mondial.

Principe d'accessibilité

Dans ce cadre les services fournis par les éléments de l'IP sont toujours accessibles et à tous moments. L'information elle est toujours en circulation entre eux.

Principe d'unicité

Ce principe se base sur deux concepts (l'adressage et la conteneurisation), d'une part Le principe d'adressage fondée par l'Internet digital est le même utilisé par l'IP qui permet de localiser géographiquement l'interface, d'autre part chaque conteneurs

3.5. LA DIFFÉRENCE ENTRE LA LOGISTIQUE ET L'INTERNET PHYSIQUE

de l'IP est associé avec un identifiant et c'est à travers ce identifiant il est acheminé, suivi et adressé.

L'encapsulation

Pour améliorer la performance perçue par les clients et la performance globale de l'Internet physique, la marchandise ou bien le contenu est encapsulé dans des conteneurs modulaires standardisées n'interagit nullement avec ce contenu, se limitant à manipuler les conteneurs habilité pour l'Internet Physique et à interagir avec eux à travers leurs interfaces. En effet L'encapsulation du contenu participe à la sécurité des biens par la banalisation extérieure du conteneur et de la vérification de son intégrité.

Principe d'agentification

Les conteneurs de l'IP représentant des agents pro-actifs autonomes, ce principe est apparait surtout à travers leurs relations avec les technologies connectives telles le RFID et les systèmes de localisation GPS, ainsi qu'à travers les agents logiciels, les prestataires logistique, les propriétaires etc.

La contractualisation

Un conteneur de L'Internet physique est obligatoirement couvert par au moins un contrat, dans ce cadre l'Internet Physique ne peut prendre en compte un conteneur que s'il est à tout moment pris en charge par ses fournisseurs de services IP suivant un contrat prédéfini.

Principe de certification

Les éléments de l'IP (les ressources, les protocoles, le processus, l'ensemble des fournisseurs) s'appuient sur des certifications qui se basent sur des aptitudes et des performances.

3.5 La différence entre la logistique et l'Internet physique

Les réseaux logistiques appartiennent à des particuliers, en effet chaque entreprise a son propre réseau logistique qui lui relie à ses fournisseurs et ses clients, alors que l'Internet physique est aussi un réseau logistique mais global et qui suggère de nouveaux constituants, il comprend tous les réseaux logistiques et les interconnecte afin d'obtenir une meilleure rentabilité sur l'axe environnemental, social et économique, toutefois ces deux structure ont le même objectif de répondre aux exigences des clients en terme de délai et de cout.

Le tableau 3.2 [4] ci-dessous nous montre clairement la différence entre la logistique et l'Internet physique :

3.5. LA DIFFÉRENCE ENTRE LA LOGISTIQUE ET L'INTERNET PHYSIQUE

fonction	Logistique	L'Internet physique
<i>Envoie</i>	marchandise	conteneurs
<i>Réseau</i>	prestations spécifiques	réseaux des réseaux ouvert et partagé
<i>Trajet</i>	schéma logistique	routage dynamique
<i>Système d'information</i>	propriétaire	Internet des objets plateformes de services dans le nuage (cloud)
<i>Standard</i>	foisonnement des standards	Accord sur les interfaces, l'identification et les protocoles
<i>Stockage</i>	ponctuel (centralisé)	logique de déploiement
<i>Gestion des capacités</i>	privée	publication

TABLE 3.2 – différence entre la logistique et l'Internet physique

3.5.1 Envoi

En logistique actuelle l'hétérogénéité et la diversification de la marchandise engendrent la perte d'espace en aval à fur et à mesure d'acheminement, car en amont, dû à l'homogénéité relative de la marchandise, le contrôle d'espace dans les camions ou dans les palettes est possible, mais profitant des conteneurs modulaire et relativement homogène pendant tous le trajet offre une optimisation remarquable et une connaissance préalable des dimensions.

3.5.2 Réseau

Les réseaux logistiques actuels sont presque hétérogènes et très peu interconnectés en d'autre terme ils sont indépendants les uns envers les autres, ces réseaux sont composés d'un ensemble d'usines et d'entrepôts; les usines sont connectés à des entrepôts qui sont connectés à des clients, la complexité actuelle de la logistique provient du fait que pour chaque pays il y'a des milliers de réseaux indépendants, l'Internet physique qui interconnectera tous ses réseaux logistique actuels s'occupe du routage et de déplacement, le stockage ainsi la gestion des flux de conteneurs de manière plus efficace.

3.5.3 Trajet

Le routage actuels des transporteurs est définie au préalable, et une fois ce choix est fait, il ne reste guère d'alternative, c'est une situation très rigide et en cas de problème de grève ou des intempéries la performance de la logistique s'effondra, en

revanche, une architecture plus distribuée et plus partagée offre des alternatives et présente plus de robustesse et de résilience, c'est la une des propriétés du réseau Internet digital, le fait qu'il s'agisse d'un réseau des réseaux qui est muni d'outils de routage dynamique et que les chemins soient mis à jour régulièrement, permet de ne pas être trop vulnérable à la fiabilité de ses composants, en particulier les routeurs ou les liaisons, en effet chaque conteneur est routé spécifiquement.

3.5.4 Système d'information

Les systèmes d'information logistiques se sont construits sur la base des réseaux physiques dont ils assurent le pilotage il existe en complément des outils permettant d'échanger l'information et de réaliser des passerelles. À l'inverse le principe de l'Internet physique est de s'appuyer sur l'interconnexion d'un ensemble de réseaux et donc justement sur la décentralisation. L'idée est que l'information capturée localement à partir des conteneurs eux même ou des équipements du réseau – moyens de manutention, moyens de transport, emplacements de stockage, etc. Soit mise à disposition sur l'Internet pour permettre aux ayants droit de l'utiliser dans un contexte sécurisé. C'est précisément une partie de l'Internet des objets.

3.5.5 Standard

L'incompatibilité des systèmes d'information et des systèmes physique de la logistique entraînent une multitude de solutions non faisables par exemple dans le domaine de dimensions, on trouve une profusion de taille d'emballage, de colis, de bacs ou de boîte suivant les pays, les secteurs et les compagnes, également au niveau des palettes, on trouve la diversité entre les pays. À ce jour il n'existe pas de système permettant de couvrir l'ensemble des besoins, ce qui oblige les acteurs des chaînes logistiques à multiplier les systèmes de connexion et les interfaces ou les ponts logiciels.

3.5.6 Stockage

La centralisation des réseaux logistique limite en effet les niveaux de stock rendus nécessaires par les volumes d'envois économiques ainsi que ceux dites de sécurité qui pallient la variabilité de la demande. La possibilité de stockage décentralisé en réseau offre une perspective complètement nouvelle pour la gestion des stocks et la chaîne logistique, ce stockage remplace des trajets de longue distance urgents par des trajets d'ajustement plus courts avec moins d'exigences sur les délais, d'autres solutions étant accessibles.

3.5.7 Gestion de capacités

L'information sur les capacités des prestataires est actuellement comme étant complètement privée. Ce que l'on entend par la publication et la gestion des capacités ne s'agit nullement de publier directement les capacités de tous, mais de permettre l'information juste nécessaire à la réalisation des prestations et à la prise de décisions basées sur les évidences et les faits.

3.6 Le modèle OLI

Comme c'était expliqué l'Internet digital permet l'interconnexion des réseaux informatiques suivant le modèle TCP/IP qui permet d'expédier les paquets de données, la même façon s'applique avec l'Internet physique pour expédier la marchandise en utilisant un modèle appelé le modèle OLI inspiré du modèle OSI, ce modèle était proposé par benoit Montreuil pour interconnecter les réseaux logistiques.

Le modèle OLI est un modèle en couches, il se compose de sept couches figure 3.5 et chacune à un rôle spécifique :

3.6.1 La couche physique

La couche physique permet de :

- Traiter du mouvement des éléments physiques.
- De définir l'état d'un équipement (disponibilité, niveau de fonctionnement, mouvement)
- Exploiter des fonctions définies de façon aussi uniforme que possible.
- Définir des spécifications physiques (mécanique, électrique et pneumatique) pour les PI-conteneurs, ainsi pour les moyens de manutention, de transport et de stockage.
- Détecter et corriger les dysfonctionnements physiques.
- Contrôler le suivi des commandes.
- Spécifier les aménagements et positionnement relatifs des points d'arrivée et de départ ainsi que les mécanismes.

3.6.2 La couche liaison

La couche liaison permet de :

- Fournir les moyens fonctionnels, les méthodes et les procédures assurant la cohérence des mouvements des éléments de l'IP.
- Elle permet de détecter les dysfonctionnements sur un lien de les corriger d'une façon potentielle.
- Assurer la qualité d'un réseau et de surveiller leur performance.

3.6.3 La couche réseau

La couche réseau permet de :

- D'assurer l'acheminement d'ensembles de PI-conteneurs d'un point d'expédition à un point de réception via un ou plusieurs PI-réseaux.
- Définir le protocole d'acheminement.

3.6.4 La couche routage

Elle permet de :

- Transférer de manière efficace et fiable un ensemble de PI-conteneurs entre un expéditeur et un destinataire final.

- Contrôler la fiabilité des transports de PI-conteneurs.
- Définir le protocole de routage de l'IP.
- Définir la composition et la décomposition de PI-conteneurs.
- Affecter et contrôler les flux de PI-conteneurs ainsi que le contrôle des erreurs de transport.

3.6.5 La couche expédition

Cette couche est caractérisé par :

- Le contrôle de déroulement des expéditions entre expéditeurs et destinataires finaux (affectation et suivi des PI-conteneurs aux expéditeurs), ainsi de les gérer et les solder.
- Elle définit le type de service rendu s'il est normal, urgent ou très urgent.
- Elle établit les procédures de monitoring, de vérification, d'ajournement, de terminaison et de réacheminement des expéditions.

3.6.6 La couche encapsulation

C'est une couche où se situent certaines opérations EDI (échanges de données informatisées) actuelles, au niveau de cette couche on prend en considération les types et le nombre des PI-conteneurs, elle permet :

- D'encapsuler les produits dans des PI-conteneurs avant leurs accès aux réseaux de l'Internet physique.
- De faire le lien avec les décisions d'approvisionnement et de déploiement de produits prises à la septième couche qui la couche web logistique.
- De transposer les décisions de mouvement et de stockage de produits en décisions de commandes de mouvement de stockage de PI-conteneurs en affectant les unités de produit aux PI-conteneurs.
- D'assurer la supervision et la validation des habilitations, des capacités, des prix, et des performances des PI-nœuds et des moyens associés (manutention, stockage ou transport), le statut de contrat signé et des PI-conteneurs déployées.

3.6.7 La couche web logistique

La couche web logistique représente l'interface entre l'Internet physique et les gestionnaires des flux, cette couche réside l'utilisation des logiciels de gestion (la gestion des chaînes d'approvisionnement, gestion logistique, gestion des opérations, gestion des ressources d'entreprise), elle permet au gestionnaire des flux d'exploiter l'IP à fin de pouvoir prendre des décisions d'approvisionnement, de réalisation et de déploiement dynamiques des produits à travers un web logistique global et ouvert comme elle est chargée pour la définition des rendez-vous, l'établissement des contrats, la programmation des flux ainsi d'assurer le monitoring des contrats, des stocks, des mouvements et des capacités des acteurs.

