

**Ecole des Hautes Etudes Commerciales
d'Alger**

EHEC

**Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en
sciences commerciales**

**Option : Distribution et Management de la Chaîne
Logistique**

THEME :

**JUMEAU NUMERIQUE : OPPORTUNITES ET
APPORTS POTENTIELS POUR
L'OPTIMISATION DE LA SUPPLY CHAIN
ETUDE DE CAS : SPA NAFTAL**

Elaboré par :

Maroua DRISSI

Yasmine SIFI

Dirigé par :

Pr. Farès BOUBAKOUR

10ème Promotion

Juin 2023

Ecole des Hautes Etudes Commerciales
d'Alger
EHEC

**Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en
sciences commerciales**

**Option : Distribution et Management de la Chaîne
Logistique**

THEME :

**JUMEAU NUMERIQUE : OPPORTUNITES ET
APPORTS POTENTIELS POUR
L'OPTIMISATION DE LA SUPPLY CHAIN
ETUDE DE CAS : SPA NAFTAL**

Elaboré par :

Maroua DRISSI

Yasmine SIFI

Dirigé par :

Pr. Farès BOUBAKOUR

10ème Promotion

Juin 2023

DEDICACE

Je dédie humblement ce travail à mes estimés parents, dont les sacrifices, l'amour, la tendresse, le soutien et les prières ont été inébranlables tout au long de mes études. Que ce travail puisse concrétiser vos souhaits les plus fervents et refléter l'impact de votre soutien indéfectible. Merci d'être toujours présents à mes côtés.

Que Dieu, le Tout-Puissant, vous préserve du mal, vous comble de santé, de bonheur et vous accorde une longue vie.

Mes frères, ma sœur et ma chère petite nièce méritent également une mention spéciale.

J'exprime une gratitude infinie envers ma partenaire de vie et de recherche, celle qui partage mon destin et ma mémoire, toi qui es mon indissociable compagne.

Mes sincères remerciements vont également à notre encadrant, dont l'expertise nous a guidés sur la voie du succès.

Que cet humble travail soit une modeste contribution à la reconnaissance envers ceux qui ont contribué à mon parcours.

Un grand merci à tous les enseignants d'HEC Alger qui ont su insuffler le meilleur en moi. Vos efforts sont hautement appréciés.

À tous ceux que j'aime et qui m'aiment, puissent-ils trouver dans ce travail l'expression de mes sentiments les plus sincères.

YASMINE

DEDICACE

Ce mémoire est une dédicace émouvante à des personnes exceptionnelles qui ont joué un rôle primordial dans mon parcours académique.

À ma grand-mère, ta sagesse infinie et ton amour inconditionnel ont illuminé ma vie. Ta bienveillance et tes prières incessantes ont été une source d'inspiration constante. Je te dédie ce travail avec un amour profond et une gratitude infinie.

À ma mère, tu es bien plus qu'une mère pour moi. Tu as été ma première enseignante et mon modèle le plus précieux, et tu l'es toujours. Ton amour inconditionnel et tes encouragements sans faille m'ont poussé vers l'excellence. Ce mémoire est un témoignage de ma gratitude éternelle envers toi.

À mon oncle, Tu m'as encouragé à sortir de ma zone de confort et à embrasser les défis intellectuels. Je te suis profondément reconnaissant pour ton soutien indéfectible. Ce mémoire est un hommage à ton influence positive dans ma vie.

À mon encadrant, ton expertise, ta patience et ton dévouement ont été essentiels à la réalisation de ce mémoire. Tu m'as guidé avec bienveillance, m'incitant à repousser mes limites et à développer mes compétences. Je te suis profondément reconnaissant pour ton mentorat précieux. Ce travail t'est dédié en signe de gratitude sincère.

À mon cher binôme, notre collaboration a été un pilier solide tout au long de ce parcours. Ensemble, nous avons surmonté les défis et nous sommes soutenus mutuellement dans les moments de doute. Ce mémoire est le fruit de notre partenariat et de notre engagement envers l'excellence.

Que cette dédicace témoigne de mon amour, de ma gratitude infinie et de ma reconnaissance envers vous tous. Vous êtes les piliers qui ont soutenu ma réussite académique.

MAROUA

REMERCIEMENT

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude envers notre encadrant de mémoire, Monsieur Fares Boubakour, pour son soutien, ses précieux conseils et son expertise tout au long de notre travail.

Nous souhaitons également adresser nos remerciements à notre encadrant au sein de NAFTAL, Monsieur Hichem Mouheleb, ainsi qu'à Monsieur Said Taligant et Monsieur Mensouri pour leur accueil chaleureux, leur encadrement attentif, leurs conseils éclairés et leur bienveillance tout au long de notre stage.

Nous tenons également à exprimer notre reconnaissance envers l'ensemble du département DCSI. Plus particulièrement, nous remercions Imene, Imene et Fazia pour leur contribution précieuse, leur soutien constant et leur disponibilité lors de notre travail.

Nous tenons également à adresser notre profonde gratitude à la direction Approvisionnement et Distribution CBR pour leurs temps et leurs présences continue tout au long de notre travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude envers l'ensemble du personnel d'HEC pour leur soutien continu et leur dévouement tout au long de nos cinq années d'études. Leur expertise, leurs conseils et leur passion pour l'enseignement ont joué un rôle essentiel dans notre réussite académique et personnelle. Nous garderons un souvenir précieux de leur aide et de leur encouragement, et nous sommes honorés d'avoir pu en bénéficier durant notre parcours à HEC.

Nos remerciements vont également aux membres du jury chargés de lire et d'évaluer notre mémoire. Leur temps, leur expertise et leur évaluation éclairée jouent un rôle crucial dans la validation de notre travail et dans notre parcours académique.

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers toutes les personnes mentionnées, ainsi que toutes celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de notre mémoire. Votre soutien inestimable restera gravé dans nos mémoires.

RESUME

Ce mémoire aborde le thème des jumeaux numériques et explore leur potentiel dans l'optimisation de la supply chain, qui représente un enjeu majeur pour les entreprises. Le mémoire examine les fondements théoriques de la supply chain, la transformation digitale et met particulièrement l'accent sur les jumeaux numériques, qui sont des répliques virtuelles des systèmes physiques, permettant de simuler, surveiller et optimiser les opérations de la supply chain

L'objet de ce travail est de souligner l'importance croissante de la transformation digitale et des jumeaux numériques dans l'optimisation de la supply chain. Les résultats de cette recherche mettent en évidence les bénéfices potentiels des jumeaux numériques pour les entreprises, tout en reconnaissant les difficultés et les limites auxquelles elles peuvent être confrontées lors de leur mise en œuvre. Des perspectives futures sont également proposées, invitant à approfondir les recherches sur les jumeaux numériques et leur impact sur la gestion de la supply chain.

Mots clés : Jumeaux Numériques, Optimisation de la Supply Chain, Transformation digitale, Digitalisation de la Supply Chain, Internet des Objets, Intelligence Artificielle.

ABSTRACT

This thesis addresses the topic of digital twins and explores their potential in optimizing the supply chain, which represents a major challenge for businesses. The thesis examines the theoretical foundations of the supply chain, digital transformation, and particularly emphasizes digital twins, which are virtual replicas of physical systems that allow for simulating, monitoring, and optimizing supply chain operations.

The purpose of this work is to highlight the growing importance of digital transformation and digital twins in supply chain optimization. The research findings highlight the potential benefits of digital twins for businesses while acknowledging the difficulties and limitations they may encounter during implementation. Future perspectives are also proposed, encouraging further research on digital twins and their impact on supply chain management.

Key words : Digital Twins, Supply Chain Optimization, Digital Transformation, Supply Chain Digitalization, Internet of Things, Artificial Intelligence

LISTE DES TABLEAUX

N° du tableau	Intitulés	Pages
1	Synthèse des travaux relatifs aux applications Blockchain	53
2	Définitions et compréhensions de DSCT	76
3	Priorités et prérequis pour la mise en œuvre d'un JN, adapté de Priorités pour le passage à l'Industrie 4.0 par Gamache (2019)	115
4	Résultats de l'évaluation	118
5	Mise en place de l'équipe de projet	131

LISTE DES FIGURES

N° de la figure	Intitulés	Pages
1	Périmètre d'intervention du supply chain Management	9
2	Représentation schématique de la supply Chain	10
3	Le triangle d'or de la supply chain management	12
4	Les trois niveaux de conception, de pilotage et d'exécution opérationnelle	14
5	Consommation d'énergie mondiale des produits énergétiques entre 1970-2020	19
6	Chaine d'approvisionnement pétrolière	27
7	Pipeline dans l'État de Washington	30
8	Moteurs de la numérisation	39
9	Evolution des outils de communication entre Fournisseur - Producteur - Client	51
10	Organisation des flux de la chaine logistique par système d'information	58
11	Représentation visuelle d'un jumeau numérique	67
12	Technologies des Digital Twins	72
13	Supply chain digital twin	77
14	Le jumeau numérique dans l'approvisionnement	79
15	Structure de DTW	81
16	Le jumeau numérique dans les activités des ventes et du marketing	84
17	Représentation de la SCCT	90
18	Schéma de la macrostructure de NAFTAL SPA	98
19	Organigramme de la DESPE	102
20	Cartographie des principaux systèmes de gestion de SPA NAFTAL	106
21	Cartographie des systèmes interfacés avec SDCOM	108
22	Echelle de performance numérique	117

LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviation	Signification
SC	Supply Chain
SCM	Supply Chain Management
KPI's	Key Indicator Performance
IP	Industrie Pétrolière
OPEP	Organisation des Produits Exportateurs de Pétrole
AIE	Agence Internationale de l'Energie
PIB	Produit intérieur brut
GNL	Gaz Naturel Liquéfié
ERP	Enterprise Resource Planning
WMS	Warehouse Management System
P2P	Peer to Peer
IOT	Internet Of Things
RFID	Radio Frequency IDentification
IA	Intelligence Artificielle
QR	Quick Response
1D	One dimensional
2D	Two dimensional
EDI	Electronic Data Interchange
SAP	Systems, Applications & Products in data processing
CRM	Customer Relationship Management
APS	Advanced Planning System
TMS	Transport Management System
MRP	Materials Requirement Planning
RPA	Robotic Process Automation
PaaS	Platform as a Service
SaaS	Software as a Service
PLM	Product Lifecycle Management

JN	Jumeau Numérique
NASA	National aeronautics and space administration
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
XR	Extended Reality
RE	Réalité Etendue
RV	Réalité Virtuelle
RM	Réalité Mixte
API	Application Programming Interface
DSCT	Digital Supply Chain Twin
DTW	Digital Twin Workshop
SCCT	Supply Chain Control Tower
RA	Réalité Augmentée
MA	Machine Learning
STPE	Société de Transport des Produits Energétique
SNTF	Société Nationale des Transports Ferroviaires
GPL	Gaz de Pétrole
GPL/C	Gaz de Pétrole/Carburant
DESPE	Direction Exécutive, Stratégie, Planification et Economie
SDCOM	(Stockage-Distribution- Commercialisation)
SQL	Structured Query Language
CBR	Combustible Brut de Raffinerie
S/S GD	Station-Service Gestion Directe
PNM	Pétrole et Produits Miniers
GPS	Global Positioning System
BI	Business Intelligence
DCSI	Direction Centrale des Systèmes d'Informations

LE SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : ÉVOLUTION DE LA SUPPLY CHAIN DANS LE SECTEUR PETROLIER.....	5
SECTION 1 : INTRODUCTION A LA SUPPLY CHAIN	7
SECTION 2 : L'INDUSTRIE PETROLIERE : DEFIS ET ENJEUX MONDIAUX ET LOCAUX	16
SECTION 3 : LA SUPPLY CHAIN PETROLIERE : UN PILIER STRATEGIQUE POUR L'INDUSTRIE ÉNERGETIQUE	22
CHAPITRE II : TRANSFORMATION DIGITALE DE LA SUPPLY CHAIN	35
SECTION 1 : INTRODUCTION A LA TRANSFORMATION DIGITALE.....	37
SECTION 2 : INTEGRATION DU DIGITAL A LA SUPPLY CHAIN	43
SECTION 3 : LES TECHNOLOGIES CLES DE LA DIGITALISATION DE LA SUPPLY CHAIN	47
CHAPITRE III : LE POTENTIEL DES JUMENTS NUMERIQUES ET DES TOURS DE CONTROLE DANS LA TRANSFORMATION DIGITALE DE LA SUPPLY CHAIN	63
SECTION 1 : CONCEPTS DE BASE DU JUMENT NUMERIQUE	65
SECTION 2 : LES JUMENTS NUMERIQUES DANS LA SUPPLY CHAIN.....	74
SECTION 3 : LA TOUR DE CONTROLE DE LA SUPPLY CHAIN	87
CHAPITRE IV : ANALYSE DE LA MATURETE DIGITALE ET PROPOSITION D'UN PLAN D'ACTION POUR L'IMPLEMENTATION DU JUMENT NUMERIQUE AU SEIN DE SPA NAFTAL	95
SECTION 1 : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	97
SECTION 2 : ANALYSE DE LA MATURETE DIGITALE CHEZ SPA NAFTAL	103
SECTION 3 : PROPOSITION D'UN PLAN D'ACTION POUR L'APPLICATION DU JUMENT NUMERIQUE	119
CONCLUSION GENERALE.....	141

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

La transformation digitale a profondément modifié la façon dont les entreprises gèrent leurs opérations et leurs chaînes d'approvisionnement. Parmi les nombreuses innovations technologiques émergentes, les jumeaux numériques ont suscité un intérêt croissant dans le domaine de l'optimisation de la supply chain. Ces jumeaux numériques, reproductions virtuelles d'objets, de processus ou de systèmes physiques, offrent des opportunités uniques pour améliorer l'efficacité opérationnelle, réduire les coûts et optimiser la performance de la supply chain.

Le présent mémoire se concentre sur le thème des jumeaux numériques et explore les opportunités et les apports potentiels qu'ils offrent pour l'optimisation de la supply chain. Dans un contexte où les entreprises cherchent continuellement à améliorer leur compétitivité, la capacité d'exploiter les avantages de la digitalisation et des jumeaux numériques représente un avantage stratégique crucial.

Le choix de ce sujet de recherche repose sur des motifs à la fois subjectifs et objectifs. D'un point de vue subjectif, l'intérêt personnel pour les technologies émergentes et leur impact sur les opérations des entreprises a été un moteur essentiel. D'un point de vue objectif, l'importance croissante de la digitalisation de la supply chain dans un secteur clé comme l'industrie pétrolière a suscité un intérêt particulier.

La problématique centrale de ce mémoire est de déterminer « **comment les jumeaux numériques peuvent être utilisés pour optimiser la supply chain ?** ». Pour répondre à cette question, plusieurs questions secondaires seront abordées, telles que :

- Quelles sont les technologies clés utilisées pour créer des jumeaux numériques ?
- Quels sont les avantages et les limites de l'intégration des jumeaux numériques dans la supply chain ?
- Quelles sont les bonnes pratiques et les cas d'étude mettant en évidence l'application réussie de jumeaux numériques dans la gestion de la supply chain ?

Pour répondre à notre problématique et atteindre nos objectifs de recherche, nous sommes amenés à établir trois hypothèses à vérifier :

H1 : La maturité digitale de l'entreprise impacte positivement l'efficacité de l'implémentation des jumeaux numériques dans la supply chain.

H2 : Le plan d'action proposé pour l'application du jumeau numérique permettra une intégration réussie dans la gestion de la supply chain en identifiant les domaines clés, les investissements nécessaires et les étapes de déploiement progressif.

H3 : L'implantation des jumeaux numériques dans la supply chain nécessite une planification stratégique et une collaboration interfonctionnelle, permettant de maximiser les avantages et de surmonter les obstacles grâce à un plan d'action intégré

Pour mener à bien cette recherche, nous avons utilisé une approche mixte combinant à la fois une méthodologie qualitative et une analyse quantitative. La méthodologie qualitative comprendra une revue approfondie de la littérature scientifique et des publications spécialisées dans le domaine de la supply chain et de la transformation digitale, ainsi que des entretiens avec des professionnels de l'industrie pétrolière pour recueillir des informations pratiques et des perspectives du terrain. En parallèle, nous avons effectué une analyse quantitative en évaluant la maturité digitale à travers l'échelle de Likert.

Les outils de recherche comprennent également l'analyse de cas d'entreprises pour étudier l'application des jumeaux numériques dans des contextes réels. L'entreprise SPA NAFTAL, un acteur majeur de l'industrie pétrolière, servira d'étude de cas pour évaluer son niveau de maturité digitale et proposer un plan d'action pour l'application des jumeaux numériques dans sa supply chain.

Le plan de travail de ce mémoire est structuré en quatre chapitres principaux. Le premier chapitre examine l'évolution de la supply chain dans le secteur pétrolier, en mettant l'accent sur les définitions, les acteurs clés, les objectifs et les indicateurs de performance de la supply chain. Il explore également les défis et les enjeux spécifiques auxquels l'industrie pétrolière est confrontée au niveau mondial et local.

Le deuxième chapitre se concentre sur la transformation digitale de la supply chain. Il introduit les concepts de base de la transformation digitale, les avantages et les limites de cette démarche, ainsi que l'intégration des technologies digitales dans la supply chain. Les technologies clés telles que l'internet des objets, l'intelligence artificielle, la blockchain, les systèmes de gestion de l'information et la robotique process automation sont examinées en détail.

Le troisième chapitre explore le potentiel des jumeaux numériques et des tours de contrôle dans la transformation digitale de la supply chain. Il présente les concepts fondamentaux des jumeaux numériques, leur fonctionnement, les technologies utilisées pour leur création et leurs applications spécifiques dans la supply chain. De plus, il examine le rôle des tours de contrôle de la supply chain et leur relation avec les jumeaux numériques.

Enfin, le quatrième chapitre se concentre sur l'étude de cas de l'entreprise SPA NAFTAL, acteur majeur de l'industrie pétrolière. Il présente l'entreprise, ses missions, ses produits et services, ainsi que son niveau de maturité digitale actuel. Une évaluation de la maturité digitale de SPA NAFTAL sera réalisée selon le référentiel GAMACHE, suivi de la proposition d'un plan d'action pour l'application des jumeaux numériques.

L'objectif final de ce mémoire est de contribuer à la compréhension des opportunités et des apports potentiels des jumeaux numériques dans l'optimisation de la supply chain. En identifiant les technologies clés, en examinant les avantages et les limites de leur intégration et en présentant des bonnes pratiques et des cas d'étude pertinents, ce mémoire vise à fournir des recommandations pratiques aux entreprises souhaitant exploiter pleinement le potentiel des jumeaux numériques pour améliorer leur performance opérationnelle et leur compétitivité.

En conclusion, ce mémoire s'inscrit dans le contexte de la transformation digitale de la supply chain et explore les opportunités offertes par les jumeaux numériques pour optimiser les opérations. En combinant une approche théorique basée sur la revue de la littérature et une approche pratique basée sur l'analyse de cas d'entreprises, ce mémoire vise à fournir des connaissances approfondies et des recommandations concrètes pour aider les entreprises à tirer parti de cette innovation technologique prometteuse.

CHAPITRE I :

Évolution de la supply chain dans le secteur pétrolier

INTRODUCTION

Aujourd'hui, les entreprises cherchent constamment à améliorer leur productivité dans un environnement concurrentiel et complexe. Pour y parvenir, il est nécessaire de mettre en place des stratégies opérationnelles et fonctionnelles qui permettent de s'adapter aux fluctuations du marché, aux demandes des clients et aux innovations technologiques.

L'émergence de la production mondiale et l'évolution des marchés ont conduit à l'adoption du concept de "Supply Chain", qui est devenu un modèle de gestion incontournable pour les entreprises industrielles. Il est aujourd'hui un facteur clé de succès pour faire face à la concurrence mondiale.

Dans ce chapitre, nous allons explorer l'évolution de la supply chain dans le secteur pétrolier, en mettant l'accent sur les défis et les enjeux auxquels cette industrie est confrontée. Le secteur pétrolier est l'un des plus importants au monde, mais aussi l'un des plus complexes. La gestion de la chaîne d'approvisionnement est un élément crucial de l'industrie pétrolière, car elle permet de coordonner les différentes étapes de la production, de la transformation et de la distribution du pétrole. Nous allons donc définir les concepts fondamentaux de la supply chain et examiner leur application dans l'industrie pétrolière en mettant l'accent sur les défis et les enjeux auxquels cette industrie est confrontée.

SECTION 1 : Introduction à la supply chain

1.1. Définition de la Supply Chain

Le terme "supply chain" ou chaîne d'approvisionnement fait référence à toutes les parties prenantes impliquées, directement ou indirectement, dans la satisfaction de la demande du client. Cette chaîne inclut non seulement le fabricant et les fournisseurs, mais aussi les transporteurs, les entrepôts, les détaillants et même les clients eux-mêmes. Dans chaque organisation, telle qu'un fabricant, la chaîne d'approvisionnement comprend toutes les fonctions impliquées dans la réception et l'exécution de la demande du client. Ces fonctions incluent, entre autres, le développement de nouveaux produits, le marketing, les opérations, la distribution, les finances et le service clientèle.¹

Une supply chain (SC) est un réseau d'organisations et de processus dans lequel un certain nombre de diverses entreprises (fournisseurs, fabricants, distributeurs et détaillants) collaborent (coopèrent et se coordonnent) tout au long de la chaîne de valeur pour acquérir des matières premières, convertir ces matières premières en produits finaux spécifiques et livrer ces produits finaux aux clients.²

Selon Primor Y et Fender M, la supply chain est souvent définie comme « *la suite des étapes de production et distribution d'un produit depuis les fournisseurs des fournisseurs du producteur jusqu'aux clients de ses clients* ». ³

Même si les définitions divergent sur certains points, elles sont toutes unifiées par le fait que la Supply Chain représente l'ensemble des processus et des activités impliqués dans la production et la distribution des produits ou services, depuis la matière première jusqu'au client final. Elle regroupe ainsi l'ensemble des acteurs qui interviennent dans ces différentes étapes, tels que les fournisseurs, les transporteurs, les entrepôts, les distributeurs, les prestataires logistiques, etc.

¹ CHOPRA, (S) et MEINDL, (P): *Supply chain management Strategy, Planning and Operation*, édition PEARSON, 6eme edition, 2015, P.1.

² IVANOV (D), TSIPOULANIDIS (A) et SCHONBERGER (J): *Global Supply Chain and Operations Management a decision-oriented Introduction to the creation of value*, SPRINGER, 2eme edition, 2019, P.7.

³ PRIMOR (Y) et FENDER (M) : *logistique, production, distribution, soutien*, édition DUNOD, 5eme édition, Paris, 2008, P.5.

1.2. Définition du Supply Chain Management

Le concept de gestion de la chaîne logistique, ou SCM (Supply Chain Management), est apparu pour la première fois au milieu des années 1980, selon les membres du centre international pour l'excellence compétitive en 1994 : « le SCM est l'intégration des processus commerciaux depuis l'utilisateur final jusqu'aux fournisseurs d'origine qui fournissent des produits, des services et des informations apportant une valeur ajoutée aux clients ».⁴

Le supply chain management (SCM) est l'intégration et la coordination des flux de matières, d'informations et de finances entre les départements et les entreprises afin de transformer et d'utiliser les ressources de la chaîne d'approvisionnement de la manière la plus rationnelle possible tout au long de la chaîne de valeur, des fournisseurs de matières premières aux clients.

La gestion de la chaîne logistique est l'un des éléments clés de toute organisation et est responsable de l'équilibre entre la demande et l'offre tout au long de la chaîne de création de valeur.⁵

⁴ COOPER, (M.C), LAMBERT, (D.M) et PAGH, (J.D): "*Supply Chain Management: More Than a new Name for Logistics*", International Journal of Logistics Management, No.1, 1997, P.2.

⁵ IVANOV (D), TSIPOULANIDIS (A) et SCHONBERGER (J) : Op.cit., P.7.

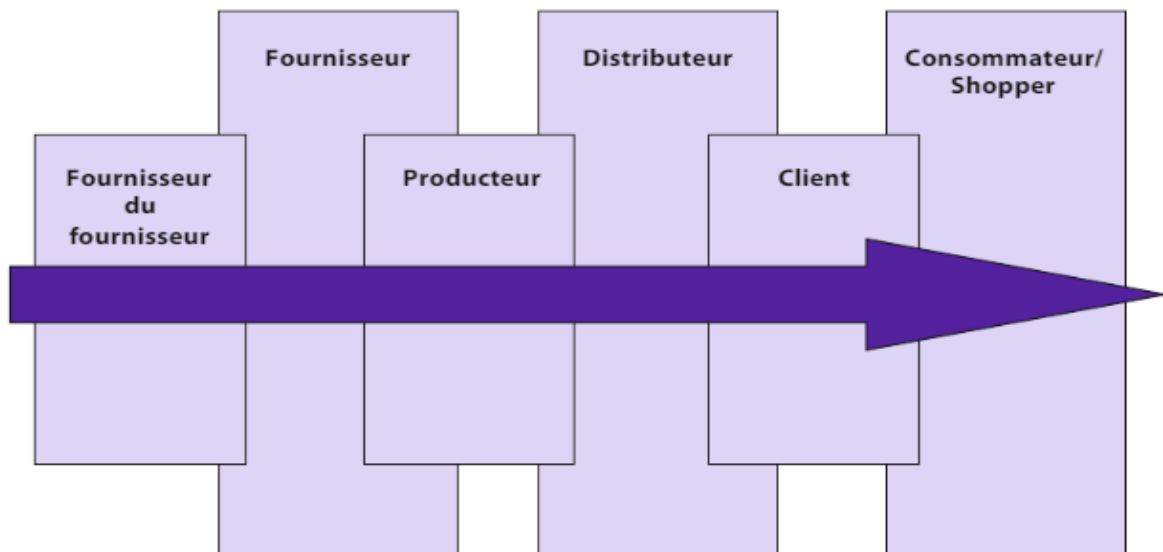


Figure 1 : Périmètre d'intervention du supply chain Management

Source : PRIMOR (Y) et FENDER (M) : Logistique et supply chain management, Edition DUNOD, 7eme édition, 2016, P.13

« On peut donc définir le management de la supply chain comme le pilotage de ses flux et la gestion de ses stocks à travers une gestion informatique de l'ensemble des informations nées de la chaîne, aux fins d'obtenir un niveau de performance désiré à coût minimal. On distinguera cependant deux types de supply chain du point de vue du traitement de l'information : celle qui traite seulement les informations d'une entreprise et celle qui traite l'ensemble des informations des diverses entreprises qui participent à la même chaîne, soit qu'une entreprise unique centralise toutes les informations (entreprise étendue), soit que plusieurs entreprises conviennent d'échanger des informations (échange de données informatisées et Efficient Consumer Response). »⁶

1.3. Les acteurs et les fonctions clés de la Supply Chain

D'après les définitions précédentes une supply Chain est l'ensemble des acteurs, activités et des processus qui permettent la fabrication et la distribution d'un produit.

⁶PRIMOR (Y) et FENDER (M) : Logistique et supply chain management, Edition DUNOD, 7eme édition, 2016, P.14.

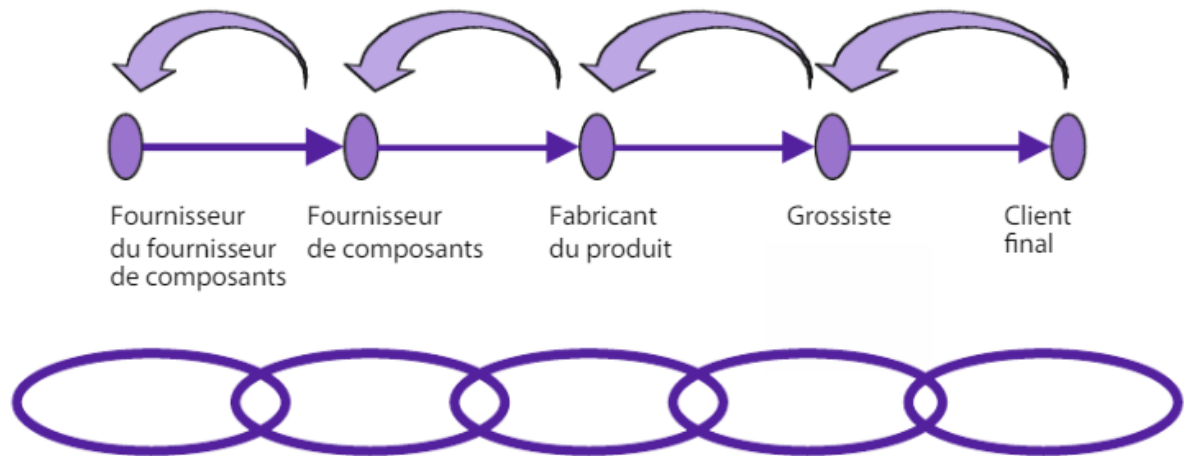


Figure 2 : Représentation schématique de la supply Chain

Source : PRIMOR (Y) et FENDER (M) : *Logistique et supply chain management*, Edition DUNOD, 7eme édition, 2016, P.11.

A partir de cette représentation on distingue les différents acteurs de la Supply Chain

Les fournisseurs : Ils approvisionnent en matières premières, en composants ou en produits semi-finis indispensables à la production.

Les fabricants : ils transforment les matières premières en produits finis.

Les transporteurs : ils assurent le transport des matières premières, des composants et des produits finis entre les différents sites de production et de distribution.

Les entrepôts : ils stockent les produits finis en attendant leur distribution.

Les distributeurs : ils assurent la vente et la distribution des produits finis auprès des clients.

Les Clients : ils sont les destinataires finaux des produits et services

La logistique est un ensemble de processus et de planifications qui ont pour but d'optimiser le flux de produits et d'informations à l'intérieur d'une entreprise. Elle sert de base à la gestion de la chaîne d'approvisionnement qui vise à coordonner les processus de tous les acteurs de la filière, y compris les fournisseurs et les clients, pour une meilleure efficacité globale.⁷

⁷ CHRISTOPHER, (M): *Logistics & Supply Chain Management*, PEARSON, 5eme edition, 2016, P.2-3.

En se basant sur ce passage on peut identifier les fonctions clés de la Supply Chain :

La planification : consiste à estimer la demande de matières premières, les besoins en composants et les besoins en produits finis.

L'approvisionnement : est l'achat des composants, des produits finis et des matières premières nécessaires à la production.

La production : Il s'agit du processus de transformation des composants et des matières premières en produits finis.

La gestion des stocks : elle consiste à optimiser le niveau de stock en fonction de la demande des clients et des délais de livraison.

La distribution : Il s'agit de l'expédition des produits finis aux clients.

1.4. Objectifs de la Supply Chain

La gestion de la chaîne d'approvisionnement a pour but de gérer efficacement les flux physiques, financiers et informationnels impliqués dans la production et la distribution de produits ou de services. Elle permet d'atteindre plusieurs objectifs visant à améliorer la performance globale de la chaîne d'approvisionnement.⁸

Les objectifs principaux sont les suivants :⁹

1.4.1. Réduire les coûts de production et de distribution en optimisant les processus de production, en négociant des prix plus bas auprès des fournisseurs, en minimisant les coûts de stockage et de transport, en réduisant les pertes et les déchets, en améliorant l'efficacité énergétique et en utilisant des technologies plus avancées.

1.4.2. Améliorer la qualité et la fiabilité en contrôlant la qualité des matières premières et des produits finis, en mettant en place des normes et des procédures de qualité strictes, en utilisant des technologies de pointe pour surveiller la qualité et en travaillant avec des fournisseurs de confiance.

⁸ CHOPRA, (S) et MEINDL, (P) : Op.cit., P .3- 4.

⁹ GHEDIRA, (K) : *la logistique de production*, TECHNIP, paris, 2006, p.120.

- 1.4.3. Réduire les délais de livraison en optimisant les processus de production, en travaillant avec des fournisseurs qui sont proches de l'entreprise, en utilisant des technologies avancées pour accélérer les processus et en améliorant la coordination entre les différents acteurs de la chaîne d'approvisionnement.
- 1.4.4. Optimiser les niveaux de stock en utilisant des outils d'analyse des données pour prévoir la demande, en établissant des niveaux de stock minimaux et maximaux, en surveillant les niveaux de stock en temps réel et en optimisant les flux de produits.
- 1.4.5. Maximiser la satisfaction des clients en offrant des produits de qualité, en respectant les délais de livraison, en offrant des services personnalisés, en écoutant les commentaires des clients et en améliorant en continu la qualité et la fiabilité de la chaîne d'approvisionnement.

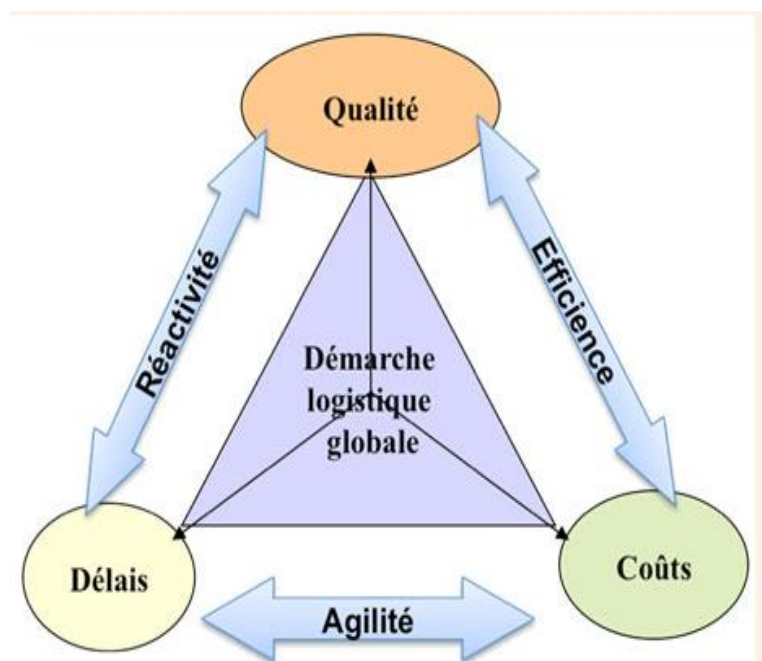


Figure 3 : Le triangle d'or de la Supply Chain management

Source : <https://www.webmanagercenter.com/2009/04/08/73391/tunisie-entreprises-industrielles-optimiser-sa-performance-logistique-dans-un-contexte-de-concurrence-mondiale/> (consulté le 12/04/2023 à 23 :03)

Comme le montre la figure ci-dessus, le but de la chaîne d'approvisionnement est de trouver l'équilibre entre le coût, la qualité et le temps afin que l'entreprise puisse fournir le bon produit

au bon prix et la qualité requise au bon moment. Cet objectif est également connu sous le nom de triangle d'or ou "5B" (bon produit, bon prix, bonne qualité, bon moment, bon endroit).

1.5. Les indicateurs clés de performance de la supply chain (KPI's)

Selon Fender Michel : pour avoir une supply chain efficace, il est essentiel de maîtriser les trois niveaux clés : la conception, le pilotage et l'exécution opérationnelle. Le niveau de conception concerne la définition de la stratégie de la supply chain, la conception du réseau de distribution et l'identification des partenaires clés. Il s'agit de déterminer la structure de la chaîne logistique, en identifiant les différentes étapes et les ressources nécessaires pour répondre aux besoins du marché.¹⁰

Le niveau de pilotage, quant à lui, est crucial pour la gestion de la performance de la supply chain. Il s'agit de coordonner les opérations logistiques, de surveiller la performance en temps réel et de prendre des décisions stratégiques pour optimiser les coûts, les délais de livraison et la qualité des produits. Cette étape permet de garantir que la supply chain fonctionne de manière efficace et efficiente, tout en étant capable de s'adapter aux changements du marché.

Enfin, le niveau d'exécution opérationnelle implique la mise en œuvre des plans logistiques, la gestion des stocks, la gestion des commandes et la coordination des flux physiques de la supply chain. Cela implique de mettre en place des processus de travail efficaces, des systèmes de gestion des stocks précis et des technologies de suivi et de traçabilité des produits.

L'auteur souligne également l'importance de l'interaction entre ces trois niveaux, qui doit être assurée par des processus collaboratifs transversaux. En travaillant ensemble de manière professionnelle sur chacun de ces niveaux et en coordonnant leurs efforts, les différents acteurs de la supply chain peuvent assurer une efficacité opérationnelle optimale et une réactivité accrue face aux changements du marché.

¹⁰ PRIMOR (Y) et FENDER (M): *Logistique et supply chain management*, Op.cit, P.15.

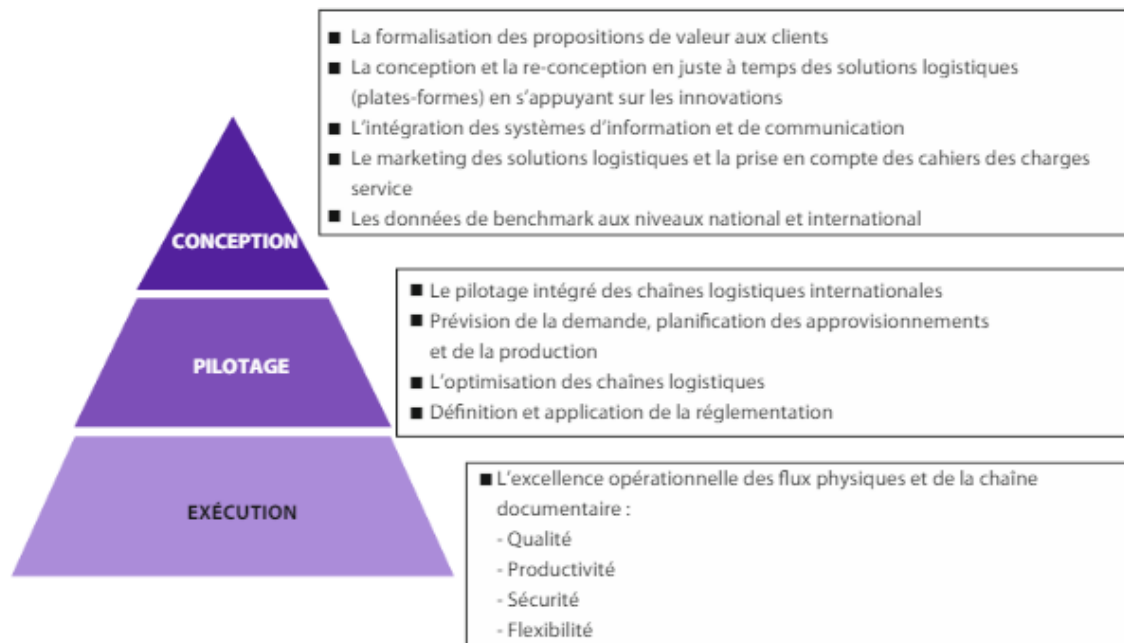


Figure 4 : Les trois niveaux de conception, de pilotage et d'exécution opérationnelle

Source : PRIMOR (Y) et FENDER (M) : *Logistique et supply chain management*, Edition DUNOD, 7eme édition, 2016, p.15

Les indicateurs clés de performance de la supply chain, également appelés KPI's, sont des mesures utilisées pour évaluer l'efficacité et l'efficience des processus de la chaîne d'approvisionnement. Ces indicateurs sont essentiels pour mesurer la performance globale de la chaîne d'approvisionnement et pour identifier les domaines nécessitant des améliorations. Dans son livre, *Logistique & Supply Chain*, l'auteur distingue entre deux indicateurs clés pour mesurer la performance de la chaîne logistique.¹¹

1.5.1. LE TAUX DE QUALITE DE SERVICE :

Également connu sous le nom de taux de service, est un indicateur important dans les services logistiques, mais sa définition peut varier d'une entreprise à l'autre. Ce taux est souvent mal défini et peut correspondre à plusieurs indicateurs de service différents. Il peut être calculé de différentes manières, par commande, ligne de commande, quantité commandée ou valeur de commande, ce qui peut donner des résultats très différents. En plus du taux de service, il est

¹¹ PRIMOR (Y) et FENDER (M): *Logistique et supply chain management*, Op.cit, P. 105-108

important de tenir compte d'autres facteurs tels que la conformité des livraisons, les erreurs d'étiquetage, les litiges et la date ou l'heure de livraison. Les grands distributeurs ont des accords avec leurs fournisseurs pour des taux de service élevés, souvent entre 97,5% et 99,5%, avec des pénalités importantes en cas de non-respect. Cependant, mesurer le taux de service peut être compliqué en raison de facteurs tels que les ruptures de stock et les problèmes de transport qui peuvent affecter le résultat final.

1.5.2. POURCENTAGE DE COÛT D'UN SERVICE LOGISTIQUE :

La mesure du pourcentage de coût logistique est un critère important pour suivre en permanence l'évolution du coût logistique par rapport à la valeur des produits circulant dans le système logistique. Il permet également de comparer l'organisation logistique avec d'autres entreprises pour évaluer son avantage ou désavantage compétitif par rapport à la concurrence. Cependant, atteindre ce deuxième objectif est difficile, car il est rare que le mode de calcul du pourcentage de coût logistique soit uniforme d'une entreprise à l'autre.

En général, le coût du système logistique est rapproché du chiffre d'affaires réalisé pour établir ce pourcentage, mais ce chiffre d'affaires doit être significatif du flux logistique pour que le ratio soit représentatif de la performance économique logistique. Si le chiffre d'affaires contient une part de services ou est soumis à des fluctuations conjoncturelles de prix unitaire, ce ratio ne sera plus représentatif de la performance économique logistique. Si l'on considère plutôt le coût des marchandises transitant dans le système logistique, il est nécessaire de définir avec précision ce coût, qui peut être un coût d'achat augmenté éventuellement d'un certain nombre de charges pour parvenir à un coût standard. Cependant, la définition même du coût d'achat n'est pas simple et ne prend pas en compte les délais de paiement et/ou les ristournes annuelles.