3.6. LE MODÈLE OLI

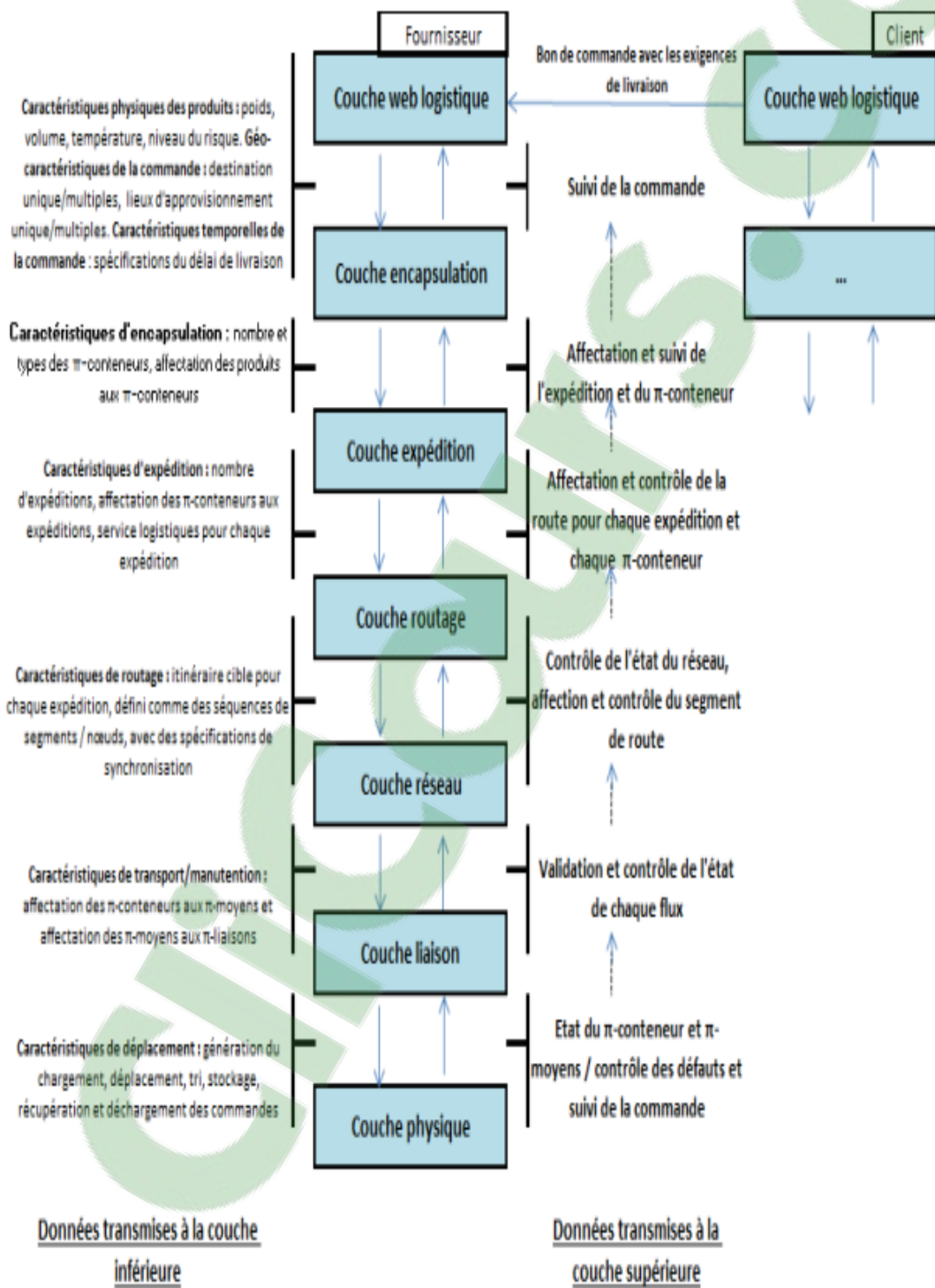


FIGURE 3.5 – les sept couche du modèle OLI

3.7 Problématique

L'Internet physique c'est la livraison de la marchandise basée sur le concept de livraison des flux d'informations dans l'Internet digital, il fonctionne approximativement comme l'Internet digital parce que les éléments à livrer sont des produits de taille variante et diverse, l'internaute ne se pose pas de questions sur le routage de son e-mail, qui possède le service qui relais son e-mail, ou même des questions sur le fournisseur d'accès du récepteur de son e-mail, il se contente du service qu'offre l'Internet digital pour envoyer d'une manière sécurisée son e-mail, maintenant si on imagine que l'e-mail est un objet physique et que l'internaute est l'émetteur ou le récepteur, pour livrer un objet physique, il nous faut de l'Internet physique, comme le réseau du service de l'Internet un réseau de pi-hubs forme la fondation de l'Internet physique, le pi-hub envoie et reçoit des produits qui peuvent passer des plusieurs pi-hubs avant de n'arriver au pi-hub le plus proche de la destination finale comme le montre la figure 3.6.

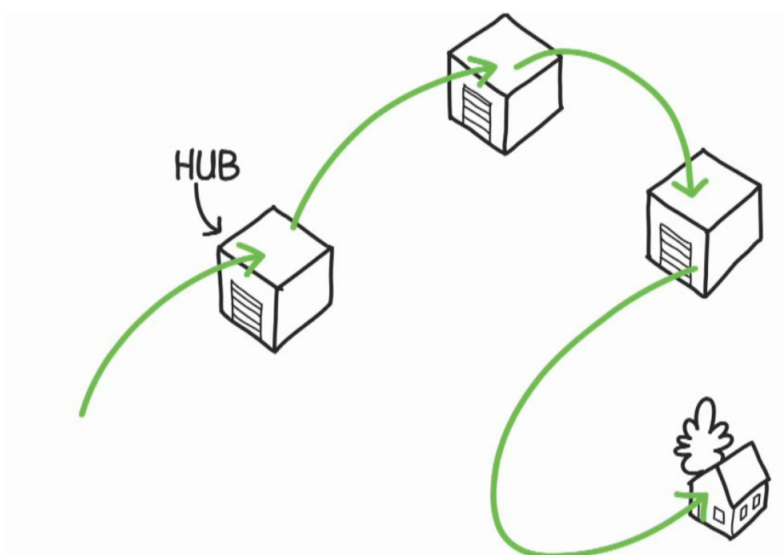


FIGURE 3.6 – la livraison dans l'Internet physique

Les produits se déplacent dans ce réseau ouvert et interconnecté qui appartient en commun à plusieurs parties appelés les utilisateurs de l'Internet physique, de cette manière (figure 3.7) l'Internet physique permet une collaboration horizontale et verticale, les livraisons sont optimisées pour tous le réseau ce qui exige une quête constante pour une utilisation parfaite de la capacité du réseau.

L'exemple suivant éclaircie l'idée, un producteur espagnol de chaussures exporte son produit à Canada, Scandinavie, et l'Asie, quand un norvégien commande 1000 unité de chaussures, le producteur sait qu'il peut utiliser l'Internet physique sans se demander de l'itinéraire que va prendre sa marchandise, le routage optimal ou le cout le plus réduit, c'est l'Internet physique qui va prendre en charge ces procédures, en plus, il ouvre également la collaboration et les opportunités pour les entepôts et

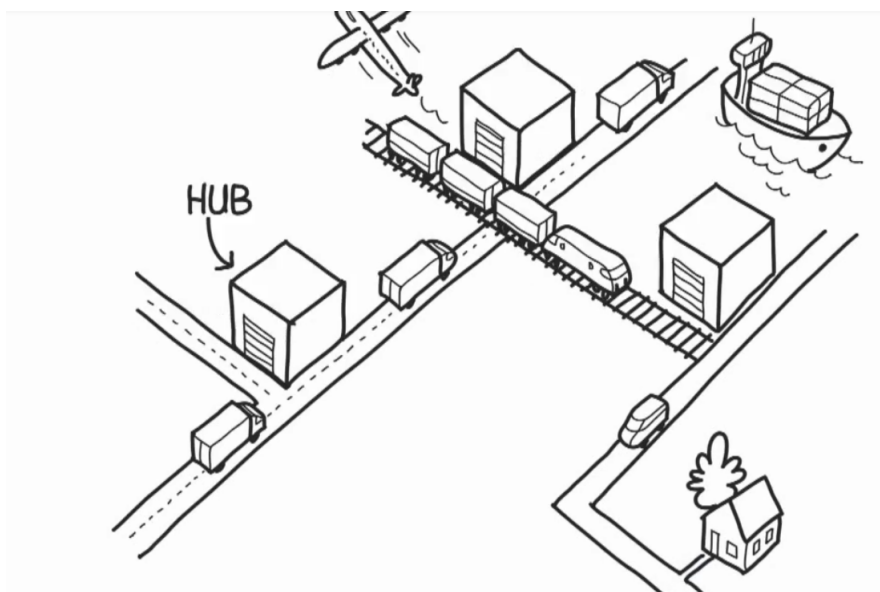


FIGURE 3.7 – le transport multimodal dans l’Internet physique

la décentralisation des stocks, pour ça le producteur de chaussure pourra stocker sa marchandise plus près du point de consommation.

Tous comme le service de l’Internet digital héberge les datas de différents propriétaire, les entrepôts de l’Internet physique connectés pi-hubs vont stocker les biens des propriétaires pour offrir une livraison plus rapide. Comme le montre la figure 3.8.

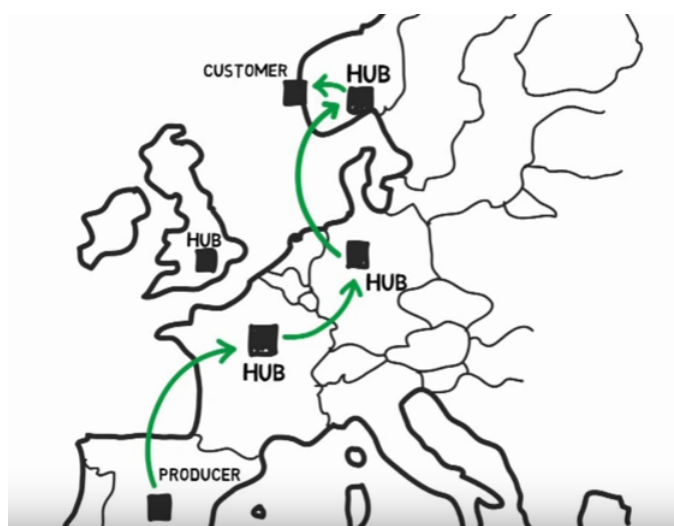


FIGURE 3.8 – optimisation des chemins dans l’Internet physique

Cependant, il n’est pas possible de créer une telle structure sans règles ni de lois, par exemple sur quelle base on choisit ce mode de transport et pas un autre? Ou sur quelle base on choisit cette route ou ce rail et pas un autre? L’Internet digital

utilise des protocoles pour envoyer ou recevoir les e-mails, les deux protocoles les plus importants pour le fonctionnement de l'Internet digital sont le protocole TCP qui assure le transport d'information et le protocole IP qui assure l'adressage et le routage dans le réseau.

L'objectif de ce rapport est de proposer des protocoles de transport pour l'Internet physique basés sur les protocoles de transport de l'Internet digital. Les questions seront du type : quel mode de transport choisit-on ? Quel itinéraire choisit-on ? Quel moyen de transport pour quel conteneur ?

3.8 Conclusion

Nous avons vu, dans ce chapitre, les concepts de base de la solution alternative qui est la globalisation des réseaux logistiques ou le réseau des réseaux nommé l'Internet physique en tant que métaphore de l'Internet digital, ce nouveau système est plus efficient et réponds aux besoins de la logistique actuelle notamment en ce qui concerne les émissions de CO₂, en optant pour le transport multimodal et la mutualisation, nous avons choisi de participer à la création et la définition de cette nouvelle structure dont les composantes restent à développer, la mise en œuvre de l'interconnexion des réseaux logistiques nécessite des recherches et des études approfondies à propos de la structure, la manière d'interconnexion, la forme dont la marchandise est envoyée, le système d'information utilisé, les protocoles de transport et de routage, etc.

Les composantes mentionnées dans le paragraphe précédent représentent des thèmes de recherche à l'heure actuelle, L'objectif de ce mémoire, et essentiellement du chapitre suivant est de proposer un protocole de transport de marchandises dans l'Internet physique, qui assure la minimisation des chemins et la traçabilité.

Chapitre 4

La proposition d'un protocole de transport

*Try to be a rainbow
in someone's cloud.
Maya Angelou*

4.1 Introduction

Le transport est l'action de déplacer quelque chose d'un point à un autre, il est un maillon important dans la logistique, c'est le responsable de l'acheminement de la marchandise, son optimisation revient à optimiser la logistique à un pourcentage important.

La restructuration de la logistique actuelle n'a pas empêcher la présence du transport, mais elle lui a donné l'opportunité de se développer et de mieux consolider sa fonction, en effet, le transport est un portail de recherche dans l'Internet physique, un domaine que nous avons choisi de travailler dessus, et donc ce chapitre présentera notre contribution dans la création d'un protocole de transport de la marchandise dans l'Internet physique, en assurant l'optimisation des chemins, l'utilisation du transport multimodale et la mutualisation, aussi l'adressage et le routage.

4.2 Le protocole existant

Jusqu'à maintenant un seul protocole a été proposé pour transporter des conteneurs dans des réseaux de distribution interconnecté, cette proposition est détaillée par Rochdi Serraj dans sa thèse [Interconnexion des réseaux logistiques : éléments de définition et potentiel], ce dernier est le premier qui a donné cette proposition mais c'est pas vraiment un protocole finalisé pour être implanté par PI mais d'une solution de base permettant de Simuler des gains potentiels de cette nouvelle organisation.

Voici un schéma (figure 4.1) [4] général de ce protocole qui résume les décisions prises lors d'une expédition dans le cas de PI.

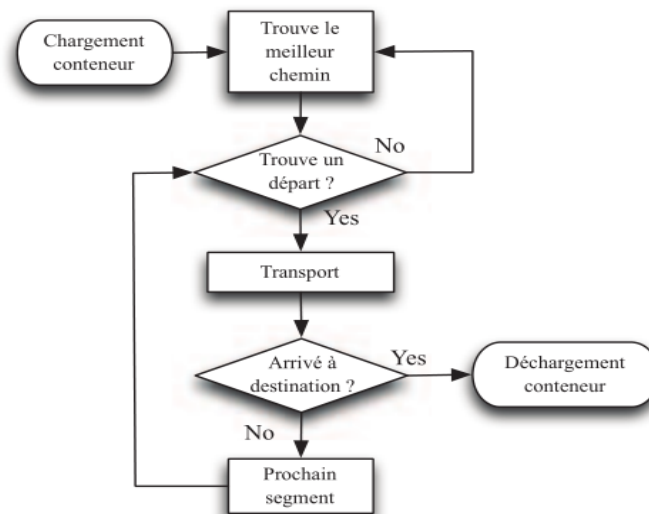


FIGURE 4.1 – le protocole général de l'Internet physique

Cet algorithme de transport des conteneurs englobe trois protocoles : la conteneurisation, l'acheminement et le groupage / chargement, dont chaque protocole est associé avec un agent (agent de traitement des commandes et de conteneurisation, agent d'acheminement et agent de transport).

Le contenu de la base des données de ce protocole est le suivant :

- Des nœuds (entrepôts, magasin, usine, hub. . .)
- Un réseau ferroviaire et routier support des prestations logistiques.
- Des commandes qui sont composées des lignes de commandes : chaque ligne de commande est définie par une source, date d'envoi, la destination, une quantité en nombre des palettes équivalent etc.

Hypothèse de simulation

La modélisation de ce protocole était basée sur un ensemble des hypothèses inspirées sur le comportement de l'Internet numérique, un tableau comparatif est montré table 4.1.

Le protocole proposé est basé sur les critères suivants :

Internet digital	Internet physique
routage fixe	routage adaptatif
routage nœud à nœud	routage de source
réseau permanent	réseau permanent et ad-hoc
routage centralisé	mixte de routage centralisé et distribué

TABLE 4.1 – projection de l'Internet digital sur l'Internet physique

- Un routage adaptatif car le transport de marchandises n'est pas à l'abri des variations concernant sa disponibilité, ses délai ou ses prix.
- Un réseau permanent dans un premier temps car il est le plus simple cependant le réseau ad-hoc qui est difficile à gérer car il nécessite un système d'information plus compliqué.
- L'obligation de connaître le chemin complet depuis la source jusqu'à le point final, donc Il est préférable que le routage soit distribué et même centralisé comme il est un routage de source.
- Le fonctionnement de cet algorithme nécessite de connaître l'ensemble des états des prestations de transport en temps réel ainsi que leurs prévisions de parcours (en termes d'horaires, de disponibilité, de prix. . .).
- Les hubs sont considérés comme des files d'attentes avant le départ.
- Chaque expédition de chaque acteur est traitée de manière indépendante lors de sa conteneurisation et du choix d'acheminement.

- Un système autonome : vue que l'étude porte des données réelles concernant deux grands distributeurs avec plusieurs prestataires mais ils ont les considérés comme un seul système avec un seul prestataire.

4.3 Le protocole proposé

Vue que le seul protocole proposé par Mr Serraj ne représente pas un algorithme finalisé mais juste une solution de base, et malgré les résultats apportés par cet algorithme sa lui manque plus de détails, de modifications et d'améliorations soit au niveau de la conteneurisation, de routage et de transport, parmi les limites et les points négligeables nous citons :

- Le champ de l'étude était concentré sur les deux grands distributeurs français avec le fonctionnement d'un réseau rail- route cependant, si ils ont appliqués l'étude d'une manière global sa diffère surtout avec l'utilisation du transport intermodal (voie maritime, aérien...).
- Dans le routage La sélection de la route est faite on fonction d'un seul métrique soit de cout, de délai ou des émissions en CO2 mais ils n'ont pas pris en considération une combinaison entre plusieurs métriques.
- L'identifiant est très important pour la localisation des conteneurs et ces emplacements malgré cette importance ils n'ont pas les étudier.
- Ils n'ont pas défini un système d'adressage. A la base de ces limites on a proposé un protocole global qui va remédier les défaillances apportées par celle qui est proposé par Mr Serraj.

Notre protocole est basé sur plusieurs niveaux : de conteneurisation, d'associer l'identifiant, trouver le meilleur chemin, le choix du mode de transport, l'affectation des conteneurs au moyens du transport, déchargement/chargement.

En se basant sur la manière dont un message est envoyé via l'Internet digital, nous avons proposé un protocole de transport de marchandises dans l'Internet physique semblable à celui de la transmission d'un message dans l'Internet digital, et en profitant de la fragmentation de l'information et son encapsulation, une opération identique est mise en œuvre dans l'Internet physique celle de la conteneurisation. Donc notre protocole proposé est le suivant (figure 4.2) :

4.3. LE PROTOCOLE PROPOSÉ

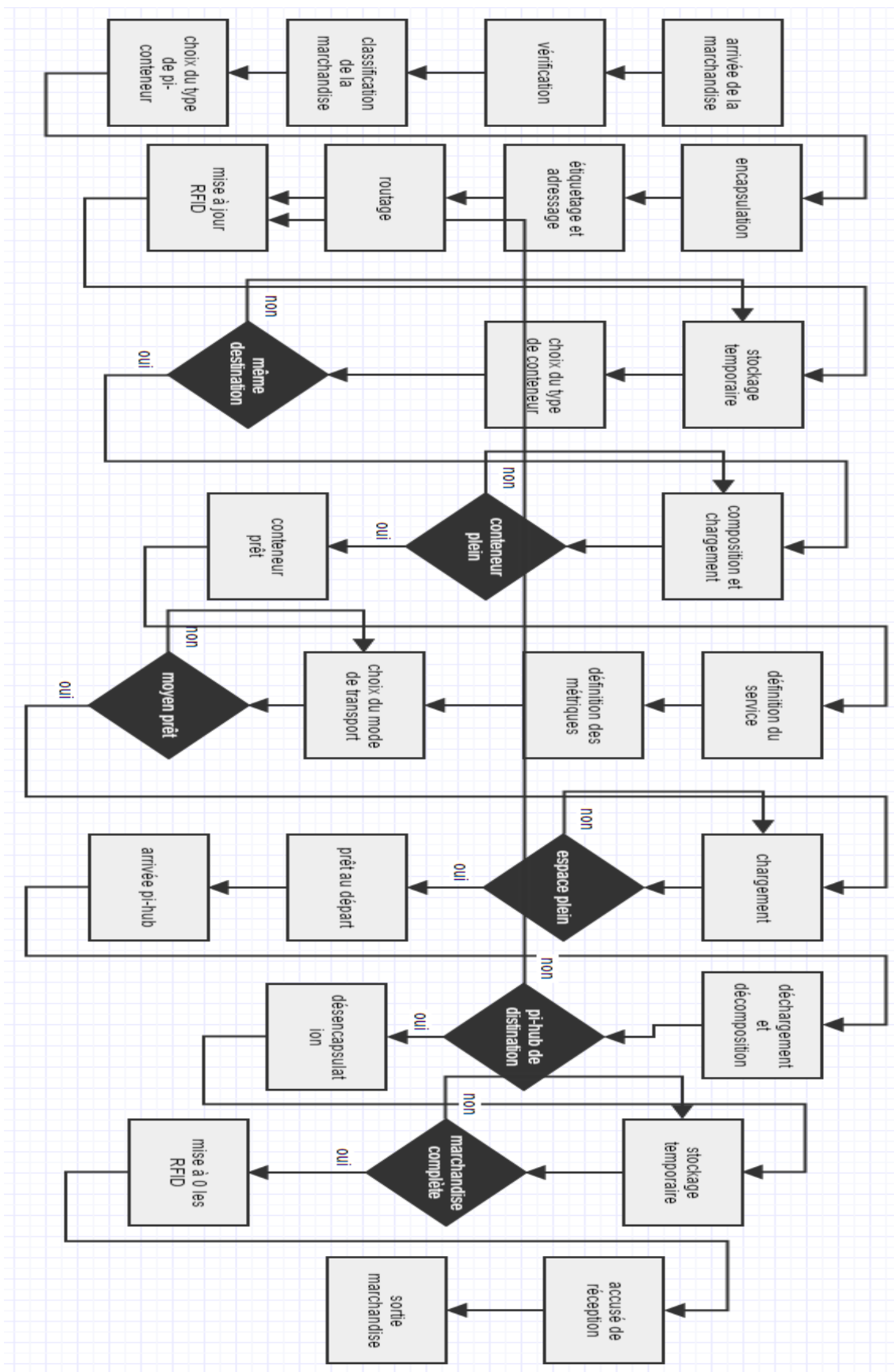


FIGURE 4.2 – le protocole proposé

Le protocole proposé est un protocole général, il dicte toutes les étapes à suivre depuis la réception de la marchandise jusqu'à son émission et durant son acheminement tout en garantissant la traçabilité et l'optimisation des trajets pour offrir un meilleur service.

La marchandise, une fois dans le système, elle subit plusieurs opérations avant de n'être expédié; dans un premier temps on vérifie les informations liés à cette marchandise; la nature du produits, les coordonnées du destinataire et du destinataire, etc, puis on la classifie selon son type, fragile, ambiant ou standard, d'après cette classification le type de pi-conteneur est choisi, et après la marchandise est encapsulée dans des pi-conteneurs selon un calcul de volume pour profiter d'un espace adéquat et d'éviter la perte de ce dernier, ensuite, des puces RFID sont jointes à ces pi-conteneurs pour assurer la traçabilité, et où on trouve toutes les informations relatives à la marchandise ainsi les adresses du récepteur et d'émetteur, après l'étiquetage et l'adressage, un type de conteneur est désigné, et le même calcul de volume est appliqué à ce niveau aussi pour charger le conteneur et le remplir en poids et en volume, Via la composition des pi-conteneurs.

Une fois le conteneur est prêt pour quitter la plateforme, un mode de transport est choisi selon des critères de distance, de priorité et de disponibilité, ensuite une destination est désignée (un prochain pi-hub) selon un algorithme du choix du chemin le plus pertinent pour l'envoi, quand le conteneur arrive au pi-hub suivant, les pi-conteneurs sont déchargés et décomposés, si le pi-hub actuel est la dernière station, les pi-conteneurs sont mis à l'écart en attendant l'arrivée ou la confirmation d'un lot complet pour quitter le système (l'Internet physique) et les puces RFID sont retiré et mises à zéro, sinon les puces RFID sont mises à jour (ajout d'un nouvelle localisation (pi-hub) ainsi le code du conteneur de la nouvelle expédition) et ils sont composés et chargés pour un nouveau prochain pi-hub.

Tous les codes et les opérations sur les puces RFID sont archivés dans un logiciel même ceux mise à zéro.

4.3.1 Les phases du protocole proposé

Afin de mieux expliquer le protocole proposé, nous l'avons divisé en trois phases :

La première phase : Réception et conteneurisation

La première phase (figure 4.3) du protocole consiste à

- recevoir la marchandise dans la plateforme.
- vérifier que la marchandise contient une description contenant le nature du produit, la facture, la quantité, volume, le prix, les coordonnées du fournisseur, et les coordonnées du destinataire, une décharge de la part du fournisseur qui prend toute la responsabilité de son produit.
- classifier la marchandise selon son type, standard fragile ou dangereux.
- choisir le type du pi-conteneur selon le type du produit.

4.3. LE PROTOCOLE PROPOSÉ

- encapsuler la marchandise dans les pi-conteneurs en respectant les volumes et les poids.
- étiqueter les conteneurs des puces RFID et définir les adresses de départ et d'arriver.
- définir le routage des pi-conteneur selon la destination.
- mettre à jour les puces RFID, en injectant le code du pi-hub, la date, le type du produit, le chemin a empreinte ainsi que le prochain pi-hub.
- stocker les pi-conteneur dans un stock temporaire et intermédiaire.
- faire un test sur les nouveaux pi-conteneurs et les regrouper avec d'autre de la même destination. si le test est validé on passe vers l'étape suivante sinon on à la précédente.
- les groupe de pi-conteneurs de même destination est composer selon une heuristique et il est charger dans les conteneurs.
- tester si le conteneur est plein en poids et en volume ou pas encore, si le test est validé on passe vers l'étape suivante sinon on à la précédente.
- à la fin de cette phase on aura des conteneurs prêt à être transportés.

L'arrivée de la marchandise

A l'image du découpage de l'information, que font les protocoles de l'Internet, en des paquées de données standardisées, la même chose est appliquée Pour la conteneurisation de la marchandise, tout d'abord on a supposé deux tests très importants :

— **scénario 1**

La première opération figure 4.4 consiste à classifier les produits selon trois classes (fragiles, dangereux, standards), cette opération permet d'assurer d'une part, la sécurité et la sureté du produit pendant sa circulation, et d'autre part la sécurité du transporteur.

Le tableau 4.2 suivant montre plus de détail concernant cette classification :

type de produite	catégorie	exemple
fragiles	périssable déformable	verre, cristal
	explosifs	les feux d'artifice
	gaz	l'oxygène liquide réfrigéré(UNI1073)
dangereux	inflammables	liquides dont le point d'éclair est égal ou inférieur à 60 degré C
	matières comburantes et peroxydes organiques	le peroxyde de dibenzoyle
	toxiques et infectieuses	le cyanure de plomb
	radioactives	des substances nucléaires
	corrosives	l'acide sulfurique
standards	cosmétiques, électroménagers, textile, agro-alimentaire, céréaliers	