- La prise en compte des coûts de stockage peut être délicate dans une analyse logistique. Les coûts peuvent inclure ou non les coûts d'immobilisation de capital, mais à des taux très variables. Ils peuvent également inclure des taux d'obsolescence élevés, qui peuvent résulter de politiques de marketing ou de décisions techniques plutôt que de pratiques logistiques. Dans la pratique, les taux de détention des stocks peuvent varier considérablement, allant de 3,5% pour un distributeur qui cherche à favoriser les achats

spéculatifs à plus de 25% pour des sociétés qui veulent arbitrer des projets à fort potentiel de rentabilité.

- Les coûts liés à la gestion des départements logistiques et de la chaîne d'approvisionnement, ainsi que les coûts des systèmes informatiques associés, peuvent varier selon l'organisation et être plus ou moins importants. Ils peuvent également être pris en compte ou non dans les analyses. Les charges indirectes et les amortissements peuvent également avoir une influence sur les résultats, impliquant une certaine complexité dans la comptabilité analytique.
- Les coûts liés à la manutention, à la rupture de charge, aux taxes douanières et aux emballages doivent également être pris en compte.

Lorsqu'on constate que la plupart de ces éléments du calcul sont souvent mal définis, il devient difficile de justifier une comparaison entre plusieurs entreprises, car elle ne porte que sur quelques pourcentages qui n'ont pas de réelle signification.

SECTION 2 : L'industrie pétrolière : défis et enjeux mondiaux et locaux

2.1 Définition de l'industrie pétrolière IP :

L'industrie pétrolière, également appelée "pétroleum industry" ou "oil industry" en anglais, implique un ensemble de processus complexes tels que l'exploration, l'extraction, le raffinage, le transport et la distribution, organisés en une chaîne d'approvisionnement pétrolière généralement divisée en deux chaînes : l'amont et l'aval (en anglais, "upstream and downstream chains").¹²

L'industrie pétrolière repose sur un système d'infrastructures complexes qui assurent la liaison entre les différentes ressources en pétrole telles que les champs pétroliers, les raffineries et les marchés de consommateurs. Ce système permet d'assurer la continuité de l'approvisionnement en produits pétroliers.

¹² Dr. ABDELLAOUI, (W) : *Logistique du transport pétrolière*, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Faculté de technologie, Juin 2022, P.1

Le système d'infrastructures complexes de l'industrie pétrolière est composé de plusieurs éléments critiques tels que les pipelines, les navires, les camions citernes et les centres de stockage. Le pétrole brut, matière première de cette industrie, peut être trouvé en profondeur sous terre ou dans des zones offshore. Les opérations d'exploration, d'extraction et de raffinage permettent de transformer le pétrole brut en produits consommables tels que l'essence, le gasoil et le kérosène. Ces produits sont ensuite transportés et distribués depuis des zones de production spécifiques.

En outre, de nouveaux produits peuvent être extraits du pétrole brut pour l'industrie pétrochimique, comme les oléfines et les aromatiques, qui servent à fabriquer des produits de la vie quotidienne tels que les plastiques, les savons, les détergents, les produits de santé, les fibres synthétiques, les caoutchoucs et les peintures.¹³

2.2 Les challenges de l'Industrie Pétrolière « IP »

Le pétrole est une source d'énergie non renouvelable et, bien que les recherches suggèrent qu'il y a suffisamment de réserves pour maintenir les niveaux de production actuels pendant au moins 50 ans, l'industrie pétrolière doit faire face à des défis majeurs. Le principal défi n'est pas tant la disponibilité des ressources, mais plutôt la capacité de l'industrie à extraire, transporter et distribuer ces produits de manière efficace et économique. Les coûts liés à la production, au transport et à la distribution des produits finaux aux consommateurs sont donc les véritables défis auxquels l'industrie pétrolière doit faire face. Les entreprises pétrolières doivent donc continuellement chercher des moyens d'optimiser leurs processus pour réduire les coûts et augmenter leur rentabilité, tout en répondant aux demandes des consommateurs. Cela peut être accompli en utilisant des technologies plus avancées, en améliorant la coordination de la chaîne d'approvisionnement, ou encore en trouvant de nouvelles sources d'efficacité énergétique pour réduire les pertes d'énergie.¹⁴

¹³ HUSSAIN, (R), ASSAVAPOKEE, (T) et KHUMAWALA, (B): “*Supply chain management in the petroleum industry: challenges and opportunities*,” International Journal of Global Logistics & Supply Chain Management, no. 2, 2006, pp. 90– 97.

¹⁴ Dr. ABDELLAOUI, (W): Op.cit, P.3.

2.3 Présentation du marché pétrolier dans le monde

Le pétrole est largement reconnu comme étant la première source d'énergie au monde en raison de son rôle crucial dans l'émergence des économies industrielles. Il répond à plus de 30 % des besoins énergétiques mondiaux et est principalement utilisé comme matière première pour la production de carburants de transport, mais également pour l'industrie de la pétrochimie. Il est également utilisé comme source de chaleur et comme combustible dans diverses industries. Le prix du pétrole est fortement influencé par l'offre et la demande, avec des compagnies qui extraient le pétrole et des raffineurs qui le transforment en produits utilisables pour les consommateurs finaux.

Étant donné la volatilité du marché du pétrole, l'industrie pétrolière est très surveillée dans le monde entier. Les facteurs qui affectent le cours du pétrole comprennent les décisions de production de l'OPEP, les problèmes géopolitiques ainsi que la dépendance au pétrole, le cours du dollar américain et les performances de l'économie mondiale.

La représentation graphique ci-dessous illustre l'évolution de la consommation d'énergie mondiale des différents produits énergétiques, de 1970 à 2020. On constate que la consommation de pétrole est en constante augmentation, ce qui en fait le produit énergétique le plus utilisé au monde.

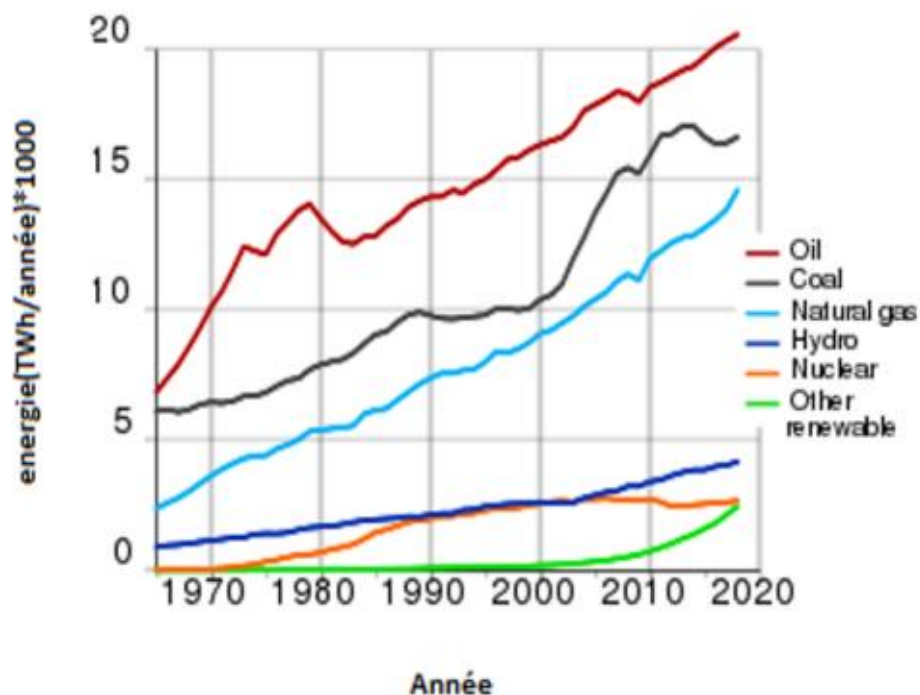


Figure 5 : Consommation d'énergie mondiale des produits énergétiques entre 1970-2020

Source : Dr. ABDELLAOUL, (W) : Logistique du transport pétrolière, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Faculté de technologie, Juin 2022, P.4

Selon l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), le pétrole et le gaz ont contribué à hauteur de 40,7% et 15,2 % respectivement à la consommation d'énergie mondiale en 2020. Les produits pétroliers jouent un rôle clé dans la fabrication de nombreux produits que nous utilisons dans notre vie quotidienne tels que les cosmétiques, les textiles des vêtements fabriqués à partir de nylon ou de polyester, et même 99 % des produits en plastique sont à base de pétrole.

De plus, le pétrole est un composant majeur dans les médicaments, les détergents et les caoutchoucs. Environ 5 % de la production d'électricité mondiale est produite par des centrales thermiques à fioul. Les produits pétroliers sont également utilisés comme source d'énergie pour de nombreuses industries, en particulier celles qui reposent sur des machines à moteur telles que les entreprises de transport, les industries automobiles, les industries manufacturières et

l'agriculture. Le pétrole répond à leurs exigences de base telles que la densité énergétique, la sécurité et la facilité de manipulation, contrairement à d'autres sources d'énergie.¹⁵

La plupart du pétrole est transformée en carburants utilisés dans le secteur des transports, qui dépendent de ces produits à presque 98%. Les carburants les plus couramment utilisés dans l'industrie pétrolière sont le gasoil, l'essence et le kérosène, qui alimentent les transports terrestres, aériens et maritimes. Ces moyens de transport sont des éléments essentiels pour faciliter la mobilité des personnes et des biens, et ont joué un rôle crucial dans la connectivité des différentes régions du monde ainsi que dans la promotion du commerce national et international.

Ainsi, il est clair que l'industrie pétrolière occupe une position vitale dans l'économie mondiale, en fournissant des matières premières et des sources d'énergie indispensables au bon fonctionnement de nombreuses industries et au bien-être des personnes.

- Les emplois de millions de personnes dépendent de l'industrie pétrolière,
- Elle permet de fournir de l'énergie à des coûts raisonnables pour les consommateurs,
- Elle assure la sécurité énergétique.

Le secteur des transports représente une part considérable de la consommation de produits pétroliers, qui sont transformés en carburants. Cette situation a suscité l'intérêt des pays producteurs de pétrole ainsi que des chercheurs pour investir dans l'industrie et explorer des méthodes d'optimisation afin de résoudre les problèmes complexes qui y sont liés.

2.4 Présentation du marché pétrolier en Algérie

Le secteur des hydrocarbures joue un rôle crucial dans l'économie algérienne, car il représente environ 60 % des recettes budgétaires, près de 30 % du PIB et plus de 98 % des recettes d'exportation. Ainsi, le marché pétrolier est un pilier majeur de l'économie nationale en Algérie.

Le pays est l'un des plus grands producteurs de pétrole en Afrique et le troisième plus grand fournisseur de gaz naturel liquéfié (GNL) au monde. L'industrie pétrolière est dominée par la

¹⁵ HAORAN, (Z) et autres: "*A self-learning approach for optimal detailed scheduling of multi-product pipeline*", Journal of Computational and Applied Mathematics, 2018, pp. 41–63.

compagnie nationale **Sonatrach**, qui contrôle environ 90 % de la production d'hydrocarbures en Algérie.

Le gouvernement algérien a entrepris plusieurs réformes pour stimuler l'investissement dans le secteur pétrolier, notamment en offrant des incitations fiscales pour encourager l'exploration et la production. Les autorités cherchent également à attirer des partenaires étrangers pour développer l'industrie et diversifier l'économie du pays.

Cependant, le marché pétrolier algérien est confronté à plusieurs défis, notamment la baisse des prix du pétrole et la concurrence accrue des autres producteurs, tels que les États-Unis. De plus, l'industrie pétrolière algérienne est confrontée à des problèmes de sous-investissement, d'infrastructures vieillissantes et de corruption.

Malgré ces défis, l'Algérie reste un marché pétrolier important avec un potentiel significatif pour l'exploration et la production d'hydrocarbures, ainsi que pour les investissements dans les infrastructures pétrolières. Les autorités algériennes ont mis en place des plans pour moderniser l'industrie et encourager l'investissement, et sont prêtes à travailler avec des partenaires étrangers pour atteindre ces objectifs¹⁶.

En 2019, l'Algérie a été classée 16ème au niveau mondial et 3ème sur le continent africain pour la production de pétrole, selon les données de l'OPEP. En outre, depuis 1969, l'Algérie est membre de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP).¹⁷

¹⁶ <https://www.deleguescommerciaux.gc.ca/algeria-algerie/market-reports-etudes-de-marches/0006429.aspx?lang=fra> ,Profil du secteur pétrolier et gazier de l'Algérie,(consulté le 14/04/2023 à 15h).

¹⁷ https://www.opec.org/opec_web/en/about_us/146.htm , Organization of the Petroleum exporting countries, (consulté le 15/04/2023 à 15:40).

SECTION 3 : La Supply Chain Pétrolière : Un Pilier Stratégique pour l'Industrie Énergétique

3.1 Le Supply Chain Management dans l'industrie Oil & Gaz

Selon la définition de Christopher M. Chima, le Supply Chain Management (SCM) consiste à organiser de manière séquentielle un ensemble d'opérations et à en assurer la coordination et l'amélioration continue.

Dans l'industrie pétrolière et gazière, presque toutes les opérations importantes sont planifiées à l'avance. Ainsi, l'ensemble du processus peut être massé et peaufiné pour devenir une machine à gagner de l'argent très performante. L'objectif du SCM est de fournir un service client maximal au coût le plus bas possible. Dans la chaîne d'approvisionnement de l'industrie O&G les opérations d'exploration créent de la valeur grâce à l'analyse sismique et à l'identification des gisements. Les opérations de production deviennent les clients qui utilisent les résultats de l'exploration. De même, le raffinage est le client de la production, tandis que le marketing est le client du raffinage et que le consommateur de produits raffinés tels que l'essence est le client final.

Il est nécessaire de veiller à ce que chaque entreprise ou opérateur de la chaîne d'approvisionnement puisse répondre rapidement aux besoins matériels exacts de ses clients, se protéger contre les problèmes avec les fournisseurs et protéger ses opérations de l'incertitude de la demande et de l'offre à laquelle elle est confrontée. Pour les compagnies pétrolières et gazières, la marge bénéficiaire peut être considérablement améliorée si elles gèrent leurs achats sur l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement.¹⁸

En résumé, La production, le raffinage, le transport et la distribution des produits pétroliers font partie de la chaîne d'approvisionnement de l'industrie pétrolière (essence, gaz, kérosène, etc.). Elle implique donc un grand nombre d'acteurs : raffineries, transporteurs, distributeurs, compagnies pétrolières, etc.

¹⁸ CHIMA, (C.M): “*Supply-Chain Management Issues in The Oil and Gas Industry*”, Journal of Business & Economics Research, N 6, June 2007, P. 27-28.

La demande mondiale croissante en pétrole et ses dérivés tels que les produits pétrochimiques a permis aux entreprises fournissant ces produits de toucher davantage de clients et d'augmenter leur part de marché et leur rentabilité. Cependant, ce boom de la demande mondiale ainsi que la facilité du commerce international et l'inflexibilité impliquée dans la chaîne d'approvisionnement de l'industrie pétrolière ont rendu sa gestion plus complexe et plus difficile. Malgré l'importance de la gestion de la chaîne d'approvisionnement et sa complexité croissante, l'industrie pétrolière est encore au stade de développement de la gestion efficace de ses chaînes d'approvisionnement. En fait, selon Steve Welsh, directeur général du Collège des études pétrolières et énergétiques de l'Université d'Oxford, la compréhension de l'industrie pétrolière et pétrochimique de la chaîne d'approvisionnement en est encore à ses balbutiements. Cependant, même avec l'inflexibilité et la complexité impliquées dans la chaîne d'approvisionnement de l'industrie, il y a beaucoup de place pour l'amélioration et la réduction des coûts, en particulier dans son domaine de la logistique. Werner Paratorius, président de la division des produits pétrochimiques de BASF, a déclaré : "La gestion de la chaîne d'approvisionnement est l'épine dorsale d'une entreprise où les coûts logistiques peuvent être supérieurs aux coûts de fabrication".¹⁹

3.2 Importance et enjeu de la supply chain dans le secteur pétrolier

La disponibilité des produits pétroliers pour les consommateurs joue un rôle particulièrement important, car elle affecte la santé économique des principales industries et de l'agriculture, ainsi que de la population. Les grands volumes de ressources utilisées, la large gamme de produits pétroliers, la complexité et l'étendue des communications déterminent l'importance de la coordination de l'approvisionnement, du stockage et de la fourniture de produits pétroliers, du suivi du processus de promotion des produits, de la qualité de la livraison et de la planification des transports, en tenant compte du montant de financement requis pour cela.

Essentiellement, selon une grande majorité de recherches dans l'industrie, il est établi qu'il reste suffisamment de ressources pour maintenir les niveaux de production actuels pendant au moins les 50 prochaines années. Cela signifie que le principal défi pour l'industrie pétrolière et gazière est de mettre en production ces réserves et de livrer les produits finaux aux consommateurs à

¹⁹ HUSSAIN, (R), ASSAVAPOKEE, (T) et KHUMAWALA, (B): Op.cit, pp.90 – 97.

moindre coût. Dans cette optique, la mise en place d'un programme de gestion solide de la chaîne d'approvisionnement permettrait d'améliorer cet objectif.²⁰

L'industrie pétrolière et gazière opère une chaîne d'approvisionnement complexe qui peut être divisée en deux parties : amont et aval.²¹

La chaîne d'approvisionnement de l'industrie pétrolière et gazière est d'une envergure considérable et s'étend à l'échelle mondiale, allant de l'exploration en amont dans des environnements éloignés et difficiles jusqu'à la distribution et la consommation des produits finaux par l'industrie et les clients finaux. Les produits pétroliers et gaziers sont nombreux, volumineux et potentiellement dangereux, ce qui pose de grands défis à la chaîne d'approvisionnement. De plus, leur transport à travers le monde peut engendrer des difficultés supplémentaires. Cependant, avec une solide gestion de la chaîne d'approvisionnement, ces défis peuvent être surmontés pour garantir une livraison fiable et efficace des produits finaux.

- Chaînes d'approvisionnement à distance : La consommation de nombreux services liés au pétrole et au gaz se produit dans des endroits très éloignés, ce qui nécessite des systèmes de commande et de livraison efficaces pour transporter ces marchandises. En même temps, l'exploration en amont se déplace vers des zones plus éloignées et difficiles, ce qui rend la gestion et le soutien des chaînes d'approvisionnement pour desservir ces environnements encore plus complexes.
- Places de marché : La chaîne d'approvisionnement de l'industrie pétrolière et gazière est complexe et comprend plusieurs acteurs à différents niveaux. Les places de marché occupent une place importante dans les marchés en amont, et les fournisseurs doivent s'y connecter pour vendre leurs produits. Cependant, chaque place de marché applique ses propres règles de validation, rendant la transmission de documents de la chaîne d'approvisionnement souvent compliquée. De plus, avec l'exploration en amont de plus en plus éloignée et difficile, la gestion des chaînes d'approvisionnement pour desservir ces environnements est devenue plus complexe et plus difficile à soutenir.
- Des marchés en amont fragmentés : Il est crucial pour l'industrie pétrolière et gazière de gérer efficacement sa chaîne d'approvisionnement afin de garantir la fiabilité et la qualité des produits livrés aux clients tout en assurant une rentabilité saine. En

²⁰ CHIMA, (C.M): *“Supply-Chain Management Issues in The Oil and Gas Industry”*, Op.cit, pp. 90-91.

²¹ <https://www.b2be.com/fr/industries/petrole-et-gaz/> , Gestion de la chaine d’approvisionnement résiliente, (consulté le 15/04/2023 à 17 :46).

collaborant étroitement avec leurs fournisseurs, les entreprises doivent surveiller les flux de matériaux, les niveaux de stocks et les délais de livraison, tout en respectant les réglementations et les normes de sécurité en vigueur. Une gestion efficace de la chaîne d'approvisionnement peut réduire les coûts, améliorer la qualité des produits et augmenter la satisfaction des clients.

- Chaînes d'approvisionnement complexes : La logistique de l'industrie pétrolière et gazière en amont implique la gestion de vastes infrastructures et de chaînes d'approvisionnement étendues, ce qui nécessite le transport de marchandises sur de longues distances à travers différents modes de transport tels que les pipelines, les navires, les camions citernes et les chemins de fer. Les problèmes de la chaîne d'approvisionnement peuvent causer des interruptions dans l'exploration, le forage et le raffinage, ce qui est coûteux pour l'industrie pétrolière et gazière en termes de temps d'arrêt. La gestion efficace de la chaîne d'approvisionnement est donc essentielle pour assurer le fonctionnement régulier de ces activités.
- De la même manière, les produits raffinés sont distribués dans une chaîne d'approvisionnement étendue, impliquant des fabricants secondaires et plusieurs marchés avant d'atteindre les consommateurs finaux. Cette chaîne d'approvisionnement peut générer une énorme quantité de documentation et de traçabilité.

Les entreprises ont compris que l'amélioration de l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement est une zone clé pour réaliser des économies de coûts, surtout dans le domaine de la logistique. Les principaux facteurs qui peuvent aider à réduire les coûts et augmenter les bénéfices de l'entreprise dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement sont la gestion de la demande, une distribution efficace des produits pétroliers aux clients, une meilleure planification des transports, la gestion d'entrepôt et la qualité et la rapidité de l'information. Toutefois, l'efficacité réelle de la gestion de la chaîne d'approvisionnement réside dans la gestion globale de ces facteurs, plutôt que de les gérer séparément, ce qui peut être atteint grâce à l'automatisation de la chaîne d'approvisionnement.²²

²² LISITSA, (S), LEVINA, (A) et LEPEKHIN, (A): "Supply-chain management in the oil industry," E3S Web of Conferences 110, 0, 2019, P.3-5.

3.3 Les acteurs clés de la supply chain pétrolière :

La chaîne d'approvisionnement de l'industrie pétrolière et gazière est constituée de différents acteurs impliqués dans toutes les étapes de la production, du transport, du raffinage et de la distribution des produits pétroliers et gaziers, jusqu'à leur utilisation finale. Les principaux acteurs de cette chaîne d'approvisionnement sont :

- **Les compagnies pétrolières et gazières** : qui gèrent l'exploration, l'extraction, la production et la distribution des produits pétroliers et gaziers.
- **Les sociétés de transport maritime et terrestre** : qui transportent les produits pétroliers et gaziers des sites de production aux sites de raffinage et de distribution.
- **Les raffineries** : qui transforment le pétrole brut en produits pétroliers tels que l'essence, le diesel, le kérosène et le fioul domestique.
- **Les distributeurs et les détaillants** : qui achètent les produits pétroliers auprès des raffineries et les vendent aux consommateurs finaux.
- **Les fournisseurs de services logistiques et de stockage** : qui gèrent les entrepôts de stockage et les centres de distribution pour les produits pétroliers et gaziers.
- **Les sociétés de trading pétrolier** : qui achètent et vendent des produits pétroliers et gaziers sur les marchés internationaux.

Tous ces acteurs travaillent ensemble pour assurer que les produits pétroliers et gaziers sont produits, transportés et distribués de manière efficace et sûre à travers la chaîne d'approvisionnement.

3.4 Les étapes clés de la supply chain pétrolière :

L'industrie pétrolière est caractérisée par la succession d'activités importantes. Ce sont l'activité « amont » et l'activité « aval ». Les auteurs, BITEAU Jean-Jacques et BAUDIN François²³ soulignent que c'est par commodité qu'on parle de l'industrie pétrolière. En vérité, dans la

²³ BITEAU, (J) et BAUDIN, (F) : « *Géologie du pétrole, genèse, exploration, ressources* », Dunod, 2017. Pp.10-22.

branche il n'y a pas qu'une industrie mais plusieurs. Sur le plan symbolique elles restent des "stades" d'une même industrie.

L'intégration de ces stades dans une même appellation est la conséquence de l'insertion des entreprises pétrolières dans tous les domaines d'activité de la branche. En effet, la tendance dominante fut de regrouper autour d'une même entreprise toutes les activités liées au pétrole, de l'exploitation au raffinage et à la distribution. La figure ci-dessous synthétise les différentes étapes de la chaîne pétrolière.

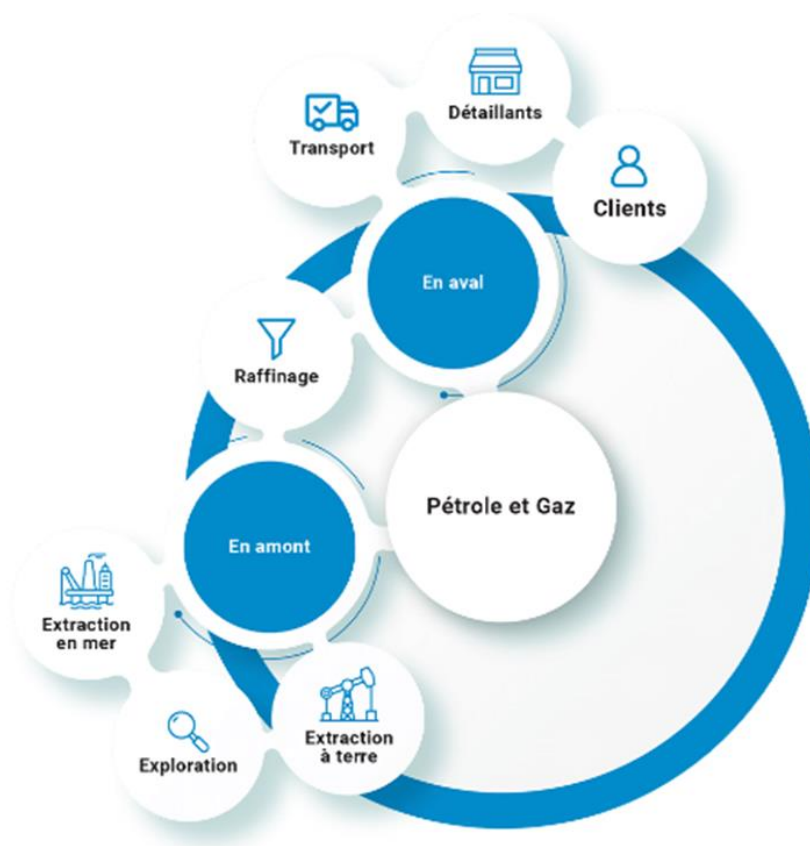


Figure 6 : Chaîne d'approvisionnement pétrolière

Source : <https://www.b2be.com/fr/industries/petrole-et-gaz/> ,(consulté le 15/04/2023 à 17 :42)

Nous détaillerons chaque maillon de cette chaîne ci-dessous :

3.4.1. Extraction :

Est un processus qui implique le forage de puits de pétrole dans le sous-sol pour atteindre les réservoirs de pétrole et de gaz naturel. Une fois le puits de pétrole foré, le pétrole et le gaz sont extraits à l'aide de techniques telles que la pression naturelle, l'injection de gaz et de liquides, ainsi que la fracturation hydraulique.²⁴

Les premières tentatives d'extraction de pétrole des sables bitumineux remontent à la moitié du 20^e siècle, lorsqu'on a utilisé de l'eau chaude pour séparer le bitume du sable. Depuis, le processus a connu des avancées considérables, grâce à des méthodes sophistiquées qui permettent aujourd'hui d'extraire le pétrole des gisements de sables bitumineux.²⁵

3.4.2. Exploration :

Les activités d'exploration consistent à chercher des gisements de pétrole et de gaz. Des équipes de géologues et de géophysiciens travaillent ensemble pour mener cette enquête qui présente des enjeux économiques importants. Après une étude minutieuse des structures géologiques visibles en surface et en profondeur, ainsi que leur imagerie par des techniques sismiques, seul le forage peut confirmer la présence de pétrole ou de gaz. Les profondeurs de forage peuvent varier de 2 000 à 4 000 mètres en général.²⁶

Il était plus facile d'explorer et de produire du pétrole à terre, donc cela a été privilégié au fil du temps. Cependant, au cours des dernières décennies, l'industrie s'est également tournée vers l'offshore (forage en mer), avec des techniques de plus en plus complexes et des eaux plus profondes.

3.4.3. Raffinage :

Est une série d'opérations qui consiste en la décomposition du pétrole brut afin d'obtenir des produits commercialisables. Le raffinage s'effectue par une séparation par distillation de façon

²⁴ <https://www.api.org/>, (consulté le 18/04/2023 à 19:00).

²⁵ <https://www.capp.ca/fr/petrole/extraction-du-petrole/>, (consulté le 18/04/2023 à 19 :20).

²⁶ <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/petrole>, (consulté le 18/04/2023 à 19 :25).

à dissocier les gaz, les liquides légers et moyens ainsi que les résidus lourds du pétrole. L'opération de raffinage s'effectue en trois grandes étapes qui sont :²⁷

La distillation du pétrole brut réalisée : Tout d'abord, le processus de raffinage commence par une première distillation appelée distillation atmosphérique. Cette étape permet de séparer les gaz, les essences, le naphta (coupes légères), le kérosène et le gazole (coupes moyennes) ainsi que les coupes lourdes. Ensuite, les résidus obtenus lors de la distillation atmosphérique subissent une deuxième distillation, appelée distillation sous vide, pour récupérer des produits moyens supplémentaires ayant une valeur commerciale.

La transformation et l'amélioration de la qualité des coupes : La transformation décrite vise à répondre à une forte demande de produits pétroliers légers hautement raffinés. Les différentes coupes sont soumises à plusieurs opérations de transformation et d'amélioration qui ont lieu dans diverses unités de raffinage. Ces opérations impliquent l'application de chaleur pour améliorer ou produire des produits finis.

La fabrication des produits finis : Les produits finis obtenus à partir des opérations de raffinage sont dosés et contrôlés automatiquement. Pour réaliser ces opérations, les raffineries nécessitent de grands volumes de stockage, des installations pour réceptionner les produits bruts et expédier les produits finis. Chaque produit fini obtenu a une utilisation spécifique (l'essence et le gazole alimentent les moteurs des véhicules automobiles, le kérosène est utilisé comme carburant dans l'aviation, etc.).

3.4.4. Transport :

Les produits pétroliers sont transportés sur de longues distances principalement par des pipelines terrestres et des navires pétroliers pour la voie maritime. Le transport par camion, train et barge sur les cours d'eau peut également être utilisé pour distribuer les produits pétroliers aux consommateurs finaux.²⁸

²⁷ CHAUTARD, (S) : « géopolitique et pétrole », Ed. Studyrama perspectives, 2007, p.13.

²⁸ <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/transport-du-petrole#:~:text=Le%20p%C3%A9trole%20peut%20%C3%AAtre%20transport%C3%A9,et%20selon%20leur%20capacit%C3%A9%20embarqu%C3%A9e> , (consulté le 18/04/2023 à 11h).

3.4.4.1. Par voie terrestre :

Il convient de rappeler que les « pipelines » sont des conduites servant au transport de matières gazeuses, liquides ou solides d'un endroit à un autre. Selon le type de produit qui y circule, ces canalisations présentent des caractéristiques différentes : un pipeline transportant du pétrole est appelé « oléoduc ». Les oléoducs sont composés de tronçons soudés et vérifiés pour prévenir les fuites, et sont revêtus d'un matériau goudronneux pour lutter contre la corrosion. Ils reposent sur un lit de sable ou de gravier et certains tuyaux peuvent être lestés avec du béton pour éviter les déformations causées par la pression des fluides. Des stations de pompage à la surface maintiennent la pression à l'intérieur de l'oléoduc, qui peut atteindre près de 70 bar. Il est essentiel de surveiller en permanence la pression, l'écoulement et la consommation d'énergie du pipeline sur toute sa longueur afin de détecter les fuites et de prendre des mesures correctives en cas de chute de pression.



Figure 7 : Pipeline dans l'État de Washington

Source : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/transport-du-petrole#:~:text=Le%20p%C3%A9trole%20peut%20%C3%AAtre%20transport%C3%A9,et%20selon%20leur%20capacit%C3%A9%20embarqu%C3%A9e%20,> (consulté le 18/04/2023 à 10h)

3.4.4.2. Par voie maritime :

Il est possible de transporter du pétrole via des navires appelés « tankers » ou « supertankers » pour les plus grands d'entre eux. Selon le type de produits transportés (pétrole brut ou produits raffinés) et leur capacité embarquée, ces navires ont des appellations différentes. La capacité de transport est quant à elle limitée en fonction des points de transit empruntés, qui peuvent être

plus ou moins larges. Le transport maritime de pétrole est un enjeu majeur, représentant près de 30% du tonnage de la marine marchande mondiale en 2013.²⁹

Le transport de pétrole est flexible par voie maritime car les itinéraires peuvent être modifiés facilement. Cependant, le transport terrestre est toujours essentiel, notamment pour atteindre les pays qui n'ont pas d'accès direct à la mer.

Afin d'assurer un transport efficace du pétrole, le stockage tout au long de la chaîne d'approvisionnement est une étape cruciale. Les réservoirs de stockage sont indispensables pour maintenir une production continue des champs pétroliers, en évitant les arrêts de l'acheminement du brut vers les bacs de stockage situés sur les côtes ou à proximité des unités de transformation. Le transport et le stockage sont des secteurs stratégiques de l'industrie pétrolière. Le stockage joue un rôle de régulation dans les systèmes de transport des hydrocarbures par canalisation ou autres moyens de transport. En plus du traitement pour la décantation, qui permet d'éliminer l'eau et de mesurer la quantité de pétrole brut à expédier, le choix de la capacité d'un parc de stockage est déterminé en fonction du débit de véhicules et des capacités des moyens de transport.³⁰

3.4.5. Distribution :

La distribution finale dans la chaîne de l'industrie pétrolière correspond à la dernière étape qui consiste à acheminer les produits pétroliers (essence, diesel, gaz naturel liquéfié, etc.) des raffineries vers les points de vente et les consommateurs finaux, tels que les stations-service, les entreprises de transport et les particuliers. Cette étape inclut également la gestion des stocks et des approvisionnements pour répondre aux besoins de la demande. La distribution finale est donc essentielle pour assurer l'approvisionnement en énergie de la société et la mobilité des personnes et des biens.

En général, les produits pétroliers sont acheminés depuis les terminaux de stockage jusqu'aux stations-service, aux entreprises de transport et aux consommateurs finaux à l'aide de camions-citernes, qui sont des véhicules spécialement conçus pour le transport des produits pétroliers.

²⁹ <https://www.eia.gov/> , (consulté le 18/04/2023 à 17h).

³⁰ BENZITOUNI, (M) : « *Transport des hydrocarbures chapitre3 Le stockage des hydrocarbures* », Université Constantine 1, Faculté des sciences de la technologie, Département Génie du transports P.1.

En fonction du volume transporté, il existe plusieurs types de camions-citernes utilisés pour le transport des produits pétroliers.

- 3.4.5.1. Les petits camions-citernes : ils sont conçus pour transporter jusqu'à 3000 litres de produits pétroliers, tels que l'essence, le diesel, le fioul domestique et le kérosène. Ces camions-citernes sont utilisés pour approvisionner les stations-service en zones urbaines et rurales.
- 3.4.5.2. Les camions-citernes moyens : ils peuvent transporter jusqu'à 9 000 litres de produits pétroliers et sont utilisés pour approvisionner les stations-service en zones rurales ou pour desservir des clients commerciaux tels que les fermes ou les entreprises de construction.
- 3.4.5.3. Les grands camions-citernes : ils peuvent transporter jusqu'à 38 000 litres de produits pétroliers et sont utilisés pour approvisionner les stations-service en grandes quantités ou pour desservir des clients commerciaux tels que les aéroports, les usines ou les centrales électriques.
- 3.4.5.4. Les semi-remorques citernes : ils peuvent transporter jusqu'à 50 000 litres de produits pétroliers et sont utilisés pour approvisionner les grandes stations-service ou pour effectuer des livraisons en vrac aux clients commerciaux tels que les compagnies de transport ou les grandes entreprises.

Il convient de noter que les camions-citernes sont spécialement conçus pour le transport de produits pétroliers et sont équipés de systèmes de sécurité sophistiqués pour minimiser les risques de fuite ou d'explosion.

3.5 Les avantages de l'optimisation de la supply chain pétrolière :

L'industrie pétrolière est un exemple typique d'application de techniques de gestion de la chaîne d'approvisionnement. Un SCM solide permet d'atteindre ses objectifs, tandis que l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement peut aider l'industrie pétrolière à : ³¹

- Une réduction des coûts,
- Une augmentation des bénéfices,
- Une gestion efficace de la planification des transports et des distributions,
- Une amélioration de la qualité de service.

³¹ CHIMA, (C.M): *"Supply-chain management issues in the oil and gas industry,"*, Op.cit, p.6

En outre, la SCM constitue un outil puissant pour relever les nombreux défis liés à la nature de la chaîne d'approvisionnement pétrolière, tels que :³²

- La complexité de la chaîne d'approvisionnement,
- Les caractéristiques inflexibles,
- Les longues distances entre les sources et les clients entraînant des délais de livraison prolongés,
- Les capacités limitées des ressources de distribution à chaque étape de la chaîne ainsi que les capacités limitées de stockage,
- Les changements politiques ou économiques qui peuvent survenir de manière imprévue et avoir un impact sur le prix du pétrole.

³² HASSEN, (K) et SZUCS, (D): "Supply chain optimization in the oil industry: A case study of mol Hungarian oil and gas plc," 2012. P.12.

CONCLUSION

En conclusion, ce chapitre nous a permis de mieux comprendre l'importance de la Supply Chain dans l'industrie pétrolière, qui est l'un des secteurs les plus complexes et les plus stratégiques au monde.

Nous avons vu comment la gestion efficace de la supply chain pétrolière est un élément crucial pour la coordination des différentes étapes de la production, du raffinage et de la distribution du pétrole, et comment elle peut apporter des avantages concurrentiels significatifs aux acteurs de l'industrie.

Nous avons également examiné les défis et les enjeux mondiaux et locaux auxquels l'industrie pétrolière est confrontée, et comment l'optimisation de la supply chain peut contribuer à relever ces défis.

En somme, il est évident que la supply chain pétrolière est un pilier stratégique pour l'industrie énergétique, et qu'elle continuera à jouer un rôle de plus en plus important dans un monde où l'efficacité et la compétitivité sont devenues des enjeux majeurs.

CHAPITRE II :

Transformation digitale de la Supply Chain

INTRODUCTION

La transformation digitale a profondément modifié le fonctionnement des entreprises, en bouleversant les pratiques et les processus traditionnels. Dans le domaine de la supply chain, l'intégration des technologies numériques est devenue un enjeu majeur pour les entreprises désireuses de rester compétitives sur un marché mondialisé et ultra-connecté. Cette transformation digitale de la supply chain représente un défi considérable pour les entreprises, mais aussi une opportunité de repenser l'ensemble de leur chaîne d'approvisionnement afin de la rendre plus agile, plus efficiente et plus résiliente.

La transformation digitale de la supply chain consiste à intégrer les technologies numériques dans la chaîne d'approvisionnement pour optimiser les processus, améliorer la visibilité et réduire les coûts. Elle implique l'utilisation de technologies avancées telles que l'IoT, l'Intelligence Artificielle, la robotique, l'automatisation et le cloud computing. Les entreprises peuvent ainsi rationaliser leurs processus, réduire les coûts, améliorer la visibilité des données et mieux gérer les risques. La transformation digitale peut également améliorer la satisfaction des clients grâce à une plus grande transparence et une meilleure communication.

Dans ce chapitre, nous examinerons les différentes facettes de la transformation digitale de la supply chain. Nous commencerons par une introduction à la transformation digitale et expliquerons comment elle peut aider les entreprises à relever les défis auxquels elles sont confrontées. Nous discuterons ensuite de l'intégration du digital à la supply chain, en examinant comment les entreprises peuvent utiliser les technologies numériques pour améliorer l'efficacité de leur chaîne d'approvisionnement. Enfin, nous passerons en revue les technologies clés de la supply chain digitale, en explorant leur fonctionnement et leur impact potentiel sur la supply chain.

SECTION 1 : Introduction à la transformation digitale

1.1 Définition de la transformation digitale :

La culture numérique a pris naissance dans la région de San Francisco, en Californie, pour des raisons qui ne sont pas sans importance. Elle résulte de la combinaison entre la mentalité libertaire caractéristique de cette région (représentée par le mouvement hippie) et le niveau élevé d'innovation technologique atteint par les entreprises et les universités de la Silicon Valley. Ainsi, le numérique ne se limite pas à l'utilisation de technologies innovantes, et la transformation numérique d'une entreprise ne consiste pas seulement en une révolution des outils. Elle implique également une révolution des usages, de l'organisation et de la culture.

À l'heure actuelle, il n'existe aucune définition consensuelle de la transformation digitale. De plus, les termes de numérisation sont souvent employés de manière interchangeable (Bloching, Leutiger, Oltmanns, & Rossbach, 2015)³³. Une analyse de la littérature existante sur la technologie de la transformation numérique a révélé l'existence de nombreux concepts différents associés à ce phénomène. Dans le cadre de la transformation digitale, plusieurs définitions ont été proposées :

Selon (Westerman, Bonnet, & McAfee, 2014)³⁴, l'usage de la technologie pour améliorer considérablement les performances ou la portée des entreprises est devenu un sujet majeur pour les entreprises à travers le monde. Les dirigeants de différents secteurs exploitent les avancées de la technologie numérique, telles que l'analyse, la mobilité, les médias sociaux et les appareils intelligents intégrés, et améliorent l'utilisation des technologies traditionnelles comme l'ERP afin de transformer leur relation avec les clients, les processus internes et les propositions de valeur.

En plus, (Bowersox, Closs, & Drayer, 2005)³⁵ définissent la transformation digitale comme un processus de réinvention d'entreprise visant à numériser ses opérations et à développer des relations étendues dans sa chaîne d'approvisionnement. Toutefois, le principal défi de cette

³³ BLOCHING, (B) et autres: *“The digital transformation of industry - How important is it? Who are the winners? What must be done?”*, A European study commissioned by the Federation of German Industries (BDI) and conducted by Roland Berger Strategy Consultants, 2015, P.3

³⁴ WESTERMAN, (G), BONNET, (D) et MCAFEE, (A): *“The Nine Elements of Digital Transformation”*, state of digital transformation since, 2014, P.1

³⁵ BOWERSOX, (D. J), CLOSS, (D. J) et DRAYER, (R. W): *“The Digital Transformation: Technology and Beyond”*, Northwestern University, Evanston, 2005, P.22.

transformation est de revitaliser les entreprises qui ont déjà exploité avec succès le potentiel des technologies de l'information tout au long de leur chaîne d'approvisionnement.