TABLE 4.2 – classification des produits

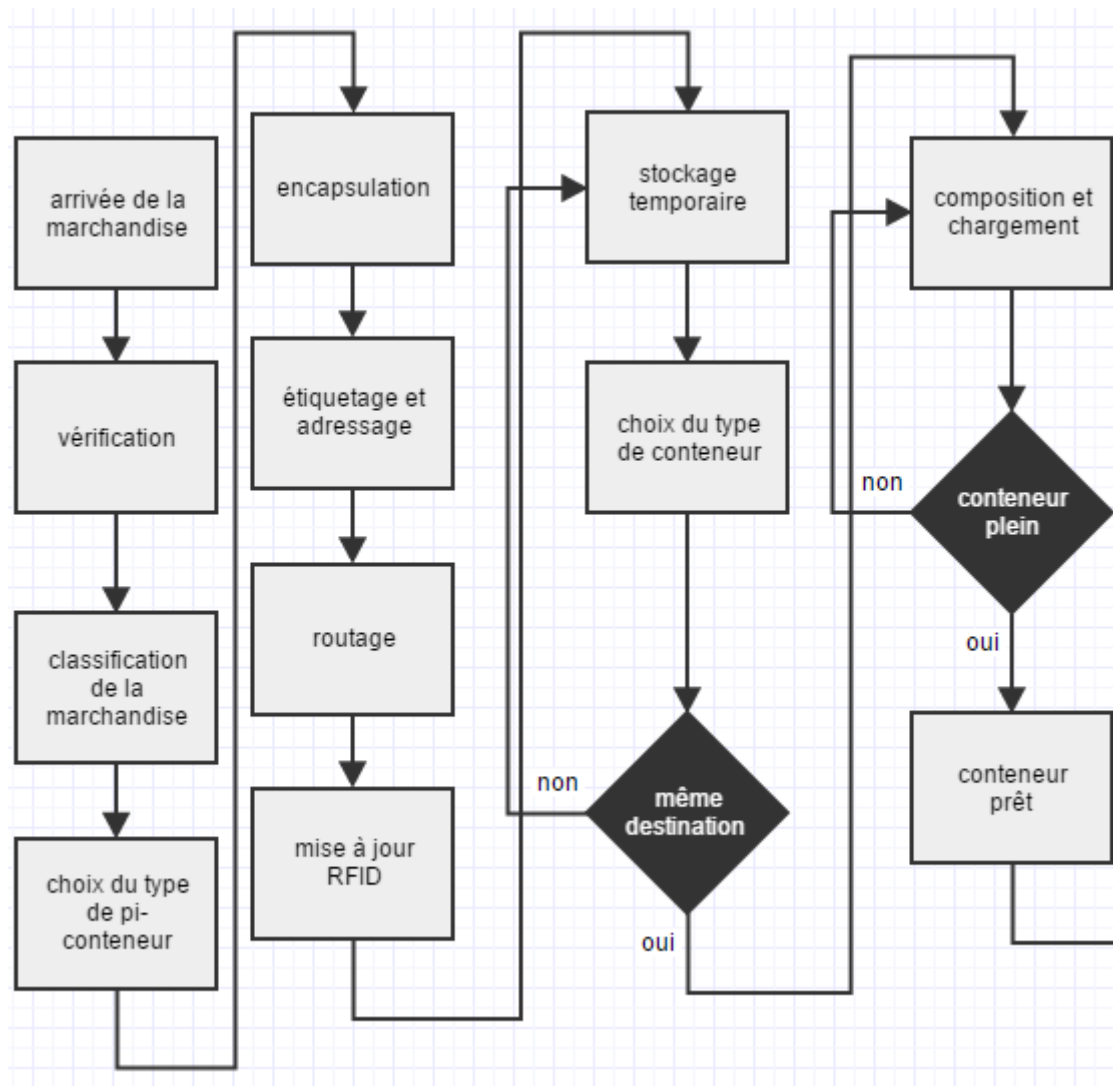


FIGURE 4.3 – schéma descriptif de la 1ere phase

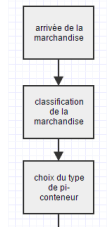


FIGURE 4.4 – partie du scénario 1

— **scénario 2**

L’encapsulation (figure 4.5) est une opération qui consiste à déterminer les conditions de survie de la marchandise durant son parcours par exemple le transport de certains produits agro-alimentaires nécessite une certaine température pendant leurs transport. Ainsi la manière du positionnement des produits dans les pi-conteneurs car pour certains produits la manière de les poser se diffère, par exemple le positionnement d’un produit dangereux dans un pi-conteneur nécessite une certaine position sinon on aura des complications, ou le positionnement de certains produits qui se déforment facilement quand on change leurs positions au niveau des conteneurs. A ce niveau aussi le volume adéquat pour le produit est désigné en calculant la différence entre ceci et le volume des pi-conteneurs existants.

L’adéquation des tailles des conteneurs aux tailles des produits est un sujet très vaste qui dépasse le cadre de ce mémoire, on se base sur le travail mené par GUEZZAN intitulé [Résolution du problème du choix des PI-conteneurs-2016][7]

Fonction objectif :

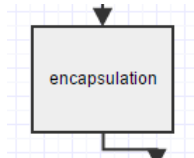


FIGURE 4.5 – partie du scénario 2

Notre objectif consiste à sélectionner parmi un nombre constant de conteneurs modulaires le plus adéquat afin de minimiser l’espace vide entre les produits et les conteneurs ce volume vide sera traduit par la suite en un coût qu’on cherche à l’optimiser. Cet objectif est équivalent à minimiser le coût du volume total d’expédition (ou maximiser l’utilisation de l’espace des conteneurs).

$$MinF(x, y, \alpha, \beta) =$$

$$\left\langle \sum_j^{nc} y_j * lc_j * Lc_j * hc_j - (lp * Lp * hp * Np) \right\rangle * Cv + \sum_j^{nc} y_j * C_j \quad (4.1)$$

Sous contraintes :

$$\sum_j^{nc} y_j * lc_j \geq \alpha(x(1) * lp + x(2) * Lp + x(3) * lp + x(4) * lp + x(5) * Lp + x(6) * hp) \quad (4.2)$$

$$\sum_j^{nc} y_j * Lc_j \geq \beta(x(1) * Lp + x(2) * hp + x(3) * lp + x(4) * hp + x(5) * lp + x(6) * Lp) \quad (4.3)$$

$$\sum_j^{nc} y_j * hc_j \geq \gamma(x(1) * hp + x(2) * lp + x(3) * Lp + x(4) * Lp + x(5) * hp + x(6) * lp) \quad (4.4)$$

$$\sum_j^{nc} y_j = 1 \quad (4.5)$$

$$\sum_i^6 x_i = 1 \quad (4.6)$$

$$\frac{Np}{\alpha + \beta} + 1 > \gamma > \frac{Np}{\alpha + \beta}; \gamma \in N \quad (4.7)$$

$$x_i \leq y_j; \forall i = 1..6, j = 1..Nc \quad (4.8)$$

$$x_i \in \{0, 1\} \forall i = 1..6 \quad (4.9)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \forall j = 1..Nc \quad (4.10)$$

$$\alpha, \beta, \gamma \in N \quad (4.11)$$

La contrainte (4.2) permet de vérifier la taille du pi-conteneur suivant l'axe lc.

La contrainte (4.3) permet de vérifier la taille du pi-conteneur suivant l'axe Lc.

La contrainte (4.4) permet de vérifier la taille du pi-conteneur suivant l'axe hc.

La contrainte (4.5) assure l'utilisation d'un seul type de pi-conteneur.

La contrainte (4.6) assure que dans un même conteneur tous les produits sont déposés selon la même position.

La contrainte (4.7) permet de dire que γ bien un nombre entier qui exprime le nombre de produit maximum suivant la hauteur du pi-conteneur.

La contrainte (4.8) assure qu'une position i ne peut être choisie si et seulement si le pi-conteneur modulaire a été sélectionné.

La contrainte (4.9) et (4.10) et (4.11) définies les valeurs possibles des variables de décision.

L'encapsulation des pi-conteneurs avec des RFID

Une fois que la classification est effectuée, les commandes sont conditionnées en conteneurs qui encapsuleront les marchandises correspondantes durant leur acheminement, en ajoutant des étiquettes figure 4.6 aux conteneurs pour noter le type de classification.

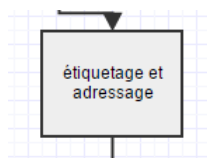


FIGURE 4.6 – étape de la mise en place des RFIDs

— *scénario 3*

La troisième opération est effectuée par des prestataires de traitement des commandes et de conteneurisation, qui doivent traiter différentes tailles de produits ainsi de tester différentes tailles de conteneurs, de telle sorte de minimiser l'espace vide entre les produits et le conteneur (figure 4.7).

Une fois que le conteneur est choisi, les PI-conteneurs doivent être munis d'un système d'identification nécessaire pour un suivi et une traçabilité, dans ce cadre les RFID sont présents pour cette mission.

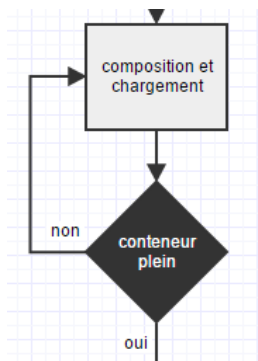


FIGURE 4.7 – partie du scénario 3

La 2eme phase : L'acheminement et le transport

Cette phase (figure 4.8) décrit les différents étapes relatives à l'acheminement des pi-conteneurs, elle comprends :

- la définition de la nature du service ; normal, urgent ou très urgent.
- la définition des métriques sur lesquelles on choisit le mode de transport en plus du service ; coût ; délai, etc.
- le choix du mode de transport qui répond le mieux aux métriques prédéfinies.
- test sur le moyen de transport, si il est prêt on charge les conteneurs sinon on redéfinit un autre.
- le chargement dans le moyen de transport.

4.3. LE PROTOCOLE PROPOSÉ

- test si le moyen de transport est plein ou pas encore, si le test est validé on passe à l'étape suivante sinon à la précédente.
- ainsi le moyen de transport est prêt au départ pour la prochaine station.

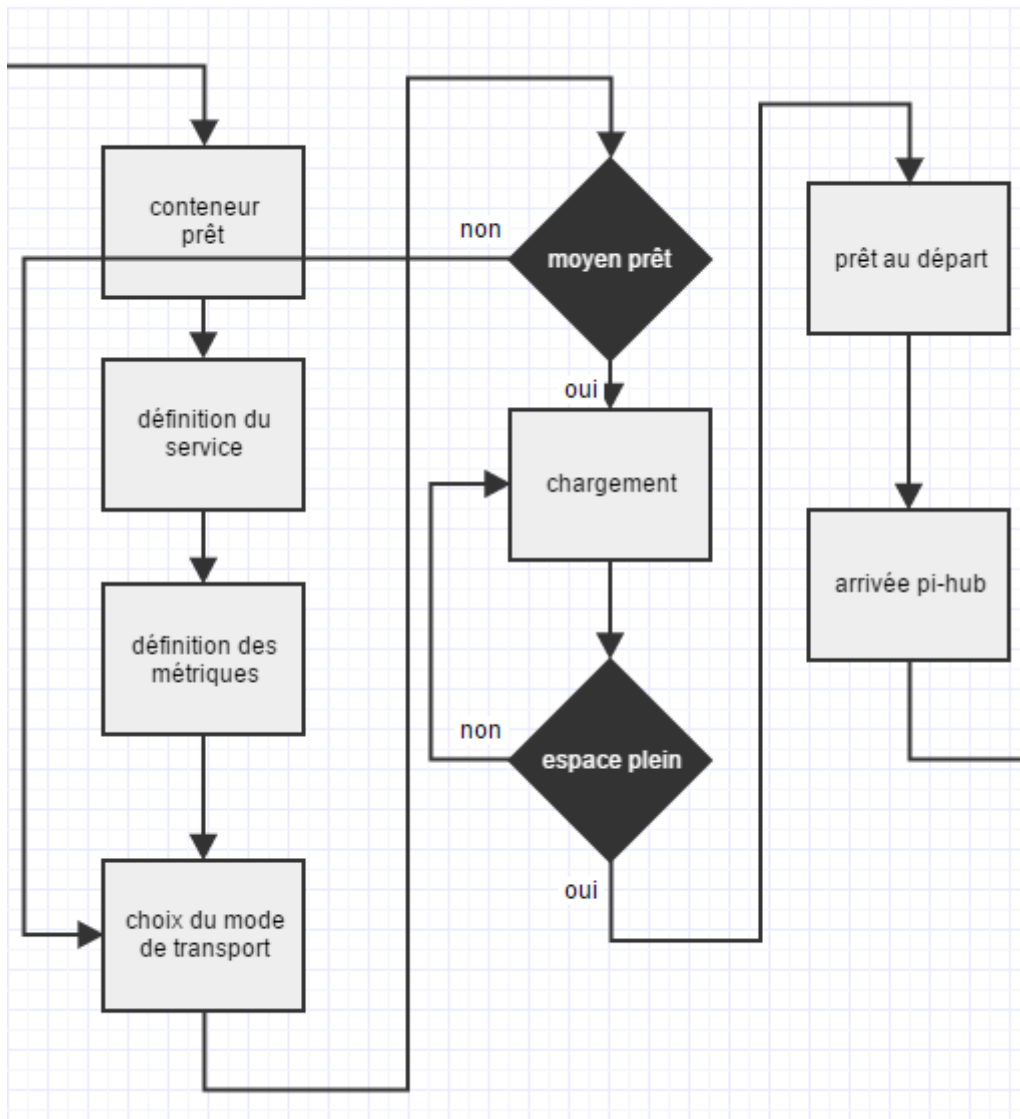


FIGURE 4.8 – schéma descriptif de la 2eme phase

Choix du mode de transport

Avant de choisir le moyen de transport approprié pour expédier les conteneurs depuis le point de départ jusqu'à le point final, nous avons supposé l'ensemble des scénarios suivants :

- **scénario 4**

C'est un test figure 4.9 qui consiste d'opter les moyens de transport selon leurs priorité, dans ce cadre le transport ferroviaire est considéré le plus prioritaire car il offre les avantages de moindre fret et moins des effets de CO₂, cependant dans le cas où les conteneurs suivent des longs parcours notam-

ment le transport entre les continents, dans ce cas le transport maritime sera prioritaire pour ce genre de parcours.

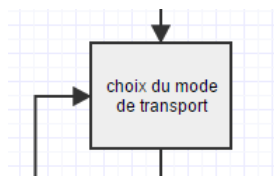


FIGURE 4.9 – partie du scénario 4

— **scénario 5**

Ce test figure 4.10 est effectué pour savoir si le moyen de transport est disponible pour acheminer les conteneurs au pi-hub suivant, dans ce cadre on va supposer un temps d'attentes pour les moyens de transport au niveau des pi-hubs, et si ce temps sera dépassé on va considérer que le moyen de transport a quitté le nœud en choisissant un autre plus rapide (optant camion au lieu de train).

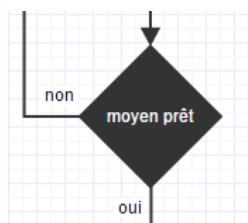


FIGURE 4.10 – partie du scénario 5

— **scénario 6**

Le type de service (figure 4.11) est un paramètre très important pour le choix du mode de transport, dans ce cadre on peut distinguer trois types de services :

- Dans le cas d'un service très urgent le transport aérien sera le plus performant.
- Dans le cas d'un service urgent on va utiliser le transport aérien pour des longues distances or si la distance parcouru est courte dans ce cas le transport routier si le plus adéquat pour être utiliser.
- Dans le cas d'un service normal, le transport ferroviaire sera le plus performant à être utilisé, cependant dans le cas de transport intercontinentaux on va opter le transport maritime.

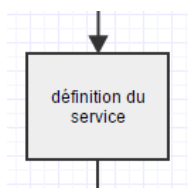


FIGURE 4.11 – partie du scénario 6

— **scénario 7**

Le choix du mode de transport figure 4.12 dépend de plusieurs métriques de temps, de couts et des émissions en CO2 ou bien une combinaison entre eux, si par exemple la métrique sera la minimisation du cout dans ce cas on va choisir le moyen de transport qui offre moins de fret, et si la métrique sera la minimisation du temps dans ce cas optant le moyen le plus rapide.

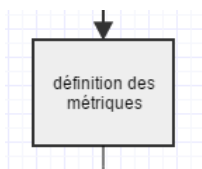


FIGURE 4.12 – partie du scénario 7

— **scénario 8**

C'est un test figure 4.13 de dimensionnement, dans ce cadre il faut que la taille des conteneurs mesurées par la longueur (car les conteneurs sont modulaires ils ont la même section mais de longueur différentes) doivent être inférieures aux longueurs des moyens de transport, ainsi que le poids des conteneurs doit être inférieurs aux capacités des moyens de transport.

Posons :

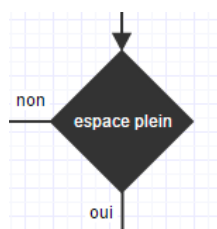


FIGURE 4.13 – partie du scénario 8

i : le conteneur.

j : le moyen de transport.

X_i : la taille des conteneurs i mesurée par la longueur i , $i \in \{1, \dots, K\}$.

C_j : la taille du moyen de transport.

Y_i : le poids des conteneurs i , $i \in \{1, \dots, K\}$.

W_j : la capacité du moyen de transport en poids.

$$\sum_{i=1}^K X_i \leq C_j, \forall j \in \{1, \dots, K\} \quad (4.12)$$

$$\sum_{i=1}^K Y_i \leq W_j, \forall j \in \{1, \dots, K\} \quad (4.13)$$

(4.12) Permet de vérifier le non dépassement de la taille de moyen de transport.

(4.13) permet de vérifier le non dépassement de la capacité de moyen de transport en poids.

— **scénario 9**

Si le pi-hub actuel est le pi-hub de destination, la marchandise sera décomposée et dés-encapsulée est mise de côté en attendant l'arrivée du lot complet pour quitter le système (figure 4.14).

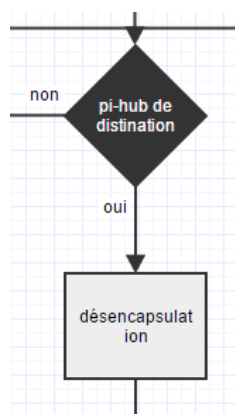


FIGURE 4.14 – partie du scénario 9

L'affectation des conteneurs aux moyens de transport

Une fois les conteneurs sont regroupés au pi-hub et l'ensemble des tests sont effectués, il reste d'associer ces conteneurs aux moyens de transport, donc l'objectif de ce processus est de sélectionner et positionner les conteneurs de manière à remplir au mieux les moyens de transport, et de minimiser les flux.

Donc il s'agit d'un problème d'optimisation, ceci peut être modélisé, en disposant un ensemble des conteneurs qui sont caractérisés par leurs tailles et leurs poids, et les moyens de transport qui sont caractérisé par leurs capacités.

Le problème ici est de trouver la méthode qui permet d'affecter les conteneurs à un nombre minimum de camions ou de trains, respectant à la fois des contraintes en volume et en poids.

Pour la résolution de ce genre des problèmes en supposant d'utiliser une heuristique qui donne des solutions approchées, dans ce cadre en optant d'utiliser BFD (Best Fit Decreasing).

Le principe de fonctionnement de cette méthode consiste de trier les conteneurs selon l'ordre décroissant par rapport à leurs tailles, c'est-à-dire les conteneurs doivent être chargés sur le moyen de transport de façon à ce que les plus pesants soient au fond et les moins pesants sur dessus, cet ordre est nécessaire à fin de stabiliser les moyens de transport, ainsi que dont le but d'éviter qu'un conteneur de grand volume écrase un conteneur de petit volume, de plus le protocole de chargement doit tenir comptes des contraintes qu'imposent les conteneurs réfrigérés et les conteneurs de matières dangereuses, les premiers doivent être chargés près d'une source

de courant électrique, tandis que le second doit être doté par un système de contrôle permettant un suivi du comportement de conducteur, lequel enregistre des variations importantes de la vitesse.

Ensuite, les conteneurs sélectionnés vont essayer d'être affectés aux moyens de transport le plus remplis, une fois le moyen de transport est chargé compétemment il doit quitter le nœud.

La 3eme phase : L'arrivée des conteneurs

Cette phase (voir figure 4.15) dicte les opérations que doit subir les conteneurs ainsi que les pi-conteneurs à leurs arrivées au prochain pi-hub, ces opérations sont :

- Décharger et décomposer les pi-conteneurs.
- Tester si le pi-hub actuel est le pi-hub de destination, si le test est validé on passe à l'étape suivante sinon on revient jusqu'à l'étape de mettre à les puces RFID.
- Désencapsuler la marchandise des pi-conteneurs.
- Stocker la marchandise dans un endroit temporaire et intermédiaire.
- Tester si la marchandise stockée est complète, si oui on passe à l'étape suivant, sinon la marchandise est mise à part en attente qu'elle soit complète.
- Mettre à zéro les puces RFIDs en tenant à archiver les informations.
- Envoyer un accusé de réception au fournisseur.
- Enfin la marchandise est prête à quitter le système.

La minimisation de nombre de manutention

Une fois le moyen de transport est choisi, le transfert des conteneurs et leurs chargement dans les moyens de transport nécessite des opérations de manutentions, dans ce cadre Le protocole de transport des conteneurs doit suivre un plan qui minimise le nombre des manutentions improductives, ces manutentions se produisent lorsqu'un conteneur qu'on doit charger au premier temps, se retrouve sous un ou des conteneurs qu'on doit les positionner au plus tard. Par exemple la figure 4.16 suivante montre que le conteneur B est accessible, tandis que l'extraction du conteneur A nécessité un remaniement du conteneur C et le conteneur D ce qui va augmenter le nombre de manutention ainsi que l'augmentation du temps.

Pour éviter le problème de remaniement en supposant deux solutions :

4.3. LE PROTOCOLE PROPOSÉ

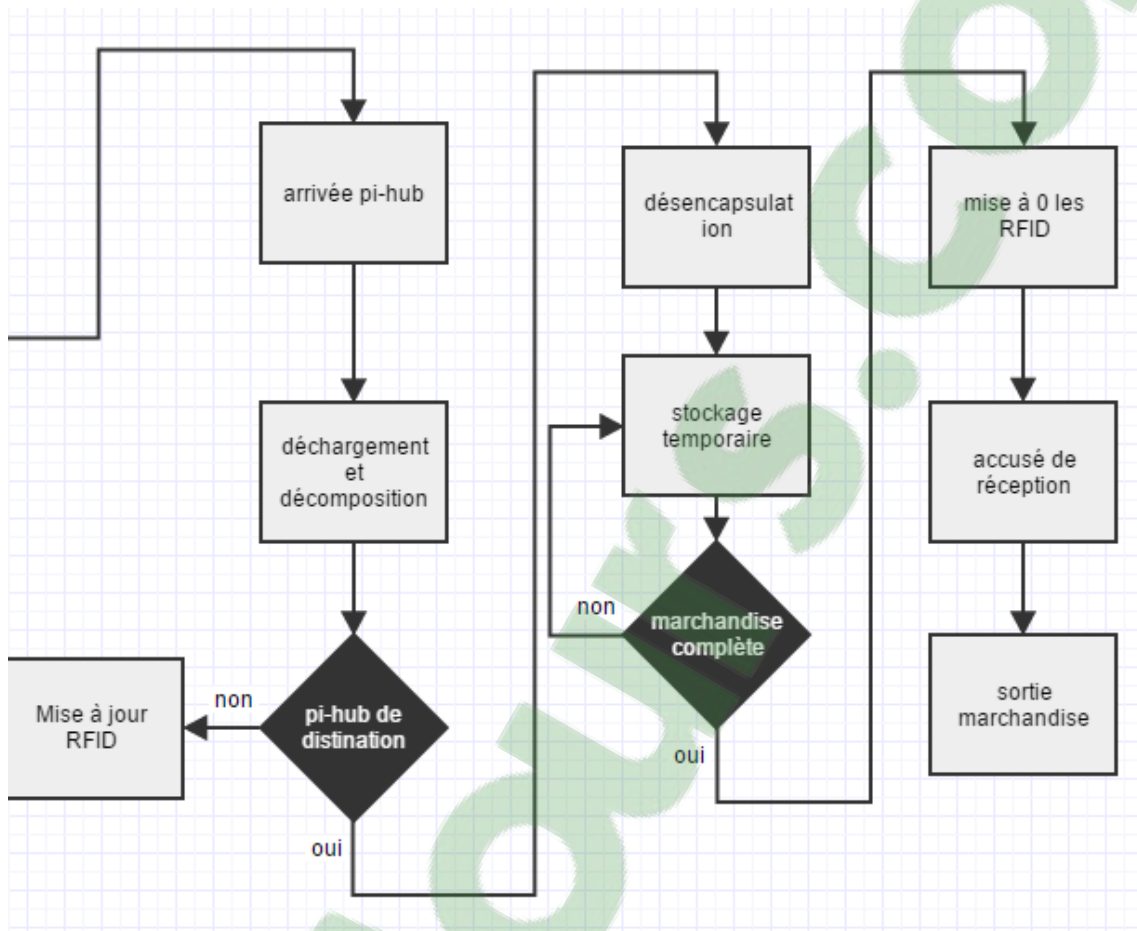


FIGURE 4.15 – schéma descriptif de la 3eme phase

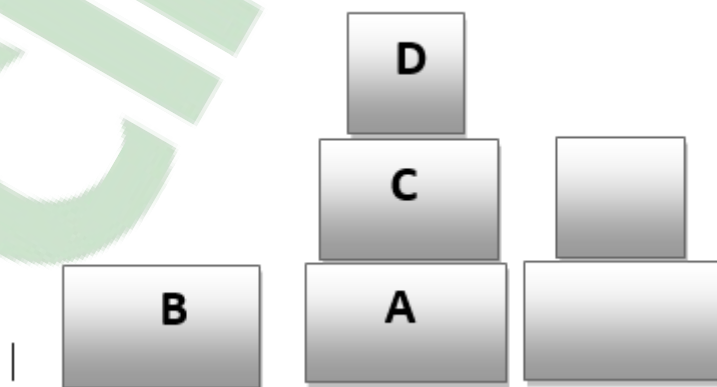


FIGURE 4.16 – remaniement des conteneurs

1. *La première solution* c'est un système de triage, elle consiste de créer des zones au niveau des pi-hubs et les sites d'expédition, de telle sorte que chaque zone doit regrouper les conteneurs qui ont la même destination, puis on va créer des piliers pour le positionnement des conteneurs, dont chaque pilier doit regrouper les conteneurs qui ont la même taille. Puisque le chargement des conteneurs dans le moyen de transport ce fait selon l'ordre décroissant comme nous montre la figure 4.17 ci-dessous :

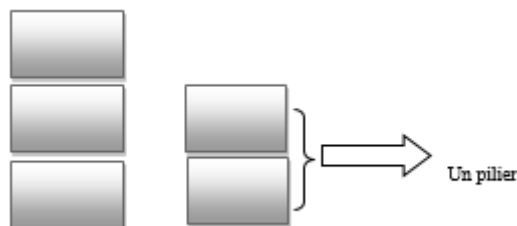


FIGURE 4.17 – une zone pour le regroupement des conteneurs

2. *La deuxième solution* consiste de créer une structure automatisée de plusieurs étages, dont chaque étage se compose d'un ensemble des blocs doté par un système de contrôle et de localisation, ces blocs doivent contenir l'ensemble des conteneurs, et puisque ses conteneurs sont doté par des systèmes de RFID dans ce cas leurs extraction sera facile , donc on va manipuler que le conteneur désiré, comme nous montre la figure 4.18 suivante :

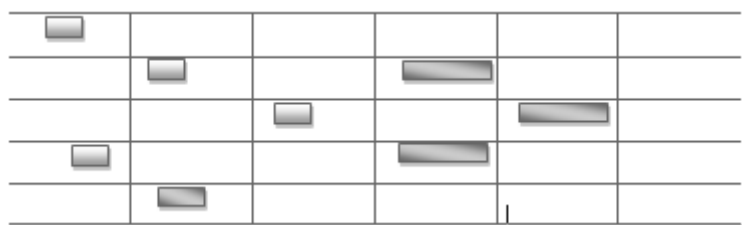


FIGURE 4.18 – les étages d'extraction des conteneurs

4.4 Traçabilité

La traçabilité est définie comme l'aptitude à retrouver l'historique, l'utilisation ou la localisation d'un article ou d'une activité, au moyen d'une identification enregistrée, ceci implique deux aspects majeurs : d'une part, l'identification du produit par un marquage, d'autre part, l'enregistrement de données liées à ce point tout au long de la chaîne de production, de transformation et de distribution.

La traçabilité logistique également nommée tracking assure le suivi quantitatif des produits, leur localisation ainsi que leurs destinations et leurs origines à travers tous les maillons de la chaîne logistique de la fabrication jusqu'à la consommation.

Elle contrôle la réception, le chargement et le suivi de la marchandise ainsi le suivi des commandes et des stocks, elle permet un respect très stricte de la réglementation et réduit les erreurs humaines, elle se fait grâce aux codes à barre ou les puces RFID.