Enfin, selon Mazzone (2014)³⁶, La transformation numérique est un processus délibéré et continu d'évolution numérique d'une entreprise, d'un modèle commercial, d'un processus d'idées ou d'une méthodologie, à la fois sur le plan stratégique et tactique. Cela implique une adaptation constante aux évolutions technologiques pour rester compétitif et répondre aux besoins changeants des clients.

Essentiellement, la transformation numérique est un phénomène complexe et en évolution constante, mais elle peut être comprise à travers quatre leviers et de nouveaux facilitateurs et propositions. Les entreprises qui réussissent leur transformation numérique peuvent revitaliser leur chaîne d'approvisionnement et améliorer leur positionnement sur le marché.

La figure ci-dessous identifie quatre leviers qui sous-tendent cette transformation :

³⁶ MAZZONE, (D. M): *“Digital or Death: Digital Transformation: The Only Choice for Business to ...”*
books.google.co.ma › books, 2014, P.6.

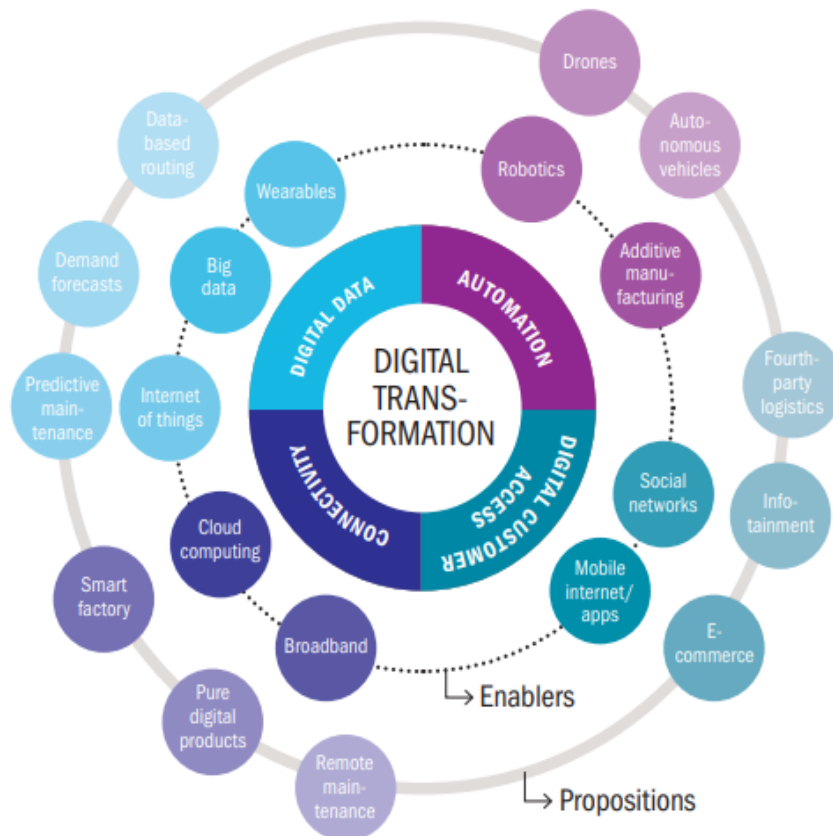


Figure 8 : Moteurs de la numérisation

Source : BLOCHING, (B) et autres : *“The digital transformation of industry - How important is it? Who are the winners? What must be done?”*, A European study commissioned by the Federation of German Industries (BDI) and conducted by Roland Berger Strategy Consultants, 2015, P.20

1.2 Les avantages de la transformation digitale :

1.2.1. Avantages de la transformation digitale pour les entreprises

La transformation digitale a un impact significatif sur le fonctionnement des entreprises, offrant de nombreux avantages tels que l'optimisation des performances. L'amélioration de l'accès aux données et la circulation de l'information entre les différentes entités de l'entreprise permet une collaboration accrue et des échanges plus fluides entre les collaborateurs, augmentant ainsi l'efficacité globale de l'entreprise. De plus, la transformation digitale améliore la qualité de la communication entre les collaborateurs en réduisant considérablement le temps de réponse aux différents messages, ce qui contribue à stimuler la productivité.

La digitalisation permet également aux entreprises de mieux comprendre les besoins de leurs clients et d'interagir avec eux de manière plus personnalisée en utilisant des outils de communication innovants tels que les applications de messagerie instantanée et les réseaux sociaux professionnels. En adoptant ces technologies, les entreprises peuvent se rapprocher de leurs clients de manière plus conviviale et améliorer ainsi leur expérience client.³⁷

1.2.2. Avantages de la dématérialisation pour les entreprises

La dématérialisation offre de nombreux avantages aux entreprises, notamment la réduction de la quantité de papier produite, manipulée et stockée. L'utilisation de logiciels permet de réduire considérablement les temps et les coûts d'impression, ainsi que la quantité d'encre consommée, de toners utilisés et d'arbres abattus.

Outre les avantages environnementaux, la numérisation des documents facilite leur partage et leur mise à disposition via le cloud. Cela permet de retrouver rapidement un document et d'augmenter la durée de vie des documents en réduisant le risque de perte d'information grâce aux sauvegardes régulières. La recherche de données est également plus pratique grâce à la numérisation et à la gestion intégrée qui permettent d'accéder aux données n'importe où et à tout moment, ce qui optimise les temps de travail et les processus de décision. Enfin, l'informatisation des documents permet d'éliminer la nécessité de déplacer ou de transférer des archives entre différents établissements, ce qui réduit les coûts de stockage et de gestion à long terme des documents. Tous ces avantages contribuent grandement à améliorer l'efficacité des services informatiques et à renforcer l'image de l'entreprise.³⁸

1.3 Les limites et les freins de la transformation digitale :

Il est souvent considéré à tort que les décisions prises par le top management pour la transformation digitale suffisent à faire adhérer les collaborateurs à leur nouvelle vision. Cependant, les changements organisationnels nécessaires pour renforcer le travail collaboratif nécessitent une adaptation de la part du middle management pour favoriser l'adhésion des collaborateurs. Les décisions stratégiques doivent être en phase avec les nouvelles formes de

³⁷ <https://www.votre-it-facile.fr/qu-est-ce-que-la-digitalisation-avantages-et-inconvenients/> , (consulté le 23/04/2023 à 16 :47).

³⁸ <https://jobisyou.com/actualites/transformation-digitale-de-lentreprise-avantages-et-inconvenients> , (consulté le 23/04/2023 à 16 :50).

travail pour que les collaborateurs se sentent impliqués et motivés. Nous citerons ci-dessous les principaux freins à la transformation digitale : ³⁹

1.3.1. Culture d'entreprise trop rigide

De nombreuses entreprises ont du mal à collaborer efficacement en raison de leur mode d'organisation en silos. Le changement est difficile car chaque équipe a ses propres habitudes de travail qui ont été en place depuis des décennies. Cependant, la transformation numérique peut amener des changements radicaux dans la manière de travailler, ce qui remet en question les méthodes d'organisation existantes.

La transformation numérique est à la fois un défi et une opportunité pour les entreprises. Les collaborateurs jouent un rôle crucial dans la réussite de cette transformation, car ils peuvent être à la fois le frein et le moteur du changement.

Pour tirer pleinement parti des avantages de la transformation numérique, les collaborateurs doivent être impliqués dès le début du processus. Il est essentiel de leur expliquer les raisons de la transformation et de leur donner les moyens de s'adapter à cette évolution. Cela nécessite une modification de la culture d'entreprise et une formation adaptée pour les employés.

Le management de l'entreprise doit également être à l'écoute des besoins et des idées des collaborateurs pour assurer une transition fluide et efficace vers la numérisation. En fin de compte, c'est la collaboration entre tous les acteurs de l'entreprise qui permettra de réussir la transformation numérique.

1.3.2. Confusion entre finalité et outil

La transformation digitale n'aura pas pour effet de transformer les collaborateurs en robots. Au lieu de cela, ce sont les collaborateurs qui joueront un rôle clé dans le succès de la transformation digitale. Il est important de comprendre que la technologie n'est pas une fin en soi, mais plutôt un outil mis à la disposition des êtres humains pour améliorer leur efficacité et leur productivité.

³⁹ <http://grh-multi.net/fr/2017/03/quels-sont-les-limites-et-les-freins-a-la-transformation-digitale/>, (consulté le 23/04/2023 à 17 :19.)

Les entreprises qui réussissent leur transformation digitale sont celles qui considèrent leurs collaborateurs comme des acteurs clés du processus et qui investissent dans leur formation et leur accompagnement. Les collaborateurs doivent être en mesure d'acquérir de nouvelles compétences et de comprendre comment la technologie peut les aider à accomplir leur travail plus efficacement.

En fin de compte, la réussite de la transformation digitale dépendra de la manière dont les entreprises parviendront à associer la technologie et l'humain de manière synergique. Les collaborateurs doivent être impliqués dans la définition de la stratégie de transformation digitale de l'entreprise et être encouragés à contribuer à la mise en œuvre de cette stratégie. En agissant ainsi, l'entreprise peut s'assurer que les bénéfices de la transformation digitale sont partagés par l'ensemble de l'organisation, plutôt que de se limiter à un petit groupe de spécialistes de la technologie.

1.3.3. L'importance du coût

Quand il est question d'investir dans des solutions digitales, le coût peut être un obstacle important. Les entreprises doivent être en mesure de justifier leur retour sur investissement, tout en équilibrant les coûts d'investissement et les bénéfices potentiels. Cela peut être particulièrement difficile pour les entreprises ayant des difficultés financières ou qui ne voient pas immédiatement les avantages d'une transformation numérique à court ou moyen terme. Le financement de ces initiatives peut donc être un frein important à leur mise en œuvre.

1.3.4. La Cyber Sécurité

La sécurité, en particulier la cyber sécurité, est un sujet central pour les entreprises, notamment en raison des récents cas très médiatisés de compromission des réseaux informatiques. Les données sensibles doivent être protégées, et pour les entreprises en cours de transformation, il est essentiel de comprendre les motivations potentielles d'un hacker pour mettre en place une protection adéquate. Cependant, la sécurité ne doit pas être rigide et complexe, mais plutôt agile et flexible pour éviter l'obsolescence et suivre le mouvement de transformation. En somme, la sécurité est un équilibre subtil entre robustesse et flexibilité, et il est important de trouver le juste milieu pour garantir une protection efficace.

SECTION 2 : Intégration du digital à la Supply Chain

2.1 Définition de la transformation digitale de la Supply Chain

Au cours des dernières années, la numérisation des chaînes d'approvisionnement a été largement discutée dans la littérature académique. Les termes Smart Supply Chain, Digital Supply Chain, Supply Chain 4.0 et Self-thinking Supply Chain ont été proposés pour décrire ce phénomène. Les débats sur l'impact des technologies numériques sur les opérations commerciales, l'industrie et les chaînes d'approvisionnement ont également été alimentés par les domaines de la numérisation de la fabrication, en particulier I4.0 et Smart Manufacturing. Les technologies numériques ont le potentiel d'améliorer et d'automatiser de nombreux aspects de la gestion de la chaîne d'approvisionnement, en interne au sein des organisations et en externe sur l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement. Elles peuvent remplacer ou supprimer la nécessité de certaines activités et processus, permettre la refonte des configurations de la chaîne d'approvisionnement et permettre de nouvelles opportunités commerciales dans des écosystèmes numériques plus larges. Leur utilisation efficace permettra des opérations synchrones, sans friction et réactives de la chaîne d'approvisionnement, permettant des opérations plus axées sur la demande que dans les chaînes d'approvisionnement traditionnelles.

Cependant, il y a moins d'accord sur les technologies numériques qui offrent le plus de promesses ou sur les mécanismes précis par lesquels elles engendreront un changement et amélioreront la performance de la chaîne d'approvisionnement.⁴⁰

La supply chain digitale est l'optimisation des opérations commerciales et logistiques de la chaîne d'approvisionnement à travers l'utilisation de technologies numériques. Cela comprend l'automatisation de la collecte et de l'analyse des données en temps réel, la gestion de la logistique par des systèmes intelligents et des algorithmes, la gestion des stocks, la traçabilité des produits, ainsi que la collaboration et la communication en temps réel avec les partenaires commerciaux tout au long de la chaîne d'approvisionnement. L'objectif est d'améliorer la performance, la flexibilité et la résilience de la chaîne d'approvisionnement en utilisant des

⁴⁰ McCARTHY, (B. L.) , IVANOV, (D) : « *The digital supply chain* », Elsevier Science, 2022. P.7.

technologies numériques comme l'Internet des objets, l'analyse de données, l'intelligence artificielle, la robotique et la blockchain.⁴¹

La définition retenue ici, proposée par Vial en 2019, se base sur une analyse sémantique de l'ensemble des définitions existantes et respecte les règles de construction d'une définition claire et complète proposées par Wacker en 2004 :⁴² « Un processus qui vise à améliorer une entité en déclenchant des changements significatifs dans ses propriétés grâce à des combinaisons de l'information, de l'informatique, de la communication et de la connectivité ».⁴³

2.2. Processus de transformation de la supply chain digitale

En examinant la gamme de digitalisation, nous considérons deux aspects : le niveau de connectivité entre les acteurs clés de la chaîne d'approvisionnement et la profondeur de l'implantation des technologies numériques interopérables dans les opérations des acteurs clés. L'objectif est d'améliorer les principales mesures de performance de la chaîne d'approvisionnement telles que la réduction du temps, l'augmentation de la productivité, la diminution des coûts et l'amélioration du service client, mais également de bénéficier d'avantages concurrentiels plus larges tels que la traçabilité et la durabilité. Trois scénarios sont décrits : ⁴⁴

2.2.1. La chaîne d'approvisionnement numériquement immature :

Les principaux acteurs de la chaîne d'approvisionnement utilisent des technologies et des systèmes classiques pour soutenir leurs processus métier et transactions, avec une interopérabilité limitée entre les systèmes internes. La communication à travers la chaîne d'approvisionnement est limitée à l'aide de technologies conventionnelles pour échanger des informations avec les fournisseurs et les clients. Les organisations ne cherchent pas activement à exploiter les opportunités basées sur les données pour améliorer leur performance

⁴¹ « How digital supply chains can drive competitiveness », <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/digital-transformation-raising-supply-chain-performance-to-new-levels>, (consulté le 30/04/2023 à 10 :07.)

⁴² WACKER, (J. G) : « A Theory of Formal Conceptual Definitions: Developing theory-building Measurement Instruments », Journal of Operations Management 22 (6), 2004, P.630.

⁴³ VIAL, (G) : « Understanding Digital Transformation : A Review and A Research Agenda », Journal of Strategic Information Systems 28 (2), 2019, P.121.

⁴⁴ McCARTHY, (B. L), IVANOV, (D), Op.cit., P.14-15.

opérationnelle, leur contrôle de la chaîne d'approvisionnement ou réduire les coûts. La chaîne d'approvisionnement est donc considérée comme numériquement immature et peu développée. Dans ce contexte, les entreprises utilisent des technologies ERP conventionnelles pour gérer leurs opérations et des systèmes de gestion d'entrepôt (WMS) pour optimiser les prélèvements des commandes. Les équipes d'audit extraient périodiquement des informations des systèmes ERP pour évaluer les performances des fournisseurs et peuvent prendre des mesures basées sur le jugement humain en cas de performances médiocres. Ces organisations ne sont pas suffisamment conscientes des opportunités pour exploiter les données ou pour améliorer l'interopérabilité de leurs systèmes internes, ou les avantages d'une intégration numérique plus profonde et plus étendue avec les fournisseurs et les clients.

2.2.2. La chaîne d'approvisionnement numériquement habilitée :

Les principaux acteurs de la chaîne d'approvisionnement font preuve d'une forte connectivité numérique dans le but d'atteindre les objectifs de service client convenus. Les organisations qui composent la chaîne d'approvisionnement ont recours à des technologies numériques interopérables pour soutenir des opérations productives. Cependant, les acteurs principaux ne cherchent pas à exploiter pleinement toutes les opportunités offertes par une intégration numérique complète pour comprimer le temps, améliorer la productivité et réduire les coûts. Ils ne saisissent pas non plus les avantages plus vastes qui pourraient être obtenus grâce à une intégration numérique plus forte dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement. Cette description s'applique à de nombreuses chaînes d'approvisionnement axées sur le client contemporain. Par exemple, des organisations peuvent utiliser des outils avancés pour optimiser la planification des stocks et des opérations en collaboration avec les clients et/ou les fournisseurs, en plus des technologies ERP conventionnelles. Des WMS sophistiqués peuvent être déployés pour optimiser le positionnement des emplacements et les séquences de prélèvement en fonction de la demande actuelle, ainsi que pour analyser les scénarios de l'offre et de la demande projetés en vue d'une utilisation future de l'entrepôt. Les fournisseurs peuvent être audités à l'aide d'outils de Business Intelligence pour identifier les mauvaises performances, ce qui alerte les décideurs humains et les incite à agir. Les organisations peuvent chercher à exploiter progressivement les opportunités offertes par les données, les systèmes et l'interopérabilité en interne. Lorsqu'elles identifient un besoin d'amélioration des performances, elles peuvent chercher à améliorer l'intégration numérique. Ainsi, elles peuvent investir dans

des technologies P2P pour automatiser les processus d'achat courants ou dans des systèmes pour optimiser la gestion de la maintenance.

2.2.3. La chaîne d'approvisionnement numériquement transformée :

Comme une plate-forme pour la connectivité de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, permettant ainsi une meilleure visibilité, traçabilité et efficacité des processus clés. Les acteurs clés de la chaîne d'approvisionnement ont investi dans des technologies numériques interopérables et ont automatisé les processus pour améliorer les performances de la chaîne d'approvisionnement. Les capacités d'entrepôt sont entièrement automatisées, permettant des opérations "lights out" sans préparateurs de commandes humains. Les performances des fournisseurs sont surveillées en temps réel, alertant les fournisseurs sur leurs performances et invoquant automatiquement des clauses de pénalité si les objectifs convenus ne sont pas atteints. L'utilisation efficace des données à travers l'écosystème numérique permet aux participants de la chaîne d'approvisionnement d'offrir une large gamme de services et de soutien aux clients sans changements de coûts importants. L'écosystème de données de la chaîne d'approvisionnement permet également une surveillance numérique du réseau d'approvisionnement et de son contexte plus large, fournissant des informations et des alertes sur les risques et vulnérabilités potentiels.

2.3. Impact de la digitalisation sur la supply chain

La révolution numérique a bouleversé le monde des affaires et a considérablement transformé la manière dont les entreprises gèrent leur chaîne d'approvisionnement. En effet, La transformation digitale a apporté des améliorations significatives dans la gestion de la supply chain, grâce aux avancées technologiques. Elle a notamment permis d'augmenter la visibilité, la transparence et l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement. Les différents acteurs de la chaîne peuvent ainsi collaborer plus étroitement, en temps réel, et prendre des décisions plus éclairées grâce à des données précises et actualisées. Les retombées de cette transformation sont nombreuses :⁴⁵

⁴⁵ ABBAD (H), BENTAHAR (O) et BENZIDIA (S) : « Transformation digitale de la supply chain : caractéristiques, enjeux et voies de recherche futures, *Logistique & Management* », 30 :4, 2022, P.120-122.

- Amélioration de la visibilité et de la traçabilité des flux logistiques grâce à l'utilisation de technologies telles que l'Internet des Objets (IoT), la blockchain et la RFID.
- Amélioration de la résilience de la supply chain en utilisant des technologies telles que l'analyse prédictive, l'automatisation et l'intelligence artificielle (IA).
- Réduction des coûts et des délais de livraison grâce à l'optimisation des processus logistiques et à la réduction des erreurs et des pertes.
- Amélioration de la durabilité de la supply chain grâce à l'utilisation de technologies telles que la gestion des déchets et des émissions, l'utilisation d'énergies renouvelables et la réduction des emballages.
- Amélioration de la qualité de service grâce à une meilleure gestion des stocks, une meilleure coordination entre les différents acteurs de la supply chain et une meilleure communication avec les clients.

Toutefois, cette transformation digitale n'est pas exempte de défis, et il est important de les comprendre afin de les intégrer efficacement dans la stratégie globale de l'entreprise. Dans cette perspective, il est crucial d'analyser les impacts de la transformation digitale sur la supply chain pour tirer pleinement parti de cette évolution technologique. En somme, la digitalisation de la supply chain permet d'optimiser les opérations logistiques, de réduire les coûts et les délais de livraison, d'améliorer la durabilité et la qualité de service tout en renforçant la résilience de la supply chain.

Section 3 : Les technologies clés de la digitalisation de la Supply Chain

3.1 L'internet des objets (IoT)

L'Internet des objets (IoT) désigne des objets physiques équipés de capteurs, de capacités de traitement, de logiciels et d'autres technologies leur permettant de se connecter et d'échanger des données avec d'autres appareils et systèmes via Internet ou d'autres réseaux de communication. Bien que le terme "Internet des objets" puisse être trompeur, car les appareils ne sont pas obligatoirement connectés à Internet public, mais seulement à un réseau et adressables individuellement. L'IoT est composé d'objets que nous utilisons tous les jours et qui se connectent à Internet. De cette façon, nous pouvons contrôler et recevoir des données sur ces objets depuis nos ordinateurs ou smartphones. Des exemples courants de l'IoT incluent les assistants intelligents comme Siri d'Apple et Alexa d'Amazon, les serrures de porte

télécommandées, les centres domestiques intelligents pour contrôler l'éclairage, le chauffage et la climatisation, les trackers de sommeil et de fitness, ainsi que les appareils intelligents comme les réfrigérateurs et les lave-linges. En outre, l'IoT est présent dans les tendances des consommateurs, comme les chaussures de sport intelligentes et les vêtements de sport connectés. Même les véhicules sont connectés, permettant aux utilisateurs de savoir à quelle distance se trouve leur Uber et quelles routes prendre pour éviter les embouteillages. Presque tout le monde utilise une application IoT de quelque type que ce soit et bénéficie de l'information et de la commodité que cette technologie apporte, permettant de gagner du temps.⁴⁶

3.1.1. IoT dans la chaîne d'approvisionnement :

L'utilisation de l'IoT ne se limite pas à la fabrication, mais elle a également révolutionné la gestion de la chaîne d'approvisionnement en offrant une meilleure compréhension de l'emplacement des marchandises, leur stockage et leur livraison prévue. Voici comment l'IoT peut être bénéfique pour la gestion de la chaîne d'approvisionnement :⁴⁷

- Amélioration de la gestion de l'inventaire : en attachant des capteurs IoT à différents composants, les entreprises peuvent suivre en temps réel les niveaux de stock et prendre des décisions éclairées tout en évitant les pertes. Les données collectées peuvent également aider les entreprises à prévoir leurs besoins futurs, éliminant ainsi la nécessité d'embaucher du personnel supplémentaire et permettant aux entreprises d'économiser de l'argent.
- Suivi en temps réel : l'utilisation de dispositifs IoT tels que des moniteurs GPS permet aux entreprises de suivre l'emplacement d'un envoi et sa température en temps réel. Cela permet de cartographier toutes les étapes de l'envoi en utilisant des enregistrements de périphériques et d'assurer la transparence et la responsabilité tout au long de la chaîne d'approvisionnement.
- Surveillance des conditions de stockage : les produits périssables et chimiques nécessitent des conditions de stockage appropriées. L'utilisation de l'IoT permet aux entreprises d'être informées de l'environnement dans lequel leur produit est stocké, y

⁴⁶ <https://iopcommunity.com/iot-in-manufacturing-education-and-supply-chain/> , (consulté le 29/04/2023 à 17 :09).

⁴⁷ <https://iopcommunity.com/iot-in-manufacturing-education-and-supply-chain/> , (consulté le 29/04/2023 à 17 :15).

compris l'humidité, la température, l'intensité de la lumière et d'autres facteurs environnementaux. Si un seuil est dépassé, l'appareil IoT alerte le propriétaire, réduisant ainsi les pertes.

3.2 L'intelligence artificielle (IA)

L'intelligence artificielle est un terme global qui inclut différentes technologies telles que l'apprentissage automatique, la vision par ordinateur, le traitement du langage naturel, l'apprentissage profond et bien d'autres encore. Toutes ces technologies permettent aux machines d'exécuter des tâches cognitives spécifiques aussi bien, voire mieux que les humains. Les applications de l'intelligence artificielle s'étendent à toutes les fonctions commerciales. Dans le domaine des ventes, l'intelligence artificielle aide les entreprises à augmenter leur volume de prospects, leur taux de conversion et leurs performances globales. Cette technologie peut en effet automatiser et améliorer une grande partie du processus de vente, permettant ainsi aux vendeurs de se concentrer sur l'essentiel : le chiffre d'affaires.⁴⁸

3.2.1. IA dans la chaîne d'approvisionnement :

Il est essentiel de noter que l'Intelligence Artificielle (IA) joue un rôle crucial dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement, en permettant une meilleure visibilité, une meilleure gestion des opérations et une réduction des coûts. Elle peut aider à automatiser et à optimiser les processus, à améliorer la planification et la prévision de la demande, à réduire les délais de livraison et à améliorer la qualité des produits. Dans la chaîne d'approvisionnement, l'IA peut être appliquée de différentes manières, telles que : ⁴⁹

- Optimisation des itinéraires de transport : l'IA peut aider à trouver les meilleurs itinéraires pour les camions et les navires en considérant les conditions de circulation, la météo, les restrictions de poids et de taille, ainsi que d'autres facteurs, ce qui permet de réduire les coûts de transport et les délais de livraison.
- Gestion des stocks : l'IA peut aider à prédire la demande future et à ajuster les niveaux de stock en conséquence, ce qui réduit les coûts liés aux surplus et aux ruptures de stock.

⁴⁸ <https://www.marketingaiinstitute.com/what-is-ai> , (consulté le 29/04/2023 à 18 :00.)

⁴⁹ <https://throughput.world/blog/ai-in-supply-chain-and-logistics/> , (consulté le 29/04/2023 à 18 :40)

- Surveillance des équipements : l'IA peut aider à détecter les pannes et les défaillances des machines avant qu'elles ne se produisent, en analysant les données de capteurs et de systèmes de surveillance, ce qui optimise la maintenance préventive et réduit les temps d'arrêt.
- Gestion des commandes : l'IA peut aider à traiter les commandes plus rapidement et plus efficacement, en utilisant des chatbots et des assistants virtuels pour communiquer avec les clients, en utilisant des systèmes de reconnaissance de la parole et de la langue pour comprendre les demandes, et en utilisant des algorithmes pour trier et classer les commandes.
- Prévion de la demande : l'IA peut aider à prédire la demande future en analysant les tendances de vente, les données de marché et les comportements des consommateurs. Cette prévision permet d'ajuster les niveaux de production et les niveaux de stock en conséquence, ce qui optimise la planification de la chaîne d'approvisionnement.

L'adoption de l'IA dans la chaîne d'approvisionnement nécessite souvent des investissements importants en termes de technologie, de formation et de changement de culture. Cependant, son utilisation peut aider les entreprises à améliorer leur efficacité opérationnelle, à réduire les coûts et à améliorer la satisfaction des clients.

3.3 La blockchain

La blockchain est une technologie décentralisée qui permet de stocker et transmettre des informations de manière sécurisée et transparente, sans qu'il soit nécessaire d'avoir un organe central de contrôle.

Elle est largement utilisée dans de nombreux secteurs, tels que la banque, l'assurance, l'immobilier et l'énergie, pour sécuriser les transactions et éliminer les intermédiaires. Elle repose sur un registre décentralisé et distribué, où les utilisateurs peuvent enregistrer des informations de manière sécurisée et immuable, sans avoir besoin de tiers de confiance. La blockchain offre de nombreux avantages, notamment en termes de sécurité, de transparence, de traçabilité et de réduction des coûts.⁵⁰

⁵⁰ <https://www.economie.gouv.fr/entreprises/blockchain-definition-avantage-utilisation-application#> , (consulté le 30/04/2023 à 18 :45).

3.3.1. La Blockchain dans la chaîne d'approvisionnement :

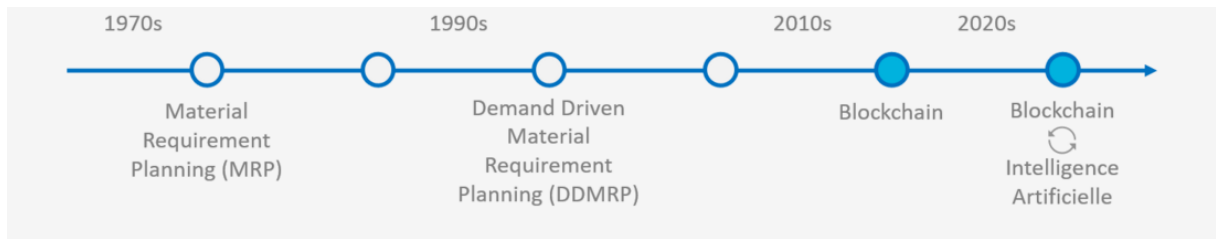


Figure 9 : Evolution des outils de communication entre Fournisseur - Producteur - Client.

Source : <https://www.bearingpoint.com/fr-fr/publications-evenements/blogs/blog-industry/comment-la-blockchain-peut-faire-de-votre-supply-chain-un-atout/> , (consulté le 30/04/2023 à 19 :05)

La Blockchain est une technologie qui a été adoptée dans différents domaines, mais elle peut également offrir de nombreux avantages dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement, tels que : ⁵¹

- Transparence, authenticité, confiance et sécurité : La blockchain peut améliorer la confiance des consommateurs et la sécurité des transactions en offrant une transparence accrue et une meilleure traçabilité des produits. Elle offre également une sécurité renforcée contre la falsification, la fraude et le cybercrime. De plus, les données stockées dans la blockchain sont fiables et authentiques grâce à leur intégrité garantie. Enfin, l'utilisation de la blockchain peut favoriser la confiance entre les différents acteurs de la chaîne logistique, ce qui peut s'avérer particulièrement utile dans les chaînes logistiques multi-niveaux.
- Efficacité et réduction des coûts et des déchets : La technologie Blockchain peut être utilisée pour améliorer la gestion des chaînes logistiques en offrant plusieurs avantages tels que la réduction des coûts et des risques, l'amélioration de la fiabilité, de la qualité, de la rapidité, de la durabilité et de la flexibilité. En transférant rapidement les données entre les parties, elle peut réduire le temps que les produits passent dans le processus de transit, améliorer la gestion des stocks et réduire les déchets. L'élimination des processus manuels et des documents papier grâce à la Blockchain peut également réduire les coûts et allouer efficacement les ressources pour l'expédition et d'autres activités. Les contrats

⁵¹ CHEKROUNI, (A) et AL : « L'impact potentiel de la Blockchain sur le supply chain management : quelles applications et quelles perspectives ? », Revue Française d'Economie et de Gestion « Volume 3 : Numéro 8 », 2022, P.171-179.

intelligents sont un élément clé pour automatiser les processus et améliorer l'efficacité de la chaîne logistique. En permettant la mise en cascade des documents commerciaux à travers une chaîne logistique, la technologie Blockchain peut aider les acteurs à mieux comprendre les attentes des consommateurs et à planifier des prévisions de demande plus précises. Enfin, elle peut également être utilisée pour lutter contre la fraude dans certaines industries.

Le tableau présenté ci-dessous énumère des exemples de diverses applications possibles de la blockchain dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement :

Auteurs	Champs d'application	Contexte d'application
(Almutairi, et al., 2022)	Énergies renouvelables	L'application de la blockchain dans le SCM des énergies renouvelables.
(Di Vaio & Varriale, 2020)	L'industrie aéroportuaire	Les principales implications de la blockchain sur les processus de décision en matière de SCM dans une perspective de performance durable.
(Dorri, et al., 2017)	Sécurité automobile et vie privée	Renforcement de la sécurité de l'écosystème véhiculaire avec une architecture blockchain pour protéger la vie privée des utilisateurs.
(Engelenburg, et al., 2017)	Informations sur les entreprises	Architecture logicielle blockchain pour le partage d'informations entre le gouvernement et les organisations
(Gromovs & Lammi, 2017)	Éducation	Générer de l'innovation avec les blockchains et l'IoT dans le domaine de l'enseignement de la logistique.
(Hou, et al., 2018)	Énergie photovoltaïque	Application de la technologie blockchain pour promouvoir le développement de l'énergie photovoltaïque distribuée en Chine
(Hughes, et al., 2019)	La gestion d'information	La contribution de la blockchain dans l'aide à la décision
(Kamble et al., 2021)	L'industrie automobile	L'impact de l'adoption blockchain sur la performance durable de la chaîne logistique.
(Kang, et al., 2017)	Modèle d'échange d'électricité	Développement d'un modèle d'échange pour l'achat et la vente d'électricité des véhicules électriques hybrides dans les réseaux intelligents
(Khan & Salah, 2018)	Problèmes de sécurité de l'IOT	Les blockchains appliquées pour résoudre les problèmes de sécurité de l'IOT
(Khaqqi, et al., 2018)	Gestion du programme d'échange des droits d'émission	Une application blockchain pour résoudre les problèmes de gestion et de fraude du système d'échange de quotas d'émission
(Kshetri, 2017a)	La sécurité blockchain dans les chaînes logistiques	L'importance des blockchains dans le suivi des sources d'insécurité des chaînes logistiques dans les dispositifs IoT
(Kshetri, 2017b)	La sécurité dans la chaîne logistique	Renforcement de la sécurité des réseaux de la chaîne logistique avec l'intégration des blockchains
(Kshetri, 2018)	SCM	Enquête sur la blockchain du point de vue du SCM, en tenant compte des coûts, de la qualité, de la rapidité, de la fiabilité, de la réduction des risques, de la durabilité et de la flexibilité.
(Lei, et al., 2017)	Systèmes de transport intelligents	Développement d'un cadre de blockchain pour générer une gestion sécurisée des clés dans un réseau hétérogène de systèmes de transport intelligents.
(Li, et al., 2018)	Cadre pour un réseau sécurisé	Proposition d'un cadre avec les blockchains pour soutenir un réseau ouvert, décentralisé et sécurisé.
(Lu & Xu, 2017)	Traçabilité des produits	Une étude de cas rapportant les caractéristiques d'un système de traçabilité des produits par blockchain.
(Mackey & Nayyar, 2017)	Chaîne logistique pharmaceutique	Lutter contre le commerce mondial de faux médicaments avec des applications blockchain.
(Mengelkamp, et al., 2018a)	Marchés de l'énergie des micro-réseaux	Conception de marchés énergétiques de micro-réseaux avec des applications blockchain
(Mengelkamp, et al., 2018b)	Commerce de l'énergie	Les blockchains utilisées dans le réseau intelligent pour fournir aux prosummateurs et aux consommateurs d'énergie une plateforme de marché décentralisée.
(O'Leary, 2017)	Architectures de blockchain pour les transactions	Différentes architectures de blockchain pour le traitement des transactions dans des contextes différents
(Paul et al., 2022)	Industrie du thé	L'importance du modèle SCM circulaire piloté par la blockchain dans l'industrie du thé.
(Pop, et al., 2018)	Réseaux énergétiques intelligents	Utiliser les outils blockchain dans le secteur de l'énergie, en répondant à la demande des prosummateurs d'énergie distribuée, en générant une flexibilité énergétique transparente, sûre, fiable et opportune pour les parties prenantes.
(Queiroz & Fosso Wamba ,2019)	La logistique et le SCM	Le rôle de la blockchain dans le renforcement de la transparence et de la confiance entre les parties prenantes
(Sharma, et al., 2017)	Réseau de véhicules et smart ville intelligente	Dans l'optique de la ville intelligente, les auteurs ont proposé une architecture de réseau de véhicules basée sur les blockchains.
(Shermin, 2017)	Perturbation de la gouvernance	Démonstration de la perturbation de la gouvernance avec les blockchains et les contrats intelligents.
(Sikorski, et al., 2017)	Marché de l'électricité et industrie chimique	Application de la blockchain et du M2M sur le marché de l'électricité dans l'industrie chimique
(Toyoda, et al., 2017)	Anti-contrefaçon	Propose un système de gestion de blockchain dans le contexte de la lutte contre la contrefaçon.
(Wu, et al., 2017)	Distribution de la chaîne logistique	Visibilité de la chaîne logistique soutenue par les blockchains, en utilisant un cadre de suivi des expéditions dans la distribution physique.
(Yin, et al., 2017)	Problèmes de sécurité du CPS	Les blockchains appliquées à la sécurité des communications M2M dans un environnement CPS
(Yue, et al., 2016)	Systèmes de santé	Développement d'applications basées sur les blockchains pour permettre aux patients de contrôler et de partager facilement leurs données, ainsi que pour renforcer la sécurité des systèmes de santé.
(Zhang & Wen ,2017)	Modèle commercial d'électricité IoT	Modèle commercial d'électricité IoT soutenu par des blockchains avec des contrats intelligents

Tableau 1 : Synthèse des travaux relatifs aux applications Blockchain.

Source : CHEKROUNI, (A) et AL : « *L'impact potentiel de la Blockchain sur le supply chain management : quelles applications et quelles perspectives ?* », Revue Française d'Economie et de Gestion « Volume 3 : Numéro 8 », 2022, P.168-170

3.4 Les technologies de suivi et de traçabilité

Les technologies de suivi et de traçabilité de la marchandise dans la chaîne d'approvisionnement sont des outils qui permettent de suivre le mouvement des produits et de leur information associée depuis leur point d'origine jusqu'à leur destination finale. On cite parmi eux : ⁵²

3.4.1. Les codes-barres :

Le système d'identification par code-barres unidimensionnel (1D) est très répandu, il utilise des bandes noires et blanches pour stocker des informations qui peuvent être lues rapidement par un scanner à main, mais qui nécessitent un contact visuel. Les codes-barres sont peu coûteux et faciles à créer, ce qui les rend très utiles pour identifier les produits à différentes étapes de la chaîne logistique. Cependant, ils présentent des inconvénients tels que la vulnérabilité aux dommages ou à la saleté, ainsi que la nécessité d'un contact visuel pour leur lecture.

3.4.2. Les QR codes :

Le QR code, également appelé code bidimensionnel (2D) ou flashcode, est un système d'identification bien établi qui stocke plus d'informations qu'un code-barres et peut être scanné à l'aide d'un smartphone ou d'un autre lecteur. Les étiquettes sont peu coûteuses et faciles à créer sur un PC via une police QR code, un logiciel d'étiquetage ou une application en ligne. Cependant, un contact visuel est nécessaire pour lire le code, et ils sont sensibles à l'encrassement et aux dommages. En outre, ils ne conviennent pas à la saisie en masse ni à la protection contre le vol des marchandises, tout comme les codes-barres.

3.4.3. Les puces RFID :

La technologie RFID offre des perspectives intéressantes pour la traçabilité en temps réel et la détection de masse. Elle se base sur l'utilisation d'étiquettes dotées d'une puce et d'une antenne qui transmettent les données par ondes radio à un lecteur. Les avantages de cette technologie sont nombreux, tels qu'une transmission rapide des données, une plus grande distance de lecture, une saisie précise et une traçabilité continue. Toutefois, elle reste plus coûteuse et complexe que les solutions de QR code ou à code-barres, et est susceptible d'être affectée par la présence de métaux et de liquides.

3.5 Les systèmes de gestion de l'information

D'après R. Reix (2004), un système d'information est constitué d'un ensemble de ressources organisées telles que des équipements matériels, des logiciels, des données, des procédures et

⁵² <https://www.brother.fr/blog/etiquetage/2021/la-tracabilite-logistique> , (consulté le 29/04/2023 à 21 :34).

du personnel. Le but de ce système est d'acquérir, de traiter, de stocker et de communiquer des informations au sein d'une organisation de manière efficace. Les fonctions principales d'un système d'information sont la saisie de données, le traitement, le stockage et la diffusion à tous les acteurs de la chaîne d'approvisionnement. Grâce à ce système, la chaîne d'approvisionnement peut fonctionner de manière fluide et coordonnée, ce qui permet de faciliter la prise de décisions rationnelles, de renforcer la coordination, de consolider le contrôle et d'améliorer la gestion opérationnelle, tactique et stratégique. La technologie utilisée dans les systèmes d'information offre aux entreprises un avantage concurrentiel sur leurs concurrents, leur permettant de s'adapter rapidement à la production, à la distribution et au marketing pour répondre aux besoins des clients. En outre, le système joue un rôle vital dans la circulation des flux de fournisseurs aux clients finaux, à différents niveaux de l'entreprise.⁵³

3.5.1. Les systèmes de gestion de l'information dans la chaîne d'approvisionnement :

Plusieurs catégories ont été établies par Heikki Holma (2010) pour classer les outils informatiques qui sont utilisés pour créer et intégrer les structures de la technologie de l'information dans la supply chain : ⁵⁴

3.5.1.1. Electronic data interchange (EDI) :

L'EDI est un protocole informatique qui permet à plusieurs ordinateurs de communiquer et de partager des fichiers entre différents départements d'une entreprise et avec des partenaires externes tels que les fournisseurs et les clients. Les départements concernés peuvent inclure l'approvisionnement, la production, la logistique, le transport et la distribution. L'adoption de l'EDI offre des avantages tels que des économies de coûts, une réduction des erreurs de saisie de données et des temps de transmission rapides. L'I-EDI utilise des protocoles internet sécurisés et est facilement adaptable aux besoins de l'entreprise.