Les puces RFID comparées aux codes à barre sont mieux réputées :

- Elles peuvent être lues à une distance plus grande que les codes à barre.
- Elles ne sont pas obligées d'être placées au niveau du lecteur.
- Plusieurs puces peuvent être lues à la fois et à un rythme plus rapide que celui des codes à barre.
- Les puces ou les étiquettes RFID sont des dispositifs lecture et écriture.
- Les RFID contiennent une sécurité d'un niveau élevé, les données peuvent être chiffrées et protégées par un mot de passe comme elles peuvent être supprimées d'une façon permanente.
- Les étiquettes RFID portent de grandes capacités de données telles que la maintenance des produits, les historiques de transport et les dates d'expiration ; Qui peuvent tous être programmés à l'étiquette.
- Une fois qu'ils sont mis en place, elles peuvent être exécutées avec une participation humaine minimale.
- Les étiquettes RFID sont plus réutilisables et robustes car elles sont protégées par un couvercle en plastique.

4.4.1 Puces RFID

La RFID : Radio Frequency IDentification : Technologie d'identification automatique qui utilise le rayonnement radiofréquence pour identifier les objets porteurs d'étiquettes lorsqu'ils passent à proximité d'un interrogateur.

La puce ou l'étiquette RFID (tag en anglais) s'appose sur des produits de toute nature, elle est performante pour la traçabilité et l'identification car elle peut s'apposer aussi sur les cartons d'emballage et les palettes de transport, elle se compose d'une puce d'une très petite taille (voir 1 millimètre carré) et d'une antenne, ceux deux composant sont placés sur un support d'une taille qui varie d'une dizaines et quelque centaines de millimètres carrés (figure 4.19), et cette puce miniature peut contenir en effet plus d'information que le code à barre, soit 96 bits à 2 Mbits.

Il est ainsi possible d'y inscrire des données identifiant le produit comme un ob-

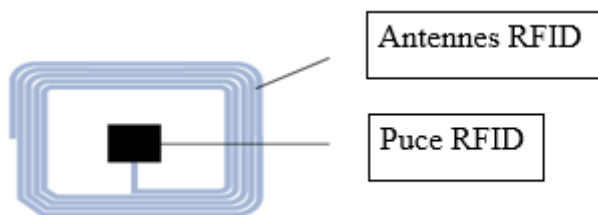


FIGURE 4.19 – composition d'une puce RFID

jet unique au monde (à l’instar de la plaque minéralogique d’une voiture), alors que le code à barres ne spécifie que la famille du produit (la marque et le modèle, par exemple). Autre différence, les tags communiquent avec le lecteur par ondes électromagnétiques, ce qui permet d’en lire des centaines d’un coup, à distance et sans intervention humaine. Il existe 3 types des puces RFID, active, passive, et BAP :

1. *Systèmes RFID actifs*

Dans les systèmes RFID actifs, les balises ont leur propre émetteur et source d’alimentation. Habituellement, la source d’alimentation est une batterie. Les étiquettes actives diffusent leur propre signal pour transmettre les informations stockées sur leurs micro-puces.

Les systèmes RFID actifs fonctionnent généralement dans la bande ultra-haute fréquence UHF¹ et offrent une portée allant jusqu’à 100 m. En général, les étiquettes actives sont utilisées sur des objets volumineux, tels que des wagons, de grands conteneurs réutilisables et d’autres biens qui doivent être suivis sur de longues distances.

Il existe deux principaux types d’étiquettes actives : les transpondeurs et les balises. Les transpondeurs sont réveillés lorsqu’ils reçoivent un signal radio d’un lecteur, puis ils se mettent sous tension et répondent en transmettant un signal. Parce que les transpondeurs ne rayonnent activement les ondes radio jusqu’à ce qu’ils reçoivent un signal lecteur, ils conservent la vie de la batterie.

Les balises sont utilisées dans la plupart des systèmes de localisation en temps réel (RTLS²) afin de suivre l’emplacement précis d’un bien en continu. Contrairement aux transpondeurs, les balises ne sont pas alimentées par le signal du lecteur. Au lieu de cela, ils émettent des signaux à des intervalles prédéterminés. Selon le niveau de précision de localisation requis, les balises peuvent être réglées pour émettre des signaux toutes les quelques secondes ou une fois par jour. Chaque signal de balise est reçu par des antennes de lecteur qui sont positionnées autour du périmètre de la zone surveillée et communique l’information et la position d’identification de l’étiquette.

2. *Systèmes passifs RFID*

Dans les systèmes RFID passifs, le lecteur et l’antenne du lecteur envoient un signal radio à l’étiquette. L’étiquette RFID utilise alors le signal transmis pour se mettre sous tension et réfléchit l’énergie vers le lecteur.

Les systèmes RFID passifs peuvent fonctionner dans les bandes radio basse fréquence (LF³), haute fréquence (HF⁴) ou ultra-haute fréquence (UHF). Comme les plages passives du système sont limitées par la puissance de la rétrodiffusion de l’étiquette (le signal radio réfléchi par l’étiquette au lecteur),

1. Ultra High Frequency
2. Real Time Localisation System
3. low frequency
4. high frequency

elles sont généralement inférieures à 10 m. Comme les étiquettes passives ne nécessitent pas de source d'alimentation ou d'émetteur et nécessitent seulement une puce de repérage et une antenne, elles sont moins chères, plus petites et plus faciles à fabriquer que les étiquettes actives.

Les étiquettes passives peuvent être emballées de différentes façons, selon les exigences spécifiques de l'application RFID. Par exemple, ils peuvent être montés sur un substrat ou intercalés entre une couche adhésive et une étiquette en papier pour créer des étiquettes RFID intelligentes. Les étiquettes passives peuvent également être incorporées dans une variété de dispositifs ou de conditionnements pour rendre l'étiquette résistante aux températures extrêmes ou aux produits chimiques durs.

Les solutions RFID passives sont utiles pour de nombreuses applications et sont généralement déployées pour suivre les marchandises dans la chaîne d'approvisionnement, inventorier les actifs du commerce de détail, authentifier des produits tels que les produits pharmaceutiques et intégrer la RFID dans une variété de dispositifs. La RFID passive peut même être utilisée dans les entrepôts et les centres de distribution, en dépit de sa plus courte portée, en installant des lecteurs aux points d'étranglement pour surveiller le mouvement des actifs.

3. *Systèmes passifs assistés par batterie BAP*⁵

Une étiquette RFID passive assistée par batterie est un type d'étiquette passive qui incorpore une caractéristique d'étiquette active cruciale. Alors que la plupart des étiquettes RFID passives utilisent l'énergie du signal du lecteur RFID pour alimenter la puce de la balise et la rétrodiffusion vers le lecteur, les balises BAP utilisent une source d'alimentation intégrée (habituellement une batterie) pour alimenter la puce. Le lecteur peut être utilisé pour la rétrodiffusion. Contrairement aux transpondeurs, les balises BAP n'ont pas leurs propres émetteurs.

4.5 Le routage

Le routage est le mécanisme par lequel des chemins sont sélectionnés dans un réseau pour acheminer les données d'un expéditeur jusqu'à un ou plusieurs destinataires. Pour définir le routage sur Internet physique, il faut d'abord éclaircir le fonctionnement du routage sur l'Internet digital qui sert comme référence.

Internet est un ensemble de réseaux connectés. Même s'il permet de relier tous les nœuds cela ne signifie pas l'existence d'un arc entre chaque deux nœuds, par contre, il existe une interconnexion entre des grands réseaux, cet ensemble est appelé un système autonome, dont chacun est géré d'une manière indépendante de l'autre mais en respectant les protocoles et les normes, ou on trouve deux types de routeurs : les routeurs frontières pour communiquer entre les systèmes autonome via le protocole

5. Battery Assisted Passif

EGP (exterior gateway protocol) ou BGP (border gateway protocol) et les routeurs internes pour communiquer au sein du système autonome via le protocole IGP (interior gateway protocol).

La figure 4.20 montre deux systèmes autonomes AS1 et AS2, les routeurs de frontières R1 et R2, et le protocole BGP utilisé pour assurer la communication entre ces deux réseaux.

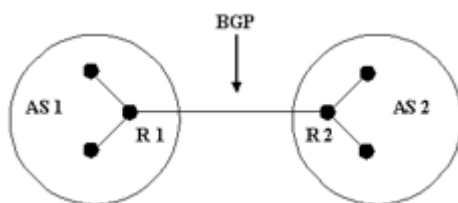


FIGURE 4.20 – les systèmes autonomes et le protocole BGP

La transposition de cette topologie des réseaux digitaux à l'Internet physique a mené à proposer une structure pareille, un système autonome physique qui représente les prestataires logistiques ou les opérateurs logistiques, un pi-hub interne et pi-hub frontière au sens propre du terme en raison de la notion des douanes donc ces pi-hubs frontières sont des plateformes internationales d'échanges (aéroport, ports et gars de trains internationaux) pour une facilitation de contrôle des flux, de plus chaque pays a ses propres règles de transfert de marchandises et ses propres moyens de transport.

Le tableau 4.3 suivant montre la différence entre un système autonome digital et un système autonome physique (rochdi sarraj) :

Les systèmes autonomes physiques peuvent être des pays, pour des raisons de douanes et de réglementations comme on peut trouver les sous-systèmes autonomes physiques pour désigner les régions.

Les algorithmes à état de liens sont utilisés pour définir le routage sur l'Internet digital, chaque nœud communique à l'ensemble des nœuds du SA digital l'état (les informations de changements des états des arcs) de ses liens avec ses voisins directs, de cette manière il est capable de connaître le chemin complet depuis la source mais il ne garde en mémoire que le nœud prochain, ce qui n'est pas acceptable dans l'Internet physique, il faut que le chemin complet soit mémorisé, opération qui puisse être faite par les puces RFID. Ainsi, pour chaque passage d'un conteneur au niveau d'un nœud, il sera orienté vers la prochaine destination grâce aux données enregistrées.

En logistique, de plus de la nécessité de connaître le chemin depuis la source, il est important aussi de respecter les contraintes de temps, de cout, des émissions,

Internet digitale	Internet physique	détails dans l'Internet physique
Routeur frontière	pi-hub ou plateforme frontière	Les nœuds de transit entre un opérateur logistique de l'Internet physique et un autre opérateur logistique.
Routeur interne	pi-hub interne faisant partie du réseau d'un prestataire ou opérateur, SA physique	Plateforme logistique appartenant à un opérateur.
Protocole BGP	Protocole de routage de conteneurs entre deux prestataires	Politique de routage d'un SA physique vers ses partenaires. Définition d'un engagement de qualité de service/client.
Protocole IGP	Protocoles de routage interne à un opérateur	Politique de routage de conteneurs à l'intérieur de son réseau logistique.

TABLE 4.3 – la différence entre les SA digitaux et les SA physique

d'où vient l'intérêt de cet algorithme (états des liens) et sa capacité à résoudre les problèmes multicritères et multi-contraintes.

Le modèle inspiré de l'algorithme à états de liens calcule les informations de routage d'une manière indépendante, comme il peut générer des chemins multiples en prenant en compte les métriques prédéfinis et il est mieux adapté aux facteurs d'échelle, l'inconvénient majeur est la consommation importante des ressources de mémoire et de calcul car au niveau de chaque nœud, on a besoin de recalculer la prochaine destination et d'appliquer les algorithmes du calcul du meilleur chemin par exemple l'algorithme DIJKSTRA qui se base sur un principe de découverte pas à pas des nœuds voisins et de sélection progressive des meilleurs morceaux de chemins.

On note que l'Internet physique à une structure hiérarchique formée de plusieurs réseaux (SA).

Pour illustrer ce propos, nous considérons deux systèmes autonomes physiques, un émetteur E appartenant à SA1 et récepteur R appartenant à SA2. Le fonctionnement du système proposé serait ainsi figure 4.21 :

- Le nœud E demande au portail associé au SA2 de lui fournir le meilleur chemin (selon les métriques de la demande, un chemin étant une liste de prestations) entre chaque nœud frontière du SA2 et R.

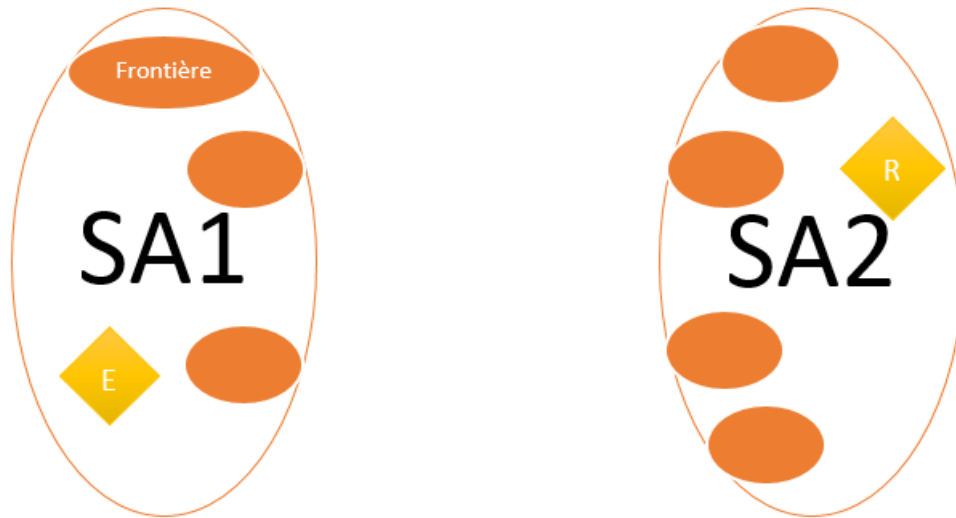


FIGURE 4.21 – deux systèmes autonomes

- Le nœud E demande au portail associé au SA1, qui a connaissance des échanges entre SA, de trouver le meilleur chemin entre chaque nœud frontière de SA1 et chaque nœud frontière de SA2 (le sens du chemin ayant bien évidemment un sens primordial).
- A ce stade, les informations brutes obtenues par E sont représentées dans la Figure 4.22 (où les arcs représentent les meilleurs chemins).

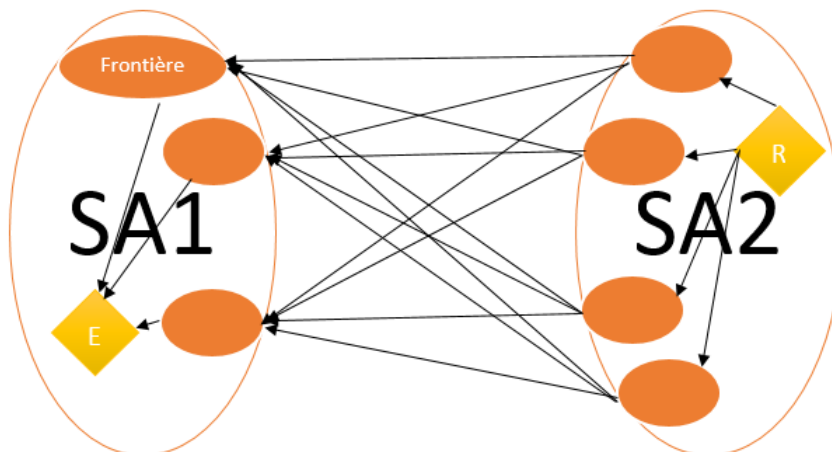


FIGURE 4.22 – les chemins possibles entre les SA

Dans l'optique d'alléger la mémorisation de données, il convient de ne garder que les informations utiles et donc seul un meilleur chemin entre chaque nœud frontière du SA2 et la destination R sera retenu (Figure 4.23).

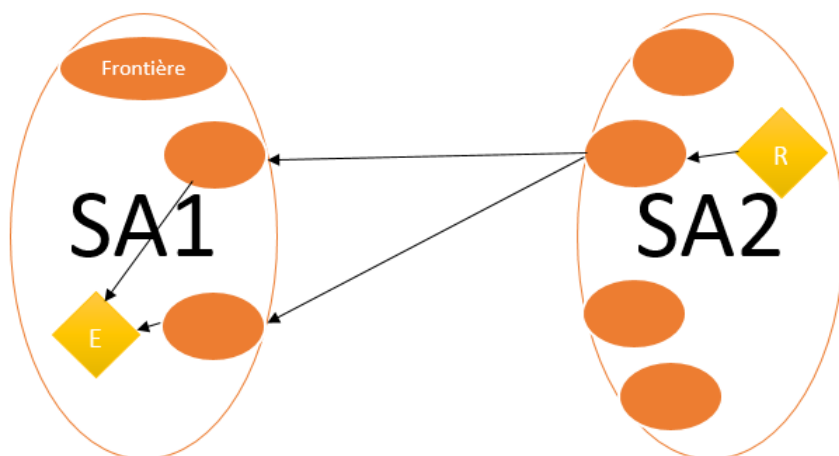


FIGURE 4.23 – les chemins optimaux entre les deux SA

Le nœud E demande au portail associé au SA1, le meilleur chemin entre E et chaque nœud frontière du SA2. Il peut à ce stade calculer le meilleur chemin avec des métriques exactes depuis l'émetteur jusqu'à la destination. Il pourra aussi, en cas de besoin, connaître l'ensemble du chemin qui sera parcouru.

On peut remarquer la complexité d'une telle opération. En effet, si on considère n le nombre de nœuds du SA1 et p le nombre de nœuds frontières au SA2, on aura $(n \cdot p + n + p)$ meilleurs chemins calculés, pour router un conteneur, répartis en :

- $n \cdot p$ meilleurs chemins calculés entre les différents nœuds frontières de SA1 et ceux de SA2.
- p meilleurs chemins entre la destination R et chaque nœud frontière de SA2.
- n meilleurs chemins entre le départ E et chaque nœud frontière de SA1.

Ce modèle nécessite des capacités de calcul considérables surtout si nous considérons des millions de conteneurs qui transiteront dans le réseau de l'Internet Physique. Des simplifications sont possibles au niveau du modèle de routage proposé, en limitant, par exemple, les choix de prestation entre certains nœuds, ce qui reviendrait à limiter les choix possibles lors de la recherche du plus court chemin. A titre d'exemple, on pourrait imposer aux algorithmes de considérer pour une zone d'un SA une seule sortie ou entrée en passant par un nœud frontière bien spécifique. On pourrait par exemple dire, pour la ville d'Oran, toutes les expéditions partant à destination du continent américain doivent transiter par le nœud frontière, l'aéroport Ahmed Ben Bella.

On peut aussi simplifier ce modèle en considérant des métriques standards à l'extérieur du SA de source. Ainsi, pour un SA1 donné, on aurait par exemple un unique coût pour atteindre n'importe quel nœud d'un SA2. Avec une telle simplification, on ne peut plus connaître l'ensemble du chemin jusqu'à destination finale,

sauf si source et destination sont dans le même SA. Cette solution revient à dire que l'on opte pour un réseau permanent pour la partie extérieure du SA, avec donc des coûts standards. Il s'agirait alors d'une optimisation partielle.

Il est important de souligner que les rayons des SA n'ont pas encore été définis. En effet, plus un SA sera grand, plus ses routeurs frontières auront besoin de la capacité nécessaire pour gérer l'ensemble des flux physiques et des flux d'informations lié à la détermination du chemin. D'autre part, si nous intégrons le fait que le réseau Internet Physique serait structuré en plusieurs niveaux de systèmes autonomes, les portails que nous avons définis au niveau de chaque SA pourraient ne pas suffire en cas de grand nombre d'interactions entre SA du réseau. Dans ce cas, afin de limiter la tailles des données dans les portails associés aux SA, on propose d'avoir un portail de routage associé à chaque niveau de SA. Ce type de portail aurait une connaissance sur les interactions entre les SA qui le composent, et permettrait la communication entre les portails de même nature. Ainsi, le portail de routage associé à un SA aura une connaissance limitée aux interactions entre les SA de son niveau hiérarchique. Pour toute autre information qui concerne d'autres niveaux dans la topologie du réseau PI, il faudra faire appel aux portails associés à ces niveaux.

4.5.1 L'adressage

L'identification de tout élément dans l'Internet digital se fait par l'adresse IP, le routeur étant le distributeur d'un réseau local, il attribue à chaque dispositif connecté à lui une adresse IP local comme le montre la figure 4.24.

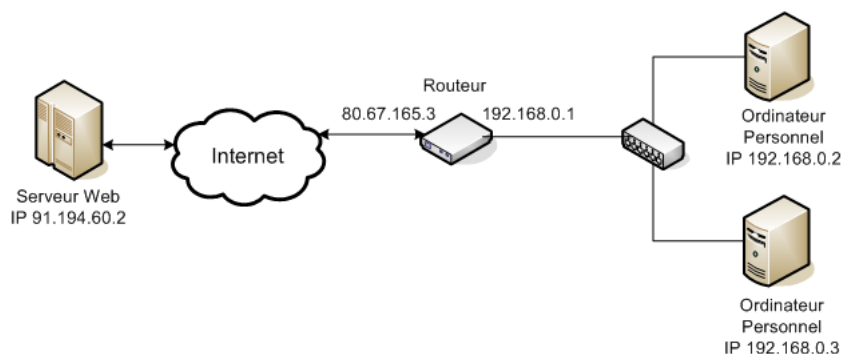


FIGURE 4.24 – l'adresse IP sur Internet et l'adresse IP local

Une adresse IPv4 se compose de 32 bits, soit 4 octets ou 4 294 967 296 adresses théoriques, sa représentation utilise la notion décimale pointée. En d'autres termes, chaque octet est séparé par un point et peut prendre n'importe quelle valeur comprise entre 0 et 255.

Basé sur cet adressage, nous proposons une représentation similaire et numérique pour l'adresse littéraire du récepteur ou d'émetteur, dans un premier stade nous supposons que cet adressage est permanent et statique, c'est-à-dire une entreprise à une et une seule adresse, la représentation est basée sur la localisation géographique, en

effet si un annexe d'une entreprise X se trouve dans une autre région il se voit attribué une autre adresse complètement différente que l'adresse de son unité mère, donc notre modèle est le suivant :

A.B.C.D.E

D'où A représente l'indicatif téléphonique du pays, B désigne la région par exemple l'ouest, C représente l'indicatif téléphonique de la wilaya ou le département, D représente la ville ou la zone industrielle, alors que E représente le numéro d'utilisateur dans la ville ou zone industrielle correspondante.

C'est une représentation qui peut être semi-normalisée c'est-à-dire le chiffre donné pour les pays est connu par tous les autres pays ainsi que les départements de chaque pays et les régions tandis que pour les villes et les entreprises le chiffre donné peut être géré d'une manière indépendante d'un pays à un autre ou d'une région à une autre, en effet une table peut être réservée pour les indicatifs téléphoniques des pays ainsi que leurs indicatifs des départements, pour les régions, nous proposons ce tableau (table 4.4) :

<i>région</i>	<i>représentation</i>
est	1
ouest	2
sud	3
nord	4
centre	5
sud-est	31
sud-ouest	32
nord-est	41
nord-ouest	42
est-sud	13
est-nord	14
ouest-sud	23
ouest-nord	24

TABLE 4.4 – proposition d'une représentation numérique des régions

Par exemple : 213.41.13.00.1 représente une entreprise dans une zone industrielle dans la ville de Tlemcen qui se situe dans le nord-est algérien.

Les numéros qui existent dans le modèle d'adressage représentent les codes des pi-hubs existant sauf pour le champ E qui représente le code de l'utilisateur Internet physique.

Exemple du choix du mode de transport en se basant sur cet adressage

Si on se base sur ce modèle d'adressage pour définir un choix primaire du mode de transport, on aura une combinaison de plusieurs modes de transport, on considère qu'une entreprise possédant l'adresse suivante 25.1.26.32.5 veut envoyer une marchandise à un grossiste d'une adresse 65.32.58.1.25.

On observe que les indicatifs des pays sont différents donc on opte pour le mode maritime en cas d'existence d'une voie qui le permet sinon ou choisi le train, et dans le cas très urgent on utilise l'avion, depuis 65 jusqu'à 32, ou du 1 jusqu'au 25 (en cas d'émission) le mode de transport utilisé est le train, et on continue avec le train jusqu'à 58 ou du 26 (en cas d'émission), il est favorable de conserver le train jusqu'au 1 ou depuis 32 (en cas d'émission) sinon on utilise le camion, et puis passer au camion du 1 au 25 ou depuis 5 au 32 (en cas d'émission)(figure 4.25).

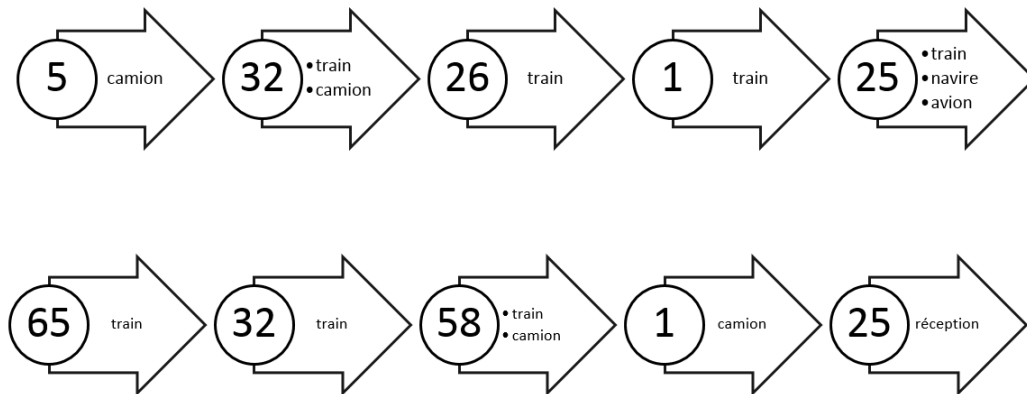


FIGURE 4.25 – exemple d'adressage

4.6 Les cas critiques

Comme tous les modèles et les concepts existant, notre protocole n'est pas parfait et a des points critiques ou des points dont il ne paraît pas fonctionnel, cette section va présenter comment traiter ces points critiques :

- **Le produit est très grand** : comme une voiture, il n'est pas possible d'encapsuler un grand produit mais il est possible de le transporter, et de lui insérer une puce RFID pour assurer sa traçabilité.
- **produit très petit** : comme un colis ou bien un bijou, dans ce cas le produit est encapsulé avec d'autre produit de même classe ou de même nature et de même destination, on obtiendra un pi-conteneur chargé de deux ou plusieurs produits et dont chaque produit une puce RFID est insérée.
- **Une quantité de marchandise très grande** : le volume ne pose pas de problème, la marchandise sera décomposée et encapsulée dans des pi-conteneur modulaire selon son volume, on peut trouver plusieurs produits dans le même pi-conteneur.

- **Produit à flux continu** : un produit à flux continu, comme le pétrole, le gaz, l'eau et l'électricité, est pour le moment un produit refusé par l'Internet physique, il n'y a aucune étude sur ce type de produits, et donc ça serait pas possible de le trouver présent dans le système pour le moment.
- **Un produit périssable** : dans le protocole on trouve une étape du choix du mode de service, donc selon la date celui-ci est défini.
- **Un produit perdu** : grâce à la traçabilité qu'offre les puces RFID, il est possible de suivre un produit dans le système et de préciser sa localisation.
- **Moyen de transport en panne** : il se peut qu'un moyen de transport tombe en panne lors du service, donc l'utilisation d'un autre moyen de transport du même mode est possible ou le changement du mode est permis si c'est nécessaire.
- **Adresse erronée** : dans ce cas on considère l'adresse du départ comme adresse de destination et on renvoie le produit.
- **Marchandise incomplète** : le restant de la marchandise est recherché grâce à la traçabilité offerte par les RFID, et selon la localisation de ce manque de marchandise un des deux solutions suivantes est choisie ; stockage temporaire ou changement du type de service par exemple augmenter vers l'urgent.
- **Marchandise endommagée** : malgré les précautions un endommagement de la marchandise peut avoir lieu, après un accident de route, une incendie dans un pi-hub ou autres, dans ce cas on ne peut rien faire, sauf si une procédure d'assurance est mise en place.