3.5.1.2. ERP (Enterprise Resource planning) :

Les progiciels de gestion intégrée (ERP) de première génération sont des outils d'automatisation qui permettent d'intégrer toutes les fonctions d'une entreprise en une solution unique. Les

⁵³ DROUZI, (M) : « *Rôle des systèmes d'information dans la démarche supply chain management* », African Scientific Journal « Volume 03, Numéro 4 », 2021, P.24-25.

⁵⁴ Ibid., P.28-31.

différents modules de l'ERP gèrent plusieurs fonctions, notamment l'approvisionnement, la gestion des commandes, la validation des commandes, la gestion des ressources humaines et de la paie. Les ERP les plus populaires sont SAP, BAAN, Oracle et PeopleSoft. La deuxième génération d'ERP est une amélioration de la version 1.0, qui intègre les collaborateurs inter-organisationnels et fournit une meilleure visibilité des processus inter-organisationnels de la chaîne d'approvisionnement.

3.5.1.3. Le CRM (gestion de la relation client) :

Les systèmes de gestion de la relation client (CRM) sont des technologies qui aident les entreprises à gérer toutes les interactions et les relations avec leurs clients et prospects, dans le but d'améliorer les relations commerciales et de stimuler la croissance de l'entreprise. Ces systèmes offrent un ensemble d'outils complets couvrant la gestion des contacts, des ventes, de la productivité des agents, et bien plus encore. Les entreprises peuvent utiliser ces outils à différentes étapes du cycle de vie du client, y compris dans les interactions en marketing, ventes, commerce numérique et service client. Les solutions CRM permettent aux entreprises de se concentrer sur les relations individuelles tout au long du cycle de vie du client, de la recherche de nouveaux clients à la fourniture de support et de services tout au long de la relation..⁵⁵

3.5.1.4. APS :

Les systèmes de planification et d'ordonnancement avancés (Advanced Planning and Scheduling Systems en anglais) sont des outils informatiques qui permettent de planifier et d'optimiser la production en fonction de différents paramètres tels que la demande, les capacités de production et les contraintes logistiques. Leur objectif est d'améliorer l'efficacité de la chaîne logistique, en coordonnant la prévision de la demande, la planification de la production et des approvisionnements, ainsi que la distribution finale chez les clients finaux. Les APS sont des outils d'aide à la décision qui se concentrent principalement sur la gestion des ressources critiques et qui permettent une propagation des changements autant en amont qu'en aval. Les différentes fonctions couvertes par les APS incluent l'optimisation de la chaîne logistique, la planification de la demande, la planification à long terme coordonnant les approvisionnements, la production et la distribution, ainsi que la planification de la production et de l'ordonnancement. En résumé, les APS sont des outils clés pour les entreprises qui cherchent à

⁵⁵ <https://www.salesforce.com/crm/what-is-crm/>, (consulté le 30/04/2023 à 22 :35)

améliorer leur efficacité opérationnelle en optimisant leur chaîne logistique et leur planification de production.⁵⁶

3.5.1.5. Les WMS (Warehouse Management System) :

Le WMS est un système de gestion d'entrepôt qui permet d'optimiser et de gérer les stocks dans un entrepôt ou un centre de distribution. Il offre des fonctionnalités avancées pour suivre les mouvements de stocks, les niveaux d'inventaire, les emplacements de stockage, les commandes clients et les expéditions, tout en optimisant les flux et les processus de réapprovisionnement. Le WMS peut être implanté sur un ou plusieurs entrepôts et peut être intégré facilement avec d'autres systèmes tels que les ERP ou les solutions de gestion des expéditions, connus sous le nom de TMS.⁵⁷

3.5.1.6. Les TMS (Transport Management System) :

C'est un logiciel spécialisé dans la gestion du transport au sein de la chaîne logistique. Principalement destiné aux transporteurs et prestataires logistiques, il permet de planifier et d'optimiser les flux de transport, quelle que soit la modalité de transport utilisée, ainsi que de gérer la flotte de véhicules et les conducteurs. En outre, le TMS facilite l'organisation des plannings de chargement, de déchargement et de livraison, ainsi que la facturation des prestations de transport. Il est également utile pour les chargeurs souhaitant optimiser leurs activités de transport et les coûts qui y sont liés, ainsi que pour les entreprises de e-commerce gérant des opérations logistiques complexes, notamment la gestion des retours dans le cadre de la logistique inversée.⁵⁸

3.5.1.7. Les MRP (Materials Requirement Planning) :

Les fabricants ont besoin de prévoir et de calculer les quantités de matériaux dont ils ont besoin, ainsi que le moment où ils en auront besoin. Pour les aider dans cette tâche, ils peuvent utiliser une solution logicielle appelée "Manufacturing Resource Planning" (MRP). Au fil du temps, les fonctionnalités de ces logiciels ont évolué pour inclure une planification détaillée de la capacité, la planification, le contrôle en atelier et d'autres calculs. Ces améliorations ont conduit à une version améliorée appelée "MRP II", qui permet de comparer les prévisions avec les

⁵⁶ <https://www.advents.fr/le-blog-des-adventgers/aps-advanced-planning-and-scheduling-systems-2/#:~:text=Alors%20c'est%20quoi%20un,la%20production%20et%20des%20approvisionnements>., (consulté le 20/04/2023 à 22 :03.)

⁵⁷ <https://www.kls-group.fr/definition-wms/> , (consulté le 20/04/2023 à 22 :20.)

⁵⁸ <https://www.amalo-recrutement.fr/blog/tms-quest-ce-qu-un-transport-management-system-definition/>, (consulté le 30/04/2023 à 23 :20.)

données réelles, d'analyser les performances et d'améliorer les processus afin d'accroître l'efficacité des fabricants. En fin de compte, le MRP II est un outil précieux pour les fabricants qui cherchent à rationaliser leurs processus de planification et à améliorer leur efficacité opérationnelle.⁵⁹

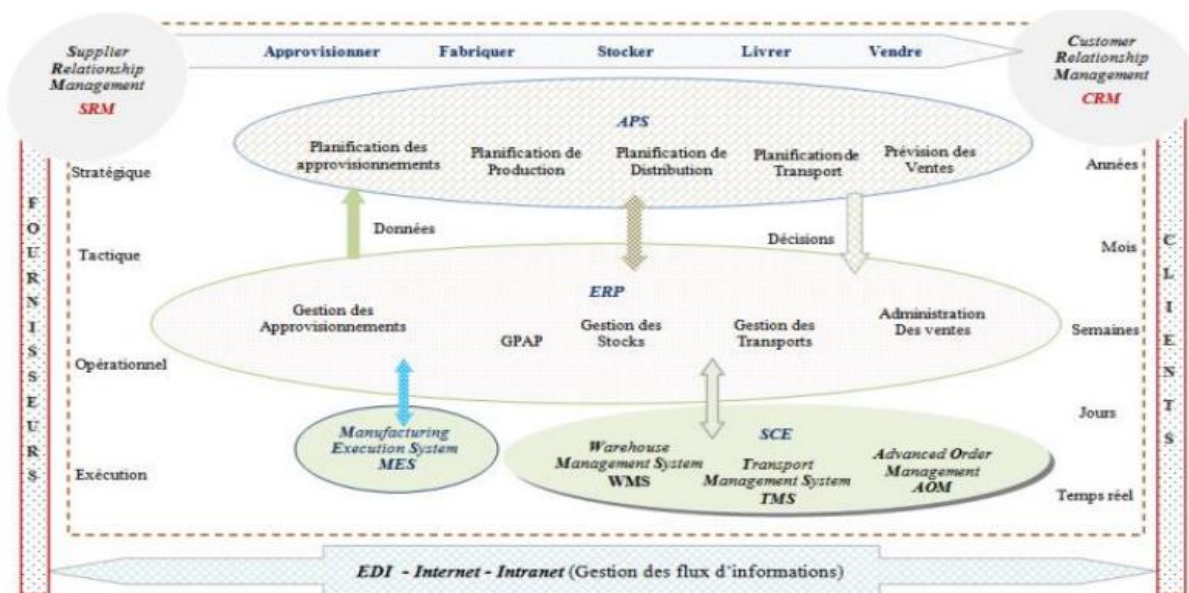


Figure 10 : Organisation des flux de la chaîne logistique par système d'information

Source : DROUZI, (M) : « *Rôle des systèmes d'information dans la démarche supply chain management* », African Scientific Journal « Volume 03, Numéro 4 », 2021, P.25.

3.6 La RPA (Robotic Process Automation)

La RPA, ou Automatisation de Processus Robotiques, est une technologie permettant aux logiciels informatiques d'imiter les actions habituellement réalisées par les humains en interaction avec les systèmes numériques pour exécuter des processus commerciaux. La robotique logicielle utilise des technologies d'automatisation intelligente pour effectuer des tâches de bureau répétitives qui étaient auparavant réalisées par des travailleurs humains. Grâce à l'Intelligence Artificielle et au Machine Learning, la RPA peut gérer des tâches répétitives à

⁵⁹ <https://www.amalo-recrutement.fr/blog/mrp/>, (consulté le 30/04/2023 à 23 :23.)

haut volume, telles que la réponse aux requêtes, les calculs, la maintenance des dossiers et les transactions.⁶⁰

3.6.1. La RPA dans la chaîne d’approvisionnement :

Voici sept exemples où la RPA montre le plus de potentiel pour automatiser les flux de travail de la chaîne d'approvisionnement et de la logistique : ⁶¹

- 3.6.1.1. Traitement des commandes : la RPA peut automatiser le processus de traitement des commandes, de la réception de la commande jusqu'à l'envoi des confirmations de commande.
- 3.6.1.2. Gestion des stocks : la RPA peut optimiser la gestion des stocks en automatisant les tâches de suivi et de réapprovisionnement.
- 3.6.1.3. Gestion des retours : la RPA peut automatiser la gestion des retours, en traitant les demandes de retour et en effectuant le suivi des retours physiques.
- 3.6.1.4. Suivi des expéditions : la RPA peut automatiser la mise à jour des informations de suivi des expéditions, en collectant les données des transporteurs et en les intégrant dans les systèmes de gestion des stocks.
- 3.6.1.5. Facturation et paiement : la RPA peut aider à automatiser les tâches de facturation et de paiement en extrayant les données des factures et en les intégrant dans les systèmes de comptabilité.
- 3.6.1.6. Conformité réglementaire : la RPA peut aider à automatiser les tâches de conformité réglementaire, en s'assurant que les processus sont conformes aux normes et réglementations en vigueur.
- 3.6.1.7. Prévision et planification : la RPA peut aider à automatiser les tâches de prévision et de planification de la demande, en utilisant des données historiques pour aider à prévoir la demande future.

⁶⁰ AMIN MOSALLAM (S) : « 100 Terms and Definitions you should know about Digital Transformation and Industry 4.0 », <https://www.symbios-digital.com/>, Symbios consulting Group, 2022, P.38.

⁶¹ <https://www.techtarget.com/searcherp/feature/7-use-cases-for-RPA-in-supply-chain-and-logistics>, (consulté le 29/04/2023 à 22 :20.)

3.7 Cloud Computing

Le cloud computing est considéré comme l'un des modèles les plus significatifs dans le monde de l'informatique, car il permet un accès facile et immédiat à un ensemble varié de ressources informatiques réunies sous un cloud partagé (tels que les réseaux, les serveurs, le stockage, les applications et les services). Ce modèle offre la possibilité de mettre rapidement à disposition et de libérer ces ressources avec une gestion minimale ou un service dédié. Il existe trois types de clouds :⁶²

- Machine à Machine
- Personne à Machine
- Personne à Personne

Un cloud permet de connecter des ordinateurs, des données et des personnes à grande échelle.

3.7.1. Le cloud computing dans la chaîne d'approvisionnement :

Le cloud computing est une technologie qui permet de stocker et d'accéder à des données et des applications à distance, via Internet, plutôt que de les stocker localement sur des ordinateurs ou des serveurs physiques. Cela offre de nombreux avantages pour les entreprises, notamment en matière d'efficacité, de flexibilité et de sécurité.⁶³

Dans la chaîne d'approvisionnement, le cloud computing peut jouer un rôle important en permettant aux entreprises de gérer et de partager efficacement les données et les informations liées aux approvisionnements, aux stocks, à la logistique et à la production. Voici quelques-uns des points clés de l'importance et du rôle du cloud computing dans la chaîne d'approvisionnement :⁶⁴

- Amélioration de la visibilité et de la traçabilité des données :

Le cloud computing permet de stocker et d'accéder facilement à des données en temps réel, ce qui peut aider les entreprises à suivre et à analyser les données liées aux stocks, à la production

⁶² AMIN MOSALLAM (S), Op.cit., P.11.

⁶³ « Cloud Computing : comment l'utiliser au profit de votre entreprise ? », <https://urlz.fr/IEe9>, (consulté le 01/05/2023 à 17 :02.)

⁶⁴ « 7 benefits of cloud computing for the supply chain », <https://blog.mercadoe.com/en/beneficios-cloud-computing-supply-chain/>, (consulté le 01/05/2023 à 17 :05).

et aux livraisons en temps réel. Cela peut aider les entreprises à prendre des décisions plus éclairées et à mieux gérer les risques.

- Amélioration de la collaboration et de la communication :

Le cloud computing permet de partager facilement des données et des informations avec des partenaires de la chaîne d'approvisionnement, tels que les fournisseurs, les transporteurs et les clients. Cela peut aider à améliorer la collaboration et la communication entre les différents acteurs de la chaîne d'approvisionnement, ce qui peut à son tour aider à réduire les coûts et à améliorer l'efficacité.

- Réduction des coûts et de la complexité informatique :

Le cloud computing peut aider les entreprises à réduire les coûts associés à la gestion et à la maintenance des infrastructures informatiques internes, telles que les serveurs et les logiciels. Cela peut également aider les entreprises à réduire la complexité informatique en permettant l'utilisation de logiciels en tant que service (SaaS) ou de plates-formes en tant que service (PaaS) pour gérer les processus de la chaîne d'approvisionnement.

- Amélioration de la sécurité des données :

Le cloud computing peut offrir une sécurité améliorée pour les données de la chaîne d'approvisionnement en permettant de stocker des données de manière centralisée et en utilisant des protocoles de sécurité avancés tels que le cryptage des données et l'authentification des utilisateurs. Cela peut aider à réduire les risques liés aux cyberattaques et aux violations de données.

En résumé, le cloud computing peut offrir de nombreux avantages pour les entreprises de la chaîne d'approvisionnement, notamment une meilleure visibilité et traçabilité des données, une amélioration de la collaboration et de la communication, une réduction des coûts et de la complexité informatique, ainsi qu'une amélioration de la sécurité des données.

CONCLUSION

En conclusion, la transformation digitale de la supply chain représente un changement majeur dans le fonctionnement des entreprises et un enjeu crucial pour leur compétitivité sur un marché mondialisé et ultra-connecté. En intégrant les technologies numériques à leur chaîne d'approvisionnement, les entreprises peuvent optimiser leurs processus, améliorer la visibilité des données, mieux gérer les risques et réduire les coûts. Cette transformation offre également une opportunité pour les entreprises de repenser leur chaîne d'approvisionnement afin de la rendre plus performante, plus agile et plus résiliente.

Pour parvenir à une transformation digitale efficace de leur supply chain, les entreprises doivent inclure les technologies clés dans leur stratégie. Cela requiert également une collaboration étroite entre tous les acteurs de la chaîne d'approvisionnement afin d'améliorer la communication et la visibilité des données.

En somme, la transformation digitale de la supply chain est un défi de taille pour les entreprises, mais elle représente une opportunité unique de se réinventer pour s'adapter aux exigences du marché et rester compétitives. La mise en place de la supply chain digitale permet aux entreprises d'optimiser leur efficacité opérationnelle et de mieux répondre aux demandes de leurs clients grâce à une plus grande flexibilité et une meilleure transparence tout au long de la chaîne d'approvisionnement.

Chapitre III :

Le potentiel des jumeaux numériques et des tours de contrôle dans la transformation digitale de la Supply Chain

INTRODUCTION

Avec l'avènement de la technologie numérique, les entreprises cherchent constamment de nouvelles façons d'optimiser leur processus de production et de gestion de la Supply Chain

C'est là que les jumeaux numériques entrent en jeu, offrant une représentation virtuelle précise des produits et des processus de production, qui peuvent être utilisés pour simuler différents scénarios et aider à la prise de décision.

Dans ce chapitre, nous explorerons les concepts de base des jumeaux numériques, les technologies utilisées pour leur création, et leur application dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement.

Nous discuterons également des bonnes pratiques des jumeaux numériques dans la gestion de la Supply Chain et de la mise en place de la tour de contrôle de la chaîne d'approvisionnement.

Section 1 : Concepts de base du jumeau numérique

1.1. Définition des jumeaux numériques :

Un jumeau numérique est une copie virtuelle dynamique d'un actif physique, d'une procédure, d'un système ou d'un environnement qui ressemble à son homologue physique en apparence et en comportement. Un jumeau numérique ingère des données et réplique des processus pour simuler le fonctionnement du produit réel et identifier les problèmes potentiels.⁶⁵

En 2002, Michael Grieves a donné la première définition d'une notion aujourd'hui connue sous le nom de "jumeau numérique" dans le cadre d'une présentation industrielle sur la gestion du cycle de vie des produits (PLM). La définition originale d'un jumeau numérique le décrit comme une structure informationnelle physiquement liée, créée en tant qu'entité autonome, se rapportant à un système physique. Toutes les informations relatives au système qui peuvent être obtenues à partir d'un examen approfondi dans le monde réel doivent être incluses dans la représentation numérique de la meilleure façon possible.⁶⁶

Mais la technologie des jumeaux numériques existait bien avant, elle est en fait un concept pratiqué depuis les années 1960. À cette époque, la NASA a développé le concept de "jumeau numérique" comme "modèle vivant" de la mission Apollo. La NASA a utilisé un certain nombre de simulateurs pour analyser la défaillance après l'explosion du réservoir d'oxygène d'Apollo 13, qui a endommagé le moteur principal. Elle a également élargi un modèle physique du véhicule pour y inclure des composants numériques. Premier du genre, ce "jumeau numérique" a modélisé les événements qui ont conduit à la catastrophe pour les besoins d'un examen médico-légal et d'une enquête sur les actions possibles à entreprendre par la suite. Au cours des 50 dernières années, la NASA et le reste de l'industrie aérospatiale ont développé et utilisé des modèles numériques haute-fidélité de systèmes et de composants physiques, ainsi que des environnements difficiles dans lesquels ils fonctionnent⁶⁷

Comme indiqué plus haut, le terme "jumeau numérique" trouve son origine dans l'industrie aérospatiale américaine. Ainsi, la Defense Acquisition University définit le jumeau numérique

⁶⁵ « What is a digital twin ? » <https://unity.com/solutions/digital-twin-definition> (consulté le 01/05/2023 à 15h10)

⁶⁶ WERNER, (K) et Autres: "Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification", IFAC PapersOnLine 51-11 (2018) 1016–1022

⁶⁷ « Digital Twins and Living Models at NASA » <https://ntrs.nasa.gov/citations/20210023699> (consulté le 01/05/2023 à 15h55)

*comme étant " une simulation intégrée multi-physique, multi-échelle et probabiliste d'un système tel qu'il a été construit, rendue possible par le Digital qui utilise les meilleurs modèles disponibles, les informations des capteurs et des données d'entrée afin de refléter et de prédire les activités/performances pendant la durée de vie de son jumeau physique correspondant".*⁶⁸

Fondamentalement, un digital twin peut être défini comme un profil numérique dynamique du comportement historique et présent d'un objet ou d'un processus physique, contribuant à optimiser les performances de l'entreprise. Les bases du jumeau numérique sont les mesures de données massives, cumulatives, en temps réel et dans le monde réel dans une gamme de dimensions. Ces mesures pourraient entraîner une évolution du profil de l'objet ou du processus dans le monde numérique, ce qui pourrait révéler des informations cruciales sur les performances du système et conduire à des actions physiques comme la modification de la conception du produit ou du processus de fabrication.⁶⁹

En résumé un jumeau numérique est une copie virtuelle d'un objet physique, d'un système ou d'un environnement qui permet de simuler son comportement en utilisant des données d'entrée. Les jumeaux numériques sont utilisés dans de nombreux secteurs, notamment l'aérospatiale, l'automobile, l'énergie et la santé, pour optimiser la conception, la fabrication et la maintenance de produits et de processus. Ils sont basés sur des données massives en temps réel et permettent de prendre des décisions éclairées et d'améliorer les performances des systèmes physiques.

⁶⁸ CAMERON, (D), WAALER, (A) et KOMULAINEN, (T): "Oil and Gas digital twins after twenty years. How can they be made sustainable, maintainable and useful?", Proceedings of The 59th Conference on Simulation and Modelling (SIMS 59), 26-28 September 2018, Oslo Metropolitan University, Norway. Page 10

⁶⁹ Dr. WARSHAW, (L) et PARROTT, (A): "Industry 4.0 and the digital twin", Deloitte University Press. Page 3.



Figure 11: représentation visuelle d'un jumeau numérique

Source : « *How Digital Twin and Analytics Improve Operations, Minimize Costs* », <https://www.jacobs.com/newsroom/news/how-digital-twin-and-analytics-improve-operations-minimize-costs> , (consulté le 02/05/2023 à 22 :50)

1.2. Comment fonctionne un jumeau numérique ?

Un digital twin est un modèle virtuel qui reflète précisément un objet physique. Les capteurs installés sur l'objet physique collectent des données sur les aspects clés de son fonctionnement, tels que la température, la production d'électricité et les conditions météorologiques. Ces derniers seront appliqués à la version numérique en étant envoyées à un système de traitement. Par la suite, le modèle virtuel peut être utilisé pour exécuter des simulations, analyser les problèmes de rendement et suggérer des améliorations potentielles. Les données générées peuvent ensuite être appliquées à l'objet physique pour améliorer ses performances.⁷⁰

Le jumeau numérique est largement utilisé dans le domaine de la maintenance prédictive, car il permet de créer un modèle virtuel d'un équipement physique et de surveiller ses performances en temps réel. En analysant les données collectées, il est possible de prévoir les pannes et de planifier la maintenance avant que l'appareil ne tombe en panne, ce qui permet de réduire les temps d'arrêt et les coûts.

⁷⁰ « *what is a digital twin* », <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin> (consulté le 01/05/2023 à 17:20).

Le digital twin peut également être utilisé pour optimiser les processus de fabrication. En créant un modèle virtuel d'un processus de fabrication, il est possible de simuler différents scénarios et d'identifier les problèmes potentiels. Les modifications peuvent ensuite être apportées pour améliorer l'efficacité du processus et réduire les coûts de production. Les fabricants peuvent également utiliser le jumeau numérique pour explorer de nouvelles méthodes de production et pour tester des prototypes virtuels avant de les produire physiquement.⁷¹

1.3. La création de jumeau numérique

La création d'un jumeau numérique implique de créer une réplique virtuelle d'un objet physique, d'un système ou d'un processus en utilisant des modèles informatiques et des données en temps réel.

MAIS comment créer réellement un jumeau numérique ?

La conception des procédures de jumelage numérique, la définition des besoins d'information et la mise en place de la technologie nécessaire pour combiner le bien physique et son jumeau numérique sont autant d'étapes du processus de création d'un jumeau numérique. Un aperçu des procédures générales de création d'un jumeau numérique est présenté ci-dessous :⁷²

1.3.1. Etape 1 : Définir la portée et les objectifs

Cette étape consiste à déterminer les objectifs du jumeau numérique et les limites de la portée du projet. Il s'agit de définir l'entité physique qui sera reproduite, les capteurs nécessaires pour collecter les données et leurs sources, ainsi que les cas d'utilisation spécifiques du jumeau numérique. Cela permettra de s'assurer que le JN est conforme aux besoins et aux objectifs de l'entreprise.

⁷¹ « Comprendre le fonctionnement du jumeau numérique », <https://commentouvrir.com/info/comprendre-le-fonctionnement-du-jumeau-numerique/> (consulté le 02/05/2023 à 22 :20)

⁷² « Créer un jumeau numérique : un guide complet », <https://commentouvrir.com/info/creer-un-jumeau-numerique-un-guide-complet/> , (consulté le 02/05/2023 à 20 :30)

1.3.2. Etape 2 : Collecte et intégration des données

La deuxième étape consiste à rassembler et combiner des données provenant de différentes sources afin de créer une vue globale exhaustive de l'entité physique. Les informations peuvent être collectées à partir de capteurs, d'archives historiques, de modèles de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et d'autres sources fiables. Par la suite, ces données sont traitées et converties dans un format numérique qui peut être utilisé pour la modélisation et la simulation. L'objectif est de parvenir à une représentation complète et intégrée des données afin de les exploiter ultérieurement.

1.3.3. Etape 3 : Modélisation et simulation du jumeau numérique.

La troisième étape implique la création d'un jumeau numérique par le biais de la modélisation et de la simulation. Dans cette étape, un modèle mathématique précis est développé pour représenter l'entité physique et son comportement. Ce modèle est construit en utilisant les données collectées et les connaissances spécifiques au domaine. Il est ensuite soumis à des simulations et à des tests pour être validé et amélioré, afin qu'il reflète de manière fidèle le système réel. Le jumeau numérique ainsi créé permet de prédire et d'optimiser les performances du système, de détecter d'éventuels problèmes et d'explorer divers scénarios.

1.3.4. Etape 4 : Déployer et surveiller le jumeau numérique

À cette étape, le jumeau numérique est intégré au système physique à l'aide de capteurs et d'autres dispositifs. Les données recueillies par le jumeau numérique sont ensuite utilisées pour détecter les anomalies, anticiper les défaillances potentielles et optimiser en temps réel les performances du système. Le jumeau numérique peut également être exploité dans le but de former et éduquer les opérateurs et les ingénieurs, leur permettant de mieux comprendre le système physique et de prendre des décisions plus éclairées.

La création d'un jumeau numérique peut être un processus complexe et nécessite une équipe multidisciplinaire avec une expertise dans des domaines tels que l'ingénierie, la science des données et les technologies de l'information. Cependant, les avantages d'un jumeau numérique

peuvent être importants, notamment une amélioration de la performance de l'actif, une réduction du temps d'arrêt et une augmentation de l'efficacité et de la productivité.

1.4. Les technologies utilisées pour la création des Digital Twins

La modélisation des données, l'application des données et la collecte des données sont les trois facettes fondamentales des jumeaux numériques. Pour collecter et stocker des données en temps réel, rassembler des connaissances afin d'offrir un aperçu inestimable et produire une réplique numérique d'un objet physique, le jumeau numérique fait appel à quatre technologies. Ces technologies sont l'informatique en nuage, l'intelligence artificielle, la réalité étendue et l'internet des objets. En outre, selon le type d'application, le jumeau numérique utilise plus ou moins une technologie spécifique.⁷³

1.4.1. Internet des objets (IoT)

L'IoT désigne un gigantesque réseau de "choses" connectées. La connexion se fait entre des choses, des personnes, des choses ou des personnes. Digital Twins utilise l'IoT comme technologie principale dans chaque application. D'ici 2027, plus de 90 % de toutes les plateformes IoT auront une capacité de jumelage numérique. L'IoT utilise des capteurs pour collecter des données à partir d'objets du monde réel. Les données transmises par l'IoT sont utilisées pour créer une duplication numérique d'un objet physique. La version numérique peut ensuite être analysée, manipulée et optimisée. L'IoT actualise constamment les données et aide les applications de jumeaux numériques à créer une représentation virtuelle en temps réel d'un objet physique. Par conséquent, chaque application de jumeau numérique utilise l'IoT comme technologie principale.⁷⁴

1.4.2. Le Cloud Computing

L'informatique en nuage est un paradigme qui permet d'accéder à des ressources informatiques par l'intermédiaire d'un réseau public. Grâce à l'informatique en nuage, le client peut accéder à un ensemble de services qui sont détenus et gérés par un tiers en ligne. Ces propriétés ne sont

⁷³ ATTARAN, (M) et CELIK, (B): “*Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities*”, Decision Analytics Journal, Volume 6, Mars 2023, P.2.

⁷⁴ Ibid., P.2.

pas physiquement situées là où elles sont accessibles. Les capacités informatiques utilisées dans l'informatique en nuage comprennent, par exemple, le stockage des données, les bases de données, la puissance de traitement et des services tels que l'analyse des données. L'avantage de l'utilisation de l'informatique en nuage est que le client n'a pas besoin d'acheter et d'entretenir du matériel coûteux ou de posséder un espace de traitement. Avec la possibilité d'augmenter ou de diminuer la capacité à tout moment, le client ne paie que pour les services en nuage qu'il utilise réellement. Bien que l'informatique dématérialisée soit devenue une technologie courante, elle a suscité quelques inquiétudes en matière de sécurité.⁷⁵

1.4.3. Intelligence artificielle (IA)

Discipline de l'informatique, l'IA cherche à imiter les fondements de l'intelligence pour créer une nouvelle machine intelligente capable de réagir comme l'intelligence humaine. Les domaines d'étude de l'IA comprennent la robotique, la reconnaissance d'images et la reconnaissance du langage. Avec les réseaux neuronaux, l'apprentissage automatique, l'apprentissage profond et les systèmes experts, l'IA peut aider Digital Twins en fournissant un outil analytique avancé capable d'analyser automatiquement les données obtenues et de fournir des informations précieuses, de faire des prédictions sur les résultats et de donner des suggestions sur la manière d'éviter les problèmes potentiels.⁷⁶

1.4.4. Extended Reality (XR)

La réalité étendue (RE) est un terme générique utilisé pour décrire les technologies immersives telles que la réalité virtuelle (RV), la réalité augmentée (RA) et la réalité mixte (RM). Ces technologies peuvent fusionner les mondes physique et virtuel et étendre la réalité que nous expérimentons. La réalité virtuelle crée des représentations numériques d'objets où les objets numériques et réels coexistent et interagissent en temps réel. Les jumeaux numériques utilisent les capacités XR pour modéliser numériquement des objets physiques, ce qui permet aux utilisateurs d'interagir avec le contenu numérique⁷⁷

⁷⁵ MOSHOOD, (T.D) et autres : « *Digital Twins Driven Supply Chain Visibility within Logistics: A New Paradigm for Future Logistics* », Appl. Syst. Innov, 2021, P.15.

⁷⁶ ATTARAN, (M) et CELIK, (B): Op.cit., P.2.

⁷⁷ ATTARAN, (M) et CELIK, (B): Op.cit., P.2.

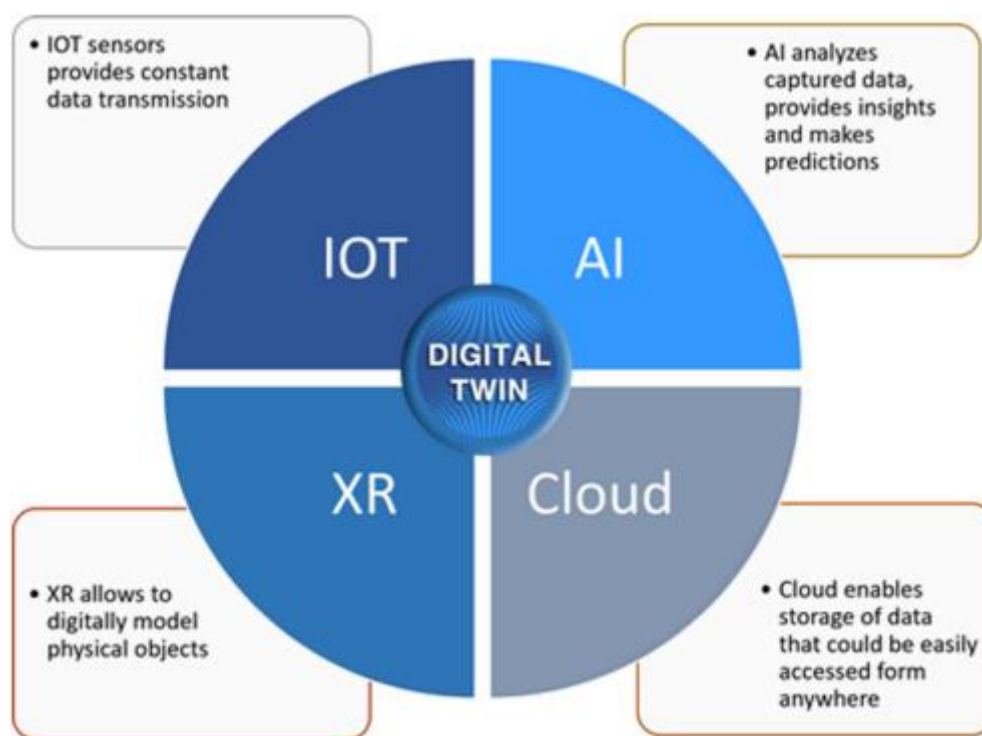


Figure 12 : technologies des Digital Twins

Source : ATTARAN, (M) et CELIK, (B): “Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities”, *Decision Analytics Journal*, Volume 6, Mars 2023, P.3.

1.5. Outils nécessaires pour la création des jumeaux numériques

La sélection des outils nécessaires pour créer des jumeaux numériques dépend de l'objectif visé. Voici quelques outils qui peuvent être utiles :

1.5.1. Application Programming Interface (API)

Les applications telles que les bases de données, les réseaux et les appareils IoT peuvent communiquer entre elles grâce à des interfaces de programmation d'applications. Les développeurs peuvent réutiliser des blocs de construction appelés API plutôt que de partir de zéro lorsqu'ils réécrivent des programmes. L'API Google Maps en est une illustration simple, qui peut être associée à du contenu tiers pour afficher les points d'intérêt à proximité sur une carte Google. Dans ce cas, le tiers n'aurait pas à programmer une carte entièrement nouvelle, ce qui permet d'économiser du temps et de l'argent. Comme de nombreuses entreprises modernes

utilisent l'informatique en nuage, les API facilitent le transfert de données entre les nuages, les ordinateurs et d'autres systèmes.⁷⁸

1.5.2. Outils de CAO ou de modélisation 3D

Les équipes d'ingénierie et de conception utilisent des programmes de CAO ou d'autres outils de modélisation 3D pour créer des modèles numériques de produits ou de systèmes. Ces modèles sont la base de la création de jumeaux numériques. Les entreprises qui construisent des jumeaux numériques ont besoin d'un pipeline efficace pour exporter ces conceptions CAO vers d'autres outils dans le pipeline. L'avantage de ce pipeline est qu'il permet d'éviter les répétitions et de gagner du temps. Par exemple, si une modification doit être apportée à une conception CAO, elle peut être transposée facilement dans le jumeau numérique amélioré. Cela permet de maintenir une cohérence entre les différentes étapes du processus de fabrication.⁷⁹

1.5.3. Moteurs de jeu

Les moteurs de jeu, comme Unreal, sont utilisés pour créer des environnements de jeu avec des graphismes et des mouvements réalistes. Ils ont également des capacités de rendu avancées qui permettent de créer des visualisations plus réalistes pour les jumeaux numériques. Les visualisations créées avec les moteurs de jeu rendent les modèles plus faciles à comprendre en leur donnant vie et en permettant une connexion émotionnelle avec ce qu'ils représentent. Cela permet aux utilisateurs de mieux comprendre les interactions entre les différents composants d'un système et de mieux visualiser son fonctionnement.⁸⁰

1.5.4. Système de contrôle des versions

La création d'un jumeau numérique nécessite la collecte et le traitement d'un grand nombre de données. Ces données sont mises à jour et modifiées au fil du temps pour refléter les changements dans le produit ou le système réel. Il est important de stocker et de gérer ces données de manière à pouvoir y accéder facilement et à suivre les changements apportés à

⁷⁸ MOSHOOD, (T.D) et autres : Op.cit., P.16.

⁷⁹ « *Quels prérequis au déploiement du jumeau numérique de votre production ?* », <https://forcam.com/fr/jumeau-numerique-en-production/>, (consulté le 03/05/2023 à 09 :50)

⁸⁰ « *Quels prérequis au déploiement du jumeau numérique de votre production ?* », <https://forcam.com/fr/jumeau-numerique-en-production/>, (consulté le 03/05/2023 à 10 :05)

chaque fichier. Un système de contrôle des versions permet de gérer ces changements en enregistrant les différentes versions de chaque fichier et en les stockant dans une base de données. Cela permet aux membres de l'équipe de travailler sur les mêmes fichiers et de s'assurer que les dernières modifications sont prises en compte dans le jumeau numérique final.⁸¹

Section 2 : les jumeaux numériques dans la Supply Chain

2.1. Qu'est-ce qu'un jumeau numérique de la Supply Chain (DSCT)

Un jumeau numérique de la Supply Chain (DSCT) est un modèle de simulation dynamique numérique qui représente un système logistique réel et qui dispose d'une connexion de données bidirectionnelle, opportune et à long terme avec ce système. Ce modèle peut représenter un sous-système ou un réseau de valeur complet. Grâce à l'observation du modèle numérique, des informations sur le système logistique réel peuvent être obtenues pour prendre des décisions et mener des actions dans le monde réel, avec pour but ultime d'améliorer les performances logistiques tout au long du processus de commande client.

Le DSCT cartographie les données, l'état, les relations et le comportement du système logistique, en incluant les processus physiques, informationnels et organisationnels. Il reproduit le comportement du système à l'aide de capacités de simulation dynamique. Ainsi, toute information pertinente pouvant être obtenue en observant le système logistique du monde réel peut également être obtenue en observant le modèle numérique. Les décideurs en logistique et en gestion de la chaîne d'approvisionnement peuvent utiliser le DSCT comme outil pour améliorer de manière holistique les performances logistiques tout au long du processus de commande client, en se basant sur des données pertinentes.

L'échange de données entre le système logistique et son DSCT se caractérise par trois attributs : bidirectionnel, opportun et à long terme. Les données sont échangées dans les deux sens, et les changements dans l'état du système logistique entraînent des changements dans l'état de la maquette numérique. Les connaissances acquises à partir de la maquette numérique conduisent également à des actions ou à des prises de décision dans le système logistique. L'échange de

⁸¹ « Quels prérequis au déploiement du jumeau numérique de votre production ? », <https://forcam.com/fr/jumeau-numerique-en-production/>, (consulté le 03/05/2023 à 10 :25)

données se fait en temps opportun, à une fréquence déterminée par le cas d'utilisation. Enfin, l'échange de données est conçu pour une utilisation continue et à long terme, avec des modèles de simulation numérique créés dans le cadre des activités du projet ou pour un usage ponctuel qui ne doivent pas être considérés comme des DSCT.

Un DSCT est un modèle de simulation dynamique qui permet des expériences de simulation sensibles au facteur temps. Cela le distingue des autres modèles numériques statiques. Le DSCT peut être utilisé pour des moyens de business intelligence tels que le reporting et la surveillance, mais également pour des outils d'analyse plus avancés tels que des algorithmes d'optimisation de réseau ou des analyses de scénarios via des expériences de simulation. Les applications du DSCT peuvent offrir plusieurs avantages, tels que l'agilité, la robustesse, la durabilité et l'amélioration de l'efficacité⁸²

⁸² GERLACH, (B) et autres : « *Digital Supply Chain Twins—Conceptual Clarification, Use Cases and Benefits* », Logistics, 5, 86, 2021, P. 5-6.

Source	Définition/compréhension
Srai et coll., 2019 [28]	Quelle que soit la définition spécifique utilisée, le concept DT implique généralement les aspects suivants: (1) un objet physique; (2) sa représentation « numérique » ou « virtuelle »; et (3) la nature du lien entre les deux, ainsi qu'entre les DT.
Ivanov et coll., 2019 [29]	Un DSCT est un modèle qui peut toujours représenter l'état du réseau en temps réel pour un moment donné et l'interaction avec d'autres outils SCM fournit une tour de contrôle pour une visibilité complète de bout en bout du SC afin d'améliorer la résilience et de tester les plans d'urgence.
Marmolejo-Saucedo 2020 [10]	[...] nous pouvons définir un jumeau numérique de chaîne d'approvisionnement comme un modèle de simulation détaillé d'une chaîne d'approvisionnement réelle qui prédit le comportement et la dynamique d'une chaîne d'approvisionnement pour prendre des décisions à moyen / court terme. Se compose de six couches : le jumeau physique, la source de données locale, les référentiels de données locaux, les interfaces de passerelle IoT, les référentiels d'informations basés sur le cloud et la plate-forme d'émulation et de simulation.
AnyLogic 2018 [30]	Un DT est un type spécial de modèle de simulation qui représente un exemple spécifique de quelque chose dans le présent et est obtenu en combinant les données actuelles du sujet avec son modèle de simulation.
DHL 2019 [6]	En logistique, le DT ultime serait un modèle d'un réseau SC complet . Caractéristiques/attributs clés qui aident à différencier la vraie DT des autres types de modèles informatiques ou de simulation: Les DT sont des modèles virtuels d'une « chose » réelle; représentent virtuellement un actif physique unique. Les DT simulent à la fois l'état physique et le comportement de la chose. Les DT sont uniques, associés à une instance unique et spécifique de la chose/de l'actif physique. Les DT sont connectés à la chose, se mettant à jour en réponse aux changements connus de l'état, de l'état ou du contexte de la chose; collectent continuellement des données (via des capteurs) et sont connectés à l'actif physique, se mettant à jour avec tout changement à l'état, à l'état ou au contexte de l'actif. Les DT apportent de la valeur par la visualisation, l'analyse, la prédiction ou l'optimisation.
Korth et coll., 2018 [31]	DT peut donc être caractérisé de la manière suivante: il s'agit d'une collection liée de différents types de données (comme les données d'exploitation) ainsi que de différents modèles; il évolue avec le système réel tout au long de son cycle de vie ; Il est capable de dériver des solutions pertinentes pour les systèmes réels (par exemple, optimiser le fonctionnement et le service).
Ding 2019 [32]	La chaîne d'approvisionnement de bout en bout couvre le flux d'informations, la logistique et les flux de capitaux de tous les fournisseurs vers tous les clients, couvrant tous les détails des produits et les cycles temporels de la chaîne d'approvisionnement (en fonction de l'activité spécifique de chaque industrie spécifique). Il ne s'agit pas seulement d'un réseau physique de chaîne d'approvisionnement, mais aussi d'un cycle temporel (tel qu'un cycle de planification de la chaîne d'approvisionnement continue). Alors que la plupart des processus et logiciels de la chaîne d'approvisionnement d'aujourd'hui sont configurés en fonction d'une partie de la chaîne d'approvisionnement, la chaîne d'approvisionnement du jumeau numérique devrait avoir la capacité d'intégrer le niveau de détail le plus bas et le plus élevé de tous les éléments ensemble et de fournir un niveau en temps réel de capacité de prise de décision de gestion.