4.7 Les avantages du protocole proposé

Nous nous sommes basées sur le protocole TCP/IP et sur la méthode dont un message est envoyé dans l'Internet digital pour réussir à proposer un modèle de transport de la marchandise sur l'Internet physique, les points positifs qu'assure notre modèle sont :

- Une meilleur manipulation de la marchandise via sa classification et le groupement des produits de la même classe.
- La fragmentation de la marchandise sous forme de pi-conteneurs afin de faciliter les opérations de chargement, déchargement, manutention, transport, etc.
- Une traçabilité de haut niveau, en utilisant les puces RFID et en mémorisant les données en cas d'utilisation ultérieur.
- Minimisation des chemins en définissant le routage spécifique de chaque expédition depuis la source, par des algorithmes dédié à ce propos.
- Utilisation du transport multimodal en insistant sur le transport ferroviaire.
- Un choix du mode de transport selon la priorité, la disponibilité et les métriques prédéfinis.
- Minimisation des pertes d'espace en calculant le volume des pi-conteneurs adéquats, ainsi le volume des grands conteneurs et l'utilisation de l'algorithme BFD lors du chargement.
- L'utilisation de la mutualisation dans les moyens de transport afin de minimiser leurs nombres, et donc la minimisation des émissions de CO2 et de

transporteurs.

- Un contrôle permanent de la marchandise au niveau de chaque pi-hub.
- Un stockage temporaire au niveau de chaque pi-hub pour vérifier la marchandise si le pi-hub actuel est le pi-hub de destination.
- Un système d'adressage qui prend en compte les pays et les régions en intégrant la notion des systèmes autonomes et les pi-hubs frontières.

4.8 Les limites du protocole proposé

Le modèle proposé est un modèle général, nous avons essayé d'étudier l'acheminement de la marchandise depuis son arrivé et son encapsulation jusqu'à son désencapsulation et sa réception par le client ou le récepteur, tout en prenant en compte la traçabilité, les contrôles à chaque phase, et les tests pour un meilleur service, cependant ce modèle ne considère pas quelques points et ses points critiques sont les suivants :

L'adressage

Le modèle d'adresse proposé n'est pas dynamique, sa notion de base est tirée depuis l'IPv4 qui est dynamique et se change à chaque tentative de connexion, mais l'ID de l'utilisateur est conservé grâce à des serveurs, c'est-à-dire un utilisateur est dans un point fixe du globe, il possède un identifiant fixe, permanent et unique dans un serveur mais il se voit attribué une adresse IP différente à chaque connexion. Nous n'avons pas pu adopter l'idée vu que dans l'Internet physique n'y pas l'équivalent du serveur, donc nous avons opté pour un adressage statique, ou on utilise une base de donnée et chaque utilisateur d'Internet physique à une adresse permanente.

Réglementation

Les pi-hubs frontières sont les ports, les aéroports, les stations de train internationales, ou les papiers de la marchandise et les conventions entre pays sont vérifiés, toutefois, notre modèle proposé ne prends pas en charge ses papiers ou ses conventions, vu que chaque pays à ses propres règles et lois.

L'agentification

Pour les opérations de manutention, de transport, d'encapsulation, de chargement... on a besoin des opérateurs, des techniciens, des ingénieurs, des logisticiens... mais ils ne sont pas considérés dans notre modèle, la gestion des ressources humaines est importante pour le bien déroulement de l'acheminement notamment la gestion des risques dont les logisticiens sont exposés, l'aspect humain est une partie manquante dans notre modèle.

L'allocation des pi-hubs

Le choix de la localisation des pi-hubs est un choix stratégique qui permet une optimisation durable dans les trajets, ainsi la prise en compte des heures de route

entre chaque deux pi-hubs et la garantie de la plus courte distance possible au chauffeur lui offre un meilleur milieu de travail, mais notre modèle néglige la localisation de ces pi-hubs.

4.9 Conclusion

Suivant la procédure d'envoi d'un message sur l'Internet digital via le protocole TCP/IP, nous avons proposé un protocole similaire, en effet le message est envoyé sous forme de paquet joint d'une en-tête, la même chose se passe dans l'Internet physique, en Internet digital l'en-tête contient les adresses IP du destinataire et du destinataire, en Internet physique l'en-tête est sous forme d'une puce RFID contenant toutes les informations relatives au produit, y compris le routage, différemment de l'Internet digital le routage est prédéfini dans l'Internet physique. Nous avons aussi mentionné les cas critique que peuvent paraître dans n'importe quel système logistique.

nulle recherche est parfaite, à la fin de ce chapitre, nous avons présenté les points non-traités par notre protocole proposé, ce qui offre l'opportunité de s'appuyer sur notre travail pour le développer et l'améliorer en incluant ces points.

Conclusion générale

Ce travail a pour but d'étudier les interconnexions dans les réseaux logistiques et d'améliorer les performances du transport de marchandises pour mieux consolider les flux, dans ce cadre nous avons proposé un protocole de transport (internet physique), qui gère tous les aspects depuis la conteneurisation de la marchandise jusqu'à son déchargement au pi-hub final, chose qui n'était pas évidente vu la nouveauté du domaine.

Pour arriver à créer ce modèle, nous avons identifié dans un premier temps les éléments clefs nécessaires à l'interconnexion des réseaux logistiques, nous avons ainsi analysé la solution proposée par Mr.Serraj dans sa thèse (Interconnexion des réseaux logistiques : éléments de définition et potentiel) qui apporte beaucoup des limites et qui nécessite plus de détail et de développement. en se basant sur les faiblesses et les limites Nous avons proposé un protocole plus opérationnel conforme aux pratiques de la majorité des secteur d'activité.

Cette recherche a permis de montrer l'intérêt de l'interconnexion des réseaux numériques pour interconnecter les réseaux logistiques, en effet même si nous avons utilisé le concept de l'internet pour réaliser notre protocole, on note tout de même que les solutions apportées sont différentes de celle des réseaux informatiques, car il était inconcevable de transporter les conteneurs à l'image des datagrammes utilisés par le protocole TCP/IP. De plus l'adressage, le routage, le choix des moyens de transport et l'affectation des conteneurs que nous avons développés sont différents à ceux utilisés dans les réseaux informatiques.

Notre protocole proposé, à notre connaissance, est considéré comme le premier protocole pour le transport des marchandises dans le cadre de l'interconnexion des prestations logistiques, qui va contribuer certainement à enrichir le concept de l'internet physique, cependant ce modèle néglige quelques points qui constituent en soit aussi des perspectives de recherches futures.

C'est ainsi que notre recherche ne prétend pas d'étudier tous les domaines de la logistique dans ce point de vue, notre protocole s'est concentré particulièrement sur l'aspect de transport qui ne représente qu'un maillon de la chaîne logistique, nous espérons après ce travail de développer notre modèle pour qu'il soit relatifs à la gestion de stock pour suivre le mouvement des conteneurs durant leurs acheminement, ainsi il serait intéressant d'étudier l'aspect humain et la gestion des risques.

En fin, notre recherche représente un premier pas exploratoire vers l'interconnexion des réseaux logistiques, Plusieurs défis restent à relever pour façonner vrai-

ment notre vision et ainsi pour concrétiser ce nouveau concept. Cela exigera beaucoup de collaboration multidisciplinaire.

Perspectives

Notre recherche a représenté une collaboration parmi d'autre vers l'interconnexion des réseaux logistiques. Cependant, plusieurs défis restent à relever dans le cadre de génération de protocole de transport de marchandise. Dans ce paragraphe nous présentons le défi principal de notre travail : la critique et la validation du protocole proposé.

En premier temps nous aspirons à ce que :

- Le protocole de transport que nous avons proposé et qui est assez basique soit critiqué objectivement et étudié étape par étape.
- Le protocole soit validé à travers une simulation d'une chaîne logistique avant et après l'implantation des différentes règles que dictent évidemment le protocole, et l'observation et l'étude des résultats.
- L'étude de la faisabilité du système d'adressage proposé et le développer pour offrir une couverture plus large pour les abonnés de l'Internet physique.

D'un autre angle, l'Internet physique a besoin de plusieurs facteurs pour bien mener sa fonction, parmi ces facteurs le système d'information qui doit être présent dans tous les protocoles, nous avons mentionnée les puces RFIDs pour les pi-conteneurs et les conteneurs durant le transport mais il reste à définir le type de puce et la manière d'y injecter les informations et quelles informations ?

Bibliographie

- [1] la banque mondiale.
- [2] le container.
- [3] Pierre Medan Anne Gratacap. *Management de la production*. DUNUD, 2012.
- [4] eric ballot benoit montreuil. *l'internet physique*. Predit, 2014.
- [5] CSCM. Council of supply chain management professionals.
- [6] Collin Thivierge Eric Ballot, Benoit Montreuil. *FUNCTIONAL DESIGN OF PHYSICAL INTERNET FACILITIES : A ROAD-RAIL HUB*. MHIA, Charlotte, NC, U.S.A., 2012.
- [7] GUEZZEN IMENE. Résolution du problème du choix des pi-conteneurs dans l'internet physique. Master's thesis, Abou Bekr belkaid Tlemcen, 2016.
- [8] Fabrice LAMAINQUE Jean François PILLOU. *tous sur les réseaux et internet*., DUNOD.
- [9] kozlenkova irina et al. *journal of retailing*, 2016.
- [10] xavier laly. *Alexandre le grand précurseur de la logistique moderne*. 2003.
- [11] Paul Mathias. *qu'est-ce que l'internet*. Vrin.
- [12] benoit montreuil. *manifester pour l'inetnet physique*. 2011.
- [13] benoit montreuil. *Towards a physical internet : meeting the global logistics sustainability grand challenge*. cirrelet : centre universitaire de la recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport, 2011.
- [14] rochdi sarraj. *Interconnexion des réseaux logistiques : éléments de définition et potentiel*. PhD thesis, 2013.
- [15] Colton T. *Growth of world fleet since WW2*. 2004.
- [16] Thérèse Bonte Damien Trentesaux Yves Sallez, Thierry Berger. *Étude de stratégies de groupement au sein d'un cross dock de l'Internet Physique*. Université Lille Nord de France, UVHC, LAMIH-Lab., 2015.

RESUME : la chaine logistique, un système indépendant et fermé, réponds aux besoins de ses acteurs par le transport et le stockage des biens entre eux, cette fragmentation conduit à un manque d'efficience et d'efficacité surtout au niveau environnemental, et devant l'obligation de baisser les émissions de CO2, une contrainte qui touche directement le transport qui est une fonction de la logistique , une restructuration de cette dernière est imposée, le premier objectif de ce mémoire est de définir les notions de bases de l'alternatif, qui servira à interconnecter les réseaux logistique et les globalisés, de la logistique classique appelé l'Internet physique et son rapport avec l'Internet digital ainsi les similitudes qui y sont liées, le deuxième objectif est de proposer un protocole basique de transport en définissant les principales étapes pour tirer profit du transport multimodale et de la mutualisation, pour enfin présenter les limites de ce travail qui offrent l'opportunité pour d'autres pistes de recherche.

Mots clés : Protocoles de transport, Adressage, Interconnexion, Internet Digital, Internet Physique, Développement durable, Mutualisation, Transport multimodal.

ABSTRACT : The Supply chain is an independent and closed system catering to the needs of its members or actors including the transportation and storage of products among them , the segmentation and lack of communication between its different parts leads to a lack of efficiency and effectiveness of the whole distribution process , and especially on the environmental front , and due to the necessity of lowering the CO2 emissions associated with it, a constraint that directly affects the transportation which is pivotal to logistics , a reconstruction is dually needed , the first objective of this paper is to define the basics of the suggested alternative, which aims to interconnect the logistic networks and globalize them, of the classical logistics known as the physical internet and its relation with the digital internet and the similarities that exist between them, the second objective is to propose a basic transportation protocol and define it's main aspects to take advantage of multimodal transportation and mutualisation to finally show the possibilities that this work may offer for future studies .

Key words : Transportation protocoles, Adressing, Interconnexion, Digital Internet, Physical Internet, Sustainable development, Mutualisation, Multimodal transportation.

ملخص: السلسلة اللوجستية، نظام مغلق و مستقل، يجابوب على احتياجات مستعمليه من نقل و تخزين للسلع بينهم، هذه التجزئة تقود الى نقص الكفاءة و الفعالية خاصة على السلم المحيطي، و امام ضرورة خفض انتاجات غاز اكسيد الكربون، قيد يمس النقل مباشرة الذي هو وظيفة اللوجستية، اعادة هيكلة هذه الاخيرة ضروري، اول هدف من هذه المذكرة هو التعريف باساليب البديل، الذي يستعمل للربط بين كل السائل اللوجستية و عولمتها، اللوجستية الكلاسيكية تحت اسم الانترنت الفيزيائي و علاقته بالانترنت الرقمي و المشابهات بينهما. الهدف التالي من المذكرة هو اقتراح بروتوكول اولي للنقل بالتحريف بالخطوات الاساسية لاستفادة من النقل متعدد الوسائط و مشاركتهم، و في الاخير تقديم حدود هذا العمل لفتح ابواب بحث اخرى. الكلمات المفتاحية: بروتوكول نقل، عنوان، ربط، انترنت رقمي، انترنت فيزيائي، تنمية مستدامة، مشاركة، نقل متعدد الوسائط.