Tableau 2: Définitions et compréhensions de DSCT

Source : GERLACH, (B) et autres : « Digital Supply Chain Twins—Conceptual Clarification, Use Cases and Benefits », Logistics, 5, 86, 2021, P. 4.

Le DSCT a été identifié parmi les huit tendances technologiques stratégiques de la Supply Chain qui ont un large impact sur l'industrie selon GARTNER « Un jumeau numérique est une représentation numérique d'une entité ou d'un système réel. Un jumeau de chaîne d'approvisionnement numérique est une représentation numérique des relations entre toutes les entités pertinentes d'une chaîne d'approvisionnement de bout en bout, telles que les produits, les clients, les marchés, les centres de distribution/entrepôts, les usines, les finances, les attributs et la météo. Il crée une visibilité de bout en bout en étant synchronisé avec la Supply Chain

réelle. Ce lien améliore grandement la connaissance de la situation et augmente la qualité et la rapidité des décisions. »⁸³

D'après AnyLogistix « Un jumeau numérique de la chaîne d'approvisionnement est un modèle de simulation détaillé d'une chaîne d'approvisionnement réelle qui utilise des données/photos en temps réel pour prévoir la dynamique de la chaîne d'approvisionnement. À partir de là, les analystes peuvent comprendre le comportement d'une chaîne d'approvisionnement (compréhension), prévoir les situations anormales (apprentissage) et élaborer un plan d'action (raisonnement). »⁸⁴



Figure 13: supply chain digital twin

Source : « Supply Chain Digital Twins definition, the problems they solve, and how to develop them », AnyLogistix supply chain software, P.3.

En résumé, un jumeau numérique de la supply chain est un modèle de simulation dynamique numérique d'un système logistique réel, qui dispose d'une liaison de données à long terme, bidirectionnelle et opportune avec ce système. Il permet de cartographier les données, l'état, les relations et le comportement du système logistique, et d'imiter son comportement à l'aide de capacités de simulation dynamique. Le jumeau numérique de la supply chain est utilisé pour améliorer de manière holistique les performances logistiques tout au long du processus de commande client grâce à une prise de décision basée sur les données.

⁸³ « Gartner Top 8 Supply Chain Technology Trends for 2019 », <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-8-supply-chain-technology-trends-for-2019> , (consulté le 03/05/2023 à 19 :30)

⁸⁴ « Supply Chain Digital Twins definition, the problems they solve, and how to develop them », AnyLogistix supply chain software, P.3.

2.2. Applications de jumeaux numériques dans la supply chain

L'application des digital twins dans la supply chain est un sujet de recherche de plus en plus exploré ces dernières années. En effet, selon l'article de Ding Yi, les jumeaux numériques sont de plus en plus utilisés dans les différents domaines de la supply chain, notamment pour l'approvisionnement, la production, le stockage, le transport et les ventes. L'auteur souligne que les avantages des jumeaux numériques incluent une meilleure visibilité de la chaîne d'approvisionnement, une prise de décision plus rapide et plus précise, ainsi qu'une réduction des coûts et une amélioration de l'efficacité opérationnelle. Voici en détail les applications des jumeaux numériques dans la supply chain, ainsi que les avantages et les défis liés à leur utilisation :⁸⁵

2.2.1. Application du jumeau numérique dans le domaine de l'approvisionnement

Dans le domaine de l'approvisionnement, le processus d'achat est crucial pour connecter les différentes étapes de l'entreprise, de la conception à la fabrication. Ce processus implique à la fois des aspects commerciaux et logistiques. L'objectif principal de l'approvisionnement est de minimiser les coûts tout en réduisant la durée du cycle d'approvisionnement. En effet, plus les informations sont transmises rapidement à l'acheteur, plus il est facile de contrôler les coûts et le cycle d'approvisionnement. Le jumeau numérique peut être utilisé dans le processus d'achat pour simuler les différentes étapes, réduire les risques d'erreurs et améliorer la qualité des produits. Il peut également aider à suivre et optimiser les performances des fournisseurs en temps réel.

Dans l'ensemble, l'utilisation du jumeau numérique peut offrir des avantages significatifs tels que la réduction des coûts et l'optimisation des délais d'approvisionnement.

⁸⁵ DING, (Y) : « *Brief Analysis About Digital Twin Supply Chain Model and Application* », Industrial Engineering and Innovation Management, 2: 14-23 ,Clausius Scientific Press, Canada, 2019, P.18-22.

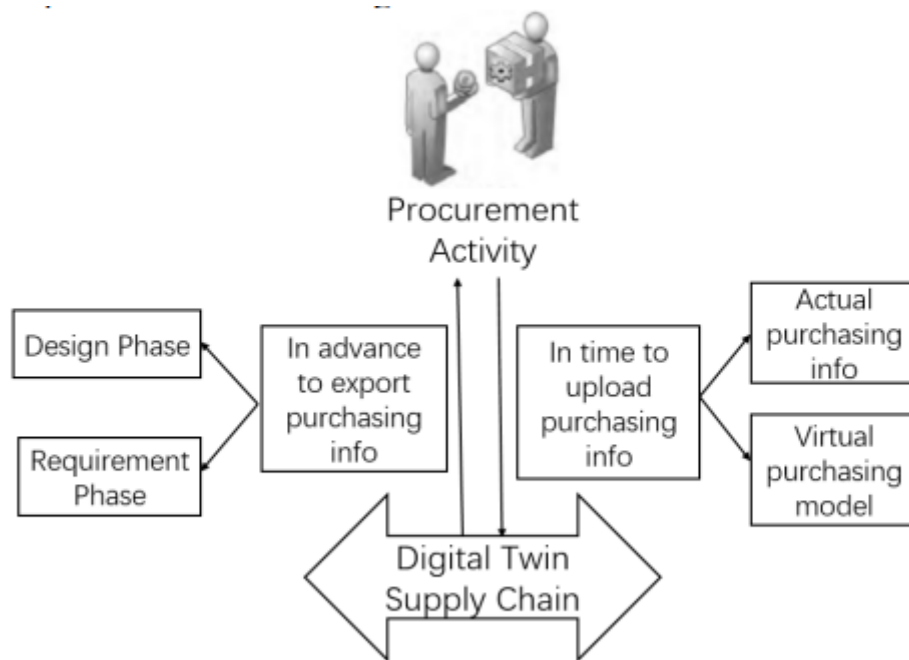


Figure 14: Le jumeau numérique dans l'approvisionnement

Source : DING, (Y) : « Brief Analysis About Digital Twin Supply Chain Model and Application », Industrial Engineering and Innovation Management, 2 : 14-23, Clausius Scientific Press, Canada, 2019, P.18.

Le jumeau numérique dans l'approvisionnement fournit aux acheteurs des informations sur les achats, telles que l'objet de l'achat et la quantité minimale d'achat, en fonction des résultats de l'analyse, et aide les acheteurs à prendre des décisions telles que le plan d'achat, le processus d'achat et le temps de négociation avec les fournisseurs le plus tôt possible. Cela se produit dès le stade de l'analyse de la demande et de la conception du produit. Le service des achats devrait également avoir accès à un port spécifique par l'intermédiaire du jumeau numérique de la chaîne d'approvisionnement afin de pouvoir modifier sa stratégie d'achat en temps réel sur la base des recherches et des développements les plus récents.

L'information d'achat réelle obtenue par l'acheteur sera téléchargée de manière opportune à la couche de simulation dans le cadre des données d'achat dans le jumeau numérique de la chaîne d'approvisionnement. L'information d'achat est de haute valeur de référence pour le perfectionnement et le contrôle des coûts. De plus, le jumeau numérique de la chaîne d'approvisionnement devrait également recueillir les modèles correspondants pour les parties achetées. Elle-même dans le monde virtuel, comme le modèle CAO, l'information sur les lots,

l'information sur les modèles, etc., qui peut être utilisé pour la modélisation de simulation dans la couche de simulation pour optimiser le processus de ce type d'activités d'achat à l'avenir.

2.2.2. Application du jumeau numérique dans le domaine de la production

Ces dernières années, le concept de jumeau numérique a pris de l'ampleur dans le domaine de la fabrication car il fournit un moyen efficace pour améliorer le processus de production. Le Digital Twin Workshop (DTW) est un nouveau modèle d'atelier qui utilise les technologies de l'information et de la fabrication pour fonctionner de manière optimale. Ce modèle utilise une réflexion en temps réel et une interaction bidirectionnelle entre l'atelier physique et virtuel pour intégrer toutes les données, caractéristiques et processus de l'atelier en utilisant les trois couches de jumeau numérique d'atelier. Les données du jumeau numérique sont itérées dans la couche physique pour simuler et analyser l'atelier, gérer les facteurs de production, planifier la production et contrôler le processus de production. Le DTW permet d'atteindre une situation optimale de contrôle de l'atelier, qui satisfait les objectifs spécifiques et les contraintes de production. le digital twin est un modèle numérique qui reflète la situation présente de la chaîne d'approvisionnement et de la production en temps réel en utilisant des données de capteurs et d'autres sources. Le digital twin permet une simulation avancée, la prévision et l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement et de la production. Les entreprises peuvent utiliser les données du jumeau numérique pour identifier les inefficacités et les risques, planifier et exécuter des stratégies de la chaîne d'approvisionnement plus efficaces, et améliorer la qualité de leurs produits tout en réduisant les coûts. En fin de compte, l'utilisation d'un digital twin dans la production permet aux entreprises d'optimiser leurs opérations et leur compétitivité.

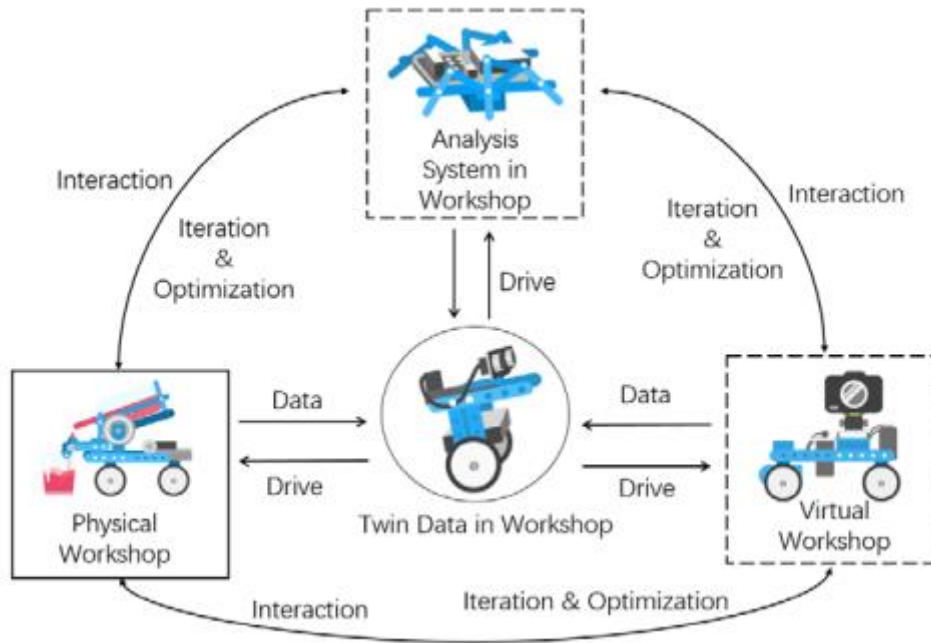


Figure 15: structure de DTW

Source : DING, (Y) : « Brief Analysis About Digital Twin Supply Chain Model and Application », Industrial Engineering and Innovation Management, 2 : 14-23, Clausius Scientific Press, Canada, 2019, P.19.

2.2.3. Application du jumeau numérique dans le domaine de stockage

Les entrepôts automatisés sont de plus en plus complexes et les opérateurs cherchent à utiliser des stratégies similaires à celles des usines pour optimiser leur efficacité. Cependant, la simulation numérique des entrepôts n'est pas nouvelle et est utilisée depuis des décennies pour maximiser l'efficacité de base des opérations manuelles ou d'automatisation de base. Avec l'augmentation de la complexité des technologies dans les entrepôts intelligents, les modèles numériques avancés et la virtualisation complexe des équipements et des activités des entrepôts deviennent de plus en plus nécessaires.

Les entrepôts automatisés d'aujourd'hui utilisent des systèmes de transport automatisés de base ainsi que des systèmes automatisés de stockage et de récupération qui utilisent divers robots mobiles, des chargeurs/déchargeurs de camions et des emballeuses automatiques. Cette complexité nécessite des modèles numériques avancés pour expérimenter de nouveaux processus, workflows et équipements. Les outils de modélisation numérique permettent aux

opérateurs d'évaluer les résultats et les avantages de différentes configurations d'entrepôts et de processus, et de prendre des décisions éclairées sur les modifications à apporter.

Les outils de modélisation numérique peuvent aider à l'analyse des coûts et des avantages des opérations, notamment lors de pics saisonniers. En effet, les pics saisonniers ont un impact important sur la rentabilité et l'efficacité des centres de distribution et des centres de traitement des commandes, il est donc important d'utiliser des outils de modélisation pour analyser les coûts et les avantages des modifications de la taille des opérations ou de la reconfiguration des réseaux d'équipements logistiques complexes.

En utilisant les jumeaux numériques, les entrepôts pourront également intégrer l'Internet des objets pour améliorer la flexibilité et l'efficacité de leurs équipements et de leurs processus. Les stratégies d'intégration des applications logicielles adjacentes permettront de créer de la valeur au-delà de la simple visualisation en fournissant des informations sur les performances clés et les améliorations potentielles des processus.

2.2.4. Application du jumeau numérique dans le domaine de la logistique et du transport

Dans le domaine de la logistique et du transport, la technologie de Digital Twin peut être appliquée à divers scénarios de la chaîne de valeur, y compris la gestion de la flotte de conteneurs, la surveillance des livraisons ou la conception de systèmes logistiques. Par exemple, des capteurs IOT déployés sur des conteneurs individuels peuvent montrer leur emplacement et surveiller les dommages ou la contamination de la cargaison. Ces données alimenteront un jumeau numérique du conteneur sur le réseau, qui utilise la simulation et l'apprentissage automatique pour assurer que les conteneurs sont déployés de manière efficace.

La technologie de jumeau numérique permet de créer un modèle numérique de chaque détail du processus logistique, réalisant ainsi la virtualisation du système d'entité logistique. Elle utilise également des données historiques pour simuler et appliquer l'apprentissage automatique pour un étalonnage rapide et une mise à niveau continue de toutes sortes de systèmes logistiques, afin de créer la meilleure situation opérationnelle possible du système logistique. Cette méthode s'applique également aux tests de pression de gros volumes de données en amont des entrepôts de distribution des systèmes logistiques du commerce électronique.

Le système logistique de jumeau numérique ne se limite pas à la numérisation du réseau logistique physique, mais comprend également la numérisation du système logistique lui-même, du processus opérationnel et de l'équipement. En créant un système de jumeau numérique pour l'ensemble du processus d'exploitation logistique, on peut numériser l'ensemble du processus du système logistique, améliorer le niveau d'innovation du système de logistique intelligente et l'efficacité de l'exploitation logistique, ainsi que réaliser la flexibilité et l'intelligence du système logistique.

2.2.5. Application du jumeau numérique dans le domaine des ventes et du marketing

La technologie de jumeau numérique peut être utilisée dans le domaine des ventes et du marketing pour synchroniser les matériaux de marketing avec le design du produit en utilisant une représentation numérique du produit. Cela permet d'éviter les retards dans les activités de marketing en éliminant le besoin de dépendre du calendrier de production physique. Les matériaux marketing synchronisés avec le jumeau numérique garantissent que les informations du produit annoncées correspondent au produit réellement conçu. La technologie de jumeau numérique permet également de créer des images marketing à partir de produits virtuels, tandis que des progrès ont été réalisés dans la création de vidéos à partir de produits virtuels pour des applications telles que la simulation d'animation de la production de produits mécaniques.

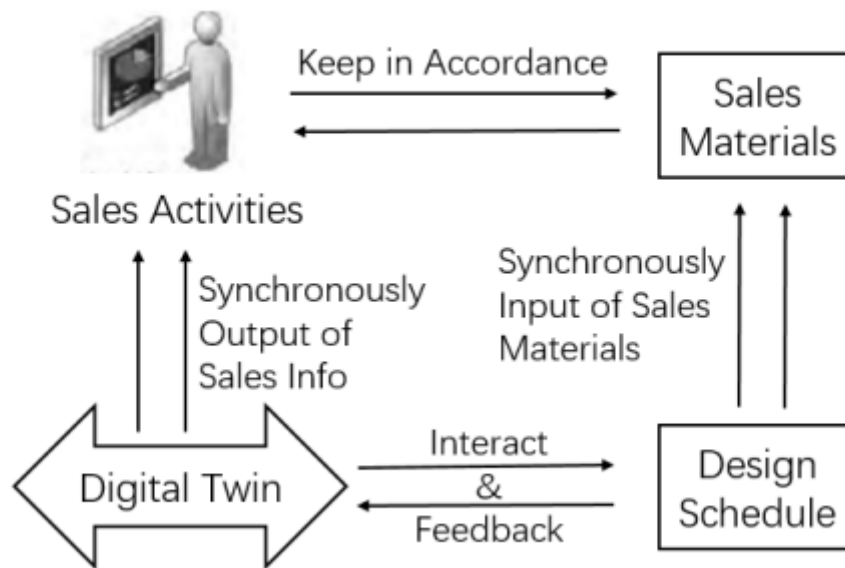


Figure 16: le jumeau numérique dans les activités des ventes et du marketing

Source : DING, (Y) : « Brief Analysis About Digital Twin Supply Chain Model and Application », Industrial Engineering and Innovation Management, 2 : 14-23, Clausius Scientific Press, Canada, 2019, P.22.

2.3. Les bonnes pratiques des jumeaux numériques dans la gestion de la Supply Chain

D'après l'expert en analyse chez Gartner, Tim Payne, les jumeaux numériques dédiés à la gestion de la chaîne d'approvisionnement sont encore aux premières étapes du "Cycle de Hype" et il faudra encore plusieurs années avant qu'ils ne se généralisent. Cependant, il existe déjà des outils et des versions limitées de jumeaux numériques de la chaîne logistique qui peuvent dès à présent améliorer les analyses prédictives et prescriptives. Ces logiciels peuvent aider les responsables de la chaîne d'approvisionnement et d'autres acteurs à développer les compétences et les processus nécessaires pour exploiter de manière efficace des jumeaux numériques plus complets lorsque la technologie aura atteint sa maturité.⁸⁶

Dans ce paragraphe on vient de citer quelques exemples des cas pratiques des jumeaux numériques dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement

⁸⁶ « Les premiers jours des jumeaux numériques dans la supply chain », 2021, <https://www.lemagit.fr/conseil/Les-premiers-jours-des-jumeaux-numeriques-dans-la-supply-chain> , (consulté le 04/05/2023 à 20 :00).

2.3.1. Cas de DHL

DHL Supply Chain a mis en place une solution numérique appelée Smart Warehouse en utilisant la technologie de l'Internet des objets, l'analyse de données et un jumeau numérique pour connecter l'entrepôt physique et virtuel. Cette solution permet une coordination 24h/24 et 7j/7 des opérations et résout les problèmes au fur et à mesure qu'ils surviennent, y compris les problèmes de sécurité.

Les six éléments clés de cette initiative sont :

- Gain d'efficacité avec réduction de la congestion : La solution permet de mieux gérer la circulation des marchandises et des véhicules dans l'entrepôt pour réduire la congestion et augmenter l'efficacité.
- Alertes pour les zones contrôlées : Des alertes sont envoyées lorsqu'une personne entre dans une zone restreinte ou dangereuse de l'entrepôt pour améliorer la sécurité.
- Surveiller les systèmes de température : La solution surveille en temps réel la température de l'entrepôt et envoie des alertes en cas de variation, permettant ainsi de prévenir la détérioration des produits sensibles à la température.
- Visibilité totale du trafic : La solution fournit une visibilité totale sur le trafic de l'entrepôt, y compris les camions entrants et sortants, les chariots élévateurs et les piétons, pour améliorer la sécurité et l'efficacité.
- Données opérationnelles en temps réel : La solution fournit des données en temps réel sur les opérations de l'entrepôt, telles que le niveau des stocks et l'emplacement des produits, pour permettre une gestion plus efficace des opérations.
- Sécurité MHE améliorée : La solution utilise des capteurs pour surveiller l'état des équipements de manutention, tels que les chariots élévateurs, et envoie des alertes en cas de problèmes pour améliorer la sécurité.⁸⁷

2.3.2. Cas de Unilever

Unilever, grâce à l'utilisation d'un jumelage numérique pour son usine au Brésil, a réussi à réaliser des économies de coûts d'exploitation de 2,8 millions de dollars et à augmenter sa productivité de 3%. En effet, la mise en place d'un digital twin permet à l'entreprise d'avoir une vision en temps réel de l'ensemble de ses opérations de production. Cette vue globale permet

⁸⁷ « DHL Supply Chain Asia Digital Twin Warehouse », <https://www.youtube.com/watch?v=S4jE-h37B4I> (consulté le 04/05/2023 à 18 :10).

de détecter rapidement les dysfonctionnements et les problèmes de production, ce qui permet aux équipes de maintenance d'intervenir rapidement pour les résoudre, réduisant ainsi les temps d'arrêt inutiles.

Les jumeaux numériques ont également permis à Unilever d'optimiser ses processus de production en identifiant les goulets d'étranglement et en améliorant les flux de production. Cette optimisation a permis d'augmenter la productivité de l'usine et de réduire les coûts de production. En outre, la capacité de simuler des modifications dans le jumeau numérique permet de tester des améliorations potentielles avant de les mettre en œuvre physiquement, ce qui réduit les risques d'erreurs coûteuses.⁸⁸

2.3.3. Cas de Bosch

L'objectif de la numérisation de l'ensemble du cycle de vie d'un produit est de rendre transparent toutes les étapes, depuis le développement jusqu'à l'utilisation par les clients. Cependant, cela implique de gérer d'importantes quantités de données issues de sources variées et de les contextualiser pour en tirer des informations à valeur ajoutée. C'est là que le concept Digital Twin de Bosch Connected Industry intervient.

Un jumeau numérique est une copie numérique d'un objet réel, par exemple un composant de véhicule. Cette solution permet de combiner les données brutes avec le contexte, ce qui permet aux utilisateurs de trouver et d'interpréter les informations contextualisées facilement, peu importe leur localisation. Le jumeau numérique assure l'homogénéisation complète des données, ce qui permet une traçabilité transparente de chaque produit individuel tout au long de son cycle de vie, de la planification à l'utilisation finale par les clients.⁸⁹

2.3.4. Cas de Dulux Group

Dulux Group, le plus grand fabricant de peinture en Australie, a construit une nouvelle usine en appliquant des principes de fabrication avancée axés sur la numérisation de bout en bout des processus. Cette approche innovante a permis d'améliorer l'efficacité et la qualité, de minimiser les délais de mise sur le marché et d'introduire un niveau de flexibilité permettant une personnalisation de la production de peinture en masse. La marque Dulux est très populaire en

⁸⁸ « [Tribune] Le jumeau numérique est au cœur de l'usine 4.0 », <https://www.usinenouvelle.com/article/tribune-le-jumeau-numerique-est-au-c-ur-de-l-usine-4-0.N1813452>, (consulté le 04/05/2023 à 19 :15).

⁸⁹ « Digital Twins, Tap the full potential of data with Digital Twins ! », <https://www.bosch-connected-industry.com/de/en/iiot-insights/digital-twins>, (consulté le 04/05/2023 à 19 :40).

Australie et offre un large choix de couleurs pour répondre aux goûts individuels. L'entreprise a investi environ 165 millions de dollars australiens dans une toute nouvelle usine à Merrifield, près de Melbourne, qui est la plus grande usine de revêtements en Australie et en Nouvelle-Zélande. Grâce à une automatisation et une numérisation avancée, Dulux Australie peut produire efficacement même des lots d'une seule palette de peinture pour répondre aux demandes spéciales du marché. Cette usine permettra à Dulux de rester à la pointe de l'industrie de la peinture à long terme en réagissant rapidement aux tendances et en créant de nouvelles opportunités commerciales.⁹⁰

En général, les entreprises qui ont mis en place des jumeaux numériques ont constaté des progrès notables en matière d'efficacité, de productivité et de réduction des coûts d'exploitation. La visibilité accrue des opérations permet une meilleure prise de décision et une plus grande agilité pour s'adapter aux changements du marché et de la demande des clients. Les jumeaux numériques permettent également de former les employés plus efficacement en utilisant des simulations et des formations basées sur les données. Globalement, les jumeaux numériques offrent un aperçu précieux pour les entreprises qui cherchent à améliorer leurs processus de production, à réduire les coûts et à améliorer la qualité de leurs produits.

Section 3 : La tour de contrôle de la Supply Chain

3.1. Qu'est-ce qu'une Supply Chain Control Tower ?

Une tour de contrôle de la chaîne d'approvisionnement (SCCT) est un système basé sur le cloud qui tire parti de technologies avancées telles que l'intelligence artificielle, l'apprentissage automatique et l'Internet des objets (IdO) pour gérer de manière proactive les chaînes d'approvisionnement. Elle offre une visibilité en temps réel et complète sur l'ensemble du réseau d'une organisation, incluant les fournisseurs, les fabricants et les partenaires commerciaux. Les données sont essentielles pour les tours de contrôle, qui collectent des données actualisées sur l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement pour fournir une vue à 360 degrés de ce qui se passe n'importe où dans la chaîne en temps réel. Les organisations peuvent utiliser ces données pour :

⁹⁰ « Batch size of one pallet: Any color desired », <https://www.siemens.com/global/en/company/stories/industry/any-color-desired.html> , (consulté le 04/05/2023 à 18 :45)

- Effectuer des analyses et des comparaisons de différentes situations
- Simuler les variations de l'offre et de la demande pour évaluer leur impact
- Détecter et résoudre rapidement les problèmes liés aux alertes des clients
- Favoriser la collaboration avec les partenaires de toute la chaîne d'approvisionnement
- Automatiser l'étiquetage et la gestion des exceptions

Les tours de contrôle brisent les silos fonctionnels pour permettre une meilleure visibilité, collaboration et optimisation de la chaîne d'approvisionnement.⁹¹

Selon Christian Titze, vice-président analyste chez Gartner, « *La tour de contrôle de la chaîne d'approvisionnement n'est pas une application SCM autonome, mais une capacité intégrée dans une suite ou un outil SCM plus large. Il pourrait s'agir d'une plate-forme de données intelligente fournissant des informations, des prédictions et des suggestions spécifiques à chaque cas d'utilisation* ». ⁹²

3.2. Supply Chain Control Tower et Digital Twins

Le concept de jumeau numérique est développé davantage avec une tour de contrôle, qui offre une visibilité accrue pour la prise de décision à court, moyen et long terme. Bien que le terme soit généralement utilisé en relation avec la chaîne d'approvisionnement, il peut également s'appliquer à toute activité commerciale ou entreprise entière. Une tour de contrôle comprend généralement :

- Un module de données qui se connecte aux silos de données de l'entreprise et garantit la pertinence et l'actualité des décisions du modèle.
- Un module de visualisation pour faciliter l'analyse, la compréhension et la présentation des données.
- Un module d'état actuel/historique est inclus pour voir si les niveaux de service sont atteints et pour effectuer une analyse historique ou assurer la conformité.
- Un module d'aide à la décision et de prévision est inclus pour explorer des scénarios hypothétiques, éviter les problèmes potentiels et élaborer des plans d'action.

⁹¹ « *Supply chain control towers: Providing end-to-end visibility* », SAP Insights, <https://www.sap.com/insights/supply-chain-control-tower.html> , (consulté le 04/05/2023 à 12 :50)

⁹² « *What Is a Supply Chain Control Tower — And What's Needed to Deploy One?* », Gartner Insights, 2022, <https://www.gartner.com/en/articles/what-is-a-supply-chain-control-tower-and-what-s-needed-to-deploy-one> (consulté le 04/05/2023 à 13:20)

- Un module de gestion des tâches et des cas permet de mettre en œuvre et de suivre un plan d'action.

Une tour de contrôle peut comprendre plusieurs jumeaux numériques qu'elle utilise pour prévoir la dynamique d'un système ou d'une entité. Vous pouvez appliquer le concept de tour de contrôle aux chaînes d'approvisionnement ainsi qu'à d'autres activités de l'entreprise telles que la fabrication et les finances, ou à l'ensemble de l'entreprise.⁹³

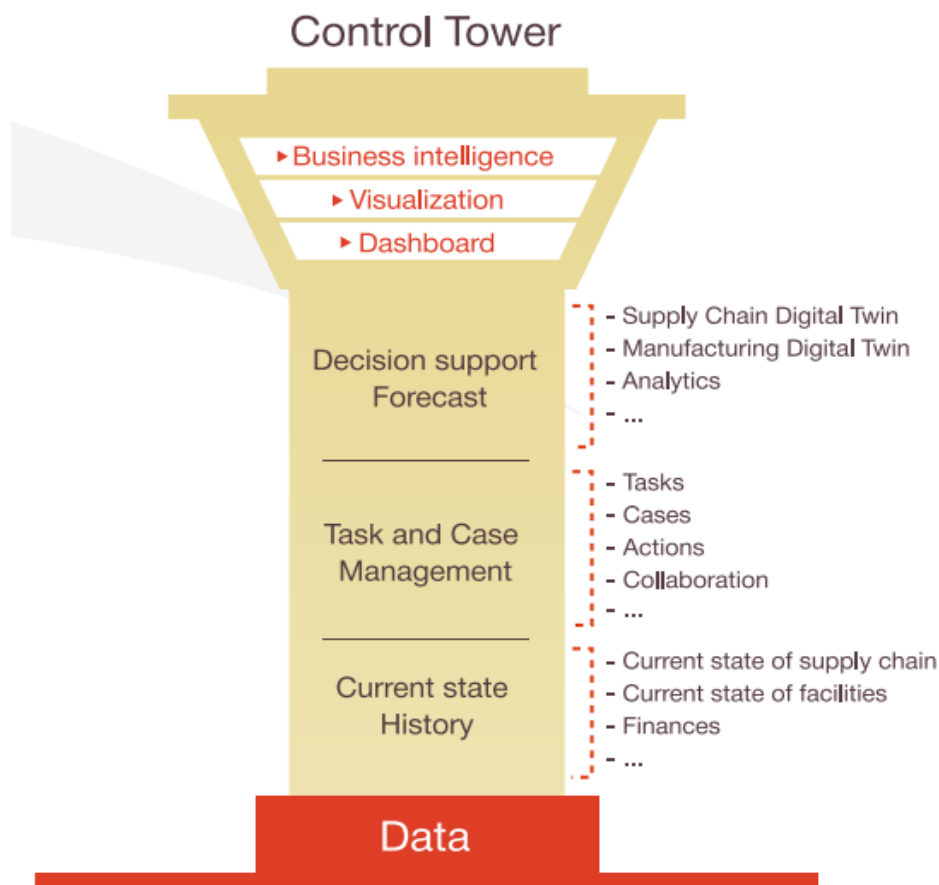


Figure 17: Représentation de la SCCT

Source : « Supply Chain Digital Twins definition, the problems they solve, and how to develop them », AnyLogistix supply chain software, P.7.

⁹³ « Supply Chain Digital Twins definition, the problems they solve, and how to develop them », AnyLogistix supply chain software, P.7.

3.3. Comment fonctionne une tour de contrôle de la chaîne d'approvisionnement ?

Une tour de contrôle de la chaîne d'approvisionnement fonctionne en collectant et en intégrant automatiquement des données structurées et non structurées de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, y compris les données proviennent de diverses sources telles que des capteurs distants, des dispositifs de l'Internet des objets (IoT) ainsi que des données météorologiques et routières. Ces données sont ensuite intégrées avec une logique afin de fournir des informations à jour via des tableaux de bord conviviaux qui offrent une vue d'ensemble des fonctions opérationnelles telles que le développement de produits, la gestion des commandes, la planification des stocks et la fabrication.

La tour de contrôle exploite une visibilité détaillée pour renforcer l'agilité lors de la réponse aux perturbations tactiques et opérationnelles, et elle est également capable de prédire des événements futurs. Elle soutient la prise de décision automatisée et l'autocorrection, en identifiant rapidement les causes des problèmes et en les localisant à leur source. Grâce à l'IA et à l'apprentissage automatique, elle continue d'apprendre, de sentir, de réagir et de s'améliorer.

En outre, la tour de contrôle permet aux parties prenantes de créer facilement des manuels de procédures qui définissent comment résoudre des problèmes spécifiques liés à la planification de la chaîne d'approvisionnement. Ces guides, appelés "playbooks", peuvent être partagés avec les équipes de la chaîne d'approvisionnement lorsqu'un problème est identifié, afin de normaliser et de rationaliser leur réponse.⁹⁴

3.4. La mise en œuvre des tours de contrôle⁹⁵

La mise en place d'une tour de contrôle peut être un processus complexe qui nécessite une planification minutieuse et une exécution cohérente, les entreprises peuvent utiliser une des solutions suivantes pour implanter une tour de contrôle

3.4.1. Créer une solution à partir de zéro

Certaines organisations choisissent de créer leur propre solution de tour de contrôle en interne en embauchant des équipes d'analyse de données. Ces équipes sont composées d'ingénieurs,

⁹⁴ « *Supply chain control towers: Providing end-to-end visibility* », SAP Insights, <https://www.sap.com/insights/supply-chain-control-tower.html> , (consulté le 04/05/2023 à 16 :30)

⁹⁵ « *Why Digital Twin enabled Control Towers are the game changer for Supply Chain Leaders* », Tada Cognitive Solutions, 2022, PP.8-10.

d'analystes et de scientifiques de données qui utilisent une variété de technologies existantes de différents fournisseurs. Cette approche traditionnelle de l'intelligence d'affaires peut créer des tableaux de bord sophistiqués, mais elle manque souvent de données exploitables en temps réel et nécessite un autre système de collaboration.

Pour réussir avec cette approche, les organisations doivent embaucher des talents possédant une expertise dans l'ensemble des technologies nécessaires, s'assurer que les données utilisées sont en temps réel, vérifier que la solution peut rapidement évoluer avec d'autres applications, et offrir la résilience nécessaire pour résoudre les problèmes au fur et à mesure qu'ils surviennent. De plus, les tours de contrôle doivent garantir que les données sont fiables et de confiance à l'échelle de l'organisation, en gardant les données intactes sur toute la chaîne. Cependant, cette approche peut être lourde et coûteuse, et les conditions opérationnelles et les besoins en données peuvent changer depuis le début du projet.

En général, les solutions traditionnelles de RA sont déployées comme tours de contrôle pour couvrir uniquement les cas d'utilisation analytique principaux, tels que les tableaux de bord au sein de l'organisation.

3.4.2. Acheter un logiciel existant

Il existe des fournisseurs sur le marché qui proposent des solutions standard de tour de contrôle, comprenant des cas d'utilisation courants dans plusieurs industries pour aider les organisations à bénéficier de pratiques exemplaires et de plans d'action antérieurs. Bien que ces solutions soient prêtes à l'emploi, elles peuvent être très coûteuses, difficiles à configurer et ne peuvent pas être adaptées aux besoins spécifiques de l'entreprise. En outre, elles sont conçues pour des cas d'utilisation spécifiques et ne sont pas propices à l'évolution et à l'adaptation rapide du marché actuel.

3.4.3. Tours de contrôle construites avec Digital Twins

Les tours de contrôle avancées, construites avec la technologie Digital Twin, permettent de connecter les données internes et externes de systèmes disparates, créant ainsi une visibilité de bout en bout à travers l'écosystème. En utilisant des algorithmes d'apprentissage automatique (ML) et d'intelligence artificielle (AI), ces tours de contrôle fournissent des informations intelligentes et exploitables pour les utilisateurs. En outre, elles offrent également des capacités de collaboration dans tout l'écosystème, surpassant ainsi les solutions de tours de contrôle traditionnelles.

3.5. Les avantages de la mise en place d'une SCCT

La mise en place d'une SCCT ne consiste pas simplement à adopter une solution technologique prête à l'emploi, mais implique plutôt l'identification de cas d'utilisation spécifiques qui se traduiront par une valeur opérationnelle concrète. Ces cas d'utilisation sont activés par les capacités de visibilité de la tour de contrôle, les alertes prédictives, la modélisation numérique à double scénario et l'exécution opérationnelle automatisée. Ensemble, ces fonctionnalités permettent au SCCT de prédire et de réagir rapidement tout en optimisant l'exécution du réseau d'approvisionnement.

Les fonctionnalités clés d'un SCCT comprennent la visibilité et la gestion du rendement, les alertes prédictives, la réponse rapide et l'optimisation et l'orchestration de bout en bout. Les tableaux de bord des KPI, les données en temps quasi réel et les capacités de recherche et de rapport sont des éléments clés de la visibilité et de la gestion du rendement. Les alertes prédictives sont basées sur une logique commerciale fondée sur les règles et fournissent des alertes avec des niveaux de gravité pour les principaux « prédicteurs » de la performance.

La réponse rapide implique des analyses d'optimisation, des simulations à l'aide de scénarios hypothétiques et une analyse des causes fondamentales. Enfin, l'optimisation et l'orchestration de bout en bout permettent de déployer des informations et des plans d'action, d'assurer la conformité de l'exécution et de faciliter l'exécution collaborative.⁹⁶

En somme, un jumeau numérique de chaîne d'approvisionnement peut être utilisé comme une tour de contrôle pour garantir que la chaîne d'approvisionnement fonctionne de manière optimale dans le monde réel. De nombreuses entreprises ont déjà adopté des jumeaux numériques de chaîne d'approvisionnement pour gérer efficacement leurs réseaux de produits à l'échelle mondiale, depuis l'approvisionnement jusqu'au service après-vente. Cette tendance va se développer davantage, car les avantages de l'utilisation des jumeaux numériques sont de plus en plus évidents.

⁹⁶ KUMAR, (P) et autres : « *From visibility to value, Applying a supply chain control tower to help enable resilient customer-centric supply networks* », Accenture, 2022, P.4.

CONCLUSION

En conclusion, les jumeaux numériques sont devenus un outil indispensable pour les entreprises cherchant à optimiser leur processus de production et de gestion de la Supply Chain

Grâce à leur capacité à simuler différents scénarios et à offrir une représentation virtuelle précise des produits et des processus de production, les jumeaux numériques permettent aux entreprises de prendre des décisions éclairées et d'améliorer leur efficacité opérationnelle.

En appliquant les bonnes pratiques des jumeaux numériques et en mettant en place une tour de contrôle de la chaîne d'approvisionnement, les entreprises peuvent créer une chaîne d'approvisionnement agile, résiliente et efficace, leur permettant ainsi de rester compétitives sur le marché.

CHAPITRE IV :

**Analyse de la maturité digitale et proposition d'un plan d'action
pour l'implémentation du jumeau numérique au sein de SPA
NAFTAL**

INTRODUCTION

A travers cette étude, nous avons pour objectif d'analyser, de manière empirique, notre problématique de recherche qui a pour question principale : « **comment les jumeaux numériques peuvent être utilisés pour optimiser la supply chain ?** ».

Les informations et les données essentielles pour atteindre notre objectif ont été recueillies au moyen d'une approche de recherche quantitative utilisant un référentiel, ainsi qu'une étude qualitative basée sur des entretiens semi-directifs, des questionnaires, des observations sur le terrain et l'utilisation des diverses sources documentaires internes mises à notre disposition.

Ce chapitre a pour objectif de présenter le cadre pratique de notre mémoire et sera scindé en trois sections :

La première section présente l'entreprise SPA NAFTAL en mettant en évidence son historique, ses missions, ses produits et services, ainsi que la Direction Exécutive.

La deuxième section analyse la maturité digitale de SPA NAFTAL en exposant la méthodologie de recherche, les technologies et logiciels en place, et en évaluant la maturité numérique selon le référentiel GAMACHE.

Enfin, la troisième section propose un plan d'action pour l'implantation des jumeaux numériques chez SPA NAFTAL, en identifiant les domaines prioritaires et en proposant des recommandations pour guider cette mise en place.

Section 1 : Présentation de l'entreprise

1.1. Historique et présentation de SPA NAFTAL⁹⁷

Le secteur des hydrocarbures a une place prépondérante dans l'économie nationale algérienne, représentant 97% des exportations du pays. Sonatrach, qui est devenue l'instrument de la souveraineté de l'Etat algérien, s'est investie dans la construction d'une base industrielle dans le domaine des hydrocarbures au fil des années. NAFTAL, filiale à 100% du groupe Sonatrach, détient le monopole de la distribution et de la commercialisation des produits pétroliers sur le marché algérien. En tant que détaillant, elle commercialise directement auprès des clients via ses stations-service. L'entreprise emploie environ 32 829 collaborateurs répartis sur l'ensemble de ses districts et directions régionales, avec son siège social à CHERAGA-Alger.

ERDP, créée en 1980 par le décret N°80/101, est issue de Sonatrach. Elle est chargée de l'industrie du raffinage, de la commercialisation et de la distribution des produits pétroliers sous le sigle « NAFTAL ». En 1987, elle a été restructurée et modifiée par le décret N°87/189 en deux entreprises distinctes : NAFTEC pour le raffinage du pétrole et NAFTAL pour la distribution et la commercialisation des produits pétroliers.

NAFTAL, créée en 1982, est une société nationale par actions (SPA) dont la mission principale est la distribution et la commercialisation des produits pétroliers et dérivés sur le marché national. En 2014, elle a commercialisé un volume total de 16,3 millions de tonnes de produits pétroliers, réalisant ainsi un chiffre d'affaires de 332,7 milliards de dinars. Les effectifs employés au 31 décembre 2014 s'établissent à 30 709 agents. La société est caractérisée par une structuration complexe avec des structures de taille importante dispersées géographiquement, comme le montre l'organigramme global.

⁹⁷ <https://www.naftal.dz/fr/index.php/a-propos-de-naftal>, (consulté le 15/05/2023 à 16 :09).

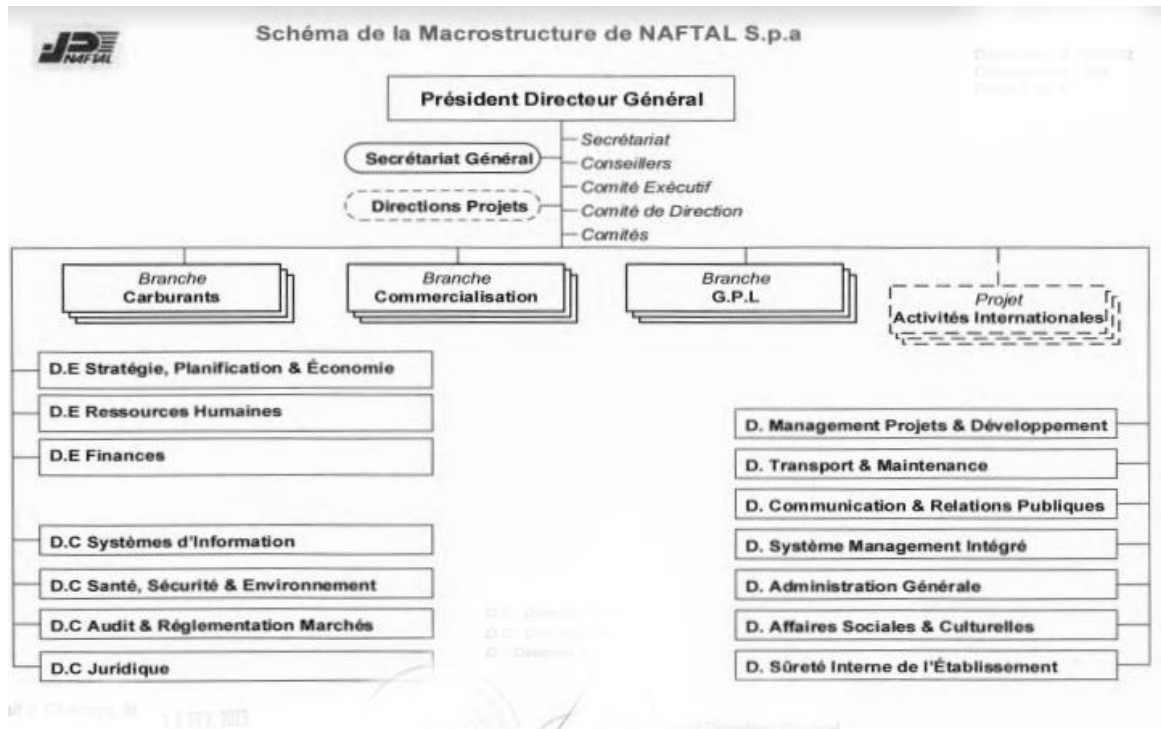


Figure 18: Schéma de la macrostructure de NAFTAL SPA

Source : Document interne à l'entreprise

NAFTAL, qui était auparavant une filiale à 100% de Sonatrach, est passée à l'autonomie le 18 avril 1998 suite à l'abrogation du monopole de l'Etat sur le commerce extérieur et l'ouverture aux opérateurs privés du marché de "gros" des produits pétroliers en 1997. Son capital est de 6,65 milliards de DA. La société a également créé STPE, une société en partenariat avec SNTF chargée du transport des produits énergétiques par chemin de fer, en décembre 1999. En 2002, le capital social de NAFTAL a été augmenté de 6,65 milliards de DA à 15,65 milliards de DA conformément à la résolution de l'AGEX, puis en 2018, il a été augmenté à 40 milliards de DA. En 2020, les activités de la société ont généré un chiffre d'affaires de 307,47 milliards de DA. L'appellation "NAFTAL" provient de la contraction de "NAFT", qui signifie pétrole, et de "AL" qui représente l'Algérie.

1.2. Missions et rôle de NAFTAL

NAFTAL a pour missions la distribution et la commercialisation des produits pétroliers sur le marché national.

Les missions de NAFTAL sont :

- Organiser et développer l'activité de commercialisation de distribution des produits pétroliers et dérivés ;
- Stocker et distribuer des carburants (terre et ceux pour l'aviation et la marine), GPL, bitumes lubrifiants ;
- Transporter tout produit pétrolier commercialisé sur le territoire national ;
- Veiller à l'application et au respect des mesures relatives à la sécurité industrielle, la sauvegarde et la protection de l'environnement en relation avec les organismes concernés ;
- Procéder à une étude du marché en matière d'utilisation et de consommation des produits pétroliers ;
- Définir et développer une politique en audit, concevoir et mettre en œuvre des systèmes intégrés d'information ;
- Développer et mettre en œuvre les actions visant à une utilisation optimale et rationnelle des infrastructures ;
- Veiller à l'application et au respect des mesures liées à la réglementation enfûtages des GPL et formulation des bitumes.

1.3. Produits et services de NAFTAL ⁹⁸

NAFTAL est en tête du marché en termes de parts de marché grâce à sa mission principale de commercialisation et distribution des produits pétroliers et dérivés sur le territoire national. La société propose une panoplie de produits et de services destinés à la fois aux particuliers et aux professionnels.

1.3.1. Particuliers : pour les particuliers, une panoplie de produits sont mis à leurs dispositions

- **Les carburants terre :** cette gamme de produits représente un point fort de Naftal. Elle couvre plus de 50% de part de marché de ces produits. 5 types de carburants sont commercialisés : essence sans plomb, essence normale, essence super, gasoil, GPL/C.
- **Les GPL/Carburant :** désignant « Gaz de pétrole liquéfié ». Dans cette gamme de produit, Naftal commercialise 3 types de produits essentiels : Le « Butane » commercial,

⁹⁸ <https://www.naftal.dz/fr/index.php/produits>, (consulté le 16/05/2023 à 14 :05).

Le « Propane » commercial et le « Sirghaz ». Ce dernier, qui est un mélange de Butane et de Propane, est considéré comme un carburant très peu polluant.

- **Les lubrifiants :** Ce sont des produits destinés au secteur de l'automobile et industriel. Cette gamme comprend : les huiles à moteur essence, les huiles à moteur diesel, les huiles pour transmission automobile et les huiles spécialité automobile.
- **Les pneumatiques :** les pneumatiques commercialisés concernent les catégories de véhicules les plus diverses (touristiques, poids lourds, industriels, agraires etc.). Les pneumatiques proposés par Naftal sont soumis à des contrôles de qualités nécessaires à la sécurité des clients.

1.3.2. Professionnels : Naftal propose une longue liste de produits destinée aux professionnels notamment le secteur industriel. C'est pourquoi ces produits sont généralement catégorisés par rapport aux secteurs d'activité :

- **Marine :** pour le secteur de la marine, deux catégories de produits sont disponibles : « Les lubrifiants marines » et « les carburants marines ».
- **Aviation :** également pour le secteur d'aviation, les deux catégories sont présentes : « Lubrifiants aviation » et « Carburants aviation ».
- **Bitumes :** quatre formes de bitumes sont commercialisées : « Les bitumes purs », « les bitumes oxydés », « les bitumes fluidifiés » et « les émulsions de bitumes ». Chaque forme est destinée à une utilisation spécifique et comprend plusieurs types.
- **Produits spéciaux :** au même titre que les autres produits issus du raffinage du pétrole, Naftal commercialise dans sa gamme de « Produits spéciaux » 4 familles de produits : « les paraffines », « les cires », « les essences spéciales » et « les solvants ». Ces quatre familles à leur tour sont destinées à des secteurs d'utilisations multiples, nous citons : le secteur pharmaceutique et le secteur cosmétique.

A travers les stations de services implantées sur tout le territoire national, Naftal met à la disposition de ses clients les différents services afférents aux produits commercialisés.

1.4. Présentation de la Direction Exécutive, Stratégie, Planification et Economie⁹⁹

La DESPE est une structure majeure de l'organisation de l'entreprise Naftal, elle a pour mission la mise en œuvre des orientations stratégiques à court, moyen et long terme de l'entreprise et de s'assurer de la réalisation des plans de développement de l'entreprise.

Elle définit également la politique générale en matière de planification, d'organisation, d'études économiques et de gestion des performances conformément aux objectifs qui ont été arrêtés par l'entreprise et anime et coordonne les processus de formulation, d'adoption et de suivi de mise en œuvre de la stratégie de l'entreprise.

Les tâches et responsabilités de la DESPE sont :

- Assurer la préparation de la note d'orientation servant de base à l'élaboration des plans annuel et à moyen terme ;
- Fixer les objectifs et les indicateurs de performance pour l'ensemble des Structures de la Société ;
- Organiser et animer le processus d'études prospectives et économiques au sein de la Société ;
- Organiser, animer et coordonner le processus d'organisation au sein de la Société
- Elaborer, en coordination avec les autres structures, les organisations spécifiques à chaque fonction et activité de la Société ;
- Elaborer les plans annuels et à moyen terme relatifs aux flux produits échanges et investissements de la Société ;
- Assurer la consolidation en collaboration avec toutes les structures de la Société, des plans annuels et à moyen terme en matière d'investissement, de flux et de commercialisation produits, en assurant la cohérence des chiffres ;
- Préparer la présentation du plan annuel et du plan à moyen terme aux organes statutaires de la Société ;
- Notifier les plans annuels et à moyen terme à toutes les structure de la Société ;
- Assurer le suivi des budgets d'investissements ;
- Elaborer et diffuser les rapports périodiques (note de conjoncture, rapports d'activités et rapport de gestion) aux structures internes et externes ;
- Analyser la performance de l'ensemble des activités de la Société ;
- Elaborer les bilans d'activités périodiques, analyser et proposer les actions correctives ;

⁹⁹ Document interne à NAFTAL.

- Assurer la réalisation des études technico-économiques et des études de rentabilité pour les projets d'envergure ;
- Mettre en place les procédures régissant les différentes activités de la société pour aider les structures dans la gestion de leurs activités ;
- Analyser et suivre l'évolution de l'environnement macro-économique national et international ;
- Réaliser des études stratégiques sur l'évolution du marché national des produits pétroliers ;
- Alimenter et mettre à jour une banque ou un référentiel de données de gestion pour les besoins d'analyses décisionnelles.

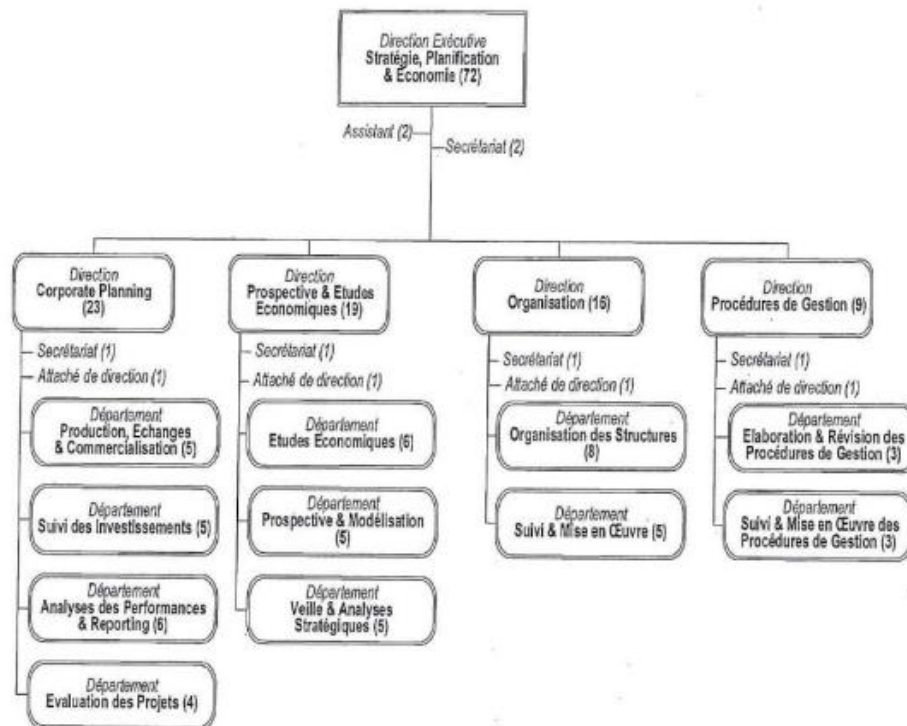


Figure 19 : Organigramme de la DESPE

Source : Document interne à l'entreprise

SECTION 2 : Analyse de la maturité digitale chez SPA NAFTAL

2.1. Méthodologie de recherche

L'objectif de ce titre est de présenter notre méthodologie de recherche empirique axée sur l'exploration des opportunités et des apports potentiels qu'une mise en œuvre d'un jumeau numérique peut générer dans la chaîne d'approvisionnement de NAFTAL.

En premier lieu, nous reviendrons sur les points qui nous ont poussé à choisir ce thème, puis nous citerons les objectifs de notre recherche enfin nous évoquerons les outils utilisés dans la collecte de données et dans notre analyse de la maturité digitale de NAFTAL pour aboutir à une proposition d'un plan d'action.

2.1.1. Choix du thème :

Notre thème, intitulé "Le Jumeau Numérique : Opportunités et apports potentiels à l'optimisation de la supply chain de la Société Nationale de Commercialisation et de Distribution des Produits Pétroliers (NAFTAL)", a été proposé par notre encadrant, nous avons trouvé qu'il est stimulant en raison de son originalité et de la tendance actuelle de la digitalisation croissante dans le monde, en particulier dans les domaines de l'intelligence artificielle, de la réalité augmentée et de l'internet des objets.

Nous avons décidé de nous lancer dans l'étude de ce thème entièrement nouveau au sein de l'École des Hautes Études Commerciales (EHEC) avec l'encadrement de notre superviseur pour relever un défi stimulant.

Notre choix s'est basé sur plusieurs motivations fondamentales. Tout d'abord, la notion de jumeau numérique représente une approche innovante dans le domaine de la gestion de la supply chain. Ce concept émergent consiste à créer une réplique virtuelle d'un système réel, en l'occurrence la chaîne d'approvisionnement de NAFTAL, en utilisant les technologies numériques avancées. Nous avons été intrigués par les opportunités qu'un jumeau numérique peut offrir en termes d'optimisation des opérations, de prise de décision éclairée et de réduction des coûts.

En outre, la digitalisation croissante et les avancées technologiques dans les domaines de l'intelligence artificielle, de la réalité augmentée et de l'internet des objets ont un impact

significatif sur les industries du monde entier. Nous avons été attirés par l'idée d'explorer comment ces technologies peuvent être appliquées de manière concrète dans le contexte spécifique de la supply chain de NAFTAL. Il s'agit d'un domaine où la gestion efficace des flux de produits pétroliers est essentielle pour assurer une distribution fiable et optimisée.

En somme, notre choix de thème s'est appuyé sur la combinaison de l'originalité du concept de jumeau numérique, les tendances actuelles de digitalisation et notre désir de relever un défi intellectuel stimulant au sein de notre institution académique. Nous sommes impatients de plonger dans cette étude approfondie pour explorer les opportunités et les avantages potentiels que le jumeau numérique peut apporter à l'optimisation de la supply chain de NAFTAL.

2.1.2. Objectif de la recherche :

Notre recherche est guidée par plusieurs objectifs fondamentaux qui jouent un rôle essentiel dans la résolution de notre problématique de départ. Les objectifs clés de notre étude comprennent :

- Examiner de manière approfondie les logiciels développés et utilisés au sein de NAFTAL.
- Évaluer le degré de maturité digitale de NAFTAL.
- Étudier le concept de jumeau numérique dans la supply chain de NAFTAL.
- Identifier les opportunités offertes par l'implémentation d'un jumeau numérique.
- Évaluer les avantages potentiels d'un jumeau numérique pour la supply chain de NAFTAL.
- Examiner les défis et les limites de l'implémentation d'un jumeau numérique.
- Proposer un plan d'action concret pour l'implémentation d'un jumeau numérique.

2.1.3. Outils utilisés dans la recherche :

Il existe deux méthodes d'analyse largement reconnues pour recueillir des informations fiables lors de la conduite d'une recherche : l'analyse qualitative et l'analyse quantitative. Dans le cadre de notre étude, il était primordial d'adopter une approche rigoureuse et précise en utilisant ces deux méthodes complémentaires.

Tout d'abord, nous avons opté pour une analyse quantitative afin d'évaluer la maturité digitale de NAFTAL. Cette évaluation a été réalisée en utilisant l'échelle de Likert, qui permet de

mesurer le degré de maturité digitale sur plusieurs dimensions clés. Cette méthode nous a permis d'obtenir des données quantitatives précises et comparables, nous offrant ainsi une vue d'ensemble objective de la situation.

Ensuite, nous avons complété notre approche par une méthodologie qualitative en utilisant un questionnaire sous la forme d'un entretien semi-directif. Cette méthode nous a permis d'approfondir notre compréhension de la chaîne d'approvisionnement de NAFTAL et de recueillir des informations détaillées sur les aspects spécifiques liés à l'application du jumeau numérique. Les entretiens ont été menés de manière ciblée et structurée, en donnant aux répondants l'occasion d'exprimer leurs perspectives et leurs expériences.

L'entretien a été organisé en trois axes principaux, qui sont les suivants :

Axe 1 : Gestion opérationnelle de la chaîne d'approvisionnement

Axe 2 : Traçabilité et optimisation des processus

Axe 3 : Défis et bénéfices potentiels des jumeaux numériques

En combinant ces deux approches, nous avons pu obtenir une vision globale et approfondie de la situation, en utilisant à la fois des données quantitatives et qualitatives. Cette approche mixte nous a permis de fournir des résultats plus complets et éclairés, et de formuler des recommandations pertinentes pour la proposition d'un plan d'action en vue de l'application du jumeau numérique dans la chaîne d'approvisionnement de NAFTAL.

2.2. Présentation des technologies/logiciels déjà en place :¹⁰⁰

Dans le cadre de notre mémoire, nous étudierons les logiciels et les technologies utilisés au sein de l'entreprise SPA NAFTAL, en mettant particulièrement l'accent sur ceux intégrés dans sa chaîne d'approvisionnement. Ces outils technologiques jouent un rôle crucial dans l'organisation et la gestion efficace des opérations de SPA NAFTAL.

Notre objectif est de fournir un aperçu détaillé de ces logiciels, en mettant en évidence leurs fonctionnalités clés et leur impact sur l'efficacité, la coordination et l'optimisation des

¹⁰⁰ Document interne à NAFTAL.

opérations de l'entreprise. Ils contribuent à rationaliser les processus, à améliorer la visibilité et la traçabilité des flux de produits au sein de SPA NAFTAL.

En examinant ces logiciels clés, nous pourrions mieux comprendre leur rôle essentiel dans l'organisation de SPA NAFTAL. Leur utilisation permet de rationaliser les opérations, d'améliorer la visibilité et la traçabilité des flux de produits, ainsi que de faciliter la coordination avec les fournisseurs et les partenaires commerciaux.

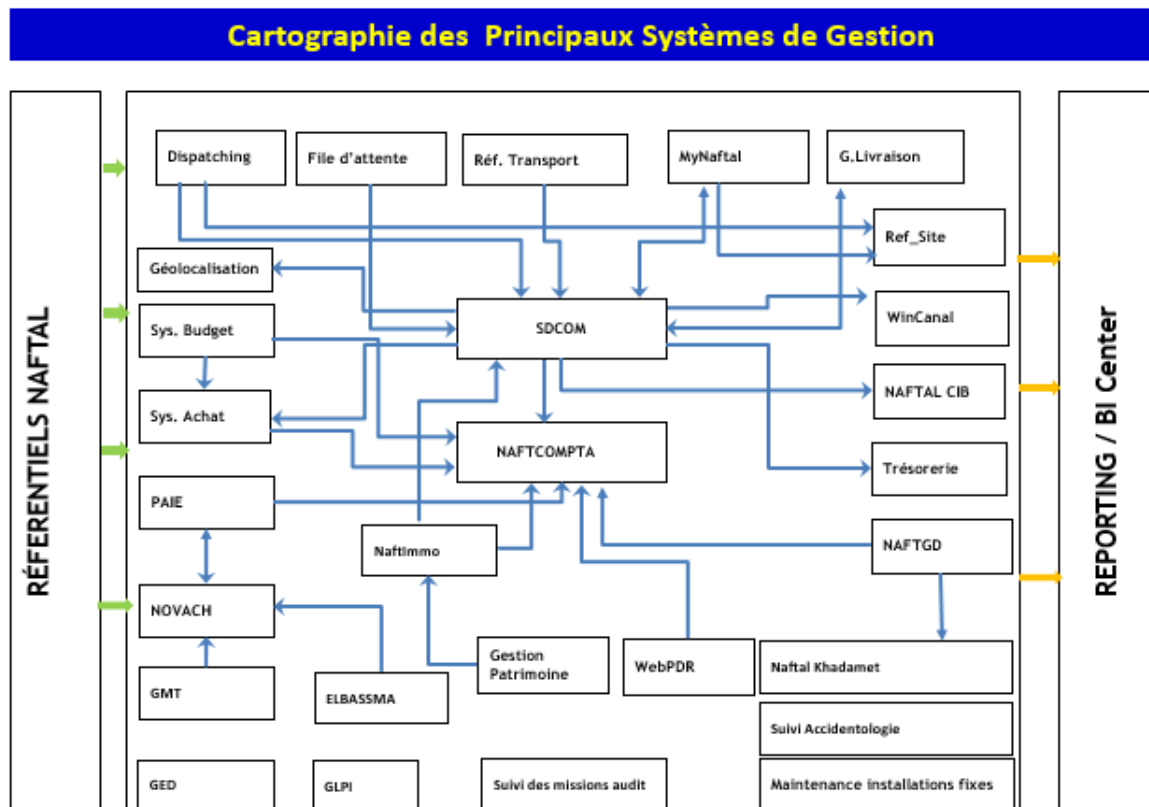


Figure 20 : Cartographie des principaux systèmes de gestion de SPA NAFTAL

Source : Document interne à l'entreprise

- SDCOM :

Le logiciel SDCOM est un système opérationnel centralisé développé pour répondre aux besoins spécifiques de l'entreprise NAFTAL. Lancé en janvier 2020, il est composé de deux applications principales : l'application opérationnelle et l'application référentielle. Basé sur une architecture client/serveur utilisant SQL SERVER, le SDCOM permet une gestion centralisée au niveau de la direction générale de NAFTAL.

L'application opérationnelle du SDCOM gère les opérations de vente, d'approvisionnement, de transfert, de ravitaillement et de gestion des stocks. Elle offre des fonctionnalités avancées telles que la prise en charge de plusieurs utilisateurs simultanément, l'accès quasi en temps réel aux données transactionnelles, la génération automatisée des documents sources et une modularité permettant une personnalisation selon les besoins spécifiques de l'entreprise.

L'application référentielle du SDCOM repose sur une architecture à trois niveaux et utilise un serveur de base de données centralisé. Elle permet la mise à jour des paramètres utilisés par l'application opérationnelle, garantissant ainsi l'actualisation des données de référence. Cela assure également l'unification des données de l'entreprise dans un référentiel unique, la conformité aux normes légales et réglementaires, et l'exploitation des avancées technologiques.

Le SDCOM offre plusieurs avantages, tels que l'amélioration de l'utilisation du système et l'exploitation des données, l'augmentation de la productivité et de l'efficacité des utilisateurs, la disponibilité des données en temps réel pour une prise de décision pertinente, ainsi que la conformité aux droits et règles de sécurité de l'entreprise. Il favorise également la coordination entre les différents départements de l'entreprise grâce à son intégration avec d'autres systèmes.

En résumé, le logiciel SDCOM constitue un système opérationnel performant et intégré pour NAFTAL. Il facilite la gestion des flux de produits, l'exploitation des données et la prise de décision, ce qui contribue à accroître la productivité et l'efficacité des opérations quotidiennes de l'entreprise.

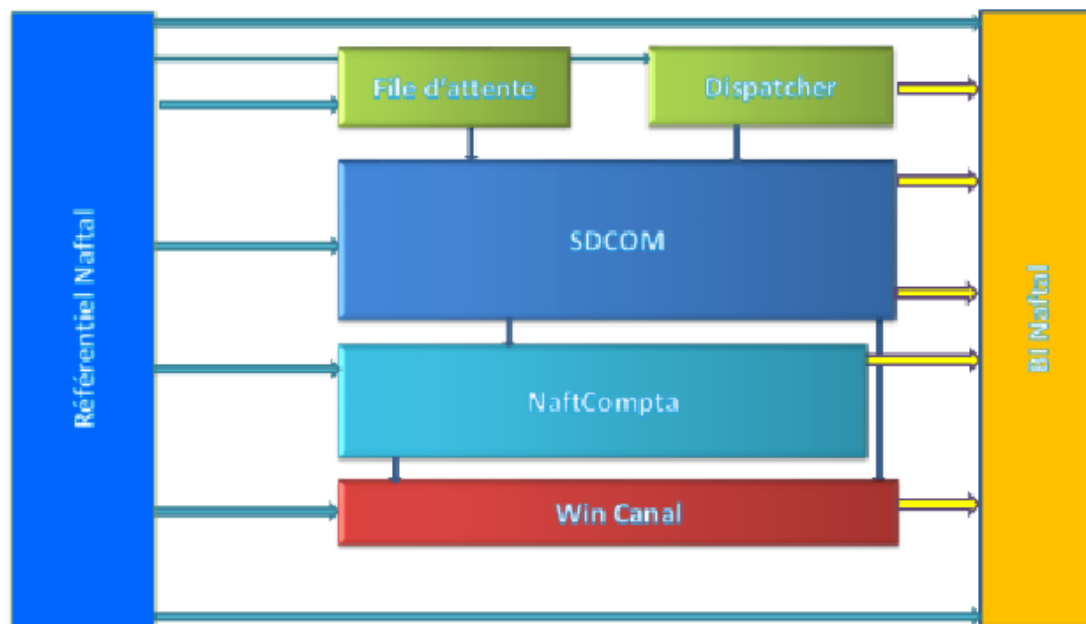


Figure 21 : Cartographie des systèmes interfacés avec SDCOM

Source : Document interne à l'entreprise

- **Sys.Achat :**

Sys.achat est un logiciel de gestion des achats utilisé au sein de l'entreprise NAFTAL. Il permet de gérer l'ensemble du processus d'achat, depuis la demande d'achat initiale jusqu'à la réception des marchandises ou services commandés. Ce logiciel simplifie et automatise les différentes étapes du processus d'achat, améliorant ainsi l'efficacité et la productivité de l'entreprise. Sys.achat facilite la création de demandes d'achat, l'approbation des demandes, la sélection des fournisseurs, l'établissement des devis, la gestion des commandes, la réception des marchandises et la gestion des contrats avec les fournisseurs. En résumé, Sys.achat offre une solution complète de gestion des achats pour faciliter et optimiser les opérations d'achat au sein de NAFTAL.

- **MyNaftal :**

MyNaftal est un portail web conçu pour les clients corporate de NAFTAL, leur permettant de gérer leurs transactions et leurs besoins en produits et services de manière autonome. Les clients ont un accès sécurisé à une variété de fonctionnalités, notamment la passation de commandes,

la consultation de l'historique des achats, les demandes de livraison, la gestion des comptes et des informations de facturation, ainsi que le suivi en temps réel des transactions.

Le portail offre une expérience conviviale et intuitive, facilitant la navigation et l'accès aux informations nécessaires. Les clients peuvent facilement trouver les produits disponibles, vérifier les stocks, consulter les tarifs et passer des commandes en quelques clics, ce qui améliore leur efficacité et leurs processus d'approvisionnement.

MyNaftal donne aux clients corporate un contrôle direct sur leurs transactions et leur offre une plus grande autonomie dans la gestion de leurs besoins. Il favorise la transparence, la rapidité et l'efficacité des opérations commerciales, tout en renforçant la collaboration entre NAFTAL et ses clients corporate.

- *Dispatching* :

Dispatch est un logiciel de programmation des livraisons de carburants utilisé par l'entreprise. Ce système informatisé permet de planifier de manière efficace les opérations de livraison en optimisant les itinéraires et en prenant en compte les ressources disponibles.

Avec Dispatch, les responsables de la programmation des livraisons peuvent gérer les commandes de carburant, planifier les itinéraires de manière optimale et suivre l'état des livraisons en temps réel. Le logiciel facilite la coordination des ressources nécessaires pour répondre aux besoins des clients de manière efficace.

L'utilisation de Dispatch contribue à améliorer l'efficacité des opérations de livraison en réduisant les erreurs et les retards. Il permet également une meilleure gestion des ressources et une optimisation des itinéraires, ce qui permet de réduire les coûts et d'optimiser l'utilisation des véhicules de livraison.

- *File d'attente* :

Le logiciel de gestion de file d'attente est conçu pour gérer efficacement la file d'attente des camions lors du chargement de CBR (Carburant). Ce système permet de collecter et de stocker les informations des camions entrants, telles que les détails des conducteurs, des véhicules et des quantités de CBR à charger. Ces informations sont utilisées pour organiser la file d'attente de manière optimale et planifier les chargements.

Le logiciel de gestion de file d'attente permet de suivre en temps réel l'état de la file d'attente, fournissant des informations précises sur les délais d'attente aux conducteurs de camions. Il offre également la possibilité de générer des rapports et des statistiques sur les opérations de chargement, permettant une analyse approfondie et une amélioration continue du processus.

Grâce à ce logiciel, l'entreprise peut mieux organiser et gérer la file d'attente, ce qui contribue à réduire les temps d'attente pour les camions et à optimiser l'utilisation des ressources disponibles. Cela permet une meilleure planification des opérations de chargement, une réduction des retards et une amélioration de l'efficacité globale du processus.

- *NAFTGD :*

Le logiciel NAFTGD, ou Gestion du flux produits et encaissement des opérations de ventes au niveau des S/S GD (Sites de Stockage de Grande Distribution), est conçu pour assurer une gestion efficace des flux de produits et des opérations de vente dans ces sites de stockage.

NAFTGD propose une plateforme centralisée pour la gestion des produits, la coordination des ventes et l'encaissement des transactions. Il permet de suivre et de contrôler le flux de produits depuis leur arrivée dans les sites de stockage jusqu'à leur distribution aux clients. Les fonctionnalités de suivi et de gestion des stocks garantissent une disponibilité optimale des produits.

Le logiciel facilite également l'encaissement des opérations de vente en automatisant les processus de facturation et de paiement. Il offre la possibilité de générer rapidement les factures, d'enregistrer les paiements et de suivre les soldes des clients.

- *Naftal Khadamet :*

NAFTAL KHADAMAT est une plateforme de dialogue avec le grand public qui se présente sous la forme d'une application mobile. Cette application offre plusieurs fonctionnalités pratiques aux utilisateurs. Tout d'abord, elle permet la géolocalisation des points de vente de NAFTAL tels que les stations-service, les centres GPL/C (Gaz de Pétrole Liquéfié pour les Véhicules) et les points de vente de PNM (Pétrole et Produits Miniers). Ainsi, les utilisateurs peuvent facilement trouver les emplacements les plus proches pour se ravitailler en carburant ou en gaz.

En plus de la géolocalisation, l'application propose également un catalogue des produits proposés par NAFTAL. Les utilisateurs peuvent consulter les différents types de carburants, les lubrifiants et autres produits pétroliers disponibles. Cette fonctionnalité permet aux utilisateurs d'obtenir des informations détaillées sur les produits proposés par NAFTAL.

En outre, l'application offre également des informations sur les offres spéciales et les services disponibles. Les utilisateurs peuvent être informés des promotions en cours, des réductions et des avantages offerts par NAFTAL. De plus, l'application fournit des informations sur les différents services proposés par NAFTAL, tels que la réparation automobile, les services de lavage de véhicules, etc.

- *Naftal Prévisions :*

NAFTAL Prévisions est un logiciel développé en interne en 2021 conçu pour collecter et gérer les prévisions de ventes, de transport, de production, d'approvisionnement et du réseau de distribution (GD) de NAFTAL. Ces prévisions sont collectées au niveau du district, du centre et par mois, afin de fournir une vue détaillée et granulaire de l'ensemble des activités.

L'objectif principal de NAFTAL Prévisions est d'interfacer ces prévisions avec les données de réalisation provenant de la solution de Business Intelligence (BI). Cela permet d'établir une corrélation entre les prévisions et les données réelles, offrant ainsi une analyse comparative et une évaluation de la performance de NAFTAL.

Grâce à ce logiciel, les équipes de NAFTAL peuvent suivre et analyser les écarts entre les prévisions et les réalisations, identifier les tendances et les variations, et prendre des décisions stratégiques éclairées pour optimiser les activités de l'entreprise. Par exemple, si les prévisions de ventes d'un centre particulier ne correspondent pas aux données réelles, des actions correctives peuvent être prises pour ajuster les stocks, optimiser les livraisons ou améliorer l'efficacité opérationnelle.

- *Géolocalisation :*

Le logiciel de géolocalisation est une solution qui offre un suivi en temps réel des véhicules utilisés pour le transport des produits pétroliers. Grâce à cette solution, les entreprises peuvent

avoir une visibilité complète sur la localisation, les mouvements et l'état des véhicules de leur flotte, assurant ainsi une gestion efficace de leurs opérations de transport.

Ce logiciel utilise des technologies de positionnement telles que le GPS pour obtenir des données de localisation précises des véhicules. Les informations de localisation sont ensuite transmises à une plateforme centralisée où elles peuvent être visualisées et analysées en temps réel par les responsables de la logistique ou de la gestion de flotte.

- *WebPDR* :

Le logiciel WebPDR est une solution puissante et conviviale, conçue spécifiquement pour répondre aux besoins de gestion des stocks des magasins de pièces de rechange du matériel roulant. En tant qu'application web, il offre une accessibilité optimale, permettant aux utilisateurs de se connecter et d'accéder aux fonctionnalités depuis n'importe quel navigateur web, sans nécessiter d'installation de logiciel supplémentaire.

La principale fonction de WebPDR est de permettre un suivi précis des stocks de pièces détachées utilisées dans la maintenance et la réparation des véhicules. Il enregistre et stocke des informations détaillées sur chaque pièce, telles que les références, les descriptions, les quantités disponibles, les dates d'entrée et de sortie, et les emplacements de stockage. Ces données sont mises à jour en temps réel, offrant ainsi une vision claire et actualisée de l'état des stocks.

L'application WebPDR facilite également le contrôle des mouvements de stock. Elle enregistre les entrées et les sorties de chaque pièce, permettant ainsi aux utilisateurs de suivre l'historique complet des transactions. Grâce à cette fonctionnalité, les entreprises peuvent analyser les flux de stock, identifier les tendances de demande, évaluer la rotation des stocks et prendre des décisions éclairées en matière de réapprovisionnement.

- *NaftMRO* :

NaftMRO est une application web spécialement conçue pour la gestion de la maintenance du matériel roulant. Son objectif principal est de fournir une solution complète pour la planification, le suivi, le contrôle et la gestion de la maintenance des véhicules utilisés dans les activités de l'entreprise.

Cette application permet de centraliser l'ensemble des informations relatives à la maintenance des véhicules, notamment les plannings de maintenance, les fiches techniques des équipements, les rapports d'interventions et les coûts associés. Elle permet également de suivre en temps réel les activités de maintenance, de générer des rapports et des statistiques sur les performances des véhicules, ainsi que de planifier les interventions de manière préventive pour réduire les risques de pannes et d'arrêts de production.

- *Réf.Transport :*

Le référentiel Transport de Naftal est un logiciel qui permet la codification des véhicules utilisés pour le transport des produits pétroliers. Cette codification se fait en utilisant des critères prédéfinis tels que le type de véhicule, le tonnage, la capacité de chargement, etc. Cette codification permet une meilleure gestion et un suivi plus précis des véhicules de transport.

Le logiciel permet également de gérer les contrats de transport conclus avec les prestataires de service de transport. Il permet de suivre les performances des prestataires, notamment leur respect des délais de livraison, leur respect des règles de sécurité, etc. Les contrats sont également gérés de manière centralisée, ce qui permet de les consulter et de les modifier facilement.

- *BICenter :*

BICenter est une solution d'analyse décisionnelle complète développée spécifiquement pour Naftal. Son objectif principal est d'évaluer les performances des différentes activités de l'entreprise, telles que la vente, l'exploitation, le transport, la gestion des stocks, la gestion des ressources humaines, la relation client, les finances, la sécurité, ainsi que les stations de distribution de gazoile (GD).

Cette solution se base sur des indicateurs préalablement définis par les différentes structures métiers de Naftal. Ces indicateurs sont choisis en fonction des objectifs spécifiques de chaque activité et permettent d'obtenir une vision claire et approfondie de la performance de l'entreprise dans ces domaines clés.

BICenter propose plusieurs fonctionnalités pour la restitution des informations. Tout d'abord, il offre des tableaux de bord interactifs qui fournissent une vue synthétique des principaux

indicateurs de performance. Ces tableaux de bord permettent aux utilisateurs de visualiser les données de manière intuitive et de détecter rapidement les tendances et les écarts.

En plus des tableaux de bord, BICenter permet la création de rapports paginés. Ces rapports offrent une présentation plus détaillée des données, avec la possibilité d'inclure des graphiques, des tableaux et des descriptions textuelles. Les utilisateurs peuvent personnaliser ces rapports en fonction de leurs besoins spécifiques et les partager avec d'autres membres de l'organisation.

Une autre fonctionnalité clé de BICenter est le reporting self-service. Cette fonctionnalité permet aux utilisateurs de créer leurs propres rapports et analyses personnalisés, sans dépendre de l'assistance d'une équipe informatique. Grâce à une interface conviviale et intuitive, les utilisateurs peuvent explorer les données, appliquer des filtres, effectuer des calculs et créer des visualisations personnalisées selon leurs besoins spécifiques.

En résumé, BICenter est une solution d'analyse décisionnelle puissante et complète qui permet à Naftal d'évaluer les performances de ses activités. Grâce à des indicateurs métier préalablement définis, cette solution fournit des tableaux de bord interactifs, des rapports paginés et des fonctionnalités de reporting self-service pour une visualisation et une analyse approfondie des données. Cela permet à l'entreprise de prendre des décisions éclairées et d'optimiser ses performances dans divers domaines clés.

2.3. Evaluation de la maturité digitale de SPA NAFTAL selon le référentiel GAMACHE

2.3.1. Présentation de modèle d'évaluation

La transformation numérique est devenue un enjeu majeur pour les entreprises à l'ère de l'industrie 4.0, avec des opportunités significatives d'amélioration des performances et de compétitivité. Dans ce contexte, notre mémoire se concentre sur la proposition du plan d'action à l'implantation des jumeaux numériques dans la chaîne d'approvisionnement d'une entreprise, en tant que levier pour une gestion plus efficace et proactive des opérations.

Afin de réussir cette implémentation, il est primordial d'évaluer la maturité numérique de l'entreprise pour déterminer son niveau de préparation à adopter de nouvelles technologies. Pour cela, nous avons choisi d'utiliser le modèle d'évaluation de la maturité numérique pour le passage à une industrie 4.0, développé au laboratoire de recherche de l'université du Québec

par GAMACHE en 2019. Ce modèle, basé sur les meilleures pratiques et les dimensions clés de l'industrie 4.0, fournit un cadre structuré pour évaluer la maturité numérique des entreprises.¹⁰¹

Vu le contexte 4.0 de la solution proposée dans notre étude de cas, voici une liste de priorités en termes de pratiques d'affaires adaptées, les 5 premières pratiques d'affaires dites essentielles, tandis que les autres sont prioritaires. Ces priorités sont considérées comme des facteurs clés de succès et doivent être atteintes ou en voie de l'être afin de garantir le bon déroulement d'un projet de mise en œuvre. Se sont présentées dans le tableau 3 :

No°	Priorisation	Pratique d'affaire
1	Essentiel	Vision et stratégie
2		Écosystème et architecture TI
3		Engagement
4		Maîtrise des outils numérique
5		Qualité des données
6	Prioritaire	Gestion de changement
7		Agilité et innovation
8		Lean et amélioration continue
9		Cybersécurité
10		Livraison des données
11		Personnalisation
12		Utilisation opérationnelle des données
13		Utilisation stratégique des données

Tableau 3: Priorités et prérequis pour la mise en œuvre d'un JN, adapté de Priorités pour le passage à l'Industrie 4.0 par Gamache (2019)

Source : Adapté de modèle de GAMACHE

2.3.2. Objectifs de l'évaluation de la maturité numérique

L'objectif principal de cette évaluation est de déterminer le niveau de maturité actuel de NAFTAL dans le domaine de la transformation numérique. Cette évaluation nous permettra de

¹⁰¹ GAMACHE, (S) : « STRATÉGIES DE MISE EN ŒUVRE DE L'INDUSTRIE 4.0 DANS LES PETITES ET MOYENNES ENTREPRISES MANUFACTURIÈRES QUÉBÉCOISES », Université du Québec, 2019, P.115-119.

comprendre les forces et les faiblesses de l'entreprise en matière de maturité numérique et de formuler des recommandations pour la suite du processus d'implantation des jumeaux numériques dans sa chaîne d'approvisionnement.

2.3.3. Méthodologie d'application du modèle d'évaluation

Les questions utilisées pour évaluer les pratiques d'affaires dans l'entreprise sont présentées dans l'annexe 1. Chaque question est basée sur un énoncé spécifique et vise à mesurer le degré d'acceptation du répondant face à cet énoncé, en utilisant une échelle de Likert graduée de 0 à 4.

La valeur de 0 à 4 attribuée à chaque question permet à l'évaluateur de donner une appréciation objective et quantitative pour chaque pratique d'affaires évaluée, il peut, à la fin de l'évaluation, calculer la moyenne des scores pour chaque pratique d'affaires, puis la moyenne pour chaque dimension de la performance numérique, et enfin la moyenne globale de la performance numérique.

La moyenne globale fournit une évaluation globale permettant de situer l'entreprise sur l'échelle présentée à la figure 22. Cependant, pour identifier les domaines spécifiques nécessitant des améliorations, des indicateurs plus spécifiques (moyenne de chaque pratique d'affaire) sont utilisés. En se concentrant sur les indicateurs spécifiques à chaque dimension, il devient possible de prioriser les actions et de diriger les efforts vers les domaines qui nécessitent le plus d'améliorations.¹⁰²

¹⁰² GAMACHE, (S) : Op.cit., P.82-85.

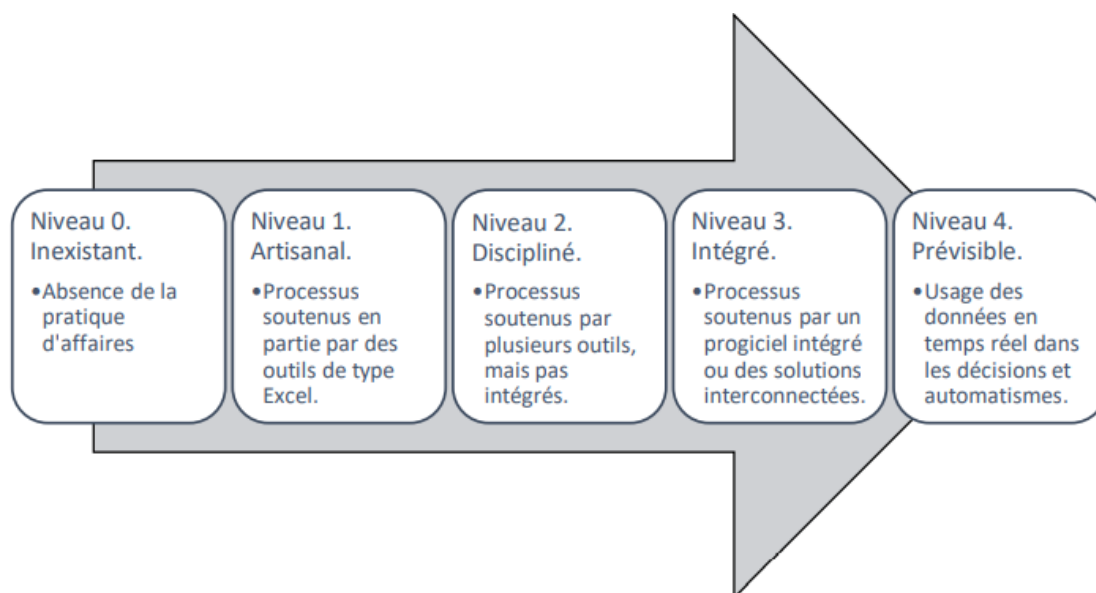


Figure 22: Echelle de performance numérique

Source : GAMACHE, (S) : « STRATÉGIES DE MISE EN ŒUVRE DE L'INDUSTRIE 4.0 DANS LES PETITES ET MOYENNES ENTREPRISES MANUFACTURIÈRES QUÉBÉCOISES », Université du Québec, 2019, P.82.

2.3.4. Résultats de l'évaluation de la maturité numérique

Afin de déterminer le niveau de maturité numérique de NAFTAL, le modèle composé de 60 questions a été envoyé aux chefs de départements de la DCSI (solutions métiers, opérationnel et infrastructures). Les résultats sont présentés au tableau 4 et séparés par répondant, les valeurs de chaque pratique d'affaires ont été calculées par la moyenne des scores attribués pour chaque question, ensuite on a calculé la moyenne des valeurs pour enfin arriver à identifier le niveau de performance numérique en calculant la moyenne globale

No°	Priorisation	Pratique d'affaire	R1	R2	R3	Moyenne
1	Essentiel	Vision et stratégie	2.33	2.5	1.83	2.22
2		Écosystème et architecture TI	2.83	2.33	2.5	2.55
3		Engagement	2.2	2.2	3.2	2.53
4		Maîtrise des outils numériques	2.16	2.5	2.5	2.39
5		Qualité des données	2.8	2.8	3.2	2.93
6	Prioritaire	Gestion de changement	2	1.2	2.4	1.87
7		Agilité et innovation	2	1.27	3	2.09
8		Lean et amélioration continue	2.67	0.67	2.33	1.89

9		Cybersécurité	2.8	2.6	3.8	3.07
10		Livraison des données	2.33	2.67	3	2.67
11		Personnalisation	2.25	1.25	2	1.83
12		Utilisation opérationnelle des données	3	2.75	2.25	2.67
13		Utilisation stratégique des données	2.6	3	2.4	2.67
Niveau de maturité						2.41

Tableau 4: Résultats de l'évaluation

Source : Elaboré par nos soins

Les résultats de l'évaluation ont révélé que l'entreprise présente une maturité numérique relativement moyenne dans toutes les pratiques d'affaires.

Comme on peut le constater sur le tableau 4, la maturité numérique de NAFTAL se situe au niveau 2 avec une moyenne de 2.41 sur une valeur maximale de 4 (une échelle plus détaillée est en annexe 2). En pourcentage, la moyenne de la maturité numérique de SPA NAFTAL est alors de 60.25%.

Les résultats de cette évaluation vont servir de base pour formuler un plan d'action détaillé visant à renforcer la maturité numérique de l'entreprise et à faciliter l'implantation des jumeaux numériques dans sa chaîne d'approvisionnement.

2.3.5. Implications et recommandations

Sur la base des résultats de l'évaluation, des recommandations spécifiques ont été formulées pour améliorer la maturité numérique de l'entreprise. Cela comprend des actions telles que la mise à niveau de l'infrastructure technologique, le renforcement des mesures de cybersécurité, la formation des employés aux nouvelles technologies et la création d'une culture de l'innovation au sein de l'entreprise. Ces recommandations vont nous aider à présenter notre plan d'action recommandé pour guider l'entreprise vers une transformation digitale et une implantation des jumeaux numériques dans sa chaîne d'approvisionnement réussie.

Section 3 : Proposition d'un plan d'action pour l'application du jumeau numérique

3.1 Identification des domaines prioritaires pour la mise en place des digital twins

3.1.1. Contexte et objectif de l'étude :

L'étude se concentre sur l'analyse de la gestion de la chaîne d'approvisionnement dans le secteur de la distribution de carburant chez SPA NAFTAL. Cette activité complexe nécessite une coordination efficace de divers acteurs pour assurer un approvisionnement fiable aux consommateurs. L'objectif de l'étude est d'analyser en profondeur la gestion de la chaîne d'approvisionnement chez SPA NAFTAL et d'identifier les domaines prioritaires pour la mise en place des digital Twins, également connus sous le nom de jumeaux numériques.

Cette étude a été élaborée à l'aide d'un guide d'entretien semi-directif, où les questions sont présentées par axe, comme détaillés à l'annexe 4. En évaluant les pratiques actuelles, l'étude cherche à identifier les opportunités où les digital twins peuvent offrir des avantages significatifs. Les différents aspects de la gestion de la chaîne d'approvisionnement seront examinés, tels que l'approvisionnement, la logistique, la maintenance des équipements, la gestion des risques et la traçabilité des produits.

L'entretien a été mené avec l'ensemble des responsables du métier de la chaîne d'approvisionnement au sein de la direction Approvisionnement et distribution carburant, et nous avons recueilli un total de 7 réponses.

Les résultats de cette analyse permettront d'identifier les domaines prioritaires où les digital twins peuvent soutenir SPA NAFTAL dans son objectif d'excellence opérationnelle, d'optimisation des processus et de prise de décision basée sur des données précises.

Nous résumerons ci-dessous les points clés des réponses que nous avons recensé lors des entretiens.

3.1.2. Analyse des réponses des entretiens :

Axe 1 : Gestion opérationnelle de la chaîne d'approvisionnement

Question 1 : Aperçu général de la chaîne d'approvisionnement

Réponse 1 :

L'approvisionnement en carburant suit les étapes suivantes :

- Établissement d'un bilan de l'offre et de la demande nationale en carburants.
- Planification de la production annuelle d'approvisionnement par régions et dépôts primaires.
- Planification de la production annuelle de ravitaillements par dépôts secondaires.
- Suivi quotidien des stocks de carburants dans les raffineries, les entrepôts, les dépôts, les régions et les centrales électriques de la région Sud.
- Réalisation de bilans mensuels et annuels de l'exploitation des carburants terrestres.
- Programme de transfert par cabotage (utilisation de bateaux).
- Programme de transferts par pipeline et enlèvements à partir des rampes.
- Émission d'instructions de voyage.
- Prévisions annuelles de ravitaillement par wagons citernes.
- Prévisions annuelles de transports de carburants par camion AGEFAL.
- Programme décadaire de transferts par pipeline et à partir des rampes de chargement.
- Programme prévisionnel de chargement des navires.
- Bilan décadaire des réceptions.
- Dimensionnement de la flotte de cabotage.
- Émission d'une demande mensuelle actualisée.

Les principales activités comprennent la planification, le suivi et le contrôle de la qualité des produits, l'enregistrement des quantités reçues et livrées, la validation des documents de bord des camions-citernes, la réalisation d'inventaires périodiques, la constitution d'un stock de sécurité, la vérification des certificats de barèmage et la gestion des ventes.

La branche carburante est responsable de l'approvisionnement et de la distribution, avec la distribution dans le sud géré par cette branche et la distribution dans le nord prise en charge par la branche commerciale.

La chaîne logistique présente des contraintes rigides, notamment en ce qui concerne les opérations de chargement et d'assouplissement. Le transport des carburants se fait principalement par pipeline et par cabotage (navires).

Question 2 : Suivi en temps réel des données de la chaîne d'approvisionnement

Réponses 2 :

1. Les camions citernes : Le District Commercialisation et des tiers privés engagés par contrat utilisent des camions citernes pour le transport des carburants. Ces camions peuvent être pistés par géolocalisation et soumis à un contrôle visuel à l'entrée des entrepôts pour le chargement.
2. Infrastructures de stockage : Les dépôts utilisent principalement des méthodes de gestion manuelle des infrastructures de stockage, tels que les bacs et les cuves. Cependant, certains dépôts disposent de systèmes automatisés et utilisent le téléjaugeage pour la gestion.
3. Stations-service : La gestion des stations-service relève de la branche commerciale.
4. Pipes : Les pipelines reliant le port d'Alger et la raffinerie d'Alger aux entrepôts du Caroubier et d'El Harrach sont la propriété de SONATRACH.
5. Suivi des envois : Les envois des cargaisons, en particulier pour les camions d'approvisionnement, sont suivis en temps réel par le biais d'applications. Des systèmes d'informations installés au niveau des centres et dépôts utilisent des logiciels de géolocalisation et de téléjaugeage pour assurer ce suivi.
6. Application informatique et tableau de bord : Une application informatique et un tableau de bord sont utilisés pour gérer et visualiser les informations liées aux opérations d'approvisionnement en carburant.

Question 3 : Maintenance prédictive et corrective des équipements

Réponses 3 :

Dans le cadre de la gestion de l'approvisionnement en carburant, des pratiques de maintenance préventive sont mises en place. Cela implique des vérifications continues, des actions de graissage, de peinture, ainsi que le respect des délais périodiques pour le nettoyage des capacités de stockage et la mise à jour des barèmes de jauge.

Pour les équipements à gaz ou à pression, des contrôles réglementaires sont effectués par des organismes spécialisés tels que l'ONML (Office National de la métrologie légale) pour les barèmes et l'ENACT (Entreprise Nationale d'Agréage et de Contrôle Technique) pour la vérification et la quantification des canalisations.

D'autres mesures de gestion sont également mises en place, notamment :

- Un contrôle périodique des équipements de lutte contre les incendies.
- La mise en place d'un programme d'exercices de simulation.
- Le respect des délais d'intervention sur le matériel roulant.
- Le respect des délais d'intervention sur les installations fixes.

Ces activités de maintenance préventive et curative sont effectuées par les ateliers mécaniques et les unités de maintenance, qui sont des unités spécialisées dans ce domaine.

Question 4 : Surveillance des risques de sécurité

Réponses 4 :

L'approvisionnement en carburant est accompagné d'une forte importance accordée à la santé, la sécurité et l'environnement (HSE). Il existe une Direction Centrale HSE au niveau de la Direction Générale, ainsi qu'une Direction HSE au niveau des différentes branches.

L'objectif principal est de prévenir les incidents et de minimiser les dégâts en cas d'incident. Pour ce faire, une stratégie globale est mise en place, comprenant un dispositif humain et matériel opérationnel 24h/24.

Les mesures de prévention incluent des contrôles internes périodiques, des audits internes et des études de risques (HSE, réglementaires, techniques, etc.).

En cas de pannes mécaniques pour les convois de longue distance, des interventions sont réalisées pour remédier aux problèmes.

La gestion des risques est effectuée en utilisant des indicateurs de gestion, des procédures adaptées au secteur et des situations journalières de distribution.

En analysant ces réponses, nous pouvons constater que SPA NAFTAL a mis en place des pratiques de gestion opérationnelle de la chaîne d'approvisionnement, notamment en utilisant des technologies telles que la géolocalisation, les applications informatiques et les tableaux de bord pour assurer un suivi en temps réel des données. De plus, des mesures de maintenance préventive et corrective sont mises en œuvre pour assurer le bon fonctionnement des équipements, et une surveillance des risques de sécurité est effectuée pour prévenir les incidents.

Ces résultats fournissent une base solide pour l'identification des domaines prioritaires dans la mise en place des jumeaux numériques, qui seront examinés dans les axes suivants de notre étude.

Axe 2 : Traçabilité et optimisation des processus

Question 5 : Traçabilité des produits pétroliers

Réponses 5 :

Dans le cadre de l'approvisionnement en carburant, plusieurs mesures et outils sont mis en place pour assurer un contrôle de qualité et une gestion efficace des opérations :

- Un planning prévisionnel est établi pour organiser les activités à venir.
- Le contrôle de qualité des produits réceptionnés et commercialisés est effectué en se basant sur les bulletins d'analyse et les tests réalisés.
- Une journée comptable est mise en place, avec un classement approprié des informations.
- Différents documents et registres, tels que les enregistrements qualité (ERQ), les registres de quart, les bons d'enlèvement, sont utilisés pour assurer le suivi et la traçabilité des opérations.
- Des applications informatiques sont utilisées pour faciliter la gestion des activités.
- Des instruments de mesure technique sont installés au niveau des bacs, cuves, etc., pour assurer des mesures précises.

Il est important de noter que les produits destinés aux stations-service ou autres font l'objet d'analyses au niveau des raffineries et des laboratoires. Des échantillons sont également stockés pour servir d'échantillons témoins en cas de réclamation.

Pour ce qui est de la traçabilité des produits, il est mentionné qu'il n'y a aucun moyen spécifique de la gérer, mais des documents de réception produits et les factures jouent un rôle dans ce processus. De plus, le système de facturation est également utilisé pour assurer le suivi des transactions.

Question 6 : Surveillance des niveaux d'inventaire de carburant et optimisation des approvisionnements

Réponses 6 :

Le suivi des niveaux de stock des carburants est effectué quotidiennement au niveau des différents dépôts. Des situations sont transmises quotidiennement à la hiérarchie pour assurer une surveillance régulière. Des inventaires sont réalisés de manière mensuelle, trimestrielle, semestrielle et annuelle, avec des rapports précis établis, notamment pour gérer les écarts produits de manière rigoureuse.

Dans les dépôts automatisés, le suivi se fait par télé jaugeage, mais des mesures manuelles sont également effectuées pour confirmer les calculs. Les résultats obtenus sont transmis dans des délais déterminés aux différentes structures pour anticiper ou prévenir toute perturbation dans les réseaux de distribution.

Pour assurer ce suivi et ces vérifications, les méthodes suivantes sont utilisées :

- Des inventaires sont réalisés pour évaluer les stocks.
- Les registres "mouvement produit", "registre de quart", etc., sont vérifiés pour assurer la traçabilité.
- Les documents Qualité Exploitation "Annexe" sont utilisés pour la gestion des opérations.
- Les documents de bord des camions-citernes sont vérifiés pour assurer la conformité.
- La conformité des bacs et cuves est également vérifiée.

Question 7 : Utilisation des données pour optimiser la planification des itinéraires

Réponses 7 :

Actuellement, l'optimisation de la planification des itinéraires des camions-citernes est gérée par la Direction Transport de la Direction Générale à travers le système appelé "REFUELING" (dispatch). Ce système a pour objectif de déterminer les distances exactes à prendre en compte pour calculer les prix des rotations et de rationaliser les moyens de transport.

Le système "REFUELING" est utilisé pour préparer les schémas de distributions en fonction des informations reçues et peut être ajusté en fonction des dernières informations disponibles. Un itinéraire précis est défini en fonction de la localisation des clients, qu'ils soient privés ou publics.

Le logiciel "NAFT AU TOP" est utilisé pour étudier les déficits des camions-citernes nécessaires au transport des produits CBR (carburants). Le marché du transport des produits CBR par camion est budgétisé pour l'année en cours (n-1), et des contrats ou avenants sont établis avec des transporteurs tiers. L'objectif est d'optimiser l'utilisation des camions-citernes appartenant à NAFTAL.

Suivi des itinéraires en fonction des clients : Un suivi spécifique des itinéraires est effectué en fonction de l'endroit des clients, qu'ils soient privés ou publics. Cela permet une approche personnalisée de la planification des itinéraires, en tenant compte des besoins spécifiques de chaque client.

Dans l'ensemble, SPA NAFTAL met en place des pratiques de traçabilité rigoureuses et des méthodes d'optimisation des processus pour garantir un approvisionnement fiable en carburant. Ces efforts contribuent à assurer la qualité des produits, à minimiser les pertes, à optimiser les approvisionnements et à garantir une livraison efficace aux clients. **Cependant, les points faibles identifiés dans la traçabilité des produits et l'optimisation des approvisionnements nécessitent une attention particulière pour améliorer ces aspects de la chaîne d'approvisionnement.** L'implantation des jumeaux numériques pourrait potentiellement résoudre ces défis en offrant des capacités de suivi en temps réel, d'optimisation des processus et de prise de décision basée sur des données précises.

Axe 3 : Défis et bénéfices potentiels des jumeaux numériques

Question 8 : Principaux défis de gestion de la chaîne d'approvisionnement

Réponses 8 :

Les principaux défis auxquels SPA NAFTAL est confrontée en termes de gestion de la chaîne d'approvisionnement pour la distribution de carburant sont les suivants :

1. Autonomie, coût et qualité : Notre objectif est d'assurer une autonomie d'approvisionnement d'au moins un mois à travers tout le territoire national. Pour atteindre cet objectif, nous devons augmenter nos capacités de stockage et renforcer nos moyens d'approvisionnement. Nous cherchons également à réduire les coûts inutiles pour rester compétitifs, en exploitant notamment les approvisionnements par pipes. Par ailleurs, nous accordons une grande importance à la qualité des produits carburants, qui doivent respecter les normes internationales en vigueur.
2. Problèmes de transport : Le transport des carburants représente un défi majeur. Nous devons gérer efficacement les flux de transport, éviter les ruptures de stock et assurer une distribution régulière et fiable sur l'ensemble du territoire.
3. Numérisation : La numérisation de nos opérations est un grand défi. La transition vers des systèmes numériques, tels que les codes-barres, nous permettrait de mieux suivre et gérer nos stocks, de simplifier les processus de commande et de livraison, et d'améliorer la traçabilité des produits.
4. Contraintes géographiques et conditions météorologiques : La distribution de carburant peut être affectée par les contraintes géographiques, notamment dans les régions éloignées ou difficiles d'accès. De plus, les conditions météorologiques, telles que les intempéries, peuvent avoir un impact sur la logistique et la disponibilité des produits.

Question 9 : Domaines bénéficiaires de l'implémentation des jumeaux numériques

Réponses 9 :

La mise en place de jumeaux numériques serait bénéfique dans plusieurs domaines de NAFTAL. Les répondants soulignent les domaines où cela pourrait être particulièrement avantageux :

1. Gestion des opérations de base : Les métiers de base tels que les agents de transferts et les opérateurs de mouvements de produits pourraient bénéficier de la numérisation de leurs tâches. En utilisant des jumeaux numériques, ces agents pourraient optimiser leurs opérations, améliorer la traçabilité des produits et gagner en efficacité.
2. Gestion des stocks : La numérisation de la gestion des stocks permettrait de suivre et de contrôler plus précisément les niveaux de stock, d'optimiser les approvisionnements et de réduire les risques de rupture ou de surstockage.
3. Distribution : La mise en place de jumeaux numériques pourrait faciliter la gestion de la distribution des carburants, en permettant une meilleure planification des itinéraires, une optimisation des tournées de livraison et une meilleure coordination des camions-citernes.
4. Traçabilité : Les jumeaux numériques pourraient améliorer la traçabilité des produits carburants tout au long de la chaîne d'approvisionnement, depuis les raffineries jusqu'aux stations-service. Cela permettrait de garantir la qualité des produits, de détecter plus rapidement les éventuels problèmes et de répondre aux exigences réglementaires.

En résumé, la mise en place de jumeaux numériques serait bénéfique dans les domaines tels que la gestion des opérations de base, la gestion des stocks, la distribution et la traçabilité des produits. Cela permettrait d'optimiser les processus, d'améliorer la coordination et la traçabilité, et d'accroître l'efficacité globale de NAFTAL.

Question 10 : Impact des jumeaux numériques sur les défis identifiés

Réponses 10 :

L'utilisation de jumeaux numériques pourrait aider l'entreprise à résoudre les défis identifiés dans la chaîne d'approvisionnement de carburant de plusieurs manières :

1. Optimisation du temps et de la collecte d'informations : Les jumeaux numériques permettraient de réduire le temps nécessaire à l'établissement et à la collecte des informations, en automatisant certains processus et en fournissant des données en temps réel. Cela améliorerait l'efficacité des opérations et permettrait de prendre des décisions plus rapidement.
2. Précision des données et enregistrements : Les jumeaux numériques garantiraient l'exactitude des données collectées, réduisant ainsi les erreurs potentielles. Cela

permettrait d'avoir des enregistrements plus fiables et de faciliter les analyses ultérieures.

3. Prise de décision éclairée : En utilisant des jumeaux numériques, votre entreprise aurait accès à des données précises et actualisées sur l'état de la chaîne d'approvisionnement. Cela permettrait de mieux anticiper les besoins, d'identifier les points critiques et de prendre des décisions éclairées pour résoudre les problèmes rapidement.
4. Amélioration de la distribution : Les jumeaux numériques pourraient fournir des résultats presque en temps réel, ce qui permettrait d'améliorer la planification des itinéraires, l'optimisation des livraisons et la gestion des stocks. Cela réduirait les temps d'attente, les coûts de transport et les risques de ruptures de stock.

En résumé, l'utilisation de jumeaux numériques dans la chaîne d'approvisionnement de carburant de votre entreprise permettrait d'optimiser les opérations, d'améliorer la précision des données, de faciliter la prise de décision et d'optimiser la distribution. Cela contribuerait à résoudre les défis identifiés et à améliorer l'efficacité globale de votre entreprise.

En se basant sur notre entretien on constate que l'implémentation des jumeaux numériques dans la chaîne d'approvisionnement de SPA NAFTAL offre des opportunités d'optimisation, de traçabilité et de coordination pour une gestion plus efficace. Les jumeaux numériques permettraient de résoudre les défis liés à l'autonomie, au coût et à la qualité, aux problèmes de transport, à la numérisation des opérations et aux contraintes géographiques et météorologiques. Ils optimiseraient le temps et la collecte d'informations, garantiraient la précision des données, faciliteraient la prise de décision éclairée et amélioreraient la distribution. En résumé, les jumeaux numériques contribueraient à améliorer l'efficacité globale de la chaîne d'approvisionnement de carburant de NAFTAL.

3.1.3. Synthèse des principaux résultats et constatations de l'analyse :

- La gestion de la chaîne d'approvisionnement chez SPA NAFTAL est confrontée à des défis liés à la traçabilité, l'optimisation des processus et la distribution de carburant.
- Des pratiques de traçabilité rigoureuses sont mises en place, notamment à travers des inventaires réguliers, des vérifications des documents de bord et l'utilisation de téléjaugeage.

- L'optimisation des approvisionnements est réalisée grâce à des études des déficits, la budgétisation du marché de transport et l'engagement de contrats avec des transporteurs tiers.
- Cependant, des points faibles ont été identifiés, tels que la gestion des stocks, les problèmes de transport et les coûts élevés de distribution.

3.1.4. Identification des domaines d'amélioration potentiels :

- Améliorer la traçabilité des produits pétroliers en mettant en place des solutions numériques pour la collecte et l'analyse des données.
- Renforcer la gestion des stocks en utilisant des technologies avancées de suivi des niveaux d'inventaire et de prévision des besoins.
- Optimiser la planification des itinéraires des camions-citernes en utilisant des outils de planification et de suivi en temps réel.
- Réduire les coûts de distribution en identifiant les sources de charges inutiles.

3.2. Proposition d'un plan d'action pour la mise en place de jumeau numérique au sein de NAFTAL

3.2.1. Etape 1 : Définir la portée et les objectifs

1. Présentation du projet :

Notre projet consiste à proposer un plan d'action pour l'implémentation d'un jumeau numérique dans la chaîne d'approvisionnement de carburant de NAFTAL. L'objectif est de résoudre les défis identifiés et d'optimiser l'efficacité globale de l'entreprise. En utilisant un jumeau numérique, nous cherchons à bénéficier des avantages tels que l'optimisation du temps et de la collecte d'informations, la garantie de précision des données et des enregistrements, ainsi que la prise de décision éclairée. De plus, nous visons à améliorer la distribution en optimisant la planification des itinéraires, l'optimisation des livraisons et la gestion des stocks. Notre objectif final est de proposer un plan d'action complet qui permettra de mettre en œuvre avec succès le jumeau numérique dans notre chaîne d'approvisionnement de carburant, conduisant ainsi à une amélioration significative de l'efficacité et des performances globales de NAFTAL.

2. Évaluation des besoins :

D'après l'analyse qualitative que nous avons menée à travers notre entretien, les répondants de NAFTAL ont mis en évidence leurs besoins à améliorer la gestion de leur chaîne d'approvisionnement pour la distribution de carburant. Cette évaluation a identifié plusieurs défis majeurs, tels que l'autonomie, le coût et la qualité de l'approvisionnement, les problèmes de transport, la numérisation des opérations, ainsi que les contraintes géographiques et les conditions météorologiques. Pour répondre à ces besoins, l'implémentation d'un jumeau numérique serait bénéfique, permettant notamment d'améliorer la gestion des opérations de base, la gestion des stocks, la distribution et la traçabilité des produits.

3. Formation de l'équipe de projet :

L'implémentation réussie d'un jumeau numérique dans la chaîne d'approvisionnement de carburant exige une approche collaborative et une équipe multidisciplinaire. Chaque membre de l'équipe joue un rôle clé dans la conception, le développement et la gestion du jumeau numérique. Ci-dessous, vous trouverez une liste des profils et des rôles essentiels qui composent cette équipe. Leur expertise complémentaire contribue à garantir une mise en œuvre efficace et réussie du jumeau numérique dans le contexte spécifique de votre entreprise.

Équipe de projet	Rôle dans l'implémentation du jumeau numérique
Ingénieur de données	Collecte et traitement des données spécifiques à la chaîne d'approvisionnement de carburant
Ingénieur logiciel	Développement de la plateforme numérique pour la gestion de la chaîne d'approvisionnement de carburant
Analyste fonctionnel	Analyse des besoins métiers de la chaîne d'approvisionnement de carburant et identification des processus à améliorer
Scientifique des données	Analyse des données de la chaîne d'approvisionnement de carburant, modélisation des flux de données et prévisions
Modélisateur	Création du jumeau numérique de la chaîne d'approvisionnement de carburant, intégration des données et simulation de scénarios
Responsable de la solution	Gestion globale du projet d'implémentation du jumeau numérique dans la chaîne d'approvisionnement de carburant

Architecte	Conception de l'architecture du système du jumeau numérique adapté aux besoins spécifiques de la chaîne d'approvisionnement de carburant
Responsable logistique	Gestion des opérations logistiques liées à la chaîne d'approvisionnement de carburant, y compris le transport, le stockage et la distribution
Planificateur	Planification des approvisionnements en carburant pour répondre aux besoins de la chaîne d'approvisionnement de carburant
Responsable qualité	Assurer la conformité aux normes de qualité pour les produits carburants dans la chaîne d'approvisionnement de carburant

Tableau 5 : Mise en place de l'équipe de projet

Source : Elaboré par nos soins

4. Définition des objectifs spécifiques :

- Réduire les délais de collecte et de traitement des informations en automatisant les processus clés grâce à l'utilisation du jumeau numérique.
- Améliorer la précision des données et des enregistrements en réduisant les erreurs de saisie grâce à l'automatisation et à la validation des données fournies par le jumeau numérique.
- Augmenter la prise de décision éclairée en fournissant des informations en temps réel sur l'état de la chaîne d'approvisionnement, permettant de réduire les retards et les pénuries.
- Optimiser la distribution des carburants en réduisant les temps d'attente, les coûts de transport et les risques de ruptures de stock grâce à une meilleure planification des itinéraires basée sur les données fournies par le jumeau numérique.
- Améliorer la traçabilité des produits carburants en garantissant le respect des normes internationales en vigueur et en réduisant les erreurs de suivi des produits grâce à la traçabilité précise fournie par le jumeau numérique.
- Accroître l'efficacité opérationnelle en optimisant l'utilisation des ressources, ce qui se traduirait par une réduction des coûts de stockage et une augmentation de la capacité d'approvisionnement.

- 5. Identification des ressources nécessaires :** Identifier les ressources nécessaires pour la mise en œuvre du jumeau numérique, telles qu'une licence logicielle pour AnyLogic, un serveur de données, des ressources informatiques, des données historiques de la chaîne d'approvisionnement, etc.
- **Licence logicielle :** Acquérir une licence logicielle appropriée, telle qu'AnyLogic, qui est une plateforme de modélisation et de simulation utilisée pour créer des jumeaux numériques.
 - **Infrastructure informatique :** Disposer d'une infrastructure informatique adéquate pour exécuter le logiciel et stocker les données nécessaires à l'implémentation du jumeau numérique. Cela inclut :
 - **Serveurs dédiés :** opter pour des serveurs dédiés, physiques ou virtuels, qui hébergeront le logiciel du jumeau numérique et les données associées. Ces serveurs doivent être suffisamment puissants pour exécuter les simulations et gérer les charges de travail prévues.
 - **Systèmes de stockage de données :** Utiliser des systèmes de stockage de données performants pour stocker les informations nécessaires à l'analyse et à la modélisation de la chaîne d'approvisionnement. Les options peuvent inclure des serveurs de fichiers, des systèmes de stockage en réseau (NAS) ou des systèmes de stockage dans le cloud, en fonction de vos besoins spécifiques en termes de capacité, de vitesse d'accès et de redondance.
 - **Réseau et connectivité :** il faut avoir une connectivité réseau fiable et sécurisée pour permettre un accès fluide aux données et aux ressources du jumeau numérique. Cela peut impliquer la mise en place de réseaux locaux (LAN) robustes, de connexions à large bande passante ou de l'utilisation de technologies de réseau privé virtuel (VPN) pour faciliter l'accès à distance.
 - **Matériel informatique :** Évaluer les besoins en matériel informatique pour prendre en charge les tâches liées au jumeau numérique, telles que la modélisation, la simulation et l'analyse des données. Cela peut inclure des ordinateurs puissants, des équipements de visualisation avancés (comme des écrans haute résolution) et des périphériques de saisie de données supplémentaires (tels que des capteurs pour collecter des données en temps réel).

- **Données historiques** : Collecter et organiser les données historiques spécifiques à la chaîne d'approvisionnement de carburants de NAFTAL.
- **Expertise technique** : Identifier des experts spécialisés dans la modélisation, la simulation et l'analyse des chaînes d'approvisionnement de carburants, issus de différents domaines comme mentionnées dans le tableau 5.
- **Formation et compétences** : Assurer la formation et le développement des compétences de l'équipe chargée de l'implémentation du jumeau numérique chez NAFTAL. Cela peut inclure des programmes de formation sur l'utilisation de la plateforme logicielle spécifique choisie, ainsi que sur les techniques de modélisation, d'analyse des données et d'optimisation propres à la chaîne d'approvisionnement de carburants.
- **Sécurité des données** : Accorder une attention particulière à la sécurité des données et mettre en place des mesures de protection appropriées, telles que des pare-feux, des systèmes de détection d'intrusion et des politiques de gestion des accès. Il faut également effectuer des sauvegardes régulières des données afin de prévenir toute perte ou corruption des informations critiques.

3.2.2. Etape 2 : Collecte et intégration des données

1. Définir les données requises :

Déterminer les données spécifiques nécessaires pour créer un modèle précis du fonctionnement de la chaîne d'approvisionnement. Cela inclut principalement :

- Données de produit : prix de vente, cout de revient, quantité en stock, les fournisseurs
- Données de vente : volumes de vente par produit, par région, par période, prévisions de vente à court et à long terme.
- Données d'approvisionnement : délais de livraison des fournisseurs, quantités commandées et disponibles, coûts d'approvisionnement.
- Données de transfert : itinéraires de transport, couts, capacités des véhicules, horaires de chargement et de déchargement.
- Données de stock : niveaux de stock actuels, taux de rotation, demandes de réapprovisionnement, capacités.

- Données géographiques : emplacements des stations de distribution, des entrepôts, des fournisseurs, des clients, distances entre les sites.
- Données des capteurs : mesures en temps réel telles que le niveau de stock, la température, la pression, la qualité du carburant, etc., collectées à l'aide de capteurs placés à différents points de la chaîne d'approvisionnement.

2. Collecter les données :

Mettre en place les processus pour collecter les données identifiées. Cela implique :

- L'extraction de données à partir de systèmes informatiques internes existants (SDCOM, Sys.achat, MyNaftal, Dispatch, etc.)
- Effectuer des relevés sur le terrain pour recueillir les données spécifiques non disponibles dans les systèmes existants
- Mener des entretiens avec le personnel pour obtenir des informations supplémentaires
- Réaliser des enquêtes auprès des fournisseurs pour obtenir des données d'approvisionnement précises
- Installer et configurer les capteurs pour collecter en temps réel les mesures des paramètres souhaités. Cela nécessite :

- Identification des points de surveillance :

Identifier les points clés de la chaîne d'approvisionnement où l'installation de capteurs serait bénéfique pour collecter des données en temps réel. Ces points peuvent inclure les réservoirs de stockage, les stations de distribution, les camions-citernes, les stations-service, etc.

- Sélection des capteurs appropriés :

Choisir les capteurs adaptés aux besoins spécifiques de la chaîne d'approvisionnement de carburant de NAFTAL. Les capteurs peuvent mesurer des paramètres tels que le niveau de stock, la température, la pression, la qualité du carburant, la consommation, etc.

Assurer que les capteurs sélectionnés sont compatibles avec le système de collecte de données choisi.

- Acquisition des capteurs :

Procurer les capteurs auprès de fournisseurs fiables.

Assurer qu'ils répondent aux normes de qualité et de sécurité requises pour être utilisés dans l'industrie pétrolière et gazière.

- Installation des capteurs :

Installer les capteurs aux emplacements identifiés dans la chaîne d'approvisionnement.

Assurer que l'installation est effectuée correctement en suivant les instructions du fabricant et les réglementations en vigueur.

Il peut être nécessaire de faire appel à des techniciens spécialisés pour garantir une installation correcte et sécurisée.

- Configuration des capteurs :

Configurer les capteurs pour collecter les données spécifiques requises. Cela peut inclure la définition des intervalles de collecte des données, les seuils d'alerte, les protocoles de communication, etc.

- Intégration des capteurs avec le système de jumeau numérique :

Assurer que les capteurs sont intégrés au système de jumeau numérique afin de transmettre les données collectées en temps réel. Cela peut nécessiter une intégration logicielle et matérielle pour permettre la communication bidirectionnelle entre les capteurs et le système de jumeau numérique.

- Test et vérification des capteurs :

Effectuer des tests pour vous assurer que les capteurs fonctionnent correctement et collectent les données avec précision.

Vérifier également la fiabilité de la communication entre les capteurs et le système de jumeau numérique.

- Maintenance et suivi :

Établir un plan de maintenance régulière des capteurs pour garantir leur bon fonctionnement à long terme. Cela peut inclure des vérifications périodiques, des calibrations, des remplacements de capteurs défectueux, etc.

Surveiller également en continu les données collectées pour détecter les problèmes potentiels et prendre des mesures correctives.

3. Nettoyer et préparer les données :

Une fois les données collectées, une étape de nettoyage et de préparation des données est essentielle. Éliminer les doublons, les données manquantes ou incohérentes, et assurer que les données sont au bon format pour être utilisées dans le modèle du jumeau numérique. Il faut également normaliser les données, les agréger ou les segmenter en fonction des besoins du modèle.

4. Documenter les sources et les méthodes de collecte :

Un registre détaillé des sources de données utilisées, des méthodes de collecte et des processus de nettoyage et de préparation des données, ainsi que les caractéristiques des capteurs utilisés, tels que leurs emplacements, les types de données collectées, les fréquences de collecte, etc.

Cette documentation servira de référence pour assurer la traçabilité des données et faciliter la maintenance future du jumeau numérique.

5. Assurer la sécurité des données :

Prendre les mesures nécessaires pour protéger la confidentialité et la sécurité des données collectées. Mettre en place des protocoles de sécurité appropriés pour limiter l'accès aux données sensibles et éviter les violations de sécurité.

6. Intégrer les données dans le modèle :

Importer les données nettoyées et préparées dans l'outil de modélisation tel que « AnyLogic ».

- Il est nécessaire que les données soient traitées et structurées de manière à être utilisées dans la modélisation et la simulation.
- Effectuer les transformations nécessaires pour convertir les données dans un format numérique utilisable par AnyLogic.

3.2.3. Etape 3 : Modélisation et simulation du jumeau numérique

Cette étape consiste à utiliser l'outil AnyLogic pour modéliser et développer le jumeau numérique de la chaîne d'approvisionnement de l'entreprise. Voici les actions à entreprendre :

1. Utilisation de l'outil AnyLogic :

AnyLogic est un outil de modélisation et de simulation qui permet de créer des modèles numériques de la chaîne d'approvisionnement. Utiliser cet outil pour reproduire les différentes étapes de la chaîne, y compris les entrepôts, les camions de livraison, les fournisseurs et les clients.

- **Définition des flux d'informations** : Identifier les flux d'informations clés au sein de la chaîne d'approvisionnement et comment ces informations circulent et interagissent entre les différents acteurs de la chaîne.
- **Règles de décision** : Déterminer les règles de décision qui régissent le fonctionnement du jumeau numérique. Cela peut inclure des règles de gestion des stocks, des stratégies d'optimisation des livraisons, des politiques de réapprovisionnement, etc. Ces règles permettront au jumeau numérique de prendre des décisions basées sur les données d'entrée.
- **Paramètres pertinents** : Identifier les paramètres pertinents qui influencent les performances de la chaîne d'approvisionnement. Cela peut inclure des paramètres tels que les délais de livraison, les coûts de transport, les taux de demande, etc. Définir ces paramètres dans le jumeau numérique pour refléter la réalité opérationnelle.

2. Effectuez des simulations pour valider et améliorer le modèle :

- **Validation du modèle :** tester le modèle avec des données historiques pour vérifier qu'il reproduit fidèlement les performances du système réel.
- **Ajustement du modèle :** Identifier les écarts entre les résultats de la simulation et les performances réelles et apporter les ajustements nécessaires pour le rendre plus précis et fiable.

3. Explorez différents scénarios :

- **Tests et simulations :** Effectuer des tests et des simulations en utilisant le jumeau numérique pour évaluer son comportement dans différentes situations, telles que des variations de la demande, des retards dans les livraisons ou des pannes de camions.
- **Analyse des résultats :** Identifier les goulots d'étranglement et les inefficacités dans la supply chain de SPA NAFTAL, analyser les résultats pour déterminer les domaines à améliorer
- **Proposer des solutions d'optimisation :** développer des recommandations pour améliorer les opérations de SPA NAFTAL basées sur les résultats de la simulation en identifiant des stratégies telles que l'optimisation des itinéraires, l'ajustement des niveaux de stock, l'amélioration de la planification des ressources, etc.
- Identifiez les meilleurs scénarios et prenez des décisions basées sur les résultats de la simulation.

3.2.4. Etape 4 : Déployer et surveiller le jumeau numérique

1. Intégrer le jumeau numérique au système physique :

Utiliser les données collectées en temps réel à partir des capteurs pour alimenter le jumeau numérique, en veillant à ce que les informations du jumeau numérique soient régulièrement mises à jour et reflètent l'état actuel du système.

2. Surveiller et analyser les données du jumeau numérique :

- Utiliser les données en temps réel pour détecter les anomalies et les déviations par rapport aux prévisions.
- Analyser les résultats de la simulation pour évaluer la performance du système et identifier les opportunités d'amélioration.

3. Utilisez le jumeau numérique pour la prise de décision :

- Exploiter les données du jumeau numérique pour prendre des décisions éclairées sur l'approvisionnement, la gestion des stocks, les transferts, etc.
- Utiliser le jumeau numérique comme outil de formation pour le personnel, en organisant des sessions de formation pour les employés concernés afin de les familiariser avec l'utilisation du jumeau numérique et les nouveaux processus associés. Il faut qu'ils comprennent comment interagir avec le jumeau numérique et comment utiliser les informations générées pour améliorer les opérations.

4. Effectuer des ajustements et des améliorations continues :

- Sur la base des résultats et des analyses du jumeau numérique, proposer des mesures d'amélioration spécifiques pour optimiser les opérations de la chaîne d'approvisionnement de SPA NAFTAL.
- Développer un plan d'action pour la mise en œuvre des recommandations et surveiller les résultats obtenus pour itérer et améliorer continuellement le système.
- Évaluer les résultats obtenus grâce à la mise en œuvre du jumeau numérique et préparer un rapport détaillé pour communiquer les avantages réalisés, les améliorations apportées à la chaîne d'approvisionnement et les leçons apprises à l'équipe de projet, aux parties prenantes et à la direction de l'entreprise.

En suivant ce plan d'action, SPA NAFTAL sera en mesure de modéliser et de simuler sa supply chain avec AnyLogic, et d'utiliser le jumeau numérique pour améliorer ses opérations et ses performances.

CONCLUSION

Dans le cadre de cette étude, nous avons examiné la maturité digitale de l'entreprise SPA NAFTAL et proposé un plan d'action pour l'application des jumeaux numériques dans sa gestion de la supply chain. À la lumière de nos recherches, nous avons pu confirmer nos hypothèses

H1 : La maturité digitale de l'entreprise impacte positivement l'efficacité de l'implémentation des jumeaux numériques dans la supply chain. Notre évaluation de la maturité digitale de SPA NAFTAL selon le référentiel Gamache et notre inventaire informatique ont révélé que l'entreprise possède déjà des technologies et des logiciels en place, mais qu'il existe encore des domaines d'amélioration potentiels. Cependant, une maturité digitale accrue peut favoriser une meilleure intégration des jumeaux numériques dans la supply chain, permettant ainsi d'améliorer l'efficacité opérationnelle et la prise de décision.

H2 : Le plan d'action proposé pour l'application du jumeau numérique permettra une intégration réussie dans la gestion de la supply chain en identifiant les domaines clés, les investissements nécessaires et les étapes de déploiement progressif. Notre plan d'action propose une approche étape par étape pour la mise en place des jumeaux numériques chez SPA NAFTAL. En définissant clairement la portée et les objectifs, en collectant et en intégrant les données pertinentes, en modélisant et en simulant les jumeaux numériques, ainsi qu'en déployant et en surveillant leur fonctionnement, l'entreprise pourra progressivement intégrer avec succès cette technologie dans sa gestion de la supply chain.

H3 : L'implantation des jumeaux numériques dans la supply chain nécessite une planification stratégique et une collaboration interfonctionnelle, permettant de maximiser les avantages et de surmonter les obstacles grâce à un plan d'action intégré. L'introduction des jumeaux numériques dans la gestion de la supply chain exige une vision stratégique claire et une coordination étroite entre les différentes fonctions et départements de l'entreprise. Une telle collaboration permettra de maximiser les avantages potentiels des jumeaux numériques, tels que l'optimisation des processus, la réduction des coûts et l'amélioration de la réactivité face aux fluctuations du marché.

CONCLUSION GENERALE

En conclusion, cette recherche a exploré les opportunités et les apports potentiels des jumeaux numériques pour l'optimisation de la supply chain, en se basant sur une analyse approfondie des fondements théoriques existants. Bien que nous n'ayons pas mis en place un jumeau numérique réel dans le cadre de cette étude, nos travaux ont fourni des perspectives précieuses sur les avantages potentiels de cette approche.

Nos résultats soulignent que l'utilisation des jumeaux numériques dans la supply chain peut offrir une meilleure visibilité des processus, une anticipation accrue des problèmes et une prise de décisions plus éclairée. En s'appuyant sur des modèles virtuels, les entreprises peuvent améliorer la coordination des opérations, optimiser les flux de marchandises et d'informations, et réagir de manière plus agile aux perturbations.

Cependant, il convient de noter que l'intégration des jumeaux numériques comporte des défis. Outre les aspects technologiques et les investissements nécessaires, la collecte et l'intégration des données restent des enjeux complexes. De plus, la confidentialité et la sécurité des informations doivent être garanties pour éviter tout risque potentiel.

Malgré les limites de cette recherche, nos résultats suggèrent que les jumeaux numériques ont le potentiel de transformer la supply chain et d'améliorer la performance opérationnelle. Ils peuvent favoriser une meilleure compréhension des processus, faciliter la collaboration entre les acteurs et permettre une prise de décisions plus éclairée.

En termes de valeur, cette étude apporte des contributions théoriques en élargissant notre compréhension des jumeaux numériques et de leur application potentielle dans le contexte de la supply chain. Elle offre également des insights pratiques aux entreprises intéressées par l'optimisation de leurs opérations.

En ce qui concerne les limites de cette recherche, il convient de noter certaines difficultés objectives que nous avons rencontrées. La principale limitation réside dans l'absence d'implémentation concrète d'un jumeau numérique, ce qui aurait permis de valider et d'évaluer empiriquement ses bénéfices et ses limites. Par conséquent, nos conclusions sont basées sur une analyse théorique et une évaluation de la maturité numérique de l'entreprise sans expérience pratique directe. Cela peut limiter la généralisation des résultats obtenus.

De plus, les contraintes de temps, de ressources et l'absence d'un jumeau numérique ont restreint notre capacité à mener des études de cas approfondies et à collecter des données empiriques sur l'impact réel d'un jumeau numérique dans la chaîne d'approvisionnement de SPA NAFTAL. Une recherche plus poussée, impliquant plusieurs entreprises et secteurs, permettrait d'obtenir une vision plus complète des avantages et des limites spécifiques à considérer.

Pour de futures recherches, il serait pertinent de poursuivre les travaux en se concentrant sur des cas concrets d'implémentation des jumeaux numériques dans la supply chain. Cela permettrait de recueillir des données empiriques sur leurs impacts réels, d'identifier les meilleures pratiques et de développer des recommandations pour une adoption plus large.

Il serait également utile de mener des recherches supplémentaires pour évaluer les coûts et les bénéfices spécifiques de l'implémentation d'un jumeau numérique dans la chaîne d'approvisionnement. Cela permettrait aux entreprises d'avoir une meilleure compréhension des investissements nécessaires, des économies potentielles et des avantages opérationnels attendus.

En outre, il serait intéressant d'explorer d'autres domaines d'application des jumeaux numériques au sein de SPA NAFTAL, tels que l'optimisation des capacités de stockage et la gestion des opérations de maintenance. Cela élargirait la portée de l'étude et permettrait de tirer parti des avantages potentiels des jumeaux numériques dans différents aspects de la supply chain.

En résumé, bien que cette recherche n'ait pas réalisé une mise en place concrète d'un jumeau numérique, elle a permis d'explorer les opportunités et les apports potentiels de cette approche pour l'optimisation de la supply chain. Les résultats obtenus offrent des pistes intéressantes pour les entreprises et appellent à de futures recherches pour approfondir notre compréhension et maximiser les bénéfices des jumeaux numériques dans le domaine de la supply chain.

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGE

- BITEAU, (J) et BAUDIN, (F) : « *Géologie du pétrole, genèse, exploration, ressources* », Dunod, 2017.
- CHAUTARD, (S) : « *géopolitique et pétrole* », Ed. Studyrama perspectives, 2007.
- CHOPRA, (S) et MEINDL, (P): *Supply chain management Strategy, Planning and Operation*, édition PEARSON, 6eme edition, 2015,
- CHRISTOPHER, (M): *Logistics & Supply Chain Management*, PEARSON, 5eme edition, 2016,
- GHEDIRA, (K) : *la logistique de production*, TECHNIP, paris, 2006.
- IVANOV (D), TSIPOULANIDIS (A) et SCHONBERGER (J): *Global Supply Chain and Operations Management a decision-oriented Introduction to the creation of value*, SPRINGER, 2eme edition, 2019,
- MAZZONE, (D. M): “*Digital or Death: Digital Transformation: The Only Choice for Business to ...*” books.google.co.ma > books, 2014,
- MCCARTHY, (B. L). , IVANOV, (D) : « *The digital supply chain* », Elsevier Science, 2022.
- PRIMOR (Y) et FENDER (M) : *logistique, production, distribution, soutien*, édition DUNOD, 5eme édition, Paris, 2008.
- PRIMOR (Y) et FENDER (M) : *Logistique et supply chain management*, Edition DUNOD, 7eme édition, 2016.

REVUES ET PERIODIQUE

- ABBAD (H), BENTAHAR (O) et BENZIDIA (S) : « *Transformation digitale de la supply chain : caractéristiques, enjeux et voies de recherche futures, Logistique & Management* », 30 :4, 2022,
- ATTARAN, (M) et CELIK, (B): “*Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities*”, Decision Analytics Journal, Volume 6, Mars 2023.

- BLOCHING, (B) et autres: “*The digital transformation of industry - How important is it? Who are the winners? What must be done?*”, A European study commissioned by the Federation of German Industries (BDI) and conducted by Roland Berger Strategy Consultants, 2015.
- CHEKROUNI, (A) et AL : « *L’impact potentiel de la Blockchain sur le supply chain management : quelles applications et quelles perspectives ?* », Revue Française d’Economie et de Gestion « Volume 3 : Numéro 8 », 2022.
- CHIMA, (C.M): “*Supply-Chain Management Issues in The Oil and Gas Industry*”, Journal of Business & Economics Research, N 6, June 2007
- COOPER, (M.C), LAMBERT, (D.M) et PAGH, (J.D): “*Supply Chain Management: More Than a new Name for Logistics*”, International Journal of Logistics Management, No.1, 1997.
- DING, (Y) : « *Brief Analysis About Digital Twin Supply Chain Model and Application* », Industrial Engineering and Innovation Management, 2 : 14-23, Clausius Scientific Press, Canada, 2019.
- DROUZI, (M) : « *Rôle des systèmes d’information dans la démarche supply chain management* », African Scientific Journal « Volume 03, Numéro 4 », 2021.
- GERLACH, (B) et autres : « *Digital Supply Chain Twins—Conceptual Clarification, Use Cases and Benefits* », Logistics, 5, 86, 2021.
- HAORAN, (Z) et autres: “*A self-learning approach for optimal detailed scheduling of multi-product pipeline*”, Journal of Computational and Applied Mathematics, 2018.
- HASSEN, (K) et SZUCS, (D): “*Supply chain optimization in the oil industry: A case study of mol Hungarian oil and gas plc,*” 2012.
- HUSSAIN, (R), ASSAVAPOKEE, (T) et KHUMAWALA, (B): “*Supply chain management in the petroleum industry: challenges and opportunities,*” International Journal of Global Logistics & Supply Chain Management, no. 2, 2006.
- LISITSA, (S), LEVINA, (A) et LEPEKHIN, (A): “*Supply-chain management in the oil industry,*” E3S Web of Conferences 110, 0, 2019,
- VIAL, (G) : « *Understanding Digital Transformation : A Review and A Research Agenda* », Journal of Strategic Information Systems 28 (2), 2019.
- WACKER, (J. G) : « *A Theory of Formal Conceptual Definitions : Developing theory-building Measurement Instruments* », Journal of Operations Management 22 (6), 2004,

- WERNER, (K) et Autres: *“Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification”*, IFAC PapersOnLine 51-11 (2018) 1016–1022
- WESTERMAN, (G), BONNET, (D) et MCAFEE, (A): *“The Nine Elements of Digital Transformation”*, state of digital transformation since, 2014,

RAPPORTS ET INSIGHTS

- « Supply Chain Digital Twins definition, the problems they solve, and how to develop them », AnyLogistix supply chain software,
- « Why Digital Twin enabled Control Towers are the game changer for Supply Chain Leaders », Tada Cognitive Solutions, 2022.
- « *Gartner Top 8 Supply Chain Technology Trends for 2019* », <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-8-supply-chain-technology-trends-for-2019/>
- « *How digital supply chains can drive competitiveness* », <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/digital-transformation-raising-supply-chain-performance-to-new-levels/>
- « *Supply chain control towers : Providing end-to-end visibility* », SAP Insights, <https://www.sap.com/insights/supply-chain-control-tower.html/>
- « *What is a digital twin ?* » <https://unity.com/solutions/digital-twin-definition/>
- « *What is a digital twin* », <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin/>
- « *What Is a Supply Chain Control Tower — And What’s Needed to Deploy One ?* », Gartner Insights, 2022, <https://www.gartner.com/en/articles/what-is-a-supply-chain-control-tower-and-what-s-needed-to-deploy-one/>
- Dr. WARSHAW, (L) et PARROTT, (A): *“Industry 4.0 and the digital twin”*, Deloitte University Press.
- KUMAR, (P) et autres : « *From visibility to value, Applying a supply chain control tower to help enable resilient customer-centric supply networks* », Accenture, 2022,
- MOSHOOD, (T.D) et autres : « *Digital Twins Driven Supply Chain Visibility within Logistics : A New Paradigm for Future Logistics* », Appl. Syst. Innov, 2021,

DICTIONNAIRES ET ENCYCLOPÉDIES

- AMIN MOSALLAM (S) : « *100 Terms and Definitions you should know about Digital Transformation and Industry 4.0* », <https://www.symbios-digital.com/> Symbios consulting Group, 2022,

TRAVAUX UNIVERSITAIRES

- BENZITOUNI, (M) : « *Transport des hydrocarbures chapitre3 Le stockage des hydrocarbures* », Université Constantine 1, Faculté des sciences de la technologie, Département Génie du transport
- BOWERSOX, (D. J), CLOSS, (D. J) et DRAYER, (R. W): “*The Digital Transformation: Technology and Beyond*”, Northwestern University, Evanston, 2005,
- CAMERON, (D), WAALER, (A) et KOMULAINEN, (T): “*Oil and Gas digital twins after twenty years. How can they be made sustainable, maintainable and useful?*”, Proceedings of The 59th Conference on Simulation and Modelling (SIMS 59), 26-28 September 2018, Oslo Metropolitan University, Norway
- Dr. ABDELLAOUI, (W) : *Logistique du transport pétrolière*, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Faculté de technologie, Juin 2022,
- GAMACHE, (S) : « STRATÉGIES DE MISE EN ŒUVRE DE L’INDUSTRIE 4.0 DANS LES PETITES ET MOYENNES ENTREPRISES MANUFACTURIÈRES QUÉBÉCOISES », Université du Québec, 2019
- Vincent PRUD’HOMME : « Transformation numérique : Méthodologie de conception et d’intégration d’un jumeau numérique d’une chaîne d’approvisionnement », école du technologie supérieure université du Québec, 2022

WEBOGRAPHIE

- « *[Tribune] Le jumeau numérique est au cœur de l’usine 4.0* », <https://www.usinenouvelle.com/article/tribune-le-jumeau-numerique-est-au-c-ur-de-l-usine-4-0.N1813452/>
- « *7 benefits of cloud computing for the supply chain* », <https://blog.mercadoe.com/en/beneficios-cloud-computing-supply-chain/>

- « *Batch size of one pallet : Any color desired* », <https://www.siemens.com/global/en/company/stories/industry/any-color-desired.html/>
- « *Cloud Computing : comment l'utiliser au profit de votre entreprise ?* », <https://urlz.fr/1Ee9/>.
- « *Comprendre le fonctionnement du jumeau numérique* », <https://commentouvrir.com/info/comprendre-le-fonctionnement-du-jumeau-numerique/>
- « *Créer un jumeau numérique : un guide complet* », <https://commentouvrir.com/info/creer-un-jumeau-numerique-un-guide-complet/>
- « *DHL Supply Chain Asia Digital Twin Warehouse* », <https://www.youtube.com/watch?v=S4jE-h37B4I/>
- « *Digital Twins and Living Models at NASA* » <https://ntrs.nasa.gov/citations/20210023699/>
- « *Digital Twins, Tap the full potential of data with Digital Twins !* », <https://www.bosch-connected-industry.com/de/en/iiot-insights/digital-twins/>
- « *How Digital Twin and Analytics Improve Operations, Minimize Costs* », <https://www.jacobs.com/newsroom/news/how-digital-twin-and-analytics-improve-operations-minimize-costs/>
- « *Les premiers jours des jumeaux numériques dans la supply chain* », 2021, <https://www.lemagit.fr/conseil/Les-premiers-jours-des-jumeaux-numeriques-dans-la-supply-chain/>
- « *Quels prérequis au déploiement du jumeau numérique de votre production ?* », <https://forcam.com/fr/jumeau-numerique-en-production/>
- <http://grh-multi.net/fr/2017/03/quels-sont-les-limites-et-les-freins-a-la-transformation-digitale/>
- <https://iopcommunity.com/iiot-in-manufacturing-education-and-supply-chain/>
- <https://jobisyou.com/actualites/transformation-digitale-de-lentreprise-avantages-et-inconvenients/>
- <https://throughput.world/blog/ai-in-supply-chain-and-logistics/>
- <https://www.advents.fr/le-blog-des-adventgers/aps-advanced-planning-and-scheduling-systems-2/#:~:text=Alors%20c'est%20quoi%20un,la%20production%20et%20des%20approvi>
[sionnements/](https://www.advents.fr/le-blog-des-adventgers/aps-advanced-planning-and-scheduling-systems-2/#:~:text=Alors%20c'est%20quoi%20un,la%20production%20et%20des%20approvi)

- <https://www.amalo-recrutement.fr/blog/mrp/>
- <https://www.amalo-recrutement.fr/blog/tms-quest-ce-qu-un-transport-management-system-definition/>
- <https://www.api.org/>
- <https://www.b2be.com/fr/industries/petrole-et-gaz/>
- <https://www.b2be.com/fr/industries/petrole-et-gaz/> , Gestion de la chaîne d’approvisionnement résiliente
- <https://www.bearingpoint.com/fr-fr/publications-evenements/blogs/blog-industry/comment-la-blockchain-peut-faire-de-votre-supply-chain-un-atout/>
- <https://www.brother.fr/blog/etiquetage/2021/la-tracabilite-logistique/>
- <https://www.capp.ca/fr/petrole/extraction-du-petrole/>
- <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/petrole/>
- <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/transport-du-petrole#:~:text=Le%20p%C3%A9trole%20peut%20%C3%AAtre%20transport%C3%A9,et%20selon%20leur%20capacit%C3%A9%20embarqu%C3%A9e/>
- <https://www.deleguescommerciaux.gc.ca/algeria-algerie/market-reports-etudes-de-marches/0006429.aspx?lang=fra/> ,Profil du secteur pétrolier et gazier de l’Algérie
- <https://www.economie.gouv.fr/entreprises/blockchain-definition-avantage-utilisation-application#/>
- <https://www.eia.gov/>
- <https://www.kls-group.fr/definition-wms/>
- <https://www.marketingaiinstitute.com/what-is-ai/>
- https://www.opec.org/opec_web/en/about_us/146.htm/ , Organization of the Petroleum exporting countries
- <https://www.salesforce.com/crm/what-is-crm/>
- <https://www.techtarget.com/searcherp/feature/7-use-cases-for-RPA-in-supply-chain-and-logistics/>
- <https://www.votre-it-facile.fr/qu-est-ce-que-la-digitalisation-avantages-et-inconvenients/>
- <https://www.webmanagercenter.com/2009/04/08/73391/tunisie-entreprises-industrielles-optimiser-sa-performance-logistique-dans-un-contexte-de-concurrence-mondiale/>

LES ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaire d'évaluation de la maturité digitale de l'entreprise adapté du modèle de GAMACHE

Vision et stratégie

- Notre vision de transformation digitale est cohérente avec les objectifs d'affaires de l'entreprise
- Notre vision de transformation digitale est révisée régulièrement
- Notre vision de transformation digitale et notre stratégie d'intégration sont communiquées et partagées efficacement
- Notre entreprise a développé une vision de l'intégration d'outils numériques dans ses activités
- Nous avons développé une stratégie d'intégration des technologies numériques cohérente avec la vision de transformation digitale
- Tous les employés comprennent l'impact de la vision de transformation digitale sur leur travail

Écosystème et architecture TI (ERP, TMS, WMS, etc.)

- Il existe dans l'entreprise une carte à jour détaillée de l'architecture et l'écosystème technologique complet de l'entreprise
- Les standards à respecter pour les technologies de l'entreprise sont définis
- Les technologies utilisées dans les opérations et la prise de décision de nos processus d'affaires répondent aux besoins
- Les technologies utilisées dans les opérations et la prise de décision de nos processus d'affaires sont faciles à utiliser
- Les technologies utilisées dans les opérations et la prise de décision de nos processus d'affaires sont inter-reliées
- Les technologies utilisées dans les opérations et la prise de décision de nos processus d'affaires sont rapides

Engagement

- La direction persévère dans la démarche de réalisation de la vision de transformation digitale malgré les difficultés
- Les employés clés sont impliqués dans les processus d'innovation et d'adoption des technologies

- Les employés comprennent comment les technologies vont les aider à accomplir leurs tâches et à atteindre les objectifs de l'entreprise
- Les employés comprennent leur rôle dans la stratégie d'intégration des technologies numériques
- Nous avons un plan numérique qui comprend des objectifs concrets (responsable, délais, actions, etc.)

Maitrise des outils numériques

- Des équipes multidisciplinaires sont formées lors de projets d'implantation des technologies
- La direction, le personnel technique et les employés s'entendent sur les objectifs auxquels les technologies doivent répondre
- La direction, le personnel technique et les employés s'entendent sur les priorités technologiques
- Les employés de nos processus d'affaires ont accès au soutien technique adéquat lié à l'utilisation des technologies à leur disposition
- Les employés de nos processus d'affaires possèdent les compétences pour bien utiliser les technologies à leur disposition
- Les employés de nos processus d'affaires sont impliqués dans l'implantation des technologies qu'ils auront à utiliser.

Qualité des données

- Des actions correctives sont effectuées lorsque l'on détecte un problème de qualité des données
- Des actions ont été mises en place pour s'assurer de la qualité des données à la source (bonne saisie)
- Il n'existe qu'une seule version de chaque entité (ex : un seul dossier par client)
- La qualité des données est surveillée continuellement
- Les standards de qualité des données sont établis

Gestion du changement

- Des techniques concrètes (affiches, courriels, communications internes) sont utilisées pour communiquer la culture de notre entreprise, qui se compose de notre mission, de nos valeurs et de nos règles de fonctionnement
- La culture de notre entreprise est bien comprise de tous

- La direction fait des efforts concrets pour que les employés se sentent interpellés par la culture de l'entreprise
- Notre démarche de gestion du changement implique les employés directement
- Nous avons une démarche structurée pour gérer le changement dans notre entreprise

Agilité et innovation

- Notre équipe collabore avec un réseau de spécialistes diversifié (ex : consultants, chercheurs...)
- Notre équipe s'adapte rapidement lors de situations nouvelles
- Notre équipe se sent encouragée à innover par la direction de l'entreprise
- Nous réévaluons nos pratiques sur une base régulière pour abandonner celles qui ne sont plus pertinentes

Lean et amélioration continue

- Des indicateurs de performance sont en place pour mesurer nos processus d'affaires
- Les principes de l'amélioration continue sont utilisés dans nos processus d'affaires
- Un climat favorable à l'amélioration continue est en place dans nos processus d'affaires

Cybersécurité

- L'entreprise a un plan de continuité pour remettre ses affaires en marche après sinistre (vols, piratage, incendie)
- Les employés n'ont accès qu'aux systèmes (logiciels, automates, machines) dont ils ont besoin
- Les interactions des employés avec les systèmes sont restreintes à ce qui est strictement nécessaire
- Les systèmes de sécurité informatique sont mis à jour sur une base régulière et systématiquement après la découverte d'une faille
- Tous les employés comprennent les risques en lien avec la sécurité informatique

Livraison des données

- Les données nécessaires aux analyses et à la prise de décision sont accessibles sans manipulation (ex : tableaux croisés) par l'utilisateur
- Les systèmes d'aide à la décision appropriés sont en place dans l'entreprise
- L'information nécessaire aux analyses et à la prise de décision est disponible

Personnalisation

- La capacité de personnalisation des services est définie.
- La distribution permet de s'adapter à des commandes spécifiques à un coût raisonnable.
- Le client peut personnaliser certains aspects de sa commande via une plateforme de libre-service en ligne (site web, application mobile...).
- L'entreprise est en mesure de personnaliser son offre en fonction des données du client telles que ses préférences d'achat et son historique d'achats antérieurs.

Utilisation opérationnelle des données

- Les données nécessaires à la prise de décision sont mises à jour en temps réel
- Les employés affectés aux tâches de ce processus d'affaires ont accès à des outils d'aide à la décision (indicateurs clés de performance, tableaux de bord, rapports...)
- Les employés utilisent les données pour prendre des décisions efficaces
- Les employés peuvent facilement accéder aux données dont ils ont besoin

Utilisation stratégique des données

- On s'assiste d'outils d'aide à la décision (KPI, tableaux de bord...)
- On est en mesure d'ajuster notre stratégie à l'aide des données et de l'information disponibles
- On est en mesure d'analyser la situation de notre entreprise
- On est en mesure d'avoir une vue d'ensemble complète des opérations
- On est en mesure d'identifier les tendances, opportunités et menaces de notre environnement

Annexe 2 : Niveaux de maturité

Niveau	Détails	Collecte des données	Ingestion	Analytique	Stockage des données	Visualisation
Niveau 0	Hors ligne	Manuel	NA	Outil de simulation (AnyLogic, ARENA)	Fichier de données externes ou données directement stocké avec le modèle de simulation	Outil de visualisation et de valorisation PowerBI, Tableau, Excel ou autres
Niveau 1	En ligne, mais n'a aucune source de données externes	Manuel	NA	Outil de simulation (AnyLogic, ARENA)	Base de données relationnelle hébergée sur le <i>cloud</i> ou <i>on-premise</i>	Outil de visualisation et de valorisation PowerBI, Tableau, Excel ou autres
Niveau 2	En ligne et peut gérer l'ingestion par <i>batch</i>	Donnés structuré – application, systèmes d'affaires, ERP, CRM et autres	ETL, API	Outil de simulation (AnyLogic, ARENA)	Base de données relationnelle hébergée sur le <i>cloud</i>	Outil de visualisation et de valorisation PowerBI, Tableau, Excel ou autres
Niveau 3	En ligne et peut gérer l'ingestion par <i>batch</i> et en <i>temps réel</i>	Donnés structuré – application, systèmes d'affaires, ERP, CRM et autres, Données non structurées – Données IoT et d'évènements	ETL, API, Service d'ingestion en temps réel	Outil de simulation (AnyLogic, ARENA)	Base de données relationnelle ou non relationnelle hébergée sur le <i>cloud</i>	Outil de visualisation et de valorisation PowerBI, Tableau, Excel ou autres

Niveau 4	En ligne et peut gérer l'ingestion par <i>batch</i> et en <i>temps réel</i> avec un service dédié selon les besoins d'accès aux données (application en temps réel, rapport BI sur les données en temps réel, etc.)	Donnés structuré – application, systèmes d'affaires, ERP, CRM et autres, Données non structurées – Données IoT et d'évènements	ETL, API, Service d'ingestion en temps réel	Outil de simulation (AnyLogic, ARENA)	Base de données relationnelle ou non relationnelle hébergée sur le <i>cloud</i>	Outil de visualisation et de valorisation PowerBI, Tableau, Excel ou autres
----------	---	--	---	---------------------------------------	---	---

Source : Vincent PRUD'HOMME : « Transformation numérique : Méthodologie de conception et d'intégration d'un jumeau numérique d'une chaîne d'approvisionnement », école du technologie supérieure université du Québec, 2022, P.52

Annexe 3 : Guide d'entretien pour l'Analyse de la chaîne d'approvisionnement de NAFTAL pour la mise en place du JUMENTAL NUMERIQUE.

Axe 1 : Gestion opérationnelle de la chaîne d'approvisionnement

- Q1 : Pouvez-vous nous donner un aperçu général de votre chaîne d'approvisionnement pour la distribution de carburant ?
- Q2 : Comment suivez-vous les données en temps réel sur l'état de vos camions-citernes, des installations de stockage, des pipelines, des stations-service et d'autres actifs dans votre chaîne d'approvisionnement ?
- Q3 : Comment gérez-vous actuellement la maintenance prédictive et corrective de vos équipements ?
- Q4 : Comment surveillez-vous les risques de sécurité dans la chaîne d'approvisionnement de votre entreprise ?

Axe 2 : Traçabilité et optimisation des processus

- Q5 : Comment gérez-vous actuellement la traçabilité de vos produits pétroliers, de leur origine à leur livraison finale aux stations-service ?
- Q6 : Comment surveillez-vous actuellement les niveaux d'inventaire de carburant dans vos installations de stockage et comment cela est-il utilisé pour optimiser les approvisionnements et les livraisons ?
- Q7 : Comment utilisez-vous actuellement les données pour optimiser la planification des itinéraires de vos camions-citernes ?

Axe 3 : Défis et bénéfices potentiels des jumeaux numériques

- Q8 : Quels sont les principaux défis auxquels votre entreprise est confrontée en termes de gestion de la chaîne d'approvisionnement pour la distribution de carburant ?
- Q9 : Dans quels domaines de NAFTAL la mise en place de jumeaux numériques serait-elle le plus bénéfique ?
- Q10 : Comment pensez-vous que les jumeaux numériques pourraient aider votre entreprise à résoudre les défis identifiés dans votre chaîne d'approvisionnement de carburant ?

TABLE DES MATIERES

DEDICACE

REMERCIEMENT

RESUME

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABREVIATIONS

LE SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....1

CHAPITRE I : ÉVOLUTION DE LA SUPPLY CHAIN DANS LE SECTEUR PETROLIER.....5

INTRODUCTION6

SECTION 1 : INTRODUCTION A LA SUPPLY CHAIN.....7

1.1. DEFINITION DE LA SUPPLY CHAIN7

1.2. DEFINITION DU SUPPLY CHAIN MANAGEMENT.....8

1.3. LES ACTEURS ET LES FONCTIONS CLES DE LA SUPPLY CHAIN9

1.4. OBJECTIFS DE LA SUPPLY CHAIN11

1.4.1. Réduire les coûts de production et de distribution11

1.4.2. Améliorer la qualité et la fiabilité11

1.4.3. Réduire les délais de livraison.....12

1.4.4. Optimiser les niveaux de stock12

1.4.5. Maximiser la satisfaction des clients.....12

1.5. LES INDICATEURS CLES DE PERFORMANCE DE LA SUPPLY CHAIN (KPI's)13

1.5.1. LE TAUX DE QUALITE DE SERVICE :.....14

1.5.2. POURCENTAGE DE COÛT D'UN SERVICE LOGISTIQUE :15

SECTION 2 : L'INDUSTRIE PETROLIERE : DEFIS ET ENJEUX MONDIAUX ET LOCAUX.....16

2.1 DEFINITION DE L'INDUSTRIE PETROLIERE IP :16

2.2 LES CHALLENGES DE L'INDUSTRIE PETROLIERE « IP »17

2.3 PRESENTATION DU MARCHE PETROLIER DANS LE MONDE18

2.4 PRESENTATION DU MARCHE PETROLIER EN ALGERIE20

SECTION 3 : LA SUPPLY CHAIN PETROLIERE : UN PILIER STRATEGIQUE POUR L'INDUSTRIE ÉNERGETIQUE22

3.1 LE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT DANS L'INDUSTRIE OIL & GAZ22

3.2 IMPORTANCE ET ENJEU DE LA SUPPLY CHAIN DANS LE SECTEUR PETROLIER23

3.3 LES ACTEURS CLES DE LA SUPPLY CHAIN PETROLIERE :26

3.4 LES ETAPES CLES DE LA SUPPLY CHAIN PETROLIERE :26

3.4.1. Extraction :28

3.4.2. <i>Exploration</i> :	28
3.4.3. <i>Raffinage</i> :	28
3.4.4. <i>Transport</i> :	29
3.4.4.1. <i>Par voie terrestre</i> :	30
3.4.4.2. <i>Par voie maritime</i> :	30
3.4.5. <i>Distribution</i> :	31
3.4.5.1. <i>Les petits camions-citernes</i> :	32
3.4.5.2. <i>Les camions-citernes moyens</i> :	32
3.4.5.3. <i>Les grands camions-citernes</i> :	32
3.4.5.4. <i>Les semi-remorques citernes</i> :	32
3.5 LES AVANTAGES DE L'OPTIMISATION DE LA SUPPLY CHAIN PETROLIERE :	32
CONCLUSION	34
CHAPITRE II : TRANSFORMATION DIGITALE DE LA SUPPLY CHAIN	35
INTRODUCTION	36
SECTION 1 : INTRODUCTION A LA TRANSFORMATION DIGITALE	37
1.1 DEFINITION DE LA TRANSFORMATION DIGITALE :	37
1.2 LES AVANTAGES DE LA TRANSFORMATION DIGITALE :	39
1.2.1. <i>Avantages de la transformation digitale pour les entreprises</i>	39
1.2.2. <i>Avantages de la dématérialisation pour les entreprises</i>	40
1.3 LES LIMITES ET LES FREINS DE LA TRANSFORMATION DIGITALE :	40
1.3.1. <i>Culture d'entreprise trop rigide</i>	41
1.3.2. <i>Confusion entre finalité et outil</i>	41
1.3.3. <i>L'importance du coût</i>	42
1.3.4. <i>La Cyber Sécurité</i>	42
SECTION 2 : INTEGRATION DU DIGITAL A LA SUPPLY CHAIN	43
2.1 DEFINITION DE LA TRANSFORMATION DIGITALE DE LA SUPPLY CHAIN	43
2.2. PROCESSUS DE TRANSFORMATION DE LA SUPPLY CHAIN DIGITALE	44
2.2.1. <i>La chaîne d'approvisionnement numériquement immature</i> :	44
2.2.2. <i>La chaîne d'approvisionnement numériquement habilitée</i> :	45
2.2.3. <i>La chaîne d'approvisionnement numériquement transformée</i> :	46
2.3. <i>Impact de la digitalisation sur la supply chain</i>	46
SECTION 3 : LES TECHNOLOGIES CLES DE LA DIGITALISATION DE LA SUPPLY CHAIN	47
3.1 L'INTERNET DES OBJETS (IoT)	47
3.1.1. <i>IoT dans la chaîne d'approvisionnement</i> :	48
3.2 L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (IA)	49
3.2.1. <i>IA dans la chaîne d'approvisionnement</i> :	49
3.3 LA BLOCKCHAIN	50
3.3.1. <i>La Blockchain dans la chaîne d'approvisionnement</i> :	51
3.4 LES TECHNOLOGIES DE SUIVI ET DE TRAÇABILITE	54

3.4.1.	<i>Les codes-barres :</i>	54
3.4.2.	<i>Les QR codes :</i>	54
3.4.3.	<i>Les puces RFID :</i>	54
3.5	LES SYSTEMES DE GESTION DE L'INFORMATION	54
3.5.1.	<i>Les systèmes de gestion de l'information dans la chaîne d'approvisionnement :</i>	55
3.5.1.1.	<i>Electronic data interchange (EDI) :</i>	55
3.5.1.2.	<i>ERP (Enterprise Resource planning) :</i>	55
3.5.1.3.	<i>Le CRM (gestion de la relation client) :</i>	56
3.5.1.4.	<i>APS :</i>	56
3.5.1.5.	<i>Les WMS (Warehouse Management System) :</i>	57
3.5.1.6.	<i>Les TMS (Transport Management System) :</i>	57
3.5.1.7.	<i>Les MRP (Materials Requirement Planning) :</i>	57
3.6	LA RPA (ROBOTIC PROCESS AUTOMATION)	58
3.6.1.	<i>La RPA dans la chaîne d'approvisionnement :</i>	59
3.6.1.1.	<i>Traitement des commandes :</i>	59
3.6.1.2.	<i>Gestion des stocks :</i>	59
3.6.1.3.	<i>Gestion des retours :</i>	59
3.6.1.4.	<i>Suivi des expéditions :</i>	59
3.6.1.5.	<i>Facturation et paiement :</i>	59
3.6.1.6.	<i>Conformité réglementaire :</i>	59
3.6.1.7.	<i>Prévision et planification :</i>	59
3.7	CLOUD COMPUTING	60
3.7.1.	<i>Le cloud computing dans la chaîne d'approvisionnement :</i>	60
CONCLUSION		62
CHAPITRE III : LE POTENTIEL DES JUMENTS NUMERIQUE ET DES TOURS DE CONTROLE DANS LA TRANSFORMATION DIGITALE DE LA SUPPLY CHAIN		63
INTRODUCTION		64
SECTION 1 : CONCEPTS DE BASE DU JUMENT NUMERIQUE		65
1.1.	DEFINITION DES JUMENTS NUMERIQUE :	65
1.2.	COMMENT FONCTIONNE UN JUMENT NUMERIQUE ?	67
1.3.	LA CREATION DE JUMENT NUMERIQUE	68
1.3.1.	<i>Etape 1 : Définir la portée et les objectifs</i>	68
1.3.2.	<i>Etape 2 : Collecte et intégration des données</i>	69
1.3.3.	<i>Etape 3 : Modélisation et simulation du jumeau numérique</i>	69
1.3.4.	<i>Etape 4 : Déployer et surveiller le jumeau numérique</i>	69
1.4.	LES TECHNOLOGIES UTILISEES POUR LA CREATION DES DIGITAL TWINS	70
1.4.1.	<i>Internet des objets (IoT)</i>	70
1.4.2.	<i>Le Cloud Computing</i>	70
1.4.3.	<i>Intelligence artificielle (IA)</i>	71
1.4.4.	<i>Extended Reality (XR)</i>	71

1.5. Outils nécessaires pour la création des jumeaux numériques	72
1.5.1. <i>Application Programming Interface (API)</i>	72
1.5.2. <i>Outils de CAO ou de modélisation 3D</i>	73
1.5.3. <i>Moteurs de jeu</i>	73
1.5.4. <i>Système de contrôle des versions.....</i>	73
SECTION 2 : LES Jumeaux numériques dans la Supply Chain	74
2.1. Qu'est-ce qu'un jumeau numérique de la Supply Chain (DSCT).....	74
2.2. Applications de jumeaux numériques dans la Supply Chain	78
2.2.1. <i>Application du jumeau numérique dans le domaine de l'approvisionnement</i>	78
2.2.2. <i>Application du jumeau numérique dans le domaine de la production.....</i>	80
2.2.3. <i>Application du jumeau numérique dans le domaine de stockage</i>	81
2.2.4. <i>Application du jumeau numérique dans le domaine de la logistique et du transport.....</i>	82
2.2.5. <i>Application du jumeau numérique dans le domaine des ventes et du marketing</i>	83
2.3. Les bonnes pratiques des jumeaux numériques dans la gestion de la Supply Chain	84
2.3.1. <i>Cas de DHL.....</i>	85
2.3.2. <i>Cas de Unilever.....</i>	85
2.3.3. <i>Cas de Bosch.....</i>	86
2.3.4. <i>Cas de Dulux Group</i>	86
SECTION 3 : LA TOUR DE CONTRÔLE DE LA Supply Chain	87
3.1. Qu'est-ce qu'une Supply Chain Control Tower ?.....	87
3.2. Supply Chain Control Tower et Digital Twins	88
3.3. Comment fonctionne une tour de contrôle de la chaîne d'approvisionnement ?.....	90
3.4. La mise en œuvre des tours de contrôle	90
3.4.1. <i>Créer une solution à partir de zéro</i>	90
3.4.2. <i>Acheter un logiciel existant.....</i>	91
3.4.3. <i>Tours de contrôle construites avec Digital Twins.....</i>	91
3.5. Les avantages de la mise en place d'une SCCT	92
CONCLUSION	93
CHAPITRE IV : ANALYSE DE LA Maturité digitale et proposition d'un plan d'action pour l'implémentation du jumeau numérique au sein de SPA NAFTAL	95
INTRODUCTION	96
SECTION 1 : PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE.....	97
1.1. <i>Historique et présentation de SPA NAFTAL.....</i>	97
1.2. <i>Missions et rôle de NAFTAL.....</i>	98
1.3. <i>Produits et services de NAFTAL</i>	99

1.3.1. Particuliers :	99
1.3.2. Professionnels :	100
1.4. Présentation de la Direction Exécutive, Stratégie, Planification et Economie.	101
SECTION 2 : ANALYSE DE LA MATURITE DIGITALE CHEZ SPA NAFTAL	103
2.1. Méthodologie de recherche	103
2.1.1. Choix du thème :	103
2.1.2. Objectif de la recherche :	104
2.1.3. Outils utilisés dans la recherche :	104
2.2. Présentation des technologies/logiciels déjà en place :	105
2.3. EVALUATION DE LA MATURITE DIGITALE DE SPA NAFTAL SELON LE REFERENTIEL GAMACHE	114
2.3.1. Présentation de modèle d'évaluation	114
2.3.2. Objectifs de l'évaluation de la maturité numérique	115
2.3.3. Méthodologie d'application du modèle d'évaluation	116
2.3.4. Résultats de l'évaluation de la maturité numérique	117
2.3.5. Implications et recommandations	118
SECTION 3 : PROPOSITION D'UN PLAN D'ACTION POUR L'APPLICATION DU JUMENTAL NUMERIQUE.....	119
3.1 Identification des domaines prioritaires pour la mise en place des digital twins ..	119
3.1.1. Contexte et objectif de l'étude :	119
3.1.2. Analyse des réponses des entretiens :	120
3.1.3. Synthèse des principaux résultats et constatations de l'analyse	128
3.1.4. Identification des domaines d'amélioration potentiels.....	129
3.2. Proposition d'un plan d'action pour la mise en place de jumeau numérique au sein de NAFTAL.....	129
3.2.1. Etape 1 : Définir la portée et les objectifs.....	129
3.2.2. Etape 2 : Collecte et intégration des données	133
3.2.3. Etape 3 : Modélisation et simulation du jumeau numérique.....	137
3.2.4. Etape 4 : Déployer et surveiller le jumeau numérique.....	138
CONCLUSION	140
CONCLUSION GENERALE.....	141
BIBLIOGRAPHIE	143
LES ANNEXES.....	